

BAUWERKSDYNAMIK

Theorie und Praxis

Univ. Prof. DI. Dr.techn. Rainer FLESCH
arsenal research und TU – Graz

ZIEGLER CONSULTANTS

10. Symposium: Bauwerksdynamik und Erschütterungsmessungen
EMPA-Dübendorf, Fr. 8. Juni 2007

INHALT

1. Einleitung
2. Antwortspektrumverfahren
3. Verhaltensbeiwerte und Kapazitätsbemessung
4. Rechenbeispiele zum Eurocode 8
5. Übersicht über Tätigkeiten der Gruppe Dynamik
6. IP LESSLOSS/ SP5
7. Beispiele: Untersuchung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke
8. Beispiel Variantenstudie Eisenbahnbrücke hinsichtlich Körperschall/ sekundärer Luftschall

1. Einleitung

BAUDYNAMIK

GLIEDERUNG gemäß **Flesch R.: Baudynamik – praxisgerecht Bd.1**

1. Schwingungslehre
2. Dynamische Lasten und Auswirkungen
3. Berechnungsverfahren I
4. Experimentelle Methoden
5. Dynamische Eigenschaften von Baumaterialien
6. Bodendynamik
7. Erdbebeningenieurwesen
8. Maßnahmen zur Herabsetzung der Schwingungsbeanspruchung

BAUDYNAMIK (2)

9. Schwingungsprobleme von Hochbauten
10. Schwingungsprobleme von Brücken
11. Schwingungsprobleme von Talsperren
12. Schwingungsprobleme im Eisenbahnwesen
13. Schwingungsprobleme von Industrieanlagen, Rohrleitungen, Tunnels und Kraftwerken
14. Schwingungsgefährdung von Altbauten- Verstärkungs- und Reparaturmaßnahmen
15. Berechnungsverfahren II
16. Systemidentifikation

BAUDYNAMIK

SPEZIALITÄT von arsenal research:

- **dynamische in-situ Untersuchungen** an bestehenden Bauwerken; experimentelle Bestimmung von Eigenfrequenzen, Eigenformen und modalen Dämpfungszahlen
- **FE – Modellierungen**
- **„model – updating“**: Anpassung der FE- Modelle an die gemessenen Werte
- **Nachweise** unter Verwendung der derart ermittelten, realitätsnahen Modelle
- daraus auch **Erkenntnisse** für Modellierung und Berechnung von **neuen Bauwerken/ Strukturen**

2. Antwortspektrumverfahren

EN 1998-1: 2005 Auswirkung der konstruktiven Regelmäßigkeit auf die Erdbebenberechnung und -auslegung

Regelmäßig		Zulässige Vereinfachung		Verhaltensfaktor q
Grundriss	Aufriss	Modell	Analyse	(für lineare Analyse)
Ja	Ja	eben	Vereinfacht (VASV) a)	Referenzwert
Ja	Nein	eben	Multimodal (MASV)	abgemindert
Nein	Ja	Räumlich, (ev. 2 x eben b), c))	Vereinfacht (VASV) a)	Referenzwert
Nein	Nein	räumlich, (ev. 2 x eben c))	Multimodal (MASV)	abgemindert

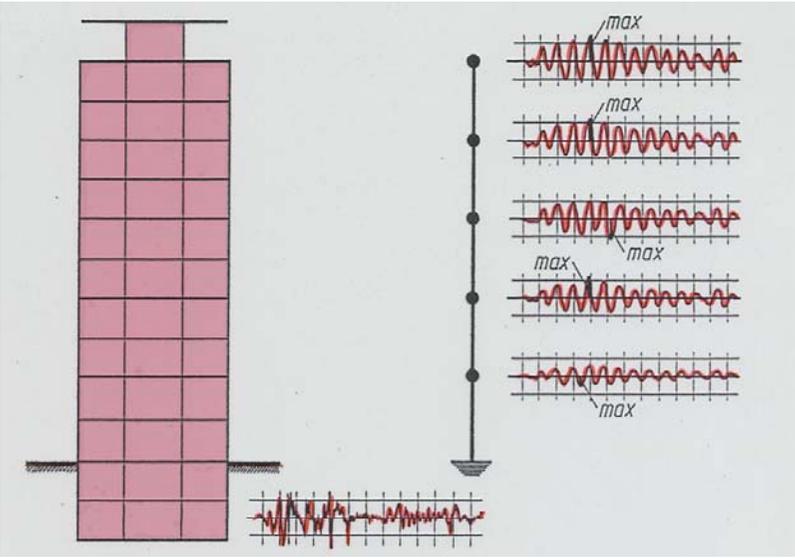
- a)** Falls die Bedingung 4.3.3.2.1(2)a) ebenfalls erfüllt ist
- b)** Unter den besonderen Bedingungen von 4.3.3.1(8) darf ein eigenes ebenes Modell in jeder der beiden Horizontalrichtungen verwendet werden, gemäß 4.3.3.1(8).
- c)** Bei Vorliegen einer „geringen Seismizität“ gemäß ÖNORM B 1998-1:2006, Abschnitt 4.4(5)

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{u}_1 + \sum_{j=1}^n c_{1j} \dot{u}_j + \sum_{j=1}^n k_{1j} u_j &= p_1(t) \\
 m_2 \ddot{u}_2 + \sum_{j=1}^n c_{2j} \dot{u}_j + \sum_{j=1}^n k_{2j} u_j &= p_2(t) \\
 \vdots & \\
 m_n \ddot{u}_n + \sum_{j=1}^n c_{nj} \dot{u}_j + \sum_{j=1}^n k_{nj} u_j &= p_n(t)
 \end{aligned}$$

$$[M] \{\ddot{U}\} + [C] \{\dot{U}\} + [K] \{U\} = \{P(t)\} \tag{1.52}$$

gebracht werden. Hierin bedeuten

- $[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & m_n \end{bmatrix}$... Massenmatrix (Diagonalmatrix)
- $[K] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix}$... Steifigkeitsmatrix (symmetrisch in Bezug auf die Hauptdiagonale $k_{rj} = k_{jr}$)
- $[C] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}$... Dämpfungsmatrix
- $\{U\} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix}, \quad \{\dot{U}\} = \begin{bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \vdots \\ \dot{u}_n \end{bmatrix}, \quad \{\ddot{U}\} = \begin{bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \vdots \\ \ddot{u}_n \end{bmatrix}, \quad \dots$ Bewegungsvektoren



$$\{P(t)\} = - [M] \{\bar{I}\} \ddot{u}_b(t)$$

Iterative Lösung der gekoppelten Differentialgleichungen

STEP-BY-STEP INTEGRATION

EIGENWERTBERECHNUNG

entkoppelte Differentialgleichungen

Orthogonalitätsbedingungen

$$\{\psi_i\}^T [M] \{\psi_j\} = 0 \quad \text{für } i \neq j$$

$$\{\psi_i\}^T [K] \{\psi_j\} = 0 \quad \text{für } i \neq j$$

Generalisierte Größen

$$M_i^* = \{\psi_i\}^T [M] \{\psi_i\} \quad \dots \text{generalisierte Masse}$$

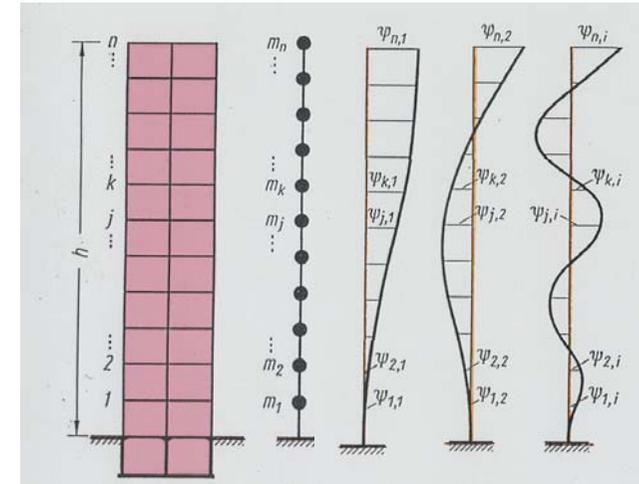
$$C_i^* = \{\psi_i\}^T [C] \{\psi_i\} \quad \dots \text{generalisierte Dämpfung}$$

$$K_i^* = \{\psi_i\}^T [K] \{\psi_i\} \quad \dots \text{generalisierte Steifigkeit}$$

$$P_i^*(t) = \{\psi_i\}^T \{P(t)\} \quad \dots \text{generalisierte Last}$$

$$P_i^*(t) = - \{\psi_i\}^T [M] \{\bar{l}\} \ddot{u}_b(t) = - \alpha_i \ddot{u}_b(t)$$

$$T_i = 1/f_i = 2\pi/\omega_i$$



$$\{\psi_i\}^T [M] \{\psi_j\} \ddot{Y}_i + \{\psi_i\}^T [C] \{\psi_j\} \dot{Y}_i + \{\psi_i\}^T [K] \{\psi_j\} Y_i = \{\psi_i\}^T \{P(t)\}.$$

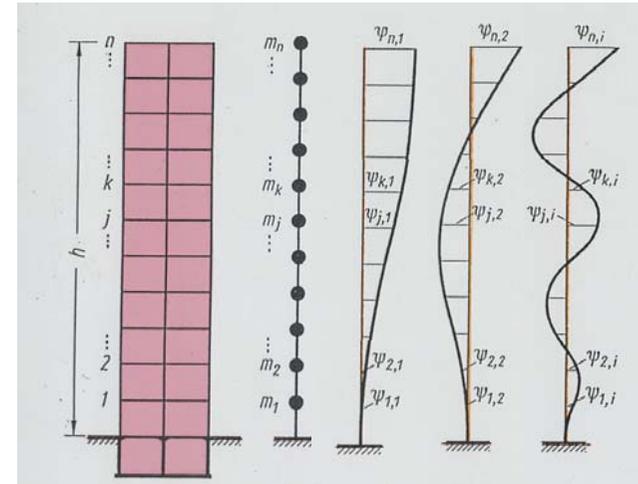
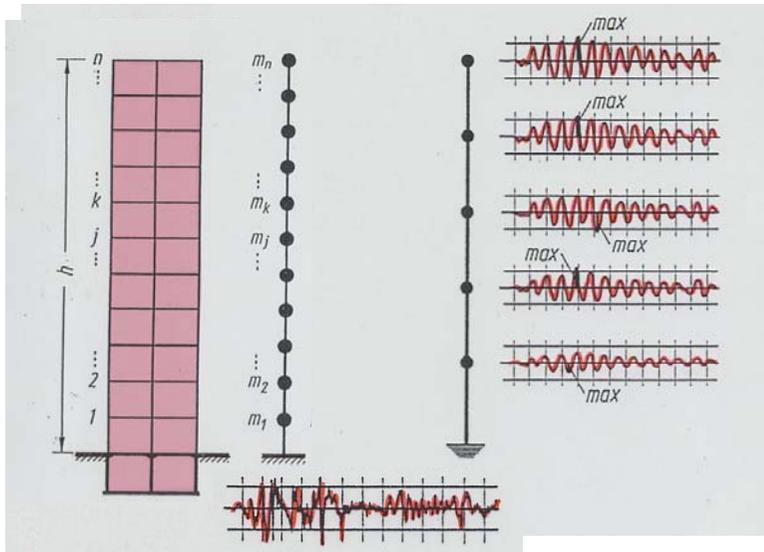
$$M_i^* \ddot{Y}_i + C_i^* \dot{Y}_i + K_i^* Y_i = P_i^*(t)$$

bzw.

$$\ddot{Y}_i + 2\xi_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = \frac{P_i^*(t)}{M_i^*}$$

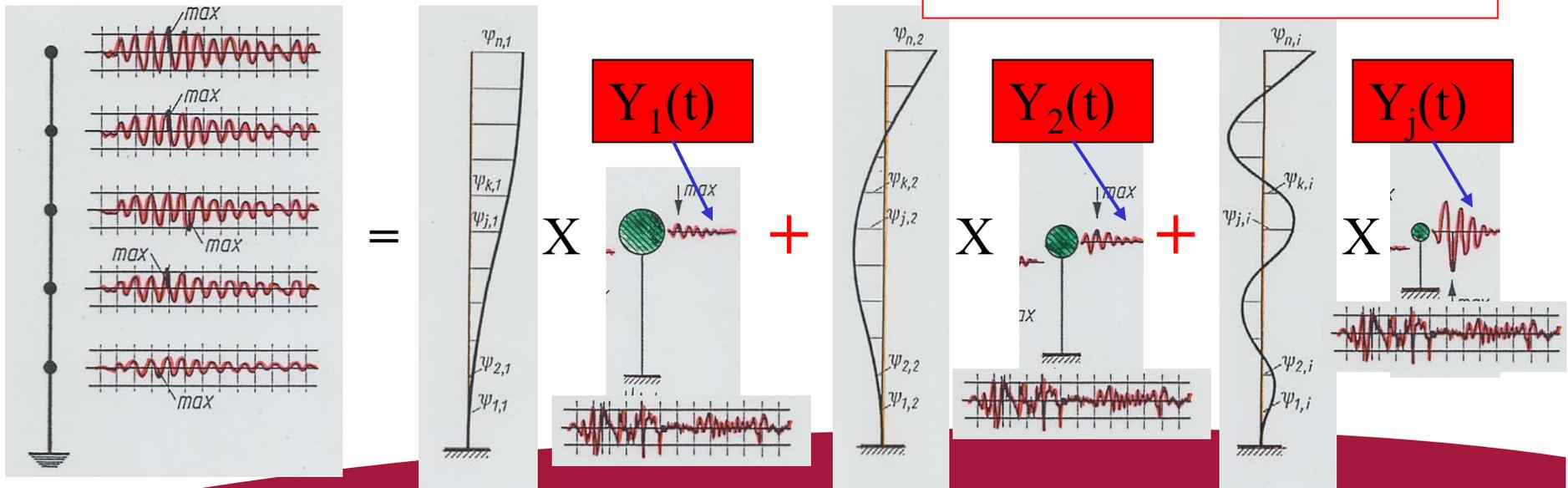
Modaler Anteil der Erdbebenlast:

$$H_{j,i} = m_j \psi_{j,i} \frac{\alpha_i}{M_i^*} S_a(\omega_i, \xi_i).$$

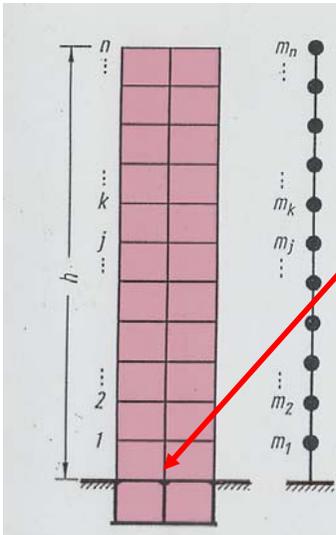


Modale Lösung der Bewegungsgleichungen

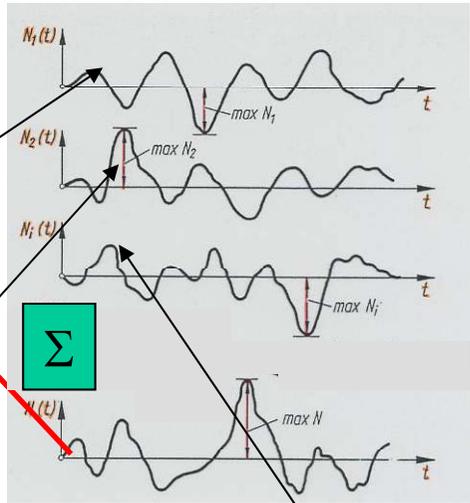
$$\{U(t)\} = \sum_{i=1}^n \{\psi_i\} Y_i(t) = [\psi] \{Y(t)\} .$$



Modale Lösung der Bewegungsgleichungen



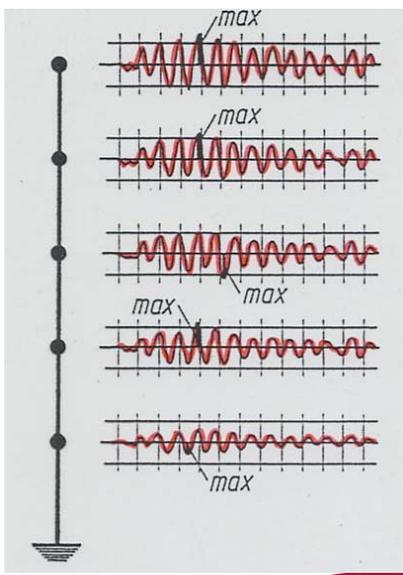
Biegemoment [kNm]



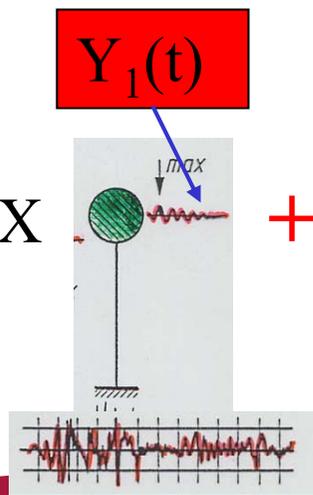
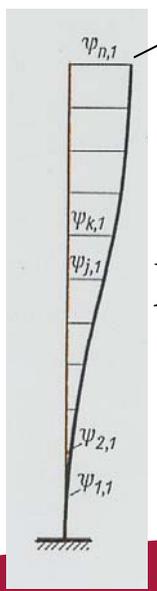
$$\{N_1\} = [K]\{U_1\}$$

$$\{N_2\} = [K]\{U_2\}$$

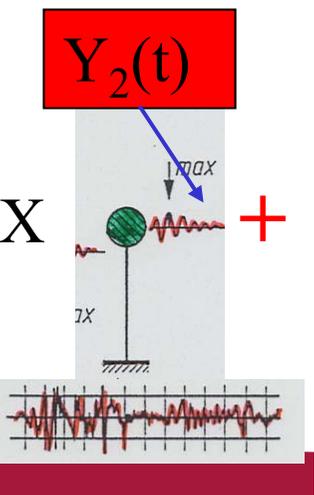
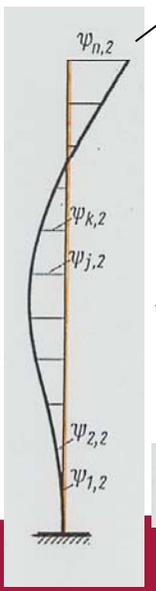
$$\{N_j\} = [K]\{U_j\}$$



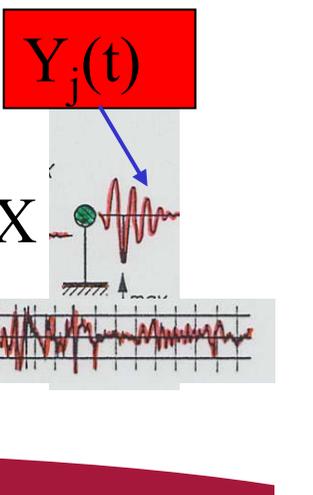
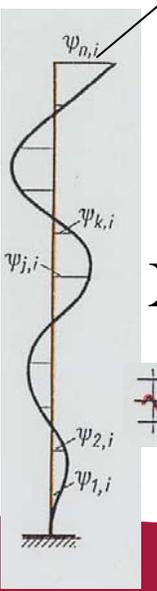
=



+

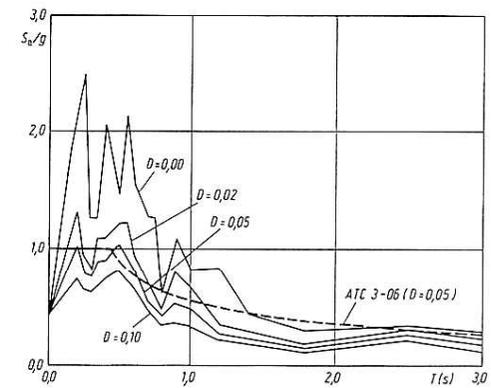
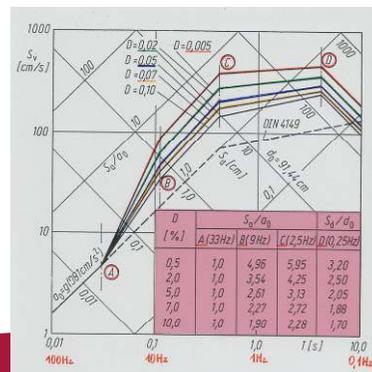
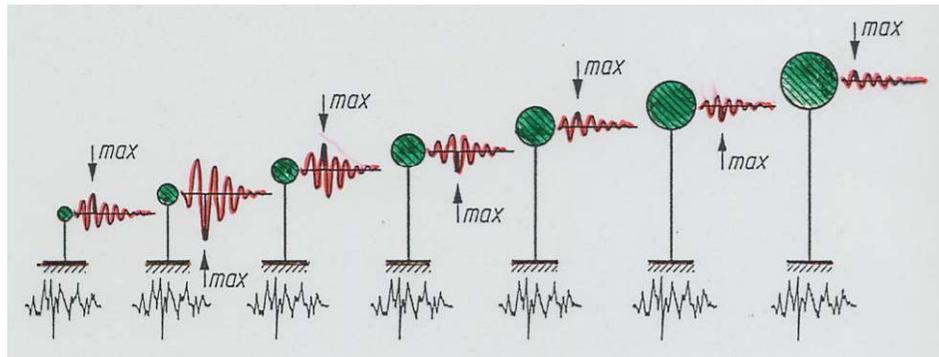
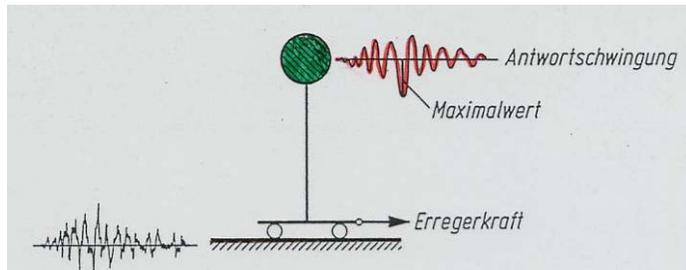


+



Verkehrswege

BERECHNUNG ANTWORTSPEKTRUM



ch
enters

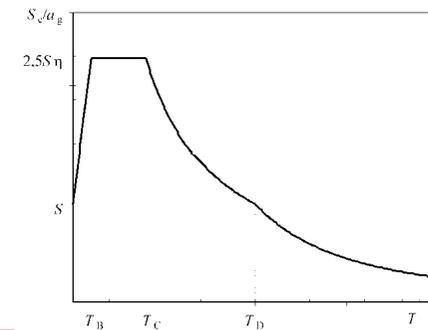
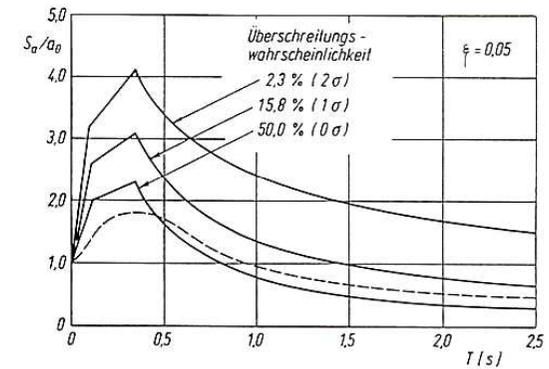
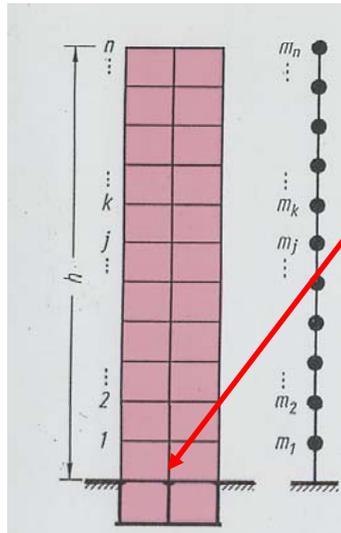


Figure 3.1: Shape of elastic response spectrum

ANWENDUNG ANTWORTSPEKTRUM



Biegemoment
[kNm]

SRSS:

$$N = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2}$$

CQC:

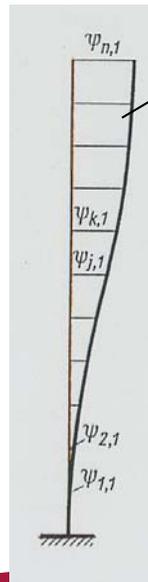
$$N = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n N_i \rho_{ij} N_j} \quad \text{für alle } i \text{ und } j.$$

$$\{N_1\} = [K] \{U_1\}$$

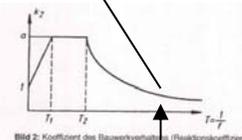
$$\{N_2\} = [K] \{U_2\}$$

$$[K] \{U_j\}$$

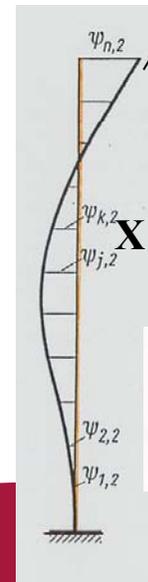
$$\max Y_i(t) = \frac{\alpha_i}{M_i^* \omega_i^2} S_a(\omega_i, \xi_i)$$



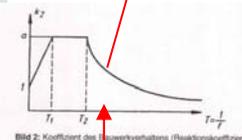
$\times \max Y_1(t)$



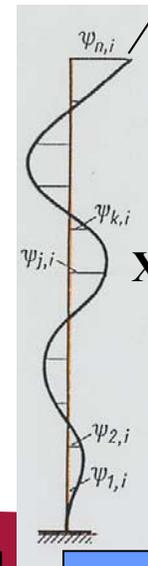
$$T_1 = 2\pi/\omega_1$$



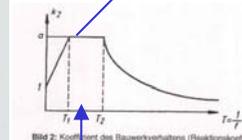
$\times \max Y_2(t)$



$$T_2 = 2\pi/\omega_2$$



$\times \max Y_j(t)$



$$T_j = 2\pi/\omega_j$$

erswege

EN 1998-1:2005 Grundlegende Darstellung der Erdbebeneinwirkung

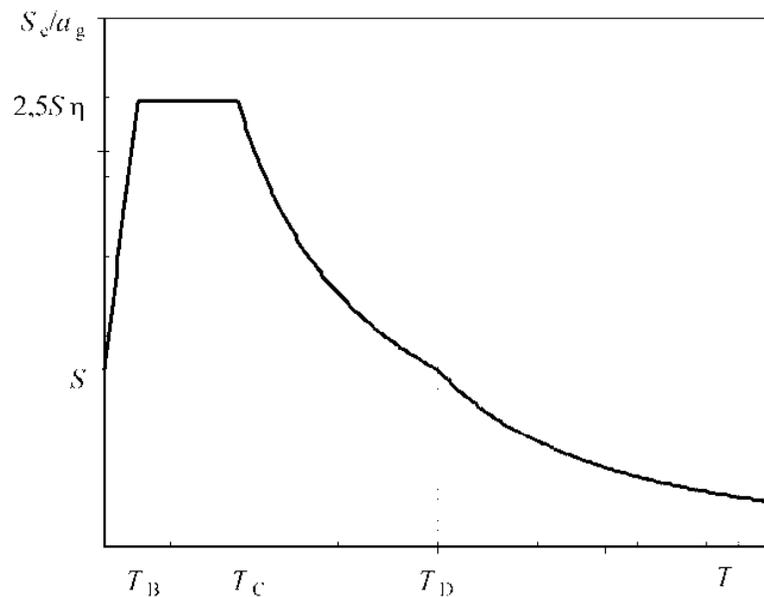


Figure 3.1: Shape of elastic response spectrum

- Horizontales elastisches Antwortspektrum (EN 1998-1:2005, Abschnitt 3.2.2.2), für **5% Dämpfung**, Umrechnung auf andere Dämpfung über η
- Vertikales elastisches Antwortspektrum (EN 1998-1:2005, Abschnitt 3.2.2.3)
- **Bemessungsspektrum für lineare Berechnung, Verhaltensbeiwert q** (EN 1998-1:2005, Abschnitt 3.2.2.5)

in Österreich: nur Typ 1 Antwortspektren!

Table 3.2: Values of the parameters describing the recommended Type 1 elastic response spectrum

Ground type	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Grundlegende Darstellung der Erdbebeneinwirkung

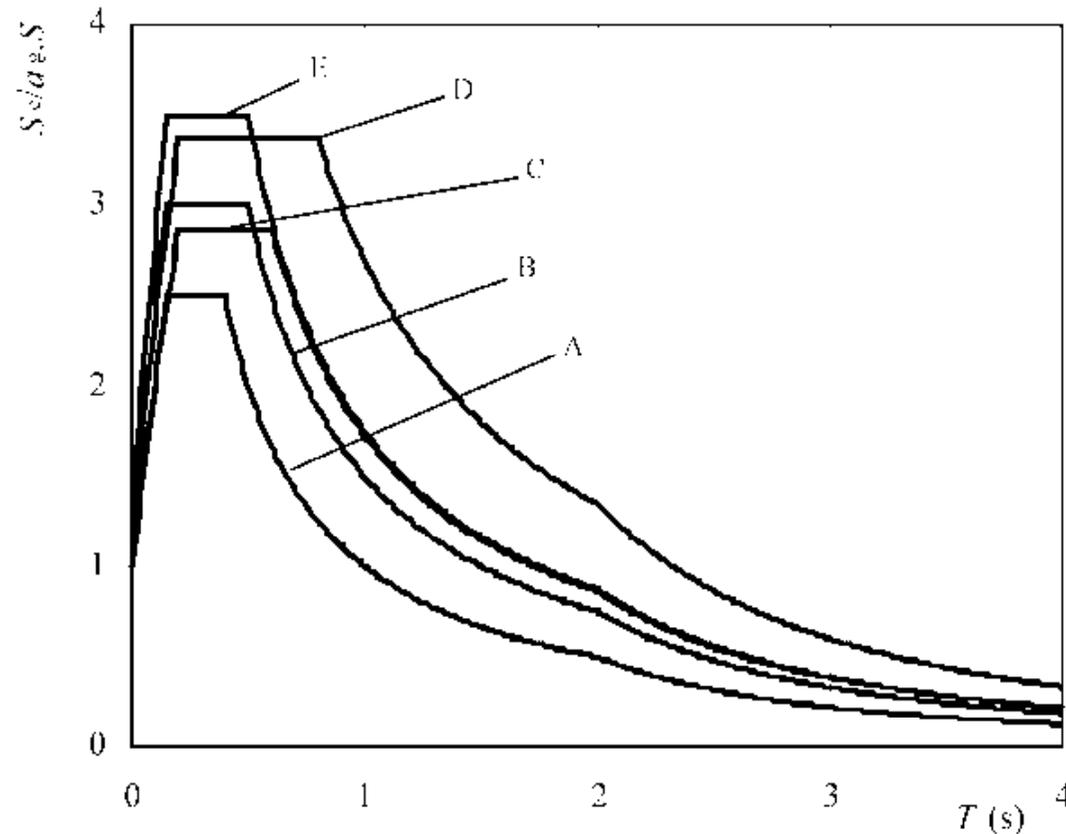


Figure 3.2: Recommended Type 1 elastic response spectrum for ground types A to E (5% damping)

Grundlegende Darstellung der Erdbeebeeinwirkung

Bemessungsspektrum für lineare Berechnung

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (3.13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (3.14)$$

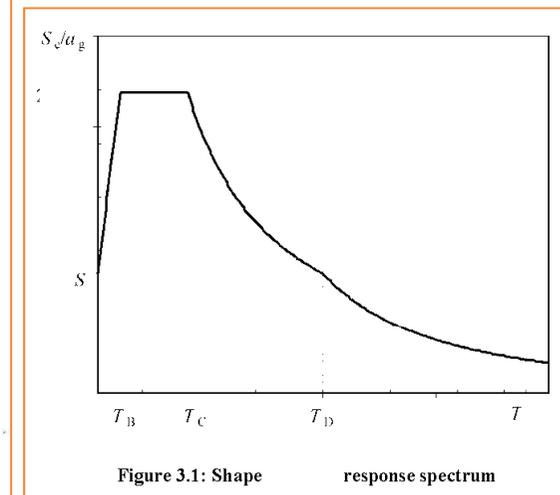
$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.15)$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (3.16)$$

mit a_g , S , T_C und T_D wie in 3.2.2.2 definiert;

$S_d(T)$ als Ordinate des Bemessungsspektrums;

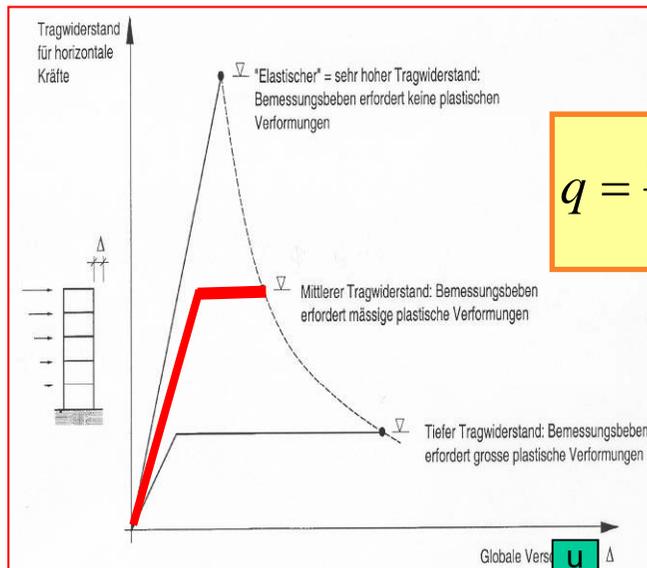
q als Verhaltensbeiwert;



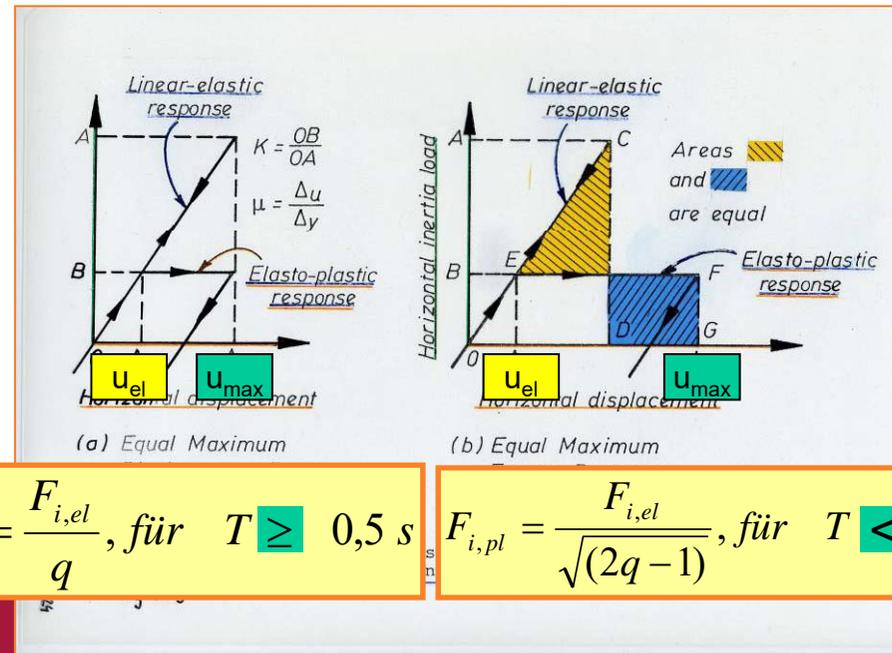
3. Verhaltensbeiwerte und Kapazitätsbemessung

Verhaltensbeiwert „q“

Beiwert, der bei der Bemessung zur **Reduzierung** der durch lineare Berechnung ermittelten Kräfte verwendet wird, um der **nichtlinearen Antwort** eines Tragwerks in Abhängigkeit von Baustoff, Tragsystem und dem verwendeten Bemessungsverfahren Rechnung zu tragen.



$$q = \frac{u_{\max}}{u_{el}}$$

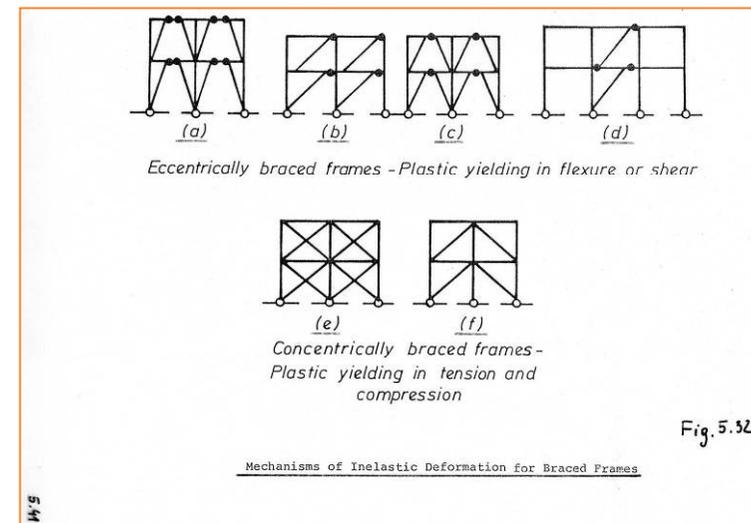
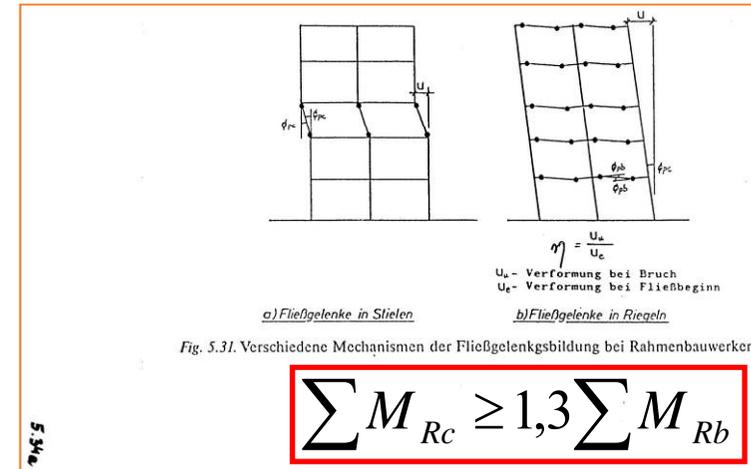


$$F_{i,pl} = \frac{F_{i,el}}{q}, \text{ für } T \geq 0,5 \text{ s}$$

$$F_{i,pl} = \frac{F_{i,el}}{\sqrt{(2q-1)}}, \text{ für } T < 0,5 \text{ s}$$

Kapazitätsbemessungsverfahren

Bemessungsverfahren, bei dem **Teile des Tragsystems** ausgewählt und in geeigneter Weise für die Energiedissipation unter großen Verformungen bemessen und **konstruktiv** durchgebildet werden, während für **alle anderen tragenden Teile** eine ausreichende Festigkeit vorzusehen ist, damit die gewählten Energiedissipations-mechanismen erhalten bleiben.



Dissipatives Tragwerk

Tragwerk, das in der Lage ist, durch **duktiler hysteretisches Verhalten** und/ oder auf andere Art und Weise Energie zu dissipieren. Stufen: **DCM, DCH.**

Dissipative Bereiche (kritische Bereiche)

Vorher festgelegte Teile eines dissipativen Tragwerks, in denen sich die Fähigkeit zur Energiedissipation vorwiegend konzentriert.

Nichtdissipatives Tragwerk

Tragwerk, das für eine bestimmte Erdbeben – Bemessungssituation ohne Berücksichtigung des nichtlinearen Werkstoffverhaltens bemessen ist.

Niedrig –dissipative Tragwerke (DCL):

$$q = 1,5 - 2,0$$

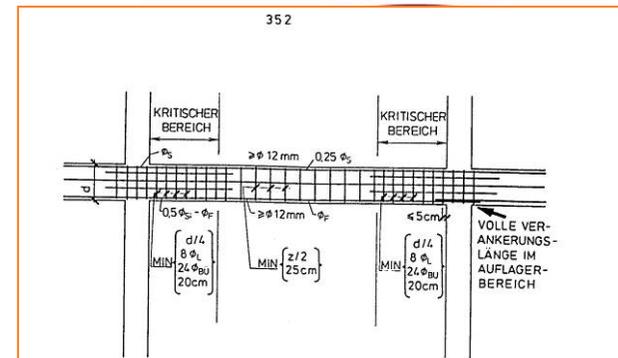


Fig.9.13 Bewehrung eines Trägers mit erhöhter Duktilität (nach Fritze [9.24])

$$\sum M_{Rc} \geq 1,3 \sum M_{Rb}$$

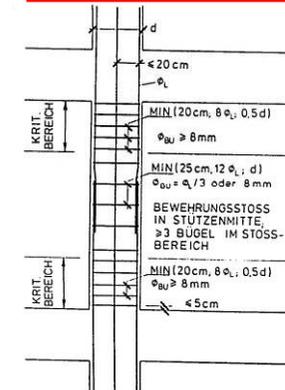
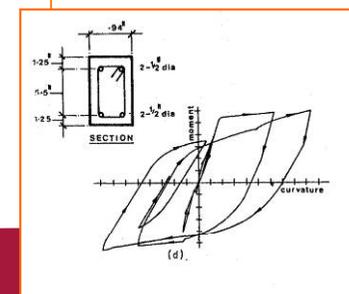
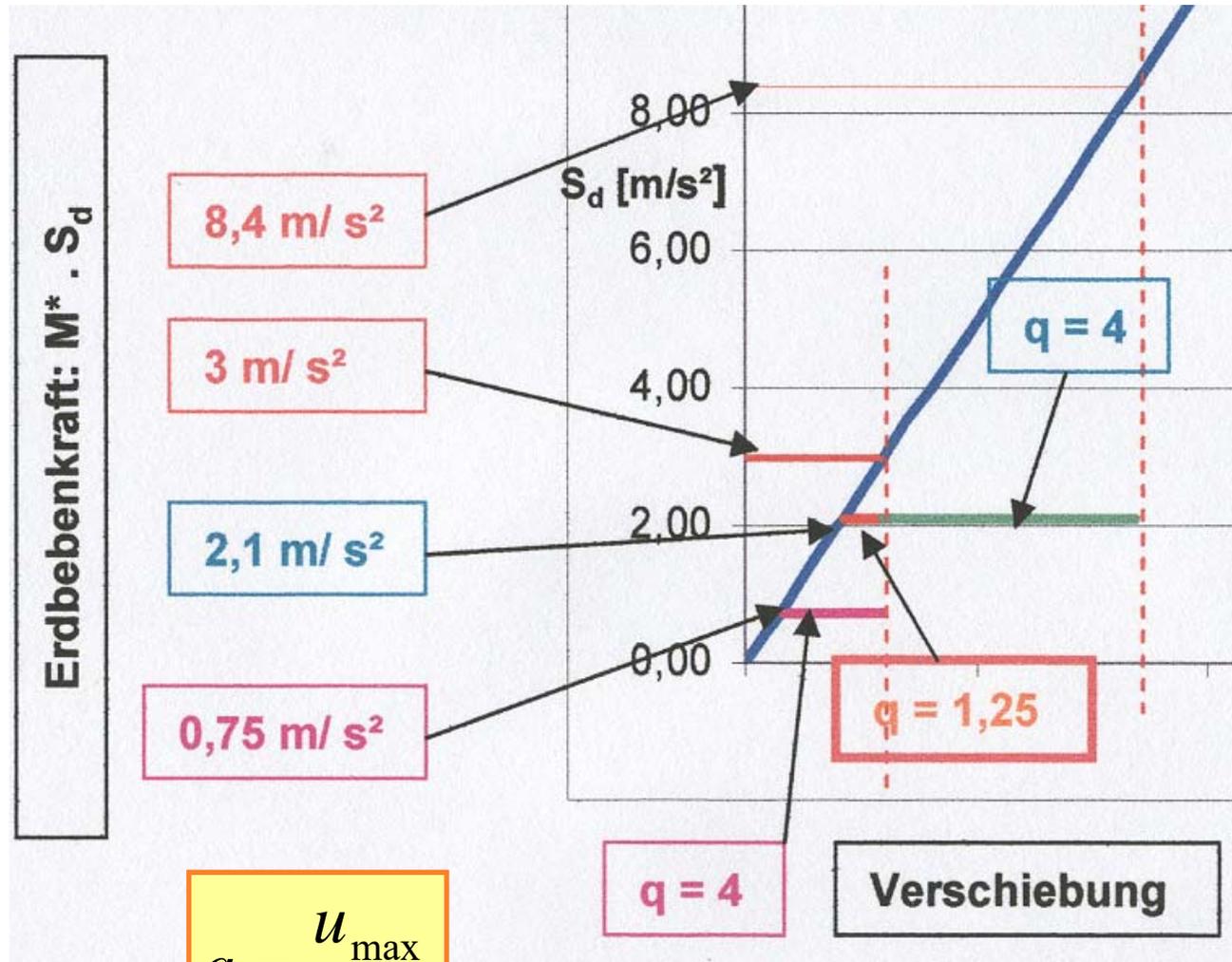


Fig.9.14 Bewehrung einer Stütze mit erhöhter Duktilität (nach Fritze [9.24])



9.21

Globale Duktilität

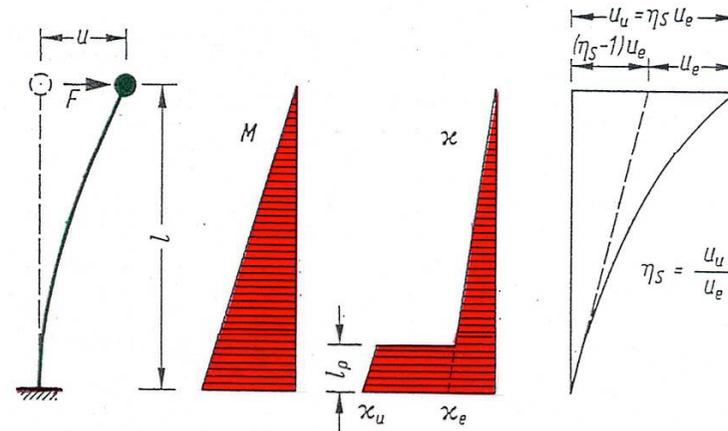


$$q = \frac{u_{\max}}{u_{el}}$$

$$F_{i,pl} = \frac{F_{i,el}}{q}, \text{ für } T \geq 0,5 s$$

Globale und örtliche Duktilität

- Verschiebungsduktilität
- Krümmungsduktilität
- Rotation Fließgelenk;
Sehnenverdrehung;
Sekantendrehung



$$\Omega_i = M_{pl,Rd,i} / M_{Ed,i}$$

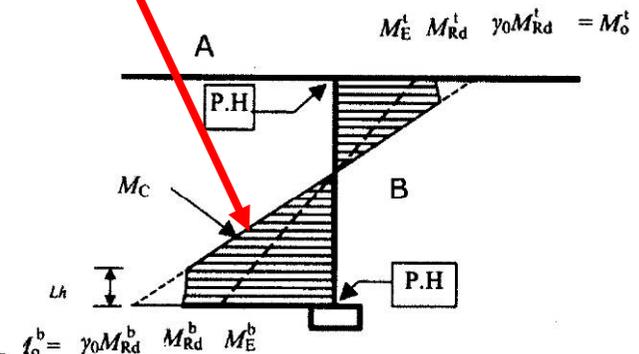
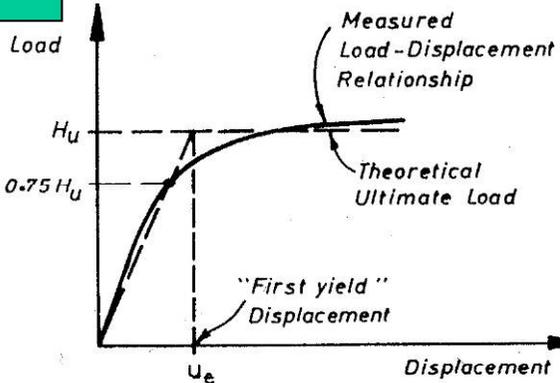
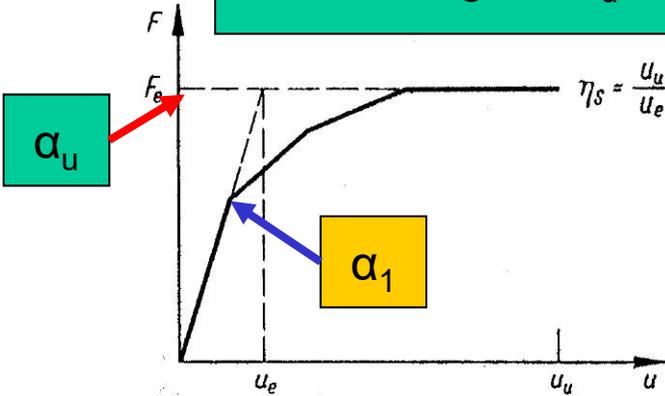
Kapazitätsbemessung

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$

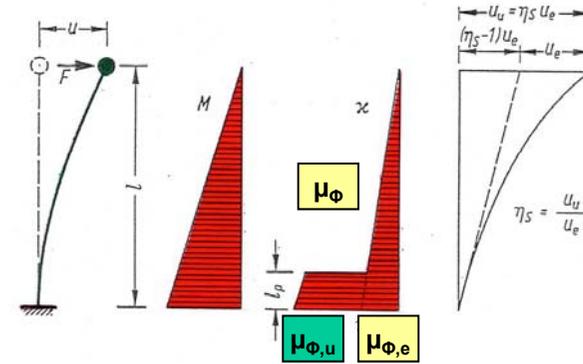
$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

Überfestigkeit α_u / α_1



Globale und örtliche Duktilität



ÖNORM EN 1998-1: 2005,
Abschnitt 5.2.3.4(3)

Krümmungsduktilität μ_ϕ

$$\mu_\phi = 2q_0 - 1 \quad \text{bei } T_1 \geq T_c \quad (5.4)$$

$$\mu_\phi = 1 + 2(q_0 - 1) \frac{T_c}{T_1} \quad \text{bei } T_1 < T_c \quad (5.5)$$

ÖNORM EN 1998-2: 2006,
Anhang B

identisch für:
 $T_1 = T_c$
 $\lambda = 0,184 L$

$$\mu_\phi = 1 + \frac{(q_0 - 1)}{3\lambda(1 - 0,5\lambda)} \quad (B.1)$$

Krümmungsduktilität μ_ϕ
Duktile Wände (Abschnitt 5.4.3.4.2(2))

$$\mu_\phi = 2q_0 \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} - 1 \quad \text{bei } T_1 \geq T_c \quad (5.4)$$

$$\mu_\phi = 1 + 2(q_0 \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} - 1) \frac{T_c}{T_1} \quad \text{bei } T_1 < T_c \quad (5.5)$$

$$\lambda = \frac{l_P}{L}$$

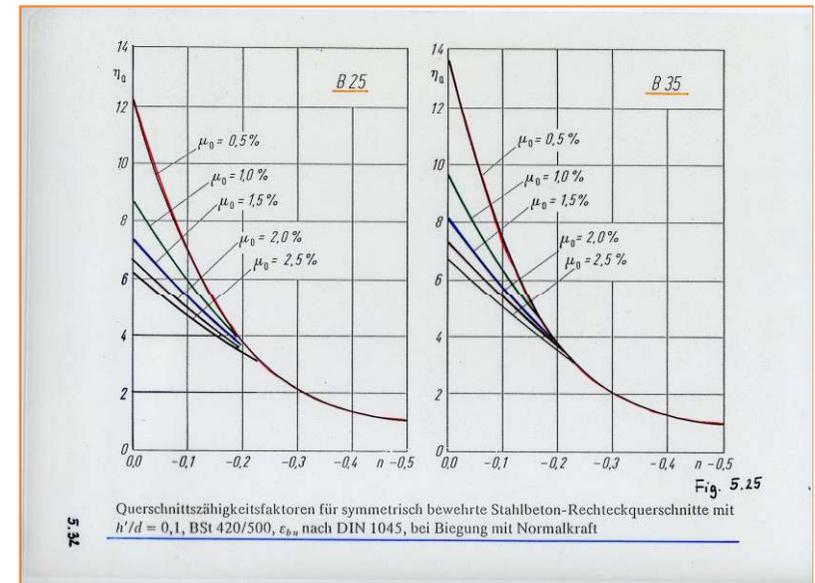
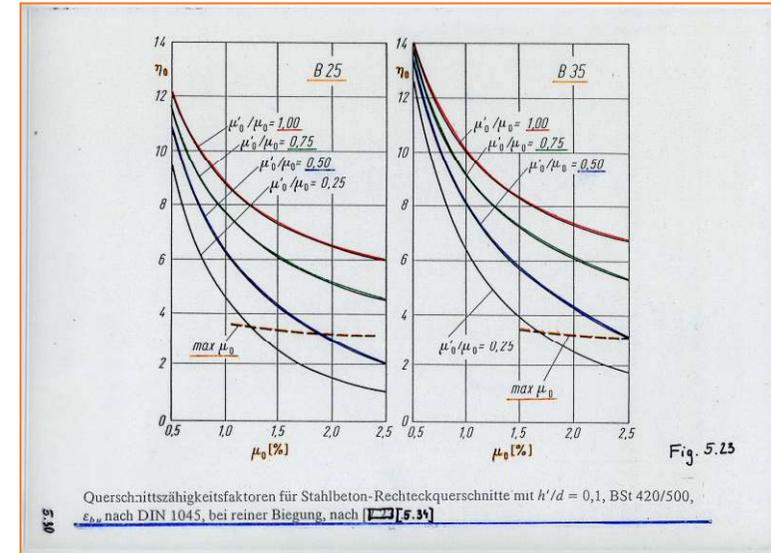
5.23

Örtliche Duktilität

z.B. Duktilität von Stahlbeton – Rechteckquer-schnitten:

– Höhere Duktilität erzielbar durch:

- > Erhöhung der Betongüte (ϵ_{bu})
- > Reduzierung des Bewehrungsgrades der Zugbewehrung
- > Erhöhung des Bewehrungsgrades der Druckbewehrung
- > Reduzierung der bezogenen Normalkraft
- > Umschnürung der Betondruckzone (Bügelbewehrung)
- > Verbreiterung der Betondruckzone (Platten- oder I – Querschnitt)
- > Reduzierung Fließspannung („schlechtere“ Stahlqualität)



Überfestigkeitsbeiwerte

Überfestigkeitswerte in EN 1998-1: 2005

– $f_{yk0,05}$; $f_{yk0,5}$; $f_{yk0,95}$; $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$; Überfestigkeitsbeiwert γ_{ov} (siehe Abschnitt 6.2(3)) im Zusammenhang mit Kapazitätsbemessung.
Resultiert aus der tatsächlichen Materialfestigkeit.

– α_u / α_1

α_1 ...Multiplikator für seismische Einwirkung. Bei dieser Einwirkung wird erstmals irgendwo im Tragwerk die Biegefestigkeit erreicht

α_u ...Multiplikator für seismische Einwirkung. Bei dieser Einwirkung tritt ein globales Tragwerksversagen auf

Resultiert aus Vereinfachung eines realen Systems durch einen nichtlinearen Einmassenschwinger

Gründe für die Überfestigkeit

- tatsächliche Materialfestigkeit meist höher als die geforderten Minimalwerte
- Zugverfestigung der Bewehrung wird häufig nicht berücksichtigt
- Nachhärten des Betons wird nicht berücksichtigt
- festigkeitserhöhende Wirkung der Bügelbewehrung wird meist nicht in Rechnung gestellt
- effektive Bewehrungsgrade > als erforderliche Bewehrungsgrade
- Unterschätzung der Steifigkeiten; tatsächlich mitwirkende Bauteile; Steifigkeit sekundärer Elemente
- räumliche Tragwirkung
- Teilsicherheitsbeiwerte
- ⇒ in Literatur: Gesamt-Überfestigkeitsfaktoren $\Phi_0 = 1,5 - 2,0$ (3,0)

Kapazitätsbemessung

(4) Für die Gründungen einzelner vertikaler Bauteile (Wände oder Stützen) ist (2)P in diesem Unterabschnitt als erfüllt anzusehen, wenn die Bemessungswerte der Beanspruchungsgrößen E_{Fd} für die Gründung wie folgt hergeleitet werden:

$$E_{Fd} = E_{F,G} + \gamma_{Rd} \Omega E_{F,E} \quad (4.30)$$

mit

γ_{Rd} als Überfestigkeitsbeiwert, gleich 1,0 für $q \leq 3$, sonst gleich 1,2;

$E_{F,G}$ als Beanspruchungsgrößen infolge nichtseismischer Einwirkungen, die in der Zusammenstellung der Einwirkungen für die Erdbeben-Bemessungssituation enthalten sind (siehe EN 1990:2002, 6.4.3.4);

$E_{F,E}$ als Beanspruchungsgrößen aus der Berechnung für die Erdbeben-Bemessungseinwirkung; und

Ω als Wert von $(R_{di}/E_{di}) < q$ des dissipativen Bereiches oder Bauteils i des Tragwerks mit dem größten Einfluss auf die betrachtete Beanspruchungsgröße E_F ; mit

R_{di} als Bemessungsbeanspruchbarkeit des Bereichs oder des Bauteils i ; und

E_{di} als Bemessungswert der Beanspruchungsgröße des Bereichs oder Bauteils i für die Erdbeben-Bemessungssituation.

Kapazitätsbemessung

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (6.2)$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 0,15 \quad (6.3)$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5 \quad (6.4)$$

hierbei sind:

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + V_{Ed,M} ; \quad (6.5)$$

N_{Ed} Bemessungsnormalkraft;

M_{Ed} Bemessungsbiegemoment;

V_{Ed} Bemessungsquerkraft;

$N_{pl,Rd}$, $M_{pl,Rd}$, $V_{pl,Rd}$ Bemessungswerte der Tragfähigkeit gemäß EN 1993;

$V_{Ed,G}$ Bemessungswert der Querkraft aus nicht-seismischen Einwirkungen;

$V_{Ed,M}$ Bemessungswert der Querkraft infolge der an den Trägerenden A und B mit entgegengesetzten Vorzeichen angesetzten plastischen Momente $M_{pl,Rd,A}$ und $M_{pl,Rd,B}$.

ANMERKUNG: $V_{Ed,M} = (M_{pl,Rd,A} + M_{pl,Rd,B})/L$ ist die ungünstigste Bedingung, die einem Träger der Länge L mit dissipativen Zonen an beiden Enden entspricht.

Kapazitätsbemessung

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega N_{Ed,E}$$
$$M_{Ed} = M_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega M_{Ed,E}$$
$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1\gamma_{ov} \Omega V_{Ed,E}$$

$N_{Ed,G}$ ($M_{Ed,G}$, $V_{Ed,G}$) Normalkraft (beziehungsweise Biegemoment und Querkraft) in der Stütze infolge nichtseismischer Einwirkungen, in der für die Erdbeben-Bemessungssituation maßgebenden Einwirkungskombination;

$N_{Ed,E}$ ($M_{Ed,E}$, $V_{Ed,E}$) Normalkraft (beziehungsweise Biegemoment und Querkraft) in der Stütze infolge des Bemessungswertes der seismischen Einwirkungen;

γ_{ov} Überfestigkeitsbeiwert (siehe 6.1.3(2) and 6.2(3))

Ω der kleinste der Werte $\Omega_i = M_{pl,Rd,i}/M_{Ed,i}$ aller Träger mit dissipativen Bereichen; $M_{Ed,i}$ ist das Bemessungsmoment i in der Erdbeben-Bemessungssituation und $M_{pl,Rd,i}$ ist die zugehörige plastische Biegetragfähigkeit.

4. Rechenbeispiele zum Eurocode 8

Genauigkeitsanforderungen bei Modellbildung

Erkenntnisse aus Erarbeitung Rechenbeispiele

– Kosten – Nutzen – Überlegungen **ebenes Modell** ggü. **räumliches Modell**:

- > **großer händischer Rechenaufwand** bei ebenen Modellen zur Ermittlung der Regelmäßigkeit im Grundriss sowie für die näherungsweise Berücksichtigung der Torsionswirkung
- > bei ebenen Modellen: Ist Mitberücksichtigung von Wandscheiben quer zur Einwirkungsrichtung (Gurte; **Bestimmung mitwirkender Breiten**) sinnvoll? Bei Erarbeitung des Rechenbeispiels wurde bezüglich der mitwirkenden Breiten ein großer Aufwand betrieben. Und letztlich nimmt man dann einfach **50% der Steifigkeit** zur Berücksichtigung des gerissenen Zustandes!

Genauigkeitsanforderungen bei Modellbildung

- Wann ist eine möglichst genaue Steifigkeitsermittlung zur **Berechnung der Eigenperioden** sinnvoll?
- Führt die Berücksichtigung von mitwirkenden Breiten bei ebenen Modellen zu einer **realistischeren Lastaufteilung** auf die einzelnen Wandscheiben?
- Bei welchen Bauwerken ist die **elastische Steifigkeit** überhaupt für die Lastaufteilung relevant?
- Modellierung als Scheibe bzw. Rahmen
- Beim Nachweis der Standsicherheit von Mauerwerksbauten sind die **Beanspruchbarkeiten** für die Lastaufteilungen maßgeblich. Streng genommen ist ein (einfaches) nichtlineares Berechnungsverfahren nötig, welches aber durch die Verwendung **abgesicherter Verhaltensbeiwerte** ersetzt werden kann.

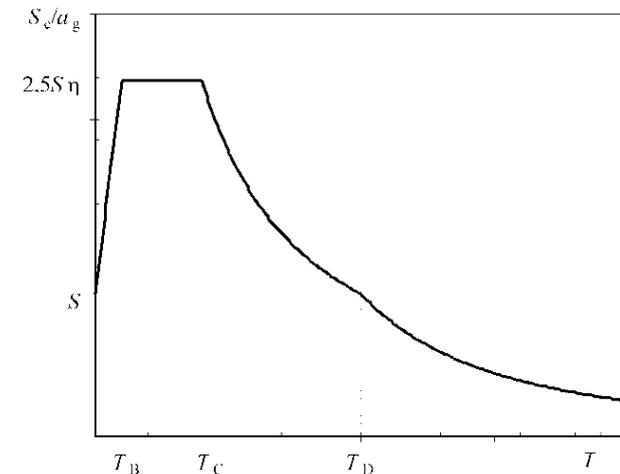


Figure 3.1: Shape of elastic response spectrum

6. Übersicht über Tätigkeiten der Gruppe Dynamik

Sicherheit und Umweltverträglichkeit von Verkehrsinfrastruktur

- Sicherheit:
 - **Sicherheit** bestehender Bauwerke, z.B. Erdbebensicherheit
 - Früherkennung von progressiven **Tragwerksschäden**
- Umweltverträglichkeit:
 - Erschütterungsschutz, insb. Eisenbahn (**Komfortthema** für Anrainer)
- Anwendungsarten:
 - Dauerüberwachung (**installiertes Monitoringsystem**)
 - Zustandsermittlung (Messung zu bestimmten Zeitpunkt, ev. Wiederholung in bestimmten Zeitabständen; „**Assessment**“)

- **Begriffe:**

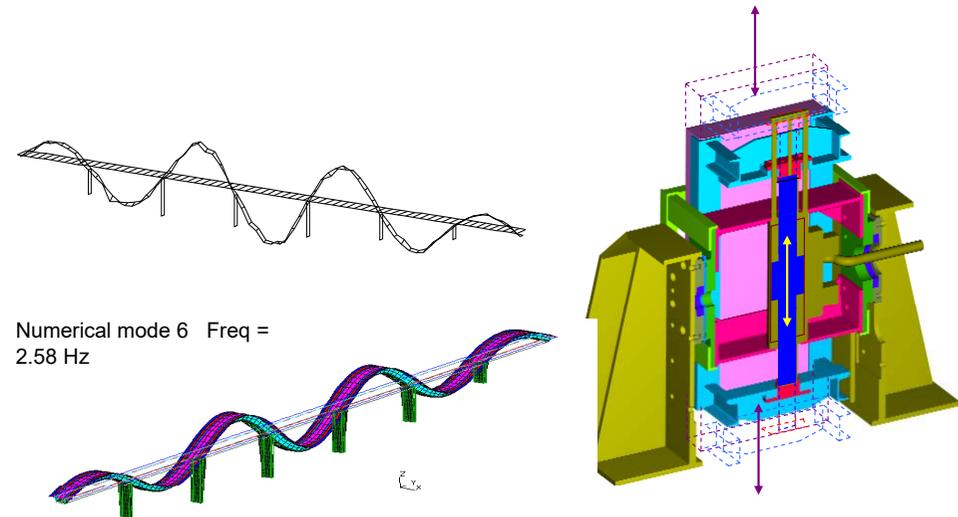
Structural Monitoring; Health Monitoring; Structural Assessment

Tätigkeiten der Dynamik - Gruppe

- **Erschütterungsschutz** mit Schwerpunkt Eisenbahn
- Ermittlung („**Assessment**“) des Zustandes wichtiger bestehender Bauwerke/ Strukturen (z.B. Erdbebensicherheit)
- **Brückenmonitoring**, Bauwerksmonitoring
 - Permanentes Monitoring; Schlüsse aus Änderungen dynamischer Parameter
- **Baudynamische Spezialprobleme**
 - Identifikation und Behebung von Schwingungsproblemen
 - Bemessung bei „komplexer Problemstellung“
 - Bsp. Variantenstudie Eisenbahnbrücke hinsichtlich Körperschall/ abgestrahlter Sekundärschall
 - Eisenbahnbrücken bei Hochgeschwindigkeitsüberfahrten

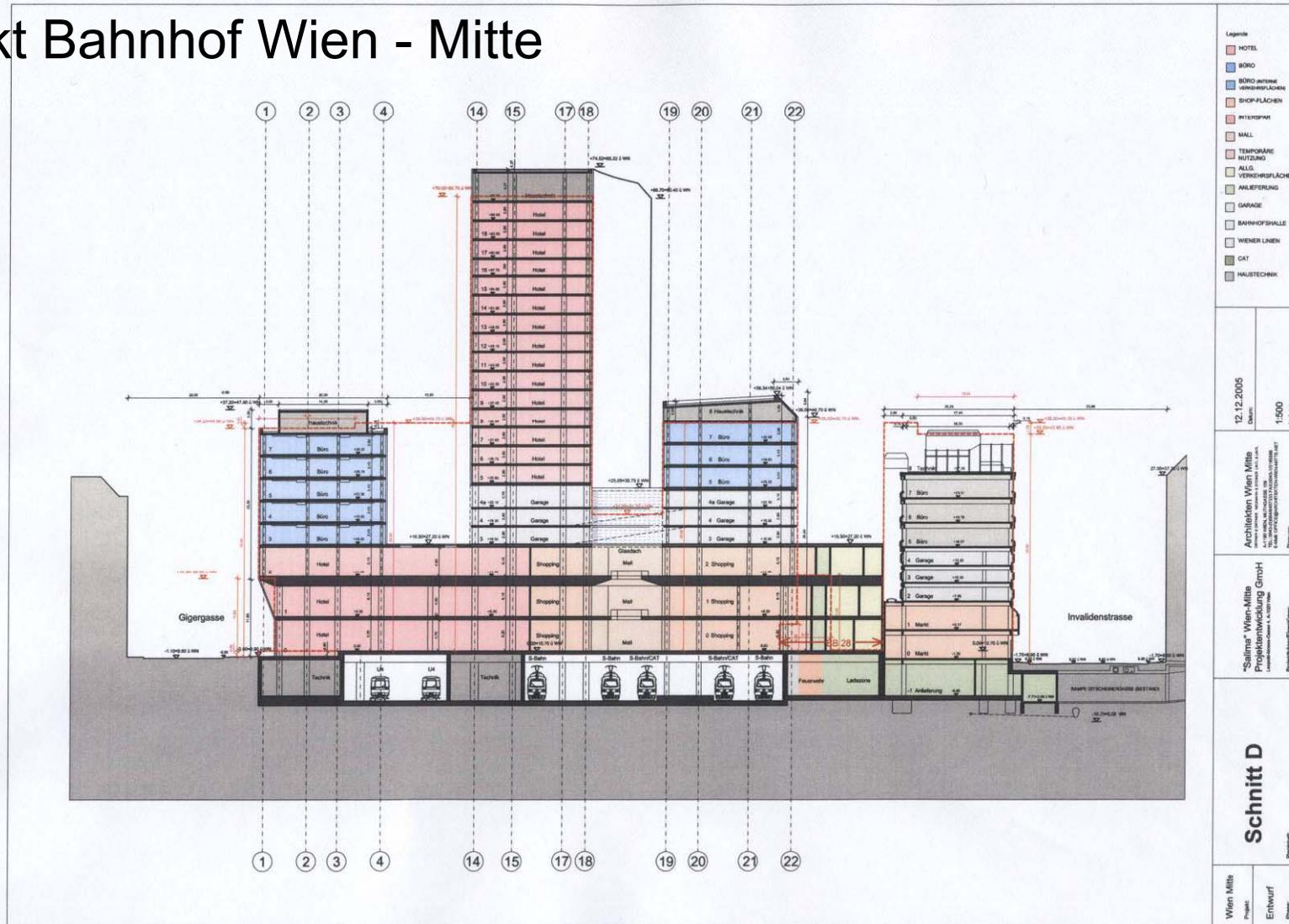
Tools

- Schwingungsverhalten, dyn. Parameter (**Eigenfrequenzen, Eigenformen und Dämpfung**)
- **Messung**
Eigenschwingverhalten+
Rechenmodell (FE – Modell) +
Anpassung Rechenmodell an
Messergebnisse
- **Messung**
Eigenschwingverhalten:
künstliche Anregung oder
„ambiente“ Anregung
- Messung der Schwingungen
zufolge bestimmter Anregung



Erschütterungsschutz

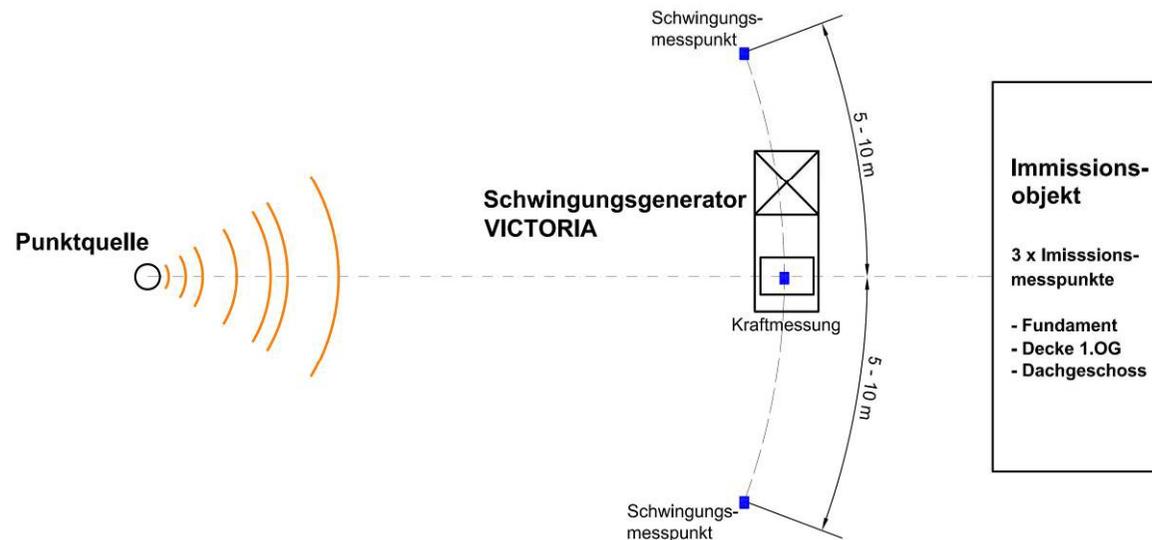
Projekt Bahnhof Wien - Mitte



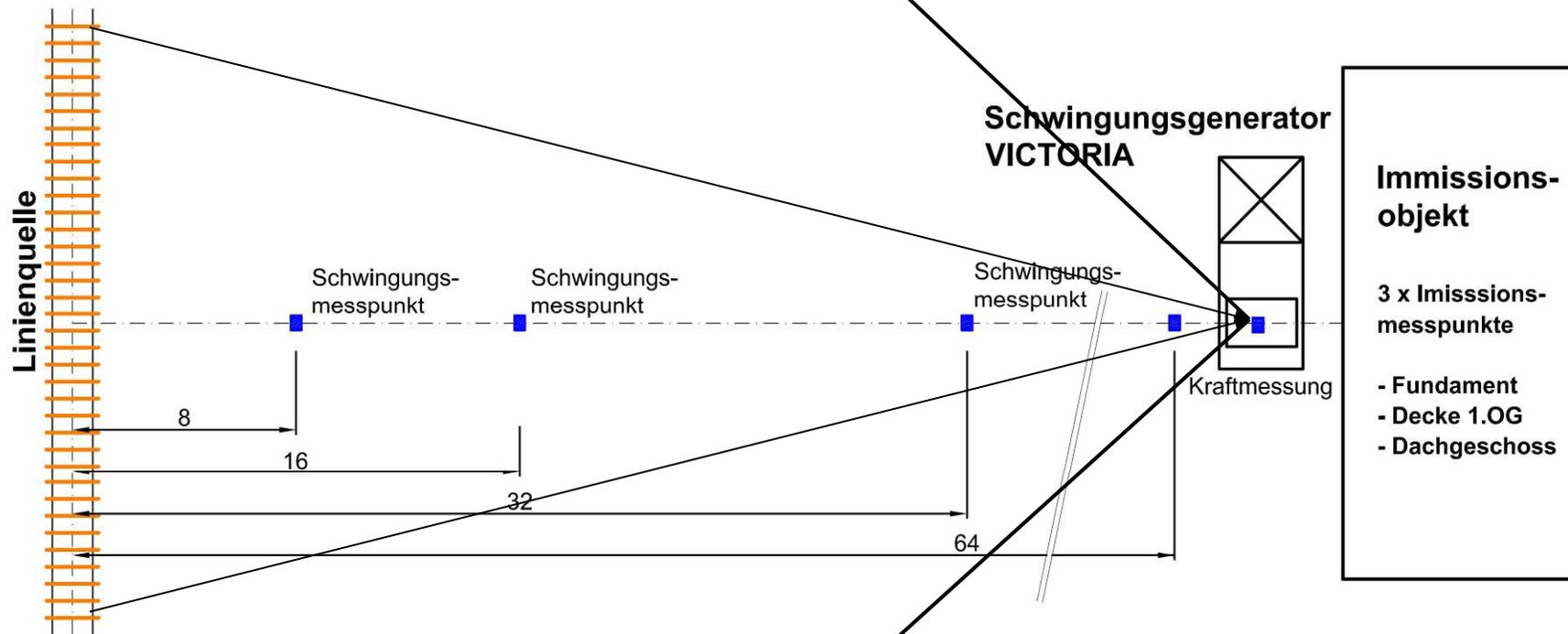
Erschütterungssimulation

Schwingungsgenerator VICTORIA:

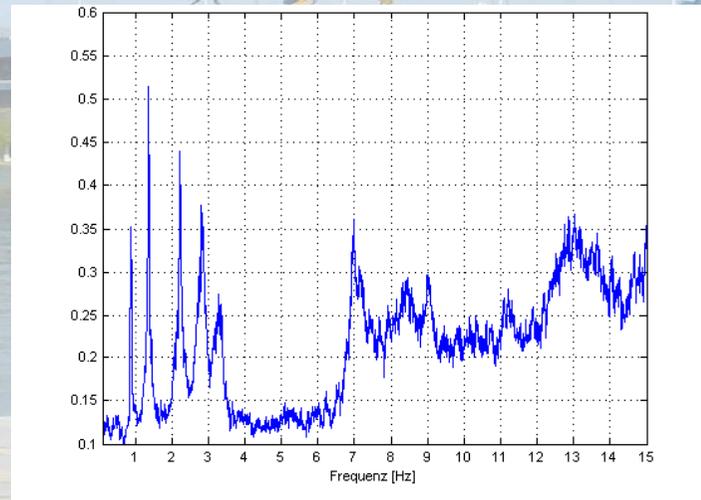
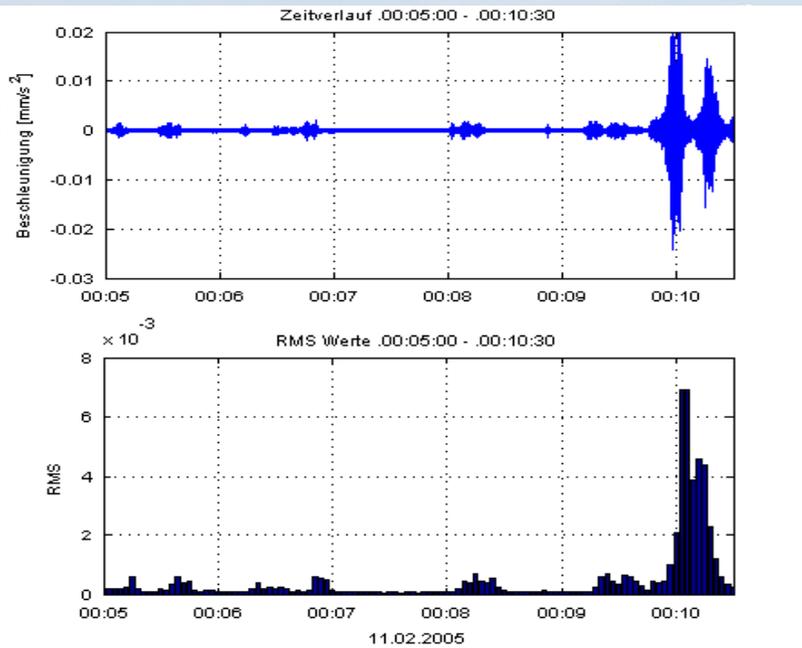
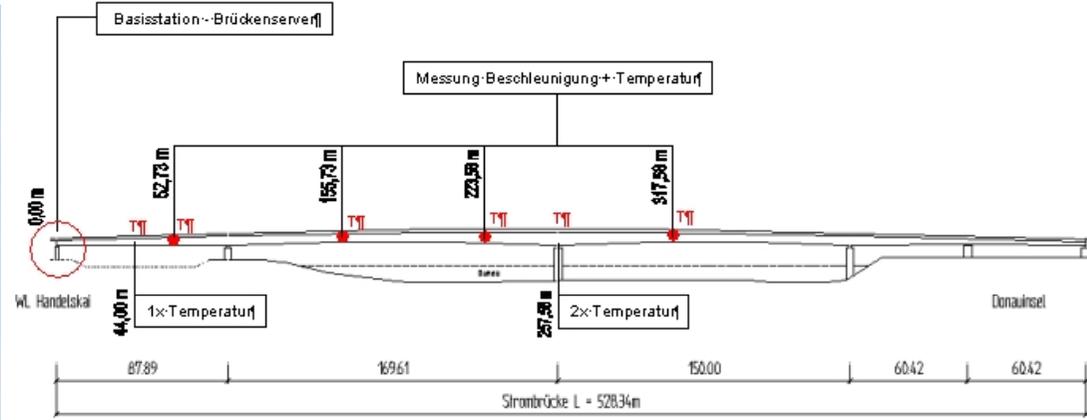
- **aktive Phase:** simuliert Kraft - Zeitverlauf
- **passive Phase:** misst „äquivalenten Kraft – Zeitverlauf“
zufolge bestimmter Anregung → Datenbank
(Zeitverläufe, Spektren); spätere Simulation



Auch bei Linienquelle lässt sich in „passiver Phase“ eine „äquivalente Erregerkraft“ messen



Monitoringsystem Reichsbrücke



6. European Integrated Project LESSLOSS-SP5



LESSLOSS European Integrated Project on Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides

Duration:
3 years
(bis August 2007)

Partners: 46
Sub-Projects: 11+2

Budget (tot.):
9,4 Mio €
Contr. EU:
6,45 Mio €

Budget ars:
584.000 €
Contr. EU:
312.000 €

	Research area 1 Physical environment	Research area 2 Urban areas	Research area 3 Infrastructures
Research activity 1 Instrumentation and monitoring	<i>Research component 1.1</i> Landslide monitoring and warning system	<i>Research component 2.1</i> In-situ assessment, monitoring and typification Buildings Bridges, Lifelines	
Research activity 2 Vulnerability reduction	<i>Research component 1.2</i> Landslide zonation, hazard and vulnerability assessment	<i>Research component 2.2a</i> Development and manufacturing of energy dissipation devices and seismic isolators Buildings Bridges, Viaducts	
		<i>Research component 2.2b</i> Techniques and methods for vulnerability reduction Buildings Bridges, Underground	
Research activity 3 Innovative approaches for design/assessment	<i>Research component 1.3</i> Innovative approaches for landslide assessment	<i>Research component 2.3a</i> Displacement-based design methodologies Buildings Bridges, Lifelines	
		<i>Research component 2.3b</i> Probabilistic risk assessment: methods and applications Buildings Bridges, Lifelines	
Research activity 4 Disaster scenarios predictions and loss modelling	<i>Research component 1.4</i> Disaster scenarios predictions and loss modelling for landslides	<i>Research component 2.4a</i> Disaster scenarios predictions and loss modelling for urban areas	<i>Research component 2.4b</i> Disaster scenarios predictions and loss modelling for infrastructures

Main Goals of SP5

Assessment of important existing structures

- > Buildings (importance class IV and III, EN 1998-1:2005)
 - > Bridges (importance class III, EN 1998-2:200X)
 - > Industrial facilities with secondary risks (release of toxic and/ or explosive materials)
 - > Cultural heritage
-
- STRUCTURES MUST REMAIN MOSTLY **UNDAMAGED AND SERVICEABLE**

 - INTEGRATION OF **EXPERIMENTAL TOOLS** INTO THE ASSESSMENT PROCEDURES

Main Goals of SP5

- LEVEL III - Assessment, in most cases with detailed structural 3D – model.
 - > Dynamic in-situ measurements (**ambient, forced**)
 - > FE – model
 - > Model updating, using differences between measured and calculated dynamic properties
 - > ⇒ Model close to reality: “linear starting point”
 - > **Force based**: Linear analysis method + behaviour factor ($q = 1,5$ or $2,0$)
 - > **Displacement based analysis**
 - > If necessary: seismic upgrading

Main Goals of SP5

– LEVEL III – Assessment (continued):

- > ASSESSMENT in **Pre – earthquake phase** ⇒ seismic upgrading in due time
- > ASSESSMENT in **Post – earthquake phase** ⇒ determination of the remaining safety and serviceability;
 - » ADVANTAGE: “base line model” for undamaged status

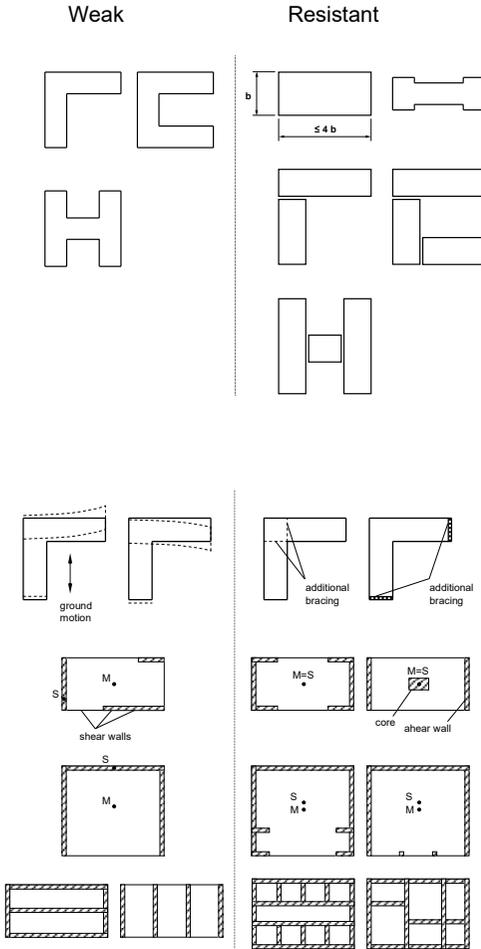
– Tools:

- > Improvements of method + **Application Manual**
- > Training: **Trainings Manual**

B2. Regularity and Quality Index:

For the regularity and quality index the following four influences are taken into account:

B2.1. Regularity in plan



Decision Matrix

					a_{gR,S,γ_I}					
					low seismicity		normal seismicity			
					planar model	planar model updated	planar model updated	spatial model	spatial model updated	
buildings	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

B2.1 Regularity in plan	0 or 1
B2.2 Regularity in elevation and stiffness in elevation	0 or 1
B2.3 Foundation	0 or 1
B2.4 Quality of workmanship	0 or 1
Sum	0 – 4

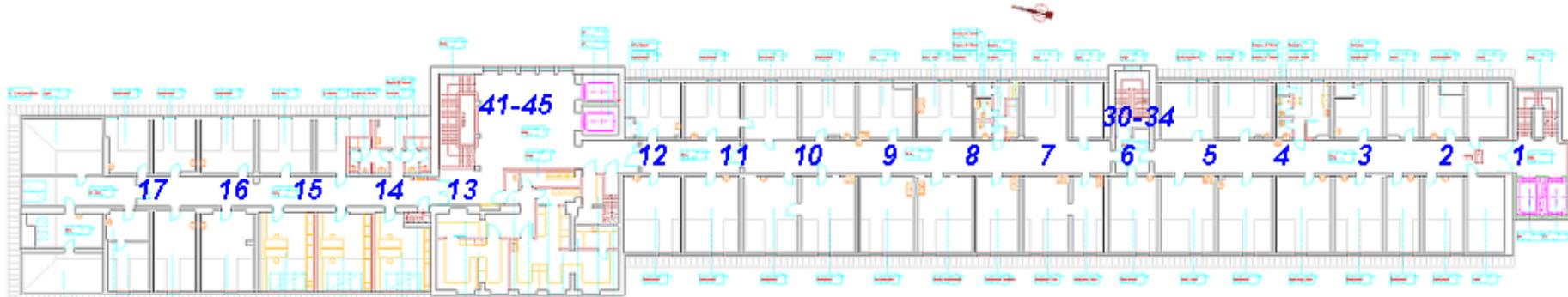
7. Beispiele: Untersuchung der Erdbebensicherheit bestehender Bauwerke

INNSBRUCK HOSPITAL

25 Sensor Positions



East View



Schwingungs- generator VICTORIA

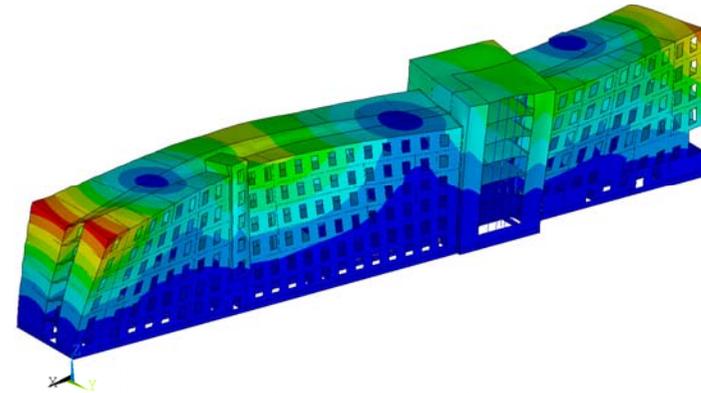
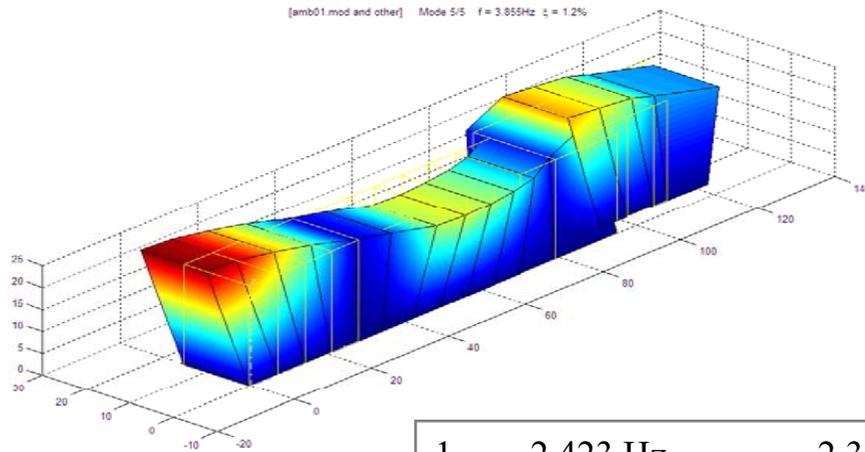




INNSBRUCK HOSPITAL

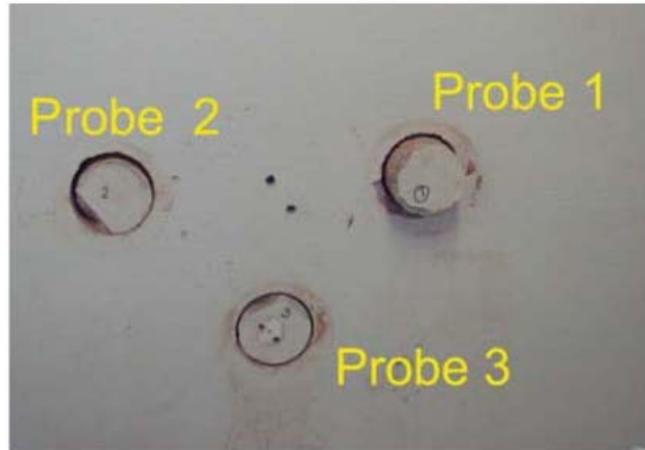
measured:
 $f_5 = 3.855 \text{ Hz}$

calculated:
 $f_5 = 4,1236 \text{ Hz}$



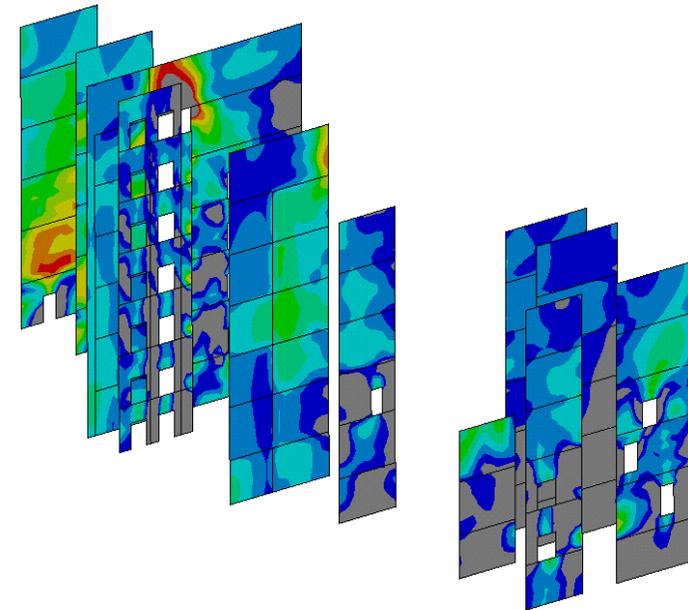
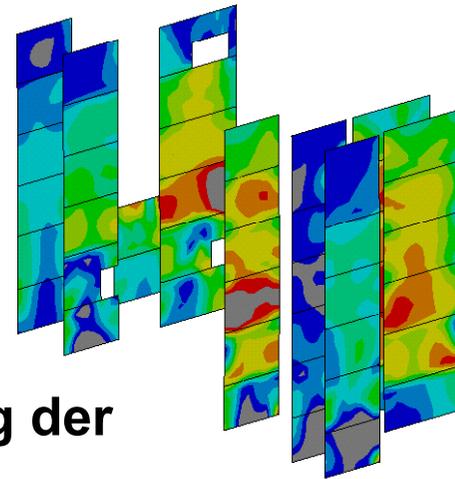
1.	2,423 Hz	2,3443 Hz	-3%
2.	2,580 Hz	2,5874 Hz	0%
3.	2,945 Hz	3,1026 Hz	+5%
4.	3,265 Hz	4,1136 Hz	+20%
5.	3,855 Hz	4,1236 Hz	+7%

$$\Delta = +7\%$$



INNSBRUCK HOSPITAL



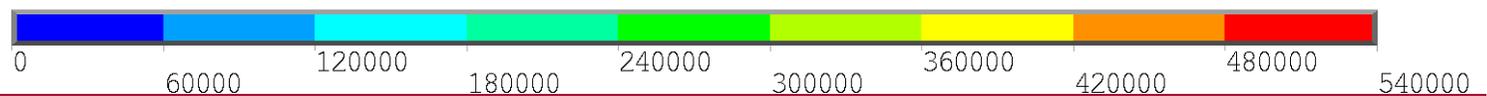


Beanspruchung der vorhandenen Mauerwerkswandscheiben:

blau: Beanspruchung entsprechend vorhandene Kapazität



rot: 3-fache Überbeanspruchung



Verkehrswege

Risk Assessment / Risk Map



Risk Mapping taken from [107]

Kombination der primären (GPR) und sekundären (GPS) Risiken

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]

Reaktorgebäude Seibersdorf

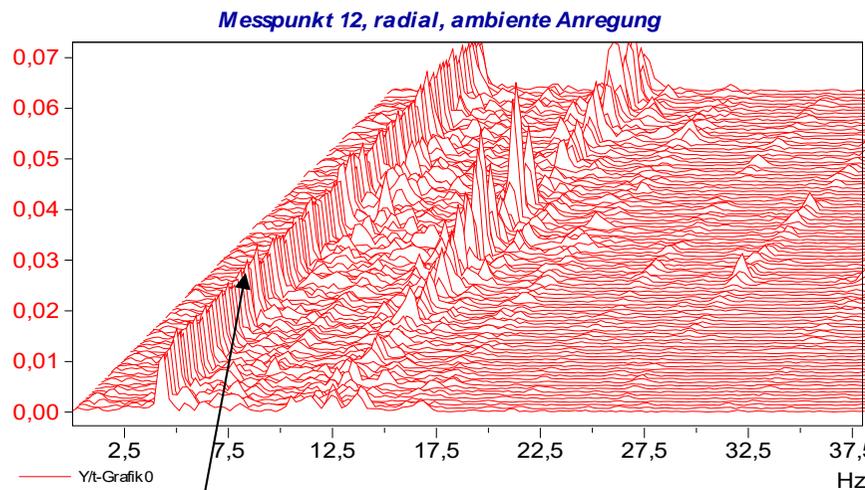
- stillgelegter Reaktor
- künftige Nutzung als **Zwischenlager** für radioaktive Abfallprodukte
- Untersuchung des Containments: in- situ – Versuche + FE – Berechnung + „model – update“
- Berechnung der **max. Verschiebungen** des Containments
- **neuer Innenausbau**: Erdbebenberechnung durch Ziviltechniker \Rightarrow **Vermeiden des Anpralls der neuen Struktur am Containment**
 \Rightarrow Festlegung der erforderlichen Fugenbreite zwischen Innenausbau und Containment



Übertragung der dynamischen Kräfte vom Hydraulikkolben auf das Containment mittels Stabkette

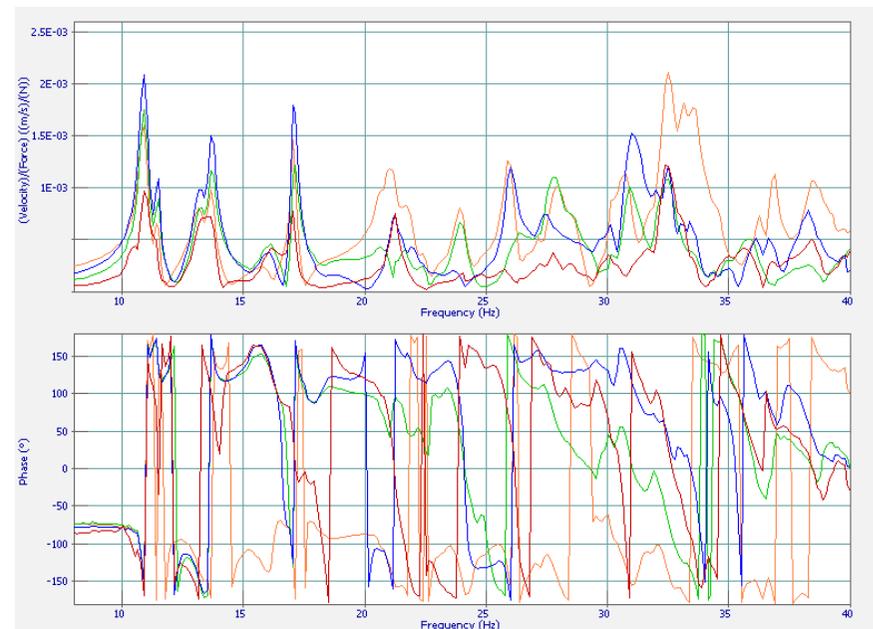


„Wasserfalldarstellung“: ambiente Anregung von **Bauwerkseigen-schwingungen** durch Wind; man erkennt auch eine Störschwingung durch laufendes Aggregat, welche nichts mit dem gesuchten Eigenschwingverhalten zu tun hat

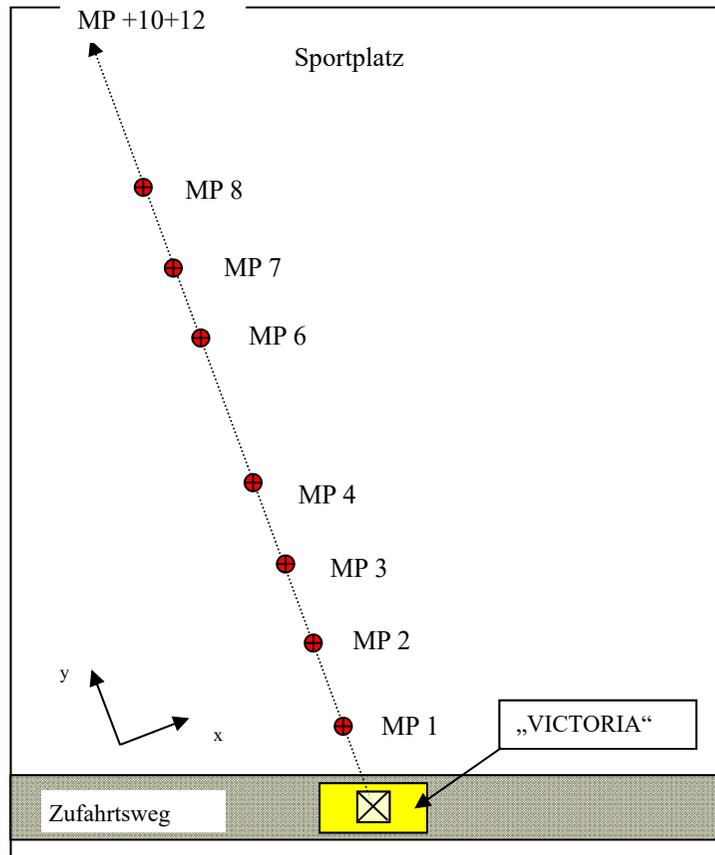


„Störschwingung“

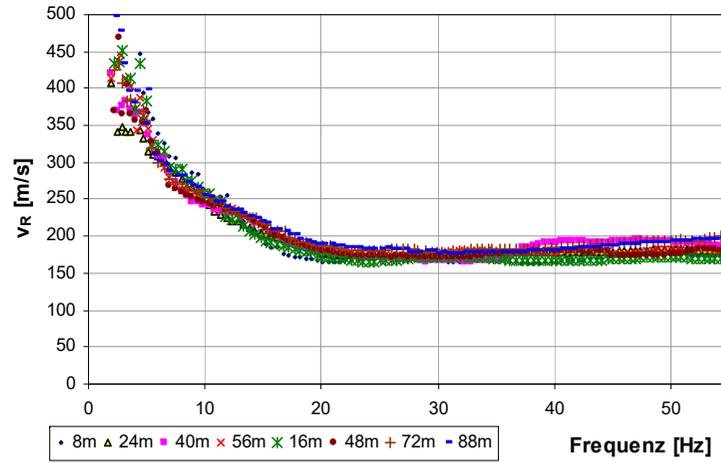
Anregung durch **VICTORIA**:
Übertragungsfunktionen als Basis für die Identifikation der modalen Parameter



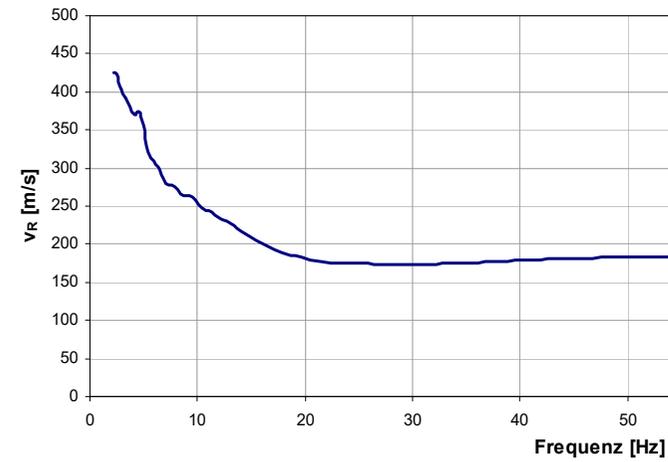
Ermittlung der Rayleighwellengeschwindigkeit im Boden mittels VICTORIA



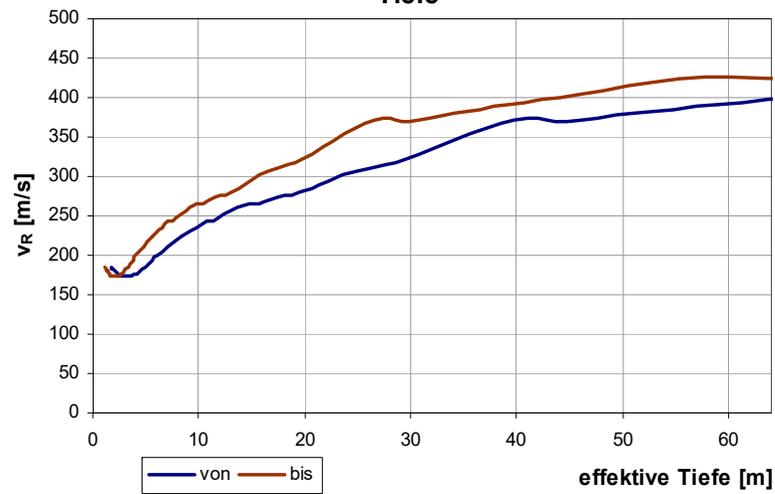
Rayleighwellengeschwindigkeiten, ermittelt aus einzelnen Sensoren



Rayleighwellengeschwindigkeiten (gemittelt)



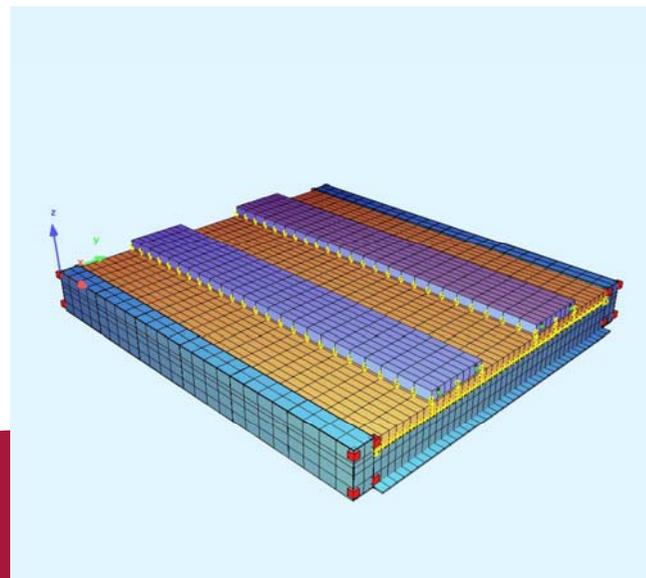
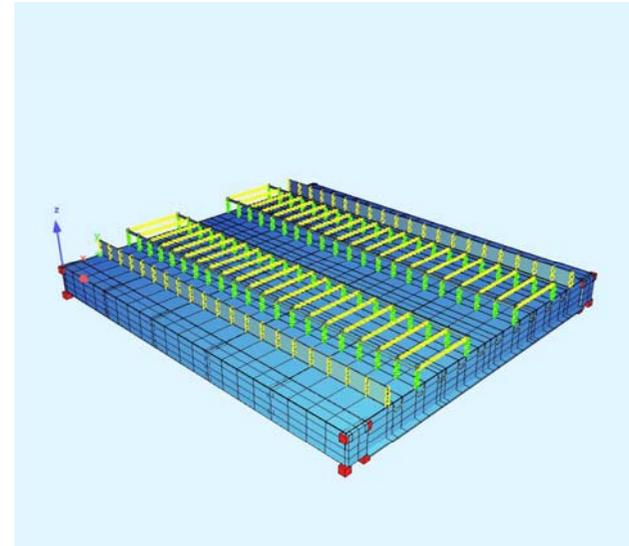
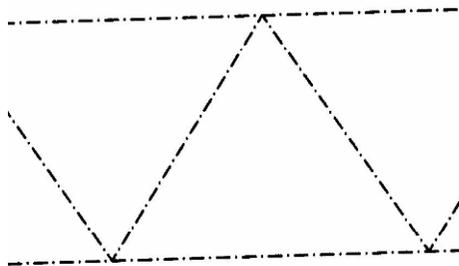
Rayleighwellengeschwindigkeiten über effektive Tiefe



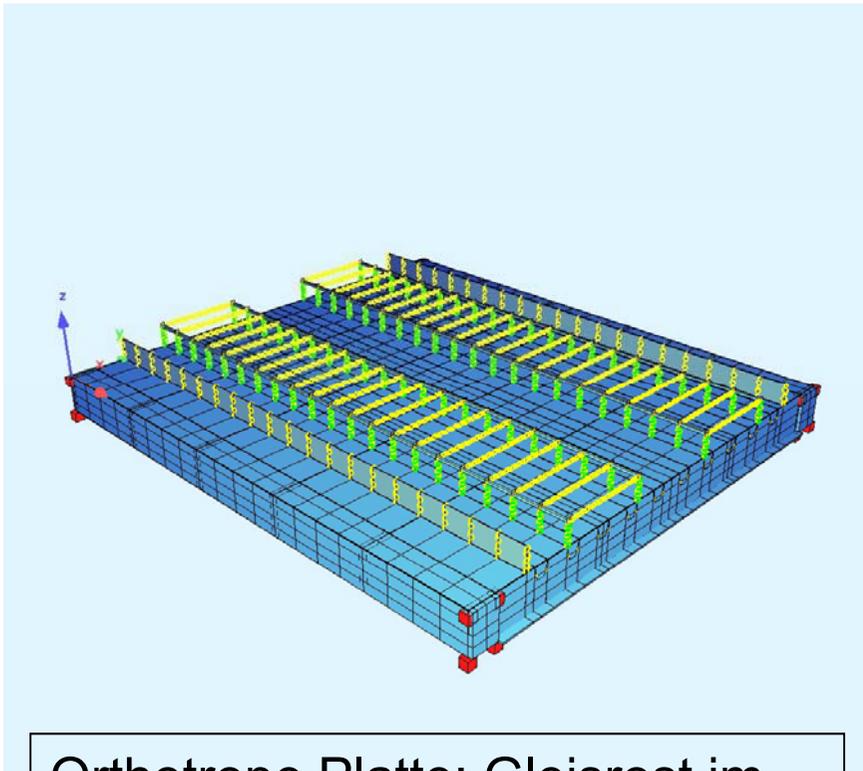
8. Beispiel Variantenstudie Eisenbahnbrücke hinsichtlich Körperschall/ sekundärer Luftschall

Vergleich Variante Stahl - Verbund

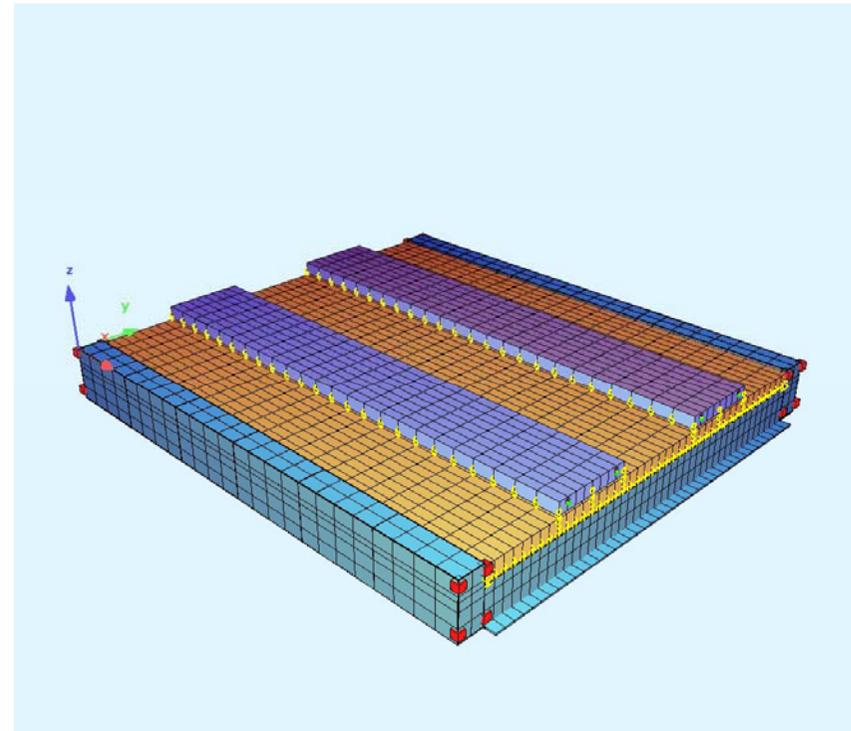
- Drittes Feld: Stahl 90,125 m;
Verbund 90,100 m
- **Hauptuntersuchung**: Abschnitt
1/7 der Spannweite
 - Stahl: 12,875 m; 5 Abschnitte á
2,575 m
 - Verbund: 12,871 m ; 3
Abschnitte á 4,290 m



Modelle Variante STAHL und VERBUND (1)

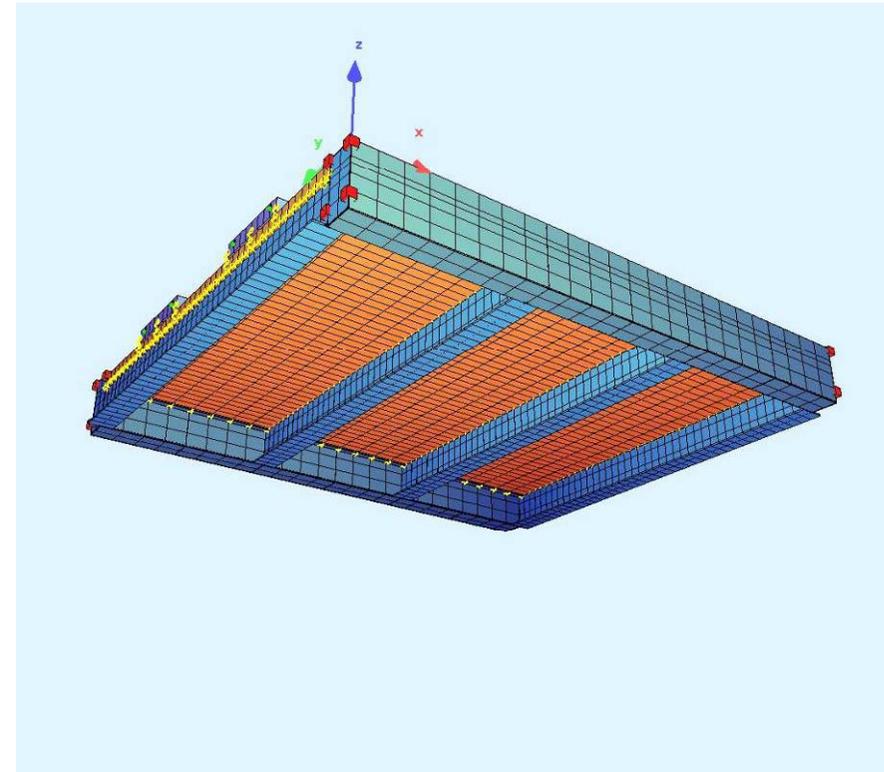
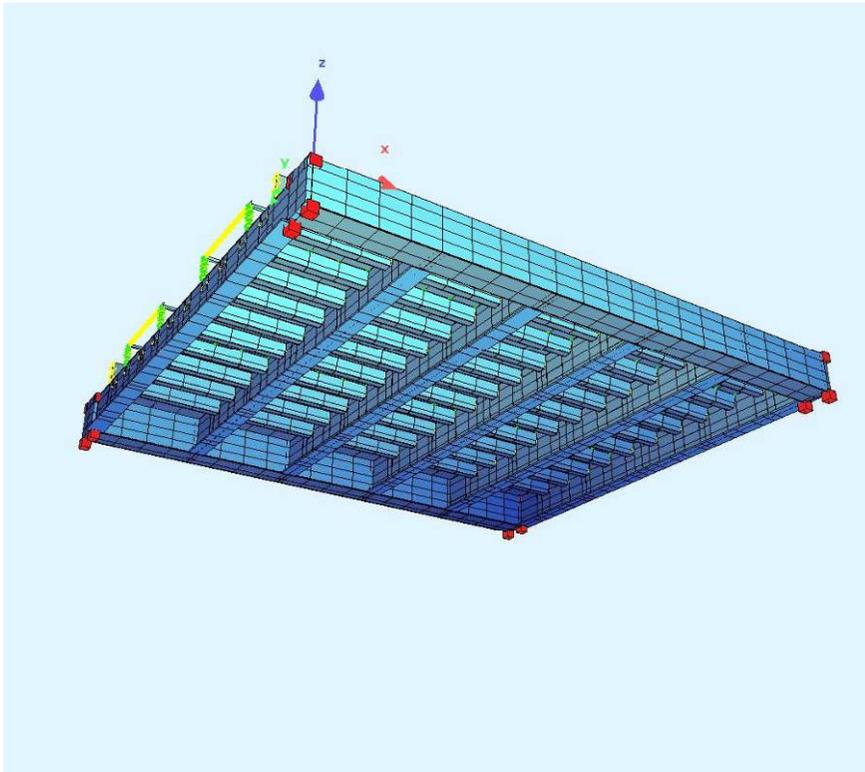


Orthotrope Platte; Gleisrost im Schotterbett auf USM

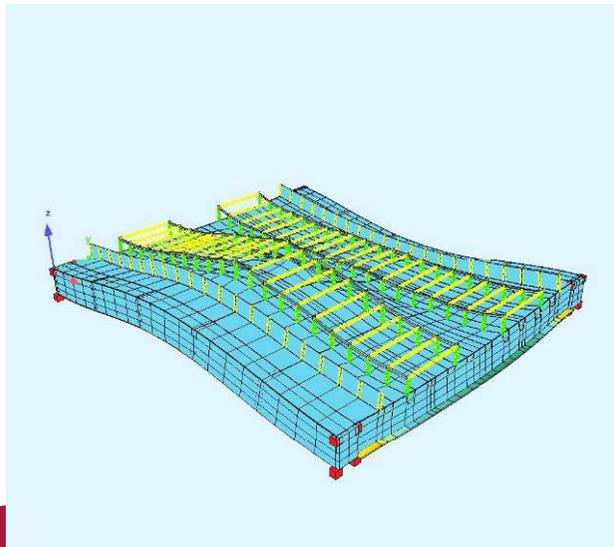
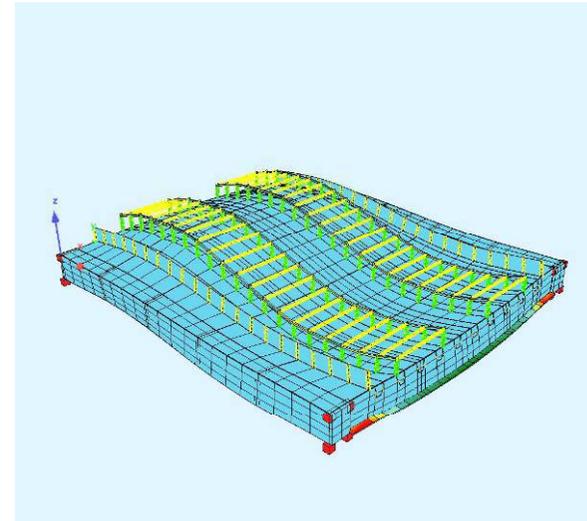
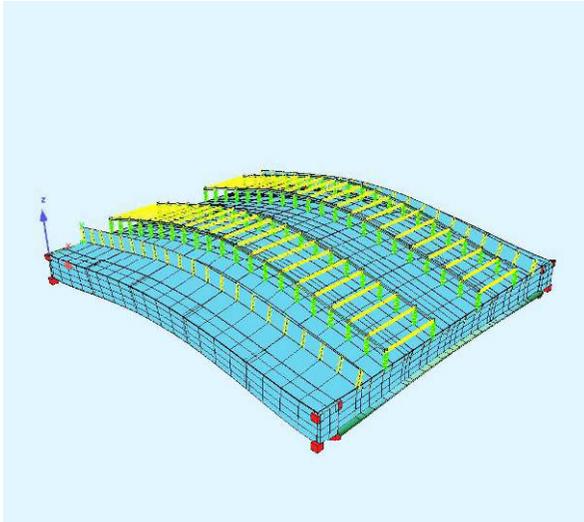


Stahllängsträger; Verbundplatte; Feste Fahrbahn System Edilon

Modelle Variante STAHL und VERBUND (2)

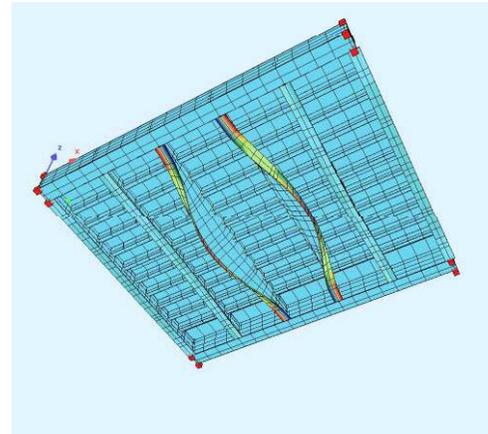
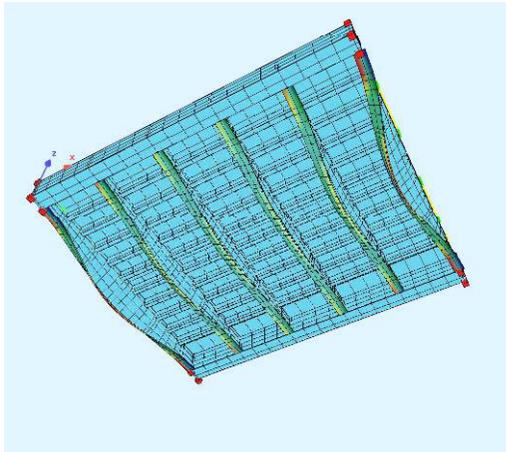


Beispiele Eigenschwingzustände Fahrbahnplatte

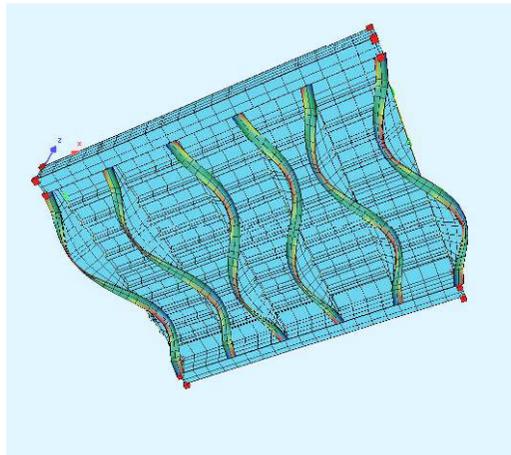


- maßgeblich für vert. Abstrahlung nach unten
- Abstrahlung abhängig von Eigenform, Eigenfrequenz und Größe der abstrahlenden Fläche

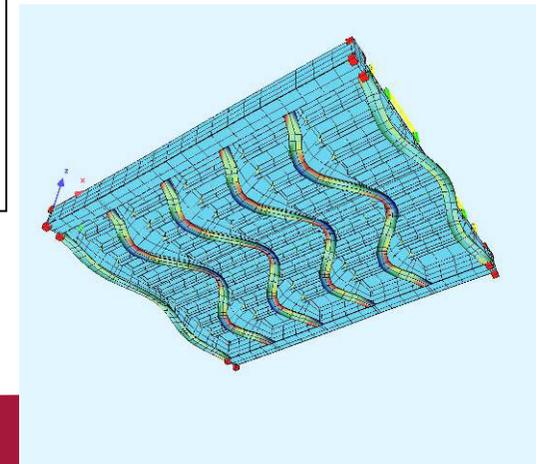
Beispiele Eigenschwingzustände Querträger



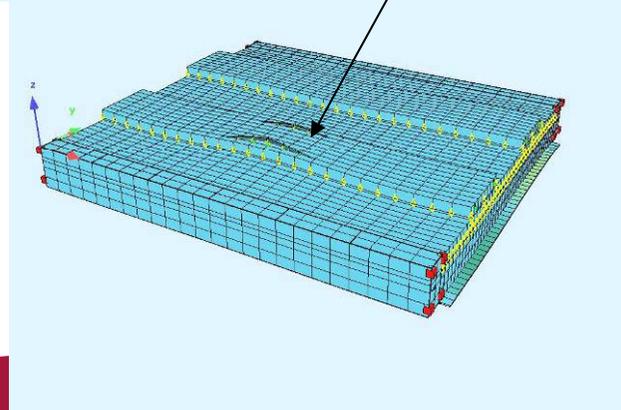
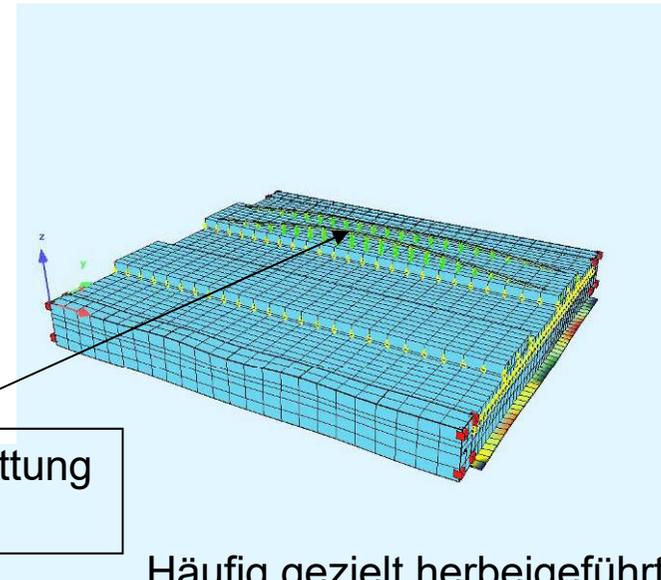
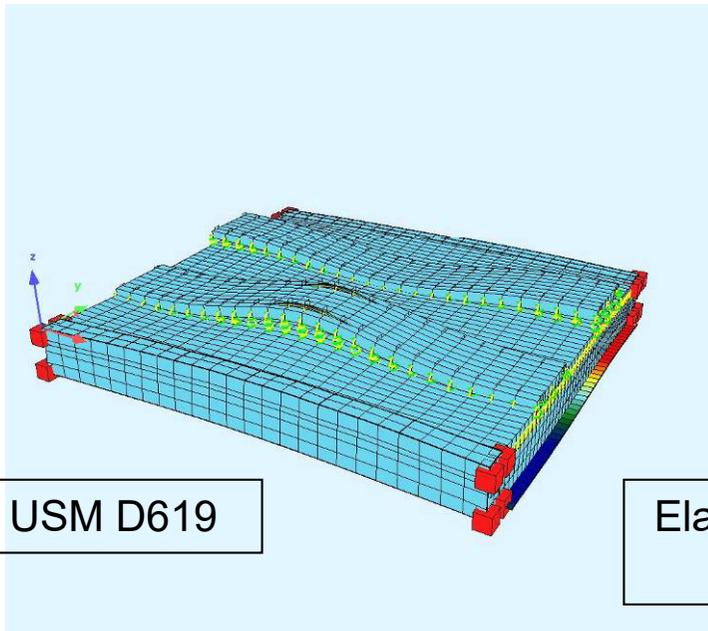
jeweils **Gruppen** von „verwandten“ Eigenformen mit eng beisammen liegenden Frequenzen



bezüglich Abstrahlung als nicht besonders relevant eingestuft!



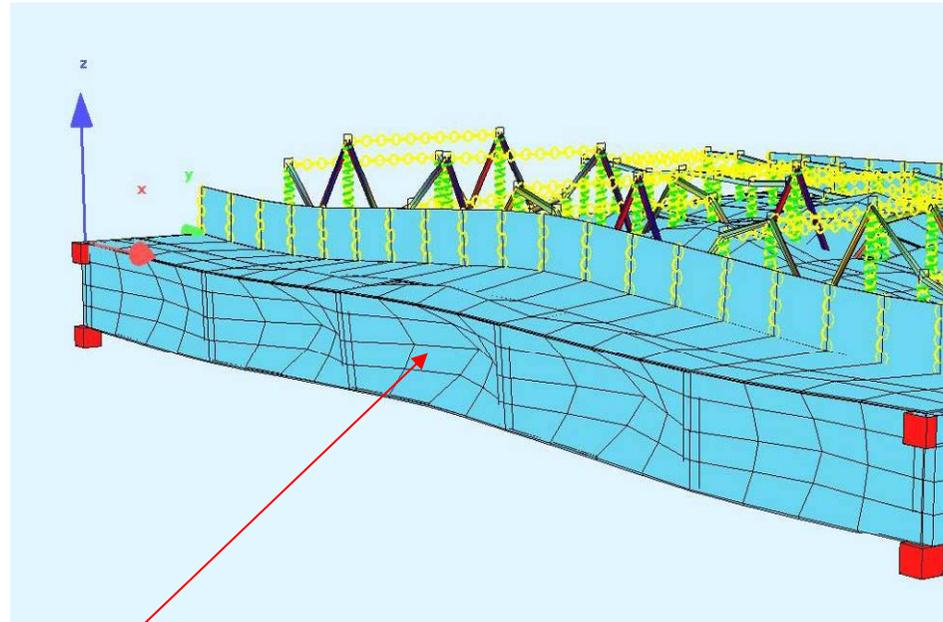
Beispiele Eigenschwingzustände „Fahrbahn“



Häufig gezielt herbeigeführt,
„Frequenzabstimmung“ z.B.
durch USM

Isolierwirkung \Rightarrow
**maßgebliche Dämmung der
dynamischen Kräfte**

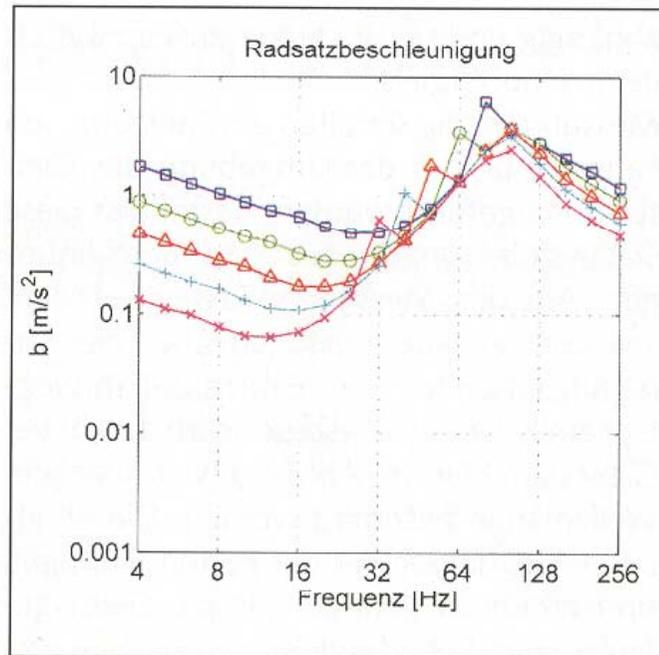
Beispiele Eigenschwingzustände Stegbleche



Derartige Eigenformen sind bezüglich Schallabstrahlung am kritischsten, wenn sie im Frequenzbereich 40 – 90 Hz auftreten!

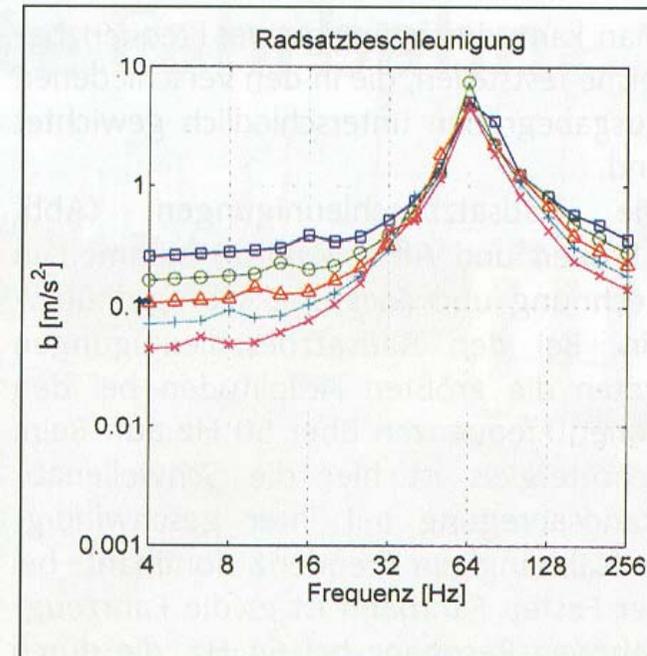
Ansatz Erregerkraft

Schottergleis



Lutz Auersch, Schottergleis und feste Fahrbahn.
Fahrzeug – Fahrweg – Dynamik und
Erschütterungsemissionen – komplexe Messungen und
Berechnungen. EI – Eisenbahningenieur (57), 4/ 2006

Feste Fahrbahn



$$P_0(f) = 1500 \cdot b \quad [\text{N}]$$

Zeitverlaufsuntersuchung:
Überlagerung der Sinus-
Komponenten

SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DER VARIANTENSTUDIE

- beide Varianten (STAHL und VERBUND) besitzen grundsätzlich Potential zur Gestaltung als „**Körperschall- optimiertes**“ **Tragwerk**
- Die Variante STAHL (orthotrope Platte) ist aus der Sicht der Baudynamik die **konservative Variante**
- Bei der Variante VERBUND müssen im Zuge des Detailentwurfs begleitende **strukturdynamische Untersuchungen** zwecks **Optimierung des Körperschallverhaltens** durchgeführt werden. Diese Variante ist aus Sicht der Baudynamik die **innovative Variante**, die eine große fachliche Herausforderung darstellt.
- Sinnvoll wären baldige **Messungen an einer Brücke** mit **vergleichbarem Fahrweg** zwecks **Verbesserung der Modellierung der dynamischen Belastung**. Diese Brücke müsste dann ebenfalls modelliert werden. Über die **Input – Output Beziehung** könnte das **Belastungsspektrum** verbessert und dann bei der Optimierung eingesetzt werden.
- Im Zuge des Detailentwurfes sind auch die **Diagonalen** und der **Obergurt** zu untersuchen und ggf. zu optimieren. Vermutlich ist jedoch keine Optimierung erforderlich.