

LESSLOSS SP5 – Überprüfung der Erdbebensicherheit wichtiger bestehender Bauwerke

Rainer Flesch & Herbert Friedl
arsenal research, Wien

ZUSAMMENFASSUNG: Es ist weder technisch noch wirtschaftlich möglich die Erdbebensicherheit aller bestehenden Bauwerke gemäß den neuesten Erkenntnissen und Normen zu erhöhen. Das Ziel muss sein, in einer ersten Phase jene wichtigen Bauwerke und Infrastruktureinrichtungen zu untersuchen, die auch während und nach Erdbeben funktionstüchtig und sicher verbleiben müssen. Es sollten daher vorrangig Krankenhäuser, Feuerwachen, Kraftwerke, Schulen, Versammlungsräume, kulturelle Einrichtungen, wichtige Brücken, etc. untersucht und gegebenenfalls ertüchtigt werden. Bei bestehenden Bauwerken hat man den Vorteil, dass an ihnen Messungen – insbesondere des Schwingungsverhaltens – durchgeführt werden können. Die hier dargestellten Untersuchungen betreffen somit wichtige individuelle Bauwerke und Strukturen, für die unter Verwendung der Ergebnisse von in-situ Messungen realitätsnahe Bauwerksmodelle erstellt werden konnten. Mit diesen Modellen können dann Erdbebennachweise nach dem neuesten Stand der Wissenschaften durchgeführt werden. Die Methode wird im Kapitel 2 näher beschrieben. Im Rahmen von Teilprojekt 5 des *European IP LESSLOSS* wurde das *European Manual for In-situ Assessment of Important Existing Structures*, erarbeitet. Das Manual gliedert sich in zwei Teile. Der Teil 1 dient dem Training des Assessment- Personals, welches künftig auch die neuen innovativen Verfahren für die Zustandsermittlung beherrschen muss. Der Teil 2 stellt die Anleitung für die praktische Durchführung der Untersuchungen dar. Die Untersuchung beginnt mit einer visuellen Inspektion und dem Studium der Entwurfsdokumentation, wobei letztlich eine Check-Liste ausgefüllt wird. Mittels Regelmäßigkeitskriterien (Grundregeln des erdbebensicheren Konstruierens) wird ein „regularity index“ definiert. Der für das Modell erforderliche Genauigkeitsgrad ergibt sich aus Entscheidungsmatrizen, die für Hochbauten, Hallen und Brücken erarbeitet wurden. Insgesamt liegt eine weit ausgereifte Untersuchungsmethode vor, bei der aber menschliche Interaktionen und Beurteilungen gemäß dem Ingenieurverstand bewusst integriert sind. Die erzielten Daten und Informationen sind als Ergänzung zu den „klassischen“ visuellen Kontrollen, welche sicherlich immer ihren Stellenwert behalten werden, zu sehen. Durch die Verwendung von „high-tech tools“ kann jedoch eine maßgebliche Objektivierung der Ergebnisse erzielt werden.

1. PROBLEMSTELLUNG

Der Großteil aller im Fachgebiet Erdbebeningenieurwesen vorangetriebenen Weiterentwicklungen betrifft die Erhöhung der Erdbebensicherheit von neuen Bauwerken und Strukturen. In Europa wurde die künftige Europäische Erdbebennorm EN 1998 erarbeitet. Diese Norm umfasst derzeit 6 Teile, von denen 5 den erdbebensicheren Entwurf von Neubauten betreffen. Jedes Mitgliedsland erstellt zu den einzelnen Teilen jeweils noch ein nationales Anwendungsdokument.

In den letzten Jahrzehnten gab es praktisch in allen Ländern mehrere Generationen von Erdbebennormen, die jeweils den letzten Stand der Wissenschaften repräsentierten. Es existieren deutliche Beweise, dass die Erdbebensicherheit mit jeder neuen Normengeneration angehoben werden konnte. Wegen der großen Zahl von alten bis sehr alten bestehenden Bauwerken dominieren bei jedem starken Erdbeben schwere Schäden an Altbauten, wobei im Vergleich zu Neubauten auch wesentlich mehr Todesopfer und Verletzte zu beklagen sind.

Die Ermittlung des vorhandenen Erdbebenwiderstandes bestehender Bauwerke und ein vernünftiges Konzept zur Setzung von Prioritäten für Ertüchtigungsmaßnahmen stellt somit eine wesentliche Aufgabe für die kommenden Jahrzehnte dar, was bereits in der Resolution des Workshops *Mitigation of Seismic Risk – Support to Recently Affected European Countries* in Belgirate/ Italien im November 2000, <http://elsa.jrc.it/workshop2000/>, festgehalten wurde.

Es ist weder technisch noch wirtschaftlich möglich alle bestehenden Bauwerke gemäß den neuesten Erkenntnissen und Normen zu ertüchtigen. Das Ziel muss sein, in einer ersten Phase jene wichtigen Bauwerke und Infrastruktureinrichtungen zu untersuchen, die auch während und nach Erdbeben funktionstüchtig und sicher verbleiben müssen. Es sollten daher vorrangig folgende Typen von Bauwerken untersucht und gegebenenfalls ertüchtigt werden:

- Bauwerke, deren Unversehrtheit während Erdbeben von höchster Wichtigkeit für den Schutz der Bevölkerung ist, z.B. Krankenhäuser, Feuerwachen, Kraftwerke, Telekommunikationseinrichtungen, etc. (Bedeutungskategorie IV gemäß EN1998-1:2005)
- Brücken mit entscheidender Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Verkehrsverbindungen besonders in der Zeit unmittelbar nach dem Erdbebenereignis, bzw. deren Versagen mit einer großen Anzahl mutmaßlicher Todesopfer einhergeht sowie größere Brücken, bei denen eine größere als die übliche Auslegungsliebensdauer verlangt wird (Bedeutungskategorie III gemäß EN1998-2:2005)
- Bauwerke, deren Widerstand gegen Erdbeben wichtig ist im Hinblick auf die mit einem Einsturz verbundenen Folgen, z.B. Schulen, Versammlungsräume, kulturelle Einrichtungen usw. (Bedeutungskategorie III gemäß EN1998-1:2005)
- Gebäude und Anlagen von Industriebetrieben, bei denen im Erdbebenfall ein hohes sekundäres Risiko, z.B. für das Freiwerden giftiger und/oder brennbarer bzw. explosiver Stoffe besteht
- Historische Bauwerke, Baudenkmäler

Die Hauptaufgabe im Teilprojekt 5 des *European IP LESSLOSS* bestand in der Erarbeitung des *European Manual for In-situ Assessment of Important Existing Structures* (in der Folge bezeichnet als *European Assessment Manual*). Das Manual

gliedert sich in zwei Teile. Der Teil 1 dient dem Training des Assessment- Personals, welches künftig auch die neuen innovativen Verfahren für die Zustandsermittlung beherrschen muss. Der Teil 2 stellt die Anleitung für die praktische Durchführung der Untersuchungen dar.

Die Untersuchung der Auswirkung von Erdbeben auf Bauwerke, Einrichtungen und Menschen (*vulnerability assessment*) hat im Erdbebeningenieurwesen einen großen Stellenwert. Derartige Untersuchungen können entsprechend der jeweiligen Zielvorstellung auf unterschiedlichen Genauigkeitsniveaus durchgeführt werden. In der Vergangenheit interessierte man sich hauptsächlich für großräumige Auswirkungen auf Regionen bzw. Städte. Bei diesen so genannten Level I – Untersuchungen werden stark vereinfachte Bauwerksmodelle (meist nur jeweils ein typisches Modell für das dominierende Baumaterial, z.B. Mauerwerk, Stahlbeton, etc.) verwendet. Das Ziel dieser Untersuchungen sind Angaben über die globalen Auswirkungen, die von Versicherungsgesellschaften, Städteplanern sowie den Verantwortlichen für den Zivil- und Katastrophenschutz benötigt werden. Bei Level II – Untersuchungen, geht man bereits etwas stärker auf Einzelbauwerke ein, wobei der Bauwerkszustand durch visuelle Inspektionen erhoben wird. Aus Check-Listen ist ersichtlich, welche Elemente zu überprüfen sind. Gemäß dem eingeschätzten Zustand der Elemente wird eine Punktezahl vergeben. Die Punkte für die einzelnen Elemente werden anschließend gewichtet. Die endgültige Beurteilung wird dann auf Basis der Gesamtpunktezahl vorgenommen. Bei Level III - Untersuchungen stehen Einzelbauwerke im Mittelpunkt der Betrachtung. Der Aufwand für die Bauwerksmodellierung und Analyse wird hierbei der Bauwerksbedeutung, der Erdbebengefährdung am Standort sowie dem Grad der Regelmäßigkeit des Bauwerks/ der Struktur angepasst. Bei der Beurteilung der Erdbebensicherheit von bestehenden Bauwerken hat man den Vorteil, dass bestimmte Bauwerksparameter – insbesondere die dynamischen Parameter (Eigenfrequenzen, Eigenformen, modale Dämpfungszahlen) - experimentell bestimmt und in den Untersuchungsprozess integriert werden können. Messungen an bestehenden Bauwerken sind daher ein zentrales Element für die Zustandserfassung.

In der einschlägigen Literatur findet man zahlreiche Publikationen zum Thema „*Vulnerability*“, wobei *vulnerability functions* und *fragility curves* für unterschiedlichste Bauwerkstypen erarbeitet wurden. Die Zielvorstellung ist hierbei die Anwendung im Zusammenhang mit Level – I Untersuchungen. Der zu erwartende Schädigungsgrad (bei den *fragility curves* ebenso die Schadenswahrscheinlichkeit) wird hierbei als Funktion der Erdbebenintensität bzw. der Referenzbodenbeschleunigung angegeben. Derartige Funktionen sind für die hier behandelte Aufgabenstellung zwar nur bedingt direkt anwendbar, bedeuten aber dennoch eine wesentliche Grundlage. Entsprechende Kapitel sind deshalb sowohl im Trainings- als auch Anwendungsteil des *European Assessment Manuals* enthalten.

Im Mittelpunkt der hier dargestellten Untersuchungen stehen somit wichtige individuelle Bauwerke und Strukturen, für die unter Verwendung der Ergebnisse von in-situ Messungen realitätsnahe Bauwerksmodelle erstellt werden konnten. Mit diesen Modellen können dann Erdbebennachweise nach dem neuesten Stand der Wissenschaften durchgeführt werden. Die Methode wird im Kapitel 2 näher beschrieben.

Die so genannten „*lifelines*“ (Straßen- Verkehrswege, Eisenbahn- Verkehrswege, Versorgungsleitungen, etc.) sind für unser tägliches Leben von größter Bedeutung. Somit stellt ihre Erdbebensicherheit eine zentrale Frage dar. *Lifelines* bestehen aus „Knoten“ und „Linien“. Brücken stellen z.B. die Knoten von Verkehrswegen dar. Bei Ver- und Entsorgungseinrichtungen wären z.B. Umspannwerke, Pumpstationen und

Steuerzentralen, etc. als strategische Knoten zu bezeichnen. Es sei festgestellt, dass diese Knoten ebenfalls individuelle Bauwerke bzw. Strukturen darstellen, die gemäß Kapitel 2 untersucht werden können. Die Beurteilung der Linien und somit auch die Gesamtbeurteilung von „lifelines“ ist hingegen nicht Gegenstand des *European Assessment Manuals*.

In der Folge wird das Konzept der „kombinierten Vorgangsweise“ kurz illustriert. Eine detailliertere Vorstellung erfolgt dann im Kapitel 2. Es sind folgende Arbeitsschritte erforderlich:

- Visuelle Kontrolle und Sichtung der Entwurfsdokumentation
- Durchführung dynamischer in-situ Versuche am gegenständlichen Bauwerk.
- Erstellung eines ersten Bauwerksmodells. Es werden die modalen Parameter (Eigenfrequenzen und Eigenformen) berechnet.
- „model – updating“ unter Minimierung einer Zielfunktion, welche die Differenzen zwischen gemessenen und berechneten modalen Parametern repräsentiert.
- Durchführung einer Erdbebenanalyse gemäß dem neuesten Stand der Wissenschaften unter Verwendung des verbesserten Modells. Die Ergebnisse zeigen etwaige Schwachpunkte der Bauwerke (überbeanspruchte Tragwerksteile) auf, für die z.B. eine Erhöhung der Steifigkeit und/ oder Festigkeit erforderlich ist.
- Auf Basis der obigen Ergebnisse können dann die geeigneten Ertüchtigungsmaßnahmen empfohlen und zusammen mit den ausführenden Ziviltechnikern festgelegt werden.

Grundsätzlich kann die dargestellte Methode sowohl vor als auch nach einem Erdbeben sinnvoll angewendet werden. In der Phase vor einem Erdbeben kann die Erdbebensicherheit des bestehenden Bauwerks ermittelt und ggf. noch zeitgerecht erhöht werden. In der Phase nach einem Erdbeben kann eine Quantifizierung der verbliebenen Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit vorgenommen werden. Auf Basis von neuerlichen in-situ Schwingungsmessungen kann das Bauwerksmodell an den aktuellen Bauwerkszustand angepasst werden. Durch den Vergleich dieses Modells mit dem Modell für den Zustand vor dem Erdbeben können etwaige Tragwerksschäden sehr wahrscheinlich lokalisiert und quantifiziert werden. Diese Strategie ist bereits seit vielen Jahren in den Wissensgebieten „zerstörungsfreie Prüfverfahren“ bzw. „health – monitoring“ beheimatet und wurde in den verschiedensten Varianten erprobt. Das Verfahren ist bisher allerdings noch nicht zu einer state-of-the-art - Methode geworden. Bei der gegenständlichen Aufgabenstellung steht die Schadens- Quantifizierung im Mittelpunkt. Die Lokalisierung ist weniger wichtig, da vermutlich der Großteil aller Schadensstellen visuell gut erkennbar ist.

Falls bei besonders wichtigen Bauwerken auch die oben erwähnten Untersuchungsmöglichkeiten nach einem Erdbeben angedacht werden, müssten die Aussagen über den aktuellen Bauwerkszustand rasch nach dem Ereignis vorliegen. Zunächst muss geklärt werden, ob eine ausreichende Zahl von Eigenschwingzuständen durch die ambienten Schwingungen vor Ort angeregt wird. Falls dies der Fall ist, kann ein maßgeschneidertes Monitoring – System erstellt werden, welches jederzeit eine Aussage über die vorhandene Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit ermöglicht. Die Aussagen basieren dann auf quantitativen und somit nicht nur auf visuellen Informationen.

2. BESCHREIBUNG DER UNTERSUCHUNGSMETHODE

2.1 VISUELLE KONTROLLE UND SICHTUNG DER ENTWURFS-DOKUMENTATION

Die Zustandserhebung beginnt mit einer visuellen Kontrolle und dem Ausfüllen von Check-Listen. Es wurden Entscheidungsmatrizen für wichtige bestehende Bauwerke der Kategorien Hochbauten, Brücken und Hallen erarbeitet, aus denen für jeden konkreten Einzelfall die erforderliche Genauigkeit der Bauwerksmodellierung ersichtlich ist (siehe Abschnitt 4.1). Ein maßgeblicher Parameter ist hierbei die Regelmäßigkeit des Bauwerks. Zur Beurteilung werden die aus der Literatur bestens bekannten Grundregeln des erdbebensicheren Konstruierens herangezogen. Es ist einleuchtend, dass diese Grundregeln auch für die Ermittlung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke und Strukturen von größter Bedeutung sind. Im Kapitel 8 des *European Assessment Manuals/ Training* befindet sich daher ebenfalls eine Zusammenstellung der wesentlichen Grundregeln (8.1 Buildings, 8.2 Industrial steel structures, 8.3 Bridges).

2.2 DYNAMISCHE IN-SITU VERSUCHE

Versuche beinhalten ein großes Potential, um zuverlässige Aussagen über den Tragwerkszustand (bzw. über die Erdbebensicherheit im Speziellen) zu erarbeiten, falls sie ordentlich geplant und durchgeführt werden. Die bestehenden Fehlerquellen können durch entsprechende Qualitätssicherungsmaßnahmen ausreichend minimiert werden.

Die dynamische Anregung erfolgt entweder durch ambiente Anregung oder mittels eines Schwingungsgenerators (z.B. VICTORIA). Die Erfahrung zeigt, dass in vielen Fällen die ambiente Anregung ausreicht, um jene Eigenschwingzustände von Bauwerken zu identifizieren, die für eine grundlegende dynamische Modellierung erforderlich sind.

Falls man zusätzlich auch die Aufgabenstellung *rasche Schadensquantifizierung nach einem Erdbeben* verfolgen möchte, ist man - insbesondere bei Brücken - gut beraten eine künstliche Schwingungsanregung z.B. mittels VICTORIA vorzunehmen, da auf diese Weise auch höhere Eigenschwingzustände, die auf lokale Schäden meist besonders sensitiv reagieren, gut angeregt werden können. Diese Schwingzustände sind bei ambienter Anregung meist nicht ausreichend erfassbar. Das bedeutet, dass zwecks Identifizierung der Änderungen dieser höheren Eigenschwingzustände nach einem Erdbeben (rasch) eine neuerliche Messung durchgeführt werden müsste.

Falls man sich für den Einsatz eines Schwingungsgenerators zur Anregung des Bauwerks entscheidet, hat man ein leistungsfähiges Gerät vor Ort, mit dem auch die dynamischen Bodenparameter ermittelt werden können.

Der Schwingungsgenerator VICTORIA ist grundsätzlich ein Reaktionsmassen-erregger, der mit seinem Rahmen auf die zu erregende Struktur (z.B. Brücke, Boden) direkt aufgesetzt wird. Die Erregung kann in vertikaler bzw. horizontaler Richtung erfolgen. In den Füßen des Erregers sind Kraftmesszellen eingebaut. Zur Anregung von Hochbauten wird der Erregger neben dem anzuregenden Objekt positioniert. Der Hydraulikkolben des Erregers wird 45° zur Vertikalen geneigt und über eine Stabkette mit der anzuregenden Struktur verbunden. Die Kraftmessung erfolgt mittels einer in die Stabkette eingebauten Kraftmessdose. Die Stabkette kann bauwerksseitig z.B. an einem für die Versuche hinter einer Fensteröffnung angeordneten Stahlbalken befestigt werden. Die Stabkette wird mittels des Hydraulikkolbens leicht vorgespannt.

Anschließend werden im Zuge von Frequenzsweeps sinusförmige Kräfte überlagert und das Bauwerk auf diese Weise dynamisch angeregt. Durch Umsetzen der Sensoren können die Antwortschwingungen an zahlreichen Messpunkten gemessen werden, da sich die Frequenzsweeps ja beliebig oft wiederholen lassen. Die Anregungsmethode mittels Stabkette wurde auch bei einer Eisenbahnbrücke erfolgreich eingesetzt, um diese vom Boden unter der Brücke aus anzuregen.

Für eine wirklichkeitsnahe Zustandserfassung ist natürlich auch die Ermittlung der dynamischen Bodenparameter hilfreich. Erstens können auf diese Weise realistische Bodenfedern für das Bauwerksmodell ermittelt werden. Zweitens lassen sich bei Kenntnis der Bodeneigenfrequenzen die Eckperioden des Bemessungs - Antwortspektrums an die Gegebenheiten am aktuellen Standort anpassen. Die dynamischen Bodenparameter können mittels des Schwingungsgenerators VICTORIA bestimmt werden, wobei eine Anregung des Bodens bis zu einem Abstand von ca. 100 m vom Erregungspunkt erfolgt. Es kommt hierbei eine Kombination der Refraktionsmethode mit der Phasengeschwindigkeitsmethode zum Einsatz. Der Schwingungsgenerator sendet Kraftimpulse aus und es werden die Laufzeiten zu allen Sensoren im Messprofil ermittelt. Hieraus ergeben sich die Geschwindigkeiten der Kompressionswellen in den erfassten Bodenschichten. Zur Durchführung der Phasengeschwindigkeitsmessungen werden Frequenzsweeps (sinusförmige Kräfte) im Bereich 5 – 40 Hz ausgeführt. Es werden an jeder Sensorposition die Phasendifferenzen ermittelt. Letztendlich erhält man die Rayleigh – Wellengeschwindigkeiten als Funktion der Frequenz bzw. der effektiven Tiefe.

2.3 ERSTELLUNG DES ERSTEN BAUWERKSMODELLS

Die Palette der Modellierungsmöglichkeiten beginnt, genauso wie beim Entwurf eines Neubaus, bei diskreten Ein- bis Mehrmassenschwingermodellen sowie 1D – Stabmodellen und reicht über 2D- bis zu 3D – FE Modellen.

Gemäß Tabelle 4.1 in EN1998-1:2005 sind in Abhängigkeit von der Regelmäßigkeit des Bauwerks *ebene* bzw. *räumliche Rechenmodelle* erforderlich. Im Falle der Zulässigkeit von ebenen Modellen sind zwei getrennte Untersuchungen für beide horizontalen Hauptrichtungen erlaubt. Als Modelle können diskrete Mehrmassenschwingermodelle (direkte Aufstellung der Massen- und Steifigkeitsmatrix), Stabmodelle sowie 2D - FE Modelle verwendet werden. Häufig ist bei wichtigen bestehenden Bauwerken wegen der hohen Bauwerksbedeutung jedoch ein 3D – FE Modell erforderlich. Mit dem erstellten Modell werden die modalen Parameter (Eigenfrequenzen und Eigenformen) berechnet.

Die Erfahrung aus den bisherigen Untersuchungen zeigt, dass die Entwurfsdokumentation bei bestehenden Bauwerken häufig unvollständig ist. In vielen Fällen müssen dann einzelne Modellannahmen entsprechend dem Ingenieurwissen getroffen werden. Üblicherweise wird davon ausgegangen, dass der Entwurf entsprechend dem damals gültigen „state-of-practice“ unter Einhaltung aller gültigen Normen erfolgte.

2.4 VERBESSERUNG DES BAUWERKSMODELLS AUF BASIS DER DYNAMISCHEN IN-SITU MESSUNGEN

Das „model – updating“ erfolgt unter Minimierung einer Zielfunktion, welche die Differenzen zwischen gemessenen und berechneten modalen Parametern repräsentiert. Die Basis für die Modellverbesserung ist der Ansatz von Korrekturfaktoren bei „unsicheren“ physikalischen Parametern (meist bei den Steifigkeitsparametern). Die Zahl der angesetzten Korrekturfaktoren sollte hierbei nicht zu hoch sein. Vollständig automatisierte Verfahren liefern häufig physikalisch unplausible Lösungen. Bei Anwendung interaktiver Verfahren durch erfahrene Spezialisten kann man heute jedoch meist sehr zufrieden stellende Ergebnisse erzielen.

Die erforderliche Übereinstimmung der gemessenen und der gerechneten Eigenfrequenzen nach dem ersten „model – updating“ hängt wesentlich von der Aufgabenstellung ab. Falls z.B. eine Erdbebenanalyse nach dem Antwortspektrumverfahren durchgeführt werden soll, sind die Genauigkeitsanforderungen geringer als beispielsweise im Fall des Brückenmonitorings, wo man sehr kleine Frequenzänderungen hinsichtlich etwaiger im entstehen befindlicher Schäden interpretieren möchte.

Es kann dann davon ausgegangen werden, dass das verbesserte Modell das lineare Schwingungsverhalten im augenblicklichen Bauwerkszustand gut repräsentiert, wobei die Geometrie normalerweise mit der größten Präzision wiedergegeben werden kann. Aber auch die dynamische Wirkung der Werkstoffe und der konstruktiven Einzelheiten wird – zumindest in „verschmierter Form“ – wirklichkeitsnah repräsentiert, wobei Alterungseffekte, Rissebildung etc. inkludiert sind.

Das verbesserte Modell stellt ein äquivalentes lineares System für ein global eher nichtlineares Bauwerksverhalten dar (z.B. Zustand II bei Stahlbetontragwerken), und repräsentiert bei der Erstuntersuchung normalerweise den Zustand ohne Erdbebenschäden. Dieses Modell bleibt auch bei einer tatsächlichen Erdbebenbeanspruchung so lange realistisch, bis größere Schäden auftreten. Da bei wichtigen bestehenden Bauwerken keine größeren Erdbebenschäden zulässig sind, eignet es sich sehr gut zur Identifikation etwaiger struktureller Schwachpunkte (siehe *Dynamische Analyse*).

In wichtigen praktischen Fällen, z.B. bei der Untersuchung des Spitals Innsbruck (Flesch et.al, 2006) wurden zusätzlich zu den dynamischen Messungen Mauerwerksproben entnommen und im Labor Materialkennwerte bestimmt, wodurch weitere zuverlässige Parameter zur Modellanpassung vorlagen. Die Bestimmung der Materialkennwerte, insbesondere der Festigkeitswerte, ist sehr wesentlich, da in der Praxis häufig keine direkten Angaben für das betroffene Bauwerk vorliegen. Zusätzlich sind die Baumaterialien einem Alterungsprozess und den Veränderungen zufolge sämtlicher vorhandener Einwirkungen ausgesetzt, weshalb eine zuverlässige Bestimmung des Ist- Zustandes nur durch Messungen (zerstörungsfrei bzw. zerstörend) erfolgen kann.

Die Leistungsfähigkeit der Modellverbesserung unter Verwendung gemessener Werte wurde bei der Untersuchung des Kinderhauses des Spitals Leoben/ Steiermark deutlich. Die Modellierung beinhaltet auch die aussteifenden Mauerwerkswände und Zwischenwände, die natürlich im unbeschädigten Zustand vollständig mitwirken und erst bei einer bestimmten Bebenstärke beschädigt bzw. zerstört werden. Zur Anpassung an die experimentellen Ergebnisse wurden 15 Varianten mit unterschiedlichen Mauerwerkssteifigkeiten und Federsteifigkeiten in der Dilatationsfuge zum Nachbarbauwerk untersucht. Bei einer Variante liegen die Differenzen zwischen den

gerechneten und gemessenen Eigenfrequenzen 1 – 5 im Bereich -0,04 bis 0,82 Hz, was als ausgezeichnetes Ergebnis betrachtet werden kann. Die Übereinstimmung der gerechneten und gemessenen Eigenformen 1 – 3 war ebenfalls sehr gut.

Zusammenfassend sei betont, dass man durch die Erarbeitung des verbesserten Modells einen guten Kenntnisstand über den Zustand des Bauwerks erhält. Die Zuverlässigkeit des Modells ist somit hoch und man benötigt z.B. gemäß EN 1998-3:2005 keinen Konfidenzbeiwert $> 1,0$, mit dem die Berechnungsergebnisse (z.B. Schnittkräfte aus einer Erdbebenanalyse nach dem Antwortspektrumverfahren) multipliziert werden müssen. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein vollständiger Kenntnisstand (KL3 gemäß EN 1998-3:2005) vorliegt.

2.5 DYNAMISCHE ANALYSE

Unter Verwendung des verbesserten Modells kann nun eine Erdbebenanalyse gemäß dem neuesten Stand der Wissenschaften durchgeführt werden.

Zur Berechnung kann grundsätzlich die kraftbasierte- bzw. die verformungsbasierte Vorgangsweise herangezogen werden. Viele Spezialisten vertreten die Meinung, dass im Fall von bestehenden Bauwerken eine verformungsbasierte Untersuchung realitätsnäher durchgeführt werden kann.

Das einfachste Analyseverfahren ist das vereinfachte Antwortspektrumverfahren (quasistatische Methode). Die nächste Genauigkeitsstufe stellt das multimodale Antwortspektrumverfahren dar und in speziellen Fällen kommen lineare Zeitverlaufsuntersuchungen zur Anwendung.

Grundsätzlich darf bei bestehenden Bauwerken ebenso wie bei Neubauten linear gerechnet und die nichtlineare Reserve durch Abminderungen mittels des Verhaltensbeiwertes q berücksichtigt werden. Im Fall von wichtigen bestehenden Bauwerken ist die Festlegung von q aus folgenden Gründen relativ einfach:

- die früheren Erdbebennormen sahen keine Konzepte für die Erzielung duktiler Bauwerke vor. Die wesentliche Grundvoraussetzung für einen derartigen Ansatz ist, dass das Bauwerk potentielle Fließgelenkbereiche besitzt, in denen maßgebliche nichtlineare Verformungen stattfinden können. Um dies zu gewährleisten, ist eine entsprechende konstruktive Ausbildung dieser Bereiche erforderlich, was in der Vergangenheit jedoch nicht gezielt durchgeführt wurde
- die Forderung, dass wichtige Bauwerke während und nach Erdbeben funktionstüchtig bleiben müssen, schließt stärkere Beschädigungen von vornherein aus
- Insgesamt kann man somit bei der Ermittlung der Erdbebenkapazität wichtiger bestehender Bauwerke sowieso nur niedrige Verhaltensbeiwerte (maximal $q=1,5$, bei Stahl ev. $q=2$) ansetzen. Das Zulassen maßgeblicher Nichtlinearitäten stünde im Widerspruch mit der geforderten Gebrauchstauglichkeit. Aus diesem Grund besitzen auch die genaueren nichtlinearen Berechnungsmethoden (darunter auch die pushover – Methode) hier nur eine geringe Bedeutung.

Das Ziel der Erdbebenanalyse ist Auffinden etwaiger Schwachpunkte der Bauwerke/ Strukturen (überbeanspruchte Tragwerksteile), für die z.B. eine Erhöhung der Steifigkeit und/ oder Festigkeit erforderlich ist. Dies kann mittels einer iterativen Vorgangsweise unter Verwendung des linearen Modells erfolgen. Es ist somit keine

nichtlineare Berechnung erforderlich. Falls die vorhandenen Festigkeiten überschritten werden, ergibt sich für jeden iterativen Schritt ein bestimmtes Schadensbild. Im linearen Modell können die Steifigkeiten in den beschädigten Bereichen so lange abgemindert werden, bis sich ein stabiler Zustand (=keine weiteren Schäden) bzw. das Totalversagen ergibt. Die iterative Vorgangsweise unter Verwendung eines linearen Modells hat den großen Vorteil, dass bei jedem Schritt eine Plausibilitätsüberprüfung mittels Ingenieurverstand erfolgen kann. Eine vollständige nicht-lineare 3D Modellierung würde gegenüber dieser ingenieurmäßigen Vorgangsweise wegen der vielen zu treffenden unsicheren Annahmen keine Qualitätsverbesserung darstellen und nur den Aufwand erheblich erhöhen. Aus dem endgültigen Schadensbild ergeben sich dann die erforderlichen Ertüchtigungsstrategien.

Zusätzlich zu den direkten Erdbebenauswirkungen (Primärrisiko) können Bereiche ausgewiesen werden, in denen zufolge vorhandener Sekundärrisiken (z.B. Freiwerden gesundheitsgefährdender und/ oder brennbarer bzw. explosiver Stoffe in Spitälern) ein erhöhtes Gesamtrisiko besteht. Ebenso können unterschiedliche Gewichtungen für verschiedene Raumnutzungen (Operationssaal/ Intensivstation, Krankenzimmer, Aufenthaltsraum, Lagerraum, etc.) angesetzt werden. Als Ergebnis der Untersuchungen einiger österreichischer Spitäler wurden z.B. für jedes Stockwerk Risikokarten erstellt, in denen der Index zur Darstellung des Gesamtrisikos färbig ausgegeben ist (Flesch et.al, 2004, siehe auch Abbildung 1).

Bei der Erdbebenanalyse eines reinen Mauerwerksbaus wurde mit gutem Erfolg die folgende modifizierte Vorgangsweise angewendet. Nach Erstellung des ersten Bauwerksmodells auf Basis der Planunterlagen wurden mit diesem Modell in Abweichung von der üblichen Vorgangsweise keine Eigenfrequenzen errechnet und kein „model – updating“ durchgeführt. Die Messergebnisse wurden hingegen zur Berechnung modaler Erdbebenlasten verwendet, welche im Bauwerksmodell direkt angesetzt wurden.



Risk Mapping taken from [107]

cell	Room no.	Danger potential		Danger index
		GPR	GSR	GI
I	28	6	3	7,66
II	26	3	4	4,52
	1	1	5	2,48
III	23			
IV	3	4	5	6,27
V	8	7	5	10,40

Risk indices, taken from [107]

Abbildung 1: Risikokarte und Index für ein Stockwerk (Flesch et.al, 2004)

2.6 DIE VERWENDUNG VON MONITORING-SYSTEMEN

Im Kapitel 1 wurde dargestellt, unter welchen Gesichtspunkten der Einsatz von Monitoringsystemen sinnvoll erscheint. Als „Monitoring – Parameter“ bieten sich zunächst die dynamischen Parameter an. Grundsätzlich sollte seit der Erdbebenanalyse unter Verwendung des verbesserten Modells gut bekannt sein, welche Tragwerksteile (eventuell sogar bei einer Steigerung der Erdbebenbelastung über das Entwurfsbeben hinaus) besonders schadensanfällig sind. Mittels dieses Wissens lassen sich die optimale Tragwerkspunkte für die Situierung der Sensoren für das Monitoringsystem festlegen. Ferner können im Rahmen von Parameterstudien die Änderungen der einzelnen Eigenfrequenzen und Eigenformen zufolge bestimmter Tragwerksschäden im Vorfeld ermittelt werden, sodass etwaige im Ernstfall auftretende Änderungen dann relativ rasch interpretiert werden können.

Die größte Einschränkung für die Anwendung von Monitoringsystemen bei Brücken besteht darin, dass lokale Schäden meist insbesondere bei den niedrigen Eigenfrequenzen zu relativ kleinen Frequenzänderungen etwa im Bereich 0,01 bis 0,1 Hz führen. Bei Erdbebenschäden an Hochbauten sind hingegen wesentlich höhere Frequenzänderungen zu erwarten, insbesondere wenn die Schäden im Bereich der Basis auftreten. Hochbauten können in den meisten Fällen zumindest näherungsweise durch einen eingespannten vertikalen Stab modelliert werden, woraus die starke Sensitivität von Eigenfrequenzen auf Schäden im Nahbereich der Basis klar ersichtlich ist.

Gemäß den vorliegenden Erfahrungen mit Monitoringsystemen, welche insbesondere bei Brücken gewonnen wurden, steigt die Wahrscheinlichkeit für realistische Aussagen über den Tragwerkzustand deutlich an, wenn zusätzlich zu den dynamischen Parametern auch noch weitere Größen wie Durchbiegungen, Neigungen und Dehnungen bzw. Kräfte (z.B. Auflagerkräfte) gemessen werden können. Besonders sensitiv reagieren die modalen Krümmungen auf lokale Steifigkeitsänderungen (=Schäden), welche aber kaum gezielt gemessen werden können.

Bei Betrieb eines Monitoringsystems, insbesondere bei Brücken, ist es außerdem zwingend erforderlich Temperaturmessungen durchzuführen, da die Temperatur ebenfalls einen maßgeblichen Einfluss auf die dynamischen Parameter besitzt. Diese Zusammenhänge müssen im unbeschädigten Zustand zumindest über einen Jahreszyklus ermittelt werden bevor man in der Lage ist, zwischen temperaturbedingten- und schadensbedingten Änderungen der dynamischen Parameter zu unterscheiden.

Falls man bereits bei der Planung eines neuen wichtigen Bauwerks den Einbau eines Monitoringsystems erwägt, sollte man möglichst frühzeitig die durch Erdbeben besonders gefährdeten Bauteile identifizieren und überlegen, ob durch die Anordnung zusätzlicher Sensoren (z.B. Dehnmessstellen, etc.) wertvolle Zusatzinformationen gewonnen werden können. Hierzu können auch lokale Eigenschwingzustände einzelner Bauteile (nicht nur die globalen Eigenschwingzustände der Gesamtstruktur) herangezogen werden.

3. DAS INTEGRATED PROJECT LESSLOSS UND TEILPROJEKT 5 (SP5)

Das European Integrated Project LESSLOSS *Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides* wurde im September 2004 begonnen und hatte eine Laufzeit von 3 Jahren. In 13 Teilprojekten wirkten insgesamt 46 Partner zusammen. Zu Projektbeginn wurde von Calvi (2004) ein Gesamtüberblick über das Vorhaben erstellt.

Im Zuge des Projektes wurden folgende Technischen Berichte erarbeitet, welche den State-of-the-Art in den betroffenen Fachgebieten bestens repräsentieren:

- Lessloss-2007/01: Landslides: Mapping, Monitoring, Modelling and Stabilization (editors: G.B. Crosta, P. Frattini)
- Lessloss-2007/02: European Manual for in-situ Assessment of Important Existing Structures (editor: R. Flesch)
- Lessloss-2007/03: Innovative Anti-Seismic Systems Users Manual (editor: M. Forni)
- Lessloss-2007/04: Guidelines for Seismic Vulnerability Reduction in the Urban Environment (editor: A. Plumier)
- Lessloss-2007/05: Guidelines for Displacement-based Design of Buildings and Bridges (editor: M. Fardis)
- Lessloss-2007/06: Probabilistic Methods to Seismic Assessment of Existing Structures (editor: P.E. Pinto)
- Lessloss-2007/07: Earthquake Disaster Scenario Predictions and Loss Modelling for Urban Areas (editor: R. Spence)
- Lessloss-2007/08: Prediction of Ground Motion and Loss Scenarios for Selected Infrastructure Systems in European Urban Environments (editor: E. Faccioli)

Diese Berichte richten sich an die wissenschaftlich- technische Fachwelt, an die nationalen, regionalen und lokalen Behörden, an die Planer sowie die Verantwortlichen für den Zivilschutz.

Im Teilprojekt 5 (SP5) *In-situ assessment, monitoring and typification of buildings and infrastructures* wirkten folgende 5 Partner mit:

- arsenal research, Wien, Österreich (Koordinator)
- CESI (vormals ISMES), Seriate, Italien
- LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lissabon, Portugal
- RWTH, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Deutschland
- VCE, Vienna Consulting Engineers, Wien, Österreich

Das Hauptprodukt aus SP5 ist das *European Manual for In-situ Assessment of Important Existing Structures*, welches im Kapitel 4 näher erläutert wird. Das Manual ist in folgende Teile untergliedert:

- Teil I – Training (Report Lessloss-2007/02 sowie Deliverable 19B, Version 2007)
- Teil II – Application (Deliverable 19A, Version 2007). D19A repräsentiert gleichzeitig Task 2.1.5 *Layout for an European Assessment Code*.

Vor der Erarbeitung des *European Assessment Manuals* wurde umfangreiches Basismaterialium zusammengetragen, welches in den Deliverables 19/ Version 2007, 19A/ Version 2006 und 20/ Version 2007 enthalten ist. Es wurden hierbei zwei wesentliche Grundsätze verfolgt:

- komplexe Aufgabenstellungen lassen sich am leichtesten durch Anwendungsbeispiele erläutern. D20 (inkl. Anhang 20A) enthält deshalb Beispiele für das „seismische Assessment“ von Hochbauten, Brücken, Spitälern sowie vergleichbare Untersuchungen von Bauwerksmodellen auf dem LNEC- Vibriertisch. Ausgewählte Case Studies wurden ferner in den Teil II des Manuals übernommen.
- dem Großteil der Planer ist es nicht möglich, regelmäßig Fachkonferenzen zu besuchen und/ oder die neueste Fachliteratur zu lesen. Es wurde daher in D19A/ Version 2006 begonnen, Abstracts neuer Publikationen (überwiegend aus den Proceedings der First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Genf, September 2006), die zum übergeordneten Thema *seismisches Assessment wichtiger bestehender Bauwerke* passen, zusammenzustellen. In D19A/ Version 2007 sind nun mehrere Überblickskapitel vorhanden, die vom SP5 – Team auf Basis dieser Abstracts erstellt wurden.

4. DAS EUROPÄISCHE MANUAL ZUR ERMITTLUNG DER ERDBEBENSICHERHEIT WICHTIGER BESTEHENDER BAUWERKE

4.1 DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN

Der Teil II des *European Assessment Manuals* betrifft die praktische Durchführung und umfasst folgende Kapitel:

1. Scope of the manual
 2. Principles for application and responsibilities
 3. Assessment method
 4. Selection of the adequate assessment procedure
 5. Case studies
 6. Consolidated information – literature review
- References

Im Kapitel 2 *Principles for application and responsibilities* werden zunächst jene Bauwerkstypen definiert, für die der vorhandene Erdbebenwiderstand ermittelt werden muss (siehe auch Kapitel 1 der vorliegenden Arbeit). In den meisten Europäischen Staaten gibt es derzeit keine Gesetze bzw. Vorschriften, welche zu einer Durchführung derartiger Untersuchungen verpflichten. Im Manual sind Anregungen aus Sicht des Konsortiums zu finden, wie die Verantwortlichkeiten geregelt werden könnten. Die Untersuchungen können auf die maßgeblichsten Erbebenzonen - in Österreich die Zonen 3 und 4 – bzw. auf bestimmte Referenzbodenbeschleunigungen (a_g bzw. $a_{g,S}$) eingeschränkt werden.

Grundsätzlich sollten die Eigentümer bzw. Erhalter wichtiger bestehender Bauwerke für die Durchführung der Untersuchungen verantwortlich sein. Das oberste Ziel ist der Schutz des menschlichen Lebens. Es sollte den Eigentümern jedoch stärker bewusst werden, dass die Untersuchungen auch zum besseren Schutz ihres Sachgütervermögens und der weiteren Investitionen beiträgt. In vielen Fällen ist der Staat oder eine dem Staat nahe stehende Institution der Eigentümer wichtiger bestehender Bauwerke. In jedem Fall kommt den verschiedenen Behörden (Ministerien, Baubehörden, etc.) eine

Aufsichtspflicht zu, da es um den Schutz des menschlichen Lebens und in manchen Fällen auch um den Schutz der Umwelt vor Sekundärrisiken geht.

Im Kapitel 2 wird auch die Qualifikation des Personals angesprochen. Um z.B. eine Check-Liste auszufüllen, genügt das grundlegende Bauingenieurwissen + Einschulung in die Grundregeln des erdbebensicheren Konstruierens. Für die Erstellung komplexer 3D - Modelle und die Durchführung von qualitativ hochwertigen Messungen ist hingegen eine gute Zusatzausbildung und insbesondere viel Erfahrung erforderlich (siehe Tabelle 1).

PERSONNEL QUALIFICATION	1	2	3	4	5
check-list					
simple models					
FE-models (2D + 3D)					
measurements					
model updating					

Tabelle 1: Einteilung der Qualifikation des Personals gegenüber den jeweiligen Beurteilungsstufen.

Es wird auch auf Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei Messungen eingegangen. Das grundsätzlich große Potential von Messungen kann nur dann bestmöglich genutzt werden, falls die vorhandenen Fehlerquellen durch qualitätssichernde Maßnahmen weitgehend ausgeschaltet werden.

Die Finanzierung des seismischen Assessments wichtiger bestehender Bauwerke muss im Wesentlichen über nationale und regionale Geldmittel erfolgen. Vorgaben seitens der EU wären jedoch wünschenswert, um der Sache mehr Nachdruck zu verleihen. Möglicherweise könnten mittelfristig auch Unterstützungen aus bestimmten EU – Fonds (z.B. Strukturfond, Kohäsionsfond, etc.) ermöglicht werden.

Da die Mittel für die seismische Ertüchtigung immer begrenzt sein werden, müssen den Entscheidungsträgern auch Kriterien für eine Prioritätenreihung zur Verfügung stehen. Derzeit wird vorgeschlagen, im ersten Bearbeitungsschritt sämtliche wichtige bestehende Bauwerke in den maßgeblichen Erdbebenzonen auf einer GIS – Oberfläche darzustellen und als Basis für die Prioritätenreihung zunächst einmal die Check-Listen zu erstellen.

Das Kapitel 3 *Assessment method* gliedert sich in folgende Unterkapitel:

- 3.1 General
- 3.2 Ground conditions and seismic action
- 3.3 Relevant structural parameters
- 3.4 Structural model
- 3.5 Experimental investigations
- 3.6 Model updating
- 3.7 Analysis

Die wesentlichen Aussagen aus Kapitel 3 wurden bereits im Kapitel 2 der vorliegenden Arbeit dargestellt.

Im Abschnitt 3.3 werden jene Parameter aufgezählt, die für die Erstellung des Bauwerksmodells erforderlich sind. Dies sind die geometrischen Abmessungen, die

Massen, Steifigkeiten, Festigkeiten und Randbedingungen aller Bauteile, die durch Erdbeben beansprucht werden. Hinzu kommen noch das Dämpfungsverhalten und die globalen Randbedingungen (Elastizität des Bodens; Kontakte mit anderen Bauwerken, etc.). Das duktile Verhalten der Bauteile ist bei wichtigen bestehenden Bauwerken von untergeordneter Bedeutung, da ja keine größeren Schäden zugelassen werden können. Bei der hier maßgeblichen Ermittlung des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit muss die horizontale Steifigkeit der nichttragenden Elemente mitberücksichtigt werden. Hieraus ist neuerlich das hohe Potential von in-situ Versuchen zur Erstellung realistischer Bauwerksmodelle ersichtlich, da die gemessenen dynamischen Kenngrößen von allen oben aufgezählten Parametern geprägt werden.

Das Kapitel 4 *Selection of the adequate assessment procedure* zielt auf die Festlegung der Genauigkeitsanforderungen für die Modellierung von wichtigen bestehenden Bauwerken. Hierdurch soll ein unnötiger Aufwand bei den Untersuchungen vermieden werden. Die Untersuchung beginnt mit einer visuellen Inspektion und dem Studium der Entwurfsdokumentation, wobei letztlich eine Check-Liste ausgefüllt wird. Mittels der aus der Fachliteratur bekannten Regelmäßigkeitskriterien (Grundregeln des erdbebensicheren Konstruierens) wird ein „regularity index“ definiert. Der erforderliche Genauigkeitsgrad des Modells ergibt sich aus Entscheidungsmatrizen, die für Hochbauten, Hallen und Brücken erarbeitet wurden.

Für Hochbauten ergibt sich das erforderliche Bauwerksmodell in Abhängigkeit von folgenden Parametern aus Tabelle 2:

- Material des Tragwerks (Stahlbeton, Mauerwerk)
- Material der Gebäudedecken (Stahlbeton, Holz)
- Kenntnisstand betreffend den Bauwerkszustand
- „regularity index“
- Seismizität am Standort, ausgedrückt durch das Produkt $a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I$; in der Entscheidungsmatrix wird zwischen „geringer Seismizität“ und „normaler Seismizität“ gemäß EN 1998-1:2005 unterschieden

					$a_{gR} \cdot S \cdot \gamma_I$						
					low seismicity		normal seismicity				
					planar model	planar model updated	planar model updated	spatial model	spatial model updated		
buildings	structural material	floors	level of knowledge	regularity index							
	RC building or steel building	RC Slabs	0	4		X			X		
				< 4		X*			X		
			1	4	X		X				
				< 4		X*		X			
			Masonry	RC Slabs	0	4		X			X
						< 4		X*			X
	1	4				X		X			
		< 4				X*			X		
	Wooden floors	0		4		X			X		
				< 4		X*			X		
	1	4		X		X					
		< 4		X*			X				

Tabelle 2: Entscheidungsmatrix für Gebäude

Gemäß Tabelle 2 sind entweder ebene Modelle (1D bzw. 2D) oder räumliche Modelle (3D) erforderlich, wobei in vielen Fällen eine Modellverbesserung unter Einbeziehung von Messwerten gefordert wird.

Zu Kapitel 5 hat jeder der 5 Partner mit einem seismischen Assessment - Anwendungsbeispiel beigetragen.

Das Kapitel 6 *Consolidated information – literature review* ist in folgende Unterkapitel gegliedert:

- 6.1 General
- 6.2 Local site effects and microzonation
- 6.3 Vulnerability assessment of dwelling buildings
- 6.4 Vulnerability assessment of RC – buildings/ structures
- 6.5 Vulnerability assessment of masonry buildings
- 6.6 Vulnerability assessment of bridges
- 6.7 Vulnerability- and risk assessment of lifelines
- 6.8 Vulnerability- and risk assessment of industrial facilities
- 6.9 Vulnerability assessment of historical buildings
- 6.10 Response of hospital systems
- 6.11 Existing codes and regulations
- 6.12 Seismic assessment- and upgrading strategies – general
- 6.13 Use of GIS
- 6.14 Period elongation due to earthquake damage

4.2 AUS- UND WEITERBILDUNG DES ERFORDERLICHEN PERSONALS

Auf die große Bedeutung einer entsprechenden Aus- und Weiterbildung wurde bereits mehrfach verwiesen. Die dargestellte Untersuchungsmethode ist bereits sehr weit ausgereift, zur erfolgreichen Umsetzung ist jedoch ein entsprechend ausgebildetes Personal erforderlich (siehe Tabelle 1). Die Untersuchungen liefern Informationen und Daten, die aus Messungen und Berechnungen stammen. Der gesamte Vorgang kann und darf nicht vollständig automatisiert werden. Während der Durchführung ist mehrmals eine menschliche Interaktion erforderlich. Interpretationen auf Basis des Ingenieurverständes sind unabdingbar. Trotz aller high-tech – Unterstützung verbleibt somit eine große Verantwortung beim durchführenden Personal.

Das auszubildende Personal sollte bereits eine Grundausbildung auf den Gebieten Baudynamik und Erdbebeningenieurwesen besitzen. Mittelfristig wäre zu überlegen, ob eine zertifizierte Ausbildung organisiert werden kann, was jedenfalls sehr sinnvoll wäre.

Im Zuge des Projektes LESSLOSS/SP 5 wurde ein 2 – tägiger Training Workshop in Wien mit theoretischen und praktischen Ausbildungsteilen abgehalten. Die einzelnen Lehreinheiten entsprachen hierbei den in der Folge dargestellten Kapiteln des *European Assessment Manuals/ Teil I – Training*:

- 1. Introduction
- 2. Basic concepts and tools
- 3. Structural analysis
- 4. Testing methods and equipment for seismic assessment
- 5. Combining field tests and structural analysis
- 6. Codes on seismic assessment of existing structures
- 7. Seismic vulnerability assessment of existing structures
- 8. Pre – earthquake assessment – weak point determination
- 9. Post- earthquake building typification
- 10. Permanent monitoring

11. Practical application References

Der Training Workshop in Wien stellte einen Pilotversuch für die Ausbildung dar. Für eine reguläre Ausbildung sollten etwa 4 – 5 Tage zur Verfügung stehen.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es ist unbestritten, dass in den kommenden Jahrzehnten die Ermittlung des Erdbebenwiderstandes wichtiger bestehender Bauwerke sowie ggf. deren Ertüchtigung eine wesentliche Rolle spielen wird. Bei bestehenden Bauwerken hat man den Vorteil, dass Bauwerksparameter, insbesondere die dynamischen Parameter experimentell bestimmt und in den Untersuchungsprozess integriert werden können.

Insgesamt liegt eine weit ausgereifte Untersuchungsmethode vor, bei der aber menschliche Interaktionen und Beurteilungen gemäß dem Ingenieurverstand bewusst integriert sind. Die erzielten Daten und Informationen sind als Ergänzung zu den „klassischen“ visuellen Kontrollen, welche sicherlich immer ihren Stellenwert behalten werden, zu sehen. Durch die Verwendung von „high-tech tools“ kann jedoch eine maßgebliche Objektivierung der Ergebnisse erzielt werden.

Die Methode ist somit einsatzbereit und sollte so rasch wie möglich auch angewendet werden. Die Finanzierung des seismischen Assessments wichtiger bestehender Bauwerke muss im Wesentlichen über nationale und regionale Geldmittel erfolgen. Vorgaben seitens der EU wären jedoch wünschenswert, um der Sache mehr Nachdruck zu verleihen. Möglicherweise könnten mittelfristig auch Unterstützungen aus bestimmten EU – Fonds (z.B. Strukturfond, Kohäsionsfond, etc.) ermöglicht werden. Um das angestrebte Ziel zu erreichen, müssen die politisch Verantwortlichen, die Behörden und die Bauwerkseigentümer/ Bauwerkserhalter „EU – weit“ davon überzeugt werden, dass die Kontrolle und allfällige seismische Ertüchtigung wichtiger bestehender Bauwerke ein wichtiges und mit angemessenen Mitteln erreichbares Ziel darstellt. Vielfach ist den Verantwortlichen noch gar nicht bekannt, welche „high-tech – Werkzeuge“ heute bereits zur Verfügung stehen.

Es sei auch betont, dass sich Maßnahmen zur Erhöhung der Erdbebensicherheit meist sehr kostengünstig und effizient mit anderen erforderlichen Sanierungsarbeiten kombinieren lassen, falls die entsprechenden Spezialisten rechtzeitig beigezogen werden.

SCHRIFTENVERZEICHNIS

- Calvi, G.M., Pinho R., 2004. LESSLOSS – A European Integrated project on Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides. IUSS Press, Pavia Italy.
- Flesch, R., Lu S., Eusebio M., Campos Costa A., 2006. In-situ Assessment of Important Existing Structures – IP LESSLOSS S/ Sub Project 5 – A Progress Report. Proceedings 1st ECEES 2006.
- Flesch, R., Suikai, Lu, Ralbovsky, M., Köllner, W., Graf, H., 2004. Assessment der Erdbebensicherheit von bestehenden Krankenhäusern in den Österreichischen Erdbebenzonen 3 und 4. Bauingenieur Jg.: 79, Nr.9, 2004.