

**Festlegung effektiver Beschleunigungen
für probabilistische Gefährdungszonen im
Zusammenhang mit der nationalen
Anwendung des EC 8**

T 2808

T 2808

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1998, ISBN 3-8167-5494-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69

70504 Stuttgart

Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00

Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

**Bauhaus- Universität Weimar
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau**

J. Schwarz

**Festlegung effektiver Beschleunigungen
für probabilistische Gefährdungszonen
im Zusammenhang mit der
nationalen Anwendung des EC 8**

Forschungsbericht

Festlegung effektiver Beschleunigungen für probabilistische Gefährdungszonen im Zusammenhang mit der nationalen Anwendung des EC 8

1 Gegenstand und Zielstellungen

Im Eurocode 8 wird als Basisgröße zur Beschreibung der seismischen Gefährdung die "effektive" Bodenbeschleunigung eingeführt, die mit a_g bezeichnet wird und sich auf die Beschleunigung auf felsigem oder steifem Untergrund bezieht (EC 8 Part 1.1 ([1]: *4 Seismic Action*", 4.1(2)).

Mit der effektiven Beschleunigung wird entscheidend das Niveau der seismischen Einwirkungsgrößen und damit auch der für die Bauwerksauslegung maßgebenden Bemessungsgrößen bestimmt. Die effektive Beschleunigung stellt somit auch einen der bedeutsamen Parameter für das nationale Anwendungsdokument (NAD) dar.

Die Effektivbeschleunigungen sind für die einzelnen Gefährdungszonen zum NAD zu ermitteln, wobei von der probabilistischen seismischen Gefährdungskarte für eine mittlere Wiederholungsperiode von [475] Jahren nach [1, 2] auszugehen ist. Diese Gefährdungszonenkarte für das NAD unterscheidet sich grundsätzlich von der Zonenkarte der DIN 4149, die auf deterministischer Grundlage abgeleitet wurde. Konzeptionelle Unterschiede zwischen EC 8 und DIN 4149 bestehen auch bei der Ermittlung der seismischen Einwirkungen, die in Form von elastischen Spektren bzw. Bemessungsspektren bereitgestellt werden.

Bereits in der DIN 4149 werden mit den Regelwerten der Horizontalbeschleunigung Effektivbeschleunigungen eingeführt, da die angegebenen Werte nicht mit tatsächlich beobachteten Spitzenbeschleunigungen identisch sind. Ungeachtet der willkürlichen Abminderung von beobachteten bzw. instrumentell bestätigten Werten auf ein Niveau "effektiver" Beschleunigungen bleibt zu hinterfragen, inwieweit die Basisdaten, die der DIN 4149 zugrunde gelegt wurden, heute noch repräsentativ sind. Es besteht einheitlich die Expertenauffassung, daß die Lastvorgaben der DIN 4149 die seismische Spezifik Mitteleuropas nur in unzureichender Weise widerspiegeln und aufgrund der heute verfügbaren Datenbasis zu überprüfen sind.

Mit den im Auftrage des Instituts für Bautechnik durchgeführten Untersuchungen zu realistischen seismischen Lastannahmen für Bauwerke mit erhöhtem Sekundärrisiko (Hosser u.a. 1986 [3]), wurde ein entscheidender Fortschritt bei der Beschreibung der seismischen Einwirkungen, insbesondere der Antwortspektren erreicht. Dieser Entwicklung folgte aufgrund der von der Bodenbeschleunigung unabhängigen, normtypischen Darstellung von Standardspektren jedoch keine kritische Hinterfragung der Beschleunigungen in DIN 4149.

Erst im Zusammenhang mit Überlegungen zur Harmonisierung der Europäischen Baubestimmungen wurde erneut auf diese Untersuchungen zurückgegriffen und nach Neueinteilung der Erdbebendaten ein normorientiertes Konzept zur Festlegung der seismischen Einwirkungsgrößen nach EC 8 vorgelegt. Von Hosser, Keintzel und Schneider [4] wurde ein Konzept zur Ermittlung der seismischen Eingangsgrößen für die Berechnung von Bauten in Deutschen Erdbebengebieten entwickelt, das auch für die Harmonisierung europäischer Baubestimmungen (EC 8 - Erdbeben) empfohlen wurde und die Bestimmung "effektiver" Beschleunigungen ermöglicht.

Grundlagen zur Überführung von statistisch ausgewerteten Spektren in normgerechte Beschreibungsformen und Parameter werden auch durch Schwarz vorgestellt [5]. Der Vorschlag berücksichtigt auch jene Arbeiten, die im Rahmen eines Vorschriftenentwurf durchgeführt wurden [6] und stellt eine Alternative zum vorgeschlagenen Konzept von Hosser, Keintzel und Schneider [4] dar. Diese vielfältigen Untersuchungen stellen, wie in [5] festgestellt wird, das Werkzeug zur Umsetzung des EC 8 bereit, liefern jedoch kein einheitliches Konzept bzw. methodisches Vorgehen zur Festlegung der effektiven Beschleunigung in Abhängigkeit von probabilistisch ermittelten Gefährdungszonenkarten. Dieses Konzept fehlt, wie auch die Normen der Schweiz oder Österreichs oder die Vielfalt der unterschiedlichen Bezeichnungen für den gleichen Parameter verdeutlichen (Tabelle 1.1).

Gleichzeitig ist zur Kenntnis zu nehmen, daß sich in den letzten fünf Jahren weltweit und auch in Europa Umfang und Qualität der Datenbasis wesentlich verbessert haben. Dies zeigt sich u.a. daran, daß die statistischen Auswertungen und deren Ergebnisse in Form neuartiger Zusammenhänge (Korrelationen) zwischen seismischer Gefährdung (Magnitude, Entfernung) und seismischen Einwirkungen (Spektralbewegungsgrößen) niederschlagen. Auf Grundlage dieser Ergebnisse, die erst Ende der 80er Jahre und vorwiegend in den letzten Jahren vorgelegt wurden, ist eine realistischere Berücksichtigung der regionalen Besonderheiten möglich. Dieser Erkenntniszuwachs ist u.a. durch Starkbebenregistrierungen während des 1992 Roermond-Erdbebens und unterschiedliche Auswertungen der in Europa vorliegenden Erdbebenaten (z.T. innerhalb internationaler Projekte) zu begründen.

Es ist das Ziel dieses Forschungsvorhabens und nachfolgenden Berichts, bestehende Defizite und Unklarheiten bei der Festlegung effektiver Bodenbeschleunigungen aufzudecken und in einer auf internationaler Ebene normungsfähigen Form zu überwinden. Die praktische Realisierung ist im Zusammenhang mit der probeweisen nationalen Anwendung des EC 8 für seismische Gefährdungszonen nach NAD gegeben. In diesem Sinne werden bekannte und auch neuartige Vorgehensweisen bzw. Methoden zur Ermittlung der effektiven Beschleunigung herausgearbeitet und - soweit dies möglich ist - in ihrem theoretischen Hintergrund diskutiert.

Symbol	Bezeichnung	Anwendung
a_0	Regelwert der Beschleunigung	DIN 4149
a_{eff} a_g	effektive Bodenbeschleunigung	ÖNORM SIA 160, EC 8
EPA	Effective Peak Acceleration	ATC 307 NBCC Kolumbien
a_N	Nominalbeschleunigung	AFPS 90
$S_{a,star}$	Quasi-Grundbeschleunigung	Normenentwurf DDR 1990

Tabelle 1.1 Synonyme für die Effektivbeschleunigung und Beispiele für ihre Anwendung.

Im Ergebnis der Untersuchungen werden Effektivbeschleunigungen für die Zonen der probabilistischen Gefährdungszonenkarte zum NAD unter Berücksichtigung der für europäische Erdbebengebiete repräsentativen Korrelationsbeziehungen sowie der spektrumbeschreibenden Parameter nach EC 8 (insbesondere der β_0 -Werte) abgeleitet und für das NAD vorgeschlagen.

Die empfohlenen Beschleunigungen für die Zonen zum NAD werden in die gegenwärtige europäische Normensituation eingeordnet bzw. mit Expertenauffassungen benachbarter Länder (A, CH) abgestimmt. Auf Grundlage der prinzipiellen methodischen Vorgehensweisen sollen Vorzugsvarianten begründet werden.

Das Forschungsvorhaben umfaßt folgende Teilleistungen:

- Herausarbeitung der inhaltlichen Probleme bzw. Anforderungen an den Parameter "effektive Beschleunigung" (Abschn. 2, 3)
- Analyse der Fachliteratur und Erdbebenbaunormen zur Ableitung von methodischen Vorgehensweisen zur Festlegung der effektiven Beschleunigung (Abschn. 2, 3, 4)
- Kennzeichnung von qualitativ unterschiedlichen Vorgehensweisen (Abschn. 3)
- Darstellung des Zusammenhanges zwischen Gefährdung und Einwirkungsbeschreibung am Beispiel der D-A-CH-F-Länder; Auswertung und Herausarbeitung der Besonderheiten von Erdbebenbaunormen europäischer Länder (D, A, CH, F) bezüglich der Festlegung konkreter effektiver Beschleunigungswerte (Abschn. 4)
- Ableitung von Effektivbeschleunigungen unter Berücksichtigung repräsentativer Korrelationsbeziehungen für europäische Erdbebengebiete sowie der spektrumbeschreibenden Parameter nach EC 8 (Abschn. 6)
- Erarbeitung von Grundsätzen für die effektiven Beschleunigungen unter Berücksichtigung der spezifischen seismischen Situation Mitteleuropas (Abschn. 5) und Definition der maßgebenden Gefährdungsparameter (Abschn. 6)
- Erarbeitung von Empfehlungen für die Festlegung der Effektivbeschleunigungen gemäß der Zonen der probabilistischen Gefährdungszonenkarte zum NAD und Einordnung in die gegenwärtigen Bestimmungen nach DIN 4149 (Abschn. 7)
- Einordnung der Ergebnisse und nationale Abstimmung (Abschn. 8)

2 Anforderungen gemäß EUROCODE 8 (ENV 1998-1-1:1994)

Im Eurocode 8 wird als Basisgröße zur Beschreibung der seismischen Gefährdung die "effektive" Bodenbeschleunigung eingeführt, die mit a_g bezeichnet wird und sich auf die Beschleunigung auf felsigen oder steifem Untergrund bezieht. In EC8 Part 1.1 [1] wird unter "4 Seismic Action" folgende Festlegung getroffen:

4.1 (2) For most of the applications ... the hazard is described in terms of a single parameter. i.e the value a_g of the effective peak ground acceleration in rock or firm soil, henceforth called "design ground acceleration".

Die Anmerkung (Note) zu diesem Punkt verdeutlicht die Akzeptanz der generellen Probleme, die sich aus der Vielfalt der Methoden und der Uneinheitlichkeit der Ergebnisse ergeben:

Note: The concept of the "effective peak ground acceleration is an attempt to compensate for the inadequacy in general of the actual single peak to describe the damaging potential of the ground motion in terms of maximum acceleration and/or velocity induced to the structures.

There is not a unique established definition and corresponding techniques for deriving a_g from the ground motion characteristics, the methods actually varying as functions of these latter. In general , a_g tends to coincide with the actual peak for moderate-to-high magnitude of medium-to-long distance events, which are characterized (on firm ground) by a broad and approximately uniform frequency spectrum, while a_g will be more or less reduced relative to the actual peak for near-field, low magnitude events.

Die Unterscheidung zwischen "nahen" und "entfernten" Ereignissen weist auf eine weitere Unsicherheit, die sich aus der Ausprägung des maximalen Verstärkungsbereiches ableiten läßt:

- Bei "entfernten Starkbeben (*moderate-to-high magnitude of medium-to-long distance events*) ist zu erwarten, daß maximale Bodenbeschleunigung und effektive Beschleunigung identisch sind, d.h. es gilt: $a_g = a_{max}$.
- Bei den auch für mitteleuropäische Erdbebengebiete relevanten "nahen" Ereignisse (*near-field, low magnitude events*) sind die effektiven Beschleunigungen kleiner als die Spitzenbeschleunigungen, d.h. es gilt: $a_g < a_{max}$.

Die Anmerkung zum Frequenzgehalt der Bodenbewegung läßt folgende Interpretation zu:

- Die effektive Beschleunigungen a_g sind bezogen auf die Bodenspitzenbeschleunigungen a_{max} in mitteleuropäischen Erdbebengebieten aufgrund des dominanten Erdbebentyps (*near-field, low magnitude events*) geringer als in Gebieten höherer Seismizität, d.h. die Abminderung der Bodenbeschleunigungen ist gefährdungsabhängig und in Gebieten geringer bzw. mittlerer Seismizität höher anzusetzen.
- Das Spektrum und vor allem auch das Plateau der maximalen Spektralbeschleunigungen sind wichtige Parameter für die Ermittlung der Effektivbeschleunigung a_g .

3 Methoden zur Ermittlung der effektiven Beschleunigung

3.1 Inhaltliche Probleme des Begriffs "effektive" Beschleunigung

Mit der Definition einer "effektiven" Beschleunigung werden auf der *Einwirkungsseite* Elemente der *Widerstandsseite* verknüpft und inkorporiert.

In DIN 4149 wird angemerkt, daß die bereits gemessenen Bodenspitzenbeschleunigungen höher liegen, sich aber wegen der kurzen in deutschen Erdbebengebieten auftretenden Wirkungsdauer und infolge der Energiezerstreuung im Bauwerk (Dämpfung, Plastifizierung) nicht voll auswirken.

Damit wird als Maßstab die "Auswirkung" anerkannt. Somit wird bereits in DIN 4149 die Auffassung vertreten, daß eine Abminderung der Bodenbeschleunigungen auf effektive Beschleunigungswerte bei lang andauernden Beben, wie sie in Gebieten hoher Seismizität typisch sind (z.B. Mexiko-Beben 1995), nicht gerechtfertigt ist.

Es wäre die Frage zu stellen, ob die "Auswirkung" nicht zwangsläufig den Bauwerksschaden impliziert. Dies wäre plausibel, wenn davon ausgegangen wird, daß sich über die Bebedauer die Energieaufnahmefähigkeit erschöpft und sich weitere Beschleunigungsspitzen tatsächlich durch Bauwerksschäden "auswirken" können.

Das "Konzept der effektiven Beschleunigung" kann auf Newmark und Hall zurückgeführt werden, die folgende Definition einführen [7]:

"It is that acceleration which is most closely related to structural response and to damage potential of an earthquake. It differs from and is less than the peak free-field ground acceleration. It is a function of the size of the loaded area, the frequency content of the excitation, which in turn depends on the closeness to the source of the earthquake, and to the weight, embedment, damping characteristic, and stiffness of the structure and its foundation."

Die vielfältigen Faktoren, die bei der Festlegung der effektiven Beschleunigung zu berücksichtigen sind, erfordern ein hohes Maß an Wichtung und können oft nur abgeschätzt werden. Die "effektive" Beschleunigung ist somit weniger ein Parameter als vielmehr ein Konzept, das je nach Interpretation verschiedenartigen Sachverhalten genügen soll oder kann:

- Mit der "effektiven" Beschleunigung können Schadensvorstellungen im Sinne der effektiv sichtbaren Auswirkungen verbunden sein, die nicht genau präzisiert sind und vor allem losgelöst vom Bauwerk/Tragwerkstyp angenommen sein müssen.

Legt man die fünf Schadensgrade der Skalen MSK-81 oder EMS-92 [8] zugrunde, und stellt diese der Auslegungsphilosophie gegenüber, könnte geschlußfolgert werden, daß die "Auswirkung" abhängig vom Bemessungsbeben sein muß [5] und für den Nachweis der Tragfähigkeit der Schadensgrad 3 einen Grenzzustand darstellt. Gemäß dieser Gedankenkette wäre die "effektive" Beschleunigung somit ein zusätzlicher Teilfaktor (neben dem Verhaltensfaktor), um Zielvorstellungen der Auslegung zu verifizieren.

Die Abminderung auf Effektivwerte müßte nach dem Bemessungsbeben gestaffelt sein und dürfte bei Beben für den Nachweis der Nutzungs- bzw. Betriebsfähigkeit nur gering sein. Ein solches Vorgehen läßt sich, wie moderne Erdbebenbaunormen zeigen, jedoch über Schadensbilder (*damage pattern*; SIA 160: Schweiz), Verhaltensstufen (*performance level*; CONVENIN 1982: Venezuela) oder Anforderungskategorien (DDR, 1990) [6], [9] überzeugender gestalten.

- Die "effektiven" Beschleunigungen und (zulässigen) Auswirkungen können im Zusammenhang mit Wertvorstellungen (Bauwerksklassen) und den entsprechend modifizierten Faktoren festgelegt werden.
- Mit der Orientierung auf die Möglichkeiten eines Bauwerks/Tragwerks zur Energieaufnahme bzw. -zerstreuung könnte die Abminderung auf "effektive" Beschleunigungen auch als Vorwegnahme des Verhaltensfaktors angesehen werden, die jedoch ohne Bauwerkskenntnis und tragwerksunabhängig erfolgt.
- Über den Einfluß der Zyklenzahl oder die erforderliche (schadensauslösende) Anzahl von Starkbebenstößen liegen keine gesicherten Kenntnisse vor. Folgerichtig erscheint die Überlegung, daß erst bei einer bestimmten Starkbebedauer sich das normenseitig angestrebte duktile Verhalten überhaupt entwickeln kann bzw. sich quasi im Schadensbild Bemessungsgrundsätze bzw. Versagensmuster (*capacity design*) widerspiegeln (vgl. Abschn. 4.2) Dieser Aspekt kann im Bemessungskonzept des EC 8 jedoch durch Wahl der Duktilitätsklasse und Verhaltensfaktoren berücksichtigt werden. Es besteht somit kein Bedarf, diese Sachverhalte durch die effektiven Beschleunigungen abzudecken.

Die genannten Aspekte verdeutlichen die Gefahr, daß das Konzept der "effektiven" Beschleunigung mit Elementen der "Widerstandsseite" überfrachtet wird. Ein vereinheitlichtes Vorgehen zur Festlegung der Beschleunigungen im Rahmen von Erdbebenbaunormen (EC 8) ist nur über die Einwirkungsseite möglich. Dabei ist ebenfalls eine Diskussion der "Auswirkungen" voranzustellen:

- Die "Auswirkungen" der Bodenspitzenbeschleunigung beschränken sich auf die hochfrequenten Anteile, die vornehmlich für starre Bauwerke relevant sind. Für die meisten Bauten sind jedoch die Spektralbeschleunigungen "schadensrelevant", insbesondere dann, wenn die Auslegungsgrößen nicht mit den realen Größen übereinstimmen.
- Die Spektralbeschleunigungen werden im Amplitudenniveau durch das Niveau der Bodenbeschleunigung angehoben oder reduziert. Insofern werden die "Auswirkungen" über die Bodenspitzenbeschleunigung und die Verstärkungseffekte sichtbar. Durch den einzelnen Spektralwert wird jedoch nicht die zyklische Charakteristik des Bebens widerspiegelt. Mögliche Effekte lassen sich ev. aus der Breitbandigkeit der Verstärkungseffekte im Spektrum ablesen.

Aus diesen grundsätzlichen Bemerkungen zeichnen sich bereits Grundzüge eines Konzeptes für den EC 8 ab. Zunächst sei jedoch eine Übersicht zu den prinzipiellen Vorgehensweisen gegeben.

3.2 Methodenübersicht und Grundbeziehung

Die Grundgleichung zur Abschätzung bzw. Ermittlung effektiver Beschleunigungen läßt sich in folgender Form verallgemeinern [10]:

$$a_{\text{eff}} = r_{a,i} \cdot \text{RP} \quad (3.1)$$

mit

RP Referenzparameter bzw. Bezugsgröße

$r_{a,i}$ Abminderungsfaktor der Bezugsgröße in Abhängigkeit von der gewählten Methode i .

Als Referenzparameter stehen die Boden- bzw. Spektralbeschleunigungen. Durch den Autor werden fünf Methodengruppen (Methoden 1 bis 5) abgeleitet, die sich in verschiedenartigen Realisationen (a, b, c usw.) umsetzen lassen. Die Umsetzung unterscheidet sich durch den Weg, mit dem die Bezugsgröße bestimmt oder definiert wird. So ist zwischen Einwirkungsgrößen zu unterscheiden, die auf einer intensitätsbezogenen Datenbasis bzw. auf Magnituden-Entfernungsbedingungen basieren. Ein weiteres Unterscheidungskriterium besteht bei Methoden, die auf Spektralbewegungsgrößen abheben. Hier bleibt zu hinterfragen, ob RP festgelegt wird als:

- periodenveränderlichen Spektralbewegungsgröße (z.B. $S_a^* = S_{a,\text{max}}$ über der dem maximalen Spektralwert zuordenbaren Periode)
- Spektralbewegungsgröße über einer definierten Periode (T^*)
- Spektralbewegungsgrößen innerhalb eines Periodenbereichs (z.B. T_B bis T_C); gemittelt

Um von Spektralbewegungsgrößen auf Beschleunigungen schließen zu können, ist in der Regel der Vergrößerungsfaktor herauszuarbeiten, der im EC 8 mit $\beta_0 = 2.5$ als *boxed value* eingeführt wird. Zwischen diesen Methoden und Realisationen sind vielfältige Kopplungen der Grundelemente möglich. Unter Berücksichtigung der zyklischen Charakteristik und /oder Starkbebendauer lassen sich weitere Methoden ableiten, die bezüglich der Effektivität der Bodenbeschleunigung aussagefähige Resultate erwarten lassen.

Methode i	Referenzparameter zur Bestimmung von a_{eff}	Abminderungs- faktor $r_{a,i}$	Anwendung in Normen
1a	a (I)	0.6 - 0.7	
1b	a (M,R)	0.6 - 0.7	
2a	$S_a(I)$; hier: $S_a(T_B-T_C)$	0.4 - 0.5	
2b	$S_a(I, M,R)$; hier: $S_a(T^*)$	0.4 - 0.5	
3a	$S_a^* = S_{a,\text{max}}$	0.6 - 1.0 (> 1.0)	
3b	$S_a^* = S_a(T^*)$	0.6 - 1.0	
3c	$S_a^* = S_a(T_B-T_C)$	0.6 - 0.8	
4	a_N	0.2 - 0.8	
5	$S_{a,N}$	0.7 - 0.9 (?)	

Tabelle 3.1. Methoden zur Ermittlung "effektiver" Beschleunigungen [10].

Im Rahmen des Vorhabens und darüber hinausgehender Analysen wurden vom Autor die in Tabelle 3.1 skizzierten Methoden herausgearbeitet. Anwendung in Erdbebenbaunormen finden die hervorgehobenen Methoden. Sie werden auch zur Bestimmung der Effektivbeschleunigungen für das Nationale Anwendungsdokument berücksichtigt. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Methoden in ihrer Breite und Entwicklung dargestellt.

Für die baupraktische Anwendung dürfte die Frage maßgebend sein, in welcher Größenordnung liegen die Abminderungsfaktoren $r_{a,i}$. Die Antwort wird durch Tabelle 3.1 als Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen vorweggenommen. Es ist nicht uninteressant festzustellen, daß unter Berücksichtigung der zyklischen Charakteristik größere Abminderungen zulässig erscheinen.

3.3 Methodengruppe 1: Abminderung der Bodenbeschleunigung (empirische Vorgehensweisen)

Die unter der empirischen Vorgehensweise zusammengefaßten Methoden sind durch folgende Beziehung gekennzeichnet:

$$a_{\text{eff}} = r_{a,1} \cdot a_m \quad \text{mit } r_{a,1} < 1.0 \quad (3.2)$$

Das Zielstellung besteht in der Abminderung registrierter Beschleunigungen, die sich als Mittelwerte aus statistischen Auswertungen (a_m) angeben lassen. Die Mittelwertbasis orientiert dabei an sicherheits- oder auslegungphilosophische Grundüberlegungen für allgemeine Hochbauten.

Aufgrund dieser Ausgangssituation ist es zweckmäßig, auch zwischen der Art dieser empirischen Korrelationen zu unterscheiden, die zwischen der Beschleunigung und Intensität, aber auch zwischen Beschleunigung und Magnitude, Entfernung hergestellt werden kann:

- Typ (1a): $a_m = a(I)$
Typ (1b): $a_m = a(M, R)$
Typ (1c): $a_m = a(M, R, I)$.

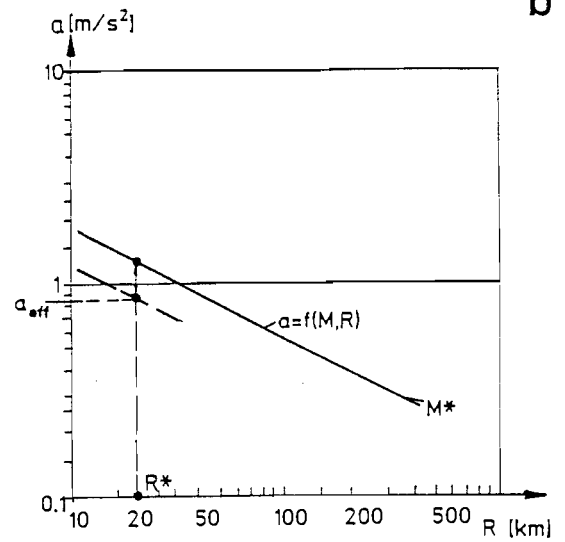
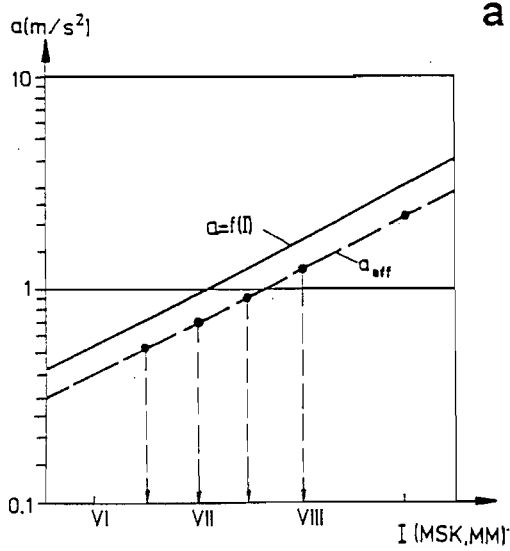
Durch die Intensität besteht in den Korrelationen (1a) und (1c) ein direkter Bezug zu den makroseismischen Beobachtungen und Schütterwirkungen, gemäß der Intensitätsklassifikation somit auch der Zusammenhang zur Schädigung von bestimmten Bauwerkstypen. Demzufolge sind die Beziehungen (1a) und (1c), die von der Intensität ausgehen, auch grundsätzlich anders zu bewerten als Beziehung (1b): die Bodenbewegung mit der Spitzenbeschleunigung a hat konkrete Schadenswirkungen verursacht. In diesen Zusammenhang läßt sich die DIN 4149 mit dem Kommentar einordnen, daß für bestimmte Beschleunigungen keine besonderen Schadenseffekte beobachtet werden konnten.

In der Schweiz wird die effektive Beschleunigung über den Faktor $r_{a,1} = 2/3$ definiert. Auch in der ÖNORM (Sept. 1994) kommt diese Methode zur Anwendung, wobei $r_{a,1} = 0.7$ gilt und auf Korrelationen vom Typ (1b) zurückgegriffen wird. Die Qualität der so ermittelten Effektivbeschleunigungen wird somit durch die Qualität der empirischen Korrelation bestimmt, nach der der Ausgangswert a_m ermittelt wird.

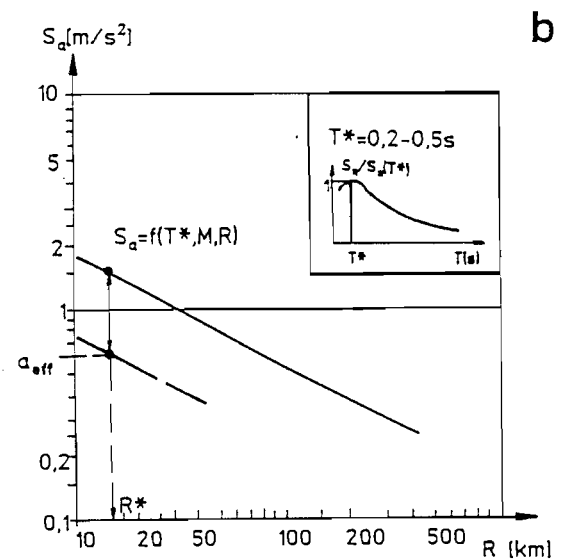
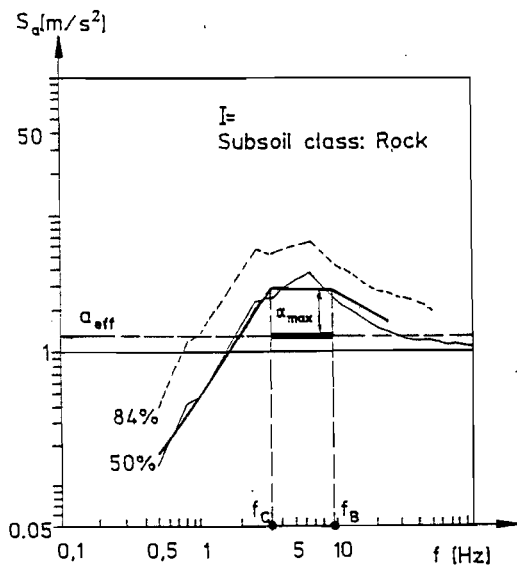
Die Festlegung der effektiven Beschleunigung nach Korrelationen vom Typ 1a wird in Abb. 3.1 schematisch dargestellt und mit Methode 1a eingeführt.

Methoden zur Bestimmung von Effektivbeschleunigungen (1)

Methode 1 $a_{\text{eff}} = \gamma_a \times a$; $\gamma_a = 0,6 \dots 0,7$



Methode 2 $a_{\text{eff}} = \gamma_{S_a} \times S_a$; $\gamma_{S_a} = 1 / \alpha_{\text{max}} = 0,4 \dots 0,5$



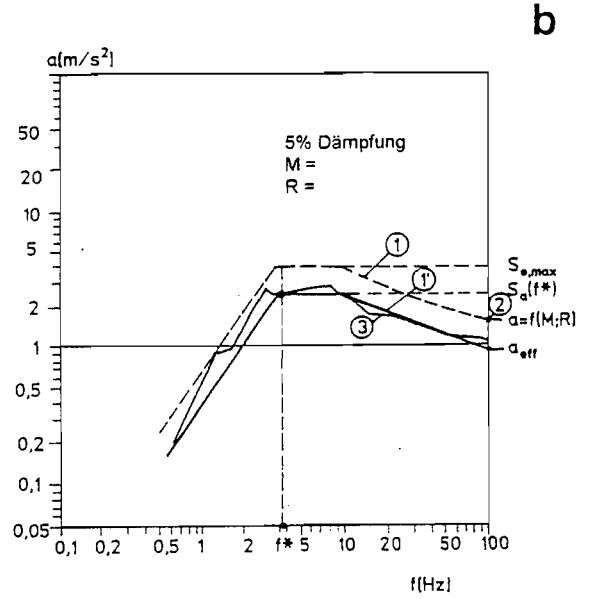
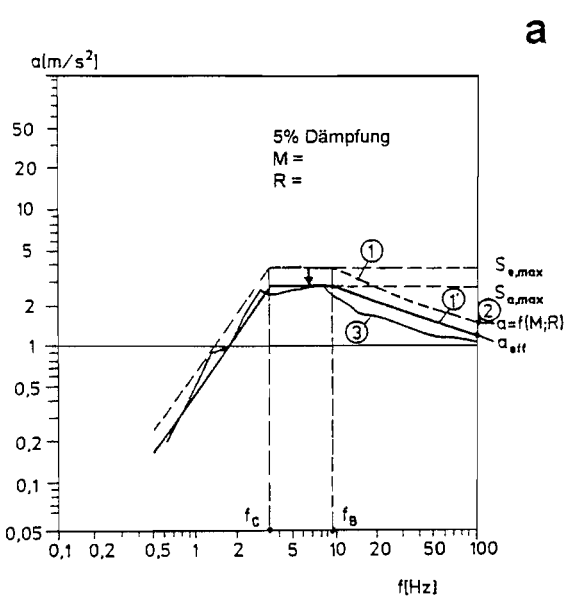
EUROCODE 8 Part 1-1:

$a_{\text{eff}} \hat{=} a_g$; $\alpha_{\text{max}} \hat{=} \beta_0$

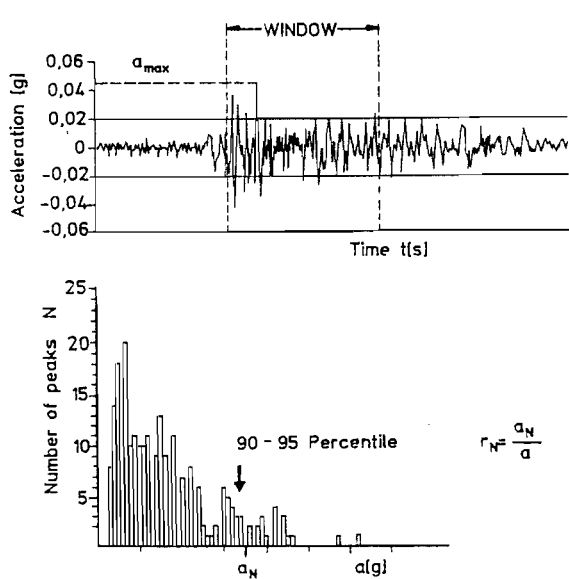
Abb. 3.1 Methoden zur Festlegung der effektiven Beschleunigung (1)

Methoden zur Bestimmung von Effektivbeschleunigungen (2)

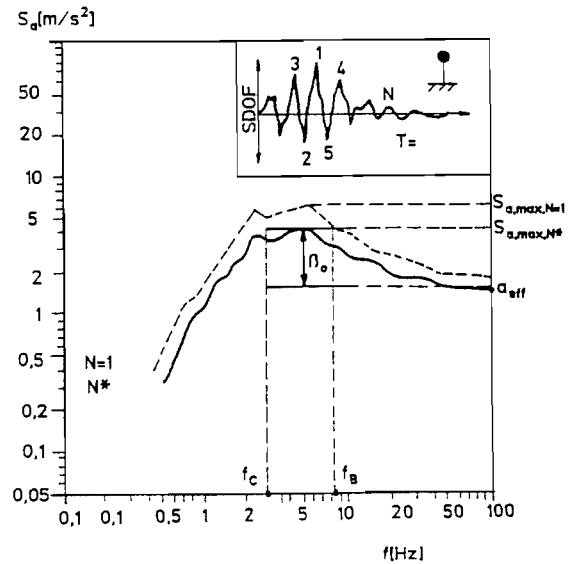
Methode 3 $a_{\text{eff}} = r_{S_a} \times S_a^*$; $r_{S_a} = 0,6 \dots 1,0$



Methode 4 $a_{\text{eff}} = r_N \times a$
 $r_N = 0,2 \dots 0,8$



Methode 5 $a_{\text{eff}} = r_{N^*} \times S_a$
 $r_{N^*} =$



EUROCODE 8 Part 1-1:

$a_{\text{eff}} \hat{=} a_g$

Abb. 3.2 Methoden zur Festlegung der effektiven Beschleunigung (2)

Aus den Korrelationen vom Typ (1b) und (1c) ist die Ermittlung der effektiven Beschleunigung möglich, wenn konkrete Wertepaare (oder Intervalle) von Magnitude M und Entfernung R in Abhängigkeit von der regionalen Spezifik definiert werden. Diese Vorgehensweise wird ebenfalls durch Abb. 3.1 illustriert und nachfolgend als Methode 1b bezeichnet.

Die effektive Beschleunigung gemäß Methode 1 ist somit eine *empirisch-statistische* Größe. (Die Werte für a_m und $a_{m+1\sigma}$ (Mittelwert+ 1σ -Standardabweichung) unterscheiden sich etwa um den Faktor 2.0; dies würde auch für die Effektivwerte gelten.).

Durch diese Vorgehensweise wird die spektrale und zyklische Charakteristik des Bebens nicht berücksichtigt. Die Wahl der Größe von $r_{a,1}$ ist mit Unsicherheiten behaftet und entbehrt einer plausiblen wissenschaftlichen Grundlage.

3.4 Methodengruppe 2: Abminderung von Spektralbeschleunigungen (frequenzabhängige Vorgehensweise)

3.4.1 Konzept nach ATC 3-06 (Methode 2a)

Um die konzeptionellen Schwächen der beschleunigungsbezogenen Einwirkungsbeschreibung zu überwinden, werden im ATC 3-06 [11] "Effektivwerte" der Grundbewegung (EPA und EPV: *effective peak acceleration / velocity*) festgelegt, die wie Abb. 3.3 verdeutlicht, sich aus den Quotienten der maximalen Spektralamplituden der Beschleunigung und Geschwindigkeit und einem Vergrößerungsfaktor 2.5 bezogen auf das 5 % gedämpfte Spektrum ableiten lassen.

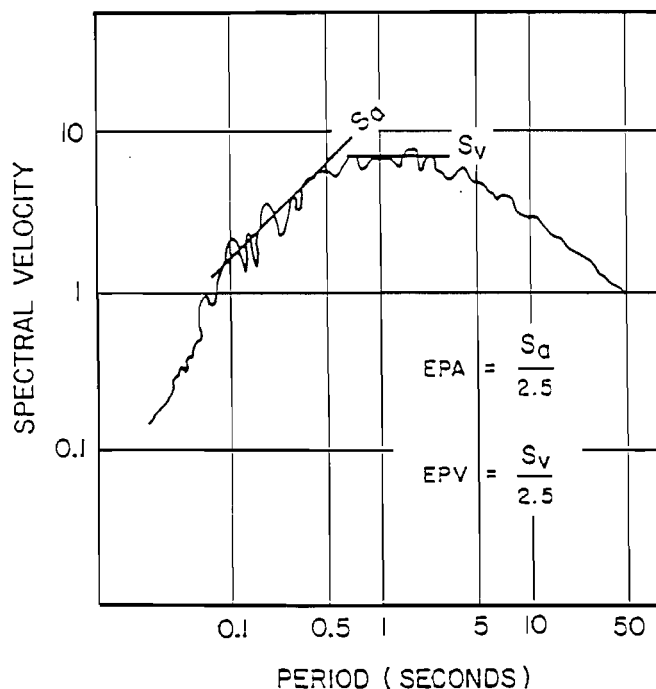


Abb. 3.3 Ermittlung der effektiven Beschleunigung (EPA) und Geschwindigkeit (EPV) nach ATC 3-06 [11]

Der Faktor 2.5 repräsentiert einen fiktiven (einheitlichen) Vergrößerungsfaktor von PGA (nachfolgend bezeichnet mit α) und PGV (nachfolgend bezeichnet mit β). PGA und PGV stehen für die Spitzenbodenbeschleunigung (*Peak Ground Acceleration*) bzw. die Spitzengeschwindigkeit (*Peak Ground Velocity*). Daß diese Faktoren für Beschleunigung und Geschwindigkeit verschieden sind, der Wert 2.5 über- aber auch unterschritten wird, kann aus Spektrumvorschlägen gemäß der Newmark-Hall-Methode [7] im Detail verfolgt werden.

Für die konstanten Spektralbereiche $S_{a,max}$ und $S_{v,max}$ (tetra-logarithmische Achsendarstellung) gilt: $EPA = S_{a,max}/\alpha$ und $EPV = S_{v,max}/\beta$, wobei α und β die spektralen Überhöhungsfaktoren der Bodenbeschleunigung a und Bodenschwinggeschwindigkeit v gemäß durchgeführter statistischer Auswertungen analog zu den Spektren vom Newmark-Hall-Typ repräsentieren.

Im ATC 307 werden α und $\beta = 2.5$ gesetzt, was vielen Auswertungen nur unzureichend gerecht wird, da

- α und β in der Regel nicht gleich sind, sondern gilt: $\alpha > \beta$,
- auch α und β abhängig vom Niveau der statistischen Auswertung sind ($m, m+1\sigma$),
- α auch kleiner 2.5 sein kann.

Für die Faktoren werden in tetralogarithmischer Spektrumdarstellung folgende Bereiche für kalifornische Beben angegeben (Mittelwerte) [12]:

$$\alpha = 2.6 \text{ bis } 2.8$$

$$\beta = 1.9 \text{ bis } 2.3$$

Die Größe von $EPA = a_{eff}$ ist somit abhängig von

- der Linearisierung der Spektren in den Plateaubereichen, $S_{a,Plateau}$ oder $S_a(T_B - T_C)$
- der Wahl der Größe von α .

Wird $\alpha < 2.5$ gewählt, erhöht sich zwangsläufig a_{eff} (EPA); entscheidend bleibt in dieser Vorgehensweise aber das Endprodukt aus $\alpha \cdot a_{eff}$ (EPA) = $S_{a, Plateau}$.

Die Effektivwerte beziehen sich in diesem Konzept auf charakteristische Werte der Erregungsverstärkung in bauwerkstypischen Frequenzbereichen. Eine Differenzierung der Abminderungsfaktoren nach regionalen und untergrundspezifischen Besonderheiten ist prinzipiell möglich. Die Effektivwerte der Grundbewegung sind als "Arbeitsgrößen" aufzufassen, die keine präzise Definition des physikalischen Hintergrundes besitzen.

Die Effektivwerte können größer oder kleiner als die gemessenen Bodenbewegungsgrößen sein

Die unter der genannten Vorgehensweise zusammengefaßten Methoden sind durch folgende Beziehung gekennzeichnet:

$$a_{eff} = r_{a,2} \cdot S_a(T_B - T_C) \quad \text{mit } r_{a,2} = 1 / \alpha < 1.0 \quad (3.3)$$

3.4.2 Grundsätzliche Probleme des Konzepts

Grundsätzliche Probleme des Konzepts werden aus Abb. 3.4 nach Hadjian [13] deutlich, in der die Spektren der Beben Taft ($M_L = 7,2$) und Melendy Ranch ($M_L = 4,7$) verglichen werden. Das Plateau des Melendy Ranch - Spektrums liegt deutlich über dem des Taft -Beben- Spektrums und würde eine höhere Effektivbeschleunigung erwarten lassen. Offensichtlich versagt das Konzept, weil der Bezug zu den Parametern zur Kennzeichnung des Schadenspotentials (wie z.B. Zeitdauer, Starkbebenphase und zyklische Charakteristik) fehlt (vgl. Abschn. 3.5).

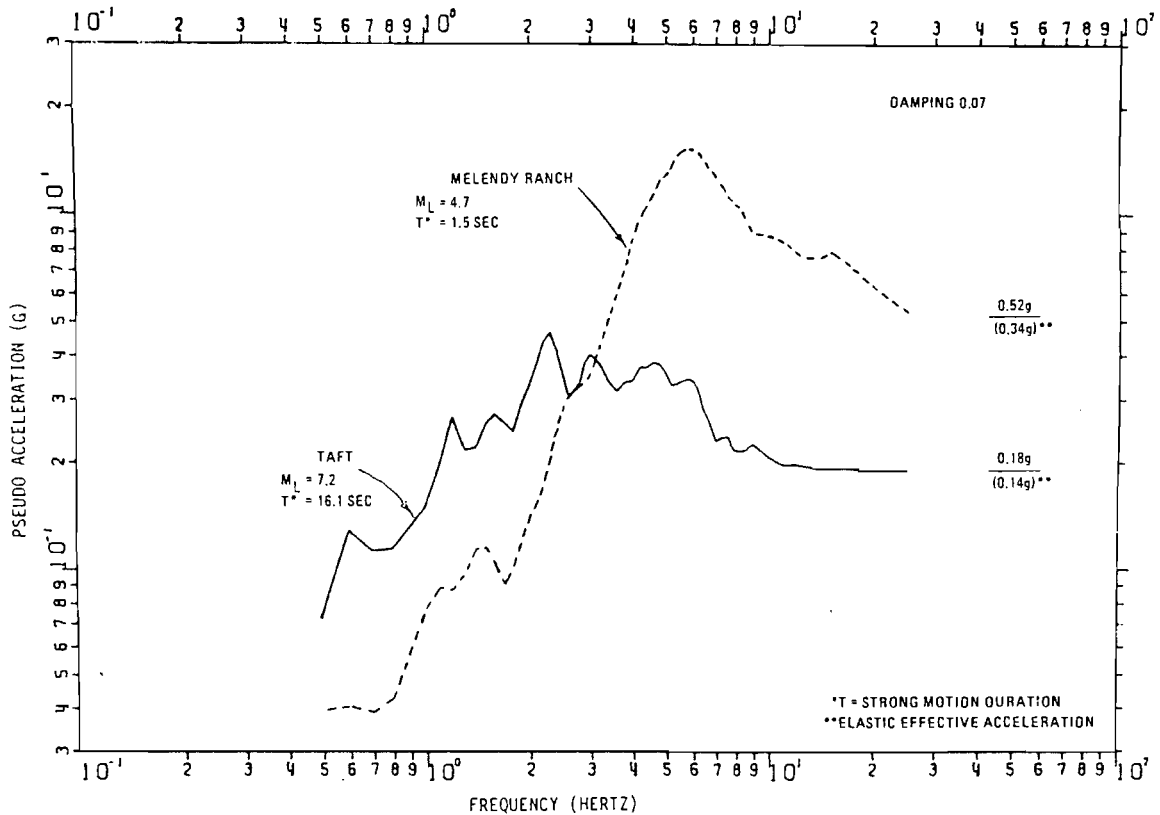


Abb. 3.4 Vergleich der Spektren vom Melendy Ranch- und Taft-Erdbeben [13]

3.4.3 Anwendung des Konzepts auf mitteleuropäische Erdbebengebiete

Werden als Basisgrößen intensitätsbezogene Spektren eingeführt, könnte zur Unterscheidung $S_a(T_B - T_C)$ durch $S_a(I; T_B - T_C)$ ersetzt werden. Die Vorgehensweise wird als Methode 2a eingeführt (Tabelle 3.1 bzw. Abb. 3.1).

Die Anwendung dieser Methode zur Festlegung der effektiven Beschleunigung kann sich für mitteleuropäische Erdbebengebiete auf zwei Vorschläge stützen, die sich vornehmlich in der Behandlung des Überhöhungsfaktors α (in EC 8: β_0) unterscheiden, jedoch zu gleichen Spektralbeschleunigungen im Plateaubereich des Spektrums führen.

* *Vorschlag von Hosser, Keintzel und Schneider [4]*

Dem ATC-Konzept entlehnt ist ein Vorschlag von Hosser, Keintzel und Schneider zur Harmonisierung Europäischer Normenfestlegungen [4], in dem aus den Spektralwerten des beschleunigungsbezogenen Verstärkungsbereiches die Beschleunigungsgrundwerte der einzelnen Zonen ermittelt werden.

Das methodische Vorgehen wird durch Abb. 3.1 veranschaulicht (Methode 2a).

Folgende Feststellungen sind zu treffen:

- Der Überhöhungsfaktor β_0 wird als konstanter Parameter aufgefaßt und mit $\beta_0 = 2.5$ festgelegt. Der Wert $\beta_0 = 2.5$ entspricht auch dem [*boxed value*] nach EC 8 und findet sich in einer Vielzahl von Erdbebenbaunormen wieder. Er repräsentiert in charakteristischer Weise die Überhöhung der Bodenbeschleunigung im 5 % gedämpften Antwortspektrum bzw. im Mittelwertspektrum einer statistischen Auswertung.
- Wie sich aus der Überführung der gemittelten intensitäts- und untergrundbezogenen Antwortspektren für mitteleuropäische Erdbebengebiete zeigen läßt, ist dieser Faktor jedoch kleiner 2.5, wenn die Starrkörperhorizontalbeschleunigung mit der maximalen horizontalen Bodenbeschleunigung gleichgesetzt wird ($S_{a, \text{starr}} = a$). Die Starrkörperhorizontalbeschleunigung stellt dabei jene Beschleunigung dar, die nahezu konstant den Spektralwert im höherfrequenten Bereich abbildet.
Wie sich zeigen läßt, ist der Mittelwert der Bodenbeschleunigungen aus den Komponenten einer Datengruppe nicht identisch mit der Starrkörperhorizontalbeschleunigung.

* *Vorschlag von Schwarz [5], [14]*

Wie bereits in [5] angemerkt wurde, werden gemäß der in [4] vorgestellten Vorgehensweise Ergebnisse statistischer Auswertungen (Spektralbewegungsgrößen) in fiktive Faktoren überführt. Es wird deshalb angeregt, sich stärker auf die Ergebnisse der statistischen Auswertung von intensitätsbezogenen Erregungsdaten zu beziehen und den Spektralwert im Starrkörperfrequenzbereich als Einhängewert bzw. "Quasi-Grundbewegung" aufzufassen. Das methodische Vorgehen wird als Methode 2a* eingeführt. Wie auch bei Hosser, Keintzel und Schneider [4] (Methode 2a) werden als Ausgangsgrößen die Mittwertspektren zugrunde gelegt. Es gilt Beziehung (3.3*)

$$a_{\text{eff}} = r_{a,2} \cdot S_a(T_B - T_C) \quad \text{mit } r_{a,2} = 1 / \alpha^* < 1.0 \quad (3.3^*)$$

$$\text{und } \alpha^* = S_a(T_B - T_C) / S_{a, \text{starr}}$$

Die für die Anwendung der Methoden 2a bzw. 2a* erforderlichen Parameter liegen aus den Auswertungen von Hosser u.a [3] oder Schöbel [15], Schwarz u.a. [14], Schwarz und Grünthal [16], [17] vor.

Für die Spektren der Untergrundklasse R (Rock) kann unter Verwendung der Auswertung [12] angegeben werden:

Intensität I	$S_{a, \text{starr}}$ [m/s ²]	$S_{a, \text{max}} / \beta_0$ ($\beta_0 = 2.5$) [m/s ²]
6.5	0.70	0.52
7.5	1.50	1.12
8.5	3.00	2.40

Der Unterschied zwischen $S_{a, \text{starr}}$ und $S_{a, \text{max}} / \beta_0 = 2.5$ erklärt sich daraus, daß der tatsächliche Überhöhungsfaktor kleiner 2.5 ist. Folgende Feststellungen sind zu treffen:

- Methode 2a* orientiert strenger auf die Ergebnisse statistischer Auswertungen.
- Sie führt für β_0 -Werte kleiner 2.5 gegenüber Methode 2a zu größeren Effektivbeschleunigungen.
- Eine Differenzierung der β_0 -Werte würde bedeuten, sich aus den relativ einheitlichen europäischen Auffassungen ($\beta_0 = 2.5 = \text{konstant}$) herauszulösen.
- Die Entscheidung für Methode 2a oder 2a* sollte an die Frage gekoppelt werden, welche Parameter oder Nachweise innerhalb von EC 8 durch die Größe von a_g beeinflusst werden.

3.4.4 Neuartiger Vorschlag für das NAD (Methode 2b)

In den bisherigen Ausführungen blieb die Frage ausgeklammert, inwieweit bei den aufgeführten Vorgehensweisen die seismische Gefährdung (insbesondere das Gefährdungsniveau) und der Zusammenhang zwischen makroseismischen Kenngrößen und Einwirkungsgrößen berücksichtigt wird.

Ein erster Aspekt der gefährdungskonsistenten Einwirkungsbeschreibung hätte den Einfluß der Eintrittswahrscheinlichkeit (Wiederholungsperiode) der Intensität auf die Einwirkungsgrößen bzw. die Konsequenzen der im Rahmen der Einwirkungsbeschreibung vorgenommenen Veränderungen (z.B. Abminderung von realen auf effektive Größen) zu verfolgen.

Ausgehend von der Beziehung zwischen a und I läßt sich zeigen, daß der effektiven Beschleunigung a_{eff} (a_g) eine Standortintensität $I(a_{\text{eff}})$ zugeordnet sein muß, die kleiner als die Intensität für die Referenz-Wiederholungsperiode T_R ist. Für $I(a_{\text{eff}})$ läßt sich für jeden Standort die zugeordnete Wiederholungsperiode $T_{R, \text{eff}}$ angeben, die mit dem Niveau der Gefährdungskarte (*hazard level*) in der Regel nicht identisch ist. Dieser Widerspruch tritt bei den empirischen Vorgehensweisen auf (Methode 1a und 1b).

Die konsequente Anwendung der Möglichkeiten, die sich aus probabilistischen Gefährdungskurven ableiten lassen, gestattet die Einführung von zwei grundsätzlich unterschiedlichen Vorgehensweisen, die nachfolgend diskutiert werden sollen:

Variante 1:

Die effektive Beschleunigung wird als Beschleunigung des Bebens definiert, dessen Wiederholungsperiode nicht mit der makroseismischen Kenngröße (Gefährdungsgröße) identisch ist.

Da $T_R^* < T_R$ ist, gilt $a_{\text{eff}} = a [I(T_R^*)]$. T_R^* wäre zu definieren. Die auslegungsphilosophische Konsequenz lautet:

Die Bauwerksauslegung erfolgt für Beschleunigungen, die eine höhere Eintrittswahrscheinlichkeit (kleinere Wiederholungsperiode) besitzen.

Dieses Vorgehen ist auch im Eurocode 8 (ENV:1998-1-1) [1] verankert. Gemäß 4.2 (3) gilt, daß die effektive Beschleunigung (*design ground acceleration*) einer Wiederholungsperiode von [475] Jahren entsprechen soll. Es ist naheliegend anzunehmen, daß mit der Wiederholungsperiode nicht T_R^* , sondern T_R gefordert wird. Der Zusammenhang zwischen Gefährdung und effektiver Beschleunigung läßt sich in diesem Modell nur schwer plausibel und widerspruchsfrei herstellen.

Variante 2:

Die effektive Beschleunigung wird so definiert, daß das Gefährdungsniveau beibehalten wird und gilt $T_R = T_R^*$.

Ein zweiter Aspekt der gefährdungskonsistenten Einwirkungsbeschreibung beinhaltet die Untersetzung der makroseismischen Intensität durch die für den Standort das charakteristischen Magnitude-Entfernungsbedingungen. Diese Forderung läßt sich unter Verwendung aktueller Datenauswertungen realisieren.

Im Zusammenhang mit der Zuordnung von effektiven Beschleunigungen zur probabilistischen Gefährdungszonenkarte für das Nationale Anwendungsdokument (NAD) wird vom Autor eine Vorgehensweise vorgeschlagen, die Elemente der Methoden 1b und 2a aufgreift und in Abb. 3.1 als Methode 2b veranschaulicht ist. Die vorgeschlagene Methode ist durch folgende Bearbeitungsschritte gekennzeichnet bzw. weist folgende Vorteile auf:

- Für die Intensitäten der Gefährdungszonen werden die für die Bauwerksauslegung maßgebenden Magnitude- und Entfernungsbedingungen ermittelt, d.h. Parameterkombinationen, die jeweils gleiche Standortintensitäten erwarten lassen.
- Für diese Parameter werden unter Zugrundelegung aktueller Datenauswertungen die Spektralbeschleunigungen für maßgebende Perioden ermittelt.

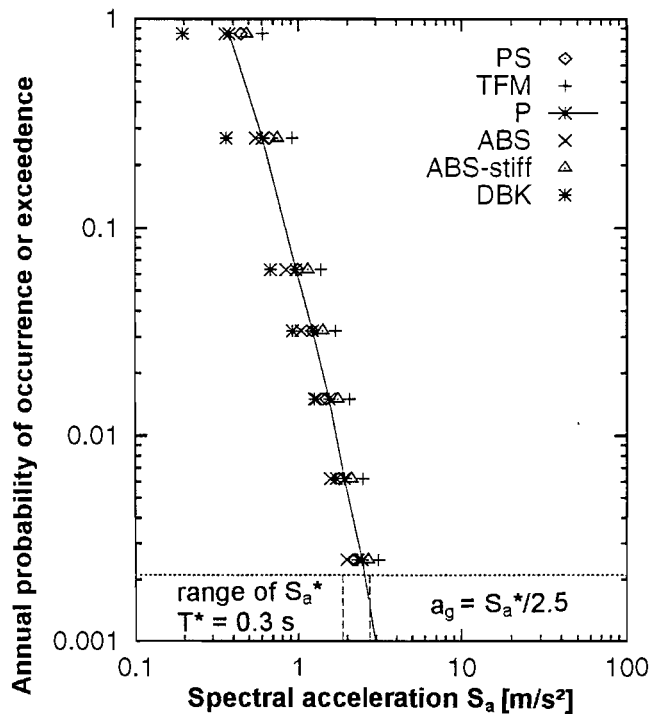
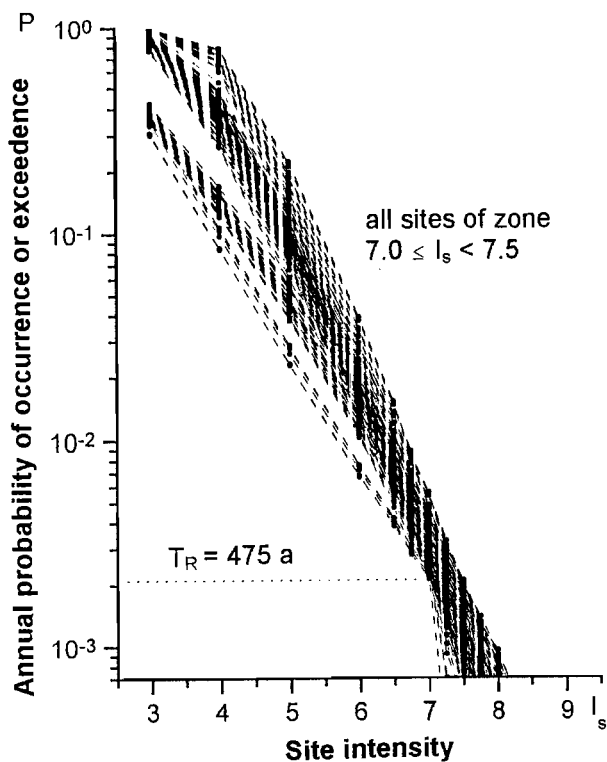
Als maßgebende Perioden T^* sind zu betrachten:

- unter Berücksichtigung von EC 8 und Vorgehensweise gemäß Methode 2a Perioden im Plateaubereich der Spektralbeschleunigung, d.h. $T_B < T < T_C$;
- unter Berücksichtigung neuartiger Gefährdungszonenkarten im Rahmen des *Global Seismic Hazard Assessment Program* sowie unter Berücksichtigung von gefährdungsbezogenen Spektrumvorschlägen für Perioden zwischen 0.2 und 0.5 (0.3) s. (Es sei in diesem Zusammenhang auf die Ausführungen von Grünthal [18] bzw. Schwarz [19] zur D-A-CH Tagung 1993 sowie die Übersichtsdarstellungen in [16], [20],[21] hingewiesen.);
- Perioden, die alle Untergrundklassen im Plateaubereich abdecken.

Die so ermittelten Spektralbeschleunigungen für die Periode(n) T^* werden analog Methode 2a durch den Faktor β_0 abgemindert. Die entscheidende Voraussetzung für die Umsetzung des Konzeptes bildet die Definition der für bestimmte Intensitäten maßgebenden Magnituden-Entfernungsbedingungen (vgl. Abschn. 6). Die daraus abgeleiteten effektiven Beschleunigungen erheben den Anspruch, *gefährdungskonsistent* zu sein (vgl. [19], [22]).

Das vorgestellte Konzept wurde durch Grünthal und Schwarz [21] bzw. Schwarz und Grünthal [22] weiterentwickelt, indem die Gefährdungskurven, die sich für deutsche Erdbebengebiete einer bestimmten Erdbebenzone zuordnen lassen, in Spektralbewegungsgrößen überführt werden (vgl. Abb. 3.5).

Durch Abminderung des für eine Zone (unter Berücksichtigung aller Standorte), für ein bestimmtes Gefährdungsniveau und die Periode T^* repräsentativen Mittelwertes über den Faktor $\beta_0=2.5$ kann die Effektivbeschleunigung in gefährdungskonsistenter Form ermittelt werden. Die Ergebnisse erheben den Anspruch, für die einzelne Zonen im gesamten Untersuchungsgebiet (hier: der Bundesrepublik) repräsentativ zu sein. Die Anwendung des Konzeptes erfolgt für die Perioden $T^* = 0.3$ s und 0.4 s.



Gefährdungskurven für alle Standorte, die bei einer Wiederholungsperiode von 475 Jahren oder Eintretenswahrscheinlichkeit von $2.1 \cdot 10^{-3}$ /a eine Standortintensität I_s zwischen 7.0 und 7.5 aufweisen.

Mit Bezug auf das Gefährdungsniveau von $T_R = 475$ a und die Zonenfestlegung (hier $7.0 \leq I_s < 7.5$) werden obere und untere Umhüllende der Gefährdungskurven gebildet und für diese und eine Referenzperiode $T^* = 0.3$ s Spektralbeschleunigungen nach unterschiedlichen Abnahmemodellen ermittelt. Für die Werte S_a^* kann gemäß Methode 2b weiter verfahren werden. Im Bild sind die Spektralbeschleunigungen für die obere Umhüllende dargestellt. Der für die Zone repräsentative Wert wäre aus der Wichtung der Gefährdungskurven innerhalb des Intensitätsintervalls abzuleiten.

Abb. 3.5 Ermittlung von effektiven Beschleunigungen auf der Grundlage der für alle Modellstandorte einer Erdbebenzone repräsentativen Gefährdungskurven [21].

3.5 Zeit- und frequenzabhängige Vorgehensweisen nach Kennedy et al. [23], [24]

Kennedy und Short [23],[24] schlagen eine Beziehung zur Ermittlung der effektiven Spitzenbeschleunigung (bezeichnet mit A_{DE}) vor, die ausgehend von der rms-Beschleunigung a_{rms} (*root-mean-square*) als weitere Parameter auch die Starkbebendauer T_D' (abgeleitet aus dem HUSID-Diagramm zwischen $T_{0.05}$ und $T_{0.75}$) sowie die Zentralfrequenz der Aufzeichnung W' berücksichtigt. Die Beziehung für A_{DE} lautet:

$$A_{DE} = [2 \ln (2.8 T_D' W')]^{0.5} a_{rms} \quad (3.4)$$

Ohne das Vorgehen weiter zu erläutern, sei auf die Ergebnisse für Beben mit Lokalmagnituden ML größer 6, $T_D' > 3$ s und dominante Frequenzen zwischen 1.5 und 5.5 Hz hingewiesen [23]:

Das Verhältnis A_{DE} / a schwankt für die 12 Beben zwischen 0.72 und 1.06, mit einem Mittelwert von 0.80. Der nach den Methoden 1a und 1b übliche Abminderungsfaktor ($r_{a1} = 0.7$) wird nur in Ausnahmefällen erreicht.

Hadjian [13] wendet dieses Konzept für zwei der ausgewerteten Komponenten sinngemäß an (vgl. Abb. 3.4). Am Beispiel von zwei Beben mit unterschiedlichem Spektrum wird deutlich, daß das Spektrum selbst kein ausreichender Schadensindikator ist: Beim Melendy Ranch-Beben (ML=4.7), daß für Frequenzen größer 3.5 Hz ausgeprägt höhere Spektralbeschleunigungen aufweist, jedoch nur eine Starkbebendauer von 1.5 s besaß, traten keine bemerkenswerten Bauwerksschäden auf. Diese waren jedoch beim Taft-Beben (ML = 7.2) mit einer Starkbebendauer von über 16 s trotz kleinerer Beschleunigungen zu verzeichnen. Die Beurteilung der Situation ändert sich auch nur unwesentlich, wenn eine Abminderung der Spektralwerte über A_{DE} erfolgt.

Als effektive Beschleunigungen werden 0.34 g gegenüber 0.52 g (Malendy Ranch) sowie 0.18 g gegenüber 0.14 g bei dem wesentlich schadensintensiveren Taft-Erdbeben bestimmt. Insofern werden auch mit diesem Ansatz die grundsätzlichen konzeptionellen Probleme bei der Bestimmung effektiver Beschleunigungen nicht überwunden.

Das Konzept wird im Rahmen der Untersuchungen des Vorhabens nicht weiter verfolgt.

3.6 Methodengruppe 3: Anpassung von Normspektren an Ergebnisse statistischer Auswertungen

Aus der konsequenten Umsetzung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse wäre eine weitere Methode bzw. Vorgehensweise zur Definition der effektiven Beschleunigung abzuleiten, die in engen Zusammenhang mit den Methoden 2a und 2b steht. Danach wäre die Effektivbeschleunigung als Parameter aufzufassen und zu nutzen (!), der die normierten Standardspektren in Übereinstimmung mit standorttypischen, d.h. gefährdungskonsistenten Spektren bringt.

Dies entspricht auch den ursprünglichen Intentionen des Konzeptes (Zitat nach Reiter [25]):

"Effective acceleration was generally defined as that peak ground motion which, when used to scale fixed response spectrum shapes, resulted in the appropriate level of motion at the engineering frequencies of interest."

Sinngemäß und übertragen auf den EC 8 bedeutet dies, daß das durch den Überhöhungsfaktor von $\beta_o = 2.5$, die Kontrollperioden T_B , T_C , T_D und Exponenten k beschriebene und durch die Effektivbeschleunigung an die jeweiligen Standort anzupassende Felsbezugsspektrum (Bodenfaktor $S = 1.0$) so zu skalieren ist, daß die resultierenden Spektren mit den regional bzw. lokal zu erwartenden Spektren übereinstimmen. Die Qualität der Übereinstimmung oder die Zielgröße dieses Vorgehens kann zu Modifikationen des Konzeptes führen, wobei auch der Grad der Konservativität unterschiedlich realisiert bzw. festgelegt werden kann.

Das prinzipielle Vorgehen wird in Abb. 3.2 (Methode 3a) dargestellt und sei in den wesentlichen Bearbeitungsschritte erläutert:

- (1) Unter Verwendung einer für Europa repräsentativen Korrelation des Typs $a = f(M,R)$ wird die Felsbeschleunigung ermittelt, die nachfolgend zur Skalierung des normierten Felspektrums in EC 8 herangezogen wird. Die maximale Spektralbeschleunigung im Plateau des elastischen Normspektrums sei mit $S_{e,max}$ bezeichnet.
- (2) Der Spektralwert $S_{a,max}$ repräsentiert den maximalen Spektralwert des für felsigen Untergrund ermittelten standortspezifischen (gefährdungskonsistenten) Spektrums.
- (3) Das Standardspektrum wird auf das Niveau von $S_{a,max}$ verschoben, d.h. es wird das Spektrum gebildet, das das gefährdungskonsistente Spektrum im Plateau abdeckt.
- (4) Die effektive Beschleunigung folgt aus der Relation

$$a_{eff} = S_{a,max} / S_{e,max} \cdot a(M,R) = r_{a,3} \cdot S_a^* \quad (3.5)$$

$$S_a^* = S_{a,max} \quad r_{a,3} = a(M,R) / S_{e,max}$$

Die Anwendung der Methode 3a präsentierte Bommer auf der 5th SECED in Chester [26].

Die gefährdungskonsistente Festlegung der Effektivbeschleunigung spiegelt sich in der Abhängigkeit von den konkreten Magnituden-Entfernungssituationen wider:

- Die Vorgehensweise liefert bezogen auf das Verhältnis $r_a = a_{eff} / a$ für herdnahe Ereignisse (Entfernung 10 bis 20 km) im Magnitudenbereich 4.5 bis 5.5 minimale Werte ($r_a = 0.80$ bis 0.85).

- Die Vorgehensweise liefert maximale Werte bei herdfernen Ereignissen und Magnituden größer 6.5.

Die Aussagen stützen sich auf Berechnungen mit den von Ambraseys, Simpson und Bommer [27] vorgelegten Abnahmebeziehungen der Spektralbeschleunigung. Anzumerken ist, daß diese Abnahmebeziehungen für steifen Untergrund gegenüber Fels zu deutlich höheren Spektralwerten $S_{a,max}$ führen, so daß die Größe des Bodenfaktors für diese Untergrundklasse (in [1] bisher $S = 1.0$) zu korrigieren wäre.

Die Relation $r_{a,3}$ und damit letztendlich auch a_{eff} sind von der gewählten Anpassung in Bearbeitungsschritt (3) abhängig. Eine Verschiebung auf ein Niveau, das kleiner ist als $S_{a,max}$ ist möglich und würde auf eine repräsentative Abdeckung des gesamten Plateau gewährleisten. Das könnte z.B. durch Mittelung der Spektralwerte im Periodenbereich zwischen T_B und T_C erfolgen.

Die Methode 3a kann in Anlehnung an Methode 2b oder 2a modifiziert werden. Wird in Beziehung (3.5) $S_a^* = S_a(T^*)$ oder $S_a^* = S_a(T_B - T_C)$ gesetzt, ergeben sich Methode 3b (vgl. Abb. 3.2) bzw. Methode 3c gemäß der Auflistung von Tabelle 3.1.

Die erläuterten Vorgehensweisen werden unter der Methodengruppe 3 zusammengefaßt. Ergebnisse der Anwendung von Methode 3a und 3b werden durch den Autor in [10] vorgelegt. Die Entfernungsabhängigkeit der Effektivbeschleunigungen wird für drei Intensitätsklassen über den Abminderungsfaktor $r_{a,3}$ illustriert. Abb. 3.6a und 3.6b zeigen die Ergebnisse unter Zugrundelegung der Korrelation Ambraseys u.a. [27], Abb. 3.7a und 3.7b analog für die nach Pugliese und Sabetta [28] ermittelten Beschleunigungen $a(M,R)$ und Spektralbeschleunigungen S_a^* .

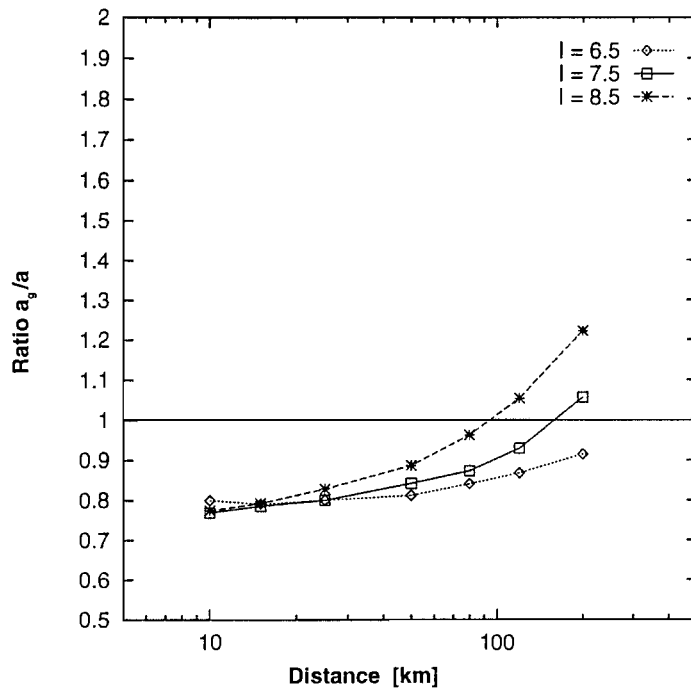


Abb. 3.6a Effektive Beschleunigungen nach Methode 3a unter Verwendung der Abnahmebeziehung von Ambraseys u.a [27] (nach [10]).

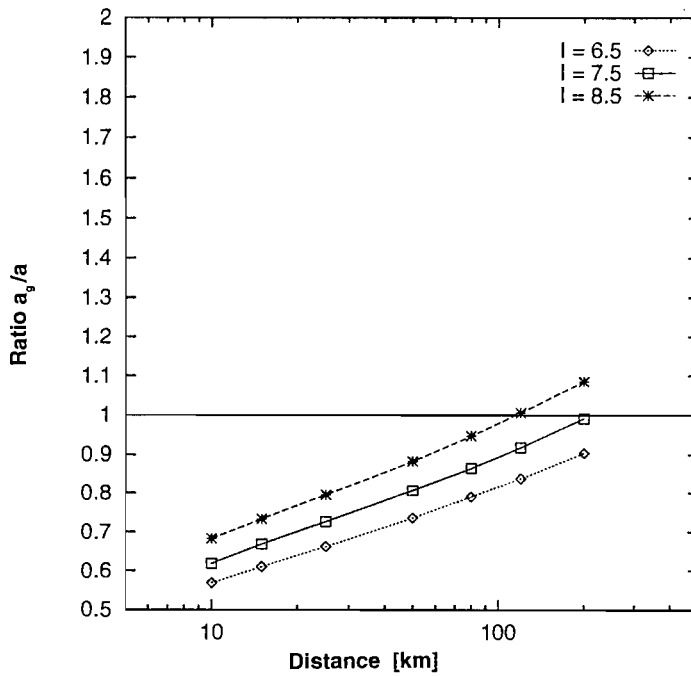


Abb. 3.6b Effektive Beschleunigungen nach Methode 3b unter Verwendung der Abnahmebeziehung von Ambraseys u.a [27] (nach [10]).

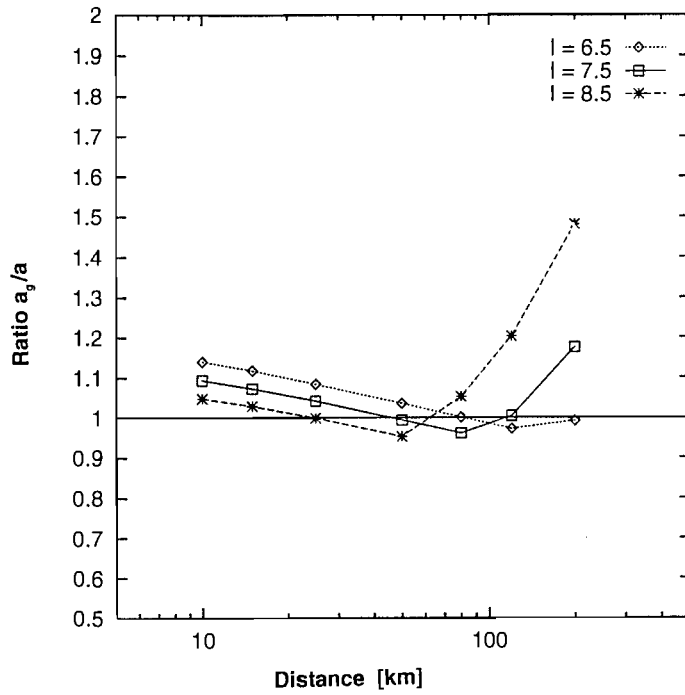


Abb. 3.7a Effektive Beschleunigungen nach Methode 3a unter Verwendung der Abnahmebeziehung von Pugliese und Sabetta [28] (nach [10]).

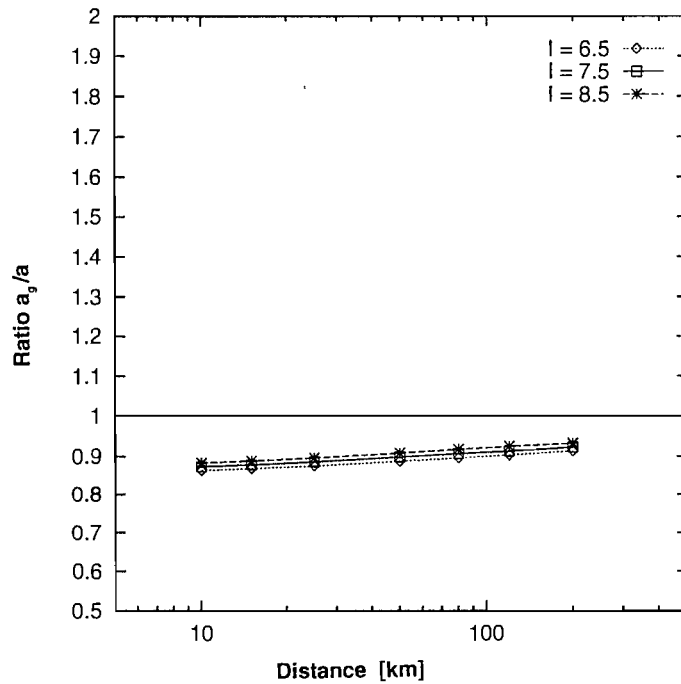


Abb. 3.7b Effektive Beschleunigungen nach Methode 3b unter Verwendung der Abnahmebeziehung von Pugliese und Sabetta [28] (nach [10]).

3.7 Methodengruppe 4: Von der Zyklenzahl der Bodenbewegung abhängige Vorgehensweisen

Durch die effektive Beschleunigung sollten im wesentlichen folgende Sachverhalte bzw. Parameter erfaßt werden:

- das Nichtwirksamwerden einzelner Spitzenbeschleunigungen, d.h. das Niveau von wiederholt auftretenden Beschleunigungen
- die Frequenzcharakteristik der Bodenbewegung
- die Zyklenzahl N bzw. Starkbebendauer t_s .

Zyklenzahl bzw. Starkbebendauer werden im Rahmen von Methoden 1a und 1b indirekt durch die Festlegung eines Beschleunigung-Schwellwertes berücksichtigt, der innerhalb der Bodenbewegung in einem bestimmten Zeitbereich wiederholt erreicht wird. Es ist nicht unüblich, diesen Zeitbereich auch zur Definition der Starkbebendauer (oder zur Definition von effektiven Bodenbeschleunigungen) heranzuziehen.

Die Definition "effektiver Beschleunigungen" unter Berücksichtigung der zyklischen Charakteristik der Erdbebenanregung kann unabhängig von der gewählten Methode entweder auf Grundlage eines Beschleunigungszeitverlaufs (Abschn. 3.7.1 und 3.7.2) oder auf der Basis der spektralen Antworten (Reaktionen von Einmassen-Systemen (SDOF) vgl. Abschn. 3.8) erfolgen. Unterschiede zwischen den Methoden resultieren aus:

- der jeweiligen "Zähltechnik"
- der Wahl des Zeitfensters mit Orientierung auf die Starkbebendauer (Unterscheidung zwischen "Signal" und "Noise")
- der Überschreitenswahrscheinlichkeit der (digitalisierten) Beschleunigungsamplituden.

Vorgehensweisen, die auf der zyklischen Charakteristik der Bodenbeschleunigungen basieren, werden als Methodengruppe 4 zusammengefaßt (Abb. 3.2). Die Beziehung zur Ermittlung der Effektivbeschleunigung läßt sich gemäß (3.1) angeben:

$$a_{\text{eff}} = r_{a,4} \cdot a \quad \text{mit } r_{a,4} = r_N \quad (3.6)$$

Der Abminderungsfaktor r_N ist von Festlegungen zu Parametern (wie z.B. der Zyklenzahl, den Schwellwerten, dem Zeitfenster, Fraktile u.a.) abhängig, für die derzeit keine einheitlichen Auffassungen bzw. normorientierte Vorgaben zur Verfügung stehen.

3.7.1 Methode nach Bolt und Abrahamson [29]

Bolt und Abrahamson [29] bestimmen die "effektive Beschleunigung" auf der Grundlage eines Histogramms der absoluten Beschleunigungsspitzen einer Erdbebenaufzeichnung. Um den Einfluß der Aufzeichnungslänge zu eliminieren, wird das maßgebende Zeitfenster in Abhängigkeit von Beschleunigungs-Schwellwerten von 0.02 g bzw. auch 0.04 g definiert.

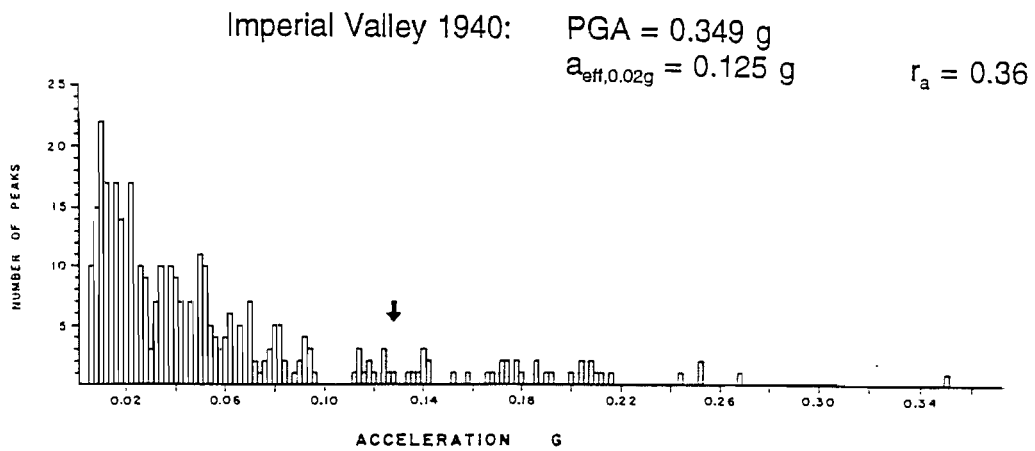
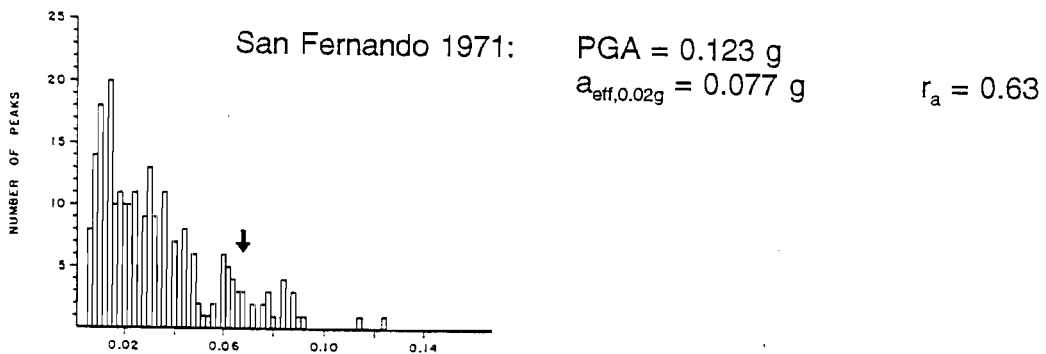
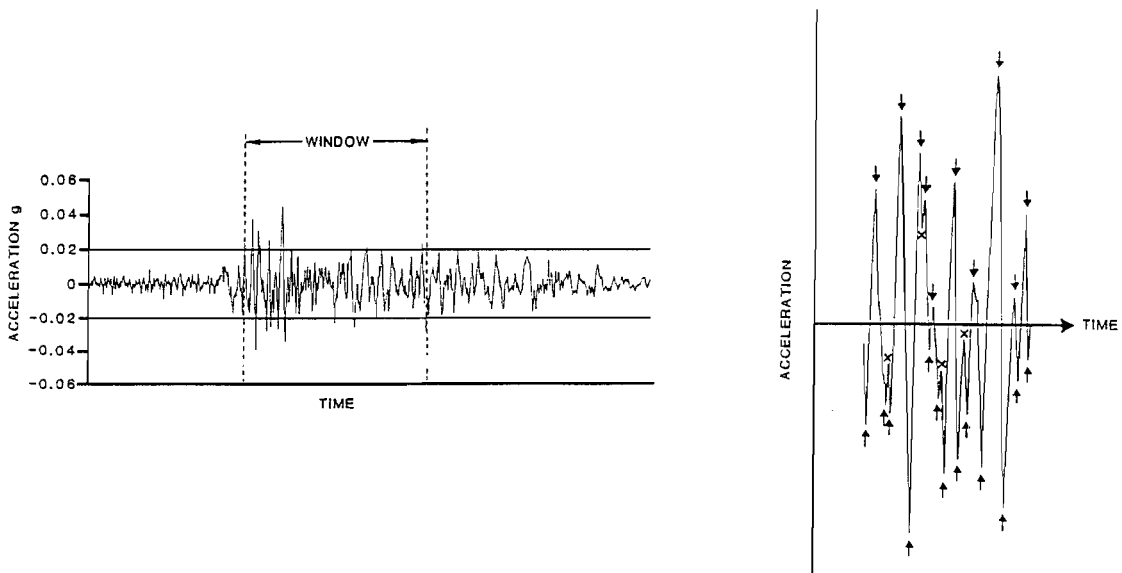


Abb. 3.8 Effektive Beschleunigungen nach der Methode von Bolt und Abrahamson [29] und Beispiele der Anwendung.

Die gewählte "Zähltechnik" wird durch Abb. 3.8 verdeutlicht. Danach werden nur die Beschleunigungsspitzen (*peaks*) größer 0.005g berücksichtigt. Nicht erfaßt werden Spitzen ohne vorherigen Vorzeichenwechsel (markiert als Kreuze in Abb. 3.8). Abb. 3.8 zeigt die Histogramme für zwei kalifornische Starkbeben; der Pfeil kennzeichnet die 90 %-Fraktile, die die Autoren der Definition der Effektivbeschleunigungen in den Beispielen zugrunde legen. Für die meisten praktischen Anwendungsfälle wird eine Anhebung der Percentile auf $P = 95\%$ angeregt. Um den Einfluß singulärer Spitzenwerte weiter zu minimieren, wird in den Aufzeichnung der jeweilige Spitzenwerte (*supremum*) ausgeklammert. Dieses Vorgehen hat auf die ermittelten Effektivwerte kaum Einfluß.

Die ermittelten "Effektivbeschleunigungen" sind vom gewählten Beschleunigungs-Schwellwert und damit auch vom Zeitfenster abhängig: je kleiner der Schwellwert bzw. je größer das resultierende Zeitfenster, desto kleiner die Effektivbeschleunigungen. Dies mag ein Grund für die Empfehlung der Autoren sein, in bestimmten Fällen auch höhere Schwellwerte festzulegen.

Der untere Grenzwert wird durch die Anzahl der Spitzenwerte im Histogramm bestimmt, die mindestens 40 Werte umfassen sollte, um überhaupt sinnvoll eine Percentile angeben zu können.

Die Relation $r_a = a_{\text{eff, Schwellwert}=0.02 \text{ g}} / a_{\text{max}}$ schwankt für die insgesamt 59 ausgewerteten Komponenten zwischen 0.21 und 0.93 mit einem Mittelwert vom 0.43. Die Werte erhöhen sich beim Schwellwert von 0.04 g. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist aufgrund der Probleme bei der Festlegung des Zeitfensters zunächst nicht möglich.

Bezüglich der Übertragung der Ergebnisse auf mitteleuropäische Erdbebenbedingungen wäre eine Differenzierung der Daten nach der Entfernung erforderlich. Nicht unerwartet ist aufgrund der Zunahme der Starkbebendauer, daß höhere Relationen r_a vorwiegend bei Aufzeichnungen in größerer Herdentfernung auftreten. Aufgrund des zu erwartenden Beschleunigungsniveaus müßte der Schwellwert der Beschleunigung reduziert werden. Dies könnte die Anwendbarkeit der Methode generell in Frage stellen.

3.7.2 Methode nach Schenk [30]

Schenk [30] führt die Untersuchungen von Bolt und Abrahamson [29] mit ähnlicher Datenbasis fort, betrachtet jedoch den gesamten registrierten Beschleunigungsverlauf, d.h. verzichtet auf die Festlegung eines Schwellwert-Kriteriums. Als Grundlage wird der in gleichen Zeitintervallen digitalisierte Beschleunigungsverlauf herangezogen (Abb. 3.9). Die "Zähltechnik" ist somit nicht mehr ausschließlich auf die zyklische Charakteristik orientiert, die von anderen Autoren als signifikanter Schadensindikator anerkannt wird. Die "effektive Amplitude der Bodenbewegung" wird wie folgt definiert:

"... an amplitude which involves the required number of amplitudes of a ground-motion record according to their percentile level P."

Die Effektivbeschleunigung A_{eff} für $P = 98\%$ würde bei insgesamt 1000 digitalisierter Beschleunigungswerten somit von 20 Beschleunigungswerten überschritten werden oder größer sein als die anderen digitalisierten 980 Beschleunigungspunkte.

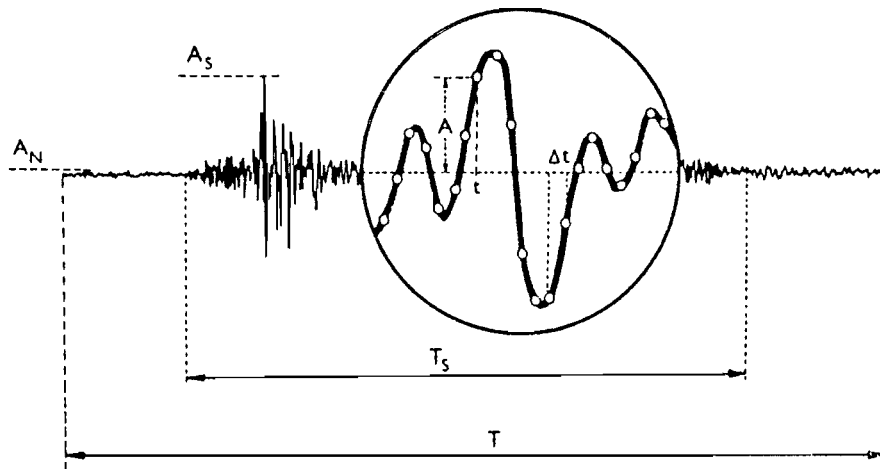


Fig. 1. Ground motion record and quantities of digitization; T_S — probable duration of the seismic signal, T — duration of the record, A_S — maximum amplitude of the signal and A_N — maximum seismic noise amplitude.

Abb. 3.9 Digitalisierung des Zeitverlaufs nach der Zähltechnik von Schenk [30]

Unter Verwendung der kumulativen Amplituden-Häufigkeitsverteilung und nach Eliminierung der "Noise"-Anteile ermittelt Schenk [30] effektive Beschleunigungsamplituden getrennt für horizontale und vertikale Bebenkomponenten und stellt diese den beobachteten makroseismischen Intensitäten gegenüber.

Abb. 3.10 zeigt den Zusammenhang zwischen Intensität und Horizontalbeschleunigung für Eintretenswahrscheinlichkeiten P von 90, 95, 98 und 99,5 %, dargestellt sind auch die Beschleunigungsbereiche, die in früheren Skalenversionen (MSK-64, MM-56) aufgeführt wurden. Aus den dargestellten Ergebnissen wird geschlußfolgert, daß die Mittelwerte von A_{eff} (volle Kreise in Abb. 3.10) erst bei einer Fraktile von 90 % in den durch die (alten) Skalen genannten Erwartungsbereich der Beschleunigung fallen. Bezogen auf diese Percentile liegt die Relation $r_a = a_{\text{eff}}/a_{\text{max}}$ vorwiegend zwischen 0.25 und 0.4 (Mittelwert der Horizontalkomponenten von 0.33); bei $P = 95\%$ erhöht sich die Relation auf Werte zwischen ca. 0.35 und 0.5 (Mittelwert 0.43).

Eine Übernahme oder Verallgemeinerung der Ergebnisse ist aus Sicht des Autors - ohne dies im Detail zu vertiefen - nicht gerechtfertigt. Bedenken sind gegenüber der "Zähltechnik" und Wahl der maßgebenden Percentile anzumelden. Auch der Bezug zu Korrelationen zwischen Intensität und Beschleunigung dürfte für die Festlegung der Percentile nicht geeignet sein.

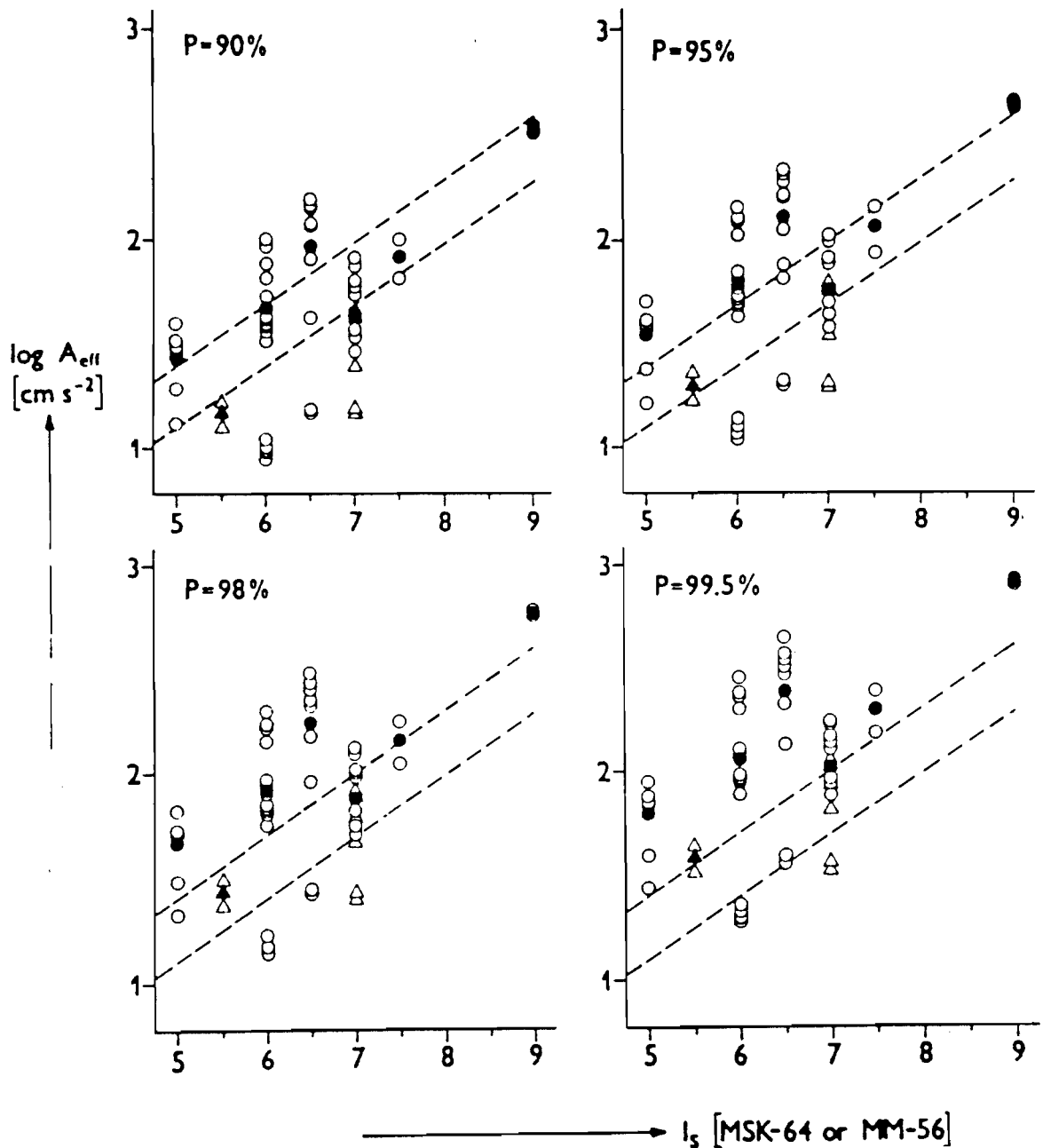


Fig. 7. (a) Correlation between the effective amplitudes A_{eff} of horizontal components and macroseismic intensity I_S ; empty points are A_{eff} values determined for $K = 40$, $K_{\text{CUT}} = 0.2$ and percentile levels $P = 90, 95, 98$ and 99.5% , full points their mean values, dashed lines define a range of accelerations recommended for given macroseismic intensity I_S according to MSK-64 scale.

Abb. 3.10 Effektivbeschleunigungen nach Schenk [30] in Abhängigkeit von der gewählten Nichtüberschreitenswahrscheinlichkeit P

3.8 Methodengruppe 5: Von der Zyklenzahl der Spektralbewegungsgrößen abhängige Vorgehensweise

Im Rahmen der Vorgehensweisen, die auf Spektralbeschleunigungen basieren (Methoden 2 und 3), könnte in Analogie zu diesem Vorgehen die Reaktion eines Einmassenschwingers der Periode T^* (Methode 2b) oder die Reaktion einer Gruppe von Einmassenschwingern innerhalb eines relevanten Periodenbereichs (Methode 2a) zur Definition herangezogen werden.

Dieses Konzept wird durch Kawashima und Aizawa [31] aufgegriffen. Die Autoren untersuchen Antwortzyklen von Einmassenschwingern unter einem bestimmten Erdbebenzeitverlauf und bestimmen "effektive" Antwortspektren, gestaffelt nach den *peaks* der Reaktion (Abb. 3.11). Im Ergebnis stehen Spektren für eine bestimmte Zyklenzahl N . Das Spektrum für die Zyklenzahl $N=10$ würde danach die Spektralbeschleunigung definieren, die innerhalb der Antwortgeschichte (Reaktion der Einmassenschwinger) 10 mal erreicht bzw. überschritten wurde.

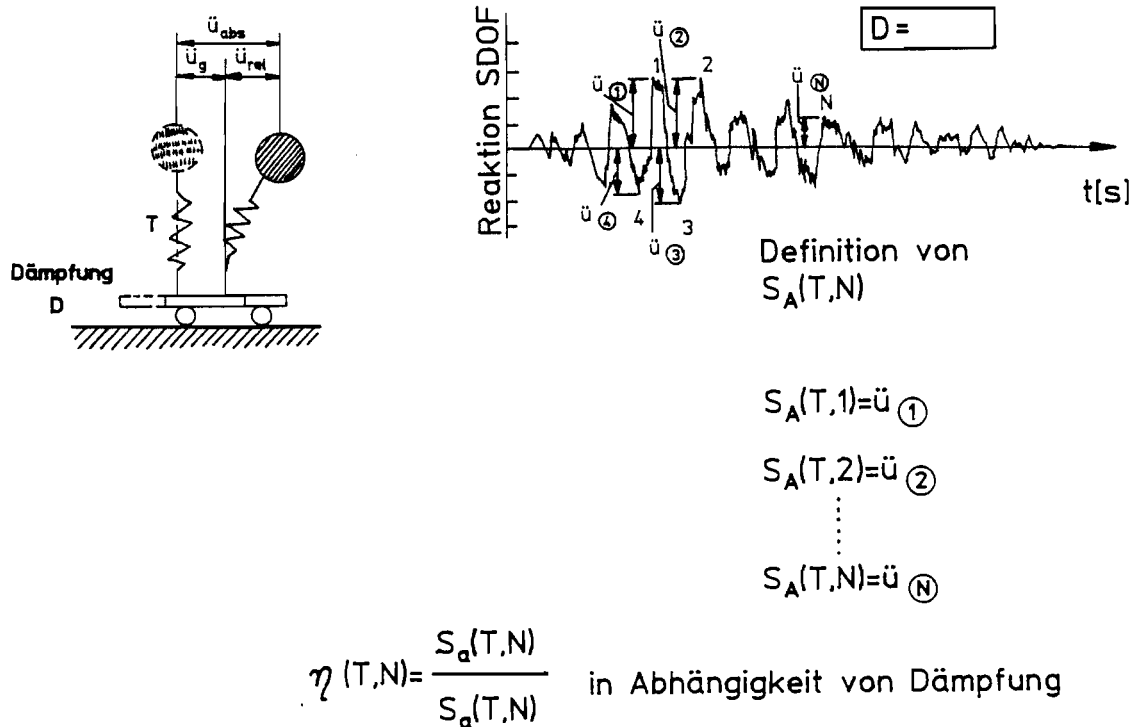


Abb. 3.11 Spektren in Abhängigkeit von der Zyklenzahl N nach [21]

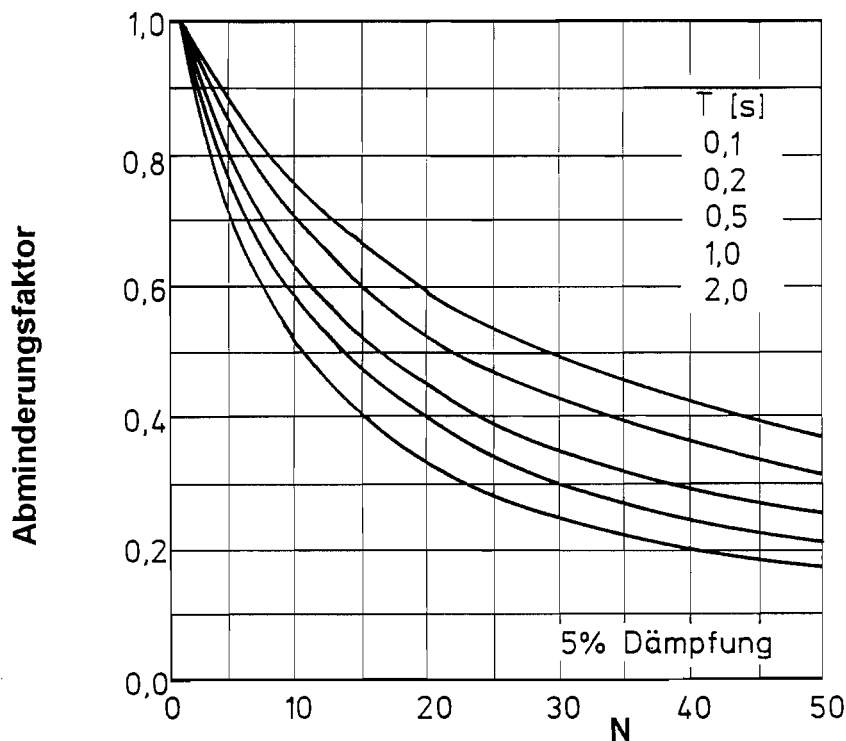


Abb. 3.12 Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von Periode und Zyklenzahl [21]

Es läßt sich ein Abminderungsfaktor des elastischen Spektrums ($N = 1$) angeben, der von der Periode abhängig ist. Abb. 3.12 nach [31] zeigt den so bestimmten Abminderungsfaktor in Abhängigkeit von der Periode. Folgende Feststellungen sind zu treffen:

- Eine Abminderung auf 60 bis 70 % des Bezugswertes für Perioden von 0,1 bis 0,5 s entsprechen einer Zyklenzahl von $N = 10$ bis 20.
- Bei starren Systemen (kleine Periode) ist die Abminderung geringer als bei flexibleren Systemen (große Periode).
- Im Bereich der Starrkörperfrequenz sind Abminderungen nahezu identisch mit der Abminderung der maximalen Bodenbeschleunigung bzw. dem zuvor diskutierten Auftreten von Schwell-Beschleunigungen, die von der Starkbebendauer des Bebens determiniert sind.

In Anlehnung an diese Vorgehensweise wird Methodengruppe 5 abgeleitet (Abb. 3.2).

Die Beziehung zur Ermittlung der Effektivbeschleunigung läßt sich gemäß (3.1) angeben:

$$a_{\text{eff}} = r_{a,5} \cdot S_a^* \quad \text{mit } r_{a,5} = r_N^*/2.5 \quad (3.7)$$

Der Abminderungsfaktor $r_{a,5}$ kann sowohl die von der Zyklenzahl abhängige Abminderung des elastischen Spektrum ($N = 1$) als auch die Abminderung über den Faktor $\beta_0 = 2.5$ berücksichtigen. Die Bezugsgröße S_a^* kann wiederum auf einen repräsentativen Periodenbereich (Methode 5c), einen konkreten Periodenwert (Methode 5b) oder den Maximalwert (Methode 5a) bezogen sein. Zu dieser interessanten Methodengruppe sind weiterführende Arbeiten erforderlich.

4 Zusammenhang zwischen Gefährdung und Einwirkungsbeschreibung in Erdbebenbaunormen der D-A-CH-F Länder

Im nachfolgenden Abschnitt soll eine Übersicht zu den gegenwärtig in Erdbebenbaunormen gewählten Vorgehensweisen und Festlegungen gegeben werden. Dargestellt wird der Zusammenhang zwischen Erdbebenzone, zugeordneter makroseismischer Basiskenngröße (Intensität) und abgeleiteter makroseismischer Rechengröße (Horizontalbeschleunigung).

4.1 Zuordnungen von I und a_{eff} in den D-A-CH-F Staaten

* **DIN 4149** T_R ca. 500 bis 1000 Jahre

Zone	I	a_o [m/s^2]
A,B,0	< 6.5	Extrapolation von Intensität zu Intensität über Faktor 2.0
1	6.5	0.25
2	7.0	0.40
3	7.5	0.65
4	8	1.00

Anmerkung:

Durch einen Abminderungsfaktor erfolgt die Anpassung an die Zielstellungen der Erdbebenauslegung: Personenschutz (Bauwerksklasse 1 und 2) bzw. bedingt auch Objektschutz in Bauwerksklasse 3. Die Wahl höherer Beschleunigungswerte wird dem Bauherren angeraten.

* **ÖNORM**

Zone	I	a_h [m/s^2]
0	< 6.5	bis 0.35
1	6.5-7.0	0.35-0.5
2	7.0-7.5	0.5-0.75
3	7.5-8.0	0.75-1.0
4	> 8	> 1.0

Anmerkung:

a_h ist Beschleunigung, die mit 90% Wahrscheinlichkeit innerhalb von 50 Jahren nicht überschritten wird. Der obere Grenzwert der effektiven horizontalen Beschleunigung liegt bei $1.4 m/s^2$, gerechnet für anstehenden Fels. Lokale Verstärkungen sind durch Lockersedimentschichten möglich.

* **SIA 160** $T_R = 400$ Jahre

Zone	Π_m	a_h [g]	I	a_h [m/s^2]
1	VI-VII (6.5)	0.06	6.5	0.58
2	VII ⁺ (7.2)	0.10	7.0	0.82
3a	VIII ⁻ (7.7)	0.13	7.5	1.12
3b	VIII ⁺ (8.1)	0.16	8.0	1.50

* AFPS 90

5.2.:

Nominal acceleration is to be understood as the common effective acceleration of the horizontal components of the motion.

The effective acceleration of a seismic motion is the magnitude conventionally obtained by dividing by 2.5 the mean ordinate of its 5 % relative damping spectrum in the range of strongest amplifications. It replaces the maximum soil acceleration a_{max} in the study of design spectra, for which it allows a more rational standardization. It is generally rather close to a_{max} from which it differs on average by a few per cents, in either direction. Introducing factor 1/2.5 answers the requirement to obtain a parameter whose physical meaning and values be close to those of parameter a_{max} (maximum soil acceleration), to which the designer is more generally used.

Zone	a_N [m/s ²]		
	Bauwerksklasse		
	A	B	C
0	-	-	-
Ia	1.0	1.5	2.0
Ib	1.5	2.0	2.5
II	2.5	3.0	3.5
III	3.5	4.0	4.5

Folgende Feststellungen können getroffen werden:

- Es kommt partiell das "ATC - Konzept" zur Anwendung, wobei eine Akzentuierung durch den Hinweis auf die Horizontalkomponenten, d.h. die Berücksichtigung des räumlichen Charakters der Anregung erfolgt.
- Mit der Einführung der Bauwerksklassen kommt es zu einer Kopplung von Seismizitäts- und Wertigkeitsfaktor, die aus DIN 4149 oder ÖNORM 4015 bekannt ist.
- Die Unterschiede zwischen den effektiven Beschleunigungen würden voraussetzen, daß sich die Spektren der Bauwerksklassen für die gleiche Zone in der Amplitudencharakteristik unterscheiden müßten. Dies wäre praktisch nur durch 5 % gedämpfte Spektren unterschiedlicher Überschreitenswahrscheinlichkeit bzw. Spektren für unterschiedliche Gefährdungsniveaus, die sich auf unterschiedliche "Hintergrundereignisse" beziehen müßten, zu erklären.
- Die Zonierungsmethode der frz. Norm unterscheidet sich von der in CH, A und D grundsätzlich: den Beschleunigungen kann keine einheitliche mittlere Wiederholungsperiode T_R zugeordnet werden.

4.2 Effektivbeschleunigung und Schadenserwartung

Da in den D-A-CH - Staaten der Zusammenhang zwischen Gefährdung und Einwirkungen primär über die Intensität hergestellt wird, liegt es nahe, das Schadensschema makroseismischer Skalen rückwirkend in einen Zusammenhang mit den Beschleunigung zu bringen. Eine durchgeführte Expertenbefragung zeigt, daß einerseits an die effektive Beschleunigung keine Schadenserwartung geknüpft wird, andererseits die ÖNORM diesen Zusammenhang deutlich herausstellt.

Vom Autor wird die Position vertreten, daß das Konzept der makroseismischen Intensität überfordert wäre, wollte man makroseismische Beobachtungen mit instrumentellen Befunden für die Normung von Ingenieurbauten koppeln, die erstmals durch die EMS-92 überhaupt Berücksichtigung finden. Auf die grundsätzliche Problematik wird u.a. in [5] hingewiesen. Aus grundsätzlichen Bedenken heraus wurde bei der Erarbeitung der EMS-92 deshalb auch auf die Aufnahme eines solchen Zusammenhanges verzichtet.

Von der Versicherungswirtschaft ausgehende Bemühungen, die Erdbebentauglichkeit von Gebäuden, das Gebäudeschadenrisiko o.ä. zu erfassen bzw. zu definieren, führen zu Ansätzen, die hier nur erwähnt jedoch nicht weiter kommentiert sein sollen.

Moser [32] ermittelt auf der Grundlage der Schweizer Norm SIA 160 [33] und dem Schadensschema der MSK-Intensitätsskala "Schadenschwellen a_s [m/s^2]" und "Abbruchgrenzen a_z [m/s^2]" in Abhängigkeit von den drei durch die Norm beschriebenen Bauwerksklassen (BWK).

Es gilt im Vergleich zu den effektiven Beschleunigungen der Norm:

- Die Beschleunigungen "Schadenschwellen a_s " entsprechen den Effektivbeschleunigungen der Norm für die Bauwerksklasse mit den höchsten Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit (BWK III).
- Die Beschleunigungen "Abbruchgrenzen a_z " entsprechen den Effektivbeschleunigungen der Norm für die Bauwerksklasse mit den geringsten Anforderungen an die Funktionstüchtigkeit (BWK I).
- Für Bauwerke der Bauwerksklasse III können die Effektivbeschleunigungen der Auslegung als Beschleunigung definiert werden, die 60 % der "Abbruchgrenzen a_z " betragen. Da die effektiven Beschleunigungen der Schweizer Norm bereits um diesen Prozentsatz abgeminderte Beschleunigungen nach empirischer Korrelation repräsentieren, läßt sich feststellen, daß die "Abbruchgrenzen a_z " den mittleren Beschleunigungswerten nach empirischen Korrelationen entsprechen.

5 Grundsätze für die Ableitung von Effektivbeschleunigungen für das NAD

Der Ermittlung von Effektivbeschleunigungen a_g für das NAD zum Eurocode 8 werden folgende Grundsätze vorangestellt:

1. Die Ermittlung der effektiven Beschleunigung sollte die Frequenzabhängigkeit der Bodenbewegung berücksichtigen und von Kenngrößen ausgehen, die mögliche Auswirkungen indizieren können, gleichzeitig aber eine statistische Repräsentanz besitzen. Diese Forderungen werden durch Entwurfsspektren und den maximalen, auf den Plateau-Bereich der Spektralbeschleunigung bezogenen Vergrößerungsfaktor erfüllt [β_0].
2. Der Überhöhungsfaktor β_0 wird international mit 2.5 eingeführt, obwohl statistische Auswertungen norditalienischer Bebedaten auch kleinere Werte im Bereich 2.0 erwarten lassen [5],[14] (vgl. auch SIA 160: 2.12 gemäß Bezugsspektren nach [7]). Die Konsequenzen aus einem abgeminderten β_0 - Wert und einem erhöhten a_g sind für die Bauwerksauslegung nur dann relevant, wenn a_g nachweisbestimmend ist bzw. in die Auslegungsrechnung einfließt, gemäß [1] u.a.:
 - bei der Definition des Mindestwertes von $S_d(T)$ für $T > T_C$
 - bei der Definition der maximalen Bodenverschiebung d_g
 - bei der Generierung synthetischer Zeitverläufe (Starkbebedauer) oder auch
 - bei der Klassifikation von *low seismicity regions*.
3. Zur Festlegung der effektiven Beschleunigung sollte auch die entfernungsabhängige Abnahme der Beschleunigung berücksichtigt werden. Unter der Annahme, daß Perioden $T = 0.2; 0.3$ oder 0.4 s den maximalen Verstärkungsbereich der Bodenbewegung repräsentieren und damit im Plateaubereich liegen, können entsprechende Abnahmebeziehungen für auslegungsrelevante Magnituden und Entfernungsbedingungen (abgeleitet bzw. umgerechnet aus Beziehungen mit der Intensität/Epizentralintensität) herangezogen werden.
4. Es sollten unterschiedliche Vorgehensweisen Berücksichtigung finden, wobei die Ergebnisse einer differenzierten Wertung bedürfen. Die Ergebnisse der Methoden sollten in einem erkennbaren Zusammenhang stehen.
5. Allein nicht ausreichend erscheint Methode 1a, die auf Korrelationen zwischen der Intensität und Beschleunigung orientiert und diese willkürlich abmindert. Ein solches Vorgehen würde repräsentative Korrelationen für das Untersuchungsgebiet voraussetzen, die (noch) nicht vorliegen. Für die Anwendung der Methode wird aufgrund der umfangreichen Datenbasis die Beziehung von Murphy und O'Brien [34] vorgeschlagen.
6. Methode 1b, die auf Korrelationen zwischen Beschleunigung Magnitude und Entfernung basiert, ermöglicht eine Annäherung an die Gefährdungsspezifik, wenn der Bezug zur Intensität gewahrt wird und die Magnitude-Entfernungsbedingungen herdnahe Ereignisse repräsentieren, die in Mitteleuropa alleinig als schadenverursachend zu betrachten sind bzw. in den Zonen die ausgewiesenen Intensitäten /Bodenbewegungen hervorbringen können.
7. Effektivbeschleunigungen nach Methode 1, die aus empirischer Abminderung der den Gefährdungszonen jeweils zuordenbaren Beschleunigungen abgeleitet werden, sind zur Plausibilitätskontrolle der Ergebnisse heranzuziehen.
8. Es sind verschiedene Vorschläge zu betrachten, die den Zusammenhang zwischen Magnitude, Intensität und Entfernung beschreiben.
9. Es ist von der Mittelwertbasis auszugehen; dies gilt sowohl für die Boden- als auch für die Spektralbeschleunigungen.

10. Ungeachtet der gewählten Vorgehensweise ist es erforderlich, Parameter zu finden, die eine einfache und plausible Einbeziehung der zyklischen Charakteristik der Bodenbewegung ermöglichen. Dies heißt in erster Linie, den Einfluß der Starkbebedauer t_s zu erfassen.
11. Der Zusammenhang zu den bestehenden Erdbebennormen in anderen (benachbarten) Ländern sollte berücksichtigt werden. Bei vergleichbarer Wiederholungsperiode T_R und gleicher Intensität sollten auch die Effektivbeschleunigungen von gleicher Größe sein, wenn die anderen einwirkungsbeschreibenden Parameter (Spektren) nahezu identisch sind.
12. Die Begrenzung des effektiven Beschleunigungswertes auf 1.0 m/s^2 (z.B. für Intensität $I = 8$ gemäß DIN 4149) erscheint in Anbetracht aktueller Starkbebenregistrierungen als nicht realistisch. Eine solcher Grenzwert sollte auch nicht als Skalierungsgröße für die andere Intensitäten (Zonen) eingeführt werden.
13. Aktuelle Erdbeben und die dabei gewonnenen Starkbebenregistrierungen sind bei der Definition der Standardbeben bzw. Kenngrößen zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere für die Daten des Roermond-Erdbebens [35], [36], [37], [38] und Registrierungen des Schweizer Erdbebendienstes im Magnitudenbereich 3.0 bis 4.5 [39].

6 Anwendung der Methoden zur Festlegung effektiver Beschleunigung

6.1 Parameterwahl

6.1.1 Einteilung von Gefährdungszonen und Zuordnung von Intensitäten

Für das NAD wurde eine probabilistische Gefährdungskarte erarbeitet, die in der ersten Bearbeitungsstufe Isoseisten (Linien gleicher Intensitäten) markiert. In einer zweiten Bearbeitungsstufe sind auf Grundlage dieser Ergebnisse Gefährdungszonen für das NAD abzugrenzen, wobei für die Einteilung der Zonen unterschiedliche Vorgehensweisen zur Verfügung stehen. Im wesentlichen geht es um den Zusammenhang zwischen den Isoseisten und Zonenflächen (innerhalb der Isoseisten-Konturen) bzw. den Zonenflächen und repräsentativen Intensitäten. Für diese Bezugsintensitäten wären auch die effektiven Beschleunigungen zu ermitteln.

Aufgrund der sich ergebenden Konsequenzen ist es erforderlich, zunächst grundsätzliche Fragen und erforderliche Entscheidungen zu verdeutlichen:

- Die Gefährdungszone i repräsentiert den Bereich zwischen zwei Intensitäten $I_{i,\min}$ und $I_{i,\max}$, z.B. von 7.0 bis 7.5. Demzufolge gibt es Gebiete, die eher zur Zone (i) und solche, die eher zur Zone ($i+1$) gehören. Der Übergang zwischen den Zonen ist aufgrund der Zoneneinteilung sprunghaft.
- Folgerichtig wäre es, dieser Gefährdungszone ein Intervall von Beschleunigungen zuzuordnen, so daß der Anwender je nach Standortlage eine Anpassung der Beschleunigungswerte vornehmen kann. Eine derartige Festlegung entspricht jedoch nicht DIN 4149, die jeder Zone jeweils einen Regelwert der Horizontalbeschleunigung zuweist.
- Es wird vorausgesetzt, daß der Beschleunigungswert repräsentativ für die Zone und das Intensitätsintervall ist.

Es gibt drei Möglichkeiten, den Beschleunigungswert einer Zone i festzulegen, verbunden mit einem unterschiedlichen Grad der Konservativität:

Möglichkeit	Bezugsintensität zur Ermittlung von a_g	Konservativität
1	$I_{i,\min}$	gering
2	$I_{i,\max}$	hoch
3	I_m	mittel

I_m sei der repräsentative Intensitätswert der Zone oder die mittlere Intensität des durch die Isoseisten (unterer und oberer Intensität) abgegrenzten Areals.

Für die Zoneneinteilung wurden in Anlehnung an DIN 4149 zwei Grundvarianten vorgeschlagen:

Variante 1a

Zone 1: 6.5 - 7.0 ($I = I_{i,\min} = 6.5$)

Zone 2: 7.0 - 7.5 ($I = I_{i,\min} = 7.0$)

Zone 3: 7.5 - 8.0 ($I = I_{i,\min} = 7.5$)

Zone 4: > 8.0 ($I = I_{i,\min} = 8.0$)

Variante 1b

6.5 - 7.0 ($I_m = 6.75$)

7.0 - 7.5 ($I_m = 7.25$)

7.5 - 8.0 ($I_m = 7.75$)

Variante 2

Zone 1: 6.25 - 6.75	($I_m = 6.5$)
Zone 2: 6.75 - 7.25	($I_m = 7.0$)
Zone 3: 7.25 - 7.75	($I_m = 7.5$)
Zone 4: > 7.75	($I_m \approx 8.0$)

Für die Überführung der probabilistischen Gefährdungskarte in die Zonenkarte zum NAD wurde zunächst Variante 2 aus folgenden Gründen empfohlen:

1. Die "Mittelwerte" der Zone repräsentieren tatsächlich die bisher verwendeten Intensitäten. Dies wäre durch Variante 1 nicht gegeben.
2. Das Niveau der Sicherheit ist aufgrund der Intensitätsintervalle erhöht. Auf diese Weise könnte eine "Kompensation" gegenüber der "herabgesetzten" Wiederholungsperiode auftreten: mittlere Wiederholungsperiode von 475 Jahren (NAD) gegenüber "maximal beobachteten Intensitäten" im Beobachtungszeitraum von ca. 700 bis 1000 Jahren (DIN 4149).
3. Die Zuordnung zwischen Zone und Lastparametern kann zwar bei beiden Varianten für die Intensitätsmitten erfolgen, steht aber nur für Variante 2 in einem logischen Kontext zur DIN 4149.

Eine Zusammenfassung der Zonen 3 und 4 wäre hingegen eher für Variante 1 möglich, für Variante 1b sogar naheliegend.

Die Diskussionen im Koordinierenden Spiegelausschuß NABau "Sonderfragen, Erdbeben" führten zur Entscheidung, daß bei der Einteilung von drei Zonen ausgehen sei. Die Erdbebenzonierungskarte basiert danach auf folgenden Intensitätsintervallen (NABau Nr.20-96):

Zone	Intensitätsintervall für $T = 475a$	$I_{i,min}$
1	$6.25 \leq I < 7.0$	6.25
2	$7.0 \leq I < 7.5$	7.0
3	$7.5 \leq I^*$	7.5

* oberer Grenzwert 8.1

Es wurde entschieden, die Festlegung der Beschleunigungen auf die Bezugsintensitäten $I_{i,min}$ zu orientieren (vgl. Abschn. 8).

Um von ausstehenden Entscheidungen über das endgültige Zonierungskonzept unabhängig zu sein, wurde vom Bearbeiter entschieden, die Auswertungen gemäß Variante 2 durchzuführen und auf Grundlage der Ergebnisse eine Korrelationsbeziehung der Form $\log a_g = a \log I + b$ abzuleiten, die es ermöglicht für unterschiedliche Bezugsintensitäten und Zoneneinteilungen die zugeordneten Effektivbeschleunigungen angeben zu können (siehe Beziehung (7.1), Abschn. 7.3).

6.1.2 Maßgebender Entfernungsbereich

Die Anwendung der Methoden 1b, 2b sowie 3 setzt zunächst die Abgrenzung charakteristischer Parameterintervalle von Magnitude und Entfernung (Magnitude- und Entfernungsbedingungen), dann jedoch die Festlegung konkreter Wertepaare voraus.

Hinsichtlich des maßgebenden Entfernungsbereichs erfolgt eine Anbindung an die statistischen Auswertungen von Hosser [3]. Bei der Einteilung der Erdbebedaten wird ausgehend von einem Magnitudenbereich $4.5 \leq M < 6.5$ folgende Entfernungszuordnung für die drei Intensitätsklassen getroffen:

Intensität	Entfernungsbereich R [km]	Vorzugsbereich R [km]
6 - 7	≤ 60	≤ 30 bis 40
7 - 8	≤ 40	≤ 20 bis 30
8 - 9	≤ 30	≤ 10 bis 15

Anmerkung :

Die Erweiterung des Entfernungsvintervalls erklärt sich aus dem Mangel an verfügbaren Erdbebedaten.

Als charakteristisch wird nachfolgend der Entfernungsbereich zwischen 10 bis 25 km angesehen. Untersuchungen werden für Entfernungen $R_j = 10$ ($j = 1$), 15, 20 bzw. 25 km ($j = 4$) durchgeführt.

Da die unteren Intensitäten mit Bedeutung für die Gefährdungszonenkarte auch durch Ereignisse in größerer Entfernung hervorgerufen werden können, wurden die Untersuchungen für einen um die Entfernungen von 30 km ($j=5$) und 40 km ($j=6$) erweiterten Parameterbereich wiederholt. Der Einfluß auf die Ergebnisse ist, wie die Resultate in Abschn. 7. verdeutlichen, gering.

6.1.3 Magnituden-Entfernungsbedingungen

Es steht die Forderung, für die Intensitäten der Gefährdungszonen i und die Entfernungen R_j Magnituden M_{ij} zuzuordnen. Für diese Entfernungen R_j , Gefährdungszonen (Intensitäten) i und Magnituden M_{ij} sind dann die zugehörigen Beschleunigungen a_{ij} bzw. Effektivgrößen $a_{eff,ij}$ zu bestimmen. Es werden nachfolgende Korrelationen vom Typ $M = f(I, R)$ betrachtet.

* *Statistische Auswertungen von Devilliers und Mohammadioum [40]*

Die genannten Autoren leiten auf Grundlage weltweit verfügbarer (vorwiegend jedoch kalifornischer Daten) folgende Korrelation ab:

$$M = 0.55 I + 2.2 \log R - 1.14 \quad (6.1)$$

* *Statistische Auswertungen von Mohammadioun [41]*

Die aktuelle, auf der Grundlage von 913 Intensitätsabschätzungen (Beobachtungen) ermittelte Korrelation lautet:

$$M = 0.54 I + 1.40 \log R + 0.57 \quad (6.2)$$

* *Beziehung nach Ahorner und Rosenhauer [42]*

$$ML = 0.67 I_n + 2 \log R_n + 0.87 a (R_n - 10) - 1.33 \quad (6.3)$$

für Herdtiefe von ca. 10 km und Herdentfernung R_n
 α - Energieabsorptionskoeffizient in km^{-1} (ca. 0.0025)
 $M = ML$ (MWA) Lokalmagnitude.

Es ergeben sich damit Magnituden gemäß Tabelle 6.1.

R [km]	j	Korrelation	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i			1	2	3	4
10	1	6.1	4.64	4.91	5.19	5.46
		6.2	5.48	5.75	6.02	6.29
		6.3	5.00	5.33	5.67	6.00
15	2	6.1	5.02	5.30	5.57	5.85
		6.2	5.73	6.00	6.27	6.53
		6.3	5.36	5.70	6.03	6.36
20	3	6.1	5.30	5.57	5.85	6.12
		6.2	5.90	6.17	6.44	6.71
		6.3	5.62	5.96	6.29	6.62
25	4	6.1	5.51	5.79	6.06	6.34
		6.2	6.04	6.31	6.58	6.84
		6.3	5.83	6.16	6.50	6.83

Tabelle 6.1 Maßgebende Magnitude-Entfernungsbedingungen nach [40], [41], [42].

Anmerkung:

Auf Untersuchungen mit $R_j = 25$ km wird aufgrund der unrealistisch hohen Magnituden teilweise verzichtet. Zur Kontrolle der ermittelten Beschleunigungen werden für die Intensitäten 6.5 und 7.0 auch Ereignisse in größerer Entfernung berücksichtigt.

Wie sich zeigen läßt, liefert Beziehung (6.2) im maßgebenden Entfernungsbereich die höchsten Magnituden, Beziehung (6.1) für eine bestimmte Referenzintensität untere Werte. Die Beziehung (6.3) ordnet sich zwischen den beiden anderen ein.

6.2 Methode 1a: Korrelation des Typs $a = f(I)$ nach Murphy und O'Brien [34]

Die Beziehung führt unter Berücksichtigung der gesamten Datenbasis (keine Differenzierung nach Magnitude- und Entfernungsbedingungen) zu folgenden Effektivwerten:

* *gesamte Datenbasis:*

$$\log a_h = 0.25 I + 0.25 \text{ [cm/s}^2\text{]} \quad (6.4)$$

i	I (bzw. I_m)	a_h [m/s ²]	a_{eff} [m/s ²] ($r_{a,I}=0.7$)
1	6.5	0.75	0.53
2	7.0	1.00	0.70
3	7.5	1.33	0.93
4	> 8	> 1.78	> 1.25

* *Datenbasis, differenziert nach der Entfernung R für $R < 25$ km:*

$$\log a_h = 0.38 I - 0.56 \text{ [cm/s}^2\text{]} \quad (6.5)$$

i	I (bzw. I_m)	a_h [m/s ²]	a_{eff} [m/s ²] ($r_{a,I}=0.7$)
1	6.5	0.81	0.57
2	7.0	1.26	0.88
3	7.5	1.95	1.37
4	> 8	> 3.02	> 2.11

6.3 Methode 1b: Korrelation des Typs $a = f(M,R)$ unter Berücksichtigung der Intensität

6.3.1 Beziehung nach McGuire [43]

$$\log a_h = 0.67 + 0.28 M - 1.3 \log (R + 25) \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (6.6)$$

R [km]	j	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i		1	2	3	4
10	1	M = 4.64 0.92 ¹⁾ 0.64 ²⁾	M = 4.91 1.09 0.76	M = 5.19 1.23 0.86	M = 5.46 1.55 1.09
15	2	M = 5.02 0.98 0.69	M = 5.30 1.18 0.82	M = 5.57 1.40 0.98	M = 5.85 1.68 1.18
20	3	M = 5.30 1.01 0.71	M = 5.57 1.20 0.84	M = 5.85 1.44 1.01	M = 6.12 1.72 1.20
25	4	M = 5.51 1.01 0.71	M = 5.79 1.21 0.85	M = 6.06 1.44 1.01	M = 6.34 1.72 1.21
$a_{\text{eff,mean}}$ ³⁾		0.69	0.82	0.97	1.17

¹⁾ a_h

²⁾ $a_{\text{eff}} = 0.7 a_h$

³⁾ $a_{\text{eff,mean}}$ Mittelwert aus $a_{\text{eff},ij}$

Tabelle 6.2 Effektive Beschleunigungen für Erdbebenzonen gemäß NAD unter Berücksichtigung von Magnitude-Entfernungskategorien nach [40]

	j	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i		1	2	3	4
$a_{\text{eff,mean}}$		0.87	1.07	1.34	1.66

Tabelle 6.3 Effektive Beschleunigungen für Erdbebenzonen nach NAD unter Berücksichtigung von Magnitude-Entfernungskategorien nach [42]

6.3.2 Beziehungen nach Joyner und Boore [44], [45]

$$\log a_h = -1.02 + 0.249 M - \log R - 0.00255 R \text{ [g]} \quad (6.7-a)$$

$$\log a_{hres} = 0.525 + 0.209 (M-6) - \log R - 0.0027 R \text{ [g]} \quad (6.7-b)$$

$$\log a_{hres} = 0.525 + 0.209 (M-6) - \log r - 0.0027 r \text{ [g]} \quad (6.7-c)$$

$r = [R^2 + 64]^{0.5}$ R kürzeste Entfernung zur Oberflächenprojektion der Bruchfläche

R [km]	j	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i		1	2	3	4
10	1	M = 4.64 a 0.93 ¹⁾ b 1.12 c 0.86	M = 4.91 1.09 1.28 0.98	M = 5.10 1.21 1.40 1.08	M = 5.46 1.49 1.67 1.28
15	2	M = 5.02 a 0.77 b 0.87 c 0.76	M = 5.30 0.91 1.00 0.87	M = 5.57 1.06 1.14 0.99	M = 5.85 1.24 1.30 1.13
20	3	M = 5.30 a 0.68 b 0.73 c 0.67	M = 5.57 0.80 0.83 0.76	M = 5.85 0.93 0.94 0.87	M = 6.12 1.09 1.08 0.99
25	4	M = 5.51 a 0.61 b 0.62 c 0.59	M = 5.79 0.72 0.71 0.67	M = 6.06 /0.84 0.81 0.77	M = 6.34 0.99 0.93 0.88
a_{eff,mean}		0.75	0.88	1.01	1.20

¹⁾ Darstellung von: $a_{eff} = 0.7 a_h$

Tabelle 6.4 Effektive Beschleunigungen für Erdbebenzonen nach NAD unter Berücksichtigung von Magnitude-Entfernungskategorien nach [40]

	j	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i		1	2	3	
a_{eff,mean}		1.12	1.30	1.52	1.77

Tabelle 6.5 Effektivbeschleunigungen für Magnitude-Entfernungskategorien nach [41]

	j	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i		1	2	3	
a_{eff,mean}		0.97	1.17	1.41	1.71

Tabelle 6.6. Effektivbeschleunigungen für Magnitude-Entfernungskategorien nach [42]

Die Korrelation von Joyner und Boore [44] kann nach vorliegenden Erkenntnissen auch auf europäische Erdbebengebiete übertragen werden:

- Auswertungen des Roermond Erdbebens 1992 zeigen, daß die registrierten maximalen Bodenbeschleunigungen in Entfernungen größer 50 km durch die Beziehung (6.7-a) hinreichend genau beschrieben werden [35].
- Beschleunigungen, die in [37] auf der Grundlage der im Epizentralbereich gemessenen Nachbeben abgeleitet wurden, werden durch die Beziehung ebenfalls abgedeckt.
- In aktuellen Studien zur Festlegung repräsentativer Abnahmebeziehungen für Europa weisen Ambraseys und Bommer [46] bzw. Ambraseys [47] ebenfalls auf die Übereinstimmung ihrer Ergebnisse mit der von Joyner und Boore entwickelten Korrelation hin.

6.4 Methode 2a: Abminderung des Plateaubereichs intensitätsbezogener Spektren um Überhöhungsfaktor β_0

Es kann auf die Ausführungen in Abschnitt 4.3 verwiesen werden. Vorschläge für $a_g = a_{\text{eff}}$ können aus den Auswertungen von Hosser [3], von Schöbel [15] und Untersuchungen in [5], [14], [16] abgeleitet werden:

* *Effektivbeschleunigungen nach den Spektren von Hosser [3]*

	Methode 2a	Methode 2a*	
I	$S_{a,\text{max}}/\beta_0 = 2.5$	$S_{a,\text{starr}} \text{ [m/s}^2\text{]}$	$\beta_0^* = S_{a,\text{max}}/S_{a,\text{starr}}$
6.5	0.52	0.70	1.86
7.5	1.12	1.50	1.87
8.5	2.40	3.00	2.00

* *Effektivbeschleunigungen nach den Spektren von Schöbel [15], Schwarz u.a. [14]*

	Methode 2a	Methode 2a*	
I	$S_{a,\text{max}}/\beta_0 = 2.5$	$S_{a,\text{starr}} \text{ [m/s}^2\text{]}$	$\beta_0^* = S_{a,\text{max}}/S_{a,\text{starr}}$
6.0	0.40	0.55	1.82
7.0	0.72	0.95	1.89
8.0	1.24	1.60	1.94

Zwei Sachverhalte sind hervorzuheben:

- Die Ergebnisse der für unterschiedliche Intensitätsklassen durchgeführten Studien lassen einen realistischen Zusammenhang zwischen der Intensität und der Quasi-Grundbeschleunigung $S_{a,\text{starr}}$ erkennen.
- Der Überhöhungsfaktor β_0^* ist kleiner als der empfohlene Wert von 2.5.
- Die Relation zwischen β_0^*/β_0 liegt bei 0.75 bis 0.8 und damit in der Größenordnung von r_a nach Methode 3a. Diese Ergebnisse bestätigen die Anmerkungen in Abschn. 3.4.3.

6.5 Methode 2b: Korrelation des Typs $S_a(T)=f(M,R)$ und Abminderung um Überhöhungsfaktor β_0

6.5.1 Grundsätze der Umsetzung

* Grundsätzliche Forderungen

Zur Umsetzung der in Abb. 3.1 dargestellten Methode sind folgende Randbedingungen zu setzen bzw. zu erfüllen:

- Es sind Spektrumvorschläge heranzuziehen, die hinsichtlich der Datenbasis als repräsentativ einzuschätzen sind, d.h. sich vorwiegend auf norditalienische bzw. südosteuropäische Erdbebendaten beziehen. Diese Forderung wird durch die Vorschläge von Tento u.a. [48], Petrovski [49], Pugliese und Sabetta [28] erfüllt.
- Es sind Spektrumvorschläge heranzuziehen, die auch herdnahe Ereignisse berücksichtigen.
- Die Spektren müssen für Felsbedingungen oder moderaten Untergrund stehen. Diese Forderung läßt sich durch die nach den Untergrundbedingungen differenzierten Auswertungen von Pugliese und Sabetta [28] und Ambraseys, Simpson und Bommer [27] erfüllen.
- Die Spektren von Tento u.a. [48] und Petrovski [49] repräsentieren moderate Bodenbedingungen. Für diese Bodenklasse wird im EC 8 ein Bodenfaktor $S = 1.0$ ausgewiesen. Eine Modifikation der Resultate wäre somit nicht erforderlich.
- Die zu wählende Periode T^* sollte für alle Untergrundklassen im Verstärkungsbereich der Bodenbewegung liegen. Sie sollte sich, wie bereits in Abschn.3.4.4 ausgeführt, in aktuelle Entwicklungen auf dem Gebiet der seismischen Gefährdungseinschätzung und Ableitung von gefährdungskonsistenten Spektren (vgl. [19], [50], [51], [52]) sinnfällig einordnen lassen. Diese Forderung wird durch Perioden T^* zwischen 0.3 und 0.4 s erfüllt.
- Die Spektralwerte der einzelnen Vorschläge sind für die charakteristischen Magnitude- und Entfernungsbedingungen (gemäß Abschn. 6.1.3) zu ermitteln. Die Werte $S_a(T^*)$ sollen dabei keine singulären Spitzenwerte darstellen, sondern den Verstärkungsbereich repräsentieren.

* Wahl der Beziehung $M = f(R,I)$

Wie aus Tabelle 6.1 hervorgeht, sind aus Beziehung (6.2) obere, aus Beziehung (6.1) untere Beschleunigungswerte zu erwarten. Diese Relation äußert sich auch in den Spektren. Die Abb. 6.1 und 6.2 zeigen die Umhüllenden der aus den Spektren nach Tento u.a. [48] und Petrovski [49] ermittelten Erwartungsbereiche der Spektralbeschleunigung für die Bezugsintensitäten $I=7.0$ bzw. $I=8.0$. Ausgewertet wurden die Beziehungen (6.1), (6.2) und (6.3) für die abgeleiteten Magnituden- und Entfernungsparameter nach Tabelle 6.1.

Nachfolgend werden nur noch die Beziehungen (6.1) und (6.3) verfolgt und für die ermittelten Wertepaare von Magnitude und Entfernung die Spektralbeschleunigungen $S_{a,ij}$ (i-Zone/ Intensität; j - Entfernung R_j) für ausgewählte Perioden berechnet.

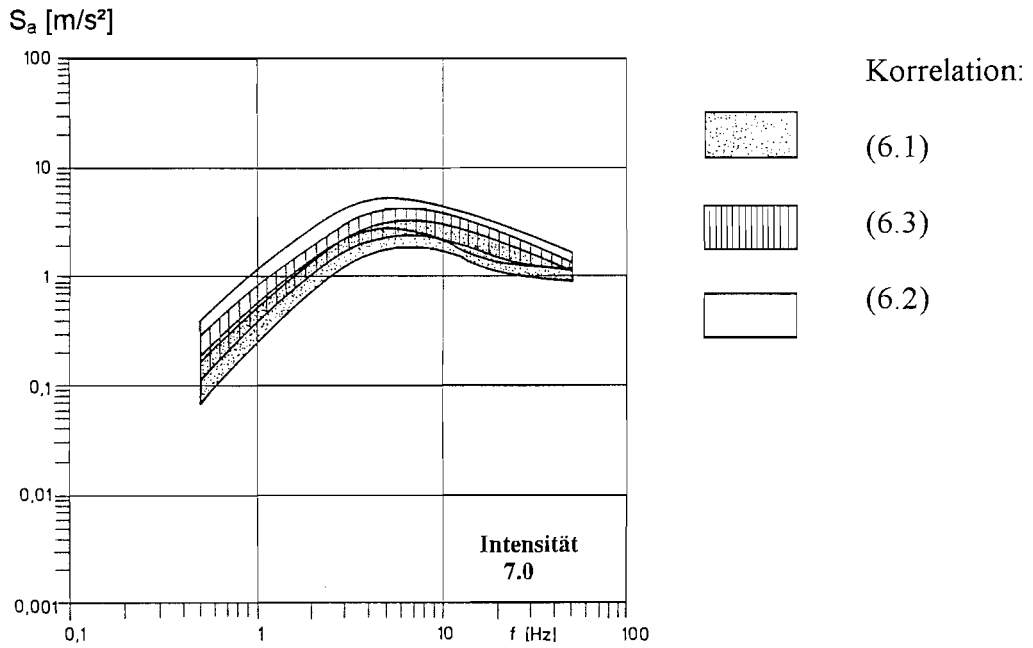


Abb. 6.1 Erwartungsbereiche der Spektralbeschleunigungen nach Korrelationen $M = f(I,R)$ für $I = 7.0$ unter Verwendung der Abnahmebeziehungen von Tento et al. [48] und Petrovski [49].

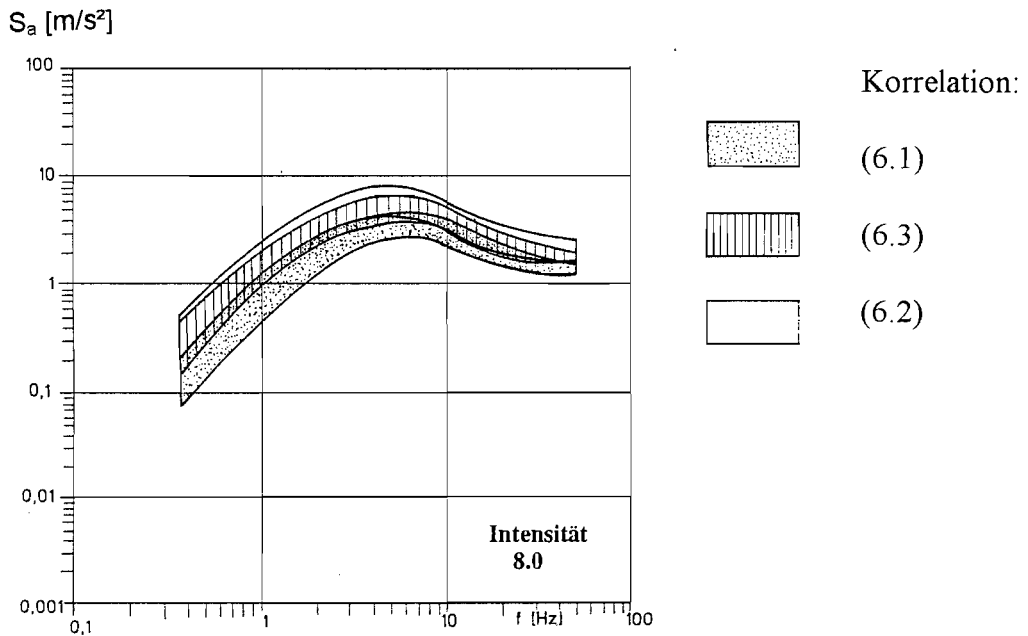


Abb. 6.2 Erwartungsbereiche der Spektralbeschleunigungen nach Korrelationen $M = f(I,R)$ für $I = 8.0$ unter Verwendung der Abnahmebeziehungen von Tento et al. [48] und Petrovski [49].

* Spektralwerte über der Periode T^*

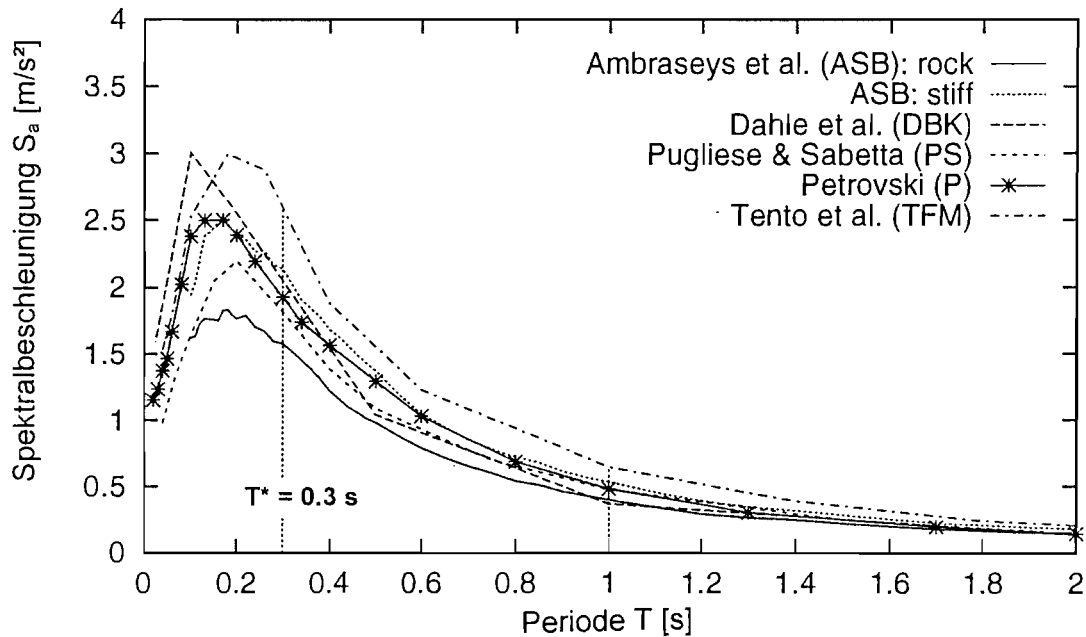


Abb. 6.3 Über die Entfernungen R_j gemittelte Spektralbeschleunigungen nach Korrelation (6.1) für $I = 7.5$ unter Verwendung unterschiedlicher Abnahmebeziehungen; Kennzeichnung der über der Periode $T^* = 0.3$ s maßgebenden Spektralbeschleunigungen S_a^* gemäß Methode 2b [21].

Abb. 6.3 gibt in Ergänzung zu den Abbildungen 6.1 und 6.2 gibt einen Eindruck von den Spektren, die sich nach Magnitude-Entfernungsbedingungen gemäß Beziehung (6.1) für die Intensität 7.5 nach unterschiedliche Datenauswertungen ermitteln lassen. Die Spektren repräsentieren die Mittelwerte aus den für die Intensität zugeordneten vier Magnituden-Entfernungsbedingungen ($R = 10, 15, 20$ und 25 km). Aus den Spektren wird deutlich, daß die Spektralwerte über den Perioden $T^* = 0.3$ s ($f^* = 3.3$ Hz) bzw. 0.4 s ($f^* = 2.5$ Hz) nicht die Maximalwerte $S_{a,max}$, sondern repräsentative Spektralbeschleunigungen im Überhöhungsbereich darstellen. Die ermittelten Spektralwerte werden gemäß Methode 2b um den Faktor β_o abgemindert. In den durchgeführten Untersuchungen wird die effektive Beschleunigung für $\beta_o=2.5$ und $\beta_o=2.0$ bestimmt.

6.5.2 Beispiel zu den durchgeführten Untersuchungen

Vorschlag: nach Tenta u.a. [48]

Kontrollperiode: $T^* = 0.26$ s

Korrelation: Beziehung (6.3)

R [km]	j	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i		1	2	3	4
10	1	3.07	3.87 ¹⁾	4.87	6.18
		1.23	1.55 ²⁾	1.95	2.47
		1.54	1.94 ³⁾	2.44	3.09
15	2	2.60	3.27	4.16	5.24
		1.04	1.31	1.66	2.10
		1.30	1.63	2.08	2.62
20	3	2.29	2.91	3.67	4.62
		0.92	1.16	1.47	1.85
		1.14	1.45	1.83	2.31
25	4	2.21	2.66	3.38	4.26
		0.88	1.07	1.35	1.70
		1.11	1.33	1.69	2.13
a_{eff,mean}		1.01	1.27	1.61	2.03

¹⁾ $S_a(T^*)$ ²⁾ $S_a(T^*)/\beta_o = 2.5$ ³⁾ $S_a(T^*)/\beta_o = 2.0$

Tabelle 6.7 Effektivbeschleunigungen für die Magnitude-Entfernungskategorien nach [42] und Spektralwerte nach Tenta et al. [48]: $T^* = 0.26$ s unter Anwendung von Methode 2b

6.6 Methode 3a: Anpassung an die EC 8-Spektren

Es wird die in Abschnitt 3.4 vorgestellte Vorgehensweise zur Anwendung gebracht.

Der Abminderungsfaktor r_a bezieht sich auf die maximale Spektralbeschleunigung $S_{a,max}$, die an unterschiedlichen Kontrollperioden auftreten kann. Zur Ermittlung der Bodenbeschleunigung wird auf die in [27] vorgelegte Beziehung für felsigen bzw. steifen Untergrund zurückgegriffen. Faktor r_a gibt die Abminderung des durch diese Beschleunigung skalierten EC8-Spektrums auf den Spitzenwert im Spektrum gemäß der jeweiligen Magnitude-Entfernungsbedingung (M_{ij} , R_j)

* *Beispiel*

Vorschlag: Ambraseys, Simpson und Bommer [27]

Kontrollperiode: $T^* = T$ von $S_{a,max}$

Korrelation: (6.1)

R [km]	j	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
i		1	2	3	4
10	1	0.800 ¹⁾ 1.557 ²⁾	0.787 1.805	0.777 2.003	0.773 2.483
15	2	0.790 1.373	0.789 1.622	0.786 1.911	0.786 2.272
20	3	0.777 1.237	0.792 1.495	0.793 1.776	0.797 2.107
25	4	0.799 1.189	0.789 1.409	0.799 1.664	0.813 2.010
<i>mean</i>	$a_{eff,mean}$	0.791 1.339 0.540³⁾	0.791 1.583 0.657	0.789 1.839 0.742	0.792 2.218 0.887

¹⁾ r_a

²⁾ $S_{a,max}$

³⁾ a_{eff}

Tabelle 6.8 Effektivbeschleunigungen gemäß NAD für die Magnitude-Entfernungskategorien nach [40] und Spektralwerte nach Ambraseys u.a. [27] unter Anwendung von Methode 3a ($T^* = T$ von $S_{a,max}$)

7 Empfehlungen für das Nationale Anwendungsdokument zum EC 8 (NAD) und der probabilistischen Zonenkarte zum NAD

7.1 Effektivbeschleunigungen nach unterschiedlichen Methoden

Nachfolgend werden die nach den Methoden 1a, 1b, 2a, 2b und 3a ermittelten Effektivbeschleunigungen in tabellarischer Form zusammengestellt.

7.1.1 Anwendung der Methoden 1a und 2a

Vorschlag	Beziehung	Bereich	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
Murphy und O'Brien	(6.4)		0.53	0.70	0.93	1.25
	(6.5)		0.57	0.88	1.37	2.11
Hosser		$T_B - T_C$	0.52	0.77 ¹⁾	1.12	1.61 ¹⁾
Schöbel (Schwarz)		$T_B - T_C$	0.54 ¹⁾	0.72	0.95 ¹⁾	1.24

¹⁾ Mittelwert aus den Beschleunigungen, die sich nach Extrapolation aus der jeweils höheren bzw. - unteren Intensitätsklasse ergeben; z.B. von $I_1 = 6.0$ bis 7.0 und $I_2 = 7.0$ bis 8.0 oder $I_1 = 6.0$ bis 7.0 und $I_2 = 7.0$ bis 8.0

Tabelle 7.1 Effektivbeschleunigungen nach Methoden 1 a und 2a

Abb. 7.1 gibt einen Vergleich der nach Methode 1a abgeminderten Beschleunigungen nach Murphy und O'Brien [34] mit den Beschleunigungen, die als Effektivwerte gegenwärtig in den Normen der D-A-CH Staaten verankert sind.

7.1.2 Anwendung von Methode 1b

Vorschlag	M=f(R,I) Beziehung	M	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
McGuire	(6.1)		0.69	0.82	0.97	1.17
	(6.3)		0.87	1.07	1.34	1.66
Joyner und Boore ²⁾	(6.1)		0.75	0.88	1.01	1.20
	(6.2)		1.12	1.30	1.52	1.77
	(6.3)		0.97	1.17	1.41	1.71
Dahle u.a.	(6.1)	M ¹⁾	0.70	0.88	1.12	1.41
	(6.3)		0.93	1.23	1.64	2.18
	(6.1)	Ms	0.46	0.64	0.90	1.22
	(6.3)		0.69	1.02	1.48	2.08
Ambraseys u.a.	(6.1)	M ¹⁾	0.48	0.56	0.67	0.80
	(6.3)		0.58	0.71	0.88	1.07
	(6.1)	Ms	0.35	0.45	0.57	0.71
	(6.3)		0.47	0.62	0.81	1.04
Pugliese und Sabetta	(6.1)		0.39	0.48	0.57	0.71
	(6.3)		0.50	0.63	0.80	1.01
Petrovski	(6.1)		0.60	0.70	0.81	0.94
	(6.3)		0.72	0.86	1.03	1.11

¹⁾ es wird angesetzt $M = ML$; die Auswertung gibt jedoch $M = Ms$ (Die Umrechnung erfolgt nach den jeweils in der Auswertung ermittelten Beziehung)

²⁾ bezogen auf Mittelwerte aus den Beziehungen (6.7-a,b,c)

Tabelle 7.2a Mittelwerte der Effektivbeschleunigungen $a_{\text{eff},ij}$ (i-Zone; j-Entfernung)

Vorschlag	M=f(R,I) Beziehung	M	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
McGuire	(6.1)		0.70	0.83	0.97	1.17
	(6.3)		0.85	1.06	1.22	1.61
Joyner und Boore	(6.1)		0.48	0.56	0.86	0.97
	(6.3)		0.58	0.70	1.08	1.30

Tabelle 7.2b. Mittelwerte $a_{\text{eff},ij}$ infolge vergrößertern Entfernungsbereichs (10 bis 40 km) für untere Intensitätsklassen

0.48 veränderter Wert kleiner als zuvor; **1.06** veränderter Wert größer als zuvor.

7.1.3 Anwendung von Methode 2b

Vorschlag	M=f(R,I) Beziehung	T* [s]	I = 6,5	I = 7,0	I = 7,5	I = 8,0
Dahle u.a.	(6.1)	0.20	0.58	0.77	1.02	1.34
	(6.3)		0.83	1.10	1.62	2.28
	(6.1)	0.30	0.37	0.50	0.69	0.93
	(6.3)		0.54	0.78	1.14	1.65
Tento u.a.	(6.1)	0.26	0.83	1.00	1.22	1.48
	(6.3)		1.01	1.27	1.61	2.03
	(6.1)	0.40	0.51	0.64	0.80	1.00
	(6.3)		0.64	0.84	1.11	1.46
Petrovski	(6.1)	0.30	0.49	0.62	0.78	0.99
	(6.3)		0.65	0.86	1.15	1.52
	(6.1)	0.40	0.38	0.49	0.64	0.83
	(6.3)		0.52	0.71	0.98	1.34
Pugliese und Sabetta	(6.1)	0.30	0.49	0.60	0.73	0.89
	(6.3)		0.62	0.79	1.01	1.28
	(6.1)	0.40	0.34	0.43	0.56	0.71
	(6.3)		0.45	0.62	0.84	1.14
Ambraseys u.a. Fels	(6.1)	0.20	0.50	0.60	0.72	0.86
	(6.3)		0.62	0.77	0.96	1.20
	(6.1)	0.30	0.42	0.52	0.63	0.80
	(6.3)		0.54	0.70	0.91	1.18
	(6.1)	0.40	0.31	0.39	0.49	0.63
	(6.3)		0.41	0.55	0.74	0.98
Ambraseys u.a. (<i>stiff grond</i>)	(6.1)	0.30	0.59	0.73	0.90	1.12
	(6.3)		0.72	0.98	1.27	1.64
	(6.1)	0.40	0.41	0.55	0.74	0.98
	(6.3)		0.58	0.83	1.16	1.61

Tabelle 7.3a Mittelwerte der Beschleunigungen $a_{i,j}$ (i-Zone; j-Entfernung)
(Entfernungsbereich 10 bis 40 km für untere Intensitätsklassen)

Vorschlag	M=f(R,I) Beziehung	T* [s]	I = 6,5	I = 7,0	I = 7,5	I = 8,0
Dahle u. a.	(6.1)	0.20	<i>0.55</i>	<i>0.73</i>	1.02	1.34
	(6.3)		<i>0.76</i>	<i>1.07</i>	1.62	2.28
	(6.1)	0.30	<i>0.37</i>	<i>0.50</i>	0.69	0.93
	(6.3)		<i>0.53</i>	<i>0.77</i>	1.14	1.65
Tento u. a.	(6.1)	0.26	<i>0.67</i>	<i>0.81</i>	1.22	1.48
	(6.3)		<i>0.81</i>	<i>1.02</i>	<i>1.61</i>	<i>2.03</i>
	(6.1)	0.40	<i>0.44</i>	<i>0.55</i>	0.80	1.00
	(6.3)		<i>0.55</i>	<i>0.75</i>	<i>1.11</i>	<i>1.46</i>
Petrovski	(6.1)	0.30	0.54	0.69	0.78	0.99
	(6.3)		0.71	0.94	1.15	1.52
	(6.1)	0.40	0.43	0.56	0.64	0.83
	(6.3)		0.58	0.80	0.98	1.34
Pugliese und Sabetta	(6.1)	0.30	<i>0.43</i>	<i>0.53</i>	0.73	0.89
	(6.3)		<i>0.55</i>	<i>0.72</i>	<i>1.01</i>	<i>1.28</i>
	(6.1)	0.40	<i>0.33</i>	<i>0.42</i>	0.56	0.71
	(6.3)		<i>0.44</i>	<i>0.59</i>	<i>0.84</i>	<i>1.14</i>
Ambraseys u. a. Fels	(6.1)	0.20	<i>0.44</i>	<i>0.52</i>	0.72	0.86
	(6.3)		<i>0.54</i>	<i>0.67</i>	<i>0.96</i>	<i>1.20</i>
	(6.1)	0.30	<i>0.39</i>	<i>0.48</i>	0.63	0.80
	(6.3)		<i>0.50</i>	<i>0.64</i>	<i>0.91</i>	<i>1.18</i>
	(6.1)	0.40	<i>0.30</i>	<i>0.39</i>	0.49	0.63
	(6.3)		<i>0.40</i>	<i>0.54</i>	<i>0.74</i>	<i>0.98</i>
Ambraseys u. a. (<i>stiff grond</i>)	(6.1)	0.30	<i>0.54</i>	<i>0.66</i>	0.90	1.12
	(6.3)		<i>0.68</i>	<i>0.88</i>	<i>1.27</i>	<i>1.64</i>
	(6.1)	0.40	0.41	0.55	0.74	0.98
	(6.3)		0.58	0.83	1.16	1.61

Tabelle 7.3b Mittelwerte der Beschleunigungen $a_{i,j}$ (i-Zone; j-Entfernung)

Kursivwerte: Entfernungsbereich 10 bis 40 km (insbesondere für untere Intensitätsklassen)

Erläuterung:

0.44 veränderter Wert kleiner als zuvor; **0.54** veränderter Wert größer als zuvor

7.1.4 Anwendung von Methode 3a

Vorschlag	M=f(R,I) Beziehung	T* [s]	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
Ambraseys u.a. Fels	(6.1)	S _{a,max}	0.54	0.66	0.74	0.89
	(6.3)		0.66	0.81	0.99	1.24
Ambraseys u.a. stiff ground	(6.1)	S _{a,max}	0.74	0.90	1.02	1.20
	(6.3)		0.90	1.10	1.34	1.66
Pugliese und Sabetta	(6.1)	S _{a,max}	0.62	0.74	0.87	1.05
	(6.3)		0.77	0.94	1.17	1.43
	(6.1)	0.30	0.49	0.60	0.73	0.89
	(6.3)		0.62	0.79	1.01	1.28

Tabelle 7.4a Mittelwerte der Beschleunigungen a_{i,j} (i-Zone; j-Entfernung) nach Methode 3a und 3b (für ausgewählte Beispiele).

Vorschlag	M=f(R,I) Beziehung	T* [s]	I = 6.5	I = 7.0	I = 7.5	I = 8.0
Ambraseys u.a. Fels	(6.1)	S _{a,max}	<i>0.46</i>	<i>0.55</i>	<i>0.65</i>	<i>0.78</i>
	(6.3)		<i>0.56</i>	<i>0.70</i>	<i>0.87</i>	<i>1.10</i>
Ambraseys u.a. (stiff ground)	(6.1)	S _{a,max}	<i>0.64</i>	<i>0.75</i>	<i>0.88</i>	<i>1.04</i>
	(6.3)		<i>0.77</i>	<i>0.94</i>	<i>1.16</i>	<i>1.47</i>
Pugliese und Sabetta	(6.1)	S _{a,max}	<i>0.53</i>	<i>0.63</i>	0.87	1.05
	(6.1)	0.30	<i>0.43</i>	<i>0.53</i>	0.73	0.89
	(6.3)	S _{a,max}	<i>0.65</i>	<i>0.80</i>	1.17	1.43
	(6.3)	0.30	<i>0.55</i>	<i>0.72</i>	1.01	1.28
Dahle	(6.1)	S _{a,max}	<i>0.65</i>	<i>0.80</i>	<i>1.20</i>	<i>1.49</i>
	(6.1)	0.30	<i>0.37</i>	<i>0.50</i>	0.69	0.93
	(6.3)	0.20	0.82	1.15	1.62	2.28
	(6.3)	0.30	<i>0.53</i>	<i>0.77</i>	1.14	1.65
Petrovski	(6.1)	S _{a,max}	<i>0.71</i>	<i>0.85</i>	1.02	1.23
	(6.1)	0.30	<i>0.54</i>	<i>0.69</i>	0.77	0.99
	(6.3)	S _{a,max}	<i>0.87</i>	<i>1.09</i>	1.38	1.70
	(6.3)	0.30	<i>0.71</i>	<i>0.94</i>	1.15	1.36

Tabelle 7.4b Mittelwerte der Beschleunigungen a_{i,j} (i-Zone; j-Entfernung) und Vergleich zwischen Methode 3a und 3b (für ausgewählte Beispiele).

Kursivwerte: Erweiterter Entfernungsbereich 10 bis 40 km (für untere Intensitätsklassen)

7.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zone (I_m)	Methode 1a	Methode 1b	Methode 2a	Methode 2b	Methode 3b
	Abschn. 6.2	Abschn. 6.3	Abschn. 6.4	Abschn. 6.5	Abschn. 6.6
1 (6.5°)	0.50 0.55	0.65 0.85	0.50 0.55	0.50 0.65	0.60 0.75
2 (7.0°)	0.70 0.90	0.80 1.05	0.70 0.75	0.60 0.85	0.70 0.90
3 (7.5°)	0.95 1.35	1.00 1.30	0.95 1.10	0.75 1.10	0.80 1.10
4 (8.0°)	1.25 2.10	1.20 1.60	1.25 1.60	0.85 1.35	1.00 1.35

Tabelle 7.5 Effektivbeschleunigungen a_g [m/s²] nach unterschiedlichen Methoden

Tabelle 7.5 gibt - soweit dies aufgrund der Streuung der Ergebnisse, aber auch aufgrund der nicht zu übersehenden Tendenz erforderlich ist - untere und obere Werte an. Der obere Wert bezieht sich auf die ermittelten Beschleunigungen nach Korrelation (6.1), die unteren Werte auf die Magnituden-Entfernungs-Bedingungen nach Beziehung (6.3).

Die Überführung der Ergebnisse in die für das NAD empfohlenen Zonen und Zonen-Referenzintensitäten erfolgt auf der Grundlage zur Sitzung des NABau (Stuttgart, April 1996) zur Diskussion gestellten Varianten:

- NAD (I): Mittelwerte aus allen Methoden bezogen auf die unteren Grenzwerte
- NAD (II): Mittelwerte aus allen Methoden bezogen auf die oberen Grenzwerte
- NAD (III) Mittel aus oberen und unteren Beschleunigungen
- NAD Empfehlung (*Werte der Beratung vom 10. Oktober 1995)

Eine Zusammenstellung wird durch Tabelle 7.6 gegeben. Die Variante NAD entspricht der Empfehlung, die bereits zur Beratung vom 10. Oktober 1995 gegeben wurde. Die Zonen-Bezugsintensitäten entsprechen dem damaligen Beratungsstand und dem vom Bearbeiter empfohlenen Einteilungsprinzip.

Die Abbildungen 7.2, 7.3, 7.4 geben eine Übersicht zu den nach den einzelnen Methoden ermittelten (repräsentativen) Effektivbeschleunigungen und die Einordnung der Vorschläge gemäß der in Tabelle 7.6 aufgeführten Varianten.

Zone (I_m)	NAD (I)	NAD (II)	NAD (III)	NAD *
1 (6.5°)	0.55	0.65	0.60	0.50
2 (7.25°)	0.80	1.05	0.90	0.75
3 (7.75°)	1.00 (1.10) ¹⁾	1.40 (1.45) ¹⁾	1.20	1.00

¹⁾ Die Klammerwerte bei Zone 3 repräsentieren die Beschleunigungen, die aus einem Zusammenhang der Form: $\log a_g = a I - b$ und den Beschleunigungen der beiden anderen Zonen abzuleiten wären. In den anderen Varianten ist dieser Zusammenhang gewährleistet (vgl. auch Beziehung 7.1).

Tabelle 7.6 Varianten für die Effektivbeschleunigungen gemäß den Zonen der probabilistischen Gefährdungszonenkarte zum NAD.

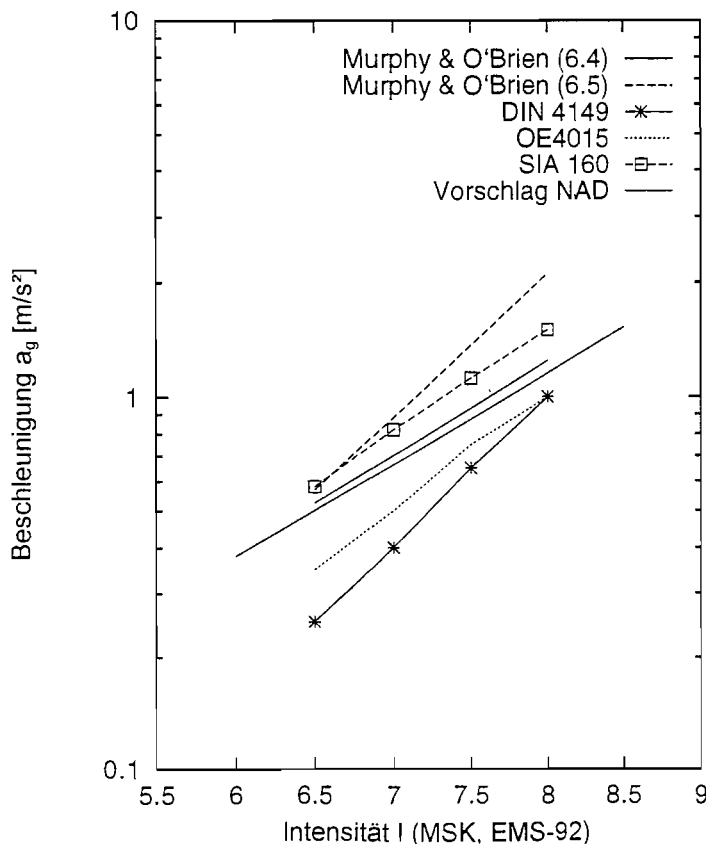


Abb. 7.1 Effektivbeschleunigungen in Abhängigkeit von der Intensität (Methode 1a) nach Murphy und O'Brien [29]; Vergleich mit den Effektivwerten in den Erdbebennormen der D-A-CH Staaten.

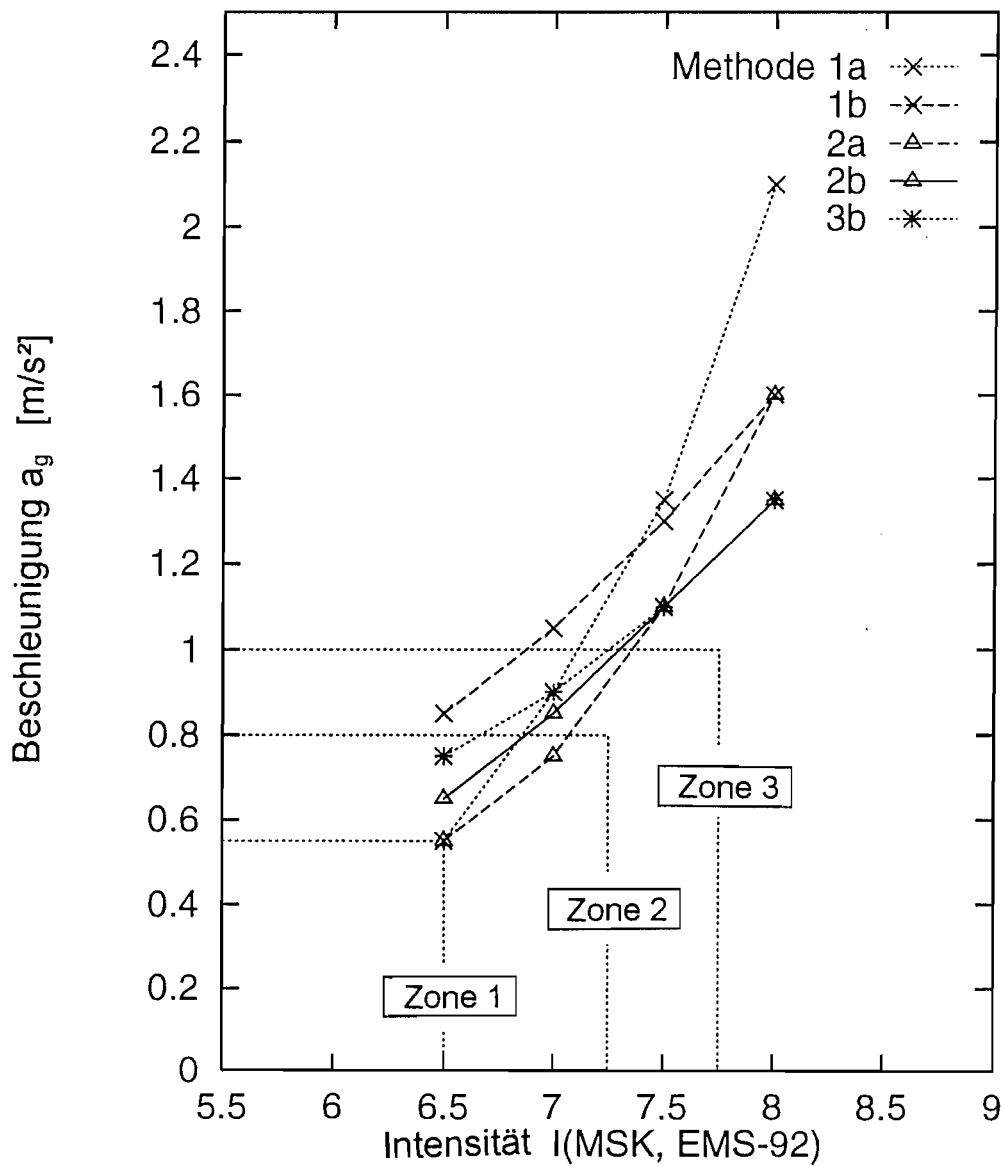


Abb. 7.2a Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8: Einordnung von Variante NAD (I) in die aus den Methoden ermittelten Werte: obere Bezugsgrößen

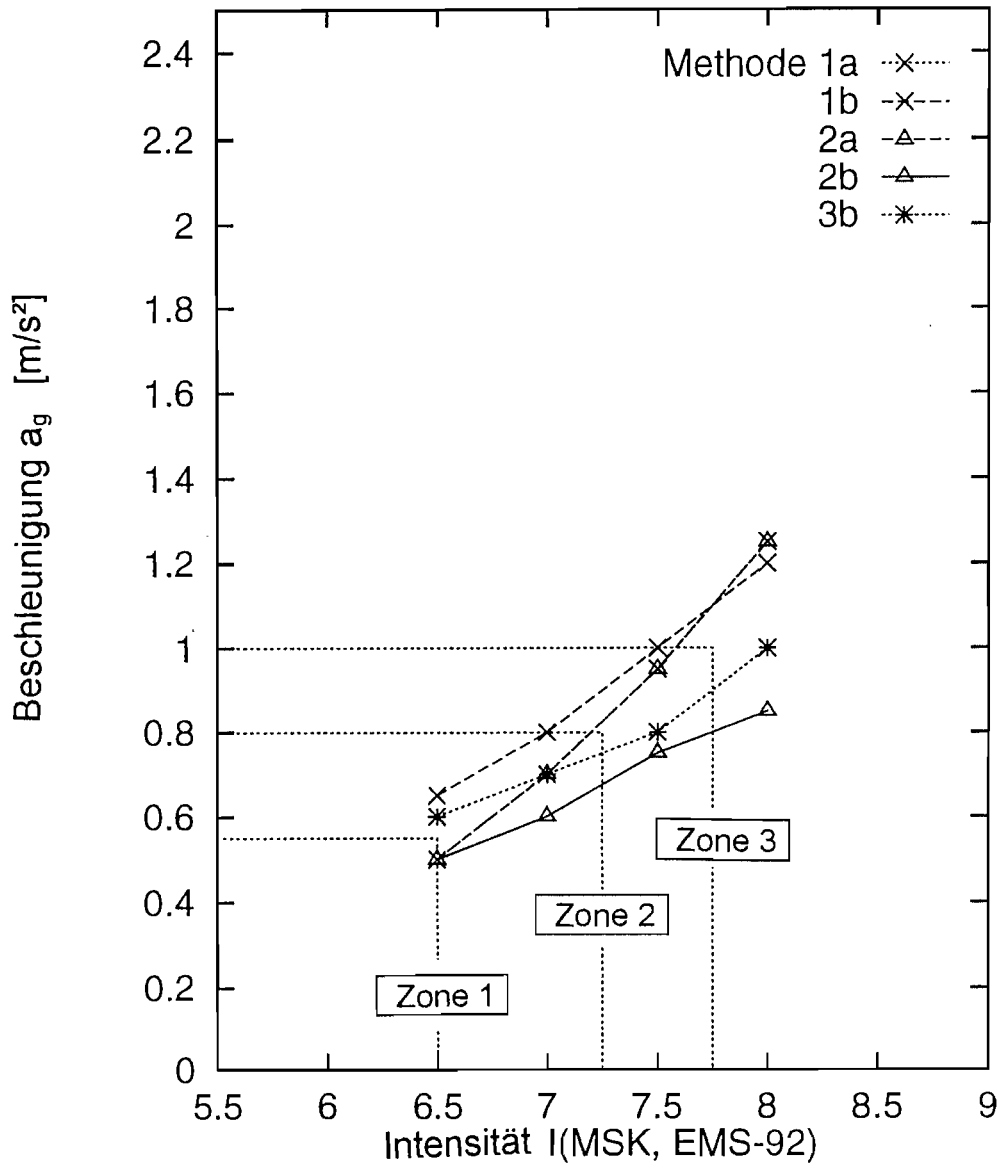


Abb. 7.2b Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8: Einordnung von Variante NAD (I) in die aus den Methoden ermittelten Werte: untere Bezugsgrößen

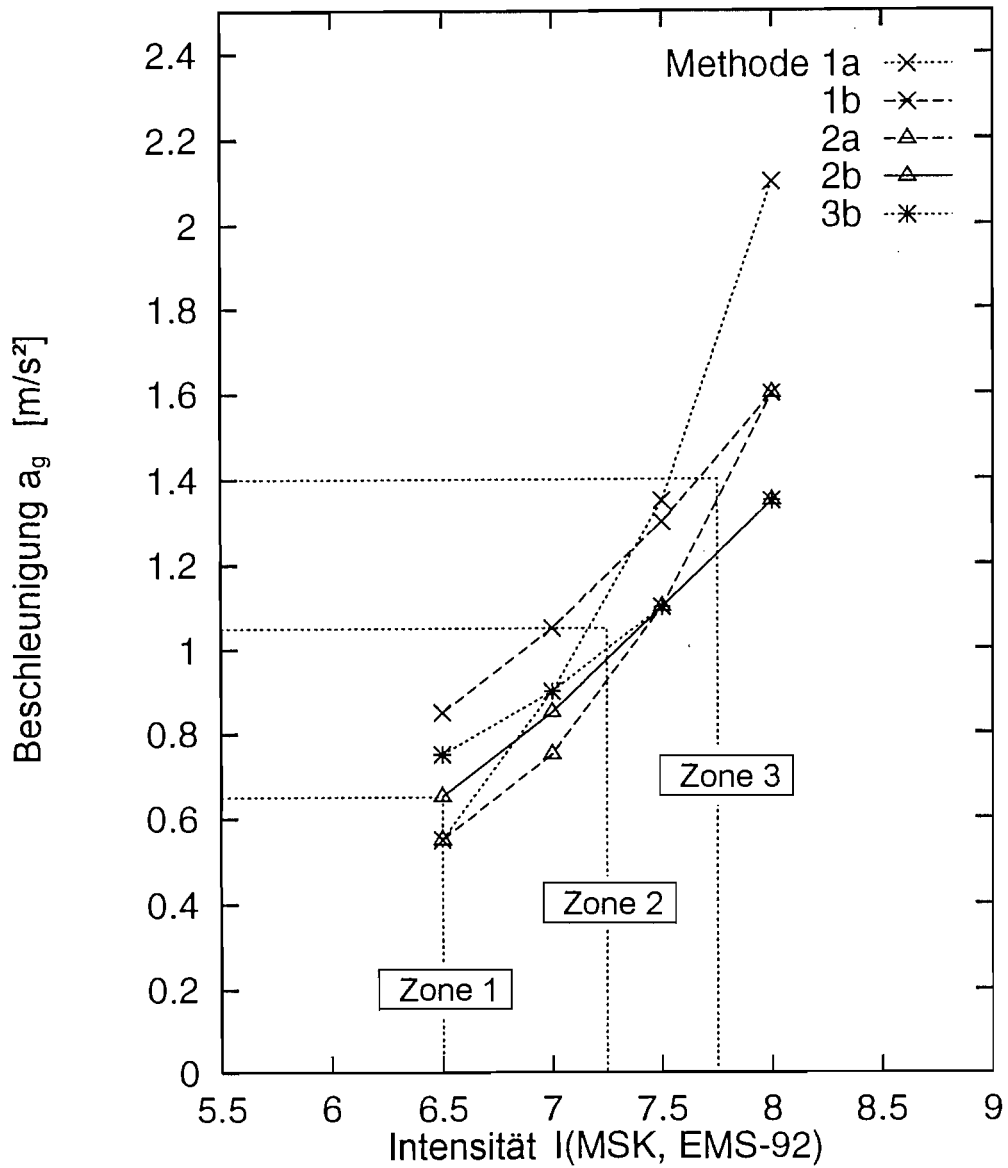


Abb. 7.3a Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8: Einordnung von Variante NAD (II) in die aus den Methoden ermittelten Werte: obere Bezugsgrößen

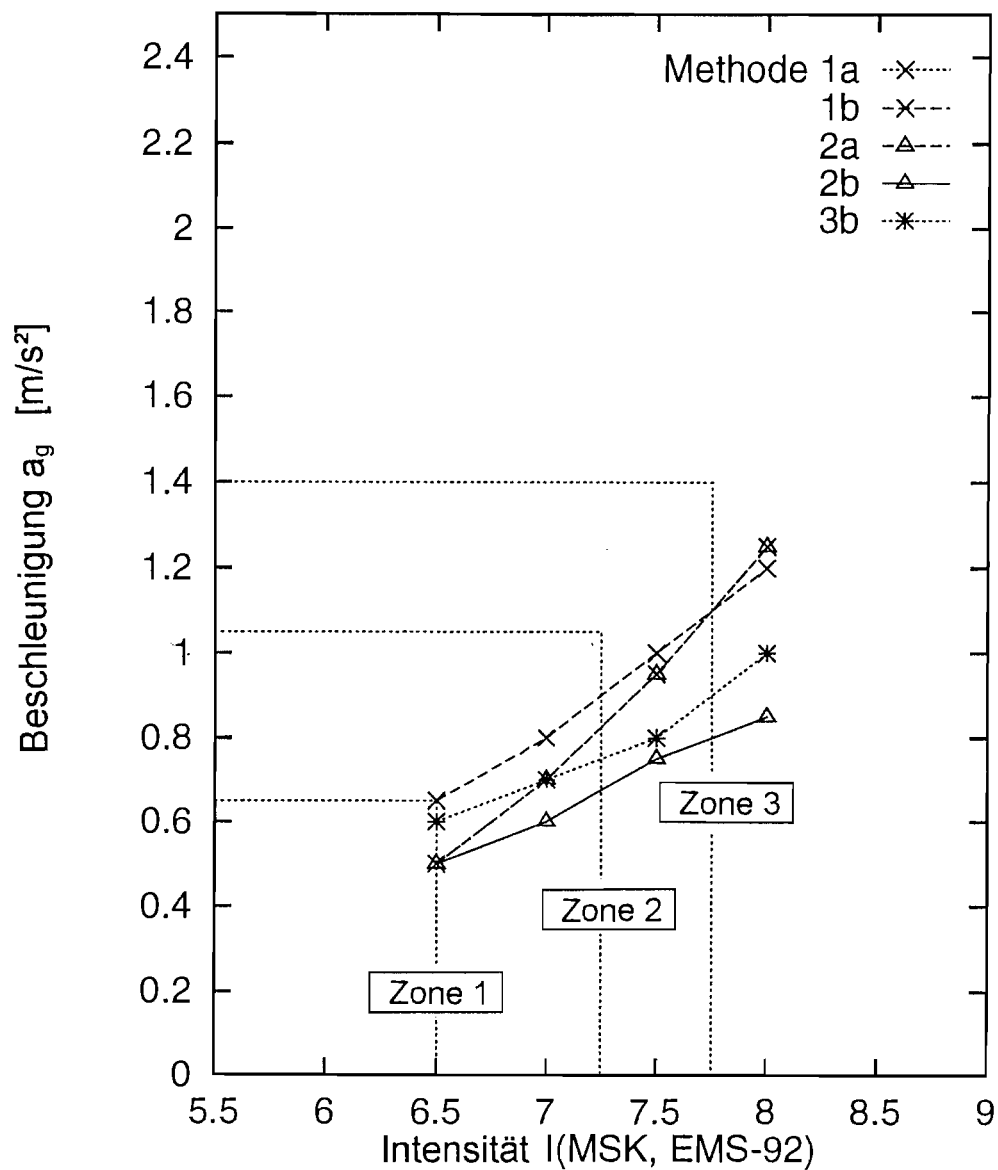


Abb. 7.3b Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8: Einordnung von Variante NAD (II) in die aus den Methoden ermittelten Werte: untere Bezugsgrößen

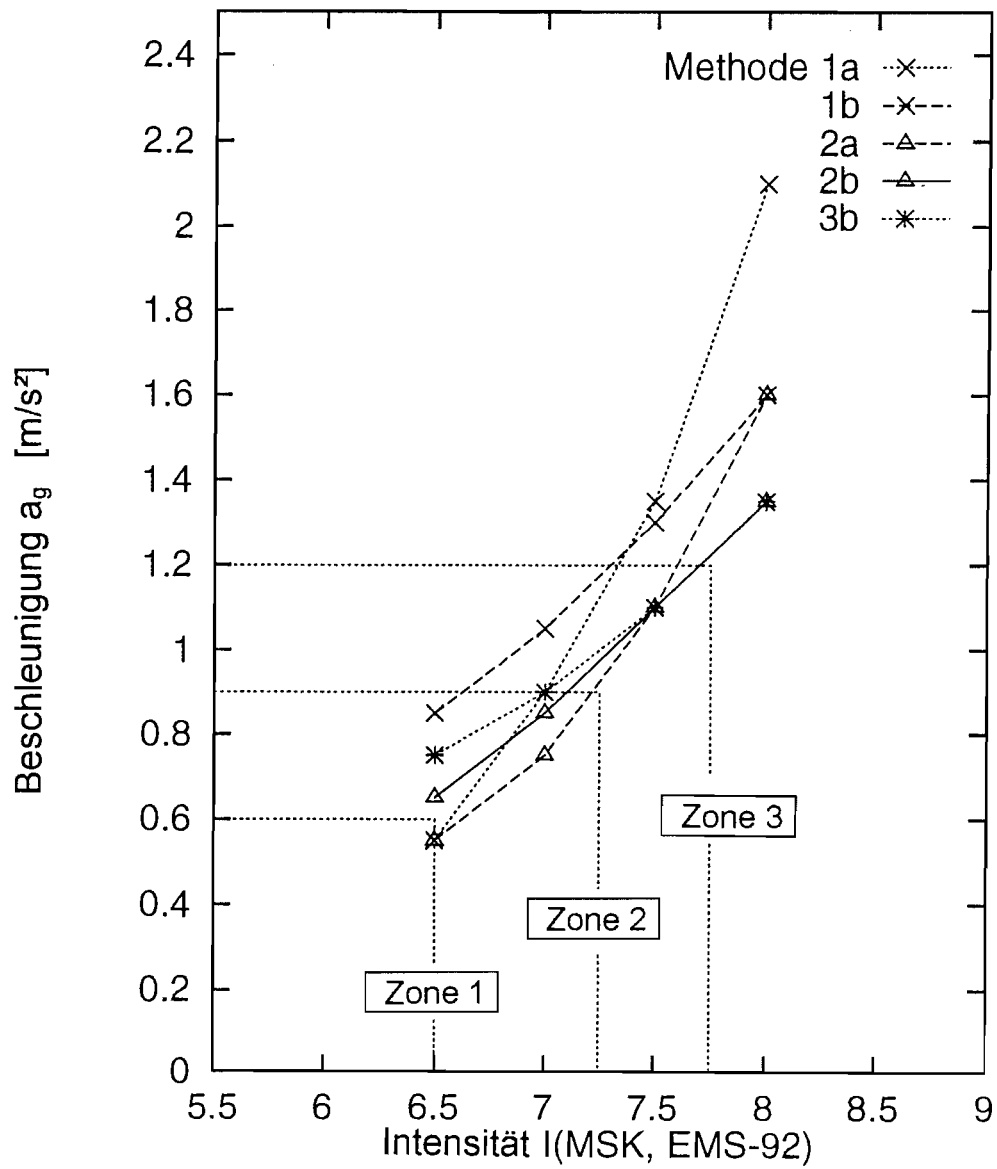


Abb. 7.4a Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8: Einordnung von Variante NAD (III) in die aus den Methoden ermittelten Werte: obere Bezugsgrößen

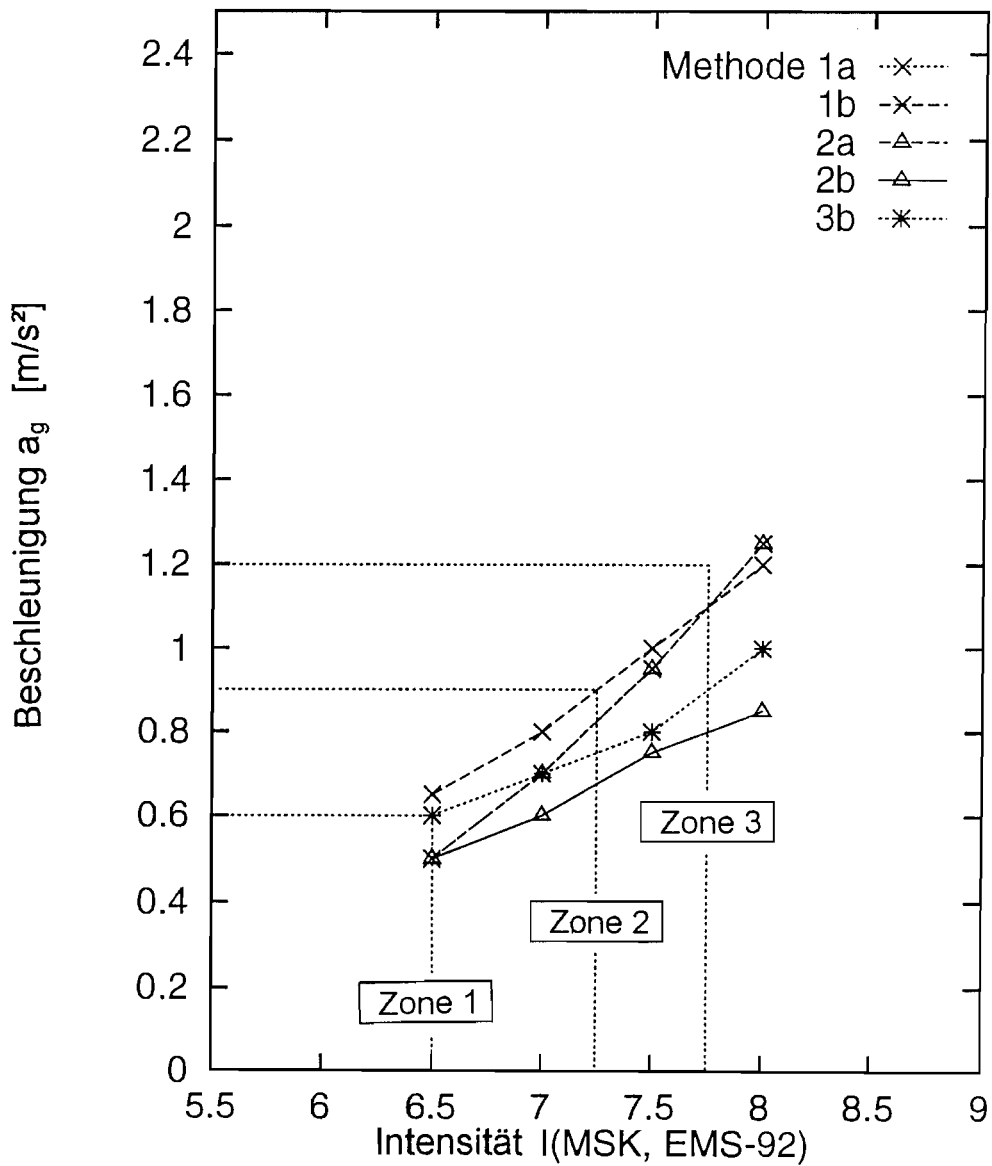


Abb. 7.4b Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8: Einordnung von Variante NAD (III) in die aus den Methoden ermittelten Werte: untere Bezugsgrößen.

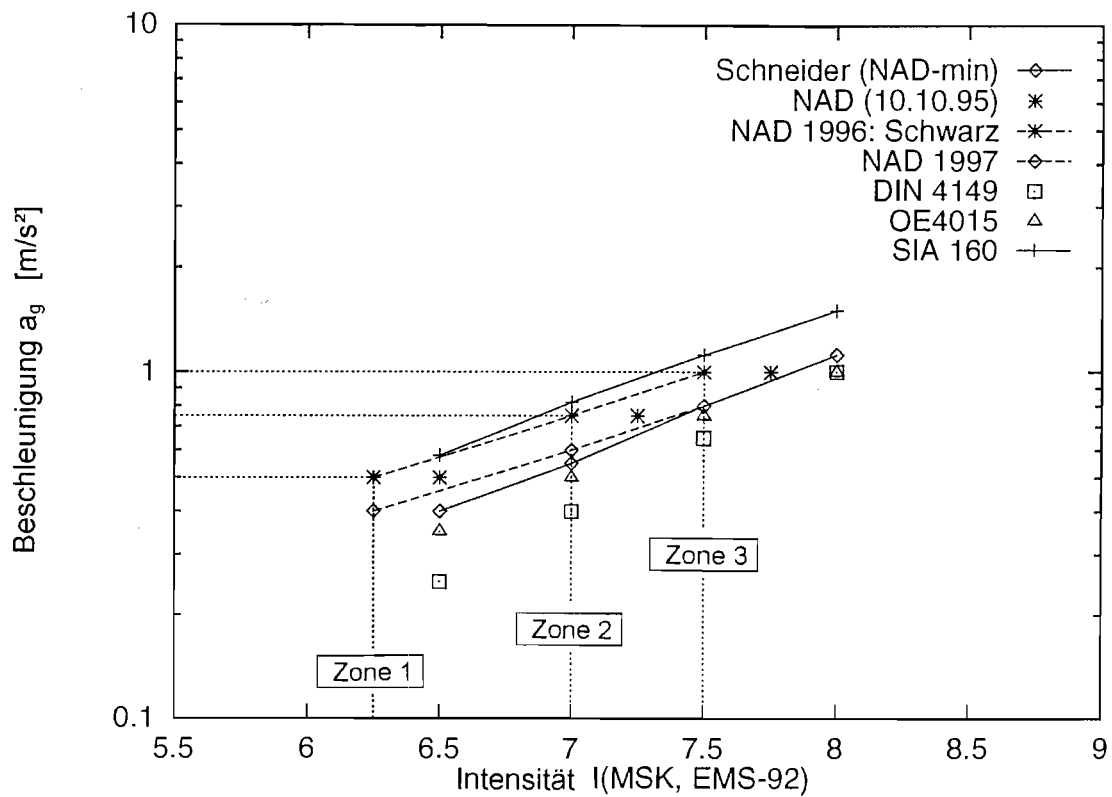


Abb. 7.5 Vorschläge zu Effektivbeschleunigungen für das NAD; Vergleich mit den Effektivwerten in den Erdbebennormen der D-A-CH Staaten.

7.3 Einordnung in andere Vorschläge

Abb. 7.1 gibt einen Vergleich der nach Methode 1a abgeminderten Beschleunigungen nach Murphy und O'Brien [34] mit den Beschleunigungen, die als Effektivwerte gegenwärtig in den Normen der D-A-CH Staaten verankert sind. Zusätzlich aufgeführt sind Beschleunigungen nach einem aktuellen Vorschlag für das NAD. Dieser Vorschlag kann durch Beziehung (7.1) beschrieben werden:

$$\log a_g = 0.241 I_{\text{MSK}} - 1.866 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (7.1)$$

Eine Einordnung der Vorschläge wurde vom Bearbeiter in einer Vorlage für das NABau bereits gegeben (Anlage A); es sei nachfolgend zitiert (vgl. auch Abb. 7.5):

- Die Untersuchungen führen zu effektiven Beschleunigungen, die bezogen auf die Intensität über den Regelwerten der Horizontalbeschleunigung nach DIN 4149 liegen.
- Die Diskrepanz ist in Zonen geringer Intensität deutlicher ausgeprägt.

- Diese Tendenz wird durch alle derzeit praktizierten bzw. neu eingeführten Methoden zur Abschätzung von effektiven Beschleunigungen bestätigt.
- Die in der Schweizer Norm SIA 160 zugrunde gelegten Werte ordnen sich in einen Bereich von Effektivbeschleunigungen ein, der nach Stand Wissenschaft und Technik für Intensitäten zwischen 6.5 und 8.0 ermittelt werden kann. Die Beschleunigungen der SIA 160 stellen jedoch keine oberen Grenzwerte dar.
- Auch ein Vorschlag von Schneider sieht gegenüber DIN 4149 deutlich angehobene Beschleunigungen vor.
- Für eine Zoneneinteilung der Form 6.5 (Zone 1) - 7.25 (Zone 2) - 7.75 (Zone 3) können folgende Beschleunigungen empfohlen werden:

Zone 1: $a_g = 0.50 \text{ m/s}^2$

Zone 2: $a_g = 0.75 \text{ m/s}^2$

Zone 3: $a_g = 1.00 \text{ m/s}^2$.

- Es ist hervorzuheben, daß die Zonen nicht mehr mit den Zonen nach DIN 4149 identisch sind und mit empfohlenen Zoneneinteilung eine obere Beschleunigung von 1.00 m/s^2 nicht überschritten würde. Diese Beschleunigung gilt aber nicht mehr für die Intensität 8, für die ein höherer Beschleunigungswert einzuführen wäre. Gleichzeitig ist nochmals zu betonen, daß diese Werte nicht als konservativ anzusehen sind. Dies wird aus dem Vergleich mit den SIA 160 - Werten, die auch im Schweizer NAD beibehalten werden sollen, deutlich.

7.4 Effektivwerte am Maßstab aktueller Erdbeben

Beim Roermond-Erdbeben 1992 wurden Starkbebenmessungen erst in Entfernungen größer 50 km gewonnen [35]. Extrapolationen von Nachbebenmessungen in Herdnähe liegen aus den Untersuchungen von Gariel et al. [37] vor. Bei diesem Beben wurde in Herdnähe eine Intensität von $I(\text{EMS-92}) = 7$ beobachtet. Die Epizentralintensität wird mit maximal $I_0 = 7 - 7.5$ angegeben.

Beschleunigungen im herdnahen Bereich, d.h. bei 10 bis 25 km, erreichten dabei wahrscheinlich Spitzenwerte von 1.35 bis 1.80 m/s^2 [37, 38]. Werden diese Werte auf das Niveau effektiver Beschleunigungen abgemindert, wäre a_g für $I = 7.5$ oder $I = 7.0$ mit 0.95 bis 1.25 m/s^2 anzunehmen. Diese Werte werden auch durch die durchgeführten Untersuchungen bestätigt (Tabelle 7.6).

7.5 Interpretation der Ergebnisse und Konsequenzen

Auf eine Bewertung der in Abschnitt 3. vorgestellten Methoden wurde zunächst verzichtet; sie sei im Zusammenhang mit der Interpretation der Ergebnisse abschließend vorgenommen.

Die Wahl der Methode hängt grundsätzlich von der Zielstellung ab, mit der die Ermittlung der effektiven Beschleunigungen verfolgt wird. Durch den Bearbeiter werden folgende Zielstellungen gesehen:

Zielstellung 1:

Abminderung der Einwirkungsgrößen, realisiert über den Skalierungsparameter Bodenbeschleunigung.

Diese Zielstellung kennzeichnet Methode 1a (Abschnitt 6.2) und Methode 1b (Abschnitt 6.3). Das Endprodukt ist wissenschaftlich nicht eindeutig begründet.

Zielstellung 2:

Anpassung der Normspektren in ihrer normtypischen Darstellung und Faktorenerlegung (Parameter a_g , β_o , Kontrollperioden usw.) an die für die Zielregion charakteristischen seismischen Einwirkungen. Das Endprodukt ist mit den elastischen Spektren für eine Referenzdämpfung von 5% wissenschaftlich nachvollziehbar.

Diese Zielstellung kennzeichnet in unterschiedlichem Genauigkeits- und Sicherheitsanspruch die Methoden 2 und 3:

In Methode 2a bildet das geglättete Plateau den Ausgangspunkt; in Methode 2b eine typische Periode innerhalb des maximal verstärkten Bereichs der Bodenbewegung.

In Methode 3 wird das Normspektrum (EC 8) durch die Umhüllende elastischen Bezugsspektren nach aktuellen Datenauswertungen angenähert. Der Sicherheitsanspruch erklärt sich somit aus der Art der Abbildung bzw. Absicherung der elastischen Spektren durch das Normspektrum. In diesem Punkt sind somit Variationen der Effektivbeschleunigung möglich (Methoden a, b, c).

Zielstellung 3:

Ausgleich der Unterschiede zwischen registrierter Bodenbewegung und beobachteten Schadenswirkungen.

Diese Zielstellung kennzeichnet die Methoden 4 und 5. Indirekt wird die zyklische Charakteristik implementiert, da eben bei herdnahen Ereignissen geringer Magnitude die Starkbebenphase geringer ist als bei entfernten Starkbeben, so daß sich die Erdbebenenergie nicht in einer schadenskritischen Form akkumulieren kann.

Eine Quantifizierung der Zielstellung ist derzeit wissenschaftlich (noch) nicht möglich und bedarf weitergehender Untersuchungen.

Für das Nationale Anwendungsdokument war unter Berücksichtigung der Einwirkungsfestlegung im EC 8 vorrangig Zielstellung 2 zu verfolgen

8 Abstimmung und Vorstellung von Ergebnissen

Erste, vorläufige Ergebnisse zum Vorhaben wurde am 11.10 1995 in Weimar zur Sitzung Arbeitskreises "NAD" des Spiegelausschusses NABau 00.06.00 "Sonderfragen; Erdbeben" vorgelegt. Zum damaligen Zeitpunkt war eine Dreiteilung der Erdbebenzonen mit Intensitätsmitten von 6.5; 7.25 und 7.75 abgestimmt worden. Es wurde folgende Zoneneinteilung vereinbart (Ad-hoc Beratung des AK "NAD" zu ENV des NABau 00.06.00 am 10.10.1995 in Weimar):

Zone	Intensitätsintervall für T = 475a
1	$6.25 \leq I < 7.0$
2	$7.0 \leq I < 7.5$
3	$7.5 \leq I < 8.25$

Die Ergebnisse der Beratung wurden vom Bearbeiter zusammengefaßt und zur 3. Sitzung des AK "NAD" zu ENV 1998-1-1,1-2 und 1-3 des NABau 00.06.00 Nr. 7-96 verteilt (Bericht über die 3. Sitzung des AK "NAD" zu ENV 1998-1-1,1-2 und 1-3 des NABau 00.06.00 "Erdbeben; Sonderfragen" am 30.10.1995 in Darmstadt. Anlage 3: Schwarz, J.: Festlegung effektiver Beschleunigungen für seismische Gefährdungszonen im Zusammenhang mit der probeweisen Anwendung des EC 8, Weimar 18.10.1995.) Die Unterlage ist als erste Zusammenfassung der durchgeführten Untersuchungen zu betrachten; sie wird als Anlage A beigelegt.

Methoden zur Ermittlung von Effektivbeschleunigungen wurden auch im Rahmen der 3. Sitzung des Arbeitskreises der D-A-CH-Erdbebengesellschaften "Seismische Regelwerke" (03.11.1995, Graz) diskutiert. Zu dieser Beratung wurde die im Arbeitskreis durchgeführten Expertenbefragung zur Effektivbeschleunigung ausgewertet (Fragebogen liegt als Anlage B bei).

Zur Sitzung des Koordinierenden Spiegelausschusses 00.06.00 "Erdbeben; Sonderfragen" am 18.04.1996 in Stuttgart wurden die in Abschnitt 7 zusammengefaßten Untersuchungsergebnisse im Vortrag vorgestellt und die daraus abgeleiteten Empfehlungen für das Nationale Anwendungsdokument begründet. Der Vorschlag konnte nicht zur abschließenden Abstimmung gebracht werden (vgl. NABau 00.06.00 Nr. 14-96. Bericht über die NABau-Sitzung des Koordinierenden Spiegelausschusses 00.06.00 "Erdbeben; Sonderfragen" am 18.04.1996 in Stuttgart).

In Weiterführung der Diskussion wurde zur Sitzung des Koordinierenden Spiegelausschusses 00.06.00 "Erdbeben; Sonderfragen" am 28.05.1996 in Darmstadt vom Bearbeiter drei Vorschläge zur Abstimmung unterbreitet (NABau 00.06.00 Nr. 20-96. Bericht über die NABau-Sitzung des Koordinierenden Spiegelausschusses 00.06.00 "Erdbeben; Sonderfragen" am 28.05.1996 in Darmstadt):

Zone	1. Vorschlag		2. Vorschlag		3. Vorschlag	
	I	a_g [m/s ²]	I	a_g [m/s ²]	I	a_g [m/s ²]
1	6.5	0.50	6.25	0.40	6.5	0.4
2	7.25	0.75	7.0	0.60	7.25	0.65/0.70
3	7.75	1.00	7.5	0.80	7.75	1.00

Ausgangspunkt bildete die zuvor erfolgte Entscheidung über die Intensitätsintervalle der Erdbebenzonenkarte:

Zone Intensitätsintervall für $T = 475a$

1 $6.25 \leq I < 7.0$

2 $7.0 \leq I < 7.5$

3 $7.5 \leq I^*$ * oberer Grenzwert $I = 8.1$

Im Ergebnis der Diskussion wurde dem Kompromißvorschlag 2 zugestimmt, ausgehend von den definierten Intensitätsintervallen der Erdbebenzonen und der Entscheidung, die Effektivbeschleunigungen auf der Grundlage der unteren Intensitätsgrenze zu definieren (NABau 00.06.00 Nr. 20-96. Bericht über die NABau-Sitzung des Koordinierenden Spiegelausschusses 00.06.00 "Erdbeben; Sonderfragen" am 28.05.1996 in Darmstadt).

Es läßt sich zeigen, daß der Vorschlag 2 den Beschleunigungen gemäß der vorgelegten Beziehung (7.1) entspricht, wenn die Ergebnisse abgerundet werden (bzw. nur eine Stelle nach dem Komma der in m/s² beschriebenen Beschleunigung betrachtet wird):

	Intensität für a_g	a_g [m/s ²]	Korr. (7.1)
Zone 1: $I = 6.25 - 7.0$	6.25	0.40	0.44
Zone 2: $I = 7.0 - 7.5$	7.0	0.60	0.66
Zone 3: $I > 7.5$	7.5	0.80	0.87

Die Festlegungen im Nationalen Anwendungsdokument (NAD) stellen somit abgerundete Effektivbeschleunigungen dar, die den Zusammenhang zu den durchgeführten Untersuchungen gewährleisten.

Im Rahmen des Workshops WS-4 *National Application Documents to Eurocode 8* zur XXV.ESC Vollversammlung September 1996 wurde vom Bearbeiter über die Ergebnisse des genannten Arbeitskreises und die durchgeführten Untersuchungen im Beitrag "Evaluation of effective accelerations for Eurocode 8" berichtet [10].

Die Ergebnisse stehen somit auf einer national und international abgestimmten Grundlage.

9 Literatur

- [1] ENV 1998-1-1. Eurocode 8 - Design provisions for earthquake resistance of structures. Part 1-1: General rules - Seismic actions and general requirements for structures. CEN, October 1994.
- [2] Grünthal, G.; Bosse, Ch. : Probabilistische Karte der Erdbebengefährdung der Bundesrepublik Deutschland - Erdbebenzonierungskarte für das Nationale Anwendungsdokument zum Eurocode 8. GeoForschungsZentrum Potsdam, Report STR96/10.
- [3] Hosser, D.:Realistische Lastannahmen für Bauwerke II. Abschlußbericht im Auftrag des Institutes für Bautechnik, Berlin. König und Heunisch, Frankfurt/M., 1986.
- [4] Hosser, D.; Keintzel, E.; Schneider, G. (Koordinierung J. Eibl und E. Keintzel: Proposals for Harmonized Rules for the Determination of Seismic Input Data. Preliminary Report. In: Background Documents for Eurocode 8, Part 1 (May 1988). Vol. 1 - Seismic Input Data. Commission for the European Communities, 1989. Erweiterte Fassung bei: Eurocode 8 - Worksshop on Seismic Input Data, Lisbon, July 1990.
- [5] Schwarz, J.: Probleme bei der Einführung intensitätsbezogener Erregungsdaten. In: *DGEB-Publikation* Nr. 5. Erdbebeningenieurwesen - Ingenieurseismologische Grundlagen, Vorschriften und Standards, Fallstudien, S. 69 - 83.
- [6] Schwarz, J. u.a.: Bauwerke in Erdbebengebieten. Vorschrift für das Territorium der DDR (1. Fassung). Wissenschaftszentrum Industrie- und Spezialbau Weimar, Februar 1990.
- [7] Newmark, N.M.; Hall, W. J.: Earthquake Spectra and Design, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley, 1982.
- [8] Grünthal, G. (ed.); Musson, R.; Schwarz, J.; Stucchi, M.: European Macroseismic Scale 1992 (up-dated scale). Cahiers du Centre Européen de Geodynamique et de Seismologie, Volume 7, Luxembourg 1993.
- [9] Schwarz, J.: Erdbebenvorschrift für das Territorium der DDR: Konzeption der Nachweisführung und ausgewählte Probleme. Material zur 3. Klausurtagung Erdbebeningenieurwesen (Hrsg.: Knoll, Werner, Köhler) Zentralinstitut für Physik der Erde Potsdam Heft 116, 1990.
- [10] Schwarz, J.: Evaluation of effective accelerations for Eurocode 8. In: Seismology in Europe. Papers presented at the XXV General Assembly of European Seismological Commission, September 9-14, 1996, Reykjavik, Iceland. Iceland Meteorological Office, Ministry of Environment, University of Iceland, 648-654.

- [11] ATC 3-06. Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, 1978.
- [12] Schwarz, J.: Bildung und Besonderheiten von Erdbebenentwurfsspektren. Bericht. Wissenschaftszentrum Industrie- und Spezialbau 1985.
- [13] Hadjian, A.H.: Ground motion prediction needs for Nuclear Engineering Design. In: Scholl, R.E.; King, J.K. (eds.): Strong Ground Motion Simulation and Earthquake Engineering Applications. A Technical Assessment. EERI Publication No. 85.02. 1985, 3-1 bis 3-10
- [14] Schwarz, J.; Grünthal, G.; Schöbel, B.: Aktuelle Probleme der Beschreibung und Harmonisierung der seismischen Einwirkungen in Erdbebennormen. *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik (DGEB)* Heft 2: IDNDR - Internationale Dekade zur Katastrophenvorbeugung (Hrsg. J. Schwarz) 1992, 73-90.
- [15] Schöbel, B.: Ableitung standortspezifischer Strong-Motion-Aussagen für das Territorium der DDR. Zwischenbericht Juli 1989, Abschlußbericht Dez. 1989; aktualisierte Version 1991.
- [16] Schwarz, J.; Grünthal, G.: Beschreibung der seismischen Einwirkungen in den Vorschriften allgemeiner Hochbauten. Teil 2: Ableitung einer neuartigen Vorgehensweise für deutsche Erdbebengebiete. *Bauplanung-Bautechnik* 45 (1991) 10, 443- 459.
- [17] Schwarz, J.; Grünthal, G.: Harmonization of Codes with Respect to Seismic Hazard and Seismic Action for Structures of Different Risk Potential. *Proceed. 10th WCEE* Madrid 1992, Vol. 10, S. 5789-5795 Balkema, Rotterdam 1992.
- [18] Grünthal, G.; Bosse, C.: Harmonisierung von seismischer Gefährdung und seismischen Einwirkungen in Erdbebenbaunormen - Neue Konzepte seismischer Gefährdungskarten. *DGEB-Publikation Nr. 7*. D-A-CH Tagung 1993. Seismische Einwirkungen auf Bauwerke unterschiedlichen Risikopotentials. Europäische Regelwerke, Weimar 1993
- [19] Schwarz, J.: Harmonisierung von seismischer Gefährdung und seismischen Einwirkungen in Erdbebenbaunormen - Gefährdungsbezogene Einwirkungsgrößen und Parameter. *DGEB-Publikation Nr. 7* Seismische Einwirkungen auf Bauwerke unterschiedlichen Risikopotentials. Europäische Regelwerke (Hrsg. E. Hampe und J. Schwarz), 79 - 96.
- [20] Schwarz, J.; Grünthal, G.: Aktuelle Probleme der Beschreibung und Harmonisierung von seismischen Einwirkungen in Erdbebenbaunormen. *Bautechnik* 70 (1993) 11, 681-693
- [21] Grünthal, G. und Schwarz, J.: Seismic hazard related representations of seismic action. New approaches and their application to low seismicity regions of central Europe. *11th WCEE*, Acapulco, Mexico, June 23-28, 1996.
- [22] Schwarz, J. and G. Grünthal: Seismic hazard related representations of seismic action and their application to low seismicity regions of central Europe. In: *Seismology in Europe. Papers presented*

at the XXV General Assembly of European Seismological Commission, September 9-14, 1996, Reykjavik, Iceland. Iceland Meteorological Office, Ministry of Environment, University of Iceland, 512-518.

[23] Kennedy, R.P.; Short, S.A.: Engineering characterization of ground motion for seismic design of stiff structures. In: Scholl, R.E.; King, J.K. (eds.): Strong Ground Motion Simulation and Earthquake Engineering Applications. A Technical Assessment. EERI Publication No. 85.02. 1985, 7-1 bis 7-9.

[24] Kennedy, R.P.; Short, S.A. et al.: Engineering characterization of ground motion - task I: effects of characteristics of free-field motion on structural response, SMA 12702.01, Structural Mechanics Associates, Inc. Newport Beach, California, 1984.

[25] Reiter, L.: Earthquake Hazard Analysis. Columbia University Press, New York, 254 pp. 1990.

[26] Bommer, J.J.: Definitions of "effective acceleration" (personal communication, 29.10.1995).

[27] Ambraseys, N. N.; Simpson, K. A.; Bommer, J. J.: Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 25 (1996), 371 - 400.

[28] Pugliesi, A.; Sabetta, F.: Stima di spettri di risposta da registrazioni di forti terremoti italiani. *ingegneria sismica* 6 (1989) Vol. 2, 3 - 14.

[29] Bolt, A. B.; Abrahamson, N.A.: New attenuation relations for peak and expected accelerations of strong ground motions. *Bull. of the Seism. Soc. of America* 72 (1982) 6, 2307- 2321.

[30] Schenk, V.: Amplitude-frequency distribution of strong ground motion. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 38 (1985), 144 - 161.

[31] Kawashima, K.; Aizawa, K.: Earthquake response spectra taking into account of number response cycles. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 14 (1986) 185 - 197.

[32] Moser, K.: Erdbebentauglichkeit von Stahlbetonhochbauten. Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich. *IKB Bericht* Nr. 201, November 1993, Birkhäuser Verlag Basel, Boston, Berlin 1993.

[33] Bachmann, H. u.a.: Die Erdbebenbestimmungen der Norm SIA 160, Dokumentation D 044, *Schweizer Ingenieur- und Architekten-Verein*, Zürich, 1992.

- [34] Murphy ; O'Brien: The correlation of peak ground acceleration amplitude with seismic intensity and physical parameters. *Bull. of the Seism. Soc. of America* 67 (1977)3, S. 877 - 915.
- [35] Ahorner, L.: Gemessene Bodenbeschleunigungen beim Roermonder Erdbeben am 13. April 1992. *Bauingenieur* 68 (1993) S. 201-205
- [36] Schwarz, J.; Ahorner, L.: Conclusions from actual strong motion records in Central Europe for Engineering design practice. Strong Motion '94, Bern, 4.11.1994, 40-44
- [37] Gariel, J.C.; Horrent, C.; Jongmans, D.; Camelbeeck, T.: Estimation of strong ground motions during the 1992, April 13 Roermond earthquake (The Netherlands). *Proceed. of 10 th ECEE* Wien 1994, Duma (ed.), Vol. 1, 161 -166, Balkema Rotterdam 1995.
- [38] Schwarz, J.; Ahorner, L.: Actual strong motion records in Central Europe - Conclusions for Engineering design practice, In: *Proceed. 5th SECED* (A.S. Elnashai, Ed.) Chester 1995, 303-310, A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- [39] Smit, P.: Datenerfassung und Bestimmung der Abminderung der Bodenbewegung bei Erdbeben in der Schweiz. Publikationsserie des Schweizerischen Erdbebendienstes. Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich No 108, 1996.
- [40] Devilliers, C.; Mohammadioun, B.: French methodology for determining site adopted SMS (Seisme Majore de Securite). *Proceed. 6th SMiRt* Paris 1981
- [41] Mohammadioun, G.: Calculation of site-adapted reference spectra from statistical analysis of an extensive strong-motion data bank. *Proceed. 10th ECEE* (Duma, Ed.) Vienna 1994, 177 - 181, Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- [42] Ahorner, L.; Rosenhauer, W: Seismic risk for the Upper Rhine Graben and its vicinity. *Journal of Geophysics* 44 (1978), 481 - 497.
- [43] McGuire, R.K.: Seismic structural response risk analysis, incorporating peak responses, regressions on earthquake magnitude and distance. Department of Civil Engineering Res Report R 74/51, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1974
- [44] Joyner, W. B.; Boore, D. M.: Peak acceleration and velocity from strong-motion records. *Bull. of the Seism. Soc. of America* 71 (1981) Vol. 6, 2011 - 2038.
- [45] Joyner und Boore: Prediction of earthquake response spectra. U.S. Geolog. Surv. Open-File Rep. 82-977, 16 pp., 1982

- [46] Ambraseys, N.N.; Bommer, J.J.: The attenuation of ground acceleration in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 20 (1991), 1179-1202.
- [47] Ambraseys, N.N.: Reappraisal of the prediction of ground accelerations in Europe - EAE Working Group Report. *Proceed. of 10th ECEE* Wien 1994, Duma (ed.), Vol. 4, 3041 - 3048, Balkema Rotterdam 1995.
- [48] Tento, A.; Franceschina, L.; Marcellina, A.: Expected ground motion evaluation for Italian sites. *Proceed. of the 10th WCEE* Vol. I, 489 - 494, Madrid 1992
- [49] Petrovski, D.: Probabilistic approach for evaluation of seismic design parameters. IAEA Specialist Meeting on Earthquake Ground Motion and Antiseismic Evaluation of Nuclear Power Plants, Moscow 1986
- [50] Donovan, N.: Uniform risk zoning- a simplified approach. *Proceed. 9th WCEE*, Vol. V, 1063-1068, Tokyo 1988.
- [51] Hutchison, D.L.: Draft revisions of NZS 4203:1984: Seismic Provisions. *Bulletin of the New Zealand National Soc. of Earthquake Engineering* 19 (1986) 3, 158-165.
- [52] Algermissen, S.T.; Leyendecker, E.V.: A technique for uniform hazard spectra estimation. *Proceed. 10th WCEE Madrid*, Vol. 1, 391-397, Balkema, Rotterdam 1992
- [53] Schwarz, J.: Arbeitskreis "Seismische Regelwerke" der D-A-CH Erdbebengesellschaften. Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik, *Mitteilungsblatt* Nr. 16/1996.
- [54] Dahle, A.; Bungum, H.; Kvamme, L.B.: Empirically derived PSV spectral attenuation models for intraplate conditions. *European Earthquake Engineering* (1991) 3, 42-52.

Sonstige verwendete Unterlagen

- World List of Earthquake Resistant Regulations. Tokyo 1992
- ÖNORM B 4015-1. Belastungssannahmen im Bauwesen. Außergewöhnliche Einwirkungen. Erdbebeneinwirkungen. Grundlagen. (Entwurf). 1994.
- Lenhardt, W.: Regional earthquake hazard in Austria
- Schneider, G.: Lastparameter für EC 8. Vorlage für den AK „NAD“ des NABau-KoSpA 00.06.00 „Erdbeben“. 7 S. Stuttgart, 01.08.1995.
- Schwarz, J.: Festlegung effektiver Beschleunigungen für seismische Gefährdungszonen im Zusammenhang mit der probeweisen nationalen Anwendung des EC 8. Vorlage für den AK „NAD“ des NABau-KoSpA 00.06.00 „Erdbeben“ auf Grundlage der Beratung am 10.10.1995 in Weimar.

Begriffe und Symbole

cal a	Rechenwert der Beschleunigung
a_{eff}	effektive Bodenbeschleunigung
a_{eff}^*	effektive Bodenbeschleunigung unter Berücksichtigung der Bauwerkswertigkeit
EPA	Effective Peak Acceleration
EPV	Effective Peak Velocity (bezogen auf EPA)
PGA	Peak Ground Acceleration
PGV	Peak Ground Velocity (bezogen auf EPA)
a_{DE}	effektive Bodenbeschleunigung
a_o	Regelwert der Horizontalbeschleunigung (DIN 4149)
a_g	effektive Beschleunigung nach Eurocode 8 ENV: 1998-1-1
a, a_h	maximale horizontale Bodenbeschleunigung
$a_{i,j}$	Beschleunigung für Zone i der Intensität I und Entfernung R_j sowie aus I und R_j abgeleiteten Magnitude $M_{i,j}$
a_m	Mittelwert der Bodenspitzenbeschleunigung (aus statistischen Auswertungen)
$a_{m+1\sigma}$	Mittelwert + 1σ Standardabweichung der Bodenspitzenbeschleunigung
a_N	Nominalbeschleunigung (afps)
a_{obs}	registrierte (beobachtete) Spitzenbeschleunigung
a_{rms}	<i>root-mean-square</i> Beschleunigung, ermittelt aus dem Integral der quadratierten Beschleunigungen über die Bebenzeitdauer
a_s	Schwellwert der schadenserzeugenden Beschleunigung nach [28]
a_z	Beschleunigung der "Abbruchgrenze"
d_g	maximale Bodenverschiebung nach Eurocode 8 ENV: 1998-1-1
p	Überschreitenswahrscheinlichkeit
P	Nichtüberschreitenswahrscheinlichkeit
R	Entfernung (Herdentfernung)
$S_{a,\text{starr}}$	Quasi-Grundbeschleunigung = Starrkörperhorizontalbeschleunigung
$S_{a,\text{Plateau}}$	konstante und maximale Spektralbeschleunigung im Plateau des Spektrums
$S_a(T_B - T_C)$	konstante und maximale Spektralbeschleunigung im Plateau des Spektrums zwischen den Kontrollperioden T_B und T_C
T^*	Referenzperiode zur Ermittlung der Effektivbeschleunigung
T_B, T_C	Kontrollperioden des maximalen Verstärkungsbereiches, für den gilt $\beta_e = \beta_o$
T_{reff}	der Effektivbeschleunigung zuordenbare Wiederholungsperiode
T_R	mittlere Wiederholungsperiode

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

- Abb. 3.1 Methoden zur Festlegung der effektiven Beschleunigung (1)
- Abb. 3.2 Methoden zur Festlegung der effektiven Beschleunigung (2)
- Abb. 3.3 Ermittlung der effektiven Beschleunigung (EPA) und Geschwindigkeit (EPV) nach ATC 3-06 [11]
- Abb. 3.4 Vergleich der Spektren vom Malendy und Taft-Erdbeben [13]
- Abb. 3.5 Ermittlung von effektiven Beschleunigungen auf der Grundlage der für alle Modellstandorte einer Erdbebenzone repräsentativen Gefährdungskurven [21]
- Abb. 3.6 Effektive Beschleunigungen nach Methoden 3a und 3b unter Verwendung der Abnahmebeziehung von Ambraseys u.a [27]
- Abb. 3.7 Effektive Beschleunigungen nach Methoden 3a und 3b unter Verwendung der Abnahmebeziehung von Pugliese und Sabetta [28]
- Abb. 3.8 Effektive Beschleunigungen nach der Methode von Bolt und Abrahamson [29]
- Abb. 3.9 Digitalisierung des Zeitverlaufs nach der Zähltechnik von Schenk [30]
- Abb. 3.10 Effektivbeschleunigungen nach Schenk [30] in Abhängigkeit von der gewählten Nichtüberschreitenswahrscheinlichkeit P
- Abb. 3.11 Spektren in Abhängigkeit von der Zyklenzahl N nach [21]
- Abb. 3.12 Abminderungsfaktoren in Abhängigkeit von Periode und Zyklenzahl [21]
- Abb. 6.1 Erwartungsbereiche der Spektralbeschleunigungen nach Korrelationen $M = f(I,R)$ für $I = 7.0$ unter Verwendung der Abnahmebeziehungen von Tento et al. [48] und Petrovski [49].
- Abb. 6.2 Erwartungsbereiche der Spektralbeschleunigungen nach Korrelationen $M = f(I,R)$ für $I = 8.0$ unter Verwendung der Abnahmebeziehungen von Tento et al. [48] und Petrovski [49].
- Abb. 6.3 Über die Entfernungen R_j gemittelte Spektralbeschleunigungen nach Korrelation (6.1) für $I = 7.5$ unter Verwendung unterschiedlicher Abnahmebeziehungen; Kennzeichnung der über der Periode $T^* = 0.3$ s maßgebenden Spektralbeschleunigungen S_a^* gemäß Methode 2b [21].
- Abb. 7.1 Effektivbeschleunigungen in Abhängigkeit von der Intensität (Methode 1a) nach Murphy und O'Brien [29]; Vergleich mit den Effektivwerten in den Erdbebennormen der D-A-CH Staaten.
- Abb. 7.2 Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8:: Einordnung von Variante NAD (I) in die aus den Methoden ermittelten Werte:
a) obere Bezugsgrößen b) untere Bezugsgrößen
- Abb. 7.3 Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8:: Einordnung von Variante NAD (II) in die aus den Methoden ermittelten Werte:
a) obere Bezugsgrößen b) untere Bezugsgrößen
- Abb. 7.4 Effektivbeschleunigungen nach den Untersuchungen für das NAD zum EC8:: Einordnung von Variante NAD (III) in die aus den Methoden ermittelten Werte:
a) obere Bezugsgrößen b) untere Bezugsgrößen
- Abb. 7.5 Vorschläge zu Effektivbeschleunigungen für das NAD; Vergleich mit den Effektivwerten in den Erdbebennormen der D-A-CH Staaten.

Tabelle 1.1	Symbole für die Effektivbeschleunigung und Beispiele für ihre Anwendung
Tabelle 3.1	Methoden zur Ermittlung "effektiver" Beschleunigungen nach [10]
Tabelle 6.1	Maßgebende Magnitude-Entfernungsbedingungen nach [40],[41],[42]
Tabelle 6.2	Effektive Beschleunigungen für Erdbebenzonen gemäß NAD unter Berücksichtigung von Magnitude-Entfernungskategorien nach [41] und der Korrelation von McGuire [43]
Tabelle 6.3	Effektive Beschleunigungen für Erdbebenzonen gemäß NAD für die Magnitude-Entfernungskategorien nach [42] und der Korrelation von McGuire [43]
Tabelle 6.4	Effektive Beschleunigungen für Erdbebenzonen gemäß NAD für die Magnitude-Entfernungskategorien nach [40] nach Joyner und Boore [44], [45]
Tabelle 6.5	Effektivbeschleunigungen für Magnitude-Entfernungskategorien nach [41]
Tabelle 6.6	Effektive Beschleunigungen für die Magnitude-Entfernungskategorien nach Joyner und Boore [44], [45]
Tabelle 6.7	Effektivbeschleunigungen für die Magnitude-Entfernungskategorien nach [42] und Spektralwerte nach Tento et al. [48]: $T^* = 0.26$ s unter Anwendung von Methode 2b
Tabelle 6.8	Effektivbeschleunigungen gemäß NAD für die Magnitude-Entfernungskategorien nach [40] und Spektralwerte nach Ambraseys u.a. [27] unter Anwendung von Methode 3a ($T^* = T$ von $S_{a,max}$)
Tabelle 7.1	Effektivbeschleunigungen nach Methoden 1 a und 2a.
Tabelle 7.2a	Mittelwerte der Effektivbeschleunigungen $a_{eff,ij}$ (i-Zone; j-Entfernung) nach Methode 1b
Tabelle 7.2b	Mittelwerte der Effektivbeschleunigungen $a_{eff,ij}$ (i-Zone; j-Entfernung) nach Methode 1b (Entfernungsbereich 10 bis 40 km für untere Intensitätsklassen)
Tabelle 7.3a	Mittelwerte der Beschleunigungen a_{ij} (i-Zone; j-Entfernung) nach Methode 2b.
Tabelle 7.3b	Mittelwerte der Beschleunigungen a_{ij} (i-Zone; j-Entfernung) nach Methode 2b (Entfernungsbereich 10 bis 40 km für untere Intensitätsklassen).
Tabelle 7.4a	Mittelwerte der Beschleunigungen a_{ij} (i-Zone; j-Entfernung) nach Methode 3a und 3b (für ausgewählte Beispiele).
Tabelle 7.4b	Mittelwerte der Beschleunigungen a_{ij} (i-Zone; j-Entfernung) und Vergleich zwischen Methode 3a und 3b (für ausgewählte Beispiele) (Entfernungsbereich 10 bis 40 km für untere Intensitätsklassen).
Tabelle 7.5	Effektivbeschleunigungen a_g [m/s^2] nach unterschiedlichen Methoden
Tabelle 7.6	Varianten für die Effektivbeschleunigungen gemäß den Zonen der probabilistischen Gefährdungszonenkarte zum NAD.

Danksagung

Die vorgelegten Ergebnissen wurden im **Arbeitskreis der D-A-CH Erdbeben-gesellschaften "Seismische Regelwerke"** abgestimmt und in seinen Sitzungen behandelt. Für die gemeinsame Arbeit, die Anregungen und vielfältigen Möglichkeiten, Problemstellungen kritisch zu diskutieren, ist zu danken:

W. Braumüller, Hochschule für Angewandte Kunst in Wien, Lehrkanzel für Tragwerkslehre

R. Flesch, BVFA-Arsenal Wien

G. Grünthal, GeoForschungsZentrum Potsdam

E. Keintzel, Universität Karlsruhe, Inst. f. Massivbau und Baustofftechnologie

K. Kernbichler, Technische Universität Graz

W. Lenhardt, Zentralanstalt für Meteorologie u. Geodynamik ZAMG Wien

D. Mayer-Rosa und P. Smit, ETH Zürich, Institut für Geophysik/ Schweizer Erdbebendienst

und

Th. Wenk, ETH Zürich, Institut für Baustatik und Konstruktion

Anlagen

Anlage 1

Schwarz, J.: Festlegung effektiver Beschleunigungen für seismische Gefährdungszonen im Zusammenhang mit der probeweisen nationalen Anwendung des EC 8.

Vorlage für den AK „NAD“ des NABau-KoSpA 00.06.00 „Erdbeben“ auf Grundlage der Beratung am 10.10.1995 in Weimar.

Anlage 2

Fragen zur Festlegung der “effektiven” Beschleunigung

(verteilt und ausgewertet im Arbeitskreis der D-A-CH Erdbebengesellschaften “Seismische Regelwerke”)

Festlegung effektiver Beschleunigungen für seismische Gefährdungszonen im Zusammenhang mit der probeweisen nationalen Anwendung des EC 8

1. Ergebnisse von Untersuchungen nach unterschiedlichen Methoden zur Abschätzung der effektiven Beschleunigung

- Die Untersuchungen führen zu effektiven Beschleunigungen, die bezogen auf die Intensität über den Regelwerten der Horizontalbeschleunigung nach DIN 4149 liegen. Die Diskrepanz ist in Zonen geringer Intensität deutlicher ausgeprägt. Diese Tendenz wird durch alle derzeit praktizierten bzw. neu eingeführten Methoden zur Abschätzung von effektiven Beschleunigungen bestätigt.
- Die in der Schweizer Norm SIA 160 zugrunde gelegten Werte ordnen sich in einen Bereich von Effektivbeschleunigungen ein, der nach Stand Wissenschaft und Technik für für Intensitäten zwischen 6.5 und 8.0 ermittelt werden kann. Die Beschleunigungen der SIA 160 stellen jedoch keine oberen Grenzwerte dar.
- Auch ein Vorschlag von Prof. Schneider sieht gegenüber DIN 4149 deutlich angehobene Beschleunigungen vor.

2. Vorschlag für das NAD unter Berücksichtigung der Zoneneinteilung

- Die Effektivbeschleunigungen sind so festzulegen, daß sie im Bereich der Beschleunigungen liegen, der durch die Vorgaben der Schweizer Norm und den Vorschlag von Prof. Schneider begrenzt ist (siehe Abb.). (Anmerkung: In der Abb. werden nicht die Zonenwerte der SIA, sondern auf Halbgradintensitäten abgestufte Beschleunigungen markiert, die sich aus der zugrunde gelegten Korrelation zwischen a und I ableiten lassen.)

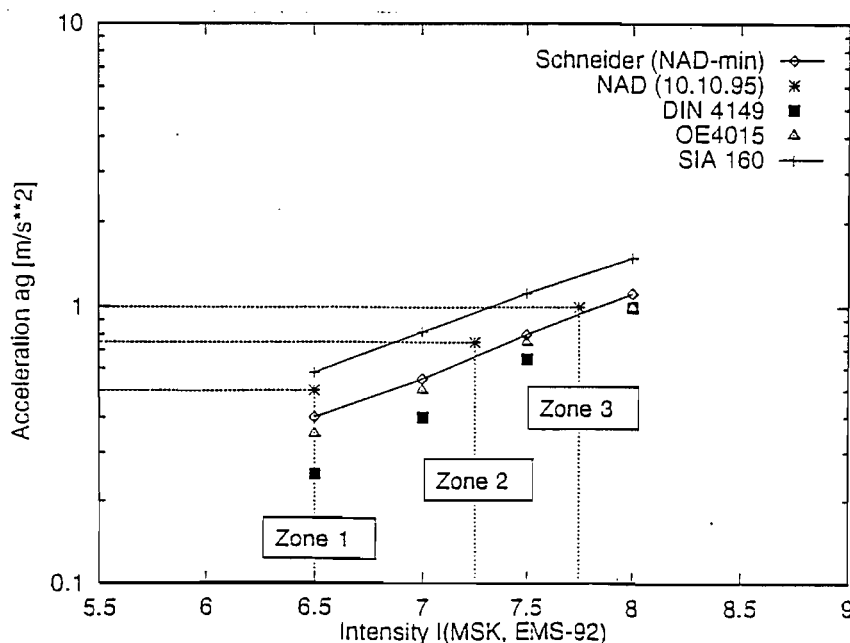


Abb. Vorschläge zur Festlegung der Effektivbeschleunigungen für das NAD zum EC 8 (deutsche Erdbebengebiete) und Vergleich mit den Werten in den Erdbebenbaunormen der D-A-CH Länder

- Für die in Weimar diskutierte Zoneneinteilung mit den Bezugsintensitäten

6.5 (Zone 1) - 7.25 (Zone 2) - 7.75 (Zone 3)

könnten nach derzeitigem Untersuchungsstand folgende Beschleunigungen geeignet sein:

Zone 1: $a_g = 0.50 \text{ m/s}^2$

Zone 2: $a_g = 0.75 \text{ m/s}^2$

Zone 3: $a_g = 1.00 \text{ m/s}^2$

- Es ist hervorzuheben, daß die Zonen nicht mehr mit den Zonen nach DIN 4149 identisch sind und mit der gewählten Zoneneinteilung eine obere Beschleunigung von 1.00 m/s^2 nicht überschritten würde. Diese Beschleunigung gilt aber nicht mehr für die Intensität 8, für die ein höherer Beschleunigungswert einzuführen wäre. Gleichzeitig ist nochmals zu betonen, daß diese Werte nicht als konservativ anzusehen sind. Dies wird aus dem Vergleich mit den SIA 160 - Werten, die nach Information Schweizer Kollegen beibehalten werden sollen, deutlich.

f. Schwab

Fragen zur Festlegung der "effektiven" Beschleunigung

1a Welche Sachverhalte bzw. Parameter sollen durch die "effektive" Beschleunigung abgedeckt werden?

- Parameter auf der Einwirkungsseite
- Parameter auf der Widerstandsseite
- Parameter von Einwirkungs- und Widerstandsseite

1b Welche Sachverhalte bzw. Parameter sollten erfaßt werden?

- das Nichtwirksamwerden einzelner Spitzenbeschleunigungen, d.h. das Niveau von wiederholt auftretenden Beschleunigungen
- die Fähigkeit des Bauwerks, Spitzenbeschleunigungen ohne sichtbare Schäden aufzunehmen, wenn sie gegen Beschleunigungen ausgelegt wurden, die nur um einen bestimmten Prozentsatz von diesen Werten abweichen
- die Frequenzcharakteristik der Bodenbewegung
- die Zyklenzahl bzw. Starkbebendauer
- die Bauwerksdämpfung
- die Bauwerkswertigkeit
- sonstige (bitte benennen):

2 Welches Vorgehen schlagen Sie zur Ermittlung der "effektiven" Beschleunigung vor?

2.1 **Vorgehensweise a** auf der Grundlage von empirischen Korrelationsbeziehungen mit der maximalen Bodenbeschleunigung a_{\max}

2.1a Welcher Typ von Korrelationsbeziehungen ist heranzuziehen?

- $a_{\max} = f(I)$
 - $a_{\max} = f(M,R)$
- (I-Intensität, M-Magnitude, R-Entfernung)

2.1b Welche konkrete Korrelationsbeziehung wäre heranzuziehen?

- Beziehung auf der Grundlage europäischer Daten
- Beziehung wäre noch zu erstellen
- Beziehung mit weltweit umfangreichster Datenbasis
- mehrere Beziehungen, deren Ergebnisse gemittelt oder gewichtet werden

2.1c Auf welchen Prozentsatz sollten die Werte abgemindert werden?

- (a_g/a_{\max} [%])**
- zwischen > 80-90 %
 - zwischen 70-80 %
 - zwischen 60-70 %
 - kleiner 60 %

2.1d Können Sie diesen Prozentsatz begründen?

- ja nein

Wenn ja, wie:

2.2 Vorgehensweise b auf Grundlage der Spektralbeschleunigung im Plateaubereich, abgemindert um einen Faktor β_0

2.2a Wie groß sollte der Faktor β_0 sein?

- größer 2,5 2,5 kleiner 2,5

2.2b Betrachten Sie diese Frage in Anbetracht des Endergebnisses (Spektrum) als als sekundär?

- ja nein

2.3 Vorgehensweise auf Grundlage der Ergebnisse infolge der beiden oben genannten **Vorgehensweisen a und b**, wobei diese in einem plausiblen Zusammenhang stehen sollten.

2.3a Wie sollte der Zusammenhang aussehen?

- der jeweils kleinere Wert ist maßgebend
 der jeweils größere Wert ist maßgebend
 jeweils der Wert nach Vorgehensweise a
 jeweils der Wert nach Vorgehensweise b
 Mittelung der Ergebnisse

3. Welchen Stellenwert messen Sie den Ergebnissen im Verhältnis Regelwerten der Horizontalbeschleunigung nach DIN 4149/ SIA 160/ ÖNORM B 4015 bei?
(Bitte für jeweiliges Land beantworten!)

- keinen, da die Werte der Norm unverändert gültig bleiben sollen
 der obere Grenzwert für die Zone mit der höchsten Intensität $a_{\text{eff}} = 1,0 \text{ m/s}^2 / 0,18 \text{ g} / 0,14 \text{ g}$ darf nicht überschritten werden
 wenn dies begründet ist, werden höhere Werte akzeptiert
 wenn dies begründet ist, werden höhere Werte nur in unteren Zonen akzeptiert

4a. **Könnten Sie der Festlegung höherer Beschleunigungen auf der Einwirkungsseite zustimmen, wenn andererseits auf der Widerstandsseite ein ausreichender Spielraum zur Abminderung vorhanden wäre?**

ja nein

4b **Sehen Sie im EC 8 gegenwärtig diese Möglichkeiten gegeben?**

ja nein

4c **Würden Sie erhöhten Werten nur für bestimmte Erdbebenzonen zustimmen, z.B. den Zonen 1, 2 oder 3?**

ja nein

5. **Verbinden Sie mit der "effektiven" Beschleunigung bestimmte Schadens-
erwartungen?**

ja nein

Wenn ja: welche?

Wenn ja: Wie sehen diese Auswirkungen in unteren Intensitätsbereichen aus?

6a **Würden Sie einer Vorgehensweise zustimmen, die eine differenziertes Vorgehen bei der Definition der "effektiven" Beschleunigungen in Abhängigkeit von der Bauwerksklasse zuläßt, z.B. in der Form, daß die "effektiven Beschleunigungen" gemäß Frage 2, Vorgehensweise a, stärker für weniger bedeutsame Bauwerksgruppen abgemindert werden?**

ja nein

6b **Sehen Sie hierin eine unzulässige Vermischung von Aspekten, die mit dem Wertigkeitsfaktor berücksichtigt werden sollen?**

ja nein