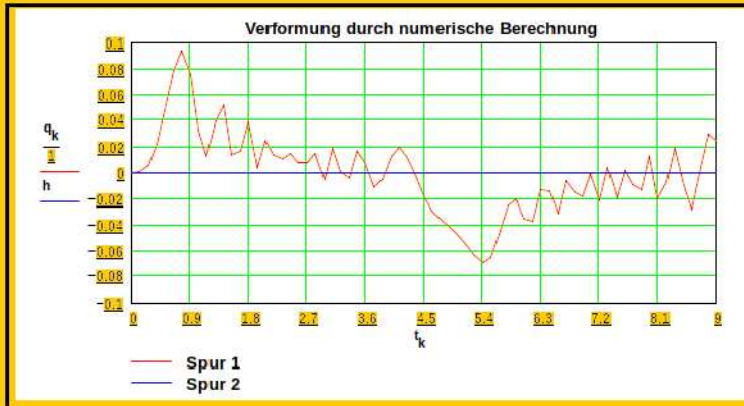


Band 2

Walter Kirk



**Beiträge zur Erdbebensicherung
von Bauwerken**



**Der Massengrenzbereich als Risiko
für die Verträglichkeit
erdbebengefährdeter Bauwerke**

Walter Kirk

Beiträge

zur

Erdbebensicherung von Bauwerken

Der Massengrenzbereich als Risiko für die Verträglichkeit
erdbebengefährdeter Bauwerke

Band 2

Essen 2001

Die Deutsche Bibliothek – *CIP-Einheitsaufnahme*

Kirk, Walter:

Beiträge zur Erdbebensicherung von Bauwerken: der Massengrenzbereich als Risiko für die Verträglichkeit erdbebengefährdeter Bauwerke / Walter Kirk. - Essen: W. Kirk: Norderstedt: Books on Demand, 2001
ISBN 3-8311-2615-1

Impressum

©Walter Kirk, 2001. Alle Rechte vorbehalten. Alle Angaben im Buch wurden sorgfältig erarbeitet, erfolgen jedoch ohne Gewähr. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler ist der Autor dankbar.

Vertriebsrechte dieses Buches liegen bei:

Books on Demand GmbH, Gutenbergring 53, 22848 Norderstedt

Kein Teil dieses Buches darf in irgendeiner Form (Druck, Fotokopie, Mikrofilm oder in einem anderen Verfahren) ohne unsere vorherige schriftliche Genehmigung reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Warenzeichenhinweis

MathCad ist ein eingetragenes Warenzeichen der MathSoft, Inc.

Hinweis:

Die im Buch aufgeführten elektronischen Dateien können vom Autor gegen Entgelt auf einem Datenträger (Diskette 9 cm/3,5-Zoll) bezogen werden (Bestellschein, S. 62).

Zu dieser Arbeit

Wirkstrukturen die nach dem Duhamelschen Integrationsverfahren aufgestellt werden, genügen nicht zur Entscheidung über ein Verträglichkeitsverhalten des Tragwerks. Erst aus Blockrechnungen ergibt sich eine verlässliche Analyse, die bei einer vergleichenden Betrachtung zwischen Masse und Spannungen am Bauwerk eine konstruktive Durchbildung des Tragwerks unter den gegebenen Parametern in der entsprechenden Zone erlaubt.

Weil eine Entscheidung über die Verträglichkeit eines Tragwerks mit der Wirkstruktur der Antwortberechnung von Duhamel nicht zu treffen ist, sollen in diesem Band die Möglichkeiten zur Lösung der Aufgabe aufgezeigt werden.

Meine eigenen anderthalb Jahrzehnte umfassenden praktischen Erfahrungen aus dem Schockbereich lassen mich zu der Schlussfolgerung gelangen, dass experimentelle Untersuchungen gegenüber berechneten Untersuchungen nicht zwingend vorteilhafter sind. Sondern im Gegenteil, d. h. dass der eingeschlagene Weg zur Lösung der hier anstehenden Aufgabe von daher gesehen grundsätzlich unterstützt wird.

Der Autor

Dipl.-Berg-Ingenieur Walter Kirk war aktiv im Ruhrbergbau, später in der Bergbauforschung in Essen tätig. Von 1966 bis zu seiner Pensionierung im Jahr 1982 war er im deutschen Bundesamt für Zivilschutz in Bonn für die Forschung im Bereich simulierter Versuche gegen NEMP, SCHOCK, WÄRME- und DIFFUSIONSBELASTUNG von Bauwerken verantwortlich. Er lebt heute im Ruhestand in Essen.

VORWORT

Im Vorwort zum ersten Band war mir die verhängnisvolle Tragik untreuer Wirkstrukturen spektraler Antworten für elastisch-plastische Tragwerke nicht genügend einsehbar. Im weiteren Verlauf der simulierten Modellarbeiten, die jetzt zum zweiten Band führten, ergab sich durch eine kontinuums-mechanische Betrachtungsweise eine völlig neue Sicht der nichtlinearen Verhaltensstrukturen für die hier gemeinten Bauwerke. Die sich dadurch ergebende Herausforderung brachte es mit sich, dass dem Buch nur eine Inhaltsform eignet, die auf die Darstellung von Tensorfunktionen und ihren Invarianten als Abbildungsmechanismen eingeht.

Die schon im ersten Band zu erkennende Beschränkung der Untersuchung auf die Aufstellung von Verträglichkeitszonen, hat dazu geführt, dass sich die für eine Bauwerksverträglichkeit zuständigen Parameter bei einer Tabellenformatierung herauskristallisierten.

Der Leser mag dies beim Studium der textbegleitenden Blockrechnungen nachvollziehen.

Essen, im August 2001

Werner Kitz

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	6
Ergänzende Betrachtungen zu den im ersten Band aufgestellten Grundlagen	7
1 Vorbemerkung	7
2 Wirkstrukturen	7
2.1 Wirkstrukturen als Zustandsbildner in der Simulation von Block a der Tabelle	8
2.2 Massen, Spannungen und Fliessen in der Simulation der Blöcke b, c und d der Tabelle	21
2.3 Wirkstrukturen und Direktfunktionale des absolut dynamischen Systems in der Simulation von Block c der Tabelle	32
2.4 Verträglichkeitsbestimmung für den Ein-/Mehrmassenschwinger im Massengrenzbereich als Modell- und Abbildungszweck	36
3 Zusammenfassung	60
Literaturverzeichnis	61

Ergänzende Betrachtungen zu den im ersten Band aufgestellten Grundlagen

1 Vorbemerkung

Mit dem ersten Band habe ich die Grundlagen für eine Modellbildung mit dem Ziel dargestellt, das vorliegende Erdbebenumweltsystem durch eine Computer-Simulation möglichst realitätsnah mit allen Unsicherheiten abbilden zu können. Das heißt: ich bin zu Beginn der Untersuchung von der Vorstellung ausgegangen, dass die Simulation mit Hilfe des spektralen Antwortmodells von Duhamel realisiert werden kann, um aus den entstehenden Wirkstrukturen das Zustandsverhalten des Systems sichtbar werden zu lassen.

Weil eine Entscheidung über die Verträglichkeit eines Tragwerks mit der Wirkstruktur der Antwortberechnung von Duhamel nicht zu treffen ist, sollen in diesem Band die Möglichkeiten zur Lösung der Aufgabe aufgezeigt werden.

2 Wirkstrukturen

Verhaltensbereiche - Parametererkennung Ausführungsweise - Unsicherheit

Unverkennbar vorteilhafter gegenüber dem Experiment am Modell zu simulieren ist die Tatsache, dass breite Verhaltensbereiche abgedeckt und einflussreiche Parameter automatisch vom Modell quantitativ erkannt werden. An dieser Stelle ist deshalb noch einmal der bereits im Band 1 angeführte Hinweis notwendig, dass sich vor ungefähr zwanzig Jahren, eine Trendwende in der Bauphysik gegenüber experimentellen Untersuchungen abgezeichnet hat.¹

Meine eigenen anderthalb Jahrzehnte umfassenden praktischen Erfahrungen aus dem Schockbereich lassen mich zu der Schlussfolgerung gelangen, dass experimentelle Untersuchungen gegenüber berechneten Untersuchungen nicht zwingend vorteilhafter sind. Sondern im Gegenteil, d. h. dass der eingeschlagene Weg zur Lösung der hier anstehenden Aufgabe von daher gesehen grundsätzlich unterstützt wird.

Eine gewisse Unsicherheit bleibt bei jeder Ausführung bestehen, aber die Erfahrung leitet den eingeschlagenen Weg zu einer Minimierung der Unsicherheit.

¹ Kiessl/Gertis: Nichtisothermer Feuchtetransport in dickwandigen Betonteilen von Reaktordruckbehältern, Verlag Ernst u. Sohn KG, Berlin-München-Düsseldorf

2.1 Wirkstrukturen als Zustandsbildner in der Simulation von Block a der Tabelle

Das Duhamel Integral

$$q_p = \int_0^t a(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau$$

mit der Gewichtsfunktion:

$$g(t) = \frac{1}{v} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(v \cdot t)$$

beschreibt die durch die Einwirkung $a(t)$ erzwungene Schwingung mit den Anfangswerten:

$$q_p(0) = 0 \quad q'_p(0) = 0$$

Es integriert als Antwort die bei $t=0$ bestehenden Impulse am Tragwerk. Dabei wird entsprechend der Einwirkung von 0,37 [g] des Friaul-Erdbebens eine seismische Bodenschwingung von 1.42305 [Hz] ausgemacht, die einen weichen Boden mit einem spezifischen Gewicht von 1,654 [g/cm³] zu einer Bodenwellengeschwindigkeit von 0,26[m/s] verbindet.

Alle drei Parameter werden vom Modell automatisch ohne Unterschied in der Aussage quantitativ erkannt (Tab. A, Block a, S. 16/17). Da alle Formen der Impulsgeschwindigkeit tangential zur Wegkurve verlaufen, gestaltet sich die Integration der Impulse bei der Fußpunktanregung am Bauwerk außergewöhnlich komplex. Das weist auf den untreuen Aufbau der Wirkstrukturen hin.

Beim Einmassenschwinger gelang zum analytischen Verfahren nach Duhamel in der Wirkstruktur der Verformung eine identische Direktintegration mit dem Runge-Kutta-Verfahren (Block a, S. 10-11). Dies zeugt von einer konsistenten Gestaltung beider Programmverfahren.

Da jedes System durch eine ganz bestimmte Anzahl von Zustandsgrößen beschrieben werden muss, gilt für das hier vorliegende Masse-Feder-Dämpfungssystem der Duhamel-schen Antwort eine Dimensionalität zweiter Ordnung, d.h., das die aufgenommene Last bei der Erdbebeneinwirkung über den seismischen Eigenwert zur Geschwindigkeit des getroffenen Körpers integriert (Tab. A, S.16).

Damit wird die Geschwindigkeit, neben der Last zum Hauptparameter für die Beschreibung des Systemzustandes. Die Verformung ist dann nur eine aus äußerer Belastung abgeleitete Größe. Die Nachprüfbarkeit der Dimensionalität ergibt sich aus der Tabellenrechnung (Teil A/B, S.16-19). Bei einer weiteren Berücksichtigung von Störvariablen wäre die Systembeschreibung redundant und überbestimmt.

Bei den nun vorzustellenden Modellarbeiten wird die ablaufgerechte automatische Systemblockaussage und nicht wie im Band 1 die Grundlagenarbeit demonstriert. Die Modelle der Einmassenschwinger sind durch eine skalare Rechnung lösungskonform aufgebaut.

Auf Grund der Last des Erdbebens von 1976 in Friaul beispielsweise, verlangt die Einwirkungsfunktion den Faktor v_g des Bodeneigenwerts, der vom Modell automatisch erkannt wird (S. 10).

Die Zeitenfolge EZ, Dämpfung D und Abklingkoeffizient δ sind miteinander verbunden und bilden durch die Strukturgleichungen die Werte für die Erregung, Geschwindigkeit und Verformung am Bauwerk ab (S.12-14). Zur Bestätigung der durch die Erregung in Bewegung gesetzten Teilchen des Baukörpers werden die dadurch entstandenen Wirkstrukturen periodisch und im Newmarkschen Spektrum grafisch festgehalten.²

² S. 12-14, 20

$$Z := \underline{0.799137} \cdot \underline{4.63} \quad Z = \underline{3.7} \quad Zg := \frac{Z}{10} \quad Zg = \underline{0.37} \quad [g] \quad Zone: 0.4/0.4$$

$$\kappa := \underline{6.3}$$

maximale - Betrachtung
bei 2.908 sek

$$m := \underline{40400}$$

$$c2 := m \cdot \kappa^2$$

Programmblock a

$$c2 = \underline{1.60348} \times 10^6$$

$$vg := \underline{8.9413}$$

$$EZ := \underline{3.1745}$$

$$\delta := \frac{1}{EZ}$$

$$m = \underline{40400}$$

$$A := \underline{2} \cdot \delta$$

$$D := \frac{A}{2 \cdot \kappa}$$

$$b := A \cdot m$$

$$b = \underline{25452.82722}$$

$$D = \underline{0.05}$$

$$Tg := \frac{2 \cdot \pi}{vg}$$

$$Tg = \underline{0.70271}$$

$$\delta = \underline{0.31501}$$

$$B := \kappa^2$$

$$B = \underline{39.69}$$

$$v := \kappa \cdot \sqrt{1 - D^2}$$

$$v = \underline{6.29212}$$

$$vg := \frac{2 \cdot \pi}{Tg}$$

$$A = \underline{0.63002}$$

$$ag(t) := Z \sin\left(\frac{1}{0.809} \cdot vg \cdot t^2\right)$$

$$startt := \underline{0}$$

$$endtt := EZ$$

Intervals

$$initq := \underline{0}$$

$$initq' := \underline{0}$$

$$n := \underline{13.31997}$$

$$Tb := \frac{2 \cdot \pi}{\kappa}$$

$$Tb = \underline{0.99733}$$

$$G(t, q, z) := ag(t) - B \cdot q - A \cdot z$$

$$k1(t, q, z, h) := z$$

Periode Bauwerk:

$$Tb = \underline{0.99733}$$

[sek]

$$K1(t, q, z, h) := G(t, q, z)$$

$$k2(t, q, z, h) := z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K1(t, q, z, h)$$

$$K2(t, q, z, h) := G(t + \underline{0.5} \cdot h, q + \underline{0.5} \cdot h \cdot k1(t, q, z, h), z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K1(t, q, z, h))$$

$$k3(t, q, z, h) := z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K2(t, q, z, h)$$

$$K3(t, q, z, h) := G(t + \underline{0.5} \cdot h, q + \underline{0.5} \cdot h \cdot k2(t, q, z, h), z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K2(t, q, z, h))$$

$$k4(t, q, z, h) := z + h \cdot K3(t, q, z, h)$$

$$K4(t, q, z, h) := G(t + h, q + h \cdot k3(t, q, z, h), z + h \cdot K3(t, q, z, h))$$

$$rk(t, q, z, h) := \frac{h}{6} \cdot (k1(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot k2(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot k3(t, q, z, h) + k4(t, q, z, h))$$

$$rK(t, q, z, h) := \frac{h}{6} \cdot (K1(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot K2(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot K3(t, q, z, h) + K4(t, q, z, h))$$

$$j := \underline{0} \dots n - \underline{1}$$

$$t_0 := startt$$

$$h := \frac{endtt}{n} - \frac{startt}{n}$$

$$t_{j+1} := t_j + h$$

$$k := \underline{0} \dots n$$

$$\begin{pmatrix} q_0 \\ z_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} initq \\ initq' \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} q_{j+1} \\ z_{j+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} q_j + rk(t_j, q_j, z_j, h) \\ z_j + rK(t_j, q_j, z_j, h) \end{pmatrix}$$

Seite 2 EinmZmax (ohne) 0.37g 5% 6.3w 8.9413vg Friaul

$$n = 13.31997$$

$$b = 25452.82722$$

$$D = 0.05$$

$$L := \text{floor}(\min(q))$$

$$U := \text{ceil}(\max(q))$$

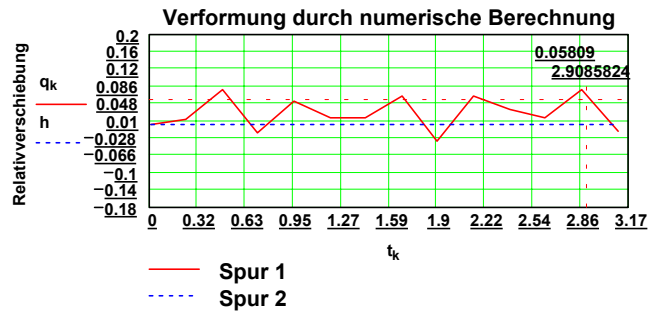
$$h := 0$$

$$\text{linterp}(t, q, 2.9085824) = 0.05809$$

$$U = 1 \quad L = -1$$

$$2.992 \text{ sek} \quad Sd2 := 0.08046$$

$$2.9085824 \text{ sek} \quad Sd2 := 0.05809$$



$$vg := 8.9413$$

$$Tb = 0.99733$$

$$B = 39.69$$

$$D = 0.05$$

$$\kappa = 6.3$$

$$\text{endt} = 3.1745$$

$$t := 0, \frac{Tb}{50} \dots EZ + 1$$

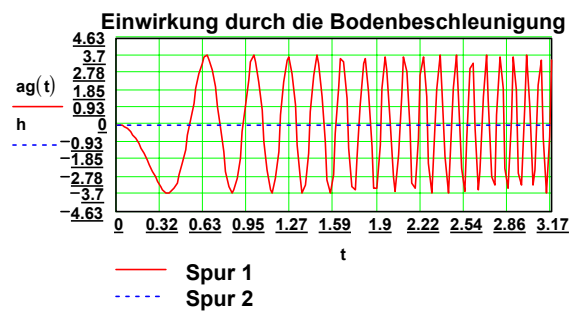
$$\delta = 0.31501$$

$$\frac{1}{\delta} = 3.1745$$

$$n = 13.31997$$

$$ag(t) := -Z \cdot \sin\left(\frac{1}{0.809} \cdot vg \cdot t^2\right)$$

$$fg := \frac{vg}{6.2831} \quad fg = 1.42307$$



Seite 3

$$\delta = 0.31501$$

$$b = 25452.82722 \quad \kappa = 6.3$$

$$\kappa^2 = 39.69$$

Verformungsblock

$$vg = 8.9413$$

$$Spv2 := 0.36554$$

$$Spa1 := 14.4719$$

$$Spamaxbau := 2.3$$

$$vmax := 0.23632$$

$$v = 6.29212$$

$$D = 0.05$$

$$Spa2 := Spamaxbau$$

$$Spa2 = 2.3$$

$$Sdbau(t) := ag(t) \cdot \exp[-\delta \cdot (EZ - t)] \cdot \sin[v \cdot (EZ - t)]$$

t =	EZ - t =	ag(t) =	$\frac{Sdbau(t)}{v} =$
0	0	0	0
1	0.01995	3.1745	-0.00081
2	0.03989	3.15455	-0.00295
3	0.05984	3.13461	-0.00593
4	0.07979	3.11466	-0.0091
5	0.09973	3.09471	-0.01168

$$Sdmaxbau := \frac{Sdbau(2.9085824)}{v}$$

$$Sdmaxbau = 0.36554$$

$$Sd1 := Sdmaxbau$$

$$Sd1 = 0.36554$$

$$Sd2 := \frac{Spv2}{v}$$

$$Sd2 = 0.05809$$

$$Sd2 := \frac{Spamaxbau}{v^2}$$

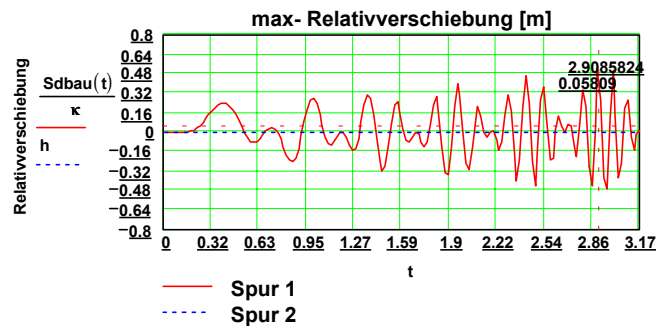
$$Sd2 = 0.05809$$

$$Sd3 := \frac{vmax}{v}$$

$$Sd3 = 0.03756$$

$$Sd4g = 0.18102$$

$$Sd4g := \frac{Spa1}{vg^2}$$



Beschleunigungsblock^{Seite 4}

$$m = 40400$$

$$\kappa = 6.3$$

$$vg = 8.9413$$

$$\delta := \frac{1}{EZ}$$

$$\delta = 0.31501$$

$$\kappa = 6.3$$

$$A := 2 \cdot \delta \quad A = 0.63002$$

$$D = 0.05$$

$$b := A \cdot m$$

$$v := \kappa \cdot \sqrt{1 - D^2}$$

$$b = 25452.82722$$

$$v = 6.29212$$

$$\kappa = 6.3$$

$$\kappa^2 = 39.69$$

$$Sabau(t) := ag(t) \cdot \frac{1}{v} \cdot \exp[-\delta \cdot (EZ - t)] \cdot \sin[v \cdot (EZ - t)]$$

$$\frac{1}{\kappa} = 0.15873$$

$$Spamaxbau := Sabau(2.9085824) \cdot v$$

$$Spamaxbau = 2.3$$

Pseudobeschleunigung:

$$Sdmaxbau := Sd1$$

$$ta := \frac{Spv2}{Spa2}$$

$$tv1 := \frac{Sd1}{Spv2}$$

$$tv2 := \frac{Sd3}{Spv2}$$

$$Sd1 = 0.36554$$

$$Sd2 = 0.05809$$

$$Sd3 = 0.03756$$

$$ta = 0.15893$$

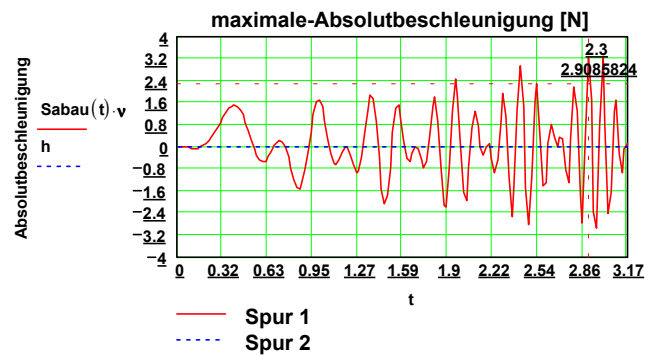
$$tv1 = 0.99999$$

$$tv2 = 0.10275$$

$$Spa1 := Sd1 \cdot v^2 \quad Spa1 = 14.4719$$

$$Spa1 := Sdmaxbau \cdot v^2 \quad Spa1 = 14.4719$$

$$Spa2 := Sd2 \cdot v^2 \quad Spa2 = 2.3$$



Seite 5

Geschwindigkeitsblock

$$\delta = \underline{0.31501} \quad D = \underline{0.05} \quad \kappa = \underline{6.3} \quad \kappa^2 = \underline{39.69}$$

$$Sv_{bau}(t) := -ag(t) \cdot \exp[-\delta \cdot (EZ - t)] \cdot \cos[v \cdot (EZ - t)]$$

$$\frac{1}{\kappa} = \underline{0.15873}$$

$$v_{max} := Sv_{bau}(\underline{2.9085824})$$

$$v_{max} = \underline{0.23632}$$

Pseudogeschwindigkeit

$$Sd2 = \underline{0.05809} \quad Spa1 = \underline{14.4719}$$

$$Spa2 = \underline{2.3}$$

$$Spv2 := Sd2 \cdot v \quad Spv2 = \underline{0.36554}$$

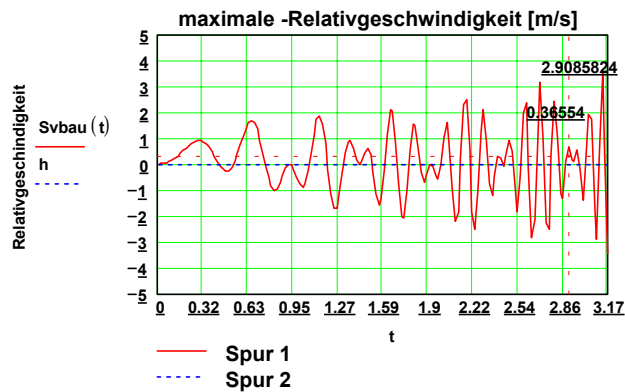
$$Spv2 := \frac{Spa2}{v} \quad Spv2 = \underline{0.36554}$$

$$Spv1 := \frac{Spa1}{v} \quad Spv1 = \underline{2.3}$$

$$Spv3g := \frac{Spa1}{vg} \quad Spv3g = \underline{1.61855}$$

$$Spv2 = \underline{0.36554}$$

t =	EZ - t =	ag(t) =	Sv _{bau} (t) =
0	0	0	0
1	0.01995	1	0.00326
2	0.03989	2	0.01556
3	0.05984	3	0.04022
4	0.07979	4	0.0797
5	0.09973	5	0.13544



Seite 6 EinmZmax (ohne) 0.37g 5% 6.3w 8.9413vg Friaul

$$H_{\max} := m \cdot Sp_{\max \text{bau}}$$

$$H_{\max} = \underline{92920.14323} \quad \text{maximale Schubkraft}$$

$$c := \frac{H_{\max}}{Sd2}$$

$$c = \underline{1.59947} \times 10^6 \quad \text{Federkonstante}$$

$$\text{Federkraft} := Sd2 \cdot c$$

$$\text{Federkraft} = \underline{92920.14323} \quad \text{maximale Federkraft}$$

$$Sd := \frac{H_{\max}}{c2}$$

$$Sd = \underline{0.05795}$$

$$ta := \frac{Spv2}{Spa2}$$

$$tv1 := \frac{Sd1}{Spv2}$$

$$tv2 := \frac{Sd3}{Spv2}$$

$$ta = \underline{0.15893}$$

$$tv1 = \underline{1}$$

$$tv2 = \underline{0.10275}$$

Teil A**a) Programmblock: Antwort Zeilen 1-11****b) Programmblock: Spannungen Zeilen 12-16****c) Programmblock: Boden-Bauwerkswechselwirkung Zeile 17- 21****d) Programmblock: Fließen Zeilen 22-25**

**Die relative Abwehrstruktur
Gegliederte Systemblocks zur Analyse**

Tabelle Bauwerksprüfungsordnung Allgemeine Zonenbezogene Prüfungsbedingungen für Bauwerke gegen Erdbebenbelastung			
		Zone 0,4/04 Einmassen- schwinger	Zone 0,4/0,4 Einmassen- schwinger
		D=5%	D=5%
		$\omega = 6,3$	$\omega = 6,3$
		vg = 8,9413	vg = 8,9413
		EZ=3.1745 t=2.90858 [s]	EZ=3.1745 t=2.9330 [s]
1	Daten	Wirkstruktur: Periodisch 1a FN 1-3	Wirkstruktur: Dynamisch 2 a FN 1-3
2	Masse M [Ns ² /m]	40400	40400
3	Max. Einwirkung [g]	0.37	0,37
4	Äquivalente Beschlg. Zeit ta [ms]	160	160
5	ω [rad/s]	160	160
6	Eigenform Sd2 [m]	0.05809	0.06386
7	Eigenform Spa2 [g]	0,23	0,2528

8	Eigenform Spv2 [m/s]	0.3655	0,4016
9	Max. Schubkraft [N]	92920,14	1,021*10 ⁵
10	Max. Steifigkeit [N/m]	1,599*10 ⁶	1,599*10 ⁶
11	Eigenwert $\lambda = \kappa^2$ [m/s ²]	39,69	39,69
12	Spannungen Hauptachsen [MN/m ²] (λK)	39,69 51,402 45,546	39,69 54,59 47,14
13	Tensorfläche	Rhombische Dipyramide	Rhombische Dipyramide
14	Achsenrichtung [grad]	X=90 Y=90 Z=90	X=90 Y=90 Z=90
15	Spannung bei Formänderung [MN/M ²](λD)	-5,856 +5,856 -5,627*10 ⁻⁵	-7,452 7,452 -1,6*10 ⁻⁴

Beurteilung aus Teil A

realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1 a
für Spalte 2 a V
für Spalte 3 a V

n. realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1a nV
für Spalte 2 a
für Spalte 3 a

Legende:

V = verträglich konditioniert
nV = nicht verträglich konditioniert
FN = Fußnote

Teil B

- a) Programmblock: Antwort Zeilen 1-11
b) Programmblock: Spannungen Zeilen 12-16
c) Programmblock: Boden-Bauwerkswechselwirkung Zeile 17- 21
d) Programmblock: Fließen Zeilen 22-25

**Die absolute Belastungsstruktur
Gegliederte Systemblocks zur Analyse**

Tabelle Bauwerksprüfungsordnung Allgemeine Zonenbezogene Prüfungsbedingungen für Bauwerke gegen Erdbebenbelastung			
		Zone 0,4 /04 Einmassen- schwinger	Zone 0,4/0,4 Einmassen- schwinger
		D=5%	D=5%
		$\omega =6,3$	$\omega =6,3$
		vg =8,9413	vg =8,9413
		EZ=3.1745 t=2.90858 [s]	EZ=3.1745 t=2.9330 [s]
Lfd.Nr.	Daten	Wirkstruktur: periodisch 1 b FN 1-3	Wirkstruktur: dynamisch 2 b FN 1-3
16	Achsenrichtung bei Formänderung [grad]	X=90 Y=90 Z=90	X=90 Y=90 Z=90
17	Bodenbewegung In der Zone [g]	0,37	0,37
18	Bodendruck in der Zone [Pa]N/m ²	1338	1338
19	Bodenpressung In der Zone [Pa]N/m ²	1419	1419
20	Bodenwellengeschwindigkeit [m/s]	0,26	0,26
21	Bauwerksbewe- gung in der Zone [g]	0,25284	0,25284

22	JA1	136,638	141,426
23	JD2 geschw.-abh.	34,638	55,532
24	JD3 geschw.-unabh.	$1,93 \cdot 10^{-3}$	$8,885 \cdot 10^{-3}$
25	Spannung bei Fließbeginn K[MN/m ²]	5,856	7,452

Beurteilung aus Teil B

realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1 b
für Spalte 2 b V
für Spalte 3 b V

n. realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1b nV
für Spalte 2 b
für Spalte 3 b

Legende:

V = verträglich konditioniert
nV = nicht verträglich konditioniert
FN = Fußnote

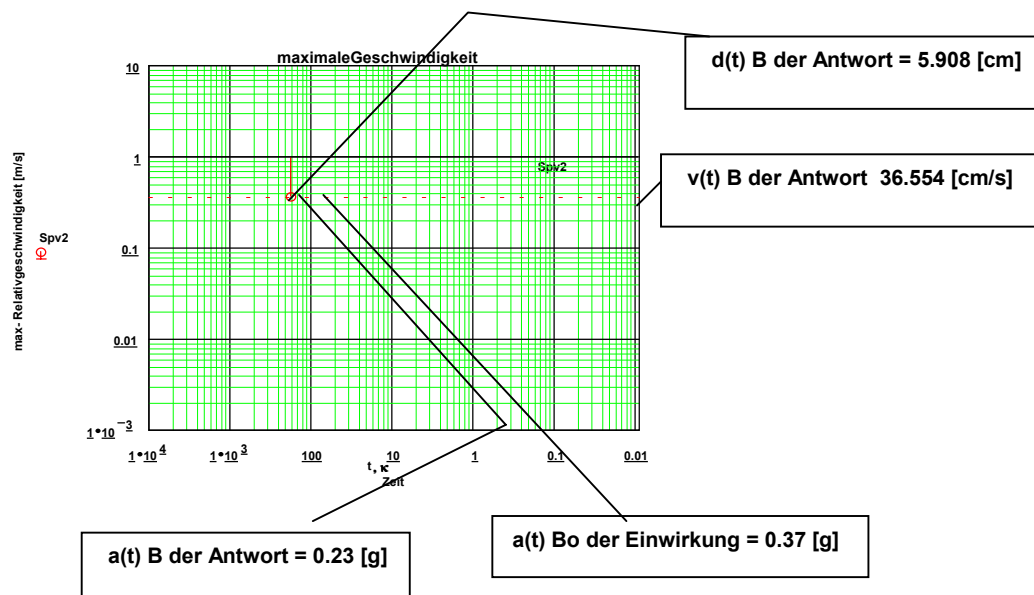


Bild 2: Wirkungsstrukturen im Newmarkschen Spektrum eines einläufigen Schwingers von 1Hz mit 5% Dämpfung infolge Fußpunkterregung durch das Friaul-Erdbeben von 1976. Betrachtung unter der Zeit 2.908 sek. nach der Periodendynamik des Bauwerks

Legende:

- a = Erregung
- v = Geschwindigkeit
- d = Verformung
- Bo = Boden
- B = Bauwerk

2.2 Massen, Spannungen und Fließen in der Simulation der Blöcke b, c und d der Tabelle

Bereits im Vorwort habe ich darauf hingewiesen, dass es sich bei der Einwirkung von Erdbeben um ein Mischsystem aus Reaktion auf Umwelt (spektrales Antwortmodell von Duhamel) und Eigendynamik handelt. Dabei ist festzustellen, dass sich eine nichttreue Wirkstruktur aufbaut, die sich auf eine zeitlich periodische Lösungsform abstützt.³

Hier wird die Eigendynamik des zweiten Teilsystems erkennbar. Sie ist nicht von der aufgenommenen Zeit abhängig, sondern bewirkt ihre Erregung auf Grund der Erdbebenlast axiomatisch durch die deutende Feststellung der Umgebungsparameter *Bodendruck*, *Bodenpressung*, *Bodenwellengeschwindigkeit* bzw. *spezifisches Gewicht des Bodens*. Dabei ist die Bodenwellengeschwindigkeit der maßgebende Parameter für die integrale Richtung, auch des Bauwerks, zwischen Last und Eigenschwingverhalten.⁴

Die jetzt mit der Erregerwirkstruktur des Tragwerks abgebildete Duhamelsche Antwort zeigt mit der zeitlich periodischen Lösungsform eine treue Wirkstruktur auf.⁵

Dennoch: beide nach dem Duhamelschen Integrationsverfahren ermittelten Wirkstrukturen (treu bzw. untreu) genügen nicht für eine Entscheidung über ein Verträglichkeitsverhalten des Tragwerks.

Hierzu bedarf es einer Spannungsanalyse in Verbindung mit der Feststellung des plastischen Potenzials (Zeilen 22-25 der Tabelle). Daraus folgt, bedingt aus der Eigenwertgleichung $(K-\lambda M) \cdot \Phi = 0$, eine lineare ebene Hauptachsenbelegung der Spannungen für X und Y durch λ und M, die eine Verträglichkeitsanalyse zulässt.⁶

Das bedeutet: erst nach einer zweimaligen mathematischen Umbildung der untreuen Wirkstrukturen des Duhamelschen Integrals wird die Aufgabe einer verträglichkeitsgerechten zonalen Lösungsform zugeführt.

³ S. 22/23

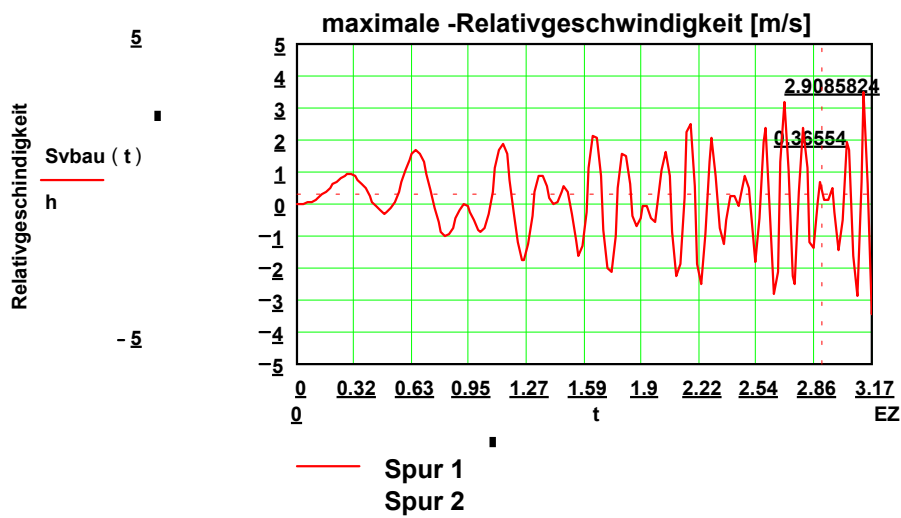
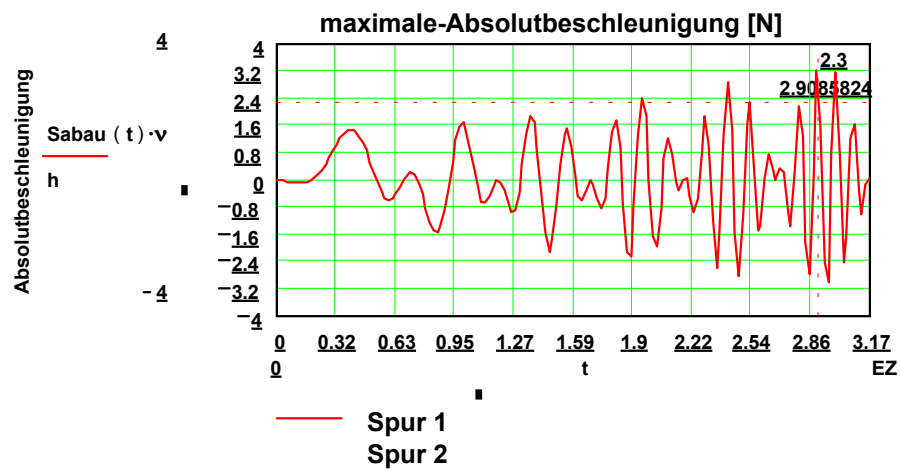
⁴ Programmblock c (S. 33/35)

⁵ S. 16/17, 24/25

⁶ Programmblocks b, d (S. 26/31)

Bild 1 periodisch

Datei: EinmZmax (ohne)0.37g 2.908 sek Disk Nr. 13



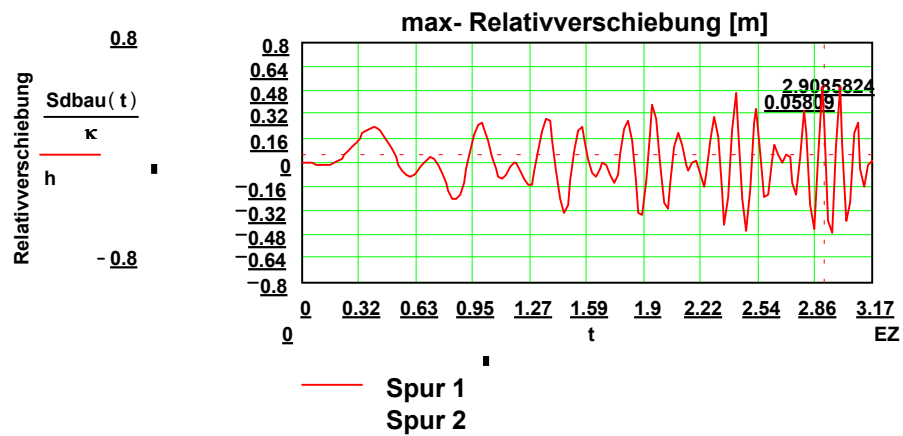
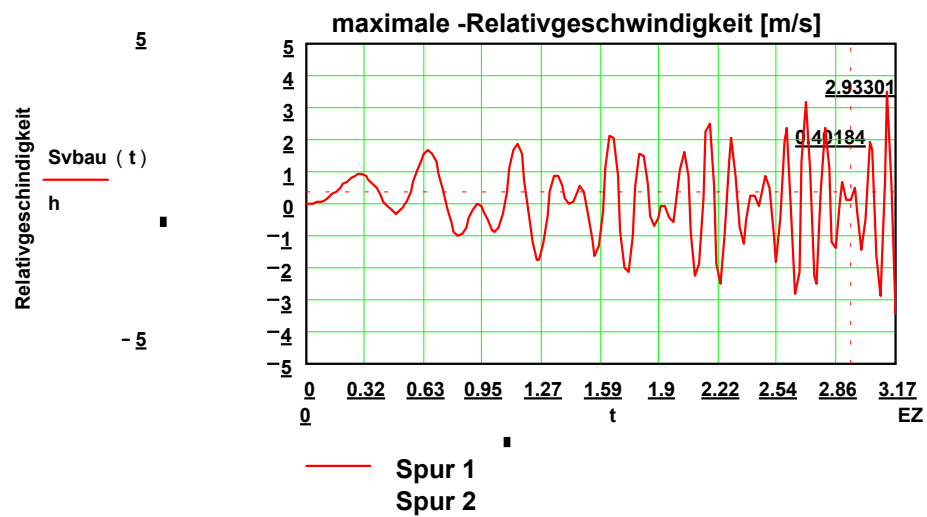
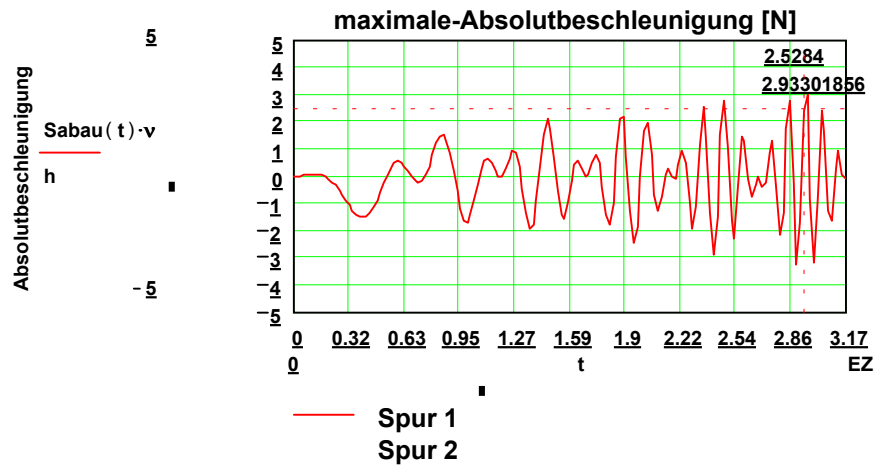


Bild 1: Wirkungsstrukturen als Zeitverläufe der Antwortschwingungen eines einläufigen Schwingers von 1 Hz mit 5% Dämpfung infolge Fußpunkterregung durch das Friaul-Erdbeben von 1976. Betrachtung unter der Zeit 2.908 sek. nach der Periodendynamik des Bauwerks.

Bild 1 dynamisch

Seite 1

Datei: EinmZmax (ohne) 0.37 g 2.93301 sek Disk Nr. 12



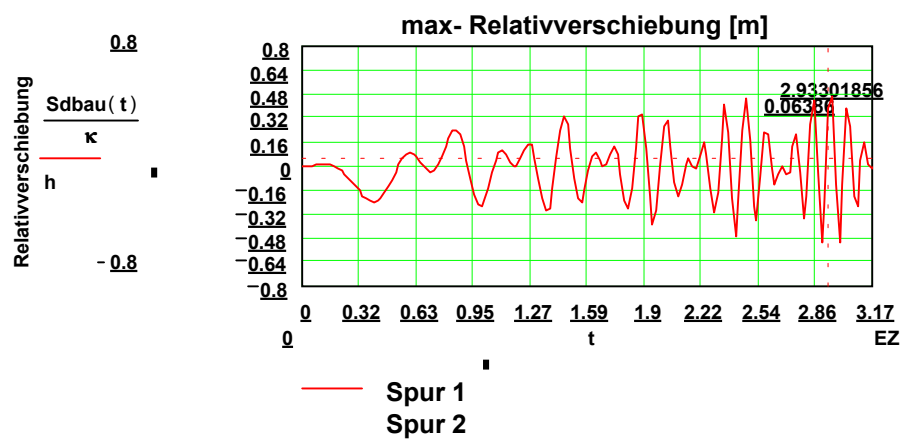


Bild 1: Wirkungsstrukturen der Antwortschwingungen eines einläufigen Schwingers von 1 Hz mit 5% Dämpfung infolge Fußpunkterregung durch das Friaul-Erdbeben von 1976. Betrachtung unter der Zeit 2.93301 sek. nach der Wirkungsstruktur der Eigendynamik des Bauwerks.

ORIGIN := 1

Seite 2

Spannanalysepkt Zmax 0.37g 5% 6.3w 8.9413vg

 $E := \text{einheit (3)}$ $i := 1..3$ $j := 1..3$ $\omega := 6.3$ $a := \omega^2$ $e := 0$ $h := 0$ $i := 0$ $d := \ln(1)$ $b := 51.4018874573$ $d := 0$ $g := 0$ $c := 0$

$$K := \begin{pmatrix} a & d & e \\ d & b & g \\ e & g & \frac{a+b}{2} \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 39.69 & 0 & 0 \\ 0 & 51.402 & 0 \\ 0 & 0 & 45.546 \end{pmatrix}$$

9292014323 [N]

 $\lambda K := \text{eigenwerte (K)}$ $\text{sp}(K) = 136.638$ $|K| = 92920.14323$ $\omega_j := \sqrt{\lambda K_j}$

$$\lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 51.402 \\ 45.546 \end{pmatrix}$$

 $\omega = 6.3$ $\Phi K := \text{eigenvektoren (K)}$

$$\Phi K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

 $|\lambda K| = 79.321$ $S1 := \text{sp}(K)$ $J1 := S1$

$$\sum \omega = 20.218 \quad \sum \lambda K = 136.638$$

 $J1 = 136.638$

$$S2 := (K_{1,1})^2 + (K_{2,2})^2 + (K_{3,3})^2$$

$$S2 = 6.292 \times 10^3$$

$$J2 := \frac{1}{2} \cdot (S2 - S1^2)$$

$$J2 = -6.189 \times 10^3$$

$$J2 := \text{sp}(K^2) - \text{sp}(K)^2$$

$$\frac{J2}{2} = -6.189 \times 10^3$$

$$S3 := (K_{1,1})^3 + (K_{2,2})^3 + (K_{3,3})^3$$

$$J3 := \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot S3 - 3 \cdot S2 \cdot S1 + S1^3)$$

$$J3 = 9.29201 \times 10^4$$

$$S31 := 3 \cdot J3 + 3 \cdot J1 \cdot J2 + J1^3$$

$$S31 = 2.928 \times 10^5$$

$$\frac{2 \cdot K_{1,2}}{K_{1,2} - K_{2,2}} = 0$$

$$K1 := \begin{pmatrix} a - \lambda K_1 & 0 & 0 \\ 0 & b - \lambda K_1 & 0 \\ 0 & 0 & c - \lambda K_1 \end{pmatrix}$$

$$K1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 11.712 & 0 \\ 0 & 0 & -39.69 \end{pmatrix}$$

$$K^2 = \begin{pmatrix} 1.575 \times 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 2.642 \times 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 2.074 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$S3 = 2.928 \times 10^5$$

$$S31 = 2.928 \times 10^5$$

$$\frac{S2}{2} = 3.146 \times 10^3$$

$P :=$ eigenvektoren ($K1$)

Vektoren im Rechtssystem durch das Kreuzprodukt von $\Phi A1, \Phi A2=\Phi A3$

$$P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Phi K^{(3)} := \Phi K^{(1)} \times \Phi K^{(2)}$$

$$\Phi K^{(3)} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\Phi K^T \cdot K \cdot \Phi K = \begin{pmatrix} 39.69 & 0 & 0 \\ 0 & 51.402 & 0 \\ 0 & 0 & 45.546 \end{pmatrix}$$

$$\Phi K^T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$P \cdot \lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 51.402 \\ 45.546 \end{pmatrix}$$

$$P^T \cdot K \cdot P = \begin{pmatrix} 39.69 & 0 & 0 \\ 0 & 51.402 & 0 \\ 0 & 0 & 45.546 \end{pmatrix}$$

$$|P \cdot \lambda K| = 79.321$$

$$\Phi K \cdot \lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 51.402 \\ 45.546 \end{pmatrix}$$

$$J_3 := \frac{1}{6} \cdot ((sp(K)^3 + 2 \cdot sp(K^3) - 3 \cdot sp(K^2) \cdot sp(K)))$$

$$J_3 = 9.292 \times 10^4$$

Die Invarianten sind:

$$JK := \begin{pmatrix} 92920.46147748 \\ -6189.021612 \\ 136.638 \\ -1 \end{pmatrix} \quad |K| = 9.292 \times 10^4$$

$$\lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 51.402 \\ 45.546 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} 2 \cdot \lambda K_3 \\ \frac{1}{3} \cdot JK_1 \end{matrix}$$

$$JK_3 := JK_1 \quad JK_3 = 9.292 \times 10^4$$

$$JK_2 := JK_2 \quad JK_2 = -6.189 \times 10^3$$

$$\text{nullstellen}(JK) = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 45.546 \\ 51.402 \end{pmatrix}$$

$$JK_1 := JK_3 \quad JK_1 = 136.638 \quad S_2 := \frac{1}{3} \cdot JK_1$$

$$D := K - S_2 \cdot E \quad D = \begin{pmatrix} -5.856 & 0 & 0 \\ 0 & 5.856 & 0 \\ 0 & 0 & -5.627 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \quad \text{sp}(D) = -1.688 \times 10^{-4}$$

$$\lambda D := \text{eigenwerte}(D) \quad \lambda D = \begin{pmatrix} -5.856 \\ 5.856 \\ -5.627 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \quad |D| = 1.93 \times 10^{-3}$$

$$\Phi D := \text{eigenvektoren}(D) \quad \Phi D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \Phi K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Phi D^T \cdot D \cdot \Phi D = \begin{pmatrix} -5.856 & 0 & 0 \\ 0 & 5.856 & 0 \\ 0 & 0 & -5.627 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

Seite 5

Spannanalysepkt Zmax 0.37g 5% 6.3w 8.9413vg

$$JD := \begin{bmatrix} 1.929652254720000000010^{-3} \\ 34.292736 \\ -(5.627000000000000000010^{-5}) \\ -1 \end{bmatrix} \quad \text{nullstellen}(JD) = \begin{pmatrix} -5.856 \\ -5.627 \times 10^{-5} \\ 5.856 \end{pmatrix} \quad \lambda D = \begin{pmatrix} -5.856 \\ 5.856 \\ -5.627 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \quad k = \frac{1}{3} \cdot JK1$$

$$JD2 := \frac{1}{6} \cdot \left[(K_{1,1} - K_{2,2})^2 + (K_{2,2} - K_{3,3})^2 + (K_{3,3} - K_{1,1})^2 \right] + (K_{1,2})^2 + (K_{2,3})^2 + (K_{3,1})^2$$

$$JD2 = 34.292 \quad JD2' := JK2 + \frac{1}{3} \cdot JK1^2 \quad JD2' = 34.293$$

$$JD3 := \left[JK3 + \frac{1}{3} \cdot (JK1 \cdot JK2) \right] + \frac{2}{27} \cdot JK1^3 \quad JD3 = 5.821 \times 10^{-11} \quad \text{GESTALTÄNDERUNG}$$

$$JD = \begin{pmatrix} 1.93 \times 10^{-3} \\ 34.293 \\ -5.627 \times 10^{-5} \\ -1 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} JD3 \\ JD2 \\ JD1 \end{matrix} \quad JK = \begin{pmatrix} 9.292 \times 10^4 \\ -6.189 \times 10^3 \\ 136.638 \\ -1 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} JK3 \\ JK2 \\ JK1 \end{matrix} \quad 3 \cdot k = 3 \cdot \lambda K_3$$

$$sp\left(\frac{1}{2} \cdot D \cdot D\right) = 34.292 \quad \blacksquare = JD2 \quad \text{Gestaltänderung} \quad \frac{JD3}{3} = 1.94 \times 10^{-11}$$

$$k := \sqrt{JD2} \quad k = 5.856 \quad k^2 = 34.293 \quad k = \text{Schubfließgrenze}$$

$$k1 := \sqrt{(D_{1,1})^2 + (D_{1,2})^2} \quad k1 = 5.856 \quad R := \sqrt{JD2} \quad R = 5.856$$

$$\text{Diskr} := -\left(\frac{1}{27} \cdot JD2^3 - \frac{1}{4} \cdot JD3^2\right) \quad \text{Diskr} = -1.494 \times 10^3$$

$D < 0$ bedeutet drei verschiedene reelle Nullstellen (Wurzeln bzw. Eigenwerte)

$$\Phi K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Phi D = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 51.402 \\ 45.546 \end{pmatrix}$$

$$\lambda D = \begin{pmatrix} -5.856 \\ 5.856 \\ -5.627 \times 10^{-5} \end{pmatrix} \quad \sigma'_{1,1} := D_{1,1} \quad \sigma'_{1,1} = -5.856$$

$$\sigma_{1,2} := K_{1,2}$$

$$\sigma_{1,2} = 0$$

$$n_1 := \Phi K_{1,1}$$

$$n_1 = 1$$

$$\Phi K \cdot \lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 51.402 \\ 45.546 \end{pmatrix}$$

$$n_2 := \Phi K_{2,1}$$

$$n_2 = 0$$

$$n_3 := (\Phi K^T)_{2,1} \quad n_3 = 0$$

$$K = \begin{pmatrix} 39.69 & 0 & 0 \\ 0 & 51.402 & 0 \\ 0 & 0 & 45.546 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} -5.856 & 0 & 0 \\ 0 & 5.856 & 0 \\ 0 & 0 & -5.627 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

$$\lambda'_1 := \sqrt{(\sigma'_{1,1})^2 + (\sigma_{1,2})^2}$$

$$\lambda'_1 = 5.856$$

$$\text{gleich } k$$

$$t_{1,2} := \frac{\sigma_{1,2}}{k}$$

$$t_{1,2} = 0$$

$$\text{bezogene Schubkraft}$$

$$\Psi_1 := \frac{n_2}{n_1}$$

$$\Psi_1 = 0$$

$$\frac{1 - \sqrt{1 - (t_{1,2})^2}}{t_{1,2}} = 0$$

$$\Psi_2 := \text{atan}(\Psi_1)$$

$$\Psi_2 = 0$$

$$\Psi := \frac{180}{\pi} \cdot \Psi_2$$

$$\Psi = 0$$

$$\Psi + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{180}{\pi} = 45$$

Nullstellenbereich:Tensor

$$\mathbf{M2} := \begin{pmatrix} 39.69 - \lambda K_1 & 0 & 0 \\ 0 & 51.402 - \lambda K_1 & 0 \\ 0 & 0 & 45.546 - \lambda K_1 \end{pmatrix} \quad \lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 51.402 \\ 45.546 \end{pmatrix} \quad 2 \cdot \lambda K_3$$

$$\mathbf{M2} := (39.69 - \lambda K_1) \cdot (51.402 - \lambda K_1) \cdot (45.546 - \lambda K_1)$$

$$92920.46147748 - 6189.021612 \cdot \lambda K_1 + 136.638 \cdot (\lambda K_1)^2 - (\lambda K_1)^3$$

$$D1 := \begin{pmatrix} -5.856 - \lambda D_1 & 0 & 0 \\ 0 & 5.856 - \lambda D_1 & 0 \\ 0 & 0 & -5.627 \cdot 10^{-5} - \lambda D_1 \end{pmatrix}$$

[illegible]

$$1.929652254720000000010^{-3} + 34.292736 \lambda D_1 - 5.627000000000000000010^{-5} (\lambda D_1)^2 - (\lambda D_1)^3$$

$$D = \begin{pmatrix} -5.856 & 0 & 0 \\ 0 & 5.856 & 0 \\ 0 & 0 & -5.627 \times 10^{-5} \end{pmatrix}$$

2.3 Wirkstrukturen und Direktfunktionale des absolut dynamischen Systems in der Simulation von Block c der Tabelle⁷

Die zur Zustandsbeschreibung der aus der absolut dynamischen Struktur entstandenen Systemgrößen, die sich kausal regressiv zwischen Boden und Bauwerk durch partielle Ableitungen des Systems bei der Erdbebenbelastung ergeben, haben einen Bezug zum Einwirkungszustand des Bodens in situ.

Über die Eigenfrequenz zwischen Boden und Bauwerk unter Berücksichtigung der Bodenkennwerte wird über die Geschwindigkeit zur aufgenommenen Last differenziert, und zwischen Last und Eigenschwingungen zur Geschwindigkeit integriert. Beide Vorgänge sind kausal regressive Direktfunktionale.

Die Regression ist aus dem Levenberg-Marquardt-Algorithmus hervorgegangen (Press et al. 1992) und ermittelt den zu der Datenmenge am besten passenden Exponenten. Dieser besteht aus dem dimensionslosen Quotienten zwischen spezifischem Gewicht, Bodenpressung, Bodenwellengeschwindigkeit und der Zeit.

Sein dimensionsloser Charakter steht als Referenzfunktion für den maximalen Bewegungszustand am Bauwerk. Die Zustandsbeschreibung wirkt durch die Direktfunktionale übergreifend zwischen Boden und Bauwerksabläufen, zumal die begleitenden Parameter vom Modell automatisch in der Abgleichung erkannt werden.

Die sich bei der Ermittlung der periodischen Wirkstruktur in Block a ergebende Bodenwellengeschwindigkeit von 0,26 [m/s], wird vom Modell c im dynamischen Pfad mit definierten Bodenkennwerten bestätigt.

Genau diese Automatik ist immer gemeint, wenn von kausaler Regression die Rede ist. Sie ist durch ihre fundamentale Aussage eine Bestätigung für die Konsistenz der eingesetzten Pfadanalysen mit Hilfe der aufgestellten Modelle.⁸

⁷ Block c, S. 33/35

⁸ Abschn. 2.2, S. 21

Datei: Nlinfit Zmax 0.37g 5%6.3w8.9413vg Friaul
 Programmblock c

$$vg := 8.9413$$

$$f := \frac{vg}{2 \cdot \pi} \quad * \quad f = 1.42305$$

$$P2 := \frac{vy_1}{f} \quad P2 = 0.26$$

$$vx := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{pmatrix} \quad vy := \begin{pmatrix} 0 \\ 0.37 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$FF(t, u) := \begin{bmatrix} \frac{u_0}{u_1} \cdot \frac{9.81}{2 \cdot u_2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-1.654}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right) \\ \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{9.81}{u_2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-1.654}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right) \right] \\ -u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_1)^2} \cdot \exp\left(\frac{-1.654}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \\ \frac{-1}{2} \cdot u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_2)^2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-1.654}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right) + u_0 \cdot \left(\frac{9.81}{u_2 \cdot u_1} \cdot \exp\left(\frac{-1.654}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right) \end{bmatrix} \quad *$$

$$i := 0..5$$

$$r := 0..5$$

$$h := 0$$

Datei: Nlinfit Zmax 0.37g 5%6.3w8.9413vg Friauf

$$vg := \begin{pmatrix} 0.021 \\ 0.0141926 \\ 0.022 \end{pmatrix}$$

P := genanp (vx , vy , vg , FF)

g(r) := FF(r, P)₀

$$P = \begin{pmatrix} 0.0134 \\ 0.01419 \\ 0.26 \end{pmatrix}$$

fit(r) := FF(r, P)₀

P₀ · 10⁴ = 134.02727

P₁ · 10⁴ = 141.92955

P₂ = 0.26

vy_i =

	0
0	0
1	0.37
2	0
3	0
4	0
5	0

g(r) =

	0
0	0
1	0.25285
2	0.12643
3	0.08428
4	0.06321
5	0.05057

fit(r) =

	0
0	0
1	0.25285
2	0.12643
3	0.08428
4	0.06321
5	0.05057

Seite 3 Datei: Nlinfit Zmax 0.37g 5%6.3w8.9413vg Friaul

$$h := 0$$

 $vx_i =$

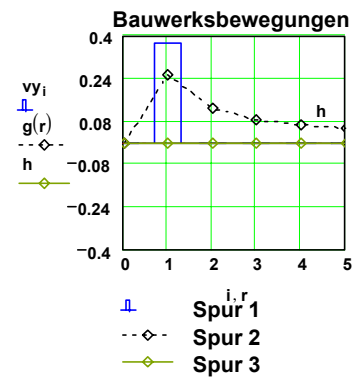
	0
0	0
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

 $vy_i =$

	0
0	0
1	0.37
2	0
3	0
4	0
5	0

 $g(r) =$

	0
0	0
1	0.25285
2	0.12643
3	0.08428
4	0.06321
5	0.05057



$$P_0 \cdot 10^4 = 134.02727 \quad \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \quad \frac{1}{0.1} \cdot P_0 \cdot 10^4 = 1340.27266$$

$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \text{Pa} \quad \text{Bodendruck}$$

$$P_1 \cdot 10^4 = 141.92955 \quad \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \quad \frac{1}{0.1} \cdot P_1 \cdot 10^4 = 1419.29548$$

$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad \text{Pa} \quad \text{Bodenpressung}$$

$$P_2 = 0.26 \quad \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Bodenwellengeschwindigkeit}$$

$$vg := 8.9413$$

$$f := \frac{vg}{2 \cdot \pi} \quad * \quad f = 1.42305$$

$$P2 := \frac{vy_1}{f} \quad P2 = 0.26$$

2.4 Verträglichkeitsbestimmung für den Ein-/Mehrmassenschwinger im Massengrenzbereich als Modell- und Abbildungszweck

Die Zusammenhänge aus den Abschn. 2.2 und 2.3 haben aufgezeigt, dass sich durch die Wirkstrukturen des Gesamttragwerks allein keine verträglichkeitsgerechten Bemessungsgrundlagen ableiten lassen. Selbst unter der „Anzeige“ von Eigenschwingungswerten ist das Dämpfungsvermögen nur mit Hilfe einer Spannungsanalyse auszumachen.⁹

Denn Verformungen sind vom Geschwindigkeits-Last-Differenzial, und damit von den Bewegungen der Stoffteilchen des Tragwerks, aber nicht von seinem Eigenfrequenzverhalten abhängig. Hieraus erklärt sich auch, dass letztendlich die Masse durch die Erregungsaufnahme das Spannungsfeld aufbaut.

Damit schließt sich der operative Kreis der Wirkstrukturen, der eine realitätsnahe Zustandsbeschreibung zur Verträglichkeitsanalyse zulässt.

Es soll nun von durchgerechneten Tabellenwerten aus, unter einer zwei- bzw. fünfprozentigen Dämpfung, der Nachweis über die gültigen Aussagen geführt werden. Aus ihnen lässt sich ableiten, dass im Grenzmassenbereich die dynamische Direktstruktur (Block c) bei fünfprozentiger Dämpfung verträgliche Tragwerksspannungen aufbaut, aber das gleiche Tragwerk in der periodischen Wirkstruktur unter einer zweiprozentigen Dämpfung ein nichtverträgliches Verhalten erleidet.¹⁰

Es wird deswegen vom Massengrenzbereich gesprochen, weil er noch mögliche Massenbelastung des Bauwerks zulässt, und den Zustand im rationalen belässt, wenn durch die Erregungsaufnahme das Spannungspotenzial verträglich definiert ist.

Die Spannungsstrukturen der plastischen Dehnungs- und Gestaltänderungsarbeit aus den Zeilen 22-25 der Tabelle B S.40 zeigen den Zusammenhang mit den Hauptspannungen der Zeile 12 an, die sich aus dem Fließbeginn k des plastischen Potenzials ergeben.

JA1 ist dabei eine Invariante, die für die Volumendehnung, JD2 für eine geschwindigkeitsabhängige und JD3-unabhängige Gestaltänderung des Tragwerks verantwortlich ist.

Der bisher geführte Antwortbereich als Ausdruck der in den Tabellen aufgestellten Programmen, hat in seiner Beschränkung auf die Problematik der Verträglichkeit, der gegen Erdbebenbelastung ausgesetzten Baukörper, seinen Modellzweck erfüllt.

Meine vierjährige Forschungsarbeit an computersimulierten Modellen von Erdbebenprogrammen hat zu einer völlig neuen Sichtweise des Zusammenspiels der kausal regressiv vorgehenden Mediendurchläufe geführt. Für den Mehrmassenschwinger gelten die gleichen Gesetzmäßigkeiten. Bei ihm ergeben sich im Massengrenzbereich verträgliche Strukturen¹¹, weil die plastische Volumen- und Gestaltänderungsarbeit, die notwendigen dissipativen Formen geschaffen hat, wie aus Abschnitt 2.2 hervorgeht.

⁹ Abschn. 2.2, S. 26-31

¹⁰ S. 37-38 ff

¹¹ Sp. 3; S. 37/40, 56/59

Teil A

- a) Programmblock: Antwort Zeilen 1-11
 b) Programmblock: Spannungen Zeilen 12-16
 c) Programmblock: Boden-Bauwerkswechselwirkung Zeile 17- 21
 d) Programmblock: Fließen Zeilen 22-25

Die relative Abwehrstruktur gegliederte Systemblocks zur Analyse

Tabelle Bauwerksprüfungsordnung Allgemeine zonenbezogene Prüfungsbedingungen für Bauwerke gegen Erdbebenbelastung				
		Zone 0,4/04 Einmassen- schwinger	Zone 0,4/0,4 Einmassen- schwinger	Zone 0,4/04 Mehrmassen- schwinger
		D=2%	D=5%	D=5%
		$\omega = 6,3$	$\omega = 6,3$	$\omega = 6,3$
		vg =8,9413	vg =8,9413	vg =8,9413
		EZ=7,935 t=7,6994 [s]	EZ=3,1745 t=2.93301 [s]	EZ=3,1745
1	Daten	Wirkstruktur: Periodisch 1a FN 1-3	Wirkstruktur: Dynamisch 2a FN 1-3	Wirkstruktur: Periodisch 3a FN 1-3
2	Masse M [Ns ² /m]	40400	40400	53537
3	Max. Einwirkung [g]	0,37	0,37	037
1	Äquivalente Beschlg. Zeit ta [ms]	184,5	160	160
5	ω [rad/s]	6,3	6,3	6,3
6	Eigenform Sd2 [m]	0,08895	0,06386	0,058
7	Eigenform Spa2 [g]	0,35291	0,2528	0,23

8	Eigenform Spv2 [m/s]	0,56029	0,4018	0,3655
9	Max. Schubkraft [N]	$1,42576 \cdot 10^5$	$1,021 \cdot 10^5$	$1,2344 \cdot 10^5$
10	Max. Steifigkeit [N/m]	$1,60348 \cdot 10^6$	$1,0599 \cdot 10^6$	$2,127 \cdot 10^6$
11	Eigenwert $\lambda = \kappa^2$ [m/s ²]	39,69	39,67	39,69
12	Spannungen Hauptachsen [MN/m ²] (λK)	39,69 67,208 53,449	39,69 54,59 47,14	39,69 61,48 50,58
13	Tensorfläche	Rhombische Dypyramide	Rhombische Dypyramide	Rhombische Dypyramide
14	Achsenrichtung [grad]	X=90 Y90 Z=90	X=90 Y90 Z=90	X=90 Y90 Z=90
15	Spannung bei Formänderung [MN/M ²⁸](λD)	-13,759 13,759 $2,3 \cdot 10^{-4}$	-7,452 7,452 $1,6 \cdot 10^{-4}$	-10,89 10,89 $1,36 \cdot 10^{-4}$

Beurteilung aus Teil A

realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1 a
für Spalte 2 a V
für Spalte 3 a V

n. realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1a nV
für Spalte 2 a
für Spalte 3 a

Legende:

V = verträglich konditioniert
nV = nicht verträglich konditioniert
FN = Fußnote

Teil B

- a) Programmblock: Antwort Zeilen 1-11
 b) Programmblock: Spannungen Zeilen 12-16
 c) Programmblock: Boden-Bauwerkswechselwirkung Zeile 17- 21
 d) Programmblock: Fließen Zeilen 22-25

Die absolute Belastungsstruktur gegliederte Systemblocks zur Analyse

Tabelle Bauwerksprüfungsordnung				
Allgemeine zonenbezogene Prüfungsbedingungen für Bauwerke gegen Erdbebenbelastung				
		Zone 0,4/04 Einmassen- schwinger	Zone 0,4 /0,4 Einmassen- schwinger	Zone 0,4/04 Mehrmassen- schwinger
		D=2%	D=5%	D=5%
		$\omega =6,3$	$\omega =6,3$	$\omega =6,3$
		vg =8,9413	vg =8,9413	vg =8,9413
		EZ=7,935 t=7,6994 [s]	EZ=3,1745 t=2.93301 [s]	EZ=3,1745
Lfd.Nr.	Daten	Wirkstruktur: Periodisch 1a FN 1-3	Wirkstruktur: Dynamisch 2 a FN 1-3	Wirkstruktur: Periodisch 3 a FN 1-3
16	Achsenrichtung bei Formänderung [grad]	X=90 Y=90 Z=90	X=90 Y=90 Z=90	X=90 Y=90 Z=90
17	Bodenbewegung In der Zone [g]	0,37	0,37	0,37
18	Bodendruck in der Zone [Pa]N/m ²	1338	1338	1338
19	Bodenpressung In der Zone [Pa]N/m ²	1419	1419	1419
20	Bodenwellenge- schwindigkeit [m/s]	0,26	0,26	0,26
21	Bauwerksbewe- gung in der Zone [g]	0,25284	0,25284	0,25284

22	JA1	160,347	141,426	151
23	JD2 geschw.-abh.	189,31	55,532	118
24	JD3 geschw.-unabh.	-0,044	$8,885 \cdot 10^{-3}$	-0,016
25	Spannung bei Fließbeginn K[MN/m ²]	13,759	7,452	10,89

Beurteilung aus Teil B

realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1 b
für Spalte 2 b V
für Spalte 3 b V

n. realistisch verträgliche Strukturen
für Spalte 1b nV
für Spalte 2 b
für Spalte 3 b

Legende:

V = verträglich konditioniert
nV = nicht verträglich konditioniert
FN = Fußnote

Seite 1 EinmZmax (ohne) 0.37g 2% 6.3w 8.9413vg Friaul

$$Z := \underline{0.799137} \cdot \underline{4.63} \quad Z = \underline{3.7} \quad Zg := \frac{Z}{\underline{10}} \quad Zg = \underline{0.37} \quad [g] \quad \text{Zone: } 0.4/0.4$$

$$\kappa := \underline{6.3}$$

maximale - Betrachtung
bei 7.6994 sek

$$m := \underline{40400}$$

$$c2 := m \cdot \kappa^2$$

$$c2 = \underline{1.60348} \times 10^6$$

Programmblock a
S.1-6

$$vg := \underline{8.9413}$$

$$m := \frac{c2}{\kappa^2}$$

$$m = \underline{40400}$$

$$EZ := \underline{7.935}$$

$$\delta := \frac{1}{EZ}$$

$$A := \underline{2} \cdot \delta$$

$$D := \frac{A}{\underline{2} \cdot \kappa}$$

$$b := A \cdot m$$

$$b = \underline{10182.73472}$$

$$D = \underline{0.02}$$

$$Tg := \frac{\underline{2} \cdot \pi}{vg}$$

$$Tg = \underline{0.70271}$$

$$\delta = \underline{0.12602}$$

$$B := \kappa^2$$

$$B = \underline{39.69}$$

$$v := \kappa \cdot \sqrt{1 - D^2}$$

$$v = \underline{6.29874}$$

$$vg := \frac{\underline{2} \cdot \pi}{Tg}$$

$$A = \underline{0.25205}$$

$$ag(t) := -Z \cdot \sin\left(\frac{1}{\underline{0.809}} \cdot vg \cdot t^2\right)$$

$$\text{startt} := \underline{0}$$

$$\text{endtt} := EZ$$

Intervals

$$\text{initq} := \underline{0}$$

$$\text{initq}' := \underline{0}$$

$$n := \underline{19.901033}$$

$$Tb := \frac{\underline{2} \cdot \pi}{\kappa}$$

$$Tb = \underline{0.99733}$$

$$G(t, q, z) := ag(t) - B \cdot q - A \cdot z$$

$$k1(t, q, z, h) := z$$

Periode Bauwerk:

$$Tb = \underline{0.99733}$$

[sek]

$$K1(t, q, z, h) := G(t, q, z)$$

$$k2(t, q, z, h) := z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K1(t, q, z, h)$$

$$K2(t, q, z, h) := G(t + \underline{0.5} \cdot h, q + \underline{0.5} \cdot h \cdot k1(t, q, z, h), z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K1(t, q, z, h))$$

$$k3(t, q, z, h) := z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K2(t, q, z, h)$$

$$K3(t, q, z, h) := G(t + \underline{0.5} \cdot h, q + \underline{0.5} \cdot h \cdot k2(t, q, z, h), z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K2(t, q, z, h))$$

$$k4(t, q, z, h) := z + h \cdot K3(t, q, z, h)$$

$$K4(t, q, z, h) := G(t + h, q + h \cdot k3(t, q, z, h), z + h \cdot K3(t, q, z, h))$$

$$rk(t, q, z, h) := \frac{h}{\underline{6}} \cdot (k1(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot k2(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot k3(t, q, z, h) + k4(t, q, z, h))$$

$$rK(t, q, z, h) := \frac{h}{\underline{6}} \cdot (K1(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot K2(t, q, z, h) + \underline{2} \cdot K3(t, q, z, h) + K4(t, q, z, h))$$

$$j := \underline{0} \dots n - 1 \quad t_0 := \text{startt} \quad h := \frac{\text{endtt} - \text{startt}}{n}$$

$$t_{j+1} := t_j + h \quad k := \underline{0} \dots n$$

$$\begin{pmatrix} q_0 \\ z_0 \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} \text{initq} \\ \text{initq}' \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} q_{j+1} \\ z_{j+1} \end{pmatrix} := \begin{pmatrix} q_j + rk(t_j, q_j, z_j, h) \\ z_j + rK(t_j, q_j, z_j, h) \end{pmatrix}$$

$$n = 19.90103$$

$$b = 10182.73472$$

$$D = 0.02$$

$$L := \text{floor}(\min(q))$$

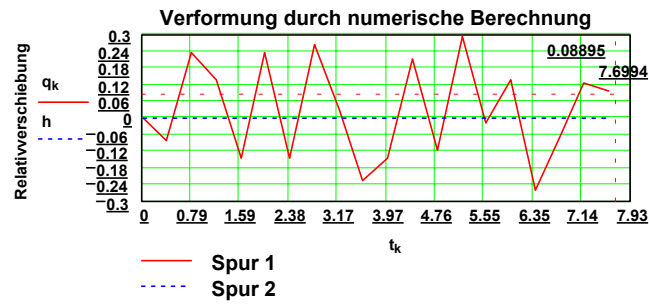
$$U := \text{ceil}(\max(q))$$

$$h := 0$$

$$\text{interp}(t, q, 7.6994) = 0.08895$$

$$U = 1 \quad L = -1$$

$$7.6994 \quad \text{sek} \quad Sd2 := 0.08895$$



$$vg := 8.9413$$

$$Tb = 0.99733$$

$$B = 39.69$$

$$D = 0.02$$

$$\kappa = 6.3$$

$$\text{endt} = 7.935$$

$$t := 0, \frac{Tb}{20} .. EZ + 1$$

$$\delta = 0.12602$$

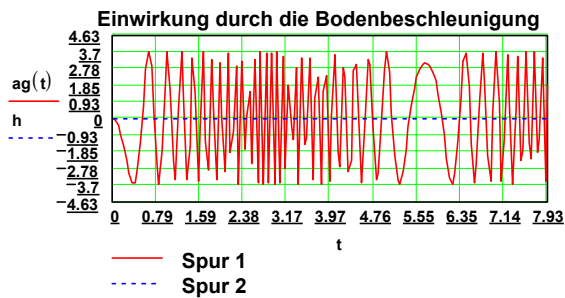
$$\frac{1}{\delta} = 7.935$$

$$n = 19.90103$$

$$ag(t) := -Z \cdot \sin\left(\frac{1}{0.809} \cdot vg \cdot t^2\right)$$

$$fg := \frac{vg}{2 \cdot \pi}$$

$$fg = 1.42305$$



t =

	0
0	0
1	0.04987
2	0.09973
3	0.1496
4	0.19947
5	0.24933

ag(t) =

	0
0	0
1	-0.10168
2	-0.40594
3	-0.9059
4	-1.57509
5	-2.34686

EinmZmax (ohne) 0.37g 2% 6.3w 8.9413vg Friat

Beschleunigungsblock Seite 4

$$m = 40400$$

$$\kappa = 6.3$$

$$vg = 8.9413$$

$$\delta := \frac{1}{EZ}$$

$$\delta = 0.12602$$

$$\kappa = 6.3$$

$$A := 2 \cdot \delta$$

$$A = 0.25205$$

$$D = 0.02$$

$$b := A \cdot m$$

$$v := \kappa \cdot \sqrt{1 - D^2}$$

$$b = 10182.73472$$

$$v = 6.29874$$

$$\kappa = 6.3$$

$$\kappa^2 = 39.69$$

$$Sabau(t) := -ag(t) \cdot \frac{1}{v} \cdot \exp[-\delta \cdot (EZ - t)] \cdot \sin[v \cdot (EZ - t)]$$

$$\frac{1}{\kappa} = 0.15873$$

$$7.3356$$

$$Spamaxbau := Sabau(7.6994) \cdot v$$

$$Spamaxbau = 3.52911$$

Pseudobeschleunigung:

$$Sdmaxbau := Sd1$$

$$ta := \frac{Spv2}{Spa2}$$

$$tv1 := \frac{Sd1}{Spv2}$$

$$tv2 := \frac{Sd3}{Spv2}$$

$$Sd1 = 0.56029$$

$$Sd2 = 0.08895$$

$$Sd3 = 0.04876$$

$$ta = 0.15876$$

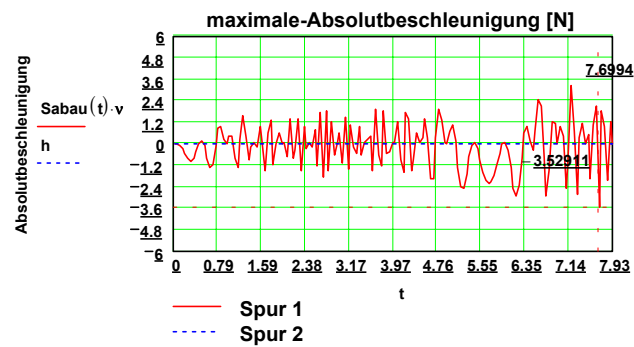
$$tv1 = 1$$

$$tv2 = 0.08703$$

$$Spa1 := Sd1 \cdot v^2 \quad Spa1 = 22.22894$$

$$Spa1 := Sdmaxbau \cdot v^2 \quad Spa1 = 22.22894$$

$$Spa2 := Sd2 \cdot v^2 \quad Spa2 = 3.52911$$



$$7.3356$$

Seite 5

Geschwindigkeitsblock

$$\delta = \underline{0.12602} \quad D = \underline{0.02} \quad \kappa = \underline{6.3} \quad \kappa^2 = \underline{39.69}$$

$$Sv_{bau}(t) := -ag(t) \cdot \exp[-\delta \cdot (EZ - t)] \cdot \cos[v \cdot (EZ - t)]$$

t =	0
0	0
1	0.04987
2	0.09973
3	0.1496
4	0.19947
5	0.24933

EZ - t =	0
0	7.935
1	7.88513
2	7.83527
3	7.7854
4	7.73553
5	7.68567

$$\frac{1}{\kappa} = \underline{0.15873}$$

$$v_{max} := Sv_{bau}(7.6994)$$

$$v_{max} = \underline{0.30715}$$

Pseudogeswindigkeit

$$Sd2 = \underline{0.08895} \quad Spa1 = \underline{22.22894}$$

$$Spa2 = \underline{3.52911}$$

$$Spv2 := Sd2 \cdot v \quad Spv2 = \underline{0.56029}$$

$$Spv2 := \frac{Spa2}{v} \quad Spv2 = \underline{0.56029}$$

$$Spv1 := \frac{Spa1}{v} \quad Spv1 = \underline{3.52911}$$

$$Spv3g := \frac{Spa1}{v_g} \quad Spv3g = \underline{2.4861}$$

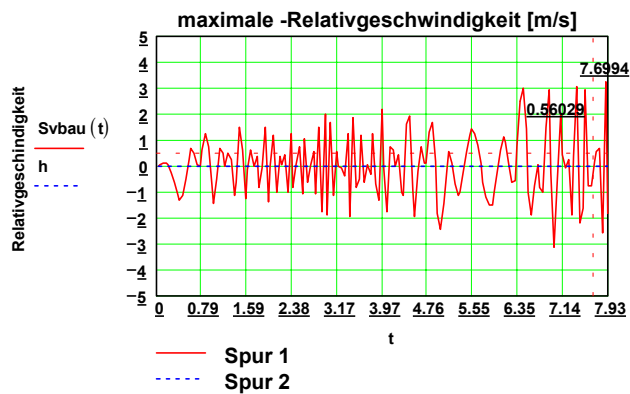
$$Spv2 = \underline{0.56029}$$

$$ag(t) =$$

	0
0	0
1	-0.10168
2	-0.40594
3	-0.9059
4	-1.57509
5	-2.34686

$$Sv_{bau}(t) =$$

	0
0	0
1	0.03109
2	0.09243
3	0.11438
4	0.01748
5	-0.25021



$$H_{\max} := m \cdot Sp_{\max \text{bau}}$$

$$H_{\max} = \underline{1.42576} \times 10^5 \quad \text{maximale Schubkraft}$$

$$c := \frac{H_{\max}}{Sd2}$$

$$c = \underline{1.60283} \times 10^6 \quad \text{Federkonstante}$$

$$\text{Federkraft} := Sd2 \cdot c$$

$$\text{Federkraft} = \underline{1.42576} \times 10^5 \quad \text{maximale Federkraft}$$

$$Sd := \frac{H_{\max}}{c2}$$

$$Sd = \underline{0.08892}$$

$$ta := \frac{Spv2}{Spa2}$$

$$tv1 := \frac{Sd1}{Spv2}$$

$$tv2 := \frac{Sd3}{Spv2}$$

$$ta = \underline{0.15876}$$

$$tv1 = \underline{1}$$

$$tv2 = \underline{0.08703}$$

ORIGIN := 1

Seite 2

Spannanalysepkt Zmax 0.37g 2% 6.3w 8.9413vg max

 $E := \text{einheit (3)}$ $i := 1..3$ $j := 1..3$ $\omega := 6.3$ $a := \omega^2$ $e := 0$ $h := 0$ $i := 0$ $d := \ln(1)$ $b := 67.20846$ $d := 0$ $g := 0$ $c := 0$

$$K := \begin{pmatrix} a & d & e \\ d & b & g \\ e & g & \frac{a+b}{2} \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 39.69 & 0 & 0 \\ 0 & 67.208 & 0 \\ 0 & 0 & 53.449 \end{pmatrix}$$

 $1.42576 \cdot 10^5$ [N] $\lambda K := \text{eigenwerte (K)}$ $\text{sp}(K) = 160.348$ $|K| = 1.42576 \times 10^5$ $\omega_j := \sqrt{\lambda K_j}$

$$\lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 67.208 \\ 53.449 \end{pmatrix}$$

 $\omega = 6.3$ $\Phi K := \text{eigenvektoren (K)}$

$$\Phi K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

 $|\lambda K| = 94.6$ $S1 := \text{sp}(K)$ $J1 := S1$

$$\sum \omega = 21.809 \quad \sum \lambda K = 160.348$$

 $J1 = 160.348$

$$S2 := (K_{1,1})^2 + (K_{2,2})^2 + (K_{3,3})^2$$

 $S2 = 8.949 \times 10^3$

$$J2 := \frac{1}{2} \cdot (S2 - S1^2)$$

 $J2 = -8.381 \times 10^3$

$$J2 := \text{sp}(K^2) - \text{sp}(K)^2$$

$$\frac{J2}{2} = -8.381 \times 10^3$$

$$S3 := (K_{1,1})^3 + (K_{2,2})^3 + (K_{3,3})^3$$

$$J3 := \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot S3 - 3 \cdot S2 \cdot S1 + S1^3)$$

 $J3 = 1.42576 \times 10^5$

$$S31 := 3 \cdot J3 + 3 \cdot J1 \cdot J2 + J1^3$$

 $S31 = 5.188 \times 10^5$

$$\frac{2 \cdot K_{1,2}}{K_{1,2} - K_{2,2}} = 0$$

$$K1 := \begin{pmatrix} a - \lambda K_1 & 0 & 0 \\ 0 & b - \lambda K_1 & 0 \\ 0 & 0 & c - \lambda K_1 \end{pmatrix}$$

$$K1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 27.518 & 0 \\ 0 & 0 & -39.69 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M2} := \begin{pmatrix} 39.69 - \lambda K_1 & 0 & 0 \\ 0 & 67.208 - \lambda K_1 & 0 \\ 0 & 0 & 53.449 - \lambda K_1 \end{pmatrix} \quad \lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 67.208 \\ 53.449 \end{pmatrix} \quad 2 \cdot \lambda K_3$$

$$142574.43355848 - 8381.076722 \cdot \lambda K_1 + 160.347 \cdot (\lambda K_1)^2 - (\lambda K_1)^3$$

$$D1 := \begin{pmatrix} -13.795 - \lambda D_1 & 0 & 0 \\ 0 & 13.795 - \lambda D_1 & 0 \\ 0 & 0 & 2.3 \cdot 10^{-4} - \lambda D_1 \end{pmatrix}$$

$$-(4.37694657500000000000 \cdot 10^{-2}) + 190.302025 \lambda D_1 + 2.30000000000000000000 \cdot 10^{-4} \cdot (\lambda D_1)^2 - (\lambda D_1)^3$$

$$D = \begin{pmatrix} -13.759 & 0 & 0 \\ 0 & 13.759 & 0 \\ 0 & 0 & 2.3 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned}
Z &:= \underline{0.799137.4.63} \quad Z = \underline{3.7} & \text{Zone1.6/1.0} \\
Z_g &:= \frac{Z}{10} \quad Z_g = \underline{0.37} \quad [g] & m := \underline{40400} \\
\kappa &:= \underline{6.3} & \text{maximale - Betrachtung} \\
& & \text{bei } \underline{2.93301856} \text{ sek} \\
c2 &:= \kappa^2 \cdot m \\
c2 &= \underline{1.60348} \times 10^6 & v_g := \underline{8.9413} \\
EZ &:= \underline{3.1745} & \delta := \frac{1}{EZ} \\
m &= \underline{40400} \\
A &:= \underline{2} \cdot \delta \\
D &:= \frac{A}{2 \cdot \kappa} & b := A \cdot m & b = \underline{25452.82722} & D = \underline{0.05} & T_g := \frac{2 \cdot \pi}{v_g} & T_g = \underline{0.70271} \\
\delta &= \underline{0.31501} & B := \kappa^2 & B = \underline{39.69} & v := \kappa \cdot \sqrt{1 - D^2} & v = \underline{6.29212} & v_g := \frac{2 \cdot \pi}{T_g} \\
A &= \underline{0.63002} & ag(t) &:= Z \cdot \sin\left(\frac{1}{\underline{0.809}} \cdot v_g \cdot t^2\right) \\
startt &:= \underline{0} & endt &:= EZ \\
& & \text{Intervals} \\
initq &:= \underline{0} & initq' &:= \underline{0} & n := \underline{14.98135} & T_b := \frac{2 \cdot \pi}{\kappa} & T_b = \underline{0.99733} \\
G(t, q, z) &:= ag(t) - B \cdot q - A \cdot z \\
k1(t, q, z, h) &:= z & \text{Periode Bauwerk:} & T_b = \underline{0.99733} & [sek] \\
K1(t, q, z, h) &:= G(t, q, z, h) \\
k2(t, q, z, h) &:= z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K1(t, q, z, h) \\
K2(t, q, z, h) &:= G(t + \underline{0.5} \cdot h, q + \underline{0.5} \cdot h \cdot k1(t, q, z, h), z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K1(t, q, z, h)) \\
k3(t, q, z, h) &:= z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K2(t, q, z, h) \\
K3(t, q, z, h) &:= G(t + \underline{0.5} \cdot h, q + \underline{0.5} \cdot h \cdot k2(t, q, z, h), z + \underline{0.5} \cdot h \cdot K2(t, q, z, h)) \\
k4(t, q, z, h) &:= z + h \cdot K3(t, q, z, h) \\
K4(t, q, z, h) &:= G(t + h, q + h \cdot k3(t, q, z, h), z + h \cdot K3(t, q, z, h)) \\
rk(t, q, z, h) &:= \frac{h}{6} \cdot (k1(t, q, z, h) + 2 \cdot k2(t, q, z, h) + 2 \cdot k3(t, q, z, h) + k4(t, q, z, h)) \\
rK(t, q, z, h) &:= \frac{h}{6} \cdot (K1(t, q, z, h) + 2 \cdot K2(t, q, z, h) + 2 \cdot K3(t, q, z, h) + K4(t, q, z, h)) \\
j &:= \underline{0} \dots n - 1 & t_0 &:= startt & h := \frac{endt}{n} - \frac{startt}{n} & t_{j+1} &:= t_j + h & k := \underline{0} \dots \underline{14.98135} \\
\begin{pmatrix} q_0 \\ z_0 \end{pmatrix} &:= \begin{pmatrix} initq \\ initq' \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} q_{j+1} \\ z_{j+1} \end{pmatrix} &:= \begin{pmatrix} q_j + rk(t_j, q_j, z_j, h) \\ z_j + rK(t_j, q_j, z_j, h) \end{pmatrix}
\end{aligned}$$

Seite 2

$$n = 14.98135$$

$$D = 0.05$$

$$b = 25452.82722$$

$$L := \text{floor}(\min(q))$$

$$U := \text{ceil}(\max(q))$$

$$h := 0$$

$$\text{linterp}(t, q, 2.93301856) = 0.06386$$

$$U = 1$$

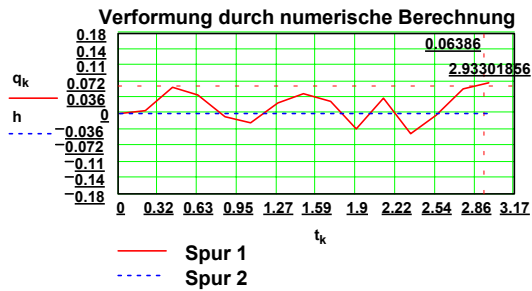
$$L = -1$$

$$2.93301856$$

$$Sd2 := 0.06386$$

$$2.9085824$$

$$Sd2 := 0.05809$$



$$vg := 8.9413$$

$$Tb = 0.99733$$

$$B = 39.69$$

$$D = 0.05$$

$$\kappa = 6.3$$

$$t := 0, \frac{Tb}{2} \dots EZ + 1$$

$$\delta = 0.31501$$

$$\frac{1}{\delta} = 3.1745$$

$$\text{end}t = 3.1745$$

$$n = 14.98135$$

$$ag(t) := -Z \cdot \sin\left(\frac{1}{0.809} \cdot vg \cdot t^2\right)$$

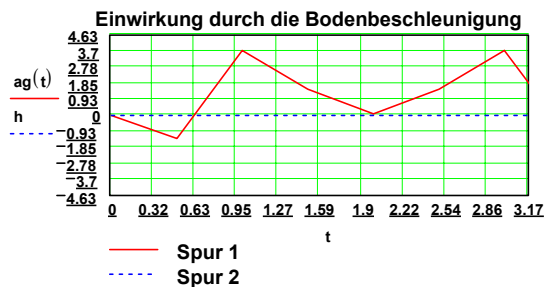
$$fg := \frac{vg}{6.2831} \quad fg = 1.42307$$

t =

	0
0	0
1	0.49867
2	0.99733
3	1.496
4	1.99466
5	2.49333
6	2.99199
7	3.49066
8	3.98932

ag(t) =

	0
0	0
1	-1.41782
2	3.7
3	1.43288
4	0.03265
5	1.46292
6	3.69928
7	-1.50777
8	0.13056



Beschleunigungsblock Seite 4 EinmZmax 0.37g 5% 6.3w 8.9413vg Friaulma:

$$m = 40400$$

$$\kappa = 6.3$$

$$vg = 8.9413$$

$$\delta = 0.31501$$

$$\delta := \frac{1}{EZ}$$

$$\kappa = 6.3$$

$$A := 2 \cdot \delta \quad A = 0.63002$$

$$D = 0.05$$

$$b := A \cdot m$$

$$v := \kappa \cdot \sqrt{1 - D^2}$$

$$b = 25452.82722$$

$$v = 6.29212$$

$$\kappa = 6.3$$

$$\kappa^2 = 39.69$$

$$Sabau(t) := ag(t) \cdot \frac{1}{v} \cdot \exp[-\delta \cdot (EZ - t)] \cdot \sin[v \cdot (EZ - t)]$$

$$\frac{1}{\kappa} = 0.15873$$

$$t = \quad EZ - t = \quad ag(t) = \quad Sabau(t) \cdot v =$$

0	3.1745	0	0
0.49867	2.67583	-1.41782	0.55163
0.99733	2.17717	3.7	1.68754
1.496	1.6785	1.43288	-0.76609
1.99466	1.17984	0.03265	0.02046
2.49333	0.68117	1.46292	-1.07473
2.99199	0.18251	3.69928	3.18557
3.49066	-0.31616	-1.50777	1.52191
3.98932	-0.81482	0.13056	0.15447

$$Spamaxbau := Sabau(2.93301856) \cdot v$$

$$Spamaxbau = -2.5284$$

Pseudobeschleunigung:

$$Sdmaxbau := Sd1$$

$$Sd1 = 0.40184 \quad Sd2 = 0.06386$$

$$Sd3 = 0.02066$$

$$Spa1 := Sd1 \cdot v^2 \quad Spa1 = 15.90902$$

$$Spa1 := Sdmaxbau \cdot v^2 \quad Spa1 = 15.90902$$

$$Spa2 := Sd2 \cdot v^2 \quad Spa2 = 2.5284$$

$$ta := \frac{Spv2}{Spa2}$$

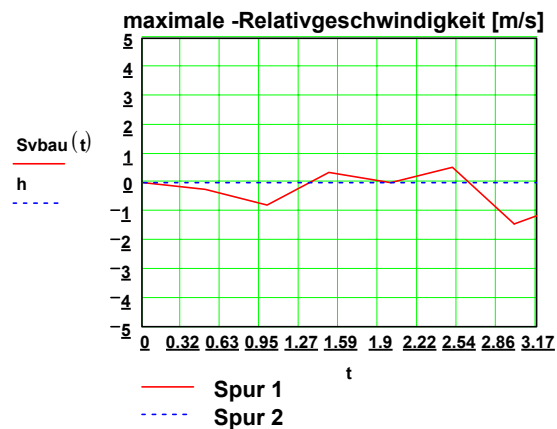
$$tv1 := \frac{Sd1}{Spv2}$$

$$tv2 := \frac{Sd3}{Spv2}$$

$$ta = 0.15893$$

$$tv1 = 0.99999$$

$$tv2 = 0.05141$$



$$H_{\max} := m \cdot S_{\max \text{bau}}$$

$$H_{\max} = -1.02148 \times 10^5 \quad \text{maximale Schubkraft}$$

$$c := \frac{H_{\max}}{S_{d2}}$$

$$c = -1.59947 \times 10^6 \quad \text{Federkonstante}$$

$$\text{Federkraft} := S_{d2} \cdot c$$

$$\text{Federkraft} = -1.02148 \times 10^5 \quad \text{maximale Federkraft}$$

$$S_d := \frac{H_{\max}}{c_2}$$

$$S_d = -0.0637$$

$$t_a := \frac{S_{pv2}}{S_{pa2}}$$

$$t_{v1} := \frac{S_{d1}}{S_{pv2}}$$

$$t_{v2} := \frac{S_{d3}}{S_{pv2}}$$

$$t_a = 0.15893$$

$$t_{v1} = 1$$

$$t_{v2} = 0.05141$$

E := einheit (3)

i := 1..3

j := 1..3

$\omega := 6.3$

a := ω^2

e := 0

h := 0

i := 0

d := ln(1)

b := 54.59368

d := 0

g := 0

c := 0

$$K := \begin{pmatrix} a & d & e \\ d & b & g \\ e & g & \frac{a+b}{2} \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 39.69 & 0 & 0 \\ 0 & 54.594 & 0 \\ 0 & 0 & 47.142 \end{pmatrix}$$

1.02148*10^5 [N]

$\lambda K := \text{eigenwerte}(K)$

sp(K) = 141.426

$|K| = 1.02148 \times 10^5$

$$\lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 54.594 \\ 47.142 \end{pmatrix}$$

$\omega = 6.3$

$\omega_j := \sqrt{\lambda K_j}$

$\Phi K := \text{eigenvektoren}(K)$

$$\Phi K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$|\lambda K| = 82.329$

S1 := sp(K)

J1 := S1

J1 = 141.426

$\sum \omega = 20.555$ $\sum \lambda K = 141.426$

$S2 := (K_{1,1})^2 + (K_{2,2})^2 + (K_{3,3})^2$

$S2 = 6.778 \times 10^3$

$J2 := \frac{1}{2} \cdot (S2 - S1^2)$

$J2 = -6.612 \times 10^3$

$J2 := \text{sp}(K^2) - \text{sp}(K)^2$

$\frac{J2}{2} = -6.612 \times 10^3$

$S3 := (K_{1,1})^3 + (K_{2,2})^3 + (K_{3,3})^3$

$J3 := \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot S3 - 3 \cdot S2 \cdot S1 + S1^3)$

$J3 = 1.02148 \times 10^5$

$S31 := 3 \cdot J3 + 3 \cdot J1 \cdot J2 + J1^3$

$S31 = 3.3 \times 10^5$

$\frac{2 \cdot K_{1,2}}{K_{1,2} - K_{2,2}} = 0$

$$K1 := \begin{pmatrix} a - \lambda K_1 & 0 & 0 \\ 0 & b - \lambda K_1 & 0 \\ 0 & 0 & c - \lambda K_1 \end{pmatrix}$$

$$K1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 14.904 & 0 \\ 0 & 0 & -39.69 \end{pmatrix}$$

$$JD := \begin{bmatrix} .008885168640000000000000 \\ 55.532304 \\ -(1.6000000000000000000000 \cdot 10^{-4}) \\ -1 \end{bmatrix} \quad \text{nullstellen (JD)} = \begin{pmatrix} -7.452 \\ -1.6 \times 10^{-4} \\ 7.452 \end{pmatrix} \quad \lambda D = \begin{pmatrix} -7.452 \\ 7.452 \\ -1.6 \times 10^{-4} \end{pmatrix} \quad k = \frac{1}{3} \cdot JK1$$

$$JD2 := \frac{1}{6} \cdot \left[(K_{1,1} - K_{2,2})^2 + (K_{2,2} - K_{3,3})^2 + (K_{3,3} - K_{1,1})^2 \right] + (K_{1,2})^2 + (K_{2,3})^2 + (K_{3,1})^2$$

$$JD2 = 55.53 \quad JD2' := JK2 + \frac{1}{3} \cdot JK1^2 \quad JD2' = 55.532$$

$$JD3 := \left[JK3 + \frac{1}{3} \cdot (JK1 \cdot JK2) \right] + \frac{2}{27} \cdot JK1^3 \quad JD3 = 0 \quad \text{GESTALTÄNDERUNG}$$

$$JD = \begin{pmatrix} 8.885 \times 10^{-3} \\ 55.532 \\ -1.6 \times 10^{-4} \\ -1 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} JD3 \\ JD2 \\ JD1 \end{matrix} \quad JK = \begin{pmatrix} 1.021 \times 10^5 \\ -6.612 \times 10^3 \\ 141.426 \\ -1 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} JK3 \\ JK2 \\ JK1 \end{matrix} \quad 3^*k=3^* \quad \lambda K_3$$

$$sp\left(\frac{1}{2} \cdot D \cdot D\right) = 55.53 \quad \blacksquare = JD2 \quad \text{Gestaltänderung} \quad \frac{JD3}{3} = 0$$

$$k := \sqrt{JD_2} \quad k = 7.452 \quad k^2 = 55.532 \quad k = \text{Schubfließgrenze}$$

$$k1 := \sqrt{(D_{1,1})^2 + (D_{1,2})^2} \quad k1 = 7.452 \quad R := \sqrt{JD_2} \quad R = 7.452$$

$$\text{Diskr} := -\left(\frac{1}{27} \cdot JD2^3 - \frac{1}{4} \cdot JD3^2\right) \quad \text{Diskr} = -6.342 \times 10^3$$

$D < 0$ bedeutet drei verschiedene reelle Nullstellen (Wurzeln bzw. Eigenwerte)

Nullstellenbereich:Tensor

$$M2 := \begin{pmatrix} 39.69 - \lambda K_1 & 0 & 0 \\ 0 & 54.594 - \lambda K_1 & 0 \\ 0 & 0 & 47.142 - \lambda K_1 \end{pmatrix} \quad \lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 54.594 \\ 47.142 \end{pmatrix} \quad 2 \cdot \lambda K_3$$

$$M2 := (39.69 - \lambda K_1) \cdot (54.594 - \lambda K_1) \cdot (47.142 - \lambda K_1)$$

$$102148.97611212 - 6611.572188 \cdot \lambda K_1 + 141.426 \cdot (\lambda K_1)^2 - (\lambda K_1)^3$$

$$\begin{array}{lll} \det(K) & -\det(K) & 3 \cdot \lambda K_3 \\ & & 3 \cdot \lambda D_3 \\ & & 3 \cdot k \end{array} \quad \lambda D = \begin{pmatrix} -7.452 \\ 7.452 \\ -1.6 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

$$D1 := \begin{pmatrix} -7.452 - \lambda D_1 & 0 & 0 \\ 0 & 7.452 - \lambda D_1 & 0 \\ 0 & 0 & -1.6 \cdot 10^{-4} - \lambda D_1 \end{pmatrix}$$

$$D1 := (-7.452 - \lambda D_1) \cdot (7.452 - \lambda D_1) \cdot (-1.6000000000000000 \cdot 10^{-4} - \lambda D_1)$$

$$.0088851686400000000000 + 55.532304 \cdot \lambda D_1 - 1.6000000000000000 \cdot 10^{-4} \cdot (\lambda D_1)^2 - (\lambda D_1)^3$$

$$D = \begin{pmatrix} -7.452 & 0 & 0 \\ 0 & 7.452 & 0 \\ 0 & 0 & -1.6 \times 10^{-4} \end{pmatrix}$$

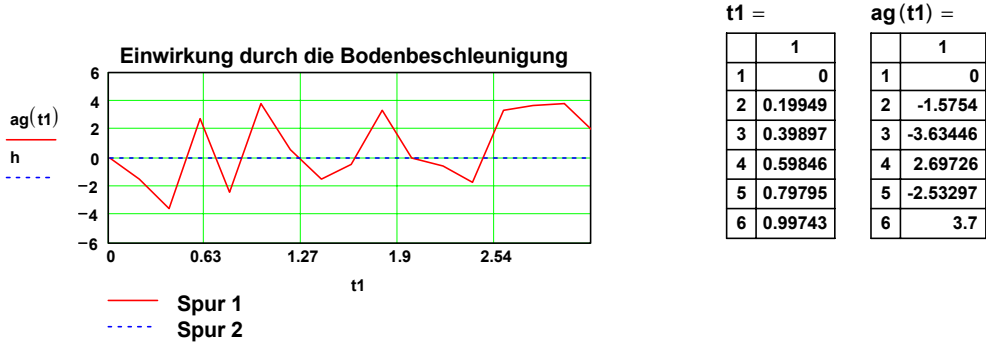
Seite 3

Starkbeben Zmax0.37 5% 6.3
3.Stock eines Mehrmassenschwingers Buch2

$v_2 = 53537.19306$
 $\omega_2 = 6.29934$
 $vg_2 := 8.9413$
 $EZ_2 := 3.1747$
 $Z := 0.799137 \cdot 4.63$
 $Z = 3.7$
 $Zg := \frac{Z}{10}$
 $Zg = 0.37$ [g]

$\delta 1 := \frac{1}{EZ_2}$
 $\delta 1 = 0.31499$
 $A := 2 \cdot \delta 1$
 $A = 0.62998$
 $vb_2 := \omega_2 \cdot \sqrt{1 - (D_2)^2}$
 $D_2 = 0.05$
 $b_2 := A \cdot v_2$
 $vb_2 = 6.29146$
 $A1 := \frac{b_2}{v_2}$
 $A1 = 0.62998$
 $Tb := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_2}$
 $Tb = 0.99743$
 $ablm := (Tb)$
 $Tg := \frac{2 \cdot \pi}{vg_2}$
 $Tg = 0.70271$
 $ablm = 0.99743$ [sek]

$B := (\omega_2)^2$
 $B = 39.68174$
 $e := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$
 $t1 := 0, \frac{Tb}{5} .. EZ_2 + 1$
 $h := 0$
 $Z = 3.7$
 $ag(t1) := -Z \cdot \sin\left(\frac{vg_2}{0.809} \cdot t1^2\right)$



$$\delta_1 = 0.31499$$

$$\text{verallg} := \Phi^T \cdot M \cdot \Phi$$

$$r := \Phi^T \cdot M \cdot e$$

$$v := \text{verallg}^{(2)}$$

$$\text{verallg} = \begin{pmatrix} 88263.74841 & -3.90749 \times 10^{-11} & -5.16804 \times 10^{-12} & 0 \\ -3.8892 \times 10^{-11} & 53537.19306 & 2.77633 \times 10^{-11} & 0 \\ -5.26239 \times 10^{-12} & 2.77626 \times 10^{-11} & 82688.37007 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 65149.69096 \end{pmatrix}$$

$$r = \begin{pmatrix} 85066.69878 \\ 51599.62082 \\ -87599.85517 \\ 65149.69096 \end{pmatrix} \quad r_2 = 51599.62082 \quad v_2 = 53537.19306 \quad v = \begin{pmatrix} -3.90749 \times 10^{-11} \\ 53537.19306 \\ 2.77626 \times 10^{-11} \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\text{partifak} := \frac{r_2}{v_2}$$

$$\sum r = 1.14216 \times 10^5 \quad \text{partifak} = 0.96381 \quad EZ_2 = 3.1747$$

$$q(t_1) := \frac{-1}{vb_2} \cdot \text{partifak} \cdot \text{ag}(t_1) \cdot [\exp[-\delta_1 \cdot (EZ_2 - t_1)]] \cdot \sin[vb_2 \cdot (EZ_2 - t_1)]$$

$$t_1 =$$

	1
1	0
2	0.19949
3	0.39897
4	0.59846
5	0.79795
6	0.99743

$$q(t_1) =$$

	1
1	0
2	-0.01236
3	-0.22831
4	0.08805
5	0.12574
6	-0.25842

$$\text{Sam}_2 := 2.3$$

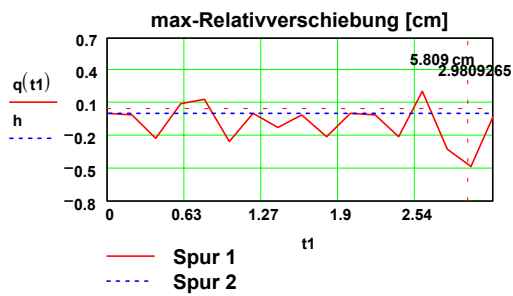
$$\text{Sdm} := \Phi^{(3)} \cdot q(2.9809265)$$

$$\text{Sdm}_2 = 0.36557$$

$$\text{Sd2} := \frac{\text{Sam}_2}{(vb_2)^2}$$

$$\text{Sd2} = 0.05811$$

$$\text{Sdm} = \begin{pmatrix} 0.02065 \\ 0.36557 \\ 0.00054 \\ 0 \end{pmatrix}$$



ORIGIN := 1

Seite 2

Spannanalysepkt Zmax 0.37g 5% 6.3w 8.9413vg max
2.Bd. 3.Stock

E := einheit (3)

i := 1..3

j := 1..3

 $\omega := 6.3$ $a := \omega^2$

e := 0

h := 0

i := 0

d := ln(1)

b := 61.48294

d := 0

g := 0

c := 0

$$K := \begin{pmatrix} a & d & e \\ d & b & g \\ e & g & \frac{a+b}{2} \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 39.69 & 0 & 0 \\ 0 & 61.483 & 0 \\ 0 & 0 & 50.586 \end{pmatrix}$$

1.23444*10^5 [N]

 $\lambda K := \text{eigenwerte}(K)$

sp(K) = 151.759

 $|K| = 1.23444 \times 10^5$ $\omega_j := \sqrt{\lambda K_j}$

$$\lambda K = \begin{pmatrix} 39.69 \\ 61.483 \\ 50.586 \end{pmatrix}$$

 $\omega = 6.3$ $\Phi K := \text{eigenvektoren}(K)$

$$\Phi K = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

 $|\lambda K| = 88.963$

S1 := sp(K)

J1 := S1

 $\sum \omega = 21.254 \quad \sum \lambda K = 151.759$

J1 = 151.759

 $S2 := (K_{1,1})^2 + (K_{2,2})^2 + (K_{3,3})^2$ $S2 = 7.914 \times 10^3$ $J2 := \frac{1}{2} \cdot (S2 - S1^2)$ $J2 = -7.558 \times 10^3$ $J2 := \text{sp}(K^2) - \text{sp}(K)^2$ $\frac{J2}{2} = -7.558 \times 10^3$ $S3 := (K_{1,1})^3 + (K_{2,2})^3 + (K_{3,3})^3$ $J3 := \frac{1}{6} \cdot (2 \cdot S3 - 3 \cdot S2 \cdot S1 + S1^3)$ $J3 = 1.23444 \times 10^5$ $S31 := 3 \cdot J3 + 3 \cdot J1 \cdot J2 + J1^3$ $S31 = 4.244 \times 10^5$ $\frac{2 \cdot K_{1,2}}{K_{1,2} - K_{2,2}} = 0$

$$K1 := \begin{pmatrix} a - \lambda K_1 & 0 & 0 \\ 0 & b - \lambda K_1 & 0 \\ 0 & 0 & c - \lambda K_1 \end{pmatrix}$$

$$K1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 21.793 & 0 \\ 0 & 0 & -39.69 \end{pmatrix}$$

Seite 5

Spannanalysepkt Zmax 0.37g 5% 6.3w 8.9413vg max
2.Bd. 3.Stock

$$JD := \begin{bmatrix} -(1.6230898430400000000010^{-2}) \\ 118.733711863300000000 \\ 1.1367000000000000000010^{-3} \\ -1 \end{bmatrix} \quad \text{nullstellen (JD)} = \begin{bmatrix} -10.896 \\ 1.367 \times 10^{-4} \\ 10.897 \end{bmatrix} \quad \lambda D = \begin{bmatrix} -10.896 \\ 10.897 \\ 1.367 \times 10^{-4} \end{bmatrix} \quad k = \frac{1}{3} \cdot JK1$$

$$JD2 := \frac{1}{6} \cdot \left[(K_{1,1} - K_{2,2})^2 + (K_{2,2} - K_{3,3})^2 + (K_{3,3} - K_{1,1})^2 + (K_{1,2})^2 + (K_{2,3})^2 + (K_{3,1})^2 \right]$$

$$JD2' := JK2 + \frac{1}{3} \cdot JK1^2 \quad JD2' = 118.734$$

$$JD3 := \left[JK3 + \frac{1}{3} \cdot (JK1 \cdot JK2) \right] + \frac{2}{27} \cdot JK1^3 \quad JD3 = 0.04 \quad \text{GESTALTÄNDERUNG}$$

$$JD = \begin{bmatrix} -0.016 \\ 118.734 \\ 1.137 \times 10^{-3} \\ -1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} JD3 \\ JD2 \\ JD1 \end{matrix} \quad JK = \begin{bmatrix} 1.234 \times 10^5 \\ -7.558 \times 10^3 \\ 151.759 \\ -1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} JK3 \\ JK2 \\ JK1 \end{matrix} \quad 3 \cdot k = 3 \cdot \lambda K_3$$

$$sp\left(\frac{1}{2} \cdot D \cdot D\right) = 118.733 \quad \lambda = JD2 \quad \text{Gestaltänderung} \quad \frac{JD3}{3} = 0.013$$

$$k := \sqrt{JD2} \quad k = 10.896 \quad k^2 = 118.734 \quad k = \text{Schubfließgrenze}$$

$$k1 := \sqrt{(D_{1,1})^2 + (D_{1,2})^2} \quad k1 = 10.896 \quad R := \sqrt{JD2} \quad R = 10.896$$

$$\text{Diskr} := -\left(\frac{1}{27} \cdot JD2^3 - \frac{1}{4} \cdot JD3^2\right) \quad \text{Diskr} = -6.199 \times 10^4$$

$D < 0$ bedeutet drei verschiedene reelle Nullstellen (Wurzeln bzw. Eigenwerte)

3 Zusammenfassung

Ausgehend von der Vorstellung, dass es sich bei der Einwirkung von Erdbeben um ein Mischsystem aus Reaktion auf Umwelt und Eigendynamik handelt, wurde die Umweltreaktion durch das Duhamelsche Antwortprogramm abgebildet. Dabei konnte festgestellt werden, dass sich eine nichttreue Wirkstruktur aufbaut, die sich auf eine zeitlich periodische Lösungsform abstützt. Hier wird die Eigendynamik des zweiten Teilsystems erkennbar. Es ist nicht von der aufgezwungenen Zeit abhängig, sondern bewirkt seine Erregung auf Grund der Erdbebenlast automatisch durch die deutende Feststellung der Umgebungsparameter.

Wirkstrukturen die nach dem Duhamelschen Integrationsverfahren aufgestellt werden, genügen nicht zur Entscheidung über ein Verträglichkeitsverhalten des Tragwerks. Erst aus Blockrechnungen ergibt sich eine verlässliche Analyse, die bei einer vergleichenden Betrachtung zwischen Masse und Spannungen am Bauwerk eine konstruktive Durchbildung des Tragwerks unter den gegebenen Parametern in der entsprechenden Zone erlaubt.

Im Massengrenzbereich periodisch geführter Wirkstrukturen nach Duhamel wird das Erdbeben zu einem nicht einschätzbaren Risiko für das Bauwerk.

Literaturverzeichnis

- Bachmann Bachmann, Hugo: *Erdbebensicherung von Bauwerken*. Berlin: Birkhäuser, 1995
- Bathe Bathe, Klaus-Jürgen: *Finite Elemente-Methoden*. Berlin: Springer, 1990
- Betten Betten, Josef: *Tensorrechnung für Ingenieure*. Stuttgart: Teubner, 1987
- Betten Betten, Josef: *Kontinuumsmechanik*. Berlin: Springer, 1993
- Betten Betten, Josef: *Finite Elemente für Ingenieure1*. Berlin: Springer, 1997
- Betten Betten, Josef: *Finite Elemente für Ingenieure2*. Berlin: Springer, 1998
- Bundesamt für *Handbuch der Waffenwirkungen für die Bemessung von Schutzbauten*. Bern:
Zivilschutz Bundesamt für Zivilschutz, 1964
- Gross Gross, Dietmar: *Bruchmechanik*. Berlin: Springer, 1996
- Kienzler Kienzler, Reinhold: *Konzepte der Bruchmechanik*. Braunschweig/Wiesbaden:
Vieweg, 1993
- Kießl Kießl, Kurt; Gertis, K.: *Nicht isothermer Feuchtetransport in dickwandigen Be-
tonteilen von Reaktordruckbehältern*. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft
280
- Klotter Klotter, Karl: *Technische Schwingungslehre*. Berlin: Springer, 1981
- Lippmann Lippmann, Horst: *Mechanik des Plastischen Fließens*. Berlin: Springer, 1981
- Lippmann Lippmann, Horst: *Angewandte Tensorrechnung für Ingenieure, Physiker und
Mathematiker*. Berlin: Springer, 1996
- Paulay Paulay, Thomas; Bachmann, Hugo; Moser, Konrad: *Erdbebenbemessung von
Stahlbetonhochbauten*. Basel: Birkhäuser, 1990
- Pfaffinger Pfaffinger, Dieter O.: *Tragwerksdynamik*. Wien: Springer, 1989
- Zurmühl Zurmühl, R.; Falk, S.: *Matrizen und ihre Anwendungen1*. Berlin: Springer, 1992
- Zurmühl Zurmühl, R.; Falk, S.: *Matrizen und ihre Anwendungen2*. Berlin: Springer, 1986

**An Dipl.-Ing.
Walter Kirk**

Wa.Kirk@t-online.de

BESTELLUNG

Hiermit bestelle ich die Diskette mit den Originaldateien zum Buch „Beiträge zur Erdbebensicherung von Bauwerken – Band 2 -“. Ich versichere, dass ich die auf der Diskette enthaltenen Daten ausschließlich zu den angegebenen nichtkommerziellen Zwecken der Forschung und Fachrecherche verwenden und weder reproduzieren noch vertreiben werde. Die vorstehende Warnung habe ich gelesen und verstanden. Ich erkläre mich damit einverstanden. Den Unkostenbeitrag von € 15,34 bzw. DM 30,00 habe ich auf das angegebene Konto überwiesen.

Ort

Datum

Unterschrift

BITTE DEUTLICH SCHREIBEN

Name: _____

Vorname: _____

Straße: _____

Hausnummer: _____

Postleitzahl: _____

Ort: _____

Telefon dienstlich: _____

Telefon privat:: _____

Fax dienstlich: _____

Fax privat:: _____

e-mail: _____

Grund der Arbeit mit den Daten zum Buch „Beiträge zur Erdbebensicherung von Bauwerken“:

Zu diesem Buch

Wirkstrukturen die nach dem Duhamelschen Integrationsverfahren aufgestellt werden, genügen nicht zur Entscheidung über ein Verträglichkeitsverhalten des Tragwerks. Erst aus Blockrechnungen ergibt sich eine verlässliche Analyse, die bei einer vergleichenden Betrachtung zwischen Masse und Spannungen am Bauwerk eine konstruktive Durchbildung des Tragwerks unter den gegebenen Parametern in der entsprechenden Zone erlaubt.

Weil eine Entscheidung über die Verträglichkeit eines Tragwerks mit der Wirkstruktur der Antwortberechnung von Duhamel nicht zu treffen ist, sollen in diesem zweiten Band die Möglichkeiten zur Lösung der Aufgabe aufgezeigt werden.

Der Autor

Dipl.-Berg-Ingenieur Walter Kirk war aktiv im Ruhrbergbau, später in der Bergbauforschung in Essen tätig. Seit 1966 bis zu seiner Pensionierung im Jahr 1982 war er im deutschen Bundesamt für Zivilschutz in Bonn für die Forschung im Bereich simulierter Versuche gegen NEMP, SCHOCK, WÄRME- und DIFFUSIONSBELASTUNG von Bauwerken verantwortlich. Er lebt heute im Ruhestand in Essen.

ISBN 3-8311-2615-1

This page is available in the following languages:



Creative Commons License Deed



Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0)

This is a human-readable summary of (and not a substitute for) the [license](#).

You are free to:

Share — copy and redistribute the material in any medium or format

Adapt — remix, transform, and build upon the material

for any purpose, even commercially.

The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms.



Under the following terms:

Attribution — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.



ShareAlike — If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.

No additional restrictions — You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.

Notices:

You do not have to comply with the license for elements of the material in the public domain or where your use is permitted by an applicable exception or limitation.

No warranties are given. The license may not give you all of the permissions necessary for your intended use. For example, other rights such as publicity, privacy, or moral rights may limit how you use the material.