

ISBN 3-88314-635

Forschungsbericht 138

**Bundesanstalt
für Materialforschung
und -prüfung (BAM) Berlin**

**Zur geowissenschaftlichen Einordnung
des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland
und einer sicheren Auslegung technischer
Systeme gegen den Lastfall Erdbeben**

von Dipl.-Geol. Michael Dogunke
Dr.-Ing. Frank Buchhardt

Mai 1987

42 Seiten, 15 Abbildungen

Herausgegeben von der
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45
Telefon (030) 8104-1 Telex 183 261 bamb d Telefax (030) 8 112 029

Copyright © 1987 by Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1
Telefon (0471) 46093-95

Vorwort

Bauteile oder Anlagen - kurz technische Systeme genannt - können nach unterschiedlichen Kriterien oder Aufgabenstellungen ausgelegt werden, beispielsweise durch Definition der Standsicherheit, der Integrität oder der Funktionsfähigkeit. Diese genannten Kriterien stellen Anforderungen in aufsteigender Reihenfolge dar, d. h., ein System, das nur nach der reinen Standsicherheit bemessen ist, hat i. a. 'weniger' Lasttragvermögen als ein System, das auch nach Auftreten eines definierten Lastfalls seine Funktion voll erfüllen muß; m. a. W. es liegt je Lastfall- oder Systemtyp eine unterschiedlich 'sichere' Auslegung vor. Im Hinblick auf das Dimensionierungsziel eines beliebigen Systems hat der bearbeitende Ingenieur jedoch generell für eine s i c h e r e Konstruktion zu sorgen; dies wird beispielsweise bei einfacheren Systemen durch die Einführung des entsprechenden Sicherheitsfaktors erreicht.

Bei komplexeren technischen Systemen, die spezifische Gefahrenpotentiale bei Eintreten von Schadensfällen implizieren, bedarf es der allgemeinen Betrachtung des technischen Risikos /I.2 und I.3/ im Hinblick auf die erforderliche Nutzung. Dieses Abwägen erfordert Leitlinien einer übergeordneten allgemeinen technischen Sicherheitsphilosophie, die Beantwortungskriterien der ständig neu zu prüfenden Fragestellung bietet, nämlich "wie sicher ist sicher genug?"

Zum allgemeinen Verständnis seien folgende Begriffe erörtert:

- Die Komponente 'Schaden' /I.1/

Ein einem technischen System innewohnendes Gefährdungspotential muß entsprechend seiner Schadensart (z. B. Beeinträchtigung der Gesundheit) quantitativ erfaßt werden (z. B. Zahl der betroffenen Personen).

- Die Komponente 'Eintrittswahrscheinlichkeit'

Die Wahrscheinlichkeit, daß bei einem technischen System ein beliebiges Ereignis (z. B. Versagen einer Struktur infolge Überlastung) auftritt, ist definitionsgemäß eine Zahl zwischen 0 und 1; ein sehr seltenes Ereignis ist z. B. 10^{-6} .

- Sicherheit

Sicherheitsfaktoren basieren i. a. auf der Korrelation von Häufigkeitsverteilungen, beispielsweise aus dem Vergleich zwischen der Verteilungsfunktion nach der Belastung und der Verteilungsfunktion nach einem definierten Versagenskriterium /I.4/.

- Risiko

In einfachster Beziehung ist das Risiko das Produkt von 'Schaden' mit der 'Eintrittswahrscheinlichkeit' (aus Versagen).

Handelt es sich nun um ein technisches System mit sehr hohem Gefährdungspotential (z. B. chemische Anlagen oder Kernkraftwerke), so ist das oberste Ziel eine Risikominimierung, d. h. die zu erzielende Risikozahl muß entsprechend klein gehalten werden. Eine (technische) Risikozahl 0 kann es nicht geben, jedoch kann entsprechend der Bemessungsvorgabe durch eine sichere Auslegung das Gesamtrisiko sehr klein gehalten werden.

Aus dieser Überlegung ist es klar, daß ein kleines Risiko bei gegebener hoher Schadenszahl nur dadurch erreicht werden kann, wenn die zugehörige Versagenswahrscheinlichkeit - ausgelöst durch ein definiertes Ereignis - außerordentlich klein gehalten wird. In diesem Falle müssen daher auch außergewöhnlich seltene Ereignisse - wie z. B. zivilisatorisch bzw. natürlich bedingte äußere Einwirkungen - bei der Auslegung sicherheitsrelevanter Systeme miteinbezogen werden. Hierzu gehört also auch der Lastfall **E R D B E B E N**. Die häufig angetroffene Feststellung "bei uns gibt es doch keine Erdbeben" mit dem dann gezogenen Schluß, diesem Lastfall auch bei Systemen mit hohem Gefährdungspotential nicht die notwendige Beachtung zu geben, wäre daher aus wissenschaftlich-technischer Sicht unzulässig und verstieße bei der Auslegung von Kernkraftwerken sogar gegen die gesetzliche Vorgabe entsprechend Atomgesetz § 7 Abs. 2 Zi. 3 /I.5/.

Der vorliegende Beitrag soll versuchen, den derzeitigen geowissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Erdbebengebiet Bundesrepublik Deutschland leicht verständlich zu machen und übersichtlich zu umreißen; ferner erfolgt ein kurzer Überblick, wie derzeit die vom Seismologen zur Verfügung gestellten Daten ingenieurseitig zur Bemessung von Bauteilen und Anlagen umgesetzt werden. Insgesamt soll hiermit zur Versachlichung der Diskussion beigetragen werden.

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt den derzeitigen Wissensstand über die potentielle Erdbebengefährdung in der Bundesrepublik Deutschland und befaßt sich weiterhin mit unterschiedlichen Lösungsmöglichkeiten hinsichtlich einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung.

Die Untersuchung ist in 5 Abschnitte aufgeteilt:

- Schilderung der globaldynamischen Prozesse im Erdinnern nach dem Modell der Plattentektonik sowie Betrachtung der damit zusammenhängenden geologischen Kräfteeinwirkungen
- Erklärung der Erdbebenterminologie und -problematik
- Einordnung der Bundesrepublik Deutschland aus seismologischer Sicht
- Darstellung der geowissenschaftlichen Aufgaben hinsichtlich einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung
- Darlegung der ingenieurwissenschaftlichen Aufgaben hinsichtlich einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung

Ferner werden einige Problemkreise künftiger Forschungsthemen angesprochen.

Summary

This report describes the present state-of-the-art seismic risk evaluation for the Federal Republic of Germany, and, consequently, the report deals with a safe structural design against seismic events. The study is subdivided into 5 sections:

- Plate tectonics and resulting geological forces
- Asperity-model and seismological terms and problems
- The seismological situation of the Federal Republic of Germany
- Geological tasks for a safe structural design
- Engineering tasks for a safe structural design

Furthermore several subjects for research-work to be done are discussed.

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
2. Plattentektonische Grundlagen	1
3. Erdbebenproblematik und -terminologie	5
4. Die seismologische Einordnung der Bundesrepublik Deutschland	11
5. Geowissenschaftliche Grundlagen einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung	19
6. Ingenieurmäßige Grundlagen einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung	29
7. Ergebnisse und Ausblick	38
Literatur	40

1. Einführung

Zu den Aufgaben- und Tätigkeitsfeldern der Geowissenschaften innerhalb des Umweltschutzes gehört die qualitative und quantitative Bewertung geogener Gefährdungen wie z. B. Erdbeben. Praktische Bedeutung erhält diese Bewertung als Grundlage zur erdbebensicheren Auslegung von Bauwerken wie Talsperren, Tunneln und Kernkraftwerken.

Leider erscheinen zuweilen Publikationen, die die Erdbebenthematik unvollständig wiedergeben oder das Gefährdungspotential für die Bundesrepublik Deutschland zu hoch ansetzen. Eine ganzheitliche und damit verantwortungsbewußte geowissenschaftliche Bewertung der Erdbebengefahr muß dagegen den aktuellen Wissensstand aus Historischer und Regionaler Geologie, Seismologie und Ingenieurgeologie berücksichtigen, damit bau- und anlagenseitig eine zielsichere Auslegung gegen den Lastfall Erdbeben erfolgen kann.

2. Plattentektonische Grundlagen

Vor allem den Forschungsergebnissen aus Geophysik und Meeresgeologie ist es zu verdanken, daß in den letzten 15 Jahren das Wissen um die im Erdinnern wirksamen Stoffe und Kräfte zugenommen hat. Damit konnten viele sich an der Erdoberfläche auswirkende Prozesse, wie z. B. Vulkanismus, Erdbebentätigkeit oder Gebirgsbildung sowohl räumlich als auch zeitlich gegliedert und die bis dahin fachlich umstrittene Theorie der Plattentektonik mit Hilfe der neugewonnenen Erkenntnisse zu einem realitätsnahen Modell präzisiert werden: Danach läßt sich der Erdkörper in Kern, Mantel und Kruste gliedern. Die Kruste und die obersten Lagen des Mantels bilden zusammen eine relativ feste, in Platten zerbrochene Schale, auch Lithosphäre genannt. Diese Lithosphäre hat eine durchschnittliche Mächtigkeit von 100 km. Unter der Lithosphäre befindet sich die mehrere 100 km mächtige Astenosphäre, eine plastische Schicht des Erdmantels, in der sich - durch verbliebene Erdentstehungsrestwärme und den Zerfall radioaktiver Elemente verstärkt - zwei räumlich und zeitlich wechselnde Konvektionssysteme auswirken.

Welchen Einfluß haben nun diese in ihrer räumlichen und zeitlichen Intensität wechselnden Konvektionsprozesse auf die Lithosphärenplatten?

Zunächst einmal gibt es stofflich unterschiedlich zusammengesetzte und damit verschieden schwere Plattentypen: ozeanische (Dichte:

2.95 g/cm³), kontinentale (Dichte: 2.75 - 2.85 g/cm³) als auch Mischformen zwischen beiden. Die Lithosphärenplatten "schwimmen" auf der spezifisch schwereren, plastischen Mantelmasse (Dichte: 3.3 g/cm³), bestrebt, einen isostatischen Zustand beizubehalten. Wie Abb. 1 verdeutlicht, erlauben die Erkenntnisse aus Geophysik und Meeresgeologie nun die nachstehende Vorstellung von den Vorgängen im Erdinnern: Während ein Konvektionssystem für die Bewegung der Lithosphärenplatten verantwortlich ist, führt der Materialtransport des zweiten Konvektionssystems zum induzierten Vulkanismus der sogenannten hot spots (auf den hier allerdings nicht weiter eingegangen werden soll).

Wenn Lithosphärenplatten durch Konvektionsströme in Bewegung gesetzt werden, entstehen zwischen ihnen je nach Bewegungsrichtung überwiegend horizontale Dehnungs-, Subduktions-, Kollisions- oder Gleit-zonen mit unterschiedlich starken Übertragungen deformierender (tektonischer) Kräfte.

Die in Abb. 1 erkennbaren ozeanischen Rücken stellen Dehnungsgebiete dar, in denen neue basaltische Lithosphäre geschaffen wird. Da sich das Volumen der Erde nachweislich nicht wesentlich ändert, muß an anderer Stelle der Erdoberfläche Plattenmaterial aufgezehrt werden. Dies geschieht in den Tiefseerinnen oder -gräben unter charakteristischer Begleitung durch den Inselbogen-Vulkanismus. Allerdings wird die in der Abbildung gezeigte ozeanische Kruste auf Grund ihrer spezifischen Dichte leichter subduziert als kontinentale. Treffen hingegen zwei gleichschwere Platten frontal aufeinander, so kann diese Kollision auch einen Bewegungsstillstand bzw. die eingangs erwähnte räumliche oder zeitliche Verlagerung der plattentektonischen Aktivität hervorrufen. Bei dem letzten Fall - der Gleitzone - handelt es sich schließlich um eine Parallelverschiebung von Lithosphärenplatten, wie sie z. B. an der St. Andreas-Störung in den USA rezent zu verfolgen ist.

Mit Hilfe des plattentektonischen Modells gelingt es heute den Geowissenschaftlern, plausibel zu erklären, warum Kettengebirge, Vulkane und Erdbeben nicht überall auf der Erde vorkommen, sondern sich in relativ schmalen Schwächezonen der Erdkruste konzentrieren. Demnach können Kettengebirge wie die Alpen oder der Himalaya dort entstehen, wo die zwischen zwei kontinentalen Massen liegende ozeanische Kruste vollständig subduziert wird und es zur Kollision der Kontinente kommt /II.8/. Dabei werden Teile der einen kontinentalen Platte solange unter Aufwölbung der anderen subduziert, bis die Bewegungsenergie sich verlagert.

Unter der Bezeichnung Vulkanismus werden alle Vorgänge erfaßt, die mit dem Austritt fester, flüssiger und gasförmiger Stoffe aus dem

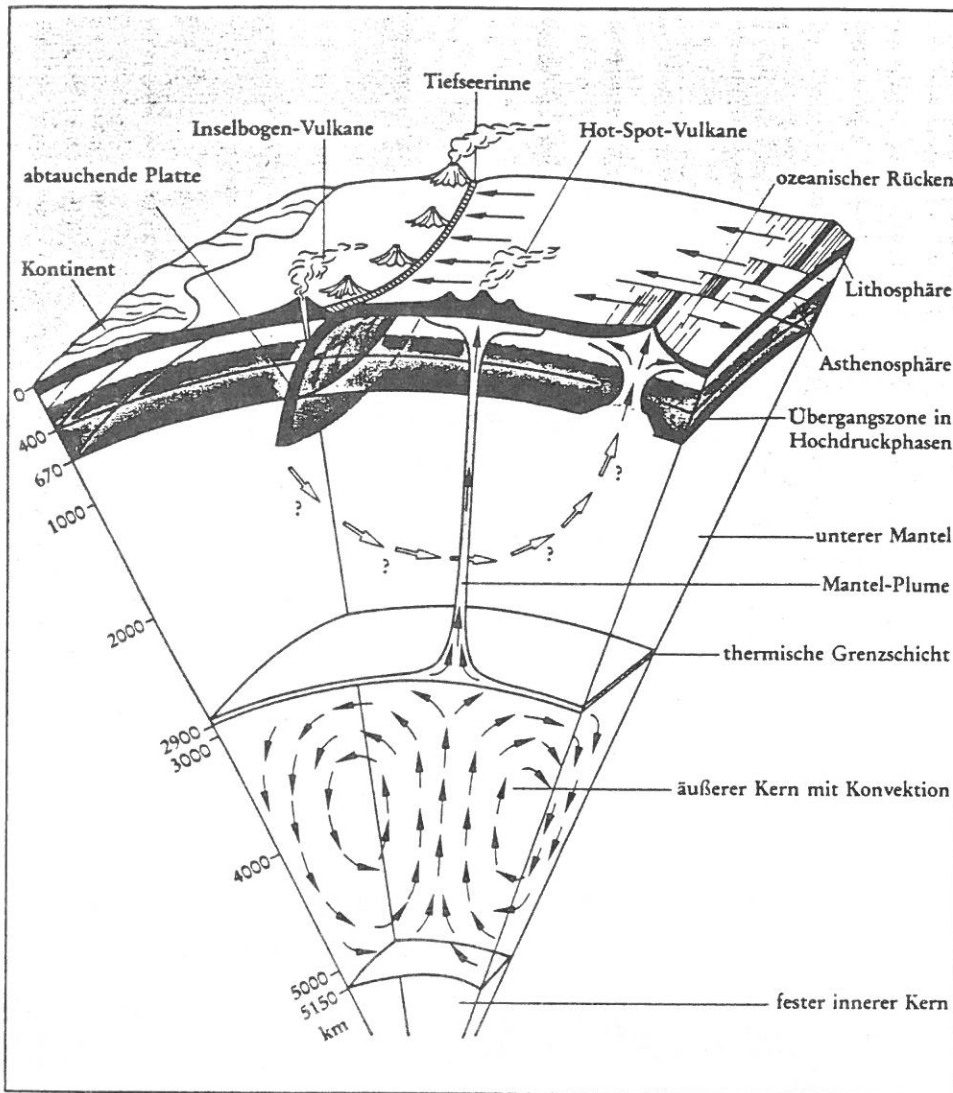


Abb. 1
 "Im Erdmantel gibt es vermutlich zwei verschiedene Konvektionssysteme. Die hier gezeichnete walzenförmige Strömung besteht aus vier Anteilen: 1. aufsteigende Strömung unter dem ozeanischen Rücken, 2. nach links (Pfeile) driftende ozeanische Lithosphäre, die 3. beim Zurücksinken in den Mantel eine Tiefseerinne formt und über die Übergangszone hinaus in den unteren Erdmantel vorstößt, und 4. Rückstrom, dessen Verlauf noch unbekannt ist (offene Pfeile). - Als zweites Stromsystem werden Mantel-Plumes vermutet, die von einer thermischen Grenzschicht über den äußeren Kern ausgehen und überhitztes Gestein des unteren Mantels in schlauchartigen Kanälen nach oben befördern. Sie breiten sich unter der Lithosphäre pilzförmig aus und induzieren den Vulkanismus der "heißen Flecken" (hot spots). - /II.12/

Erdinnern an die Erdoberfläche in Zusammenhang stehen. Die Förderung der Stoffe durch Spalten und Schlote in der Lithosphäre ist dabei eine Kräfteäußerung der im Erdinnern vorhandenen Wärmeenergie /II.9/, die ebenso für die Bewegung der Lithosphärenplatten selbst verantwortlich ist und vorwiegend an deren Rändern in Erscheinung tritt.

Ebenso an den Plattenrändern sitzen die Erdbebenzonen, während die Platten selbst als Gebiete geringer seismischer Aktivität gelten. Allerdings treten Vulkanismus und Erdbebenaktivität nicht immer

gemeinsam auf. Gliedert man die Erdbebenzonen nach ihren geologischen und morphologischen Merkmalen, so erhält man vier verschiedene Typen einschließlich deren vulkanischer Aktivität:

- Mittelozeanische Rücken. Auf ihren Achsen herrscht ein starker Wärmefluß an der Oberfläche, basaltischer Vulkanismus, und es treten Flachbeben mit Herdtiefen von weniger als 70 km auf.
- Große Horizontalverschiebungen wie die St. Andreas Störung (Kalifornien/USA) oder die Anatolische Störung (Nordtürkei). Charakteristisch sind Flachbeben, aber kein Vulkanismus.
- Subduktionsgebiete mit Tiefseegräben und vulkanischen Inselbögen. Die Eigenschaften dieses Typs lassen sich wie folgt aufzählen: Flachbeben, mitteltiefe Beben (70-300 km Herdtiefe), Tiefbeben (300-700 km Herdtiefe) sowie die Inselgirlanden aufbauender basaltischer Vulkanismus.

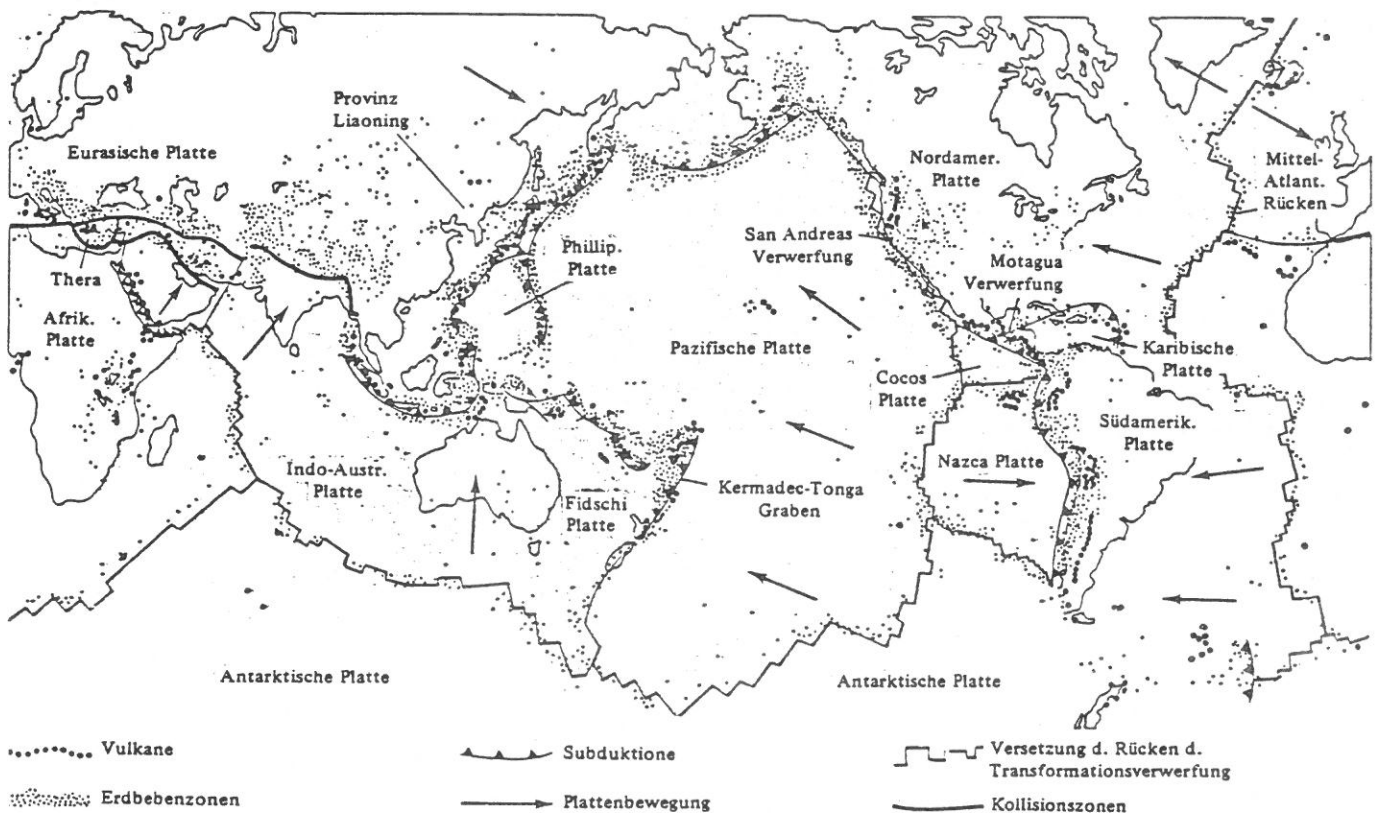


Abb. 2
 "Weltkarte, die den Zusammenhang zwischen größeren tektonischen Platten, Erdbeben (der jüngsten Gegenwart) und Vulkanen aufzeigt. Epizentren sind durch kleine, Vulkane sind durch große Punkte angedeutet"
 /II.3/

- Kollisionsgebiete wie der langgestreckte Erdbebengürtel zwischen Birma und dem Mittelmeer. Typisch sind angrenzende Kettengebirge. Hier finden überwiegend Flachbeben statt; vereinzelt treten mitteltiefe Beben in Erscheinung (Hindukusch, Rumänien); Tiefbeben sind nur an wenigen Orten bekannt (Vulkane der äolischen Inseln nördlich von Sizilien) /II.5/.

Abb. 2 zeigt die weltweite Verbreitung der Plattengrenzen, Erdbebenzonen und Vulkangebiete.

Akzeptiert man die kausalen Zusammenhänge zwischen den dynamischen Prozessen im Erdinnern und ihren geogenen Auswirkungen an der Erdoberfläche, so muß die Einordnung der aktualseismologischen Situation einer Region deren plattentektonisch zeitliches und regionales Zustandsbild berücksichtigen. Nur so kann eine realistische Beurteilung der regionalen seismologischen Befunde und eine Abgrenzung plattentektonisch unterschiedlicher Gebiete sowie deren Seismizität erfolgen.

3. Erdbebenproblematik und -terminologie

Bevor auf das Erdbebengebiet Bundesrepublik Deutschland eingegangen wird, sollen zunächst einige Zusammenhänge, Begriffe und Größen der Erdbebenproblematik vorausgeschickt werden.

Unter Erdbeben versteht man nach nichtlinearen Gesetzen ablaufende Prozesse im festen Teil des Erdkörpers. Sie gehen von impulsförmig wirkenden Quellen kinetischer Energie im Erdinnern aus /II.11/. Bolt /II.3/ bezeichnet Erdbeben einfacher als Schwingungen der Erde als Folge des Durchganges seismischer Wellen, die von einer Quelle elastischer Energie abgestrahlt werden. Auf die wichtigsten den Erdbeben zugrundeliegenden Spannungsursachen - den Plattenbewegungen in der Lithosphäre - wurde bereits hingewiesen; es gibt aber auch andere, sowohl geogene als auch anthropogene Erdbebenursachen. Klassifiziert man die Erdbeben nach ihrer Entstehung, so ergibt sich die nachstehende Aufstellung:

- Tektonische Erdbeben. Diese bei weitem am häufigsten verbreiteten Erderschütterungen entstehen durch momentanes Zerbrechen von Gestein aufgrund plattentektonischer Kräfte.
- Vulkanische Erdbeben treten in Verbindung mit vulkanischer Akti-

vität auf, beide müssen aber nicht notwendigerweise zusammen erfolgen.

- Einsturzbeben entstehen als kleine Beben in Gebieten mit unterirdischen Hohlräumen und Bergwerken. Sie sind die Folge des Einsturzes von Hohlraumdecken oder geschehen nach abbaubedingten Bergschlägen. Eine Abart der Einsturzbeben sind durch Erdrutsche ausgelöste Erschütterungen, sie können lokal erhebliche Energiemengen freisetzen.
- Explosionserdbeben werden ausschließlich von Menschen verursacht und haben chemische oder nukleare Explosionen als Ursache.
- Impakterdbeben als Begleiterscheinung von Meteoriteneinschlägen sind wie diese selbst in der menschlichen Geschichte selten und in ihrer Wirkung den Explosionserdbeben vergleichbar /II.3/.

Wie können nun Erdbeben beschrieben sowie deren Intensitäten erfaßt werden?

Um Probleme, die mit der exakten Beantwortung dieser Frage einhergehen, besser zu verstehen, muß der nichtlineare Charakter der Erdbebenvorgänge kurz angesprochen werden. Dies ist notwendig, weil in den letzten Jahren das vermehrte Wissen um die physikalischen Prozesse, die vor, während und nach einem Erdbeben ablaufen, zu einer teilweisen Revidierung der bisherigen erdbebendynamischen Vorstellungen geführt hat. "Die früher vertretene Auffassung, daß ein Erdbeben nichts weiter sei als ein ruckartiges Gleiten eines unter Spannung stehenden Krustenblocks relativ zum Nachbargestein entlang einer Trennfuge (Verwerfung), muß heute differenzierteren Vorstellungen weichen, insbesondere für größere und sehr große Beben" /II.12/.

Vereinfacht dargestellt beruht die Nichtlinearität der Erdbebendynamik auf den Inhomogenitäten der Krustenblöcke und den sich daraus ergebenden unterschiedlichen Scherfestigkeiten. Wie Abb. 3 am Beispiel einer Horizontalverschiebung verdeutlicht, bewirken geometrische Unregelmäßigkeiten sowie örtlich wechselnde Gesteins- und Haftfestigkeiten an den Krustenblockbewegungsbahnen - bei vorgegebener mittlerer Scherspannung - sehr starke Schwankungen der örtlichen Scherspannungen /II.12/. Die Kontaktbereiche hoher Scherfestigkeit (englisch: asperity) haben dabei verschiedene Größen; sie reichen - laut Strobach - von kleinen Rauigkeiten bis zu Haftflächen von 100 km Länge, wobei mit abnehmender Größe der Asperities die Spannungen zunehmen. Nach den Vorstellungen der Geophysiker

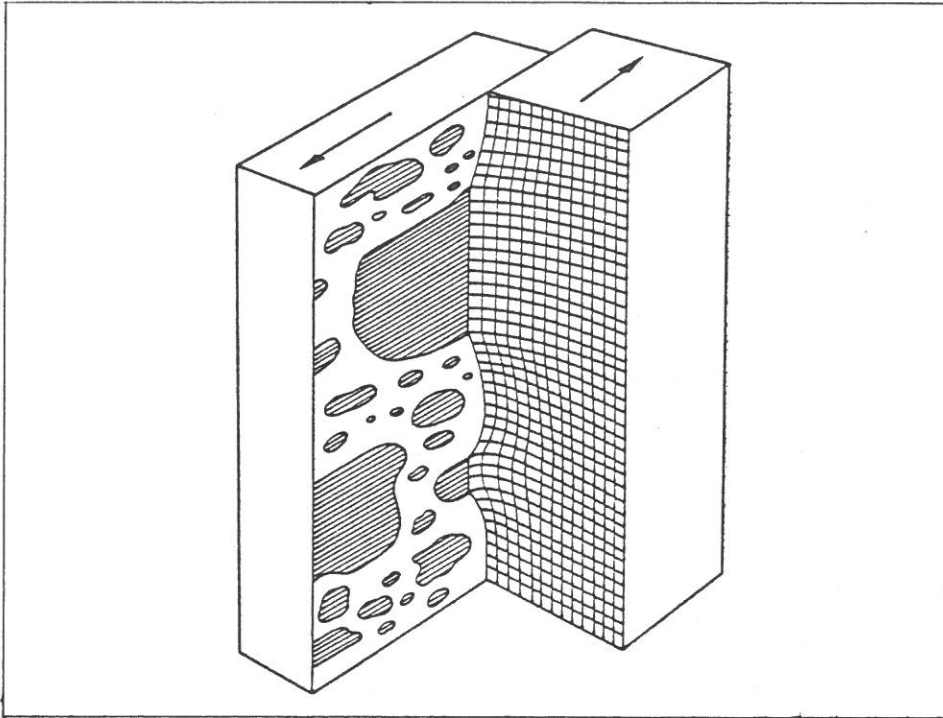


Abb. 3
 "Asperity-Modell des Erdbebenherdes: Die Verformungen (Verbiegungen) des Gesteins sind bei der großen Asperity (oben) kleiner als bei der kleinen Asperity (unten). Die Deformation ist bei der kleinen Asperity größer, weil der gleiche Verschiebungsbetrag der rechten Scholle von einem kleineren Volumen aufgenommen werden muß, was zu größeren Verformungen der Materie führt. Entsprechend verhalten sich die Spannungen, denen die Asperities standhalten müssen" /II.12/

liegt nun der Erdbebendynamik - unter Berücksichtigung des Asperity-Modells - folgende Kausalkette zugrunde: Wird die gegenläufige Gleitbewegung zweier Lithosphärenplatten oder -plattenteile durch Asperities verhindert bzw. blockiert, so kommt es mit der Zeit zur Spannungssteigerung und -speicherung in den Asperities. Strobach /II.12/ hat sehr treffend formuliert, was schließlich nach einer Überschreitung kritischer Bruchspannungen im Erdinnern vor sich geht: "Nach längerer Zeit (... der Spannungssteigerung...) - oft Jahrzehnten - werden die kritischen Bruchspannungen zuerst an den kleinen Asperities erreicht. Es entstehen lokale, ruckartige Gleitungen, also kleine Erdbeben. Jetzt muß die Gesamtspannung der Blockierungszone von den verbleibenden Asperities aufgenommen werden, die dadurch schneller anwächst. So gehen nach und nach immer größere Asperities zu Bruch, bis die größten übrigbleiben. Sie müssen jetzt die gesamte, nun sehr hohe Scherspannung aushalten. Ist schließlich bei einer von ihnen die kritische Bruchspannung erreicht, setzt das Hauptbeben ein, vermutlich zunächst durch Bruchfließen an der Stelle höchster Spannung, dann durch schnelle Ausbreitung einer Bruchfront. Sie kann auf die Zerstörung einer großen Asperity beschränkt bleiben; dann wird die Bebengröße (gemessen z. B. durch die Herdlänge) von einer einzigen großen Asperity bestimmt. Mit der Zerstörung einer Asperity wird aber

auch der Spannungszustand der benachbarten großen Asperities erhöht. Werden auch dort die kritischen Spannungen überschritten, kann der Bruch entweder als multipler Bruch weiterlaufen und damit die bei größeren Beben beobachtete, äußerst komplexe Struktur der abgestrahlten Raumwellen erzeugen, oder es kommt zur Triggerung (Auslösung) isolierter Beben, sogenannter multipler Beben" /II.12/.

Mit Hilfe der Plattentektonik- und Asperity-Modelle ist die Geowissenschaft vermutlich den tatsächlichen Erdbebenursachen und -vorgängen sehr nahe gekommen. Das etwas ausführlichere Eingehen auf diese beiden Modelle ist nach unserer Ansicht für die Erörterung erdbebendynamischer Probleme wichtig, weil besonders in aktiven seismologischen Regionen eine fatalistische Sichtweise der Erdbebenproblematik geradezu katastrophale Schäden an Mensch und Umwelt heraufordert. - Im Gegensatz zu den Modellbeschreibungen sind die Erdbebenterminologie und das seismische Meßwesen im folgenden kürzer gehalten.

Da die Vorgänge im Erdbebenherd ausgesprochen nichtlinearer Art sind, gibt es eine Reihe verschiedener Beschreibungsmöglichkeiten, die in ihrer Gesamtheit Herdparameter genannt werden. Sie erlauben einfache physikalische Aussagen und/oder können in eine interpretationsfähige Beziehung zu Meßgrößen gebracht werden, welche aus tektonischen, festkörperphysikalischen oder rheologischen Überlegungen abgeleitet werden /II.11/.

Als tektonisch wichtige Herdparameter gelten:

- Hypozentrum. Im Erdinnern gelegener geometrischer Ort eines als Punktquelle gedachten Erdbebenherdes.
- Epizentrum. Bei willkürlich gleich Null gesetzter Herdtiefe ein Punkt auf der Erdoberfläche, welcher sich senkrecht über dem Hypozentrum befindet.
- Herdzeit. Zeitpunkt des Abstrahlbeginns von Wellenenergie aus dem Hypozentrum bei einem Erdbeben.
- Herdflächenlösungen. Ermöglichen Rekonstruktion des Bewegungssinns der vom Herd nach allen Seiten ausgehenden ersten Bodenverrückung durch Projektion der P-Wellen-Schub- und-Zugrichtungen auf ein Herdkugelmodell. Man erhält die größte, kleinste und mittlere Hauptspannungsachse im Spannungsellipsoid des Herdes und ermittelt daraus seismisch vermutete tektonische Bewegungsrichtungen im Erdinnern.

- Magnitude. "Quantitatives Maß der Erdbebengröße, ausgedrückt durch den Zehnerlogarithmus der stärksten Bodenbewegung, die während des Durchganges einer seismischen Wellenart auftritt. Verwendung eines Standardseismographen, wobei eine Korrektur des Effekts der Entfernung vom Epizentrum notwendig ist. Die verschiedenen Magnitudentypen sind die Richter-Magnitude (oder lokale Magnitude) (ML), die P-Wellen-Magnitude (mb) und die Oberflächenwellen-Magnitude (MS)" /II.3/.
- Seismisches Herdmoment. Ein weiteres Maß für die Erdbebengröße. Es kann aus Seismogrammen bestimmt werden und berücksichtigt sowohl den jeweiligen Schermodul im Bereich des Erdbebenherdes als auch die Scherfläche und den Verschiebungsbetrag.
- Herdvolumen. Die Summe aller Volumenelemente, aus denen während eines Erdbebens seismische Wellenenergie austritt, wobei die Herdfläche als zweidimensionale und die Herdlänge als eindimensionale Approximation des Herdvolumens bezeichnet werden /II.11/.
- Bruchgeschwindigkeit. Ein Wert im allgemeinen unterhalb der Scherwellengeschwindigkeit, der aus dem raumwinkelabhängigen Spektrum von Seismogrammen ermittelt wird /II.11/.
- Spannung und Spannungsabfall. Herdparameter mit Bezug auf die vorhandenen Scherspannungen und deren Abnahme im Erdbebenherd.
- Dislokation. Verschiebungsbetrag zwischen den Volumenelementen innerhalb des Herdvolumens. Wird instrumentell meist über das seismische Herdmoment bestimmt.

Die instrumentelle Erfassung von Erdbeben-Messdaten erfolgt weltweit zunehmend auf digitaler Basis, obwohl für starke Bodenschwingungen ebenso noch analoge Geräte im Einsatz sind. Die Vorteile der digitalen Meßdatenerfassung sprechen für sich:

- unverzerrte Aufzeichnung über das gesamte Frequenzspektrum bei einer Bandbreite von 16 Oktaven und der Fähigkeit zur Erfassung von Energieunterschieden von 1 : 1 Million (Verhältnis zwischen kleinsten und größten Beben)
- direkte elektronische Datenverarbeitung bei drahtloser oder drahtgebundener Kommunikation
- schnelle Weiterverarbeitung großer Datenmengen (z. B. bei gleichzeitiger Erfassung vieler Seismometerdaten) /II.12/.

Angesichts der Asperity-Modellvorstellungen gewinnt dabei die flächenhafte Erdbebenüberwachung kleinerer Areale gegenüber traditionellen punktförmig angelegten Seismometerstationen an Bedeutung. Mit regiona-

len Seismometernetzen - sogenannten Arrays - kann heutzutage "das gesamte Wellenfeld räumlich und zeitlich erfaßt werden ..., das innerhalb der Arrays eintrifft. Damit ist eine Analyse der Erdbebenwellen bezüglich Einfallrichtungen, Geschwindigkeiten der einzelnen Wellenarten und weiteren Eigenschaften mit einer Schwingungsdauer bis zu 50 Sekunden möglich. Ferner erlauben die breitbandigen Registrierungen ausgezeichnete Einblicke in die Feinstruktur der Wellen, wie etwa Mehrfachimpulsformen der Raumwellen, die für die Erfassung der Bruchprozesse in den Erdbebenherden von großer Bedeutung sind ..." /II.12/.

Allerdings wird die derzeit noch übliche Angabe der Erdbebenstärke nach der Richter- oder nach der Medvedev-Sponheuer-Karnik (MSK)-Skala vielen ingenieurtechnischen Anforderungen nicht gerecht, da ihr Aussagegehalt entweder zu gering ist oder zu starken Fehlerquellen (Bevölkerungsdichte, Bauwerksauslegung) unterliegt. Die in der Richter-Skala erfaßte Magnitude eines lokalen Erdbebens (ML) kann als der dekadische "Logarithmus der maximalen seismischen Wellenamplitude (in tausendstel Millimeter) bei Beobachtung mit einem Standardseismographen in der Entfernung von 100 km vom Epizentrum" /II.3/ definiert werden. Ursprünglich von Richter für lokale süd-kalifornische Erdbeben 1935 entwickelt, hat sich die Richter-Skala im Laufe der Zeit weltweit verbreitet und wurde mehrfach für andere Seismographentypen modifiziert. Heute verwenden die Erdbebenobservatorien aber nicht nur die wellenartunabhängige Richter-Magnitude (ML), sondern auch die herdtiefenunabhängige P-Wellenmagnitude (mb) sowie die langwellige Oberflächenwellenmagnitude (MS). Diese Angaben der Erdbebenstärke mit jeweils geeigneten Magnitudenwerten stellt insgesamt noch keine überzeugende universelle Lösung dar, hier wird es mit zunehmendem Wissensstand sicher noch Vereinheitlichungen oder die Einführung universellerer Meßgrößen geben.

Eine andere Art der Erdbebenstärkenerfassung ist die Angabe der Intensität entsprechend den Kriterien der 12 gradigen MSK-Skala im europäischen und der MM (Modified-Mercalli)-Skala im nordamerikanischen Raum. Beide beruhen auf ortsabhängigen fühl- oder sichtbaren Wahrnehmungen der Erdbebenstärke an der Erdoberfläche. Ihre Werte nehmen mit wachsender Entfernung vom Erdbebenherd ab, wobei das Abklingen bei geringen Herdtiefen rascher als bei großen Herdtiefen erfolgt.

Sowohl beim Vergleich von Intensitätsskalen als auch bei der Erörterung einzelner Werte aus ihnen darf aber nie vergessen werden, daß eine "Intensitätszuordnung nur auf Wahrnehmungsangaben und nicht auf einer physikalischen Messung beruht" /II.3/.

4. Die seismologische Einordnung der Bundesrepublik Deutschland

Wie schon in Punkt 2. dargelegt, sollte eine realistische Beurteilung regionaleismologischer Befunde das plattentektonische Zustandsbild der untersuchten Region berücksichtigen. So erhält eine Debatte der Seismizität - d. h. der Erdbebenverteilung in Raum und Zeit /II.3/ - den notwendigen verantwortungsbewußten Rahmen. Abb. 4 gibt hierzu einen Überblick.

Demnach gehört die Bundesrepublik Deutschland aus plattentektonischer Sicht - mit Ausnahme des Oberrhein-Grabens, der Niederrheinischen Bucht und der Schwäbischen Alb, auf die später noch eingegangen wird - derzeit nicht zu den erdbebenreichen Gebieten. Wie auf der Abb. 4 zu erkennen ist, breitet sich dagegen in großen Teilen des Mittelmeerraumes ein erdgeschichtlich sehr junger Deformationsgürtel aus. Hier entstanden durch die Kollision der Afrika-

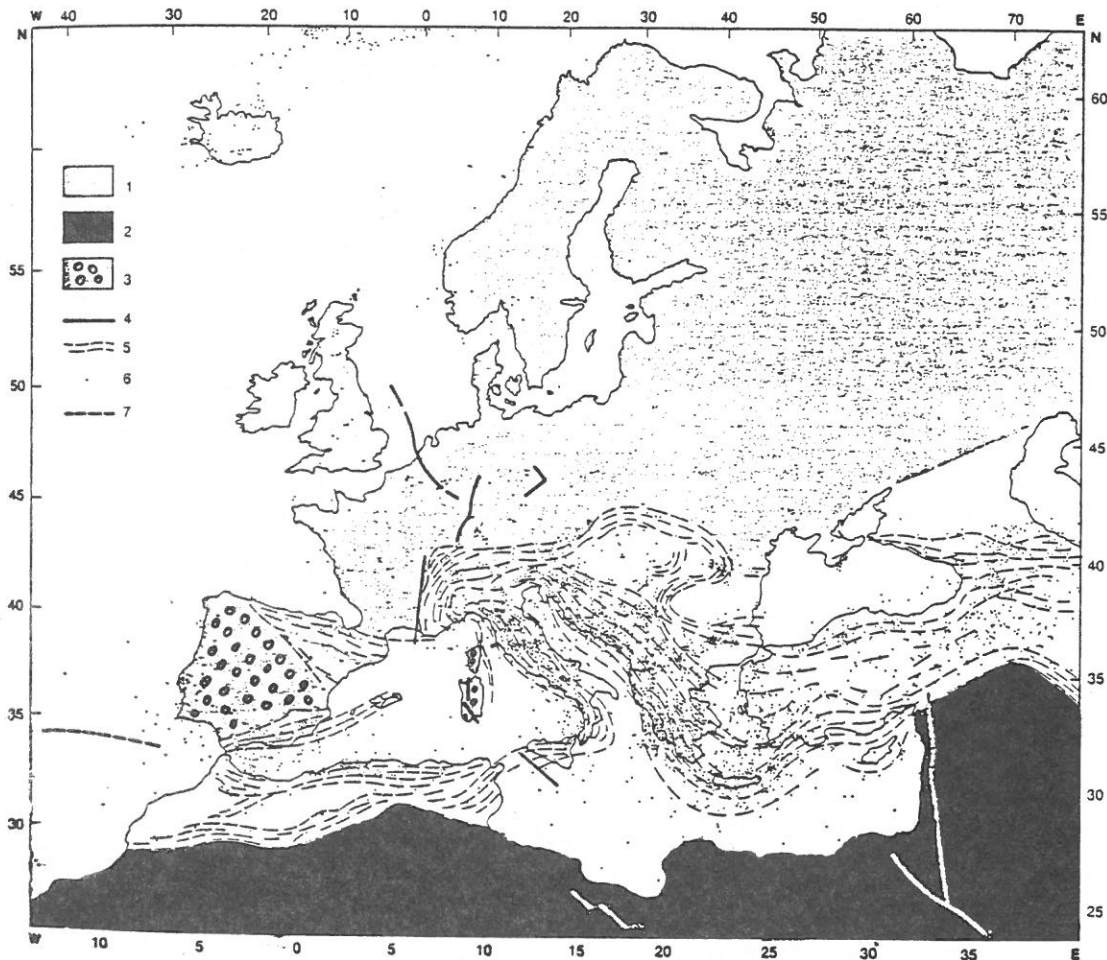


Abb. 4
Überblick über europäische plattentektonische Situation:
(1) Eurasische Platte
(2) Afrikanische Platte
(3) Rotierte iberische Teilplatte und korsio-sardischer Block
(4) Durch große Bruchsysteme erzeugte kontinentale Rifts
(5) Junger Deformationsgürtel
(6) Erdbeben (1901 - 1965)
(7) Bruchlinie Azoren-Gibraltar
/II.8/

nischen mit der Eurasischen Kontinentalplatte die zirkummediterranen Kettengebirge. Doch wenn auch die eigentliche sogenannte alpidische Gebirgsbildung abgeschlossen ist, die Plattenbewegungskräfte sind noch aktiv. Dies bezeugen z. B. die häufigen Erdbeben im mediterranen Deformationsgürtel. Allerdings müssen noch umfangreiche wissenschaftliche Untersuchungen durchgeführt werden, um Umfang und Auswirkungen dieser abklingenden Plattenbewegungen zu klären.

Im Vergleich zur seismischen Aktivität im Deformationsgürtel herrscht in den durch Bruchsysteme erzeugten randlichen kontinentalen Rifts deutlich schwächere seismische Aktivität, was sowohl die Intensität als auch die Häufigkeit betrifft. Fassen wir also zusammen: Die Bundesrepublik Deutschland ist aus plattentektonischer Sicht keine derzeit aktive Region. Sie ist Teil des relativ ruhigen Europäischen Vorlandes, wird allerdings im Südwesten von dem tektonischen Oberrhein-Graben durchzogen. Sowohl in diesem durch quartäre Dehnungsprozesse in der Lithosphäre entstandenen Graben als auch in der Schwäbischen Alb und der Niederrheinischen Bucht ist seismische Aktivität feststellbar, deren geogenes Gefährdungspotential bewertet werden muß.

Den nötigen sachlichen Hintergrund der Bewertung geben die Arbeiten von Ahorner, Murawski und Schneider aus dem Jahre 1972 als auch von Heck und Schick aus dem Jahre 1980.

Die von Ahorner, Murawski und Schneider durchgeführten Untersuchungen erstreckten sich u. a. auf die Niederrheinische Bucht, den Oberrhein-Graben und die Schwäbische Alb als Teilgebiete einer seismotektonischen Traverse von der Doggerbank in der Nordsee bis zum Apennin. Ihre Untersuchungen bezogen sich auf die räumliche Verteilung der Erdbebenherde entlang eines durch die Traverse gelegten Profils und erbrachten u. a. folgende Ergebnisse:

- In der Zahl der Herde und ihrer Anordnung zeigen sich Unterschiede zwischen den verschiedenen Teilgebieten (Niederrheinische Bucht, Oberrhein-Graben, Schwäbische Alb, Alpen, Apennin)
- Die Erdbebenherde beschränken sich in fast allen Gebieten auf die oberen 20 - 25 km der Erdkruste, wobei die stärkste seismische Aktivität im Tiefenbereich zwischen 2 - 12 km anzutreffen ist
- Trotz abweichender Krustenstruktur gegenüber dem nördlichen und südlichen Vorland zeigt die Herdtiefenverteilung im Alpengebiet keine Besonderheiten
- Der aus den seismographischen Messungen abgeleitete rezente Spannungszustand in den Teilgebieten ergibt für die Alpen und das

nördliche anschließende Gebiet bis zur Nordsee ein sehr einheitliches Bild für die Orientierung der horizontalen Hauptspannungen (größte Hauptspannung NW-SE, kleinste Hauptspannung SW-NE), während die Spannungsverteilung im Apennin entgegengesetzt aufgebaut ist /II.1/.

Abb. 5 zeigt die untersuchte seismotektonische Traverse mit ihren Epizentren und geologischen Einheiten.

Als Datenbasis verwendeten Ahorner und seine Kollegen die beiden europäischen Gesamtkataloge von Karnik sowie verschiedene Publikationen als auch Informationen nationaler und internationaler Erdbebendienste. Die erfaßten Erdbeben repräsentieren die Verhältnisse der vergangenen zwei bis drei Jahrhunderte, die den Abbildungen zugrundgelegten Magnituden bezeichnen die Oberflächenwellen-Magnituden (MS).

Abb. 6 zeigt das von den Wissenschaftlern ermittelte geophysikalische Tiefenprofil mit zusätzlichen Schwere-, Energiefluß und P-Wellengeschwindigkeitswerten. Aus den seismotektonischen Auswertungen aller Teilgebiete sollen an dieser Stelle nur die für die Bundesrepublik maßgeblichen erwähnt werden, überschneidende Teilgebiete eingeschlossen:

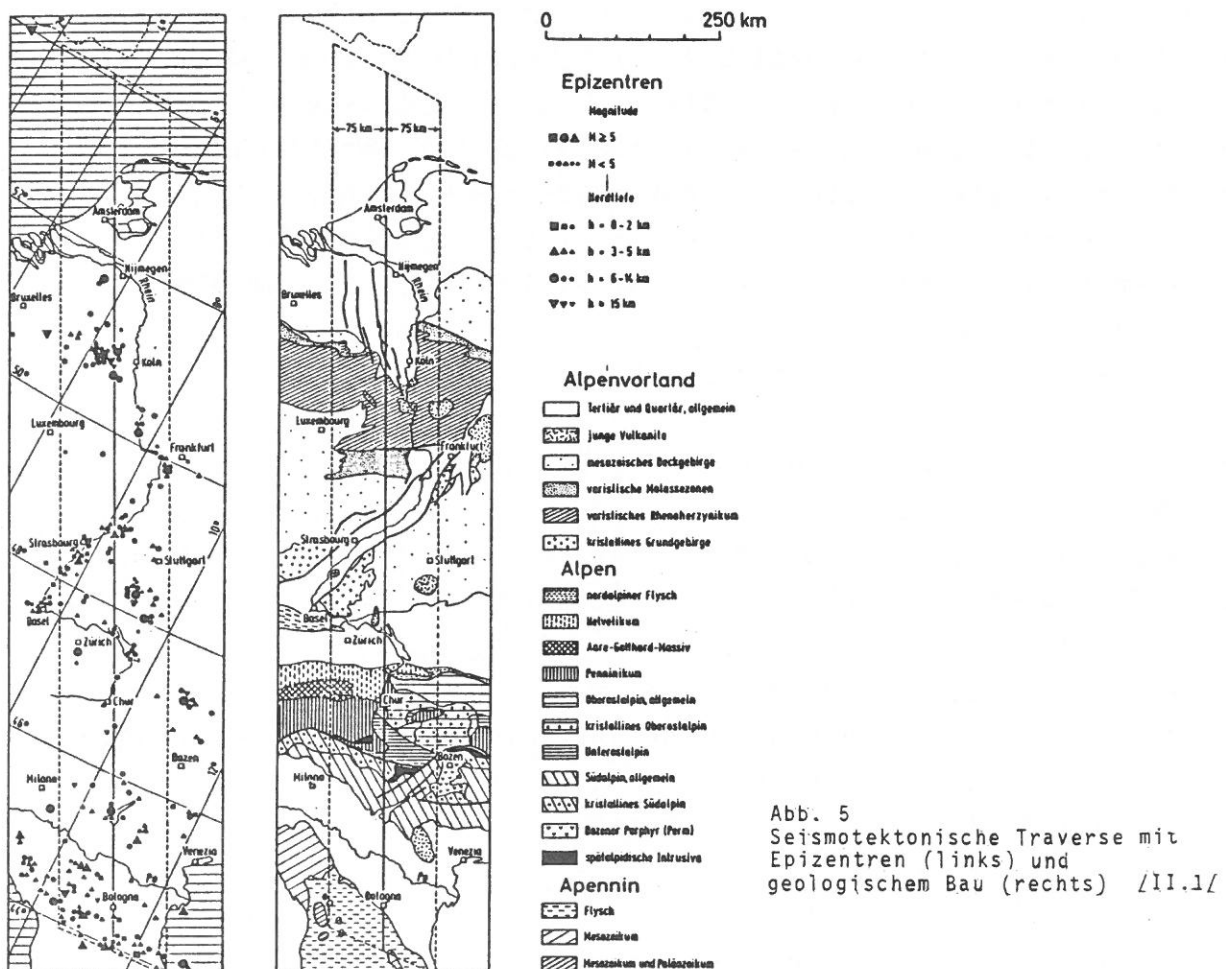


Abb. 5
Seismotektonische Traverse mit
Epizentren (links) und
geologischem Bau (rechts) /II.1/

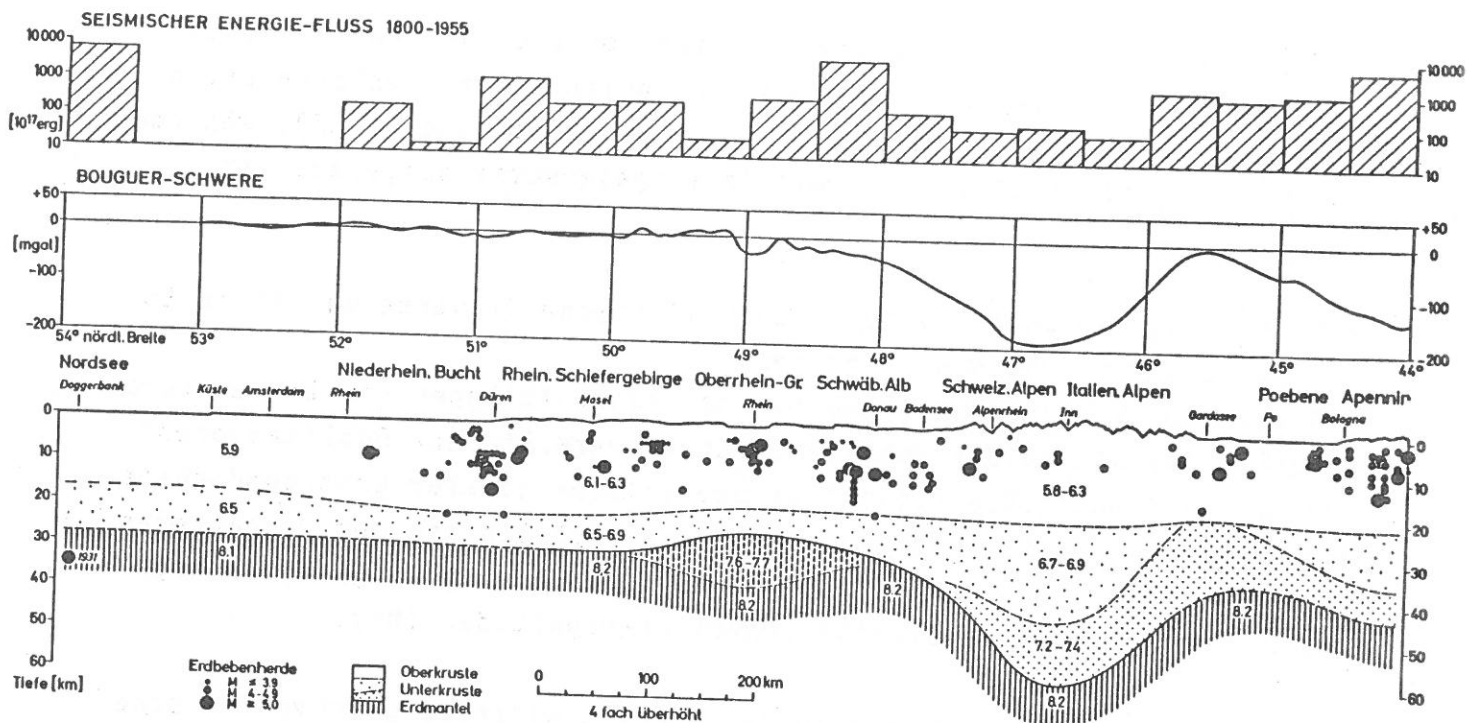


Abb. 6
Geophysikalisches Traversentiefenprofil mit Angabe der P-Wellengeschwindigkeiten (km/s) im Krustenschnitt /II.1/

- Regionale Anordnung

"Im Niederrhein-Gebiet konzentriert sich die Erdbeben-tätigkeit in auffallender Weise auf den Westteil der Niederrheinischen Bucht, wo auch die intensivste quartäre Bruchtektonik festzustellen ist. Die Herde sind teils mit NW-SE verlaufenden jungen Abschiebungszonen, teils mit WNW-ESE streichenden Bruchzonen mit horizontaler Bewegungstendenz verknüpft, die dem Nordwestrand des Rheinischen Schiefergebirges und der Ardennen parallel laufen (...). Am Mittelrhein zwischen Bonn und Bingen markieren einzelne Herde eine seismisch aktive Verbindungszone zum Oberrhein-Graben.

Die Seismizität des Oberrhein-Grabens zeigt ebenso wie die der Niederrheinischen Bucht ein asymmetrisches Verteilungsbild. Die Herde liegen hier zumeist in der stärker eingekippten östlichen Grabenhälfte. Auch der Verlauf der Tiefenlinien physikalisch-stofflicher Zustandsgrößen, wie z. B. des Wärmeflusses, zeigt diese Asymmetrie in Richtung quer zum Graben (...). In der Grabenlängsrichtung läßt sich eine Konzentration der Herde in einigen Häufungsgebieten feststellen. Dieses Bild hat seine Ursachen möglicherweise in Materialunterschieden des präpermischen Untergrundes (...). Die Epizentren östlich vom Oberrhein-Graben ordnen sich zu Linien, die NNE-SSE oder NW-SE streichen. So sind die Herde der Schwäbischen Alb und ihres nördlichen Vorlandes auf NNE verlaufenden seis-

mischen Bruchzonen mit vorwiegend horizontaler Bewegungstendenz angeordnet. Für Oberschwaben läßt sich wegen der geringen Zahl bekannter Herde nur vermuten, daß die seismischen Aktivitäten der gleichen Richtung folgen. Die Epizentren der Zone Kaiserstuhl-Bonndorf-Bodensee, des Freudenstädter Grabens im nördlichen Schwarzwald und des Filder-Grabens bei Stuttgart liegen dagegen auf NW-SE verlaufenden Brüchen (...)" /II.1/.

- Tiefenverteilung der seismischen Aktivität

Die in Abb. 6 gezeigte Tiefenverteilung der Erdbebenherde läßt eine seismisch aktive Oberkruste erkennen, die wiederum Schlüsse auf rezente tektonische Bewegungen in diesem Tiefenbereich zuläßt. Besonders die Konzentration der Erdbebenherde und seismischen Dislokationen (Bewegungsbeträge der während eines Erdbebens gegeneinander mobilisierten Gesteinspartien) in den oberen 20 - 25 km der Erdkruste verdeutlichen, daß in diesem Tiefenbereich zeitunstetige (ruckartige) tektonische Bewegungen vornehmlich zeitstetigen (kriechenden) tektonischen Bewegungen in den unteren Teilen der Erdkruste und tieferen Bereichen gegenüberstehen /II.1/.

- Bewegungsrichtungen und seismotektonisches Spannungsfeld

Stellt man sich den Erdbebenherd als eine Kugel vor und projiziert auf deren Oberfläche die initialen Bewegungsrichtungen (Kompression oder Dilatation) der P-Wellen, so ist es möglich, nicht nur die räumliche Orientierung der seismischen Verschiebungsflächen und den Bewegungssinn angrenzender Schollen anzugeben. Auch die Richtungen der Hauptspannungen, die während des Erdbebens im Herdvolumen gewirkt haben, können bestimmt werden /II.1/.

Abb. 7 gibt einen Überblick der horizontalen Hauptspannungen (Druckspannungen) in der seismotektonischen Traverse und angrenzenden Bereichen. Die aus sogenannten Herdflächenlösungen gewonnenen Erkenntnisse lassen - laut Ahorner - die Behauptung zu, daß die meisten Beben in Mitteleuropa auf seismische Horizontalverschiebungen zurückgehen, sieht man von einigen lokalen Auf- und Abschiebungen und deren Erschütterungen ab. Dabei ist nördlich der Alpen fast überall eine NW-SE-Richtung der größten horizontalen Hauptspannung festzustellen, was - wiederum laut Ahorner - die Beobachtung stützt, daß die "tektonische Druckspannung in der Regel senkrecht zum Verlauf von Faltengebirgen oder ähnlichen tektonischen Strukturen angeordnet ist" /II.10/.

Zur Ermittlung der räumlichen Orientierung der seismischen Verschiebungsflächen und des Bewegungssinns angrenzender Gesteinsschollen be-

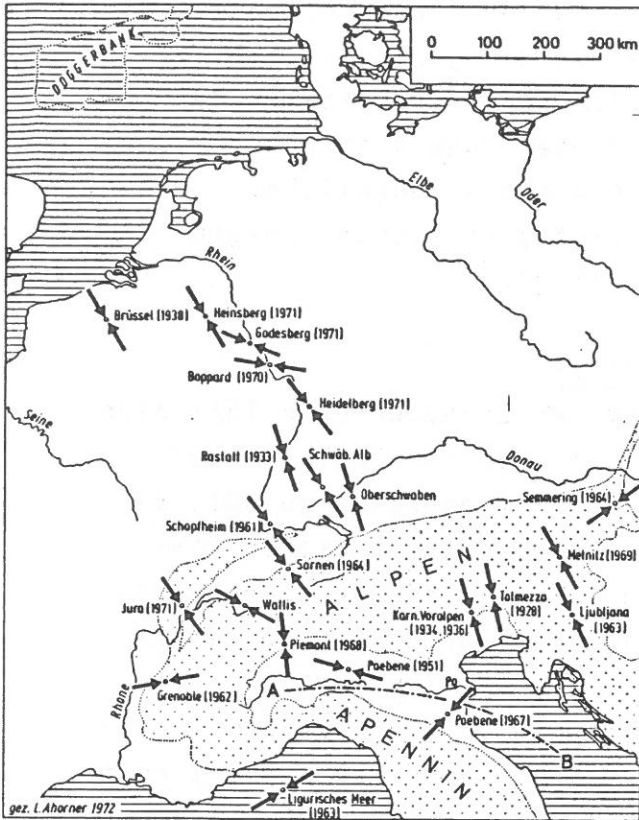


Abb.7
 "Richtungen größter seismotektonischer Hauptspannung im Herdvolumen seismischer Horizontalverschiebungen. Projektion der P-Achsen (Pfeile) auf die Horizontale (...)"
 /11.1/

rücksichtigten Ahorner, Murawski und Schneider außer den Resultaten der Herdflächenlösungen teilweise noch Spektralvergleiche zwischen Raumwellenimpulsen oder zwischen Oberflächenwellen. Außerdem verwendeten sie die Streckung der inneren Isoseisten (Linien gleicher Erdbebenintensität). "Für die Schwäbische Alb und das nördlich anschließende Gebiet läßt sich auf diese Weise zeigen, daß die meisten Beben auf linkshändige Horizontalverschiebungen längs NNW-SSW streichenden und +/- vertikal stehenden Herdflächen zurückzuführen sind (...). Im tieferen Untergrund ist hier wohl eine rheinisch streichende Scherzone von einigen 10 km Länge anzunehmen, die vielleicht erst in jüngster geologischer Vergangenheit in Bewegung geraten ist (...). An der Oberfläche hat sie noch keine klar erkennbaren Spuren hinterlassen. Eine andere aktive Scherzone mit horizontaler Bewegungstendenz, die vorerst nur seismologisch nachweisbar ist, findet sich in Belgien im Grenzbereich zwischen dem varistischen Rheinischen Massiv (Rheinisches Schiefergebirge, Ardennen) und dem kaledonischen Brabanter Massiv. Die Streichrichtung dieser Zone ist WNW-ESE und der Verschiebungssinn rechtshändig (...). Auch die Erdbeben des Oberrhein-Grabens gehen nach den bisher bekanntgewordenen Herdflächen-Lösungen vorwiegend auf horizontale Schollenverschiebungen zurück (...). In der Grabenlängsrichtung ergibt sich eine linkshändige Bewegungstendenz, die sich auch in der Kleintektonik der

Grabenschulter geologisch nachweisen läßt (...). Die Vertikaltektonik des Grabens, die im geologischen Lagerungsbild eine beherrschende Rolle spielt, scheint seismisch nur wenig wirksam zu sein. Die entsprechenden Bewegungen vollziehen sich wohl im wesentlichen zeitstetig und daher aseismisch (...)" /II.1/. Abb. 8 verdeutlicht die Erkenntnisse von Ahorner und seinen Kollegen hinsichtlich der räumlichen Orientierung der seismischen Verschiebungsflächen und des Bewegungssinns angrenzender Gesteinsschollen im Untersuchungsgebiet.

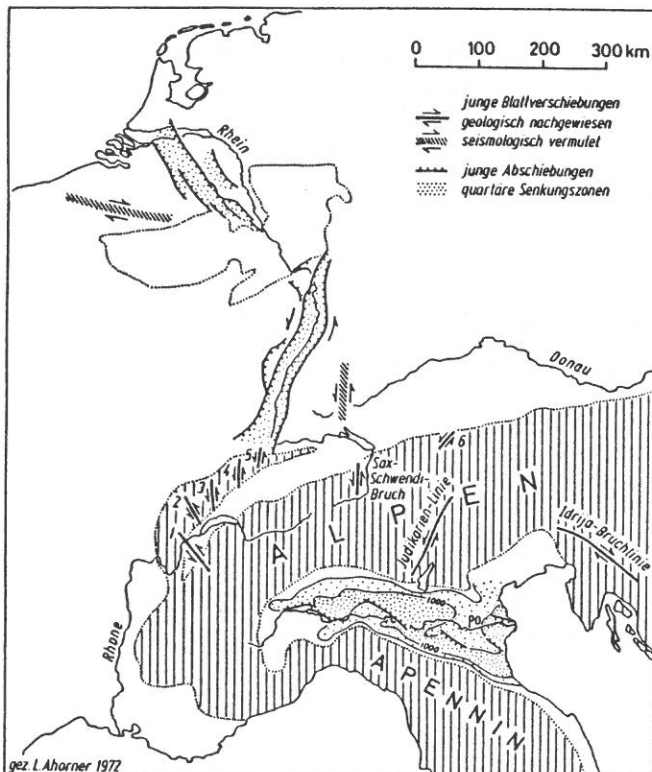


Abb. 8
 "Seismisch vermutete Horizontalverschiebungszonen und junge tektonische Elemente. 1 - 5 = Blattverschiebungen im Faltenjura, 6 = Kesselberg-Blatt" /II.1/

Die von Ahorner, Murawski und Schneider 1972 veröffentlichten Untersuchungsergebnisse haben in ihrer grundsätzlichen Bedeutung bis heute ihre Gültigkeit bewahrt. So bestätigen Heck und Schick 1980 in einer Publikation über das Erdbebengebiet Deutschland die wesentlichen Aussagen von Ahorner und seinen Kollegen hinsichtlich der vorhandenen seismotektonischen Hauptspannungen, seismischen Horizontalverschiebungen und quartären Störungszonen in Mitteleuropa, ergänzen diese Untersuchungsergebnisse aber durch folgende neuere wissenschaftliche Erkenntnisse:

- Die großräumige horizontale Druckspannung in Mitteleuropa, die von den Alpen bis zur Nordsee nachweisbar ist, wird nicht nur durch die vorwiegend nördliche Bewegungsrichtung der Afrikanischen Platte sondern auch durch die gleichzeitige vorwiegend süd-

östlich gerichtete Riftdehnung bei Island verursacht. Die Gesteinseinheiten der mitteleuropäischen Scholle unterliegen deshalb einem zweiseitigen Druck.

- Die räumliche Orientierung der jüngeren Bebenherde auf der Schwäbischen Alb deutet darauf hin, daß sich dort eine relativ neue Scherungs-Bruchzone ausbildet, die diagonal zur großräumigen mitteleuropäischen horizontalen Druckspannung liegt.
- "Der Schwerpunkt der Erdbeben-tätigkeit konzentrierte sich im Mittelalter um das Gebiet Basel, verlagerte sich in den späteren Jahrhunderten in den Raum von Köln, Düren und Aachen und sprang im 20. Jahrhundert fast schlagartig nach Süddeutschland. Es entwickelte sich dort zu der am engsten konzentrierten Erdbebenzone Mitteleuropas überhaupt" /II.13/. Die Ursache dieser großräumigen Verlagerung von Bebenzentren ist auch heute noch unbekannt.

Die geowissenschaftlichen Erkenntnisse über den Oberrhein-Graben, die Schwäbische Alb und die Niederrheinische Bucht lassen sich abschließend wie folgt zusammenfassen:

- Der Oberrhein-Graben gehört vermutlich zu einem ausgedehnten europäischen Störungssystem, dem Rhein-Rhône-Graben. Dieser war schon während des ganzen Mesozoikums vorgezeichnet, seine Entstehung geht vermutlich auf die globaltektonische Atlantiköffnung zurück /II.7/.
- Durch die regionaltektonischen Vorgänge in Mitteleuropa (alpidische Orogenese, Dehnungsprozesse in der eurasischen Platte, heute noch andauernde Bewegung der afrikanischen Platte) war und ist diese Störungszone immer noch aktiv.
- Der seismotektonische Charakter dieser kontinentalen Riftzone und angrenzender Gebiete wurde streckenweise untersucht. Danach lassen sich im Oberrhein-Graben, der Schwäbischen Alb und der Niederrheinischen Bucht tektonische Druckspannungen nachweisen, die vermutlich zu seismischen Horizontalverschiebungen angrenzender Bruchschollen führen. Untergeordnet sind auch seismische Vertikalverschiebungen wie z. B. im Oberrhein-Graben festzustellen /II.1/.
- Die Erdbeben-tätigkeit in den obigen drei Untersuchungsabschnitten geht vorwiegend auf horizontale Schollenverschiebungen zurück /II.1/ und ist - verglichen mit der Seismizität in aktiven Platten-

randgebieten - in der Intensität und der Häufigkeit der Ereignisse deutlich schwächer.

Die Intensität der Erdbeben liegt sowohl in der Niederrheinischen Bucht als auch in der Schwäbischen Alb höher als im Oberrhein-Graben, wobei sich der Schwerpunkt der mitteleuropäischen Erdbebentätigkeit im 20. Jahrhundert nach Süddeutschland verlagert hat. Hier befindet sich heute die am engsten konzentrierte Erdbebenzone Mitteleuropas. Wie kann nun die zweifelsohne vorhandene seismische Aktivität als geogene Gefahrenquelle qualifiziert werden?

5. Geowissenschaftliche Grundlagen einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung

Die Gefährdungen durch Erdbeben für die Umwelt lassen sich in primäre und sekundäre unterteilen. Aus der nachstehenden Aufstellung wird deutlich, welches Zerstörungspotential mit erheblichen Folgen für Menschen, Bauwerke, technische Anlagen sowie für Landschaft, Pflanzen- und Tierwelt bei Erdbeben wirksam werden kann.

Primäre Gefährdungen:

- heftige Erdbewegungen
- kontinuierliche Scherbewegungen ("tectonic creep")

Sekundäre Gefährdungen:

* kurzzeitiger Art

- Erdrutsche, Bergstürze, Schlammströme
- Tsunamis (marine Flutwellen)
- kontinentale Überflutungen
- Feuer

* langzeitiger Art

- Landsenkung, Landhebung (Küstenveränderung)
- Vorflutverlagerung
- Änderung der Lage von Grundwasseroberflächen (z. B. mit Quellaustrittsverlagerungen) /II.2/

Insbesondere durch die Anforderungen einer erdbebensicheren Bauweise von Kernkraftwerken sind weltweit rechnergeschützte Verfahren zur Untersuchung der Wechselbeziehungen zwischen Baugrund und Bauwerk

bezüglich seismischer Erregungen entwickelt worden (s. hierzu Punkt 6.) "Zur Bemessung der Anlage und deren Komponenten dienen sogenannte Sicherheits- und Auslegungserdbeben, die für den jeweiligen Standort unter Einbeziehung deterministischer und probabilistischer Vorgehensweisen ermittelt werden (...). Die Maximalbeschleunigung dieser Erdbeben sowie standardisierte Antwortspektren bzw. geglättete Antwortspektren charakteristischer Zeitverläufe werden den Rechnungen zur Bestimmung der dynamischen Beanspruchung zugrunde gelegt" /II.2/.

Während der Begriff Sicherheitserdbeben das stärkste an einem Standort überhaupt für möglich gehaltene Erdbeben bezeichnet, wird unter Auslegungserdbeben das stärkste am Standort jemals beobachtete Erdbeben verstanden /II.4/ bzw. /II.3/. Gerade in jüngster Zeit gibt es zur Neufassung dieser 'Bemessungserdbeben' Diskussionen und Vorschläge, die jedoch noch nicht abgeschlossen sind; Einflüsse vorgeschlagener Modifikationen auf die Bauwerksauslegung werden z.B. in /III.6/ besonders untersucht. Anstelle einer Diskussion einzelner ingenieurseismischer Kenndaten wird nachstehend ein Überblick über die generelle ingenieurmäßige Vorgehensweise gegeben sowie an einzelnen Stellen kritische Anmerkungen gemacht.

Bevor ingenieurseitig die Auslegung eines Bauwerkes gegen seismische Einwirkungen berechnet werden kann, müssen über den geplanten Standort zahlreiche Studien angefertigt und Untersuchungen durchgeführt werden. Abb. 9 zeigt die wichtigsten Teilschritte solcher Projekte, sie basieren auf den Erfahrungen, die u. a. von Geologen-, Seismologen- und Tiefbauingenieurteams in erdbebenreichen Ländern wie z. B. den USA, Japan und Iran bei der Standortbeurteilung erdbebengefährdeter Bauwerke gemacht wurden.

Die mit den geologischen Studien und bodenmechanischen Untersuchungen beauftragten Geologen haben gegenüber ihren seismologischen Kollegen den Vorteil, daß die Bundesrepublik Deutschland nicht nur kartographisch, sondern auch ingenieurgeologisch gut erschlossen ist. Weiterhin gibt es bewährte Feldmethoden zum Erhalt einer ausreichenden lokalgeologischen Datenbasis. Schon die Auflistung der seismologischen Hauptuntersuchungen in Abb. 9 verdeutlicht dagegen das Dilemma, in dem sich die Seismologen befinden, wenn sie - in Anbetracht der mit erdbebenreichen Ländern vergleichsweise dürftigen Erdbebendatenmenge in der Bundesrepublik Deutschland - ähnlich konkrete standortbezogene Untersuchungsergebnisse liefern sollen.

Allerdings ist es bei lokalen komplizierten Lagerungsverhältnissen oder Bodeninhomogenitäten auch für Ingenieurgeologen und Tiefbau-

UNTERSUCHUNGEN DER SEISMISCHEN RISIKEN FÜR EINEN VORGE-
BENEN STANDORT

1. Geologische Studien

Regionale Tektonik und Deformationserscheinungen
Kartierung aller signifikanten aktivierbaren Stör-
rungen innerhalb 100 km
Klassifizierung der Störungskarten (horizontale
Seitenverschiebung, vertikale Blockverschiebung usw.)
Beweismittel für oder gegen rezente Versetzungen
längs der Störung
Erhebung am Ort im Hinblick auf Erdrutsche, Boden-
setzung oder Überschwemmungserscheinungen

2. Bodenmechanische Untersuchungen

Erhebungsbericht über Bodeneigenschaften im Funda-
mentbereich
Besondere Behandlung instabiler Hänge und allfäll-
iger Verstärkungsmaßnahmen
Allfällige Anpassung der Parameter für starke
Bodenbewegungen

3. Seismische Untersuchungen

Erhebung der örtlichen Erdbeben Geschichte
Kartierung der Epizentren
Ermittlung der Intensität und Magnituden in Abhängig-
keit von der Zeit für den genannten Bereich
Untersuchung aller historischen Informationen über
die Intensität in der unmittelbaren Umgebung
Herstellen von Beziehungen zwischen den Erdbeben
und den kartierten Störungen
Abschätzung künftiger Erdbebenintensitäten (Beschleu-
nigungen, Geschwindigkeiten und Dauer) in der unmit-
telbaren Umgebung mit Angaben der Auftretenswahr-
scheinlichkeit
Auswahl der Aufzeichnungen über starke Bodenbewegun-
gen aus früheren Erdbeben, soweit sie die wahrschein-
lichen Intensitäten gut wiedergeben

Abb. 9
Geowissenschaftliche Untersuchungen
als Grundlage einer standortbezogenen
seismischen Risikoanalyse
/II.3/

ingenieure schwierig, exakte Voraussagen über das jeweilige bau-
grunddynamische Verhalten zu machen, da dessen Nichtlinearität
auch durch Feldversuche nur näherungsweise bestimmt werden kann.
Präzise Werte über Federwirkung und Dämpfungseigenschaften der
standortspezifischen Böden bei starken Erdbeben sind nur durch
physikalische Messungen während dieser Beben erhältlich. Aus die-
sem Grund sind die baugrunddynamischen Vorgaben für erdbebengefähr-
dete Bauwerke in solchen Fällen mit Sicherheitsreserven ("konser-
vative Annahmen") versehen.

Ebenso wie die geologischen Arbeiten durch ingenieurgeologische und
tektonische Karten sowie durch Sonderkarten unterstützt werden,
dienen verschiedene Erdbebenkarten der seismischen Standortanalyse.
Jedoch ist die Realitätsnähe und damit auch die Zuverlässigkeit von
Erdbebenkarten - besonders in kleinmaßstäblichen Dimensionen - stark
von der Güte und dem Umgang der ihnen zugrunde liegenden Datenbasis
abhängig. Als wichtigste Erdbebenkarten gelten:

- Seismische Intensitätskarten. Auf ihnen werden die gemeldeten In-
tensitäten historischer Beben und Isoseisten eingetragen.
- Erdbebenzonenkarten. Darstellung des Erdbebenrisikos als rela-

tive Größe (Zonenklassifizierung durch willkürliche numerische oder alphabetische Skalen, z. B. Zone 0 = kein Risiko und Zone 3 = höchstes Risiko) oder explizit als Wahrscheinlichkeit (wann wird an einer bestimmten Stelle eine vorgegebene Erdbebenintensität innerhalb einer festgelegten Zeitdauer - von 50 oder 100 Jahren - überschritten?). Grundlage der Zonenkarten sind geologische Faktoren, Erdbebenhäufigkeiten und Magnituden, Intensitäten historischer Beben sowie subjektive Extrapolationen von Erdbeben aus anderen Teilen der Welt /II.3/.

- Beschleunigungswertekarten. In den USA als Grundlagen erdbebengerechter Baumaßnahmen entwickelt (aufbauend auf der Korrelation zwischen Bodenbeschleunigung und seismischer Intensität aus ingenieurmäßiger Sicht). Darstellung des Erdbebenrisikos als Wahrscheinlichkeit. Auf ihnen wird die wahrscheinliche Erdbebenstärke in Form von effektiven Spitzenbeschleunigungswerten mittels Isolinien zum Ausdruck gebracht. "Die effektive Spitzenbeschleunigung kann man sich als die maximale Beschleunigung bei einem Erdbeben auf festem Untergrund vorstellen, wobei hohe Frequenzen, die größere Bauwerke nicht beeinflussen (große Häuser, Fabriken, Dämme usw.), nicht berücksichtigt werden" /II.3/.

Generell wird die aus der Versicherungswirtschaft bekannte probabilistische Risikozonierung eines Landes den regionalseismologischen und zeitlichen Unterschieden der Erdbebenentätigkeit in den meisten Ländern gerecht. Bei der Erstellung entsprechender Karten müssen aber immer regionale geologische Faktoren und die Extinktion (Abfall der mittleren Intensität bei zunehmender Entfernung vom Bebenherd) berücksichtigt werden. Bei der Entnahme von probabilistischen Werten für Bauplanungen aus bereits vorhandenen Karten liefern die eingangs erwähnten geologischen und bodenmechanischen Untersuchungen wertvolle Korrekturwerte zur Berechnung standortbezogener Vorgaben.

Abb. 10 zeigt eine von Ahorner und Rosenhauer für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland erstellte probabilistische Intensitätskarte. Es wird bei Betrachtung der Abbildung deutlich, daß die Karte den in Punkt 4 beschriebenen Untersuchungsergebnissen über die Niederrheinische Bucht, den Oberrhein-Graben und die Schwäbische Alb gerecht wird. Außerdem sind in der Karte neuere regionalseismologische Erkenntnisse der deutschen Erdbebendienste enthalten. Um sich eine Vorstellung der Intensitätsbandbreite machen zu können, seien hier drei Beschreibungen aus der MSK-Skala wiedergegeben:

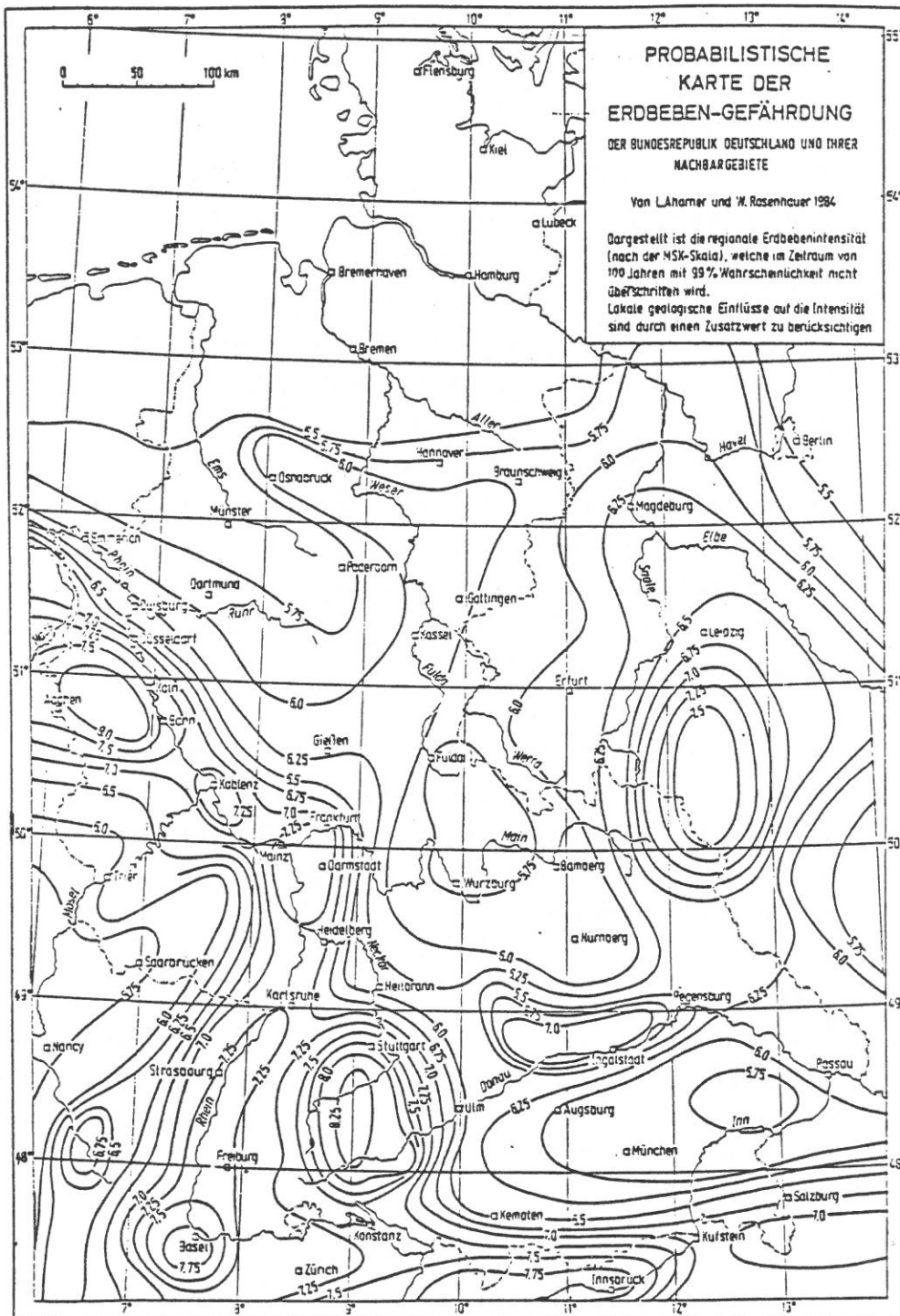


Abb. 10
Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik
Deutschland und ihrer Nachbargebiete
(entnommen /II.6/)

- MSK-Intensität VI (Erschrecken)

* Mensch und Umgebung: Von den meisten in Häusern und im Freien befindlichen Personen gefühlt. Viele in den Häusern werden erschreckt und laufen ins Freie. Einzelne Personen verlieren das Gleichgewicht. Haustiere laufen aus den Ställen. In wenigen Fällen können Geschirr und Gläser zerbrechen

und Bücher herabfallen. Unter Umständen werden Möbelstücke von der Stelle gerückt. Kleine Turmglocken schlagen an.

* Bauwerke aller Art: Bei einzelnen Gebäuden der Bauart B (normale Ziegelbauten, Großblock- und Fertigteilbauten, Fachwerkbauten, Natursteinbauten aus bearbeiteten Steinen) und vielen der Bauart A (Steinbauten aus Feldsteinen, ländliche Bauten, Bauten aus Luftziegel, Lehmbauten) entstehen Schäden der Kategorie 1 (feine Risse im Verputz, Abbröckeln kleiner Putzteile), bei einzelnen der Bauart A Schäden der Kategorie 2 (kleine Mauerrisse, größere Putzteile fallen ab, Abgleitungen von Dachpfannen, Risse an Schornsteinen, Teile von Schornsteinen fallen herab).

* Natur: * In einzelnen Fällen werden Risse in feuchtem Boden bis 1 cm Breite, im gebirgigen Gelände Erdbeben, Veränderungen der Wasserführung von Quellen und Änderungen des Brunnenwasserstandes beobachtet.

- MSK-Intensität VII (Schäden an Gebäuden)

* Mensch und Umgebung: Die meisten Personen erschrecken und flüchten ins Freie. Viele haben Mühe, nicht umzufallen. Das Beben wird von Personen in fahrenden Autos bemerkt. Große Glocken schlagen an.

* Bauwerke aller Art: Bei vielen Gebäuden der Bauart C (verstärkte Bauten, Holzhäuser) entstehen Schäden der Kategorie 1, bei vielen Häusern der Bauart B Schäden der Kategorie 2. Viele Häuser der Bauart A erleiden Schäden der Kategorie 3 (große und tiefe Mauerrisse, Abbrechen von Schornsteinen), einzelne Schäden der Kategorie 4 (Spalten im Mauerwerk, Bauteile können einstürzen. Die einzelnen Bauteile verlieren ihren Zusammenhang. Einsturz von Innenwänden sowie von Wandfüllungen des Skeletts). Die Nähte von Rohrleitungen werden beschädigt. Schäden an Steinmauern.

* Natur: In einzelnen Fällen Erdbeben der Fahrdämme

an steilen Hängen, auf den Wegen Risse. In Gewässern werden Wellen aufgeworfen und das Wasser durch aufgewirbelten Schlamm getrübt. Brunnen ändern ihren Wasserstand, Wasserführung von Quellen ändert sich. In einzelnen Fällen entstehen neue oder versiegen Wasserquellen. Vereinzelt gleiten kiesige und sandige Uferteile ab.

- MSK-Intensität VIII (Zerstörungen an Gebäuden)

* Mensch und Umgebung: Schrecken und Panik entstehen, auch Kraftfahrer werden erschreckt. Einzelne Zweige von Bäumen brechen ab. Selbst schwere Möbel werden von der Stelle bewegt, z. T. umgestürzt. Ein Teil der Hängelampen wird beschädigt.

* Bauwerke aller Art: Viele Gebäude der Bauart C erleiden Schäden der Kategorie 2, vereinzelt Kategorie 3. Viele Gebäude der Bauart B erleiden Schäden der Kategorie 4. Viele Gebäude der Bauart A erleiden Schäden der Kategorie 4 und einzelne der Kategorie 5 (völliger Einsturz von Gebäuden). Einzelne Brüche von Rohrleitungsnähten. Denkmäler und Statuen werden verschoben bzw. verdrehen sich, Grabsteine fallen um, Steinmauern stürzen ein.

* Natur: Kleine Erdbeben bei Vertiefung und Straßendämmen an steilen Böschungen. Im Boden entstehen Risse von einigen cm Breite, neue Wasserbecken entstehen. Quellen entstehen bzw. versiegen. Vielfach ändern sich Wasserführung und Wasserstand /II.3/.

Da die in der Abb. 10 dargestellte Karte nicht nur von erheblicher Bedeutung für die seismologische Einordnung der Bundesrepublik Deutschland ist, sondern auch - als Grundlage der Entnahme von Einhängewerten - standortbezogener ingenieurtechnischen Modellrechnungen zur Auslegung erdbebengefährdeter Bauwerke dient, soll die Kartenentstehung hier kurz charakterisiert werden:

- Datenbasis und Voruntersuchungen

Als wichtigste Datenbasis für die Seismizitätsanalyse und die

seismologische Regionalisierung verwendeten Ahorner und Rosenhauer den vor der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unter der Federführung von Leydecker und unter Mitarbeit aller deutschen seismologischen Forschungsinstitute zusammengestellten Erdbebenkatalog (welcher jährlich ergänzt wird). Der der Datenbasis zugrunde liegende Zeitraum reicht von etwa 1000 n. Chr. bis 1979. Um die Datenbasis zu vergrößern und - geowissenschaftlich völlig zu recht - regionale Überschneidungen mit Nachbarstaaten zu berücksichtigen, wurde der Leydecker-Katalog durch Erdbebenaten aus Belgien, den Niederlanden, Frankreich, der Schweiz, Österreich und aus Gebieten jenseits der Elbe ergänzt. Die so verbreiterte Erdbebenatenbasis repräsentiert 1732 Erdbeben des Richter-Magnitudenbereichs $ML = 2 - 6,5$ und des MSK-Intensitätsbereichs $I_0 = II - X$, wobei die stärksten Beben nicht im Bereich der Bundesrepublik Deutschland, sondern im benachbarten Ausland ausgelöst wurden /II.6/. In der Datenbasis wurden neben tektonischen- und Einsturzbeben auch bergbaulich bedingte Erschütterungen erfaßt.

Um ein einheitliches System von empirischen Beziehungen zur Umrechnung der Herdparameter zu erhalten, wurde eine Voruntersuchung mit den Daten von 19 gut beobachteten Erdbeben des Zeitraums 1846 - 1965 durchgeführt. "Von wesentlicher Bedeutung für die Ermittlung des lokalen und regionalen Erdbebengefährdungspotentials ist eine möglichst zuverlässige und über den Beobachtungszeitraum möglichst einheitliche stärkemäßige Skalierung der Erdbeben im Hinblick auf die makroseismische Intensität im Epizentrum, die Lokalbebenmagnitude und auf die Abnahme der makroseismische Intensität mit der Entfernung vom Epizentrum. Außerdem sind Abschätzungen von bestimmten seismotektonischen Herdparametern, welche den Frequenzgehalt der abgestrahlten seismischen Wellen beeinflussen (z. B. Herdmoment, Radius der Herdfläche), von Interesse" /II.6/.

Mit Hilfe der durch die Voruntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse konnten Ahorner und Rosenhauer nicht nur bereits bestehende Formeln an die spezifischen Eigenheiten der mitteleuropäischen Erdbebengebiete anpassen und sich damit entsprechend modifizierte "Werkzeuge" schaffen. Auch die der Karte zugrundeliegende Datenbasis konnte nun nach einheitlichen Gesichtspunkten skaliert und damit optimale Ausgangsbedingungen für eine seismologische Regionalisierung auf probabilistischer Basis geschaffen werden /II.6/.

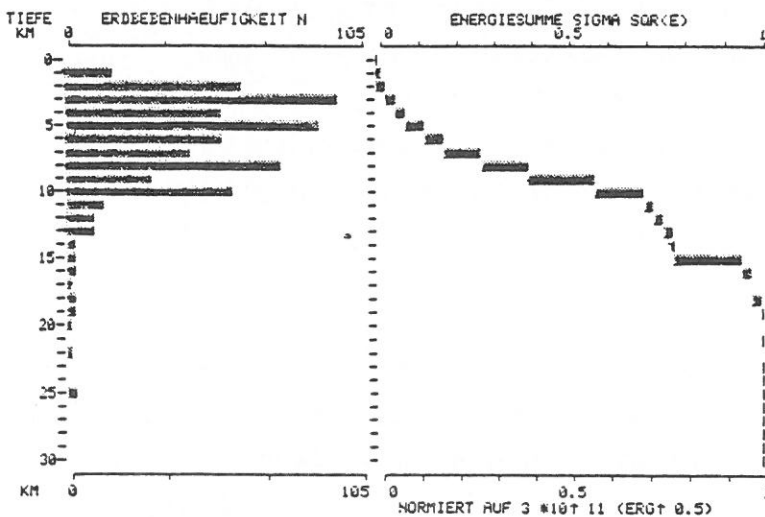
- Seismizitätsanalyse

"Ziel der Seismizitätsanalyse ist es, durch regionale Magnituden-Häufigkeitsverteilungen und durch Herdtiefenverteilungen die Wahrscheinlichkeit für einen Herd an einem beliebigen Punkt des Krustenvolumens in einem die Bundesrepublik umfassenden Gebiet modellmäßig festzulegen" /II.6/.

Für dieses selbstgesteckte Ziel wurde die Bundesrepublik in 30 meist rechteckförmige Zählgebiete aufgeteilt. Mit geeigneten Computerprogrammen erfolgte dann die Bearbeitung der vorhandenen Datenbasis. Es entstanden Listen der Magnitudenextrema sowohl für die einzelnen Teilgebiete (= Zählgebiete) als auch für das Gesamtgebiet. Unter Einsatz der Extremwertstatistik wurden die Listen anschließend sowohl für flächenhafte, zeit- als auch herdtiefenmäßige Berechnungen verwandt. Abb. 11 zeigt, warum dabei Herde mit Herdtiefen größer als 15 km eine praktisch vernachlässigbare Wahrscheinlichkeit haben (s. auch Punkt 4), eine Tatsache, die Ahorner und Rosenhauer zur Änderung des bisher verwendeten Modells bewegte.

TIEFENMÄSSIGE VERTEILUNG DER ERDBEBENHÄUFIGKEIT UND ENERGIESUMME

PROGRAMM 'SEIS TIEFE'
 REGION: BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND GESAMT BRD
 ZEITBEREICH VON 1800 BIS 1979
 RECHTSWERT VON 250 BIS 250
 HOCHWERT VON 5200 BIS 6000
 MAGNITUDE VON 0.0 BIS 7.0
 QUALITÄT FUER HERDTIEFE: +/-5 KM
 EREIGNISTYP: T



ABTEILUNG FUER ERDBEBENGEOLOGIE, GEOLOGISCHES INSTITUT, UNIVERSITÄT ZU KOELN

Abb. 11
 "Beispiel für die Verarbeitung der Daten des Erdbebenkataloges. Dargestellt ist für alle Erdbeben des Kataloges mit genauer bekannter Herdtiefe (Herdtiefenfehler kleiner oder gleich 5 km) und tektonischer Entstehung (Ereignistyp T) die tiefenmäßige Verteilung der Erdbebenhäufigkeit N (pro Tiefenintervall von 1 km) und der seismischen Energieauslösung (Summe der Quadratwurzeln bei der den einzelnen Erdbeben freigesetzten seismischen Energie). Man erkennt, daß sich die seismische Aktivität in Mitteleuropa ganz überwiegend auf den Bereich der oberen Erdkruste (oberhalb 15 km Tiefe) konzentriert" /II.6/

Die Ergebnisse der Seismizitätsanalyse schufen schließlich ein verlässliches Seismizitätsmodell für Mitteleuropa, das "eine gut abgesicherte Basis in der erforderlichen Detaillierung für regionale probabilistische seismische Standortanalysen darstellt" /II.6/.

- Probabilistische Standortanalyse

"Die Grundlage einer seismischen Risikoanalyse bildet die Häufigkeitsverteilung der am Standort zu erwartenden Erschütterungsintensitäten I. Diese wird aufgrund der historischen seismischen Ereignisse und der seismotektonischen Situation unter Verwendung statistischer Methoden ermittelt. Die Intensitätsangaben sind in realistische physikalische Parameter umzusetzen, die als Lastannahmen in baodynamischen Berechnungen Eingang finden können" /II.6/.

Auf das von Ahorner und Rosenhauer zur probabilistischen Standortanalyse verwendete Monte-Carlo-Simulationsverfahren PSSAEL sowie auf einzelne ihrer methodischen Schritte soll hier nicht eingegangen werden. Zum besseren Verständnis der von den beiden Wissenschaftlern erstellten Seismizitätskarten (die in Abb. 10 gezeigte ist nur eine von dreien im Maßstab 1:1 Million) sind allerdings einige Informationen angebracht:

- * Durch die mit Hilfe der Probabilistik durchgeführte Simulation von Erdbebenherden wird die "standortbezogene Eintrittsrate für die makroseismische Intensität unter Verwendung des großräumigen Seismizitätsmodelles für mehr als 700 rasterartig über das Gebiet der Bundesrepublik verteilte Standorte berechnet. Die Rasterpunkte sind im Normalfall 25 km voneinander entfernt. In Gebieten mit sehr niedriger Seismizität (z. B. Norddeutschland) wird die Maschenweite entsprechend vergrößert, in Gebieten mit hoher Seismizität wird mit kleineren Maschenweiten gearbeitet" /II.6/.

- * Die durch die Berechnungen erhaltenen probabilistischen Seismizitätskarten berücksichtigen gegenüber früheren Karten nicht nur die größten zu erwartenden Intensitäten in den verschiedenen Erdbebenzonen sondern auch die Häufigkeit, mit der bestimmte Intensitäten auftreten. "Ein Standort, an dem die Intensität VIII MSK statistisch gesehen nur einmal in 1000 Jahren vorkommt, ist bezüglich seines Gefährdungspotentials anders zu beurteilen als ein Standort, wo dieselbe Intensität alle 50 Jahre zu erwarten ist. Der Gesichtspunkt der Erdbebenhäufigkeit ist bei den früheren Erdbebenzonenkarten nicht oder nur unzureichend berücksichtigt worden" /II.6/.

- * In den Berechnungen wird der aktuelle geowissenschaftliche Erkenntnisstand über die Herdmechanismen verwendet. Als Beispiele seien hier die Beziehungen zwischen der Magnitudengröße und der Herdtiefe sowie das Wandern von Erdbebenherden angeführt.
- * Lokale geologische Einflüsse (z. B. Schichtenaufbau des Standortuntergrundes oder das Vorhandensein größerer tektonischer Störungszonen in Standortnähe) müssen bei einer standortbezogenen Bewertung des seismischen Gefährdungspotentials zusätzlich durch ingenieurgeologische und bodenmechanische Untersuchungen ermittelt werden. Sie finden dann als Korrekturwerte Eingang in die entsprechenden lokalen Intensitätsangaben.

6. Ingenieurmäßige Grundlagen einer erdbebensicheren Bauwerksauslegung

Aufbauend auf die geowissenschaftlichen Erkenntnisse bedarf es ingenieurseitig der Umsetzung des zu definierenden Lastfalls 'Erdbeben' für eine sichere Bauwerksauslegung. Hierbei sind üblicherweise die DIN 4149 'Bauten in deutschen Erdbebengebieten - Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten' zugrunde zu legen, beispielsweise auch in Verbindung mit dem Entwurf des Eurocodes Nr. 8 der Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Sicherheitstechnisch relevante Bauteile sind in diesen Codes nicht enthalten (s. z. B. Vorbemerkung); für Kernkraftwerke gilt hier die KTA-Regel 2201, die sich aktuell in der Revisionsphase befindet.

Im Grundsatz handelt es sich für den bemessenden Ingenieur um eine Lastermittlung aus gegebenen ingenieurseismischen Kenndaten wie z. B.

- Magnitude
- Intensität
- Dauer, Amplitude bzw. Frequenzgehalt
- Maximalbeschleunigung.

Hierbei richtet sich die Komplexität der seismischen Vorgaben selbstverständlich nach dem Bemessungsziel, das Art und Umfang des erdbebensicheren Nachweises vorgibt. Je nach Klassifizierung des technischen Systems sind folgende Berechnungswege zugelassen:

Quasistatische Berechnung

"Die Erdbebenbeanspruchungen werden ermittelt, indem man auf das Tragwerk ein System horizontaler Kräfte ansetzt, die parallel zur

angenommenen Erdbebenrichtung wirken und an den Schwerpunkten der einzelnen Masse angreifen" /III.2/.

Die Ermittlung dieser Horizontalkräfte erfolgt durch einfache Produktbildung der betreffenden Massenanteile mit dem zugehörigen Beschleunigungswert, der beispielsweise für die entsprechende Erdbebenzone aus DIN 4149 zu entnehmen ist.

Dieses Berechnungsverfahren ist für geringere Erdbebenbeanspruchungen anwendbar oder auch für untergeordnete Systemklassifizierungen.

Antwortspektrenverfahren (Response Modal Analysis)

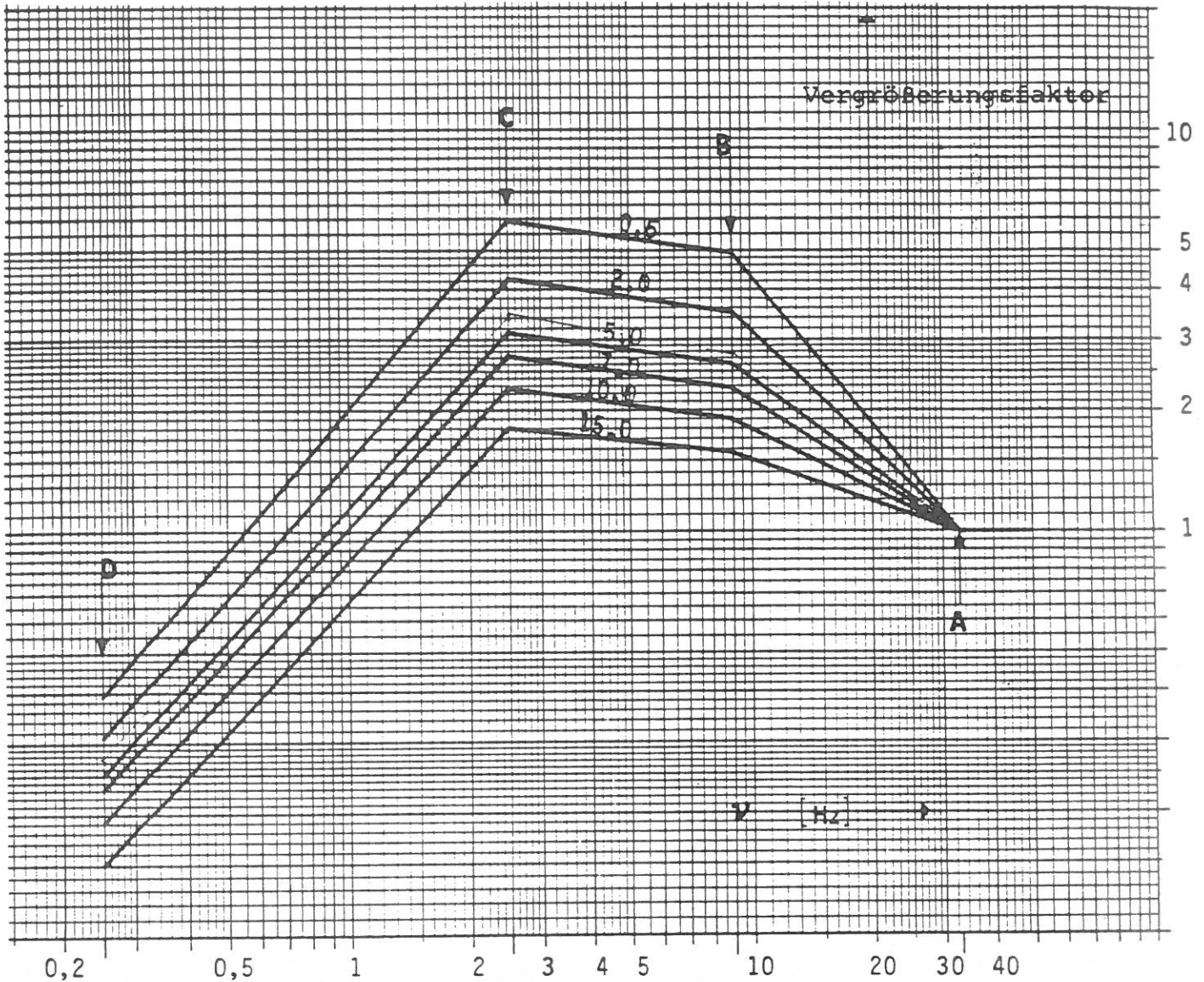
Das in der Praxis "gebräuchlichste, dem derzeitigen Stand der Technik entsprechende Berechnungsverfahren ist das Antwortspektrenverfahren. Sein entscheidender Grundgedanke ist die Aufspaltung in zwei Arbeitsschritte.

Der erste Schritt umfaßt die Untersuchung von Erdbebenwirkungen auf das einfachste dynamische System, nämlich den Einmassenschwinger mit verschiedenen Eigenfrequenzen bzw. Eigenschwingzeiten. Werden die für den jeweiligen Schwinger ermittelten Größtwerte wie Auslenkung, Geschwindigkeit oder Beschleunigung in Abhängigkeit der Schwingzeit (oder Frequenz) angegeben, erhält man sog. Antwortspektren der betreffenden Größen. Sind Antwortspektren für eine genügend große Anzahl von Erdbebenzeitverläufen bekannt, kann unter Berücksichtigung statistischer Überlegungen eine geglättete Einhüllende für diese Spektren ermittelt werden. Damit ist die ungünstigste Erdbebeneinwirkung auf jeden beliebigen Einmassenschwinger bekannt" /III.4/.

Abb. 12 zeigt ein Freifeld-Standardantwortspektrum für verschiedene Dämpfungswerte, das - nach USAEC-Spektren modifiziert - für deutsche Verhältnisse anwendbar ist.

"Der zweite Schritt muß den Übergang vom Einmassenschwinger zum wirklichen Bauwerk bewerkstelligen. Hierzu werden die Bauwerksauslenkungen nach Eigenformen entwickelt und die Größtwerte der generalisierten Koordinaten der einzelnen Eigenformen mit Hilfe der im ersten Arbeitsschritt ermittelten Antwortspektren bestimmt. Danach werden die Gesamtwerte von Verschiebungs- und Schnittgrößen durch Überlagerung der Anteile der einzelnen Eigenformen nach Näherungsbeziehungen (z. B. statistische Überlagerungsformeln unter Berücksichtigung spezifischer Frequenzeigenschaften des Systems) ermittelt.

Der große praktische Vorteil des beschriebenen Verfahrens ... besteht darin, daß der erste Arbeitsschritt nur ein einziges Mal auszuführen ist, da er für sämtliche Bauwerke gültige Antwortspektren liefert, die in Bauvorschriften angegeben werden können. Sind solche genormten

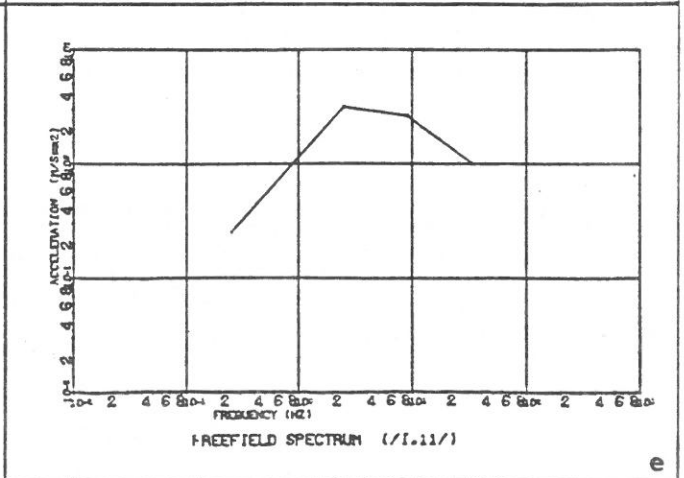
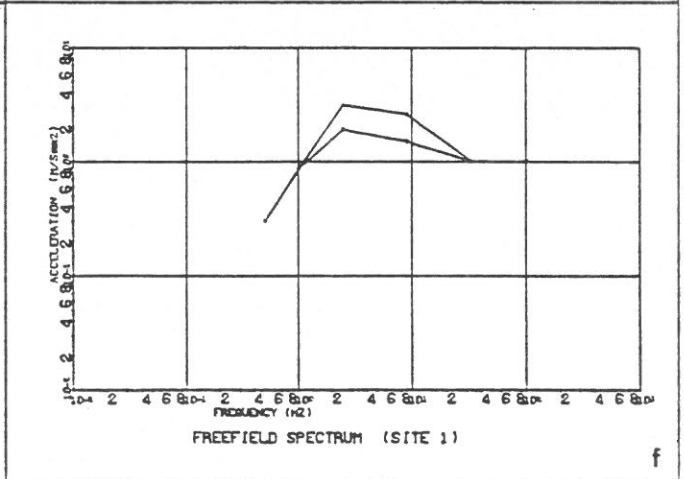
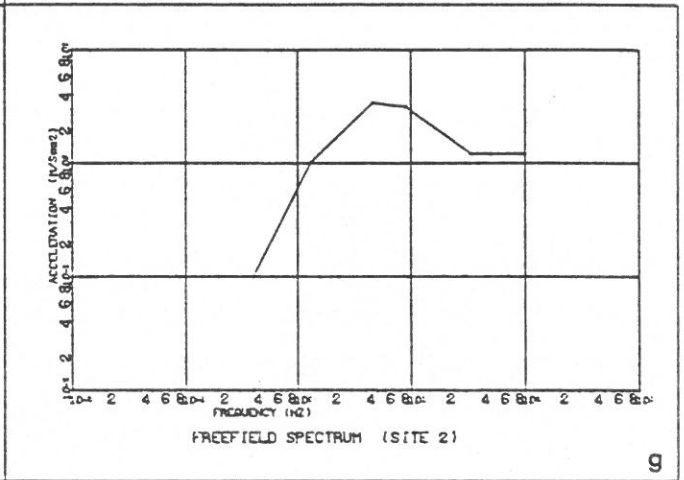
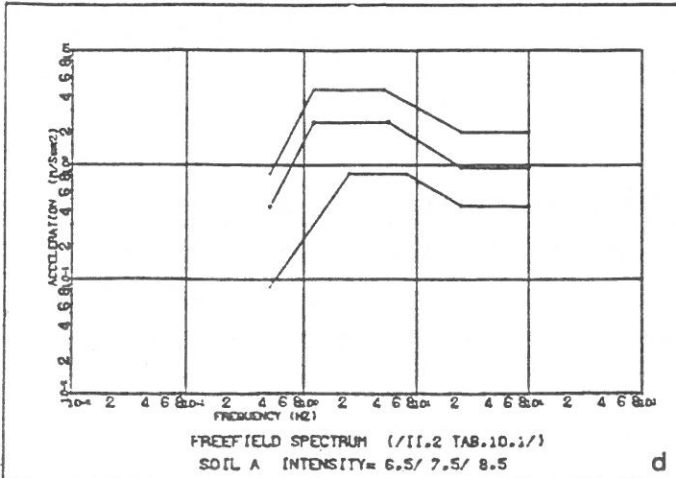
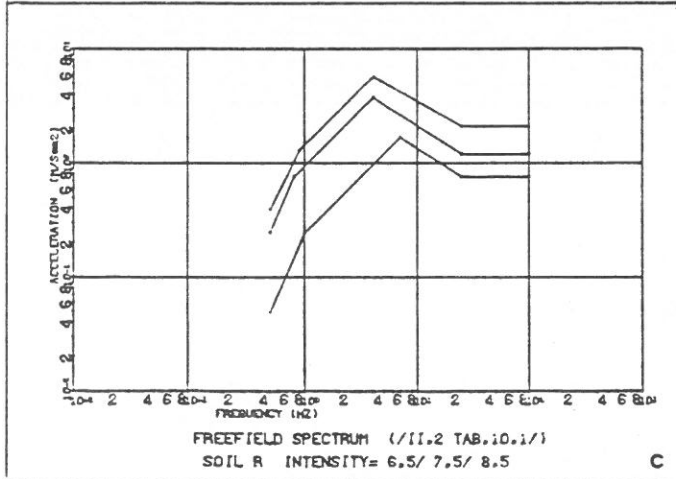
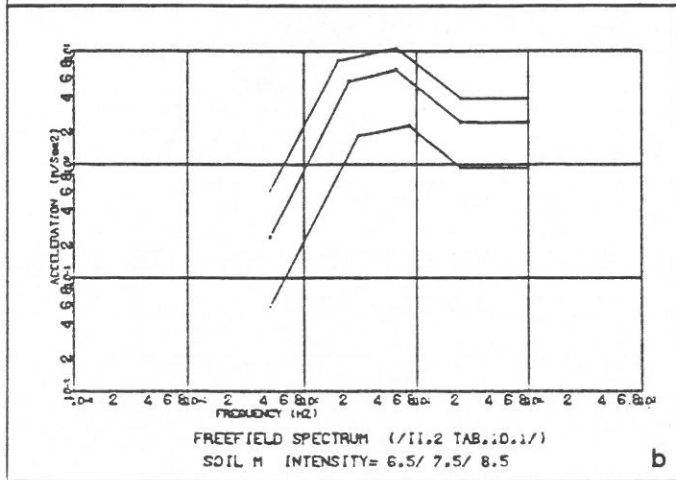
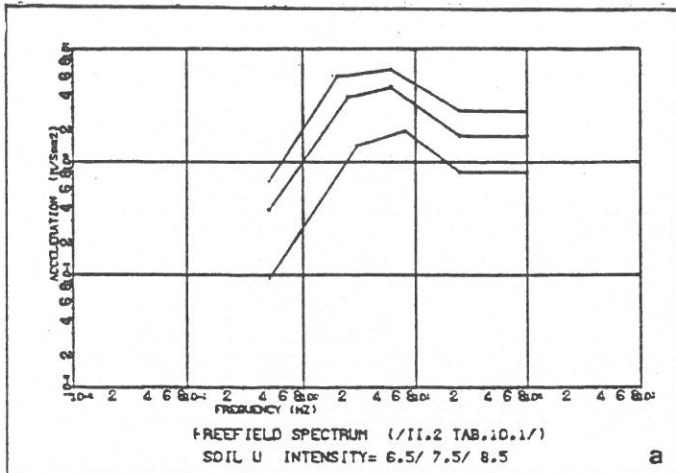


Prozent der kritischen Dämpfung	Vergrößerungsfaktoren für den Einhängewert bei einzelnen Kontrollpunkten			
	A (33 Hz)	B (9 Hz)	C (2,5 Hz)	D (0,25 Hz)
0,5	1,0	4,96	5,95	0,39
2,0	1,0	3,54	4,25	0,31
5,0	1,0	2,61	3,13	0,25
7,0	1,0	2,27	2,72	0,23
10,0	1,0	1,90	2,28	0,19
15,0	1,0	1,55	1,80	0,15

Abb. 12
Freifeld-Standardantwortspektren
(modifizierte USAEC-Spektren)
aus /III.10/

Antwortspektren vorhanden, kann die Erdbebenrechnung für ein konkretes Bauwerk auf den zweiten Arbeitsschritt beschränkt werden. Das Verfahren hat den Nachteil, daß man nur die Größtwerte der den einzelnen Eigenformen entsprechenden Verschiebungs- und Schnittgrößenanteile erhält, nicht aber ihre Phasenbeziehung. Daher können durch Überlagerung dieser Anteile keine genauen, sondern nur wahrscheinliche Größtwerte der Gesamtschnittgrößen ermittelt werden" /III.4/.

Abb. 13
 Beispiele für Bodenantwortspektren aus /III.6/
 a - d bodenspezifische intensitätsabhängige
 Spektren
 e Standard-Spektrum
 f - g Standort-Spektren



Grundsätzlich stellt das Antwortspektrenverfahren eine vollständige dynamische Analyse dar, jedoch wird man sich bei deren Realisierung i. a. auf die ersten 20 - 30 Eigenformen bzw. -frequenzen beschränken, da höhere Schwingungen zum Beanspruchungszustand keinen merk- baren Beitrag mehr leisten. Geht man davon aus, daß bei 'gutmütigen' Systemen die erste Eigenform etwa 90 - 95 % des Gesamtbeitrages liefern kann, so ist - je nach Klassifizierung des Bemessungsziels bzw. des technischen Systems - eine vereinfachte Berechnung zulässig. "Bei dieser Berechnung wird das Antwortspektrenverfahren auf die Grundschwingungsform beschränkt und die gesamte Bauwerksmasse als Ersatzmasse der Grundschwingungsform berücksichtigt. Die Grund- schwingungszeit kann nach den üblichen Beziehungen der Dynamik unter Berücksichtigung aller Elemente ermittelt werden, die zur Steifig- keit des Systems beitragen" /III.2/.

Die Form des Antwortspektrums hat einen entscheidenden Einfluß auf die Bemessung gegen Erdbeben, und zwar unterscheidet man einmal die sog. 'Einhängebeschleunigung', d. i. der Beschleunigungswert im höheren Frequenzbereich etwa $> 25 - 33$ Hz, und zum anderen die Ver- größerungsfaktoren (im unteren Frequenzbereich) für den Einhänge- wert, die maßgeblich die Bemessung dominieren, da i. a. der erste Eigenwert eines Bauteils bzw. einer Komponente im unteren Frequenz- bereich anzutreffen ist.

Wird der Erdbebenlastfall u. U. bemessungsdominant im Vergleich zu den anderen Lastfällen, so ist es legitim, von einem umfassenden Standardspektrum abzuweichen und die Erdbebenerregung bodenspezifisch genauer zu definieren. Dies kann beispielsweise durch die Vorgabe eines spezifischen Standortpektrums (seitens des Seismologen) er- folgen (s. Abb. 13 f bzw. g); in jüngster Zeit gibt es auch eine Reihe von Vorschlägen von modifizierten Standardspektren, die boden- artspezifisch eine Korrelation mit den in Deutschland zu erwartenden Intensitäten herstellen, und zwar für felsigen, mittleren und weichen Bodentyp (s. Abb. 13 a - d). Im Prinzip zeichnen sich diese Spektren intensitätsabhängig mit verschiedenen Einhängewerten für die Be- schleunigung aus, wobei den unterschiedlichen Bodenarten durch die Form des Spektrums im unteren Frequenzbereich Rechnung getragen wird.

Zeitverlaufsverfahren (Time History Analysis)

Besonders bei sicherheitstechnisch relevanten Nachweisen, beispiels- weise bei Kernkraftwerken, kann es erforderlich werden, daß zusätz- lich Angaben hinsichtlich Zeit und Phasenlage benötigt werden. Dies kann jedoch nicht durch die Antwortspektrenmethode geleistet werden. In diesem Falle wird es notwendig, eine direkte Lösung der allgemei- nen Bewegungsgleichungen herbeizuführen.

Boden- klasse	t_s [s]
A	4.0
M	2.4
R	1.6
U	~ 2.7

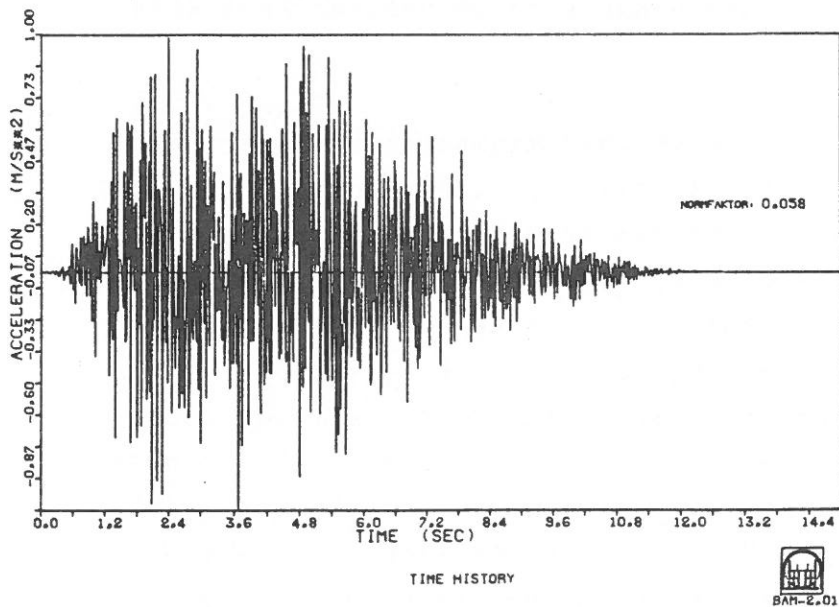
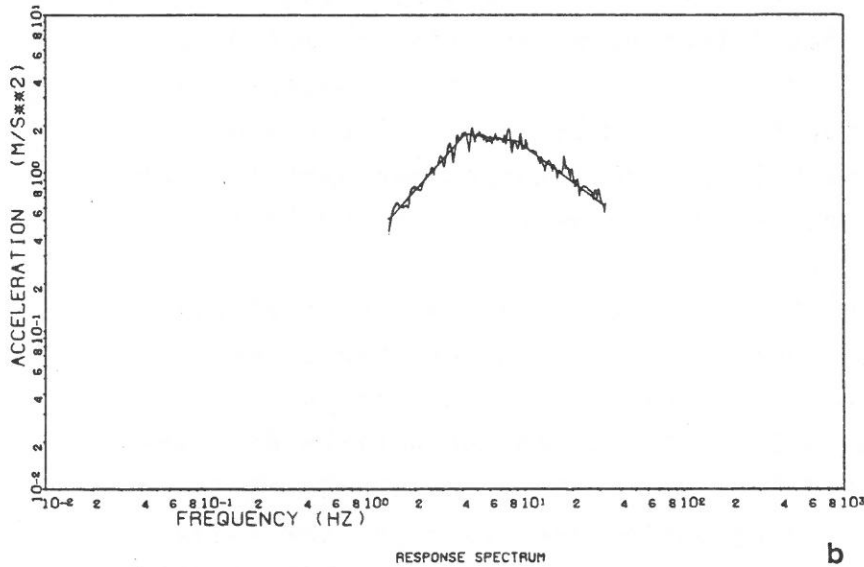
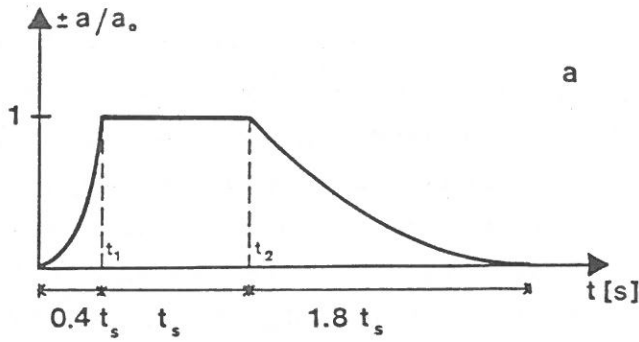


Abb. 14
 Generierung künstlicher
 Seismogramme aus /III.6/
 a bodenspezifische
 Starkbebendauer
 mit 'Fensterfunktion'
 b Response Spektrum mit zugeh.
 Time History

In den seltensten Fällen wird eine geschlossene Lösung der Bewegungsgleichungen existieren, ganz besonders dann nicht, wenn auch nicht-lineare Einflüsse, beispielsweise infolge sich ändernder Materialeigenschaften, zu berücksichtigen sind. Hierfür bieten sich dann die direkten (numerischen) Integrationsverfahren für diskrete Zeitschritte an, wie sie z. B. in /III.8/ beschrieben sind; dieser Weg wird auch Zeitverlaufsverfahren genannt. Wesentliche Voraussetzung ist hierfür die Existenz einer Zeitgeschichte für den Ablauf der Erdbe-

benerregung, die in Verknüpfung angeregter Freiheitsgrade mit der zugehörigen Masse als lastseitige Vorgabe dient.

Zeitverläufe oder auch Time Histories in Form diskreter Bodenbeschleunigungswerte als Funktion definierter Zeitintervalle stehen für die meisten Standorte selten zur Verfügung, zumal die Rechnung bei Anwendung der Time History Analysis für mindestens 2 unabhängige Zeitverläufe im Hinblick auf die statistische Auswahl durchzuführen ist (s. /III.3/). "Sollen daher die Vorteile der Time History Analysis gewahrt bleiben, ist es erforderlich, eine entsprechende Aufbereitung synthetischer Seismogramme vorzunehmen. Hierbei gilt (noch) zusätzlich, neben dem vorgegebenen Ausgangsspektrum einmal die Starkbebendauer ebenso wie den funktionalen Verlauf entsprechend einer 'Fensterfunktion' zu berücksichtigen" (s. Abb. 14a). Eingehend ist dies z. B. in /III.5/ bzw. /II.6/ erläutert.

Unter diesen Voraussetzungen erfolgt die automatische Generierung eines künstlichen Zeitverlaufs (s. hierzu z. B. /III.9/): "Nach Vorgabe einer Startfunktion, die aus einer aufgezeichneten Time History oder einer beliebigen Zufallsfunktion bestehen kann, wird für diese nach Berücksichtigung der 'Fensterfunktion' ein Antwortspektrum erzeugt. Dominierender Korrekturschritt ist die Berechnung von Ähnlichkeitsfaktoren aus dem Vergleich dieses Spektrums mit dem vorgegebenen Bodenantwortspektrum. Aufgrund des Ähnlichkeitsverhaltens zu Fourier-Spektren wird für die gerade vorliegende Time History eine Fourier-Transformation durchgeführt, deren Koeffizienten anschließend mit den (Ähnlichkeits-)Faktoren korrigiert werden. Nach der Rücktransformation in den Zeitbereich und Beachtung der 'Fensterfunktion' kann ein verbessertes Antwortspektrum erzeugt werden und somit der Korrekturzyklus wieder aufgenommen werden" /III.6/.

In Abb. 14 a wird ein Beispiel für die 'Fensterfunktion' einschließlich bodenspezifischer Werte gegeben; hierin sind die Bodenklasse A ein weicher, alluvialer Boden, die Bodenklasse M ein mittlerer Boden und die Bodenklasse R ein Felsboden, Boden U repräsentiert eine sog. 'mittlere' unabhängige Bodenklasse. Abb. 14b zeigt eine generierte Time History zusammen mit dem Vergleich eines Soll- und Ist-Spektrums, wobei die Ist-Werte aus der Umwandlung eines vorliegenden Zeitverlaufs in ein Spektrum gewonnen werden.

Liegt nun ein natürliches oder künstlich generiertes Seismogramm vor, so kann die Lösung der allgemeinen Schwingungsgleichung für ein entsprechend diskretisiertes System - z. B. mittels der Methode der Finiten Elemente - durch direkte Integration erfolgen. Hierbei wird

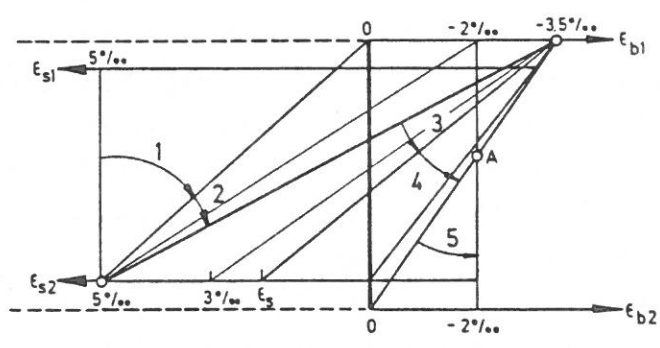
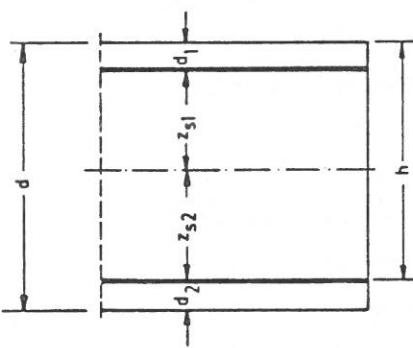
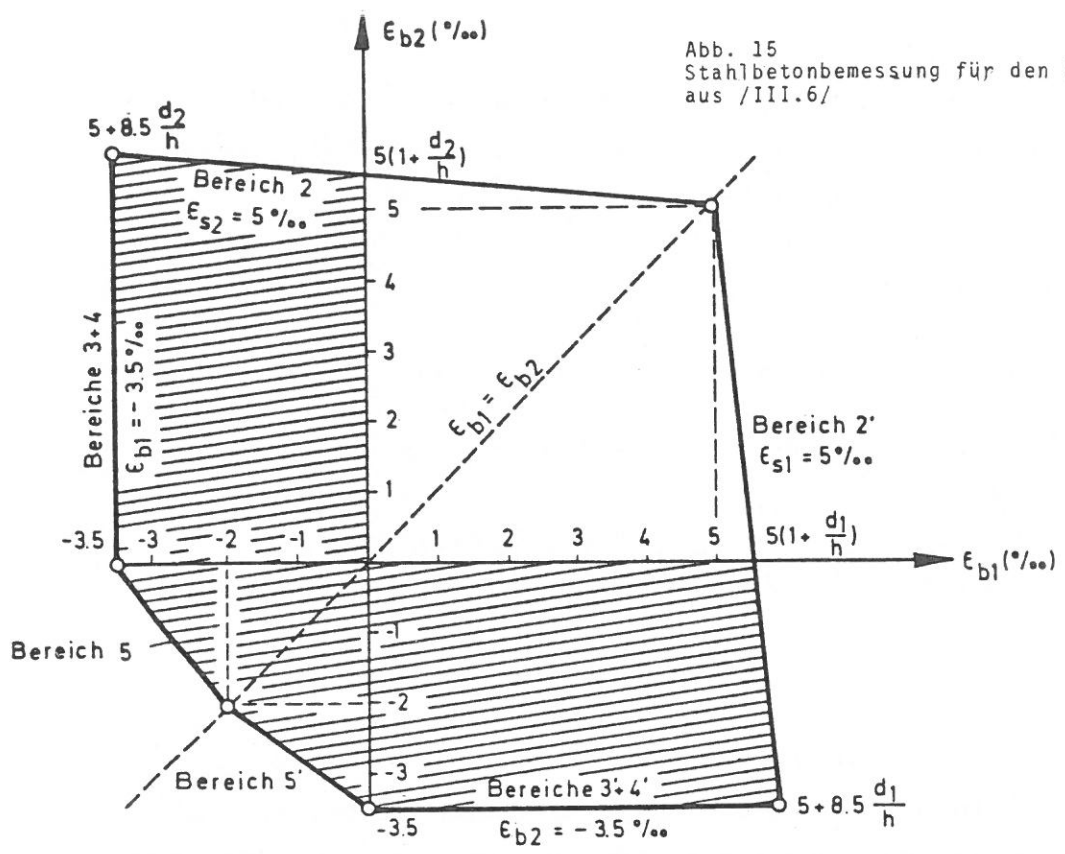
auch die wirklichkeitsnahe Erfassung der Strukturdämpfung von wesentlichem Einfluß sein; es empfiehlt sich beispielsweise, die Dämpfungsbezeichnung nach Rayleigh einzuführen, die eine Linearkombination aus den Masse- und Steifigkeitsanteilen des Systems mittels skalarer Faktoren darstellt. Diese Faktoren sind aus dem Eigenwertproblem für spezifische Frequenzen einzustellen; mit der Kalibrierung nach dem ersten und sechsten Eigenwert können zufriedenstellende Ergebnisse erreicht werden /III.6/. Das Zeitverlaufsverfahren selbst ist außerordentlich aufwendig und wird daher meist für Sonderuntersuchungen eingesetzt (s. z. B. /III.6/).

Bemessung

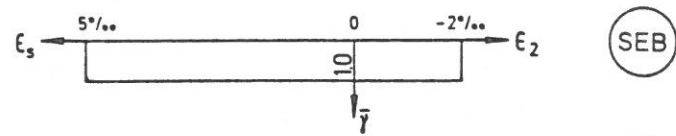
Nach Ermittlung der Schnittlasten aus Erdbeben ist die Bemessung des entsprechenden technischen Systems durchzuführen. Hierbei hat je nach Klassifizierung bzw. Anforderung eine Kombination des Lastfalls Erdbeben mit anderen (i. w. ständigen) Lasten zu erfolgen. Die entsprechenden Regeln für derartige Lastkombinationen sind zum Beispiel in DIN 4149 bzw. Eurocode Nr. 8 ebenso wie in der KTA-Regel 2201 festgeschrieben. Für die durchzuführende Auslegung gelten prinzipiell auch die üblichen Grundlagen zur Bemessung. Wesentliches Unterscheidungskriterium für die Bemessung ist jedoch für den jeweiligen Lastfalltyp bzw. für die jeweilige Zielvorgabe der anzusetzende Sicherheitsfaktor, der in Abhängigkeit der Auftretenswahrscheinlichkeit entsprechend variiert werden kann. Speziell für die Stahlbetonbemessung ist dies im Vergleich der Regeln DIN 1045 und KTA 2201 in Abb. 15 gegenübergestellt.

Ziel einer Bemessung des Lastfalls Erdbeben - also eines dynamischen Lastfalls - soll im wesentlichen beinhalten, daß das entsprechende System ein gewisses Maß an 'Zähigkeit' aufweist, m. a. W. es ist auf jeden Fall ein schlagartiges Versagen infolge 'spröden' Verhaltens auszuschließen. Dies kann konstruktiv durch die Vorschrift - beispielsweise durch Vorgabe minimaler wie maximaler Bewehrungsgrade - geschehen (s. DIN 4149 bzw. KTA 2201). Im Eurocode Nr. 8 wird "durch den Verhaltensfaktor q die Fähigkeit eines Tragwerkes zur Abtragung von Erdbebenlasten im postelastischen Bereich berücksichtigt. Dieser Parameter trägt der Fähigkeit zur Energiedissipation durch Plastifizierung Rechnung. Die Werte des Parameters q hängen von der Art des Tragwerkes ab und werden entsprechend der in Teil III dieser Norm abgegebenen Einteilung der Tragwerke nach Zähigkeitsklassen bestimmt." Die Bestimmung dieser Duktilitätsfaktoren ist bisher jedoch nicht abgeschlossen und befindet sich noch im Stadium

Abb. 15
 Stahlbetonbemessung für den Lastfall Erdbeben
 aus /III.6/

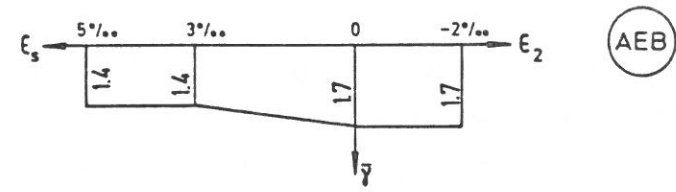


KTA 2201

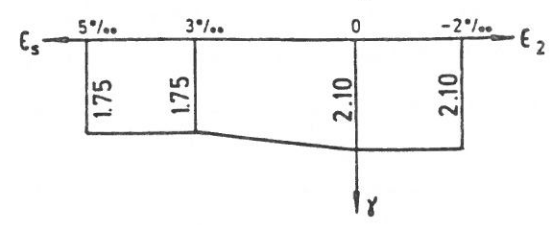


SEB

DIN 1045



AEB



der wissenschaftlichen Erforschung. Da diese Art der Bemessung nicht-lineares Bauteilverhalten voll impliziert, wird hierbei auch direkt die Berechnungsmethodik angesprochen, die bisher i. w. auf linearen Annahmen basiert.

7. Ergebnisse und Ausblick

Das Ziel des vorliegenden Beitrages besteht einmal darin, den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisstand über das Erdbebengebiet Bundesrepublik Deutschland darzulegen; zum anderen soll die ingenieurseitige Umsetzung des Lastfalls 'Erdbeben' für eine sichere Bauwerksauslegung erläutert werden.

Als Ergebnisse lassen sich die nachstehenden Aussagen formulieren:

- Die Bundesrepublik Deutschland gehört aus plattentektonischer Sicht derzeit nicht zu den aktiven Gebieten, wie sie z. B. in Südeuropa vorliegen. Sie ist Teil des relativ ruhigen Europäischen Vorlandes, wird allerdings im Südwesten von einer schwach aktiven Störungszone durchzogen.
- Diese Störungszone, zu der u. a. der Oberrhein-Graben zählt, gehört vermutlich zu einem ausgedehnten europäischen Störungssystem, dem Rhein-Rhône-Graben. Dieser war schon während des Mesozoikums vorgezeichnet, seine Entstehung geht vermutlich auf die globaltektonische Atlantiköffnung zurück. Durch die regionaltektonischen Vorgänge in Mitteleuropa (alpidische Orogenese, Dehnungsprozesse in der eurasischen Platte, rezente Bewegung der afrikanischen Platte) war und ist diese Störungszone immer noch aktiv. Verglichen mit den geologischen Prozessen im Tertiär und Quartär (Grabenbildung und aktiver Vulkanismus) und den sich daraus ableitenden heftigen Erderschütterungen der damaligen Zeit, kann man die derzeitige geologische Situation in der Bundesrepublik Deutschland als relativ ruhig bezeichnen. Die rezent vorhandene seismische Aktivität ist regional eingrenzbar und geht vorwiegend auf seismisch vermutete horizontale Schollenbewegungen zurück.
- Der geowissenschaftliche und ingenieurtechnische Wissensstand über seismische Prozesse und Kräfte sowie erdbebensichere Bauauslegungen hat in den letzten 15 Jahren ein hohes Niveau erreicht. Die Kriterien für die Standortwahl sicherheitstechnisch relevanter Bauwerke wie z.B. Kernkraftwerke sind dabei sehr streng. In der Bundesrepublik wird hinsichtlich der seismischen Risiken und baulichen Vorsorgemaßnahmen ein großer Untersuchungs- und Simulationsaufwand betrieben - in Anbetracht der mit erdbebenreichen Ländern vergleichsweise schwachen Seismizität. Die von Ahorner und Rosenhauer erstellte probabilistische Seismizitätskarte basiert auf den verfügbaren Erdbeben-daten aller deutschen seismologischen Forschungsinstitute und berücksichtigt ferner Daten aus erdbebenrelevanten Nachbarstaaten. In den der Karte zugrunde liegenden Berechnungen ist der aktuelle

geowissenschaftliche Erkenntnisstand über Herdmechanismen und -wanderungen sowie die regionaltektonischen Verhältnisse enthalten. Für lokale geologische Einflüsse ist ein Korrekturfaktor vorgesehen.

- Gerade im Hinblick auf sicherheitstechnisch relevante Bauten sind im Zusammenhang mit dynamischen Lastfällen, zu denen unter anderem die Einwirkung aus Erdbeben gehört, Berechnungsmethoden entwickelt worden, die auch in den Regeltexten Eingang gefunden haben. In DIN 4149 'Bauten in deutschen Erdbebengebieten' in Verbindung mit dem Entwurf zum Eurocode Nr. 8 'Bauen in Erdbebengebieten' ebenso wie in der Regel des Kerntechnischen Ausschusses KTA 2201 'Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen' sind mögliche Verfahren einschließlich vorzunehmender Kombination mit anderen Lastfällen aufgeführt. Je nach Bemessungsvorgabe bieten sich - in aufsteigender Reihenfolge der Anforderung - eine quasistatische Berechnung, die Anwendung des vereinfachten oder vollständigen Antwortspektrenverfahrens und im Sonderfall für spezifische Systeme auch der Einsatz des sehr aufwendigen Zeitverlaufsverfahrens an. Die Erfassung wirklichkeitsnahen Bauteilverhaltens über üblicherweise (quasi-)linear zu unterstellende Berechnungsannahmen hinaus ist ein sich entwickelndes Forschungsfeld. Hierunter sind auch Stichworte wie 'zähes' Bauteilverhalten, Duktilität oder allgemein nichtlineare Strukturannahmen zu nennen, deren umfassende ökonomische Implikation für Berechnung und Bemessung noch aussteht.

Der Gesetzgeber in der Bundesrepublik Deutschland ist - insbesondere bei sicherheitstechnisch relevanten Systemen - bestrebt, die für die Errichtung geltenden Regelwerke dem jeweils gültigen Erkenntnisstand aus Wissenschaft und Technik anzupassen /I.5/. Hierzu lassen sich zur Unterstützung dieses Betreibens für die Zukunft folgende Aufgaben formulieren:

- Förderung der Erdbebenvorhersageforschung und -instrumentierung (z. B. durch Ausbau der flächenhaften Seismometernetze, Bohrlochmessungen in größeren Tiefen wie beim geplanten kontinentalen Tiefbohrprogramm und durch die Weiterentwicklung weltraumgestützter Messmethoden)
- Überprüfung schon bestehender sicherheitstechnisch relevanter Bauwerke (z. B. auch Chemieanlagen) im Hinblick auf die Vorgabe der neuen Ahorner-Karte
- Intensivierung der baugrunddynamischen Forschung, insbesondere der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung einschließlich nichtlinearer Methoden
- Verständlichere öffentliche Darlegung des bereits vorhandenen

Wissenstandes zur Versachlichung von Gefährungs- und Risiko-
debatten

- Verstärkung der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet
der Seismologie und des Erdbebeningenieurwesens.

Wenn Bolt fordert, daß in erdbebenreichen Ländern noch viel getan
werden muß, so gilt dieser Appell wohl auch für erdbebenarme Länder.
Die entsprechenden Aktivitäten in der Bundesrepublik Deutschland
können abschließend betrachtet als gewissenhaft und verantwortungs-
bewußt bezeichnet werden.

Literatur

I. Allgemein

- I.1 Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke - Eine Untersuchung zu
dem durch Störfälle in Kernkraftwerken
verursachtem Risiko, Verlag TÜV Rhein-
land, 1979
- I.2 JAEGER, T. A.: Das Risikoproblem in der Technik. -
Vol. 36, S. 201 - 207, Schweizer Archiv
1970
- I.3 JAEGER, T. A.: Beurteilung von Risiken. -
Elektrotechnisches Kolloquium der Univer-
sität Erlangen-Nürnberg, 1979
- I.4 SCHUËLLER, G. I.: Sicherheit der Tragwerke mit besonderer
Berücksichtigung der dem Seegang ausge-
setzten Konstruktionen, 1973
- I.5 Atomgesetz mit Verordnungen. - Nomos Verlagsgesellschaft,
Baden-Baden, 1977

II. Erdbebenproblematik

- II.1 AHORNER, L., Seismotektonische Traverse von der Nordsee
MURAWSKI, H., bis zum Apennin - Geologische Rundschau
SCHNEIDER, G.: Bd. 61, 915-942. Enke Verlag, Stuttgart
1972
- II.2 BENDER, F.: Angewandte Geowissenschaften III,
Enke Verlag, Stuttgart 1984
- II.3 BOLT, B. A.: Erdbeben, Springer Verlag, Berlin, Heidel-
berg, New York, Tokyo, 1984
- II.4 BUNDESMINISTERIUM ZUR friedlichen Nutzung der Kernenergie -
FÜR FORSCHUNG UND Der Bundesminister für Forschung und Tech-
TECHNOLOGIE: nologie, Bonn, 1977
- II.5 DEWEY, J. F.: Plattentektonik - Spektrum der Wissenschaft -
Ozeane und Kontinente - 26-38. Spektrum
der Wissenschaft Verlagsgesellschaft,
Heidelberg, 1984

- II.6 KÖNIG, G.,
HEUNISCH, M.: Realistische seismische Lastannahmen für
bauliche Anlagen mit erhöhtem Sekundär-
risiko - Abschlußbericht IV/1-5-377/82 des
Instituts für Bautechnik Berlin, Berlin
1983
- II.7 LAUBSCHER, H. P.: Der Bau der Alpen - Spektrum der Wissen-
schaft - Ozeane und Kontinente - 144 - 157
Spektrum der Wissenschaft Verlagsges.,
Heidelberg, 1984
- II.8 PANZA, G. F. et al.: Die geologische Tiefenstruktur des Mittel-
meerraumes - Spektrum der Wissenschaft -
Ozeane und Kontinente -, 132 - 142, Spektrum
der Wissenschaft Verlagsgesellschaft, Hei-
delberg 1984
- II.9 RAST, H.: Vulkane und Vulkanismus -
Enke Verlag, Stuttgart 1980
- II.10 ROSENHAUER, W.: Probabilistische seismische Standortanalyse
II. Seminar der Gesellschaft für Sicher-
heitswissenschaften (gfs), 23./24. Juni 1983,
Kraftwerk Union, Offenbach
- II.11 SCHICK, R.: Erdbeben als Ausdruck spontaner Tektonik -
Geologische Rundschau Bd. 61, 896 - 914.
Enke Verlag, Stuttgart 1972
- II.12 STROBACH, K.: Erdbebenforschung und Physik des Erdinnern -
Geowissenschaften in unserer Zeit, 1 (1985),
15 - 22 , VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim
1985
- II.13 HECK, H. F.,
SCHICK, R.: Erdbebengebiet Deutschland - Deutsche Yer-
lagsanstalt, Stuttgart, 1980

III Auslegung

- III.1 DIN 4149, Teil 1 Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Last-
annahmen, Bemessung und Ausführung üblicher
Hochbauten
- III.2 Entwurf von Eurocode Nr. 8 Gemeinsame einheitliche Regeln für
Bauwerke in Erdbebengebieten
- III.3 KTA 2201 Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Ein-
wirkungen
- III.4 MÖLLER, F. P.,
KEINTZEL, E. Erdbebensicherung von Hochbauten - Verlag
Wilhelm Ernst & Sohn, 1978
- III.5 KÖNIG, G.,
HEUNISCH, M.: Methodenuntersuchungen zur erdbebensicheren
Auslegung von Kernkraftwerken - Förderungs-
vorhaben BMFT RS 308, 1979
- III.6 BUCHHARDT, F.,
MATTHEES, W.,
MAGIERA, G.,
MATHIAK, F.: Ermittlung elastischer Grenztragbereiche
unter dem Zusatzlastfall Erdbeben -
BMI-Forschungsvorhaben SR 355, 1986

- III.7 MATTHEES, W.
MAGIERA, G.: Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen - BMI-Forschungsvorhaben SR 101, 1980
- III.8 BATHE, K.-J.,
WILSON, E. L.: Numerical Methods in Finite Element Analysis Prentice-Hall Int., 1978
- III.9 KOST, G.,
TELLKAMP, T.,
KANIL, H.,
GANTAYAT, A.,
WEBER, F.: Automated Generation of Spectrum-Compatible Artificial Time Histories - N.E.D. 45 (1978), pp. 377 - 392
- III.10 Vorbericht an den Kerntechnischen Ausschuß (KTA) Auslegung von Kernkraftwerken gegen seismische Einwirkungen - Teil 2.1, Kenndaten seismischer Erregung; Seismologische Kenndaten. September 1977

Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/September 1968

Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)
Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)

Zum Problem des Feuchtigkeitschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitern
von Dr.-Ing. Götz Andreae

Nr. 3/September 1970 (vergriffen)

Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile
von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)

Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren
von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5/März 1971

Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken
von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6/April 1971

Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen
von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7/Juli 1971

Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8/November 1971

Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9/November 1971

Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10/Januar 1972 (vergriffen)

Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode
von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11/Februar 1972

Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden
von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12/Mai 1972

Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren
von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13/Juni 1972

Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^7$ Torr
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer

Nr. 14/Juli 1972

Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz
von Eberhard Fischer

Nr. 15/August 1972

Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16/August 1972

Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer
von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17/August 1972

Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen
von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18/Januar 1973

Das Sprödbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19/Januar 1973

Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20/April 1973

Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21/Juli 1973

Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung
Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22/Juli 1973

Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen
von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

**Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin
Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen**
von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung
von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen
von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —
von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern
von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall
von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology
von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung
von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen
von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens
von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen
von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles
von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

Nr. 37/Februar 1976

Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —
von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 38/Juni 1976

Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4
von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 39/Juni 1976

Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newtonischem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung
von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf

- Nr. 40/Juni 1976
Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren
von Dr. rer. nat. H. Hantsche
- Nr. 41/Okttober 1976
Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher
- Nr. 42/Okttober 1976
Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft
von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 43/Okttober 1976
Das Sprödbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 44/November 1976
Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“
von Dipl.-Ing. W. Matthees
- Nr. 45/Dezember 1976
Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten
von Dr.-Ing. W. Paatsch
- Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)
Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung
Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler
- Nr. 47/Juni 1977
Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen
von Dr.-Ing. Arno Plank
- Nr. 48/Oktober 1977
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn
von Dr.-Ing. U. Holzlöhner
- Nr. 49/Dezember 1977
Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung
von Dr.-Ing. Günther Wittig
- Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)
Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andreae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski
- Nr. 51/Juni 1978
Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld
- Nr. 52/August 1978
Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov
- Nr. 53/Oktober 1978
Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge
von Rolf Gunter Rohrmann und Reinald Rudolphi
- Nr. 54/Oktober 1978
Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978
Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979
Stabilität von Sandwichbauteilen
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langie
- Nr. 57/März 1979
Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetspulverprüfung
Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979
Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979
Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979
Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979
Beschreibung von Problemen der höheren Farbmeterik mit Hilfe des Gegenfarbensystems
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979
Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979
Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980
Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung
von Dr.-Ing. Werner Rucker
- Nr. 65/Februar 1980
Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980
Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980
Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980
Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik.
Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980
Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitschillen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)
Schwellenwerte beim Betondruckversuch
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980
Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 72/September 1980
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 73/November 1980
Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen
von Dipl.-Ing. Peter Wegener
- Nr. 74/November 1980
ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller
- Nr. 75/November 1980
Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 76/November 1980
Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 77/April 1981
Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 78/September 1981
Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund
von Dr.-Ing. Werner Rucker
- Nr. 79/Dezember 1981
Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kalttribneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch
von Dr.-Ing. Volker Neumann

- Nr. 80/Dezember 1981
Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch
- Nr. 81/Dezember 1981
Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt
- Nr. 82/April 1982
Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches
Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworucki
- Nr. 83/Juli 1982
Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen — Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle
- Nr. 84/Juli 1982
Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Okttober 1982
Technische Materialforschung und -prüfung — Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ —
Materials Research and Testing — Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme "Basic Technological Research" —
von Prof. Dr. Horst Czichos
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982
Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982
Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983
Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall
von Dr.-Ing. Anton Erhard
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983
Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dielten
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Konzeption für geregelte Versuche
Versuchseinrichtung
Vorversuche an Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983
Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz
von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983
Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983
Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen
von Dr. rer. nat. Peter Studt
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983
Untersuchungen der Störschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983
Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten
von Dr.-Ing. Manfred Römer
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Okttober 1983
Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken
von Dr.-Ing. Heinz Eifler
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983
Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselseitiger mechanischer Beanspruchung
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983
Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren — Stretch- und Erholungsvermögen —
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/Dezember 1983
Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen
Versuche an Stahlbetonbalken mit Biegebewehrung aus Betonstahl BSt 420/500 RK und BSt 1080/1320
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/Januar 1984
Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand
von Günter Klamrowski und Paul Neustupny
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/Februar 1984
Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie
von Dr.-Ing. Peter Reimers, Dr. rer. nat. Jürgen Goebbels, Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Dr.-Ing. Hans-Peter Weise und Dipl.-Phys. Kay Wilding
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/März 1984
Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton
von Dr.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/März 1984
Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien
von Dr.-Ing. Dierk Schnitger
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/April 1984
Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen
von Dr.-Ing. Michael Gierloff
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/Juni 1984
Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen
von Dr.-Ing. Bernd Schulz-Forberg
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/Okttober 1984
Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last
von Dr.-Ing. Jan Lehnert
- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/Okttober 1984
Korrosion von Stahlradiatoren
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel und Jörg Ehreke
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/Okttober 1984
Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/Februar 1985
Zur Wirkung der Schrumpfbegrenzung auf den Schweißspannungszustand und das Sprödbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N
von Dr.-Ing. Mohamed Omar
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/Februar 1985
Wasserstoff als Energieträger
von Dr. Hermann Walde (Mitglied des Kuratoriums der BAM i. R.) und Dr. Bernhard Kropp
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/Februar 1985
Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Andexpregstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte
von Dr.-Ing. Kurt Ziegler
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/Juli 1985
Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen
von Dr.-Ing. Wolfgang Lützwow
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/Juli 1985
Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungsrißkorrosion von Offshore-Konstruktionen
von Rolf Helms, Horst Henke, Gerhard Oelrich (BAM, Berlin) und Tetsuya Saito (NRIM, Japan)
- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/Juli 1985
Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen
von Dipl.-Ing. Peter Rose, Dipl.-Ing. Peter Raabe, Dipl.-Ing. Werner Daum und Andreas Szameit
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/Juli 1985
Farbempfindungsmerkmal Elementarblau und Buntheitsabstände als Funktion von Farb- und Leuchtdichte von In- und Umfeld
von Privatdozent Dr. Klaus Richter
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/Okttober 1985
Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik
von Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Dipl.-Inform. Renate Müller, Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Armin Wagner
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/Okttober 1985
Materials Technologies and Techno-Economic Development
A study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)
by Prof. Dr. H. Czichos in cooperation with Dr. G. Sievers, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn

Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/Oktober 1985

Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung

Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen

von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Dr. rer. nat. Eduard Blossfeld, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Ing. grad. Matthias-Michael Zindler

Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/November 1985

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I

von Dipl.-Ing. Jürgen Herter, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/April 1986

Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung

von Dr.-Ing. Andreas Hecht

Nr. 121/ISBN 3-88 314-530-0/Juni 1986

Versagenskriterien von Stahlgleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen: Einflüsse von Stahzzusammensetzung und Wärmebehandlung

von Dr.-Ing. Paul Feinle und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 122/ISBN 3-88 314-521-1/Juli 1986

Entsorgung kerntechnischer Anlagen

von J. Mischke

Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K. E. Wieser und B. Droste

Nr. 123/ISBN 3-88 314-531-9/Juli 1986

Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase

von Dr. rer. nat. Detlef Rennoch

Nr. 124/ISBN 3-88 314-538-6/Juli 1986

Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung

von Dr.-Ing. Hans-Martin Thomas

Nr. 125/ISBN 3-88 314-540-8/Juli 1986

Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssiggas-Lagertanks

von Dr.-Ing. Berhard Droste und Dipl.-Ing. Ulrich Probst

Nr. 126/ISBN 3-88 314-547-5/August 1986

Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen

von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel

Nr. 127/ISBN 3-88 314-564-5/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I

Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I

von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 128/ISBN 3-88 314-568-8/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members

Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II

Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II

von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 129/ISBN 3-88 314-569-6/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load

Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit

Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates

von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 130/ISBN 3-88 314-570-X /November 1986

Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 131/ISBN 3-88-314-585-8/November 1986

Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen

Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load

Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II

Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II

von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 132/ISBN 3-88-314-595-5/Januar 1987

Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen

von besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen

von Dipl.-Ing. Christian Herold und Dipl.-Ing. Frank-Ulrich Vogdt

Nr. 133/ISBN 3-88 314-609-9/Januar 1987

Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe

von Dipl.-Ing. Mathias Woydt und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 134/ISBN 3-88 314-615-3/Februar 1987

Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen

von Dr. Götz Andreae und Gottfried Niessen

Nr. 135/ISBN 3-88 314-618-8/Februar 1987

Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen

von Dipl.-Ing. Jörg Ludwig, Dipl.-Ing. Wolf-Dietrich Mischke und Dipl.-Ing. Armin Ulrich

Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/April 1987

Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau

von Prof. Dr. rer. silv. Hans-Joachim Deppe und Klaus Schmidt

Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/Mai 1987

Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit

Projektleiter: Dr. Dietmar Aurich

Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/Mai 1987

Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.

von Dipl.-Geol. Michael Dogunke und Dr.-Ing. Frank Buchhardt