

Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude Konzept und Richtlinien für die Stufe 1

Richtlinien des BWG – Directives de l'OFEG – Direttive dell'UFAEG
Bern, 2005

Zweite Fassung



Bundesamt für Wasser und Geologie **BWG**
Office fédéral des eaux et de la géologie **OFEG**
Ufficio federale delle acque e della geologia **UFAEG**
Uffizi federal per aua e geologia **UFAEG**
Federal Office for Water and Geology **FOWG**

Vorwort

Gemäss Bundesratbeschluss von 11. Dezember 2000 müssen alle bundeseigenen und subventionierten Umbauprojekte und Sanierungsprojekte sowie alle bundeseigenen Gebäude der Bauwerksklassen II und III bezüglich ihrer Erdbebensicherheit überprüft werden. Bei wesentlichen Mängeln müssen die Bauwerke unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit der Kosten verstärkt werden.

Bestehende Bauten des Bundes, bei denen die Kosten für die Erdbebensicherung je nach Bauobjekt und Erdbebenzone 2% bis 10% (maximal 20%) des Verkehrswerts betragen, erfordern ein Verfahren nach Prioritäten und eine Verteilung der Erdbebensicherungsmaßnahmen über mehrere Jahrzehnte.

Das Bundesamt hat beschlossen, zu diesem Zweck ein dreistufiges Konzept zu entwickeln und anzuwenden. Für das Inventar der Erdbebensicherheit aller bundeseigenen Gebäude der Bauwerksklassen II und III sind die drei Stufen nacheinander anzuwenden. Für die Überprüfung von Umbau- oder Sanierungsprojekten soll die Stufe 3 direkt angewendet werden.

Die Firma *Risk&Safety AG* wurde beauftragt, das Verfahren für die Erhebungen der ersten Stufe bereitzustellen und die mit den Erhebungen beauftragten Fachleute in der Anwendung des Verfahrens zu schulen.

Die zweite Fassung der Richtlinie bringt keine Änderungen zur Methodik der ersten Stufe. Die Änderungen betreffen die Rahmenbedingungen (Teil 1), sowie das Layout für die Richtlinie und das Erhebungsblatt. Neu befindet sich auch das zentrale Referat des Einführungskurses der Stufe 1 im Anhang.

Biel, März 2005
Blaise Duvernay
Koordinationsstelle des Bundes für Erdbebenvorsorge.

Impressum

Herausgeber : Bundesamt für Wasser und Geologie, BWG

Autoren: E. Kölz, Risk&Safety AG, Gipf-Oberfrick (1. Fassung)
B. Duvernay, Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel (2. Fassung)

Auflage: PDF Format, auf der BWG-Internetseite verfügbar
<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/index.htm>

Zitiervorschlag: Beurteilung der Erdbebensicherheit bestehender Gebäude
Konzept und Richtlinien für die Stufe 1 (2. Fassung),
Richtlinien des (2005)

Copyright: BWG-Richtlinien: © BWG, Biel, 2005

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Aufgabe	1
1.3 Das Konzept für die erste Stufe	1
1.4 Verlauf der 3-stufigen Verfahrens für die Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Bundesbauten	2
2. Richtlinie für die Stufe 1	4
2.1 Allgemeines	4
2.2 Erfassung des Schadenausmasses	4
2.2.1 Allgemeines	
2.2.2 Kennzahl für die direkten Schäden	
2.2.3 Indirekte Folgeschäden	
2.2.4 Kennzahl für das Schadenausmass	
2.3 Erfassung der Einsturzwahrscheinlichkeit	6
2.3.1 Allgemeines	
2.3.2 Planungsjahr und Standort des Bauwerks	
2.3.3 Erdbebenverhalten des Tragwerks	
2.3.4 Kennzahl für die Einsturzwahrscheinlichkeit	
2.4 Beurteilung der Erdbebenrisikos	10
2.4.1 Risikokennzahl	
2.4.2 Prioritätenlisten	
2.4.3 Prioritätensetzung und Auswahl für die Stufe 2 gemäss Bundesinventar 2001-2004	
3. Abzuliefernde Unterlagen	13
4. Literaturverzeichnis	13

Anhänge

Erhebungsblatt der Stufe 1

Zentrales Referat des Einführungskurses der Stufe 1

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Bemessung von Bauwerken auf Erdbeben fand wegen der als niedrig eingeschätzten Erdbebengefährdung verhältnismässig spät Eingang in das Normenwerk des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins (SIA) und damit in das schweizerische Bauwesen. Die 1970 herausgegebene Norm SIA 160, *Norm für die Belastungsannahmen, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten* [1] enthielt erstmals Bestimmungen zur erdbebengerechten Gestaltung von Gebäuden und führte in Form einer frequenzunabhängigen, horizontalen Ersatzkraft Regeln für die Erdbebenbemessung von Bauwerken ein. In der 1989 eingeführten Norm SIA 160, *Einwirkungen auf Tragwerke* [2] wird die Gefährdung aus Erdbeben vertieft und verschärft berücksichtigt. Die Bestimmungen dieser Norm gelten als gute Grundlage für die erdbebengerechte Bemessung von Neubauten.

Rund 90% der in der Schweiz bestehenden Hochbauten wurden jedoch vor 1989 (etwa 70% vor 1970) projektiert und erstellt. Diese Gebäude sind in der Regel nicht speziell auf Erdbeben ausgelegt. Die Erdbebensicherheit dieser Bauten ist weitgehend unbekannt und genügt möglicherweise den neuen Anforderungen nicht.

Gemäss SIA Richtlinie 462, *Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke* [3], besteht Veranlassung zur Überprüfung der Tragsicherheit, falls neue Erkenntnisse dies als angebracht erscheinen lassen. Diese Veranlassung zur Überprüfung bestehender Bauten auf Erdbebensicherheit ist gegeben.

1.2 Aufgabe

Das Bundesamt für Wasser und Geologie ist gemäss Bundesratsbeschluss vom 11.12.2000 damit beauftragt, die Bundeseigenen Gebäude der Bauwerksklassen II und III in den Gefährdungszonen 2 und 3 (SIA Norm 160) bis Ende 2004 zu inventarisieren und auf Erdbebensicherheit zu überprüfen.

Das Bundesamt hat beschlossen, zu diesem Zweck ein dreistufiges Konzept zu entwickeln und anzuwenden. Auf der ersten Stufe sollen auf der Basis von Architektenplänen und allfälliger Begehung die wichtigsten Elemente der Gebäude und das aus Erdbeben herrührende Risiko grob erfasst werden. Auf der zweiten Stufe soll für ausgewählte Bauwerke auf der Grundlage von Ingenieurplänen die Erdbebengefährdung vertieft untersucht werden. Auf der dritten Stufe sollen für eine beschränkte Anzahl besonders gefährdeter Bauwerke Ertüchtigungsmassnahmen entwickelt und gegebenenfalls realisiert werden.

Das stufenorientierte Vorgehen soll so ausgestaltet sein, dass die zur Verfügung stehenden beschränkten Mittel optimal eingesetzt werden. Dies heisst insbesondere, dass für die Untersuchungen der ersten Stufe vergleichsweise geringer Aufwand getrieben werden soll.

Die Firma *Risk&Safety AG* wurde beauftragt, das Verfahren für die Erhebungen der ersten Stufe bereitzustellen und gegebenenfalls die mit den Erhebungen beauftragten Fachleute in der Anwendung des Verfahrens zu schulen.

1.3 Das Konzept für die erste Stufe

Das Bundesamt für Wasser und Geologie hat sich entschlossen, das von der Firma *Risk&Safety AG* vorgeschlagene, am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich unter der Leitung von Prof. J. Schneider entwickelte und in verschiedenen Kantonen der Schweiz (Aargau, Bern, Graubünden, Luzern, St. Gallen, Zug) bereits erfolgreich angewendete Konzept [4] der Erhebung zugrundezulegen. Dieses Konzept ist ein risiko-orientiertes, in Stufen organisiertes, umfassendes Beurteilungsverfahren, welches die beschränkt zur Verfügung stehenden Mittel effizient und kostenbewusst einsetzt.

Die folgende Richtlinie für die Inventarisierung und Beurteilung von Bauwerken des Bundes und die erste Stufe der Risikoabschätzung stützt sich auf die erste Stufe dieses bewährten Verfahrens.

1.4 Verlauf der 3-stufigen Verfahrens für die Überprüfung der Erdbebensicherheit bestehender Bundesbauten

Die zuständigen Stellen der Bundesverwaltung sind gemäss Bundesratsbeschluss vom 11.12.2000 damit beauftragt, die bundeseigenen Gebäude der Bauwerksklassen II und III, sowie alle Sanierungsprojekten von Bauten und Anlagen des Bundes auf ihre Erdbebensicherheit zu überprüfen. Nach der Überprüfung, sind bei wesentlichen Mängeln und unter Berücksichtigung der Verhältnismässigkeit der Kosten Schutzmassnahmen durchzuführen. Das Bundesamt für Wasser und Geologie hat ein dreistufiges Konzept zu diesem Zweck entwickelt und angewendet.

Für das Inventar der Erdbebensicherheit bestehender Bauten der Bauwerksklassen II und III sind die drei Stufen nacheinander anzuwenden. Für die Überprüfung von Umbau- oder Sanierungsprojekten soll die Stufe 3 direkt angewendet werden.

- Auf der **Stufe 1** sollen auf der Basis von Architektenplänen und allfälliger Begehung die wichtigsten Elemente der Gebäude und das aus Erdbeben herrührende Risiko mit einer einfachen Checkliste grob erfasst werden (**ca. 4 Stunden pro Gebäude**).

Die Risikoabschätzung erfordert keine detaillierten Berechnungen, liefert aber auch keine absoluten Aussagen. Die Prioritäten für vertiefte Analysen sind auf Grund einer Risikokennzahl und einer Einsturzwahrscheinlichkeitskennzahl definiert.

- Auf der **Stufe 2** sollen für Bauwerke mit einem hohen Risikopotential auf der Grundlage von Ingenieurplänen die allfälligen Mängel bezüglich der Erdbebenresistenz mit der Hilfe von Fragelisten und einfachen Ingenieurberechnungen vertieft untersucht werden (**ca. 3 bis 5 Tage pro Gebäude**).

Fragelisten stehen für die häufigsten in der Schweiz bestehender Tragwerkstypen zur Verfügung. Da das Verfahren relativ einfach ist, ist die Methode grundsätzlich konservativ im Vergleich mit der Stufe 3. Bei der rechnerischen Beurteilung der Tragsicherheit ist das Prinzip des Erfüllungsfaktors gemäss SIA 2018 (wenn möglich) zu verfolgen. Die Prioritäten für eine detaillierte Studie der Erdbebensicherheit und der allfälligen Ertüchtigungsprojekten (Stufe 3) sind auf Grund der Wesentlichkeit der Mängeln und der Niveau des Erfüllungsfaktors definiert.

- Auf der **Stufe 3** soll eine definitive Aussage zur Erdbebensicherheit auf Grund wirklichkeitsnäheren Verfahren getroffen werden und falls nötig Massnahmenvorschläge entwickelt werden (**1 bis mehrere Wochen**).

Das Merkblatt SIA 2018 (2004) „Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben“ dient als Grundlage für die Stufe 3. Das Merkblatt gibt auf Grund von einem Erfüllungsfaktor α_{eff} (normengemässen Widerstand über normengemässen Auswirkungen) und von Effizienzkriterien der Massnahmen, Hinweise für die Entscheidung, ob ein Gebäude bezüglich Erdbebeneinwirkung ertüchtigt werden soll oder ob der vorhandene Zustand weiterhin akzeptiert werden kann.

Für die Beurteilung der Tragsicherheit, gelten zwei Hauptbereiche. Das Eine, wo die Sicherheit der Personen als unakzeptierbar betrachtet wird (Sicherheitsdefizit) und das Andere, wo die Sicherheit der Personen als akzeptierbar betrachtet wird.

Für den Fall, dass die Sicherheit der Personen unakzeptierbar ist, sind Massnahmen erforderlich. Die Kosten der Massnahmen sind jedoch durch das Kriterium der Zumutbarkeit begrenzt (Rettungskosten bis 100 Mio. Franken pro gerettetes Menschenleben). Wenn keine zumutbaren baulichen Massnahmen möglich sind, muss das Risiko mit betrieblichen Massnahmen begrenzt werden. Wenn diese unmöglich sind kann der vorhandene Zustand akzeptiert werden.

Für den Fall, dass die Sicherheit der Personen akzeptierbar ist, sind Massnahmen nur dann erforderlich, solange sie das Kriterium der Verhältnismässigkeit einhalten (Rettungskosten bis 10 Mio. Franken pro gerettetes Menschenleben). Wenn keine verhältnismässigen baulichen Massnahmen möglich sind, kann der vorhandene Zustand akzeptiert werden.

Die Richtlinien der 3 Stufen stehen kostenlos auf der BWG-Internetseite zum Herunterladen bereit (<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/index.htm>).

Die Abbildung 1 stellt das Verfahren für die Überprüfung der Bundesbauten der Bauwerksklassen II und III vor. Bauwerke der Bauwerksklasse III müssen ohnehin bis zur Stufe 3 analysiert werden.

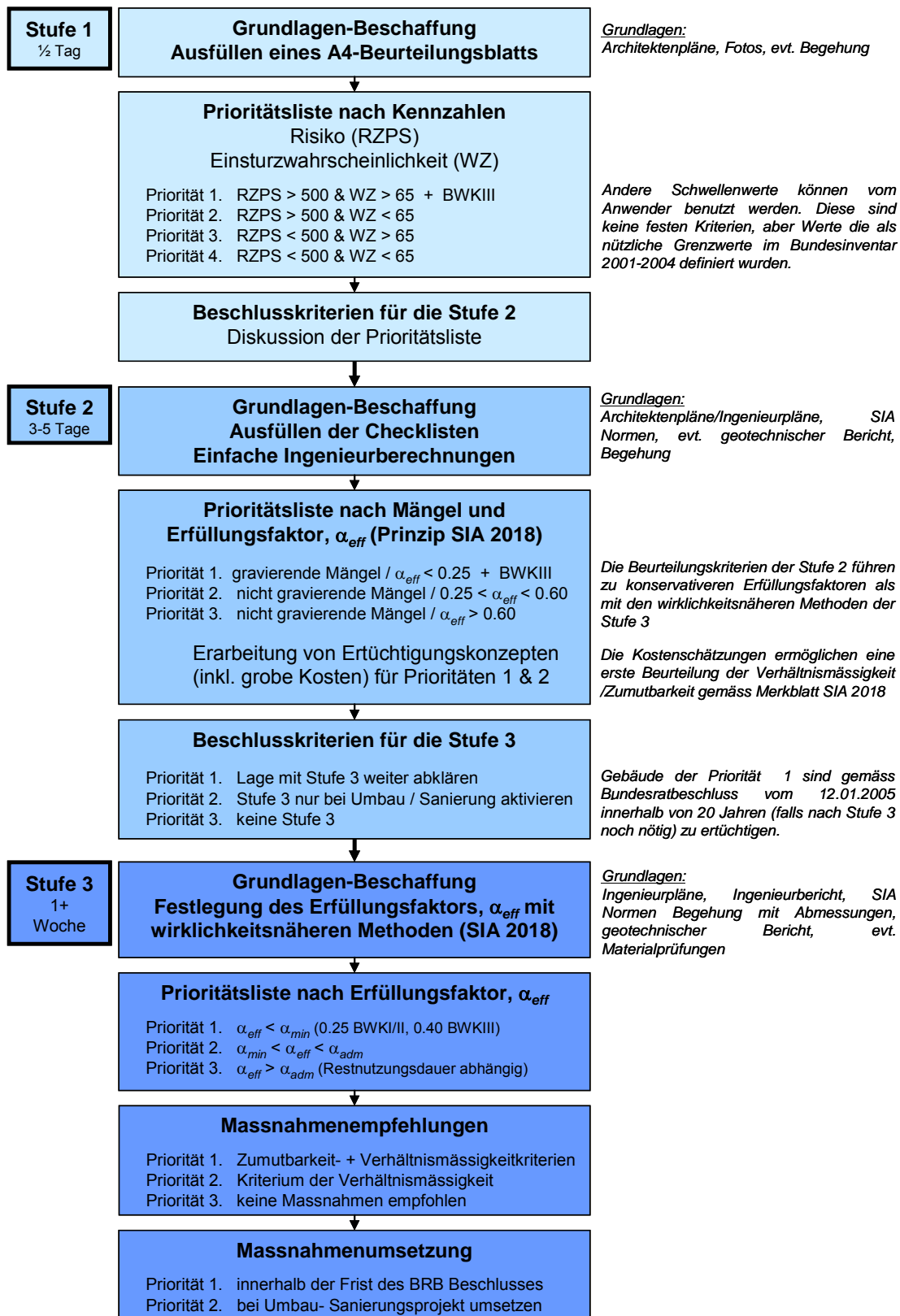


Abbildung 1 : Schematische Erklärung des drei-stufigen Verfahrens für die Beurteilung der Bundesbauten der Bauwerksklassen II und III.

2. Richtlinie für die Stufe 1

2.1 Allgemeines

Die Gestaltung der ersten Stufe der Beurteilung der Bauwerke stützt sich auf die folgenden Grundgedanken, Vorgaben, Anforderungen und Randbedingungen:

- Die Beurteilung eines Bauwerks soll durch zwei sachkundige Baufachleute innert höchstens einer Stunde anhand von Architektenplänen, ausnahmsweise unterstützt durch einen Augenschein, vollzogen werden können.
- Eine dieser sachkundigen Personen – vorzugsweise eine im statisch-konstruktiven Bauingenieurwesen geschulte und erfahrene Fachperson – soll die Beurteilung eines umfangreicheren Gebäudebestandes begleiten, um eine einheitliche Interpretation sicherzustellen.
- Die grobe Risikoabschätzung soll integral sowohl die direkten Personenschäden als auch den Gebäudeschaden und weitere Sachschäden einbeziehen, die mit dem Auftreten von Erdbeben verbunden sind.
- Bauwerke, die in Bezug auf die nach Katastrophen wichtigen Rettungsketten von Bedeutung sind, sollen besonders sorgfältig erfasst und nach ihren Eigenheiten in aller Kürze beschrieben werden.

Auf dem Erhebungsblatt sollen neben Bauwerksbezeichnung und Standort und einem geeigneten Code die Stellung und die Funktionen des Bauwerks im System der Rettungskette festgehalten sowie ergänzende Informationen zum Bauwerk erfasst und zu einer Empfehlung weiterverarbeitet werden.

Die Risikoabschätzung erfordert keine detaillierten Berechnungen, liefert aber auch keine absoluten Aussagen. Sie erfasst vielmehr über Kennzahlen die für das Erdbebenverhalten massgebenden Eigenschaften des Bauwerks und die entsprechende Gefährdung von Gebäuden, Personen und weiteren Sachgütern. Anhand eines Beurteilungsschemas wird die Kennzahl **AZPS** für das Ausmass von Personen- und Sachschäden sowie die Kennzahl **WZ** für die Einsturzwahrscheinlichkeit ermittelt und daraus multiplikativ die Risikokennzahl **RZPS** gewonnen.

Für die Beurteilung von Bauwerken auf dieser ersten Stufe dient die vorliegende *Richtlinie* und ein entsprechendes *Erhebungsblatt*.

2.2 Erfassung des Schadenausmasses

2.2.1 Allgemeines

Das zu erfassende Schadenausmass entspricht den Schäden, die durch einen auf Erdbeben zurückzuführenden völligen Bauwerkseinsturz oder ein völliges Funktionsversagen hervorgerufen würden. Dass dieses vollständige Versagen von der Erdbebenstärke und den vielfältigen Eigenschaften des Baugrunds und des Tragwerks abhängig ist, wird bei der Ermittlung der Kennzahl für die Einsturzwahrscheinlichkeit berücksichtigt.

Die Erfassung des Schadenausmasses geschieht über Indikatoren, denen entsprechende Kennzahlen zugeordnet sind. Diese Kennzahlen quantifizieren das Schadenausmass nicht in absoluter Weise, sondern sind aufeinander abgestimmte Hilfsgrössen, die der Klassierung dienen. Die Kennzahlen sind mit zwei fett gedruckten Buchstaben bezeichnet. Der erste Buchstabe ist **A** für Ausmass, der zweite (und allenfalls weitere) spezifiziert die Kennzahl. Dieser zweite (und weitere) Buchstabe wird im jeweiligen Text erwähnt und ebenfalls fett geschrieben.

2.2.2 Kennzahl für die direkten Schäden

Der durch einen mehr oder weniger vollständigen Einsturz eines Gebäudes bewirkte Gebäudeschaden entspricht etwa dem Versicherungswert des Gebäudes zuzüglich der Abbruchkosten der Ruine. Hinzu kommt der Wert des Gebäudeinhalts, der – besondere Gebäude ausgenommen – etwa proportional zum Gebäudeschaden ist. Als Kennzahl **ADS** für diesen direkten Sachschaden wird der Einfachheit halber der Versicherungswert in Millionen Franken angesetzt. Hat ein Gebäude einen Versicherungswert von 12 Millionen Franken, ist demnach $ADS = 12$. Die Ergebnisse sind je nach Grösse auf die nächst höhere Dezimal oder nächst höhere ganze Zahl gerundet ($0,15 = 0,2$; $12,15 = 13$).

Hat der Gebäudeinhalt einen besonders grossen Wert, ist dieser analog zu bewerten und durch entsprechende Erhöhung der Kennzahl ADS zu berücksichtigen.

Stürzt ein Bauwerk infolge eines Erdbebens ein, so sind die Menschen, die sich im Gebäude oder in dessen unmittelbarer Nähe aufhalten, direkt gefährdet. Das erwartete Schadenausmass als Folge eines Einsturzes hängt von der mittleren Anzahl N der Personen ab, welche sich gleichzeitig im Gebäude und in der unmittelbaren Gefahrenzone um das Gebäude herum aufhalten. Die Kennzahl **ADP** für die direkten Personenschäden wird der Einfachheit halber definiert als die mit 0.1 multiplizierte Zahl N . Sind also beispielsweise 240 Personen während 8 Stunden an fünf Tagen der Woche und 42 Wochen pro Jahr im Gebäude anwesend und das Gebäude während der übrigen Zeit praktisch leer, beträgt $ADP = 0,1 \cdot 240 \cdot 8/24 \cdot 5/7 \cdot 42/52 = 4,6$. Es macht keinen Sinn, hier allzu genau sein zu wollen. Das Ergebnis wird je nach Grösse auf die nächst höhere Dezimal oder nächst höhere ganze Zahl gerundet.

Die Kennzahl für die direkten Schäden ergibt sich als Summe dieser beiden Beiträge, also

$$AD = ADS + ADP \tag{1}$$

Die Kennzahlen werden grundsätzlich ohne Dimension geschrieben.

2.2.3 Indirekte Folgeschäden

Neben Personen- und Sachschäden als den direkten Folgen eines Gebäudeeinsturzes kann ein zerstörtes Bauwerk auf vielfältige Weise auch indirekt Menschen und Sachen gefährden. Die wichtigsten Folgeschäden ergeben sich aus der Störung oder Unterbindung von Rettungsketten (Feuerwehr, Ambulanz, Spitäler und die zugehörigen Zufahrtswege) und aus der Freisetzung gefährlicher Güter aus Industrieanlagen und Lagern.

Funktionsklasse	AIF
FK I	1
FK II	2
FK III	5

Tab. 1: Folgeschäden

Solche indirekten Folgeschäden werden auf dieser ersten Beurteilungsstufe stark vereinfachend durch Multiplikation der Kennzahl AD mit Kennziffern **AIF** erfasst. Der Buchstabe I steht dabei für Indirekt und der Buchstabe F für Funktion. Diese Kennziffern sind sogenannten Funktionsklassen I bis III zugeordnet. Die Zuordnung zeigt Tabelle 1. Die Werte AIF dürfen in Ausnahmefällen (insbesondere bei kleinen Werten von AD) angemessen erhöht werden. Dies muss jedoch auf dem Erhebungsblatt beschreibend und begründend festgehalten werden.

Zur Funktionsklasse FK III gehören Spitäler und ähnliche Einrichtungen, Bauwerke für den Katastrophenschutz wie z.B. Feuerwehrgebäude, Ambulanzgaragen, ausgewählte Bauwerke und Einrichtungen der Versorgung, Entsorgung und Telekommunikation sowie Bauwerke und Anlagen, von denen bei einer Beschädigung umweltgefährdende Wirkungen ausgehen können.

Zur Funktionsklasse FK II gehören Gebäude, die wohl den für Gebäude der FK III entsprechenden Charakter haben, jedoch als weniger wichtig oder exponiert erscheinen. Die Funktionsklasse FK I umschliesst den ganzen Rest, also Wohn-, Büro- und Gewerbebauten, Industrie- und Lagergebäude, Parkgaragen und entsprechende Anlagen, sofern sie nicht den Klassen II oder III zugeordnet sind.

2.2.4 Kennzahl AZPS für das Schadenausmass

Die alle Schadenarten auf dem Vertiefungsniveau der Stufe 1 erfassende Kennzahl für das Schadenausmass beträgt demnach

$$AZPS = (ADS + ADP) \cdot AIF \quad (2)$$

Die Kennziffer AZPS ist dimensionslos. Je nach Grösse, ist auf die nächst höhere Dezimal oder nächst höhere ganze Zahl gerundet.

2.3 Erfassung der Einsturzwahrscheinlichkeit

2.3.1 Allgemeines

Unter der Einsturzwahrscheinlichkeit wird hier die Wahrscheinlichkeit verstanden, dass ein Gebäude durch ein Erdbeben einer bestimmten Stärke zum mehr oder weniger vollständigen Einsturz kommt. Als Eckwerte gelten die folgenden Vorstellungen:

- Die Einsturzwahrscheinlichkeit eines in der Erdbebenzone 1 stehenden bestimmten Gebäudes ist 10 mal geringer als diejenige eines Gebäudes in der Erdbebenzone 3b.
- Die Einsturzwahrscheinlichkeit ein- und desselben Gebäudes ist auf gutem Baugrund 50% geringer, auf schlechtem Baugrund doppelt so gross als auf durchschnittlichem Baugrund.
- Die Einsturzwahrscheinlichkeit eines bestimmten nach der Norm SIA 160 (1989) auf Erdbeben bemessenen Gebäudes ist in allen Erdbebenzonen gleich gross.
- Die Einsturzwahrscheinlichkeit ein- und desselben, vor 1970 geplanten Gebäudes ist in der Erdbebenzone 1 dreimal grösser als diejenige eines analogen, nach 1989 gemäss SIA 160 auf Erdbeben bemessenen und erstellten Gebäudes. Für die Zone 3b gilt hier der Faktor 15.
- Die Einsturzwahrscheinlichkeit eines in jeder Hinsicht günstig gestalteten und auf Erdbeben bemessenen Gebäudes ist etwa 20 mal kleiner als diejenige eines in fast jeder Hinsicht schlecht gestalteten Bauwerks.

In der Folge wird nicht die Wahrscheinlichkeit selbst als absoluter Wert, sondern eine Kennzahl **WZ** ermittelt. Anhand dieser können Bauwerke miteinander verglichen werden.

Die Erfassung der Einsturzwahrscheinlichkeit geschieht über Indikatoren, denen entsprechende Kennzahlen zugeordnet sind. Diese Kennzahlen quantifizieren die Einsturzwahrscheinlichkeit nicht in absoluter Weise, sondern sind aufeinander abgestimmte Hilfsgrossen, die der Klassierung dienen. Die Kennzahlen sind mit zwei (oder mehreren) fett gedruckten Buchstaben bezeichnet. Der erste Buchstabe ist **W** für Wahrscheinlichkeit, der zweite (und die weiteren) spezifiziert die Kennzahl. Diese weiteren Buchstaben werden im jeweiligen Text erwähnt und ebenfalls fett geschrieben.

2.3.2 Planungsjahr und Standort des Bauwerks

Die Auswertung der Gebäudeschäden aus dem Erdbeben von Kobe (1995) hat gezeigt, dass die Anwendung der in den letzten Jahrzehnten gewonnenen Erkenntnisse des Erdbebeningenieurwesens die Einsturzwahrscheinlichkeit von Bauwerken stark reduzieren kann. Vor 1970 enthielt das Normenwerk des SIA noch keine Erdbebenbestimmung. Die SIA Norm 160 von 1970 sah erstmals eine horizontale Ersatzkraft vor. Die Norm SIA 160 von 1989 berücksichtigt den heutigen Stand der Technik. Geht man davon aus, dass die Bestimmungen der Normen des SIA bei der Projektierung auch eingehalten wurden, ist die Erdbebenresistenz vom Zeitpunkt der Projektierung **P** abhängig. Dieser wird deshalb zur Bestimmung der Kennzahl WEP beigezogen.

Die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Erdbebens einer bestimmten Stärke ist ortsabhängig. Die Norm SIA 160 [2] teilt die Schweiz flächendeckend in Erdbeben-Gefährdungszonen ein. Man spricht auch von Makrozonierung. Den Erdbebenzonen **E** sind die zu erwartenden Erdbebenbeschleunigungen zugeordnet. Diese können aber auch als Auftretenswahrscheinlichkeiten eines Erdbebens bestimmter Intensität interpretiert werden. Angaben dazu findet man in [6]. Die genaue örtliche Abgrenzung der verschiedenen Zonen ist der Karte 3 der SIA Norm 160 zu entnehmen. Die für die Planungsperioden vor 1970 zwischen 3 und 30 liegende Kennzahl WEP orientiert sich deutlich an dieser Einteilung. Für nach 1989 geplante und erstellte Bauwerke verschwindet dieser Unterschied in der Annahme, dass die Norm SIA 160 für gleiche Erdbebensicherheit in der ganzen Schweiz sorgt. Für die Planungsperiode 1970 bis 1989 wurde der Einfachheit halber linear interpoliert.

Erdbebenzone	1	2	3a	3b
Baujahr				
< 1970	3	6	15	30
1970 - 1989	2	3	8	15
> 1989	1	1	1	1

Tab. 2: WEP gemäss Makrozonierung und Baujahr

Neben der Makrozonierung spielt der Baugrund **B**, auf welchem das Bauwerk ruht, eine wichtige Rolle. Erdbeben können die Baugrundeigenschaften bis hin zur Bodenverflüssigung verschlechtern. In Bezug auf Erdbebeneinwirkungen empfindliche Böden sind meist feinkörnige, wenig steife Böden. Negativ können sich auch Hanglagen, Gleithänge und künstliche Auffüllungen auswirken. Diese sog. Mikrozonierung ist nicht flächendeckend bekannt, sondern in jedem Einzelfall einzuschätzen. Die Kennzahl WB erfasst diese Standortabhängigkeit der Eigenschaften der Böden unter Erdbebeneinwirkung.

Baugrund	WB
Gut	1
Durchschnittlich	2
Schlecht	4

Tab. 3: Baugrund

WB = 1 ist für Fels und sehr kompakte Böden zu wählen (Baugrundklassen A und B nach der Norm SIA 261 (2003)) [7].

WB = 2 ist für Lockergestein der Baugrundklassen C, D und E nach der Norm SIA 261, wo keine verursachte Effekte (Bodenverflüssigung, Thixotropie, Massenbewegung) und starke Verstärkungen der seismischen Wellen durch die Felsuntergrundgeometrie zu erwarten sind, zu wählen.

WB = 4 ist für Böden wo verursachte Effekte wie Bodenverflüssigung, Thixotropie, Massenbewegung (Bodenklasse F nach Norm SIA 261) oder wo starke Verstärkungen der seismischen Wellen durch die Felsuntergrundgeometrie (möglich für Baugrunderklassen C, D und E) zu erwarten sind, zu wählen.

2.3.3 Erdbebenverhalten des Tragwerks

Das Verhalten eines Tragwerks unter Erdbebeneinwirkung ist äusserst komplex. In dieser ersten Stufe der Beurteilung können nur einige wenige Merkmale, welche durch das Studium der Bauwerksakten und allenfalls bei einer Begehung erfasst werden können, herangezogen werden. Anhand dieser Merkmale, die ebenfalls mit Kennzahlen erfasst werden, ist es möglich, das Tragwerk in Bezug auf dessen Erdbebenverhalten zu charakterisieren. Für weitergehende Ausführungen sei an dieser Stelle auf [5] und v.a. [6] verwiesen.

Eine besonders wichtige Rolle bei der Beurteilung der Erdbebenresistenz von Tragwerken spielt die Aussteifung, welche die bei Erdbeben auftretenden Horizontalkräfte aufzunehmen hat. Dieser Problematik sind hier drei Merkmale zugeordnet. Unterschieden wird die Aussteifung im Grundriss, die Aussteifung im Aufriss und schliesslich die Art der Aussteifung.

Unter der Aussteifung im Grundriss **G** wird hier die Anordnung der Tragelemente zur Abtragung der horizontalen Erdbebenkräfte verstanden. Die Anordnung der Aussteifung ist in der Regel optimal, wenn das Steifigkeitszentrum (der Schubmittelpunkt) nahe beim Massenzentrum (dem Angriffspunkt der Summe der Trägheitskräfte) liegt. Damit können übermässige Beanspruchungen aus Torsion vermieden werden. Günstig sind auch redundante Aussteifungssysteme, die den Ausfall eines Tragelements durch andere Elemente kompensieren können. Da Erdbebeneinwirkungen aus allen Richtungen zu erwarten sind, ist die Aussteifung in der schlechteren Richtung massgebend. Die Zuordnung der Kennzahlen soll in diesem Sinne erfolgen. Leider findet man gelegentlich auch Bauwerke, wo die Aussteifung in einer der beiden Richtungen von oben nach unten durchgehend äusserst schwach ist oder gar fehlt. Für diese Fälle ist WG hoch angesetzt und sollte dafür sorgen, dass solche Gebäude relativ weit oben auf der Prioritätenliste landen.

Aussteifung Grundriss	WG
Günstig	0
Ungünstig	2
Fehlende Aussteifung	5

Tab. 4: Aussteifung Grundriss

Die Aussteifung und die Gebäudeform im Aufriss **A** beeinflussen das Schwingungsverhalten bei einem Erdbeben. Die Kennzahlen unterscheiden zwischen einer stetigen und einer unstetigen Aussteifung. Unstetig ist eine Aussteifung mit vertikalen Versetzungen von Geschossdecken und horizontalen Versetzungen der Aussteifungselemente. Dieser Einteilung liegen unter anderem die Erkenntnisse aus den Erdbebenereignissen der letzten Jahre zu Grunde, die gezeigt haben, dass die Steifigkeit über alle Stockwerke möglichst gleich bleiben sollte. Besonders heikel sind unterschiedliche Steifigkeiten in unmittelbar übereinanderliegenden Stockwerken. Ungünstig sind zudem horizontal versetzte Stützen. Besonders kritisch sind sogenannte *Soft Storeys*, also im Vergleich mit den übrigen Geschossen weiche Geschosse, die nur durch die Biegesteifigkeit der Stützen gehalten sind und im Erdbebenfall oft früh versagen.

Aussteifung Aufriss	WA
Stetig	0
Unstetig	2
"Soft Storey"	5

Tab. 5: Aussteifung Aufriss

Die Güte der Aussteifung hängt neben ihrer Anordnung im Grundriss auch von der Art und Weise **W** ihrer Ausbildung ab. Dabei sind Kerne und Wände am besten. Rahmen sind meist etwas weicher, was viel eher zu Schäden, nicht zwingend aber zu früherem Einsturz führt. Wenig geeignet für die Aufnahme von Erdbebeneinwirkungen sind zentrisch angeschlossene Fachwerke, wie sie in der Schweiz oft verwendet wurden. Am ungünstigsten verhalten sich jedoch Rahmenkonstruktionen mit nicht vollflächig gefüllten Füllwänden aus Mauerwerk, die grosse zusätzliche und ungünstig wirkende Querkräfte in die Stützen des Rahmens eintragen können. Systeme mit gemischten Aussteifungsweisen sind erfahrungsgemäss ebenfalls problematisch.

Aussteifungsweise	WW
Kern, Wände	0
Verschiebliche Rahmen	1
Fachwerke	2
Rahmen mit Füllwänden	2-4
Gemischte Systeme	3

Tab. 6: Aussteifungsweise

Neben der Aussteifung trägt ein günstiges Grundrisskonzept **K** zur Erdbebenresistenz bei. Ungünstig sind verwinkelte Grundrissformen mit einspringenden Ecken. Ebenso heikel können Bauwerke mit länglichem, d.h. langem und schmalem Grundriss sein, da in Längsrichtung die in der Regel vernünftige Auslegung des Tragwerks auf Windkräfte für die Erdbebenkräfte ungenügend sein kann. Schliesslich sind Bauwerke besonders kritisch, bei denen Gebäudeteile im Falle eines Erdbebens einzeln und unterschiedlich schwingen. Das kann zu grossen Relativbewegungen zwischen Bauwerksteilen führen und möglicherweise gar zu einem zerstörenden Aneinanderschlagen einzelner Bauwerkskörper.

Das Erdbebenverhalten eines Tragwerks hängt sowohl vom Tragwiderstand als auch von der Duktilität **D** (dem Verformungsvermögen) ab. Der Einsturz eines Bauwerks, dessen Tragwerk eine hohe Duktilität hat, ist recht unwahrscheinlich, auch wenn der Widerstand der Aussteifung vergleichsweise klein ist. Eine umfassende Beurteilung des Verformungsvermögens setzt detaillierte Kenntnisse über das Tragwerk voraus und sprengt deshalb die Möglichkeiten auf der ersten Stufe der Beurteilung.

Bauweise, Duktilität	WD
Stahlbeton, Stahl, Verbund	0
Bewehrtes Mauerwerk	2
Vorfabrikation, Holz	3
Mauerwerk, unbewehrter Beton	
- flexible Decken	3 + n
- steife Decken	3 + n/2

Tab. 7: Bauweise, Duktilität

Die Duktilität kann aber vereinfacht über die Bauweise und den verwendeten Baustoff der Tragelemente abgeschätzt werden. Reine Mauerwerksbauten und solche aus unbewehrtem Beton schliesslich sind besonders kritisch, und dies insbesondere wenn sie hoch sind und starre Deckenscheiben fehlen. Die Kennzahl WD wird daher proportional zur Anzahl Stockwerke ermittelt. Ist die Scheibenwirkung der Decken solcher Bauten fragwürdig, wie dies z.B. bei Holzbalken- oder Hourdisdecken der Fall ist, entspricht n der Zahl der Stockwerke. Ist die Scheibenwirkung sichergestellt (i.d.R. bei Stahlbetondecken), entspricht n der halben Anzahl Stockwerke und es ist auf ganze Zahlen aufzurunden.

Relative Verschiebungen können im Falle eines Erdbebens auch in den Untergeschossen und zwischen Fundamenten **F** auftreten. Solche Effekte können zu lokalen Überbeanspruchungen und somit zu Einstürzen führen. Besonders ungünstig verhalten sich Bauwerke, die in unterschiedlichem Baugrund fundiert sind, unregelmässige Foundationstiefen aufweisen oder deren Fundamente Relativverschiebungen zulassen. Gefährdet sind deshalb insbesondere Bauwerke mit Einzelfundamenten und Streifenfundamenten, die nicht durch Riegel miteinander verbunden sind.

Foundation	WF
Flächenhaft	0
Einzelgründung	1

Tab. 8: Foundation

2.3.4 Kennzahl für die Einsturzwahrscheinlichkeit

Die Kennzahl für die Einsturzwahrscheinlichkeit **WZ** fasst alle oben erwähnten Merkmale zusammen. Sie ergibt sich, indem die für das Tragwerk ermittelten Kennzahlen nach folgender Formel verarbeitet werden:

$$WZ = WEP \cdot WB \cdot (1 + WG + WA + WW + WK + WD + WF) \quad (3)$$

2.4 Beurteilung des Erdbebenrisikos

2.4.1 Risikokennzahl

Aus den Kennzahlen für das Schadenausmass und die Einsturzwahrscheinlichkeit kann nach den gängigen Regeln der Risikoberechnung die Risikokennzahl **RZPS** gewonnen werden:

$$RZPS = AZPS \cdot WZ \quad (4)$$

Die Risikokennzahl ist ein Mass für die Grösse des einem Gebäude zuzuordnenden Risikos infolge Erdbeben. Sie wird, zusammen mit den Kennzahlen für das Schadenausmass und die Einsturzwahrscheinlichkeit, auf dem Erhebungsblatt festgehalten. Sein Wert ist auf die nächst höhere ganze Zahl gerundet.

2.4.2 Prioritätenlisten

Die beurteilten Bauwerke können nach ihren Risikokennzahlen **RZPS** in absteigender Reihenfolge sortiert werden. Das Ergebnis ist eine erste Prioritätenliste. Diese stellt das einem Gebäude zuzuordnende Risiko in den Vordergrund.

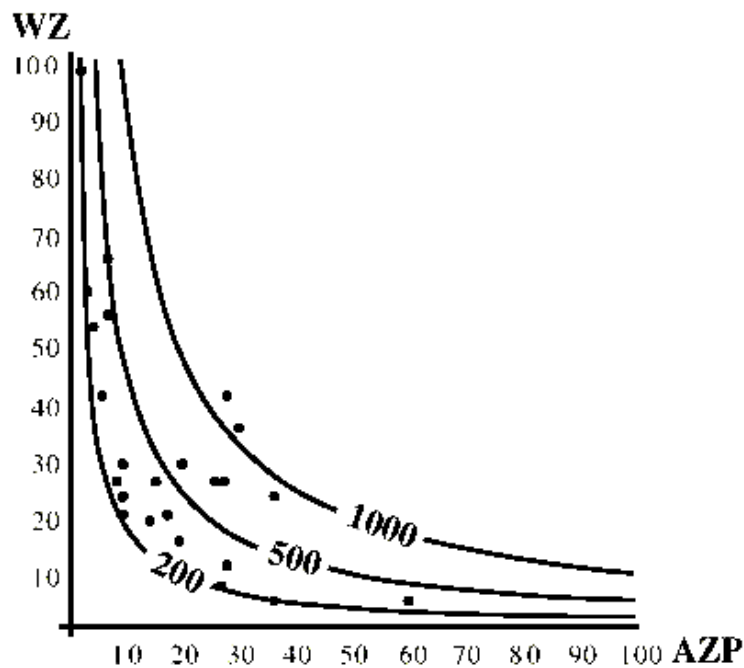
Eine nach der Kennzahl **AZPS** in absteigender Reihenfolge geordnete Prioritätenliste stellt die Grösse des Schadenausmasses in den Vordergrund. Sie zeigt vor allem auf, in welchen Gebäuden die Risiken vorwiegend durch den Wert des Gebäudes und die Nutzung bestimmt werden.

Eine nach der Kennzahl **WZ** in absteigender Reihenfolge geordnete Liste weist auf jene Gebäude hin, die am ehesten im Fall eines Erdbebens von einem Einsturz betroffen sein könnten und bei denen vor allem eine Erdbebensicherung des Tragwerks die Risiken senken könnte. Bei der Interpretation dieser Liste ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Kennzahlen für die Einsturzwahrscheinlichkeiten aufgrund der groben Erfassungsmethode mit erheblichen Unschärfen behaftet sind.

Auch mag es sinnvoll sein, nach ADS oder ADP allein in absteigender Reihenfolge geordnete Listen zu betrachten. Auch die Beschränkung auf die Betrachtung von Bauwerken, die den Funktionsklassen FK II und FK III zugeordnet sind, mag sinnvoll sein.

Zur Erfassung der Daten und zur Erzeugung solcher Listen dient ein standardisiertes Excel Formular.

In einem WZ/AZx-Diagramm (x, je nach dem, ob beim Ausmass P Personen-, S Sach- oder PS Personen- und Sachschäden betrachtet werden) lassen sich schliesslich die Kennzahlen für das Ausmass, für die Einsturzwahrscheinlichkeit sowie für das Risiko gemeinsam darstellen. Jedem erfassten Bauwerk ist in diesem Diagramm ein Punkt zugeordnet. Die Risikokennzahl RZPS eines Bauwerks entspricht der Fläche des Rechtecks, welches durch die Koordinatenachsen und durch diesen Punkt gezogene Parallelen aufgespannt wird. Die Figur (1) gibt ein Beispiel. Sie entstammt der ersten Anwendung des Verfahrens und zeigt lediglich Personenschadenrisiken, die mit tw. unterschiedlich definierten Kennwerten ermittelt wurden.



*Figur 1: Beispiel des Diagramm WZ/AZP
(Kanton Argovien, RZP > 200)*

Die Darstellung eignet sich besonders gut für die Beurteilung der Möglichkeiten einer Risikoreduktion und das Setzen von Prioritäten. Im Diagramm hoch liegende Punkte markieren Bauwerke, bei denen eine Erdbebensicherung des Tragwerks erfolgversprechend ist, während weit rechts liegende Punkte eher auf Tragwerke hinweisen, bei denen eine Umnutzung sinnvoll sein könnte.

Die Linien markieren den geometrischen Ort gleicher Risikokennzahl. Bauwerke, deren Punkte rechts oberhalb einer durch einen bestimmten Wert festgelegten Linie liegen, sind auf Grund ihrer Risikokennzahl prädestiniert für eine Untersuchung auf der zweiten Stufe.

Es kann sinnvoll sein, die Sachschadenrisiken von den Personenrisiken zu trennen, indem an Stelle der nach AZPS aufgetragenen Werte gesonderte Diagramme für ADS und ADP gezeichnet werden.

2.4.3 Prioritätensetzung und Auswahl für die Stufe 2 gemäss Bundesinventar 2001-2004

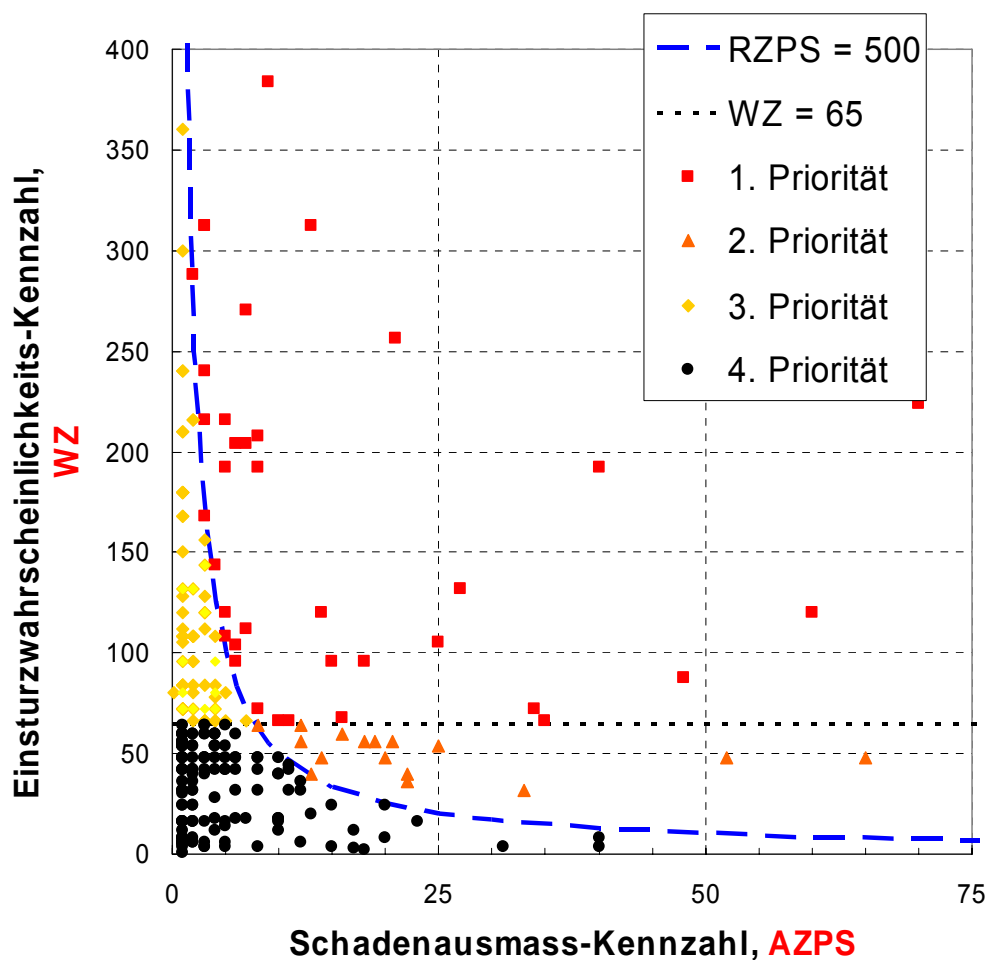
Im Bundesinventar 2001-2004, wurden 322 bestehende Gebäude der Bauwerksklassen II und III in den Erdbebenzonen 2, 3a und 3b ermittelt.

Die Prioritätsliste für die Stufe 2 wurde in 4 Prioritätsgraden gegliedert (siehe Tabelle 9 und Figur 2). Nach Diskussion der Prioritätsliste wurden die Gebäude für die Stufe 2 definitiv gewählt. Die Tabelle 9 fasst die Ergebnisse zusammen.

Priorität	RZPS	WZ	Anzahl in Stufe 1	Ausgewählt für die Stufe 2	%
1	> 500	> 65	48	40	83%
2	> 500	≤ 65	22	19	86%
3	≤ 500	> 65	83	31	37%
4	≤ 500	≤ 65	169	4	2%
			322	94	29%

Tabelle 9: Prioritätensetzung und Auswahl für die Stufe 2 gemäss Bundesinventar 2001-2004.

Risiko-Kennzahl, **RZPS**



Figur 2: Prioritätensetzung gemäss Bundesinventar 2001-2004.

3 Abzuliefernde Unterlagen

Die beurteilenden Fachleute sind aufgefordert, für die ihnen zugewiesenen Bauwerke die jeweiligen Erfassungsblätter auszufüllen und abzuliefern. Auch sollen die verschiedenen Kennwerte in ein zur Verfügung gestelltes Excel- Formular übertragen werden, das dann einer vergleichenden Auswertung dient und die Sortierung nach verschiedenen Merkmalen erlaubt.

Kommentare zu einzelnen Bauwerken und auch zum angewendeten Verfahren sind erwünscht.

4. Literaturverzeichnis

- [1] Norm SIA 160: "Norm für die Belastungsannahme, die Inbetriebnahme und die Überwachung der Bauten". Zürich, 1970.
- [2] Norm SIA 160: "Einwirkungen auf Tragwerke". Zürich, 1989.
- [3] Richtlinie SIA 462: "Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Bauwerke". Zürich, 1989.
- [4] Bürge M. et al.: "Handlungsprioritäten für die Erdbebensicherung bestehender Bauten der öffentlichen Hand". In SIA Dokumentation D 0145, Zürich, 1997.
- [5] Wenk T.: "Verstärkung bestehender Bauwerke". Zürich, 1996 (Vorlesungsunterlagen).
- [6] Bachmann H.: "Erdbebensicherung von Bauwerken". Birkhäuser Verlag, Zürich, 1995.
- [7] Norm SIA 261: "Einwirkungen auf Tragwerke". Zürich, 2003.
- [8] SIA 2018 (2004), Überprüfung bestehender Gebäude bezüglich Erdbeben, Merkblatt, Schweizer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich.
- [9] BWG (2005), Richtlinie zur Erdbebenüberprüfung bestehender Gebäude, Konzept und Richtlinie für die Stufe 2 (2. Fassung), Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel (in Bearbeitung).
<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/index.htm>.
- [10] BWG (2005), Richtlinie zur Erdbebenüberprüfung bestehender Gebäude, Konzept und Richtlinie für die Stufe 3, Bundesamt für Wasser und Geologie, Biel.
<http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/index.htm>.

Erfassung des Erdbebenrisikos für Gebäude

Inventarisierung - Stufe 1

Bauwerk Code

--	--	--	--	--

--	--

Strasse

PLZ Ort

CH - Koordinaten E:

--	--	--	--	--	--	--	--

 N:

--	--	--	--	--	--	--	--

Gemeinde Nummer

--	--	--	--	--

 Kanton

--	--

Bauwerksklasse nach Norm SIA 261: I II III

Nutzung:

Kulturgut nein ja: nationale Bedeutung ja: regionale Bedeutung

Mögliche folgen eines Gebäudeeinsturzes:

Verschüttung:

- Keine Auswirkung
- Geringe Auswirkung
- Schwere Auswirkung

Funktionsausfall:

- Keine Funktion
- Öffentlicher Verkehr
- Logistik
- Krankenhaus

- Kommunikation
- Energieversorgung
- Rettungseinheit
-

Bemerkungen:

.....

.....

Standort Akten:

Ansprechpartner:

E - Mail:

Telefon:

Beurteilung auf Grund von:

- Begehung
- Plänen
- Photos

Für die Aufnahme:

Firma

Datum:

Unterschrift

Erfassung des Erdbebenrisikos für Gebäude

Inventarisierung - Stufe 1

Bauwerk Code

Anzahl Stockwerke über OK Terrain:

Decken: steife Decken weiche Decken

Klassierung nach Konsequenzen, Schadensausmass:

Funktionsklasse: **AIF**

FK I 1 $ADP = 0,1 \cdot \square \cdot \square / 24 \cdot \square / 7 \cdot \square / 52 = \square$
 FK II 2
 FK III 5 $ADS = \square$ $AZPS = (ADS + ADP) \cdot AIF = \square$

Erdbebenzone, Planungsjahr	WEP				Baugrund	WB
Erdbebenzone:	1	2	3a	3b	Gut	1
Planungsjahr: < 1970	3	6	15	30	Durchschnittlich	2
1970 - 1989	2	4	8	15	Schlecht	4
> 1989	1	1	1	1		

$WEPB = WEP \cdot WB = \square$

Tragwerk:

Aussteifung Grundriss	WG	Aussteifung Aufriss	WA
Günstig	0	Stetig	0
Ungünstig	2	Unstetig	2
Fehlende Aussteifung	5	„Soft Storey“	5
Aussteifungsweise	WW	Konzept im Grundriss	WK
Kern, Wände	0	Kompakt	0
Verschiebliche Rahmen	1	verwinkelt oder länglich	1
Fachwerke	2		
Rahmen mit Füllwänden	2 - 4		
Gemischte Systeme	3		
Bauweise, Duktilität	WD	Fundation	WF
Stahlbeton, Stahl, Verbund	0	Flächenhaft	0
Bewehrtes Mauerwerk	2	Einzelgründung	1
Vorfabrikation, Holz	3		
Mauerwerk, unbewehrter Beton	3 + n		

$WBAU = (1 + WG + WA + WW + WK + WD + WF) = \square$

Kennzahlen für die Prioritätensetzung

$WZ = WEPB \cdot WBAU = \square$

$RZPS = AZPS \cdot WZ = \square \square \square \square \square$

Schulung Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Beurteilung der Erdbebensicherheit mittels Risikokennzahlen

Ehfried Kölz / Marcel Bürge
Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

1

Beurteilungskonzept ... Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

... entwickelt an der ETH Zürich für die Beurteilung umfangreicher Bauwerksbestände

- effizienter Mitteleinsatz**
Mittel dort, wo sie am meisten nützen;
Beurteilung innert einer Stunde (Kennzahlenverfahren)
- Risiko-orientiert**
Erhebung einer Risikokennzahl RZ, die Ausmass und Wahrscheinlichkeit berücksichtigt
- Prioritäten setzen**
Vergleichende Beurteilung, Prioritätenlisten, W/A-Diagramme

Einzelne Bauwerke

- Anhaltspunkte betreffend Risiko und Handlungsbedarf**
Primär Antwort auf die Frage, ob vertiefende Abklärungen betreffend der Erdbebensicherheit von Nöten sind

2

Beurteilungskonzept Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Unterlagen

- Pläne**
Architektenpläne in etwa M 1:200, ausnahmsweise Ingenieurpläne
- Erhebungsblatt**

Vorgehen

- Interviews**
eine Fachperson interviewt eine Gebäude-kundige Person, Fragen wie: „ist das Mauerwerk oder Stahlbeton?“
- Fachleute**
im statisch-konstruktiven Ingenieurwesen geschult
- Vergleichend beurteilen**
Kontinuität in der Beurteilung gewährleisten, die verschiedenen Bauwerke eines Gebäudebestandes von der selben Fachperson beurteilt werden

3

Erhebungsblatt Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Risikokennzahl RZPS

Ausmass von Personen und Sachschäden AZPS

Kennzahl für die Einsturzwahrscheinlichkeit WZ

$RZPS = AZPS \cdot WZ$

4

Erhebungsblatt Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Identifikation des Bauwerks

Bundesamt für Wasser und Geologie
Koordinationsstelle Erdbebenvorsorge

Erfassung der Erdbebengefährdung Eidgenössischer Bauwerke
Inventarisierung Stufe 1

Bauwerk Code

Standort Ansprechpartner

Standort Akten Telefon

5

Erhebungsblatt Risk&Safety AG
Ingenieure in Gemeinschaft

Ermitteln des Schadenausmass AZPS

Indirekte Folgen

Mögliche Folgen eines Gebäudeeinsturzes:

Verschüttung:	Funktionsausfall:	<input type="checkbox"/> Kommunikation
<input type="checkbox"/> Keine Auswirkung	<input type="checkbox"/> Keine Funktion	<input type="checkbox"/> Energieversorgung
<input type="checkbox"/> Geringe Auswirkung	<input type="checkbox"/> Öffentlicher Verkehr	<input type="checkbox"/> Rettungseinheit
<input type="checkbox"/> Schwere Auswirkung	<input type="checkbox"/> Logistik	<input type="checkbox"/> Krankenhaus

Klassierung nach Konsequenzen, Schadenausmass:

Funktionsklasse:	AIF		
<input type="checkbox"/> FK I	1	ADP = 0.1 * [] / 24 * [] / 7 = []	
<input type="checkbox"/> FK II	2	ADS = []	AZPS = (ADS + ADP) * AIF = []
<input type="checkbox"/> FK III	5		

Direkte Folgen, dazu mehr ...

6

Direkte Schäden

Direkter Sachschaden ADS

- Gebäudewert in Mio. Franken
- Ersatzwert oder andere Schätzung, Grössenordnung, auf nächsthöhere ganze Zahl gerundet

Direkter Personenschaden ADP

- Mittlere Personenbelegung
- erfasst durch eine repräsentativ zusammengefasste Belegung

$$ADP = 0.1 \cdot \text{Anzahl Personen} \cdot \text{Tage pro Woche} / 24 \cdot \text{Stunden pro Tag} / 7 = \dots$$

7

Beispiel ADP

eine Schule

- Regelbelegung: 400 Personen, 6 – 9 Stunden/Tag, 5 Tage in der Woche
- Sonderbelegung, z.B. Aula oder Sporthalle: 1000 Personen, 3 Stunden/Tag, 1 mal im Monat

$$ADP = 0.1 \cdot 400 \cdot 8 / 24 \cdot 5 / 7 = 10$$

8

Indirekte Schäden

Funktionsklasse AIF

- Folgeschäden aus verminderter Funktionstüchtigkeit
- Sachschäden (z.B. Betriebsunterbruch, Personenschäden (z.B. wenn Spital, Chemieanlage))
- Kennzahl für das Schadenausmass AZPS

$$AZPS = (ADS + ADP) \cdot AIF$$

Funktionsklasse	AIF
FK I	1
FK II	2
FK III	5

keine Folgeschäden
in der Grössenordnung der direkten Schäden
erhebliche Folgeschäden
u.U. stärkere Gewichtung

9

Erhebungsblatt

Ermitteln von WZ

Erdbebenzone, Planungsjahr	WEP	Baugrund	WB
Erdbebenzone:	1 2 3a 3b	Gut	1
Planungsjahr: vor 1970	3 6 15 30	Durchschnittlich	2
1970 bis 1989	2 4 8 15	Schlecht	4
nach 1989	1 1 1 1		

Tragwerk: WEPB = WEP · WB =

Aussteifung Grundriss	WG	Aussteifung Aufriss	WA
Günstig	0	Stetig	0
Ungünstig	2	Unstetig	2
Fehlende Aussteifung	5	Soft Storey	5

Aussteifungsweise: WW

Kern, Wände	WW	Konzept im Grundriss	WK
Verschiebbliche Rahmen	0	Kompakt	0
Fachwerke	1	Verwinkelt oder länglich	1
Rahmen mit Füllwänden	2 bis 4		
Gemischte Systeme	3		

Bauweise, Duktilität: WD

Stahlbeton, Stahl, Verbund	WD	Foundation	WF
Bewehrtes Mauerwerk	0	Flächenhaft	0
Vorfabrikation, Holz	2	Einzelgründung	1
Mauerwerk, unbewehrter Beton	3 + n		

WBAU = (1 + WG + WA + WW + WK + WD + WF) =
WZ = WEPB · WBAU =

10

Planungsjahr/Erdbebenzone

Normen des SIA

- Erdbebenzonen: definiert in der Norm des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins SIA Norm SIA 160, Ausgabe 1989
- Erdbebenbestimmungen: Norm von 1970: rudimentär, seit 1989: fortschrittlich
- Planungsjahr: Zeitpunkt der Planung ist wichtig, nicht Baujahr(e)

Erdbebenzone	1	2	3a	3b
Planung				
vor 1970	3	6	15	30
von 1970 bis 1989	2	3	8	15
nach 1989	1	1	1	1

11

Baugrund WB

- Gut** → 1
- steife Böden
Bsp. Fels, Molasse
- Durchschnittlich** → 2
- weder gut noch schlecht
- Schlecht** → 4
- feinkörnige, wenig steife Böden; setzungsempfindlich
Bsp. Seekreide, Schwemmsand
- gesättigte Böden
oberflächennaher Grundwasserspiegel
- ungünstige Topographie
Bsp. Hanglagen, Talrandlagen
- Gleithänge, künstliche Auffüllungen

12

Beispiel WB

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

13

Aussteifung Grundriss WG

M Massenzentrum
S Steifigkeitszentrum
E Erdbebenkraft (resp. Bewegung)

- Günstig** → 1
 - Steifigkeitszentrum S nahe Massenzentrum M
 - Bsp. symmetrische Anordnung der Tragelemente im Grundriss
- Ungünstig** → 2
 - S und M liegen weit auseinander
 - Bsp. asymmetrische Anordnung der Tragelemente im Grundriss typisch bei Eckhäusern
 - schlechtere Richtung massgebend
- Fehlende Aussteifung** → 5
 - keine nennenswerten Aussteifungselemente vorhanden

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

14

Beispiele WG

M Massenzentrum, S Steifigkeitszentrum

ungünstig günstig

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken 15

Beispiel WG

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

16

Aussteifung Aufriss WA

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

- Stetig** → 1
 - Steifigkeit über alle Stockwerke nahezu gleich oder nach oben stetig abnehmend
- Unstetig** → 2
 - Steifigkeitsveränderungen insbesondere Wegfall von aussteifenden Elementen
 - weitere Unstetigkeiten in der Lastabtragung zu nennen: fehlende Deckenscheiben, vertikal versetzte Geschossdecken, horizontal versetzte Aussteifungselemente
- Soft Storey** → 5
 - einzelne Stockwerke mit praktisch fehlender Steifigkeit typisch in Gebäuden mit Verkaufsräumen im EG

17

Beispiele WA

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Geotechnik

ungünstig besser

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

18

Beispiel WA

Risk&Safety AG
Experten für Gebäudesicherheit

19

Aussteifungsweise WW

Risk&Safety AG
Experten für Gebäudesicherheit

Kern, Wände → 0

- hohe Steifigkeit und Stabilität
- Bsp. Kerne: Liftkerne, Treppenhäuser (weit verbreitet)

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

20

Aussteifungsweise WW

Risk&Safety AG
Experten für Gebäudesicherheit

Verschiebbliche Rahmen → 1

- weiche Tragsysteme
- Voraussetzung: nicht ausgefüllt
- Bürobauten, Ev. Sporthallen, Produktionshallen, Lagerhallen

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

21

Aussteifungsweise WW

Risk&Safety AG
Experten für Gebäudesicherheit

Fachwerke → 2

- sehr steife Tragsysteme
- i.d.R. zentrisch angeschlossen, geringe Energievernichtung, Hallenbauten

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

22

Aussteifungsweise WW

Risk&Safety AG
Experten für Gebäudesicherheit

Rahmen mit Füllwänden → 2 - 4

- verletzbares Tragsysteme
- eher günstig, wenn Füllwände kraftschlüssig angeschlossen; besonders ungünstig, wenn Rahmen nicht vollflächig ausgefüllt

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

23

Aussteifungsweise WW

Risk&Safety AG
Experten für Gebäudesicherheit

Gemischte Systeme → 3

- ungünstiges heterogenes Tragverhalten
- verschiedene Tragsysteme, oft als Folge von Um- und Neubauten

Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

24

Konzept im Grundriss WK

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Kompakt → 0

- einheitliche Schwingungsform

Verwinkelt, länglich → 1

- ungünstige Einflüsse in Folge ungünstig liegender Massen, Torsion
- komplexe, uneinheitliche Schwingungsformen
- Kraftkonzentrationen

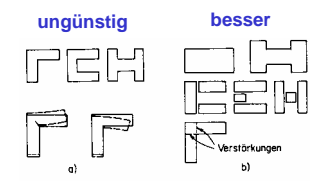
25

Beispiele WK

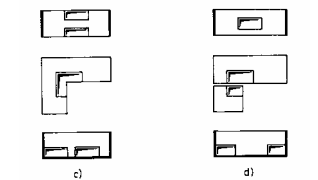
Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

ungünstig **besser**

Gestaltung der Gebäudeform im Grundriss



Gestaltung der Deckenscheiben



Quelle: Bachmann, Erdbebensicherung von Bauwerken

26

Bauweise, Duktilität WD

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Stahlbeton, Stahl, Verbund → 0

- gute Festigkeit (Zug/Druck)
- hohes plastisches Verformungsvermögen "Energievernichtung"



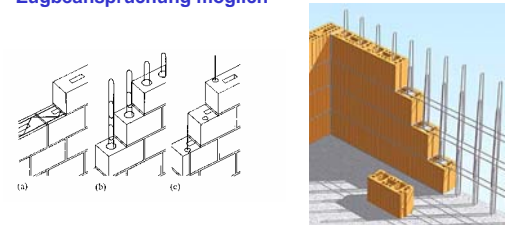
27

Bauweise, Duktilität WD

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Bewehrtes Mauerwerk → 2

- gutes Verformungsvermögen
- Zugbeanspruchung möglich



Quelle: Zimmerli/Schwartz/Schwegler, Mauerwerk

28

Bauweise, Duktilität WD

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Vorfabrikation, Holz → 3

- Verbindungen, steif, spröde
- Holz leicht, daher eher positiv



29

Bauweise, Duktilität WD

Risk&Safety AG
Ingenieur- u. Gestaltungsamt

Mauerwerk, unbewehrter Beton → 3 + n

- kein duktiles Verhalten, spröde, trägt auf Druck und Reibung



30

Fundation WF

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Flächenhaft → 0

- zusammenwirkende Fundation
 - Bsp. Plattenfundamente, Streifenfundamente durch Riegel verbunden, Einzelfundamente durch massive Bodenplatte verbunden

Einzelgründung → 1

- Einzelne nicht zusammenhängende Fundationselemente
 - Bsp. Einzelfundamente
- Heterogene Fundation
 - Bsp. verschiedene Elemente, verschieden lange Pfähle, wechselhafter Baugrund

31

Beispiel WF

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Quelle: Meili, Schweizerische Bauzeitung

32

Erhebungsblatt

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Abschluss

Besondere Bemerkungen:

RZPS = AZPS · WZ =

Beurteilung auf Grund von:

- Begehung
- Plänen
- Photos

Für die Aufnahme:

Stempel

Datum:

Unterschriften

33

Risikominderung

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

durch Reduktion von AZPS

- Umnutzung des betrachteten Gebäudes
 - Belegung reduzieren, Funktion verlegen, ...

durch Reduktion von WZ

- Verbesserung des Erdbebenverhaltens
 - Verstärkung oder „Verweichung“ der Tragstruktur, Erhöhung des Verformungsvermögens, ...

34

Vorgaben für Risikominderung

Risk&Safety AG
Ingenieur- & Geotechnik

Personengefährdung

- Individ. Risiko: $WZ > xxx$
 - niemand darf über Gebühr gefährdet werden

Effizienter Mitteleinsatz

- Höhe des Risikos: $RZ.. > yyy$
 - dort prioritär vertiefende Beurteilung der Erdbebensicherheit anstreben

2000 erfasste Gebäude

- max WZ = 132, max RZ = 4'680
- RZ = direktes Personenschadenrisiko (ADS=0; AIF=1)
- min xxx = 21, min yyy = 132

Devise

- bei Umbau Erdbebensicherheit prüfen

35