

Mikrozonierung für die Kantone Basel Stadt und Basel Landschaft Abschlussbericht: Teilbericht B

Report

Author(s): Fäh, Donat; Wenk, Thomas D

Publication date: 2009

Permanent link: https://doi.org/10.3929/ethz-a-006329666

Rights / license: In Copyright - Non-Commercial Use Permitted





Schweizerischer Erdbebendienst Swiss Seismological Service

Mikrozonierung für die Kantone Basel Stadt und Basel Landschaft

Optimierung der Form der Antwortspektren und der Anzahl der Mikrozonen

Abschlussbericht: Teilbericht B (Version 15.10.2009)

D. Fäh¹, T. Wenk²

¹Schweizerischer Erdbebendienst ETH Zürich ²Wenk Erdbebeningenieurwesen und Baudynamik GmbH Zürich

Report

SED/MZ_BSBL/R/001/20091015

1. Einleitung und allgemeine Vorgehensweise	3
2. Antwortspektren	3
2.1 Allgemeines	3
2.2 Antwortspektren gemäss Norm SIA 261	5
2.3 Baugrundklassen gemäss Norm SIA 261	7
3. Bestimmung des elastischen Antwortspektrums für jede Zone	10
4. Plausibilitätskontrolle	17
4.1 Mikrozonierung für die Kantone BS und BL	17
4.2 Vergleich mit Antwortspektren gemäss DIN 4149	19
4.3 Vergleich mit Antwortspektren der französischen Normen	20
4.4 Vergleich mit den Antwortspektren der Mikrozonierung im Rhonetal	22
4.5 Vergleich mit Geothermiebeben vom 8. Dezember 2006 in Basel	23
4.6 Tabellarischer Vergleich	23
5. Referenzen	25
Appendix 1	26
Appendix 2: Spektren Typen	53

1. Einleitung und allgemeine Vorgehensweise

Nach Abschluss des Interregprojekts "Mikrozonierung am südlichen Oberrhein" (Fäh und Huggenberger, 2006), wurde beschlossen, die Erkenntnisse aus dem Projekt für Bauingenieure und kantonale Fachstellen umzusetzen. Im Weiteren wurde eine weitere Überprüfung der Mikrozonierung mit Hilfe von Erdbebenaufzeichnungen und makroseismischen Daten anvisiert. Uebergeordnetes Ziel der Arbeiten ist es, die Erdbebenvorsorge in den Kantonen Basel Stadt und Basel Landschaft weiter zu verstärken. Neben der Informationsvermittlung und Weiterbildung für kantonale Fachstellen und das Ingenieurwesen stand auch eine Verbesserung der Instrumentierung und die kontinuierliche Überprüfung der Mikrozonierung im Vordergrund. Die Ergebnisse dieser Arbeiten sind im Projekt-Teilbericht A zusammengestellt (Fäh et al., 2009).

Ziel des hier vorliegenden Berichts ist die Optimierung der Anzahl der Mikrozonen und Baugrundklassen, indem Antwortspektren vereinfacht und Mikrozonen zusammengefasst werden, sowie die Diskussion der zugrundeliegenden Annahmen, welche im Ingenieurwesen von Relevanz sind. Die allgemeine Vorgehensweise gliedert sich in die folgenden 4 Schritte:

- 1. Für die im Bericht *INTERREG III Erdbebenmikrozonierung am südlichen Oberrhein* definierten Mikrozonen wird je ein Antwortspektrum bestimmt.
- 2. Für Spezialfälle wie Aufschüttungen und Rutschungen werden zusätzliche Mikrozonen gebildet. Zumindest für die Aufschüttungen mit Mächtigkeiten kleiner als 10m wird ebenfalls ein Antwortspektrum bestimmt. Aufschüttungen mit Mächtigkeiten grösser als 10m verlangen eine spezielle Beurteilung, welche nicht Teil der Mikrozonierung ist. Die Kartierung der ausgeschiedenen Aufschüttungen und Rutschungen wird in einem separaten Dokument behandelt (Huggenberger et al., in Vorbereitung).
- 3. Mikrozonierungszonen, deren Antwortspektren sich um nicht mehr als 20% unterscheiden, werden zusammengelegt. Das Ziel ist es, eine möglichst geringe Anzahl unterschiedlicher Zonen und Antwortspektren vorzuschlagen.
- 4. Die Antwortspektren werden auf ihre Plausibilität hin überprüft. Hierzu werden Norm-Antwortspektren im deutschen und französischen Grenzgebiet zur Region Basel sowie Zeitverläufe des Geothermiebebens vom 8. Dez. 2006 zum Vergleich herangezogen.

2. Antwortspektren

2.1 Allgemeines

Antwortspektren dienen zur Auswertung von Erdbebenaufzeichnungen und zur Erdbebenbemessung von Bauwerken. Ein Antwortspektrum ist eine graphische Darstellung der Maximalantwort eines Einmassenschwingers unter der Wirkung eines gegebenen Zeitverlaufs der Bodenbewegung und aufgezeichnet in Funktion von dessen Schwingzeit.

Generell werden zwei Arten von Antwortspektren unterschieden:

geglättete Antwortspektren und

nicht geglättete Antwortspektren.

Ein *nicht geglättetes* Antwortspektrum wird ausgehend von einer einzelnen Aufzeichnung der Bodenbewegung bei einem Erdbeben berechnet, wie in Abbildung 1 durch die blaue Linie dargestellt, dem Antwortspektrum der horizontalen Beschleunigung in Ost-West-Richtung am Standort Basel-St. Johann beim Geothermiebeben vom 8. Dezember 2006. Für jede der drei orthogonalen Richtungen der Bodenbewegung kann ein nicht geglättetes Antwortspektrum bestimmt werden.

Geglättete Antwortspektren werden in Normen zur Definition des Bemessungsbebens verwendet. Ein geglättetes Antwortspektrum wird aus vielen nicht geglätteten Antwortspektren ausgemittelt. Meist wird eine vereinfachte Darstellung mit abschnittsweise parabolisch oder konstantem Verlauf des Antwortspektrums verwendet, wie in Abbildung 1 durch die rote Linie dargestellt. In dreifach logarithmischer Darstellung entspricht dies einem abschnittsweisen konstanten Verlauf der drei Bewegungsgrössen Beschleunigung/Geschwindigkeit/Verschiebung mit zunehmender Schwingzeit (Newmark-Spektren). Ausgehend von der maximalen Bodenbeschleunigung ganz links in Abbildung 1 bei der Schwingzeit T = 0 folgt nach einem gewissen Übergangsbereich der Abschnitt konstanter Pseudo-Beschleunigung zwischen den sogenannten Eck-Schwingzeiten T_B und T_C. Anschliessend folgt zwischen T_C und T_D der Abschnitt konstanter Pseudo-Geschwindigkeit und über T_D hinaus folgt der Abschnitt konstanter Verschiebung.

Bei der Berechnung von Antwortspektren wird eine gewisse Dämpfung beim zugrunde liegenden Einmassenschwinger angenommen. Im Hinblick auf die Verwendung in modernen Normen hat sich dafür eine äquivalente viskose Dämpfung von 5% eingebürgert.

Bei einfach logarithmischer Darstellung wird meist die Beschleunigung auf der linearen Ordinate verwendet (Abbildung 1), wobei der Unterschied zwischen der sogenannten Pseudo-Beschleunigung und der Beschleunigung bei einer Dämpfung bis 5% vernachlässigt werden kann.



Abbildung 1. Nicht geglättetes Antwortspektrum der horizontalen Beschleunigung in Ost-West-Richtung am Standort Basel-St. Johann beim Geothermiebeben vom 8. Dezember 2006 (blaue Linie) im Vergleich mit dem geglätteten, elastischen Antwortspektrum der Norm SIA 261 für Zone 3a und Baugrundklasse C (rote Linie), beide für eine äquivalente viskose Dämpfung von 5%.

2.2 Antwortspektren gemäss Norm SIA 261

Die Norm SIA 261 (2003) definiert zwei Arten von geglätteten Antwortspektren:

das elastische Antwortspektrum und

das Bemessungsspektrum.

Das *elastische Antwortspektrum*, definiert in Ziffer 16.2.3 der Norm SIA 261 (2003), beschreibt die maximale Absolutbeschleunigung eines linear-elastischen Einmassenschwingers mit einer gewissen Dämpfung. Es wird nur in Spezialfällen zur Erdbebenbemessung verwendet und dient primär als Schnittstelle zwischen ingenieurseismologischen oder bodendynamischen Untersuchungen und Erdbebenbemessung. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit des elastischen Antwortspektrums ist auf 10% in 50 Jahren entsprechend einer Wiederkehrperiode von 475 Jahren festgelegt.

In Abbildung 2 sind als Beispiel die elastischen Antwortspektren für die fünf Baugrundklassen A bis E in der Erdbebengefährdungszone Z2 und für eine äquivalente viskose Dämpfung von 5% dargestellt.



Abbildung 2. Elastische Antwortspektren der Norm SIA 261 für die fünf Baugrundklassen A bis E in der Erdbebengefährdungszone Z2 und für eine äquivalente viskose Dämpfung von 5%.

Für die Erdbebenbemessung wird in der Regel das *Bemessungsspektrum* verwendet. Es dient als Eingabegrösse für die Tragwerksanalyse mit dem Ersatzkraftverfahren oder dem Antwortspektrenverfahren. Damit werden die Grenzzustände der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks für die Bemessungssituation Erdbeben, wie in den Normen SIA 260 bis 267 beschrieben, nachgewiesen.

Das Bemessungsspektrum wird basierend auf dem elastischen Antwortspektrum für 5% äquivalente viskose Dämpfung mittels Multiplikation mit dem Bedeutungsfaktor γ_f und Division durch den Verhaltensbeiwert q, die beide vom betrachteten Bauwerk abhängen, gemäss SIA 261 Ziffer 16.2.4 berechnet. Im Gegensatz zum elastischen Antwortspektrum ist das Bemessungsspektrum auf die Erdbeschleunigung g bezogen (Abbildung 3).

Der Bedeutungsfaktor beträgt $\gamma_f = 1,0$ für Bauwerksklasse I, $\gamma_f = 1,2$ für Bauwerksklasse II und $\gamma_f = 1,4$ für Bauwerksklasse III. Alle Bauwerke werden aufgrund der mittleren Personenbelegung, des Schadenpotenzials, der Gefährdung der Umwelt sowie der Bedeutung des Bauwerks für die Katastrophenbewältigung unmittelbar nach einem Erdbeben in eine von drei Bauwerksklassen eingeteilt. Normale Wohn- und Geschäftsgebäude werden in die Bauwerksklasse I eingeteilt. Gebäude mit grösseren Menschenansammlungen (Einkaufszentren, Sportstadien, Kinos, Theater, Schulen und Kirchen) sowie die Gebäude der öffentlichen Verwaltung werden der Bauwerksklasse II zugeteilt. So genannte Lifeline-Gebäude mit lebenswichtigen Infrastrukturfunktionen, wie Feuerwehrgebäude, Ambulanzgaragen oder Akutspitäler, werden in die Bauwerksklasse III eingestuft.

Für die Bauwerksklasse I ($\gamma_f = 1,0$) gilt der Referenzwert der Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% in 50 Jahren. Für die beiden höheren Bauwerksklassen II und III resultieren infolge der Multiplikation mit dem Bedeutungsfaktor kleinere Überschreitungswahrscheinlichkeit bzw. längere Wiederkehrperioden.



Abbildung 3. Bemessungsspektren [in g] der Norm SIA 261 für die beiden Extremwerte des Verhaltensbeiwertes q = 1,5 und q = 5,0 im Vergleich mit dem elastischen Antwortspektrum, jeweils für Bauwerksklasse I, Baugrundklasse C und Erdbebengefährdungszone Z2

Der Verhaltensfaktor q berücksichtigt das plastische Verformungsvermögen und die Überfestigkeit im Tragwerk, d.h. es werden Reserven über die normgemässe Elastizitätsgrenze hinaus aktiviert. Je nach Tragwerksart und Bauweise darf das elastische Antwortspektrum im Schwingzeitenbereich über der Eck-Schwingzeit T_B durch einen Verhaltensfaktor q im Bereich zwischen 1,5 und 5,0 dividiert werden. Der minimale Verhaltensfaktor q = 1,5 gilt für konventionelle Tragwerke, z.B. unbewehrtes Mauerwerk. Der maximale Verhaltensfaktor q = 5,0 gilt für besonders duktile Stahlrahmen, die nach modernen Bemessungsregeln auf Erdbebenbeanspruchung ausgelegt sind. Bei sehr steifen Tragwerken, d.h. T \approx 0, kann sich das plastische Verformungsvermögen nicht entwickeln und der Verhaltensfaktor q ist für alle Tragwerke auf 1,5 begrenzt. Im Übergangsbereich T_B > T > 0 wird q interpoliert. Bei sehr weichen Tragwerken muss ein Minimalwert der Beschleunigung unabhängig vom Verhaltensfaktor q berücksichtigt werden.

2.3 Baugrundklassen gemäss Norm SIA 261

Zur Berücksichtigung unterschiedlicher lokaler Baugrundverhältnisse umfasst die Norm SIA 261 (2003) fünf Baugrundklassen von A bis E mit vorgegebenen Parameterwerten S, T_B , T_C und T_D für das elastische Antwortspektrum (Tabelle 1). Die sechste Baugrundklasse F umfasst alle übrigen Böden. Die Parameterwerte der Baugrundklasse F müssen im Einzelfall mittels einer besonderen bodendynamischen Untersuchung festgelegt werden.

Der Faktor S ist ein Multiplikationsfaktor über den ganzen Schwingzeitenbereich. Die Baugrundklasse A dient als Referenz-Baugrundklasse mit dem Faktor S = 1,0. Bei den übrigen Baugrundklassen B bis E liegt S im Bereich von 1,15 bis 1,4. Bei den Parametern T_B , T_C und T_D ergeben sich jeweils Eckpunkte im Kurvenverlauf der Spektren (Abbildung 2). Deshalb werden diese Parameter auch Eck-Schwingzeiten genannt.

Die Parameterwerte der Baugrundklassen A bis E in der Norm SIA 261 wurden unverändert aus dem Eurocode 8 übernommen und zwar diejenigen für die Spektralform des Typs 1. Der Typ 1 wird empfohlen, wenn Erdbeben mit einer Oberflächenwellenmagnitude Ms größer als 5,5 wesentlich zur seismischen Gefährdung beitragen (EN1998-1:2004 Ziffer 3.2.2.2 2(P)). Die ursprüngliche Beschreibung der Baugrundklassen und die Bereiche der Scherwellengeschwindigkeit im Eurocode 8 (Tabelle 2) wurden in der Norm SIA 261 (Tabelle 1) an unsere lokalen Verhältnisse angepasst, um die Wahl der Baugrundklasse in der Praxis zu erleichtern. Die Einstufung in eine geotechnischen Baugrundklasse aufgrund der Beschreibung ohne weitergehende ist Bodenuntersuchungen vorzunehmen. Die in der Tabelle 1 angegebenen Bereiche von Scherwellengeschwindigkeit v_s, Schlagzahl des Standard Penetration Tests N_{SPT}, sowie undrainierter Scherfestigkeit su sind als informative Richtwerte zu betrachten, ohne dass diese Werte im Einzelfall für die Bestimmung der Baugrundklasse experimentell gemessen werden müssten.

Im Rahmen der Mikrozonierung werden die allgemeinen Baugrundklassen der Norm SIA 261 durch eine verfeinerte Einteilung in Mikrozonierungszonen ersetzt und die zugehörigen Parameterwerte $S_{a,max}$, T_B , T_C und T_D präziser festgelegt. Der generelle Verlauf des elastischen Antwortspektrums (Newmark-Spektrum) wird beibehalten.

Bau- grund- klasse	Beschreibung	v _s [m/s]	N _{SPT}	s _u [kPa]	S	T _B [s]	T _C [s]	T _D [s]
A	Harter Fels (z.B. Granit, Gneis, Quarzit, Kieselkalk, Kalk) oder weicher Fels (z.B. Sandstein, Nagelfluh, Juramergel, Opalinuston) unter max. 5 m Locker- gesteinsabdeckung	> 800	-	-	1,0	0,15	0,4	2,0
В	Ablagerungen von grossräumig zementiertem Kies und Sand und/oder vorbelastete Lockergesteine mit einer Mächtigkeit über 30 m	400800	> 50	> 250	1,2	0,15	0,5	2,0
С	Ablagerungen von normal konsolidiertem und unzementiertem Kies und Sand und/oder Moränenmaterial mit einer Mächtigkeit über 30 m	300500	15 50	70 250	1,15	0,20	0,6	2,0
D	Ablagerungen von nicht konsolidiertem Feinsand, Silt und Ton mit einer Mächtigkeit über 30 m	150300	< 15	< 70	1,2	0,20	0,8	2,0
E	Alluviale Oberflächenschicht der Baugrundklassen C oder D mit einer Mächtigkeit zwischen 5 und 30 m über einer steiferen Schicht der Baugrundklassen A oder B	-	-	-	1,4	0,15	0,5	2,0
F	Strukturempfindliche und organische Ablagerungen (z.B. Torf, Seekreide, Rutschmassen) mit einer Mächtigkeit über 10 m	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 1. Parameterwerte des elastischen Antwortspektrums in Abhängigkeit der Baugrundklassen gemäss Norm SIA 261 (2003)

Bau- grund- klasse	Beschreibung	v _s [m/s]	N _{SPT}	s _u [kPa]	S	T _B [s]	T _C [s]	T _D [s]
A	Fels oder andere felsähnliche geologische Formation, mit höchstens 5 m weicherem Material an der Oberfläche	> 800	-	-	1,0	0,15	0,4	2,0
В	Ablagerungen von sehr dichtem Sand, Kies oder sehr steifem Ton, mit einer Dicke von mindestens einigen zehn Metern, gekennzeichnet durch einen allmählichen Anstieg der mechanischen Eigenschaften mit der Tiefe	360800	> 50	> 250	1,2	0,15	0,5	2,0
С	Tiefe Ablagerungen von dichtem oder mitteldichtem Sand, Kies oder steifem Ton, mit Dicken von einigen zehn bis mehreren hundert Metern	180360	15 50	70 250	1,15	0,20	0,6	2,0
D	Ablagerungen von lockerem bis mitteldichtem kohäsionslosem Boden (mit oder ohne einige weiche kohäsive Schichten), oder von vorwiegend weichem bis steifem kohäsivem Boden	< 180	< 15	< 70	1,2	0,20	0,8	2,0
E	Ein Bodenprofil bestehend aus einer Oberflächen-Alluvialschicht mit vs - Werten nach C oder D und veränder- licher Dicke zwischen etwa 5 m und 20 m über steiferem Bodenmaterial mit $v > 800$ m/s	-	-	-	1,4	0,15	0,5	2,0
S ₁	Ablagerungen bestehend aus (oder ent-haltend) eine(r) mindestens 10 m dicke(n) Schicht weicher Tone oder Schluffe mit hohem Plastizitätsindex (PI > 40) und hohem Wassergehalt.	< 100	-	-	-	-	-	_
S ₂	Ablagerungen von verflüssigbaren Böden, empfindlichen Tonen oder jedes andere Bodenprofil, das nicht in den den Klassen A bis E oder <i>S</i> 1 enthalten ist.	-	-	-	_	-	_	_

Tabelle 2. Parameterwerte des elastischen Antwortspektrums in Abhängigkeit der Baugrundklassen gemäss Eurocode 8 (EN 1998-1:2004, Tabelle 3.1).

3. Bestimmung des elastischen Antwortspektrums für jede Zone

Das ganze Gebiet wurde in Mikrozonen und Subzonen aufgeteilt (Fäh und Huggenberger, 2006). Die Mikrozonen und Subzonen sind in Abbildung 4 gezeigt. Innerhalb einer Mikrozone bzw. Subzone wird ein ähnliches Verhalten bei Erdbeben erwartet. Für die Zoneneinteilung wurden die Tektonik des Gebiets, die geologischen Informationen bezüglich der Lockersedimentzusammensetzung und Felsbeschaffenheit, sowie gemessene Eigenfrequenzen des lokalen Untergrundes verwendet. Für die Definition der Subzonen wurden die oberflächennahen Lockersedimente beurteilt. Innerhalb einer Zone können drei geologische Subzonen definiert werden (Löss und Lehm, lockere holozäne Ablagerungen, ältere Ablagerungen). Die Einteilung in die drei geologischen Subzonen wurde angewandt, wenn die Mächtigkeit und Ausdehnung der jeweiligen Ablagerungen von Bedeutung sind (siehe Teilbericht 5 in Fäh und Huggenberger (2006)). Diese Ablagerungen weisen ein unterschiedliches Erdbebenverhalten auf, da sie markant unterschiedliche S-Wellengeschwindigkeiten aufweisen.

Den Ausgangspunkt für die Bestimmung des Antwortspektrums in einer Zone der Mikrozonierung bilden die Spektralwerte der horizontalen Bodenbeschleunigung bei verschiedenen Frequenzen zwischen 0.5 und 10 Hz, gültig für einen Felsstandort und für eine gegebene Wiederkehrperiode von 475 Jahren. Das Gefährdungsniveau (Antwortspektrum) auf Fels wird für jede der Mikrozonen und die gewählte Wiederkehrperiode von 475 Jahren berechnet. Ein Fels-Referenzstandort ist definiert durch die Definition des Untergrunds in der Gefährdungskarte (vs30 von ca. 1500m/s). Das Felsmodell sowie Unsicherheiten dieser Definition werden im Teilbericht 3 in Fäh und Huggenberger (2006) diskutiert. Die Bestimmung eines zonenspezifischen Spektrums erfolgte durch Multiplikation des Felsspektrums (grüne Kurve in Abbildung 5 oben) mit den Verstärkungsfunktionen aus den Modellierungen. Es wurden alle Verstärkungsfunktionen berücksichtigt, welche mit Hilfe von ein-, zwei- und dreidimensionalen Berechnungsmethoden erhalten wurden, sowie die Unsicherheiten betreffend dem Einfallswinkel der seismischen Wellen, und die beobachteten Verstärkungen an den Messstationen (siehe Teilbericht 5 in Fäh und Huggenberger (2006)). Um allen Unsicherheiten Rechnung zu tragen wurde die Umhüllende der Medianwerte aus allen Werten für die jeweilige Zone gewählt (Abbildung 5 oben, blaue dicke Kurve).

Zur Vereinfachung wird nun die generelle Form des elastischen Antwortspektrums der Norm SIA 261 übernommen. Für jede Zone werden die Parameterwerte, wie sie in Tabelle 25 der Norm SIA 261 für die Standard-Baugrundklassen vorgegeben sind, durch eigene Werte ersetzt. Das Beschleunigungs-Antwortspektrum weist einen Plateaubereich mit dem Wert $S_{a,max}$ auf, und nimmt mit zunehmender Periode T zuerst mit T⁻¹, dann mit T⁻² ab. Die Berechnung der vereinfachten Kurve ist wie folgt:

 $\begin{array}{ll} S_{a,max} = max(Sa_{1}) \\ S_{v,max} = max(Sa_{1}/\omega) \\ S_{u,max} = max(Sa_{1}/\omega^{2}) \\ T_{C} = 2\pi \; (S_{v,max}/S_{a,max}) \\ T_{D} = 2\pi \; (S_{u,max}/S_{v,max}) \\ T_{B} < T < T_{C} \colon \; Sa(T) = S_{a,max} \\ T_{C} < T < T_{D} \colon \; Sa(T) = S_{a,max} \; (T_{C}/T) \\ T_{D} < T \quad : \; Sa(T) = S_{a,max} \; (T_{C}T_{D}/T^{2}) \end{array}$

Wobei Sa₁ der Umhüllenden der Medianwerte aus allen Werten entspricht (Abbildung 5 oben, blaue dicke Kurve), die Funktion Sa(T) die generelle Form des elastischen Antwortspektrums der Norm SIA 261 ist, und die Perioden T_B , T_C und T_D den in der Tabelle 25 der SIA Norm definierten Perioden entsprechen.

Aufgrund der Unsicherheiten der Messungen und Simulationen im langperiodischen Bereich der Antwortspektren soll dort eine gewisse Konservativität eingebaut werden. Dies ist umso mehr gerechtfertigt, da der langperiodische Bereich für die Auslegung besonders bedeutender Bauwerke wie Hochhäuser und grosse Brücken entscheidend ist. Zu beachten ist ferner, dass im langperiodischen Bereich mit einer überproportionalen Zunahme der Spektralwerte bei sehr starken Erdbeben zu rechnen ist. Da das 1356-Beben das stärkste bekannte Erdbeben im Raum Basel ist, drängt sich auf, dieses zumindest bei den Lifeline-Bauten in Bauwerksklasse III in Betracht zu ziehen.



Abbildung 4. Mikrozonen und Subzonen.

Die Parameterwerte werden im Einzelnen für jede Zone folgendermassen bestimmt:

- 1. $S_{a,max}$, T_B und T_C werden aus den bisherigen Simulationen und Messungen für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren bestimmt.
- 2. Das Produkt S* a_{gd} wird aufgrund des Standard-Amplifikationsfaktors von 2,5 aus S_{a,max} zurückgerechnet, d.h. S* $a_{gd} = S_{a,max} / 2,5$.
- 3. Die maximale spektrale Verschiebung $S_{u,max}$ wird neu wie folgt bestimmt:

 $S_{u,max}$ wird aufgrund der Wiederkehrperiode des 1356-Bebens von ca. 2500 Jahren bestimmt und durch den Faktor 1.4 dividiert.

Der Faktor 1,4 entspricht dem Bedeutungsfaktor der Bauwerksklasse III.

4. T_D ergibt sich neu als Schwingzeit im Schnittpunkt der Linie konstanter Pseudogeschwindigkeit ab T_C sowie der Linie konstanter Verschiebung $S_{u,max}$. Durch dieses Vorgehen wird T_D etwas grösser als 2s.

Abbildung 5 zeigt als Beispiel die Spektren für die Zone "Rheingraben Ost, Pleistozän". Tabelle 3 zeigt die Werte die sich aus dem Vorgehen für alle Mikrozonen und Subzonen ergeben.

Durch Quervergleich der Antwortspektren werden Mikrozonen mit ähnlichem Verhalten identifiziert. Als Kriterium gilt eine Grenze von ca. 20%, d.h. Zonen deren Antwortspektren sich nicht um mehr als 20% unterscheiden, werden zusammengelegt. Die Uebersicht dieser Zusammenlegung ist in Tabelle 4 gegeben. Da der Wert a_{gd} in der Norm keine Bedeutung hat, wird in Tabelle 4 nur das Produkt S* a_{gd} angegeben. Dieses Produkt wurde aus $S_{a,max}$ zurückgerechnet. Als Beispiel ist das gewählte Spektrum für die Zone "Basel Süd, Pleistozän" in Abbildung 6 gezeigt. Die Spektren aller Mikrozonen und Subzonen sind im Anhang 1 gegeben. Die Spektren werden in 13 Typen eingeteilt (siehe Tabelle 4, erste Kolonne). Die 13 Typen sind im Appendix 2 abgebildet.

Da die Verstärkungen im Frequenzbereich oberhalb 10Hz nicht modelliert wurden, müssen die Spektren der Zone Basel Ost (HF) leicht angepasst werden, da auch bei gering mächtiger Sedimentüberdeckung mit einer Verstärkung im hochfrequenten Bereich gerechnet werden muss. Zudem wird eine zusätzliche Zone eingeführt, die generell mit "Fels" bezeichnet wird. In diese Zone werden alle Gebiete eingeteilt, die in keine der definierten Zonen fallen und deren geologischer Untergrund Fels (weicher und harter) ist.



Abbildung 5. Mikrozone D: Rheingraben Ost, Pleistozän.

Abbildung oben: Berechnetes Beschleunigungs-Antwortspektrum für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren (blaue, dicke Kurve) als Funktion der Periode T. Die Umhüllende mit der klassischen generellen Form des Antwortspektrums für 475 Jahre Wiederkehrperiode entspricht der roten Kurve für den Periodenbereich von T=0.05s bis T_x , und der blauen dünne Kurve von T_x bis T=10s. Die Werte des Antwortspektrums für 2500 Jahre Wiederkehrperiode wurden durch den Faktor 1.4 dividiert und wiederum an die klassische Form des Antwortspektrums angepasst (blaue dünne Kurve von T=0.05s bis T_D , rote Kurve von T_D bis T=10s).

Das gewählte kombinierte Antwortspektrum ist in roter Farbe gezeigt. Die Parameterwerte der roten Kurve sind in Tabelle 3 angegeben. Die schwarze Kurve zeigt zum Vergleich das Spektrum aus SIA 261, für die Baugrundklasse C in der Erdbebengefährdungszone 3a. Das Felsspektrum für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren ist in grün gezeigt.

Die untere Abbildung zeigt das entsprechende Verschiebungs-Antwortspektrum.

Mikrozone	Subzone	S _{a,max}	T _B	T _C	T _D
		$[m/s^2]$	[s]	[s]	[s]
Basel West	Holozän	3.50	0.067	0.403	4.7
Basel West	Löss/Lehm	4.51	0.067	0.312	4.7
Rheingraben West	Pleistozän	3.21	0.067	0.408	4.1
Rheingraben West	Holozän	3.52	0.067	0.371	4.2
Rheingraben West	Löss/Lehm	3.79	0.067	0.365	4.0
Basel Nord	Pleistozän	3.55	0.067	0.439	4.0
Basel Nord	Holozän	4.03	0.067	0.387	4.0
Basel Nord	Löss/Lehm	4.03	0.067	0.387	4.0
Rheingraben Ost	Pleistozän	3.35	0.067	0.395	5.0
Rheingraben Ost	Holozän	3.60	0.067	0.367	5.0
Basel Süd	Pleistozän	3.41	0.067	0.443	3.9
Basel Süd	Holozän	3.86	0.067	0.391	3.9
Basel Süd	Löss/Lehm	3.86	0.067	0.391	3.9
Flexur Nord	Holozän	4.51	0.067	0.202	3.4
Flexur Nord	Löss/Lehm	4.51	0.067	0.202	3.4
Flexur Süd	Pleistozän	3.36	0.067	0.291	3.0
Flexur Süd	Holozän	3.36	0.067	0.291	3.0
Flexur Süd	Löss/Lehm	4.66	0.067	0.235	2.8
Basel Ost	Pleistozän	3.35	0.067	0.272	3.3
Basel Ost	Holozän/Löss/Lehm	4.53	0.067	0.204	3.3
Basel Ost (LF)	Pleistozän	3.66	0.067	0.308	2.8
Basel Ost (LF)	Holozän	4.53	0.067	0.249	2.8
Basel Ost (HF)	Holozän/Pleistozän	2.39	0.067	0.211	5.0
Ergolztal Nord	Pleistozän	3.24	0.067	0.274	3.0
Ergolztal Nord	Holozän/Löss/Lehm	3.55	0.067	0.250	3.0
Ergolztal Mitte Süd	Pleistozän	2.71	0.067	0.389	3.3
Ergolztal Mitte Süd	Holozän	3.62	0.067	0.292	3.7

Tabelle 3. Parameterwerte des elastischen Antwortspektrums für jede Mikrozone und Subzone.



Abbildung 6. Mikrozone E: Basel Süd, Pleistozän.

Abbildung oben: Berechnetes Beschleunigungs-Antwortspektrum für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren (blaue, dicke Kurve) als Funktion der Periode T. Die Umhüllende mit der klassischen generellen Form des Antwortspektrums für 475 Jahre Wiederkehrperiode entspricht der blauen dünnen Kurve mit den niedrigeren Werten. Die Werte des Antwortspektrums für 2500 Jahre Wiederkehrperiode wurden durch den Faktor 1.4 dividiert und wiederum an die klassische Form des Antwortspektrums angepasst (blaue dünne Kurve mit den erhöhten Werten).

Das gewählte Antwortspektrum ist in roter Farbe gezeigt. Die Parameterwerte der roten Kurve sind in Tabelle 4 angegeben. Die schwarze Kurve zeigt zum Vergleich das Spektrum aus SIA 261, für die Bodenklasse C in der Zone 3a. Das Felsspektrum für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren ist in grün gezeigt.

Die untere Abbildung zeigt das entsprechende Verschiebungs-Antwortspektrum.

Spektrum	Mikrozone	Subzone	S*a _{gd}	S _{a,max}	T _B	T _C	T _D	Appendix
Тур			$[m/s^2]$	$[m/s^2]$	[s]	[s]	[s]	1
1	Basel West	Pleistozän	1.34	3.35	0.067	0.41	4.8	
	Rheingraben West							B.1
	Rheingraben Ost							D.1
2	Basel West	Holozän	1.44	3.60	0.067	0.41	4.5	A.1
	Rheingraben West							B.2
	Rheingraben Ost							D.2
3	Basel West	Löss/Lehm	1.82	4.55	0.067	0.32	4.6	A.2
	Rheingraben West							B.3
	Rheingraben Ost							
4	Basel Nord	Pleistozän	1.42	3.55	0.067	0.45	3.9	C.1
	Basel Süd							E.1
5	Basel Nord	Holozän	1.64	4.10	0.067	0.40	3.9	C.2, C.3
	Basel Süd	Löss/Lehm						E.2, E.3
6	Flexur Nord	Holozän/	1.88	4.70	0.067	0.24	3.1	F.1, F.2
	Flexur Süd	Löss/Lehm						H.2, H.3
7	Flexur Süd	Pleistozän	1.36	3.40	0.067	0.30	3.0	H.1
	Flexur Nord							
8	Basel Ost	Pleistozän	1.48	3.70	0.067	0.31	2.8	J.1
	Basel Ost (LF)							J.3
9	Basel Ost	Holozän/	1.84	4.60	0.067	0.25	2.7	J.2
	Basel Ost (LF)	Löss/Lehm						J.4
10	Basel Ost (HF)	Holozän/	1.84	4.60	0.067	0.12	5.2	J.5
		Pleistozän						
11	Ergolztal Nord	Pleistozän	1.30	3.25	0.067	0.34	3.2	K.1
	Ergolztal Mitte/							K.3
	Süd							
12	Ergolztal Nord	Holozän/	1.46	3.65	0.067	0.30	3.6	K.2
	Ergolztal Mitte/	Löss/Lehm						K.4
	Süd							
13	Fels		0.96	2.4	0.067	0.22	5.0	

Tabelle 4. Gewählte Parameterwerte des elastischen Antwortspektrums für jede Erdbeben-Mikrozone und Subzone. Das Produkt S*a_{gd} wurde aus S_{a,max} berechnet. Die Spektren werden in 13 Typen eingeteilt. Die 13 Typen sind im Appendix 2 abgebildet.

4. Plausibilitätskontrolle

Zum Abschluss werden im Sinne einer Plausibilitätskontrolle die neuen Antwortspektren den Antwortspektren von vergleichbaren Erdbebenzonen gegenübergestellt. Dabei stehen die Daten unmittelbar jenseits der deutschen und französischen Landesgrenze im Vordergrund. Im Einzelnen werden folgende Vergleiche durchgeführt:

- 1. Vergleich mit dem Vorgehen in Deutschland in der DIN 4149 aus dem Jahre 2005, d.h. mit den besonderen Spektren unter Berücksichtigung der tiefen Geologie des Rheintals.
- 2. Vergleich mit dem Vorgehen in Frankreich gemäss der aktuellen Normen für Gebäude AFPS90 und AFPS92 für Brücken aus den Jahren 1990 bzw. 1992.
- 3. Vergleich mit der spektralen Mikrozonierungen im Rhonetal unterhalb Martigny, der einzigen sonstigen Mikrozonierung in der Erdbebenzone Z3a der Schweiz.
- 4. Vergleich mit Antwortspektren aus gemessenen Zeitverläufen des Geothermiebebens in Basel vom 8. Dez. 2006.

Der Vergleich beschränkt sich auf vier charakteristische Grössen der Antwortspektren, nämlich Referenzwert der horizontalen Bodenbeschleunigung, Maximalwert der Pseudo-Beschleunigung, Maximalwert der spektralen Pseudo-Geschwindigkeit sowie Maximalwert der spektralen Verschiebung. Zuerst werden die Antwortspektren graphisch dargestellt, anschliessend die charakteristischen Grössen in Tabelle 5 zusammengestellt und die erkennbaren Unterschiede aufgrund der unterschiedlichen Vorgehensweisen erklärt. Die Antwortspektren setzen jeweils elastisches Verhalten mit 5% äquivalenter viskoser Dämpfung voraus.

4.1 Mikrozonierung für die Kantone BS und BL

Abbildungen 6 und 7 zeigen die Antwortspektren der Pseudo-Beschleunigung und der Verschiebung für die 12 Mikrozonen sowie für Fels als Vergleichsgrösse. Die 12 Antwortspektren der Verschiebung gliedern sich in zwei relativ schmale Bänder (Abbildung 7). Das obere Band umfasst die Mikrozonen innerhalb des Rheingrabens, wo der geophysikalische Felshorizont relativ tief liegt und lange Schwingzeiten stärker angeregt werden. Das untere Band umfasst die Mikrozonen ausserhalb des Rheingrabens mit höherem Felshorizont und weniger starker Anregung der langen Schwingzeiten.



Abbildung 6. Antwortspektren der Pseudo-Beschleunigung für jede der vorgeschlagenen neuen Mikrozonen für die Kantone BS und BL.



Abbildung 7. Antwortspektren der Verschiebung für jede der vorgeschlagenen Mikrozonen für die Kantone BS und BL

4.2 Vergleich mit Antwortspektren gemäss DIN 4149

Das deutsche Grenzgebiet zu den Kantonen BS und BL ist der Erdbebenzone 3, der höchsten von 4 Erdbebenzonen in der DIN 4149 aus dem Jahre 2005, zugeteilt. Der Referenzwert der horizontalen Bodenbeschleunigung der Erdbebenzone 3 beträgt bloss 0,8 m/s² entsprechend etwa 60% von 1,3 m/s², dem entsprechenden Wert der Zone Z3a in der Schweiz. Bereits in der früheren DIN-Norm 4149 aus dem Jahre 1981 galt im Grenzgebiet zu Basel eine gegenüber dem Maximalwert abgeminderte, so genannte *effektive* Bodenbeschleunigung von 0,8 m/s² und dieser Wert wurde bei der Revision 2005 unverändert in die Neufassung der DIN-Norm übernommen. Die entsprechenden Antwortspektren sind für die geologische Untergrundklasse R in Verbindung mit den drei Baugrundklassen A, B und C in den Abbildungen 8 und 9 dargestellt. Das Grenzgebiet zur Schweiz befindet sich in der Untergrundklasse R. Diese berücksichtigt den Einfluss der tiefen Geologie des Rheintals ab einer Tiefe von ca. 20 m.

Die Unterschiede zu den Antwortspektren der Mikrozonen in BS und BL lassen sich primär durch die unterschiedliche Einschätzung der regionalen Erdbebengefährdung, ausgedrückt durch das Verhältnis der beiden Referenzwerte der horizontalen Bodenbeschleunigung, erklären (Faktor 0,6). Hinzu kommt bei den Antwortspektren der Mikrozonen in BS und BL ein Zuschlag bei den längeren Schwingzeiten aus den Überlegungen zum Erdbeben von 1356, wie im Kapitel 3 im Detail erklärt. Dies führt zu grösseren Werten bei den Verschiebungsspektren (Abbildung 7).



Abbildung 8. Antwortspektren der Pseudo-Beschleunigung gemäss DIN 4149 (2005) an der Grenze zur Schweiz (Erdbebenzone 3) und für die Untergrundklasse R und die Baugrundklassen A, B und C



Abbildung 9. Antwortspektren der Verschiebung gemäss DIN 4149 (2005) an der Grenze zur Schweiz (Erdbebenzone 3) und für die Untergrundklasse R und die Baugrundklassen A, B und C

4.3 Vergleich mit Antwortspektren der französischen Normen

Die aktuellen Erdbebennormen in Frankreich AFPS90 für Gebäude und AFPS92 für Brücken schätzen die Erdbebengefährdung im Grenzgebiet zu Basel wesentlich höher ein als Deutschland und die Schweiz. Das süd-östliche Elsass liegt in der Erdbebenzone II, der höchsten Erdbebenzone des französischen Festlands. Der Referenzwert der horizontalen Bodenbeschleunigung ist mit 2,3 m/s² fast doppelt so gross wie in Basel (Faktor 1,8) und entsprechend gross sind die maximalen Spektralwerte der Antwortspektren für die vier Baugrundklassen S0, S1, S2 und S3 der französischen Normen (Abbildungen 10 und 11). Eine neue französische Erdbebengefährdungskarte, die im Grenzgebiet näher bei der Schweizer liegen wird, ist in Vorbereitung, doch sind die genauen Werte noch nicht veröffentlicht.

Wie beim Vergleich mit Deutschland lässt sich der grösste Teil der Unterschiede zwischen den Spektren durch die unterschiedlichen Referenzwerte der Bodenbeschleunigung erklären (Faktor 1,8). Abgesehen davon ist die generelle Übereinstimmung zufriedenstellend.



Abbildung 10. Antwortspektren der Beschleunigung gemäss AFPS 1992 an der Grenze zur Schweiz (Erdbebenzone II) und für die vier Baugrundklassen



Abbildung 11. Antwortspektren der Verschiebung gemäss AFPS 1992 an der Grenze zur Schweiz (Erdbebenzone II) und für die vier Baugrundklassen

4.4 Vergleich mit den Antwortspektren der Mikrozonierung im Rhonetal

Für weite Teile des Rhonetals ist in den letzten Jahren eine spektrale Mikrozonierung erstellt worden, die bereits in der Praxis für die Erdbebenbemessung als Ergänzung zur Norm SIA 261 verwendet wird. Für den Vergleich mit der Mikrozonierung der Kantone BS und BL ist vor allem das Gebiet unterhalb von Martigny von Interesse, da es in der gleichen Erdbebenzone Z3a liegt wie die Nordwestschweiz. Spektrale Mikrozonierungen sind für die Rhone-Ebene bei Monthey VS und bei Aigle VD vorhanden (Résonance SA, P. Tissières SA, 2004), während für die restlichen Gebiete des unteren Rhonetals vorerst Karten der Baugrundklassen gemäss SIA 261 ausgearbeitet wurden. Die Antwortspektren für die drei Mikrozonierung für die numerischen Werte der Antwortspektren sind ähnlich wie die Spektren der Mikrozonierung für die Kantone BS und BL (Abbildungen 6 und 7) Eine Ausnahme bildet die Mikrozone "bord de la vallée", die um die Schwingzeit von 1 s ein lokales Maximum aufweist. Damit soll den Besonderheiten der Wellenamplifikationen am Rande des relativ breiten Alpentals Rechnung getragen werden.



Abbildung 12. Antwortspektren der Beschleunigung für die drei Mikrozonen der Regionen Aigle VD und Monthey VS (Erdbebenzone Z3a)



Abbildung 13. Antwortspektren der Verschiebung für die drei Mikrozonen der Regionen Aigle VD und Monthey VS (Erdbebenzone Z3a)

4.5 Vergleich mit Geothermiebeben vom 8. Dezember 2006 in Basel

Am 8. Dezember 2006 ereignete sich in Basel ein Erdbeben der Magnitude $M_{L} = 3.4$, welches auf das Anfang Dezember 2006 unter zum Teil hohem Druck eingepresste Wasser in der Geothermie-Bohrung in Basel Kleinhünigen zurückzuführen ist. Dank eines umfangreichen Überwachungsnetzes konnten die Bodenbewegungen an zahlreichen Stationen aufgezeichnet werden. Die grössten Beschleunigungs- und Geschwindigkeitswerte wurden bei der Messstation SBAJ in Basel-St. Johann in Ost-West-Richtung gemessen. Das Antwortspektrum aus dieser Komponente wird in Abbildung 14 zusammen mit den Antwortspektren der entsprechenden Mikrozone "Basel West Pleistozän" und der Baugrundklasse C gemäss Norm SIA 261 (2003) dargestellt. Das Antwortspektrum des gemessenen Zeitverlaufs (blaue Linie) berührt im Schwingzeitenbereich knapp unter 0,1 sogar das Normspektrum für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren (rote Linie). Gesamthaft betrachtet erscheint das Antwortspektrum der Mikrozone (orange Linie) die geeignetere Umhüllende des gemessenen Verlaufs verglichen mit dem Antwortspektrum der Norm SIA 261 (rote Linie).

4.6 Tabellarischer Vergleich

Zum Abschluss werden die Bereiche der Maximalwerte der drei spektralen Bewegungsgrössen über alle Mikrozonen bzw. Baugrundklassen in Tabelle 5 zusammengefasst. Für geglättete Newmark-Spektren, wie sie hier verwendet werden, sind diese Maximalwerte charakteristisch für jeweils einen konstanten Abschnitt der entsprechenden Bewegungsgrösse. Die Bereiche der Maximalwerte der Mikrozonierung BS und BL sind etwa gleich wie diejenigen in Deutschland (DIN 4149), Frankreich (AFPS92) und im Rhonetal, wenn bei Deutschland durch 0,6 und bei Frankreich durch 1,8 dividiert wird, dem jeweiligen Verhältnis des Referenzwertes der Bodenbeschleunigung. Die Plausibilität der Antwortspektren der Mikrozonierung BS und BL ist damit belegt.



Antwortspektren der Beschleunigung: Standort SBAJ Richtung E-W

Abbildung 14. Antwortspektrum der Beschleunigung in Ost-West-Richtung der Messstation SBAJ am 8. Dezember 2006 im Vergleich mit den Antwortspektren der entsprechenden Mikrozone "Basel West Pleistozän" und der Norm SIA 261 (2003), alle für 5% äquivalente viskose Dämpfung.

	Mikrozonierung BS und BL	DIN 4149	AFPS 1992	Rhonetal VS und VD
Referenzwert der horizontalen Bodenbeschleunigung	1,0 - 1,3 m/s ²	0,8 m/s ²	2,3 m/s ²	1,3 m/s ²
Maximalwert der spektralen Pseudo-Beschleunigung	2,4 - 4,7 m/s ²	2,0 - 3,0 m/s ²	4,6 - 5,8 m/s ²	2,3 - 5,0 m/s ²
Maximalwert der spektralen Pseudo-Geschwindigkeit	0,08 - 0,27 m/s	0,065 - 0,150 m/s	0,28 - 0,67 m/s	0,15 - 0,81 m/s
Maximalwert der spektralen Verschiebung	34 - 170 mm	20 - 45 mm	115 - 460 mm	46 - 240 mm

Tabelle 5. Vergleich der Maximalwerte-Bereiche der spektralen Bewegungsgrössen der Antwortspektren

5. Referenzen

- Fäh, D. and P. Huggenberger, 2006. INTERREG III, Erdbebenmikrozonierung am südlichen Oberrhein. Zusammenfassung für das Projektgebiet Gebiet in der Schweiz. CD und Report.
- Fäh, D. Ripperger, J., Stamm, G., Kästli, P.. Burjanek, J., 2009. Mikrozonierung für die Kantone Basel Stadt und Basel Landschaft Validierung und Umsetzung der Mikrozonierung (2006-2008) Abschlussbericht: Teilbericht A. Schweizerischer Erdbebendienst ETH Zürich (Version 12.1.2009).
- Résonance SA, P. Tissières. SA, 2004, Microzonage sismique de la Plaine du Rhône entre Massongex et Illarsaz. Carte des zones sismique.

Appendix 1



Abb. A.1. Mikrozone A: Basel West, Holozän.







Abb. B.1. Mikrozone B: Rheingraben West, Pleistozän.



Abb. B.2. Mikrozone B: Rheingraben West, Holozän.



Abb. B.3. Mikrozone B: Rheingraben West, Loess.



Abb. C.1. Mikrozone C: Basel Nord, Pleistozän.



Abb. C.2. Mikrozone C: Basel Nord, Holozän.







Abb. D.1. Mikrozone D: Rheingraben Ost, Pleistozän.



Abb. D.2. Mikrozone D: Rheingraben Ost, Holozän.



Abb. E.1. Mikrozone E: Basel Süd, Pleistozän.



Abb. E.2. Mikrozone E: Basel Süd, Holozän.















Abb. H.1. Mikrozone H: Flexur Süd, Pleistozän.



Abb. H.2. Mikrozone H: Flexur Süd, Holozän.







Abb. J.1. Mikrozone J: Basel Ost, Pleistozän.



Abb. J.2. Mikrozone J: Basel Ost, Loess&Holozän.



Abb. J.3. Mikrozone J: Basel Ost LF, Pleistozän.



Abb. J.4. Mikrozone J: Basel Ost LF, Holozän.



Abb. J.5. Mikrozone J: Basel Ost HF, Holozän/Pleistozän.

Berechnetes Antwortspektrum für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren (blaue, dicke Kurve). Umhüllende mit der klassischen Form des Antwortspektrums für 475 Jahre Wiederkehrperiode, und 2500 Jahre Wiederkehrperiode wobei die Werte durch den Faktor 1.4 dividiert wurden (blaue, dünne Kurven). Das gewählte kombinierte Spektrum ist in roter Farbe gezeigt. Da die Verstärkungen im Frequenzbereich oberhalb 10Hz nicht modelliert wurde, müssen die Spektren der Zone Basel Ost (HF) leicht angepasst werden, da auch bei gering mächtiger Sedimentüberdeckung mit einer Verstärkung im hochfrequenten Bereich gerechnet werden muss. Die Parameter der roten Kurve sind im Titel angegeben. Schwarze Kurve: Spektrum aus SIA261, Bodenklasse C, Zone 3a. Das Felsspektrum für eine Wiederkehrperiode von 475 Jahren ist in grün gezeigt.



Abb. K.1. Mikrozone K: Ergolz Nord, Pleistozän.



Abb. K.2. Mikrozone K: Ergolz Nord, Löss&Holozän.



Abb. K.3. Mikrozone K: Ergolz Mitte/Süd, Pleistozän.



Abb. K.4. Mikrozone K: Ergolz Mitte/Süd, Holozän.



Abb. 1. Typ 1 Spektrum (rot).



Abb. 2. Typ 2 Spektrum (rot).



Abb. 3. Typ 3 Spektrum (rot).



Abb. 4. Typ 4 Spektrum (rot).



Abb. 5. Typ 5 Spektrum (rot).



Abb. 6. Typ 6 Spektrum (rot).



Abb. 7. Typ 7 Spektrum (rot).



Abb. 8. Typ 8 Spektrum (rot).



Abb. 9. Typ 9 Spektrum (rot).



Abb. 10. Typ 10 Spektrum (rot).



Abb. 11. Typ 11 Spektrum (rot).



Abb. 12. Typ 12 Spektrum (rot).



Abb. 13. Typ 13 Spektrum (rot).