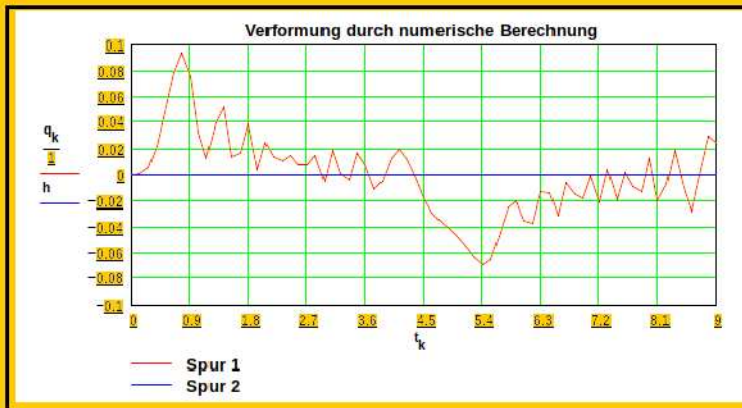


Walter Kirk



Beiträge zur Erdbebensicherung von Bauwerken



**Eine dauerhaft methodische
Untersuchungsarbeit zur
Gestaltung einer realistischen
deterministischen Bemessungsgrundlage**

Walter Kirk

Beiträge
zur Erdbebensicherung von Bauwerken

Eine dauerhafte methodische Untersuchungsarbeit
zur Gestaltung einer realistischen deterministischen Bemessungsstrategie

Essen 2000

Die Deutsche Bibliothek – CIP Einheitsaufnahme

Beiträge zur Erdbebensicherung von Bauwerken: Eine dauerhafte methodische Untersuchungsarbeit zur Gestaltung einer realistischen deterministischen Bemessungsstrategie / Walter Kirk – Norderstedt: Libri, Books on Demand, 2000
ISBN 3-8311-0108-6

Impressum

©Walter Kirk, 2000. Alle Rechte vorbehalten. Alle Angaben im Buch wurden sorgfältig erarbeitet, erfolgen jedoch ohne Gewähr. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler ist der Autor dankbar.

Herstellungs- und Vertriebsrechte dieses Buches liegen bei:

Libri, Books on Demand, 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) bezogen werden.

Zu dieser Arbeit

In dieser Arbeit wird zur Verminderung des Erdbebenrisikos von Bauwerken eine computergestützte Problemlösungsmethode zur Gestaltung einer deterministischen Bemessungsstrategie aufgezeigt. Im Vordergrund dabei liegt die Erkennbarkeit von Operatoren, die sich aus dem Lösungsverhalten ergeben. Eine rechnerische Vorgehensweise steht deswegen im Mittelpunkt, weil sich vor etwa zwanzig Jahren in der Bauphysik eine Trendwende gegenüber experimentellen Untersuchungen abgezeichnet hat.¹

Da verträgliches Bauen gegen Erdbebenbelastung ein Zusammenwirken von Masse, Festigkeit und Eigenschwingungsvermögen des Baukörpers bedeutet, kann die konstruktive Durchbildung des Baukörpers zonengerecht deterministisch behandelt werden. Zonengerecht bedeutet die Festlegung von Erregungsdaten und Verträglichkeitszonen innerhalb einer epizentralen Distanzordnung. Dieser Ordnung muss eine Bemessungsstrategie der rechnerisch angelegten Untersuchungsarbeit gerecht werden, d.h. dass die konstruktive Durchbildung nicht auf hypothetisch deterministischen Daten beruht (Kapazitätsbemessungsmethode²), sondern sich auf eindeutige mit Hilfe der Kontinuumsmechanik und des Tensorkalküls ermittelten Daten abstützen kann.

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.

¹ Kiessl/Gertis, :Nichtisothermer Feuchtetransport in dickwandigen Betonteilen von Reaktordruckbehältern, Schriftenreihe des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton Heft 280, Verlag Wilhelm Ernst u. Sohn KG, Berlin-München-Düsseldorf

² Paulay/Bachmann/Moser, :Erdbebenbemessung von Stahlbetonhochbauten, Verlag Birkhäuser, Basel 1990, S.5

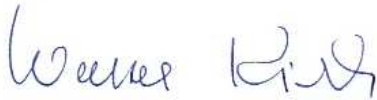
VORWORT

Die vorliegende Arbeit soll Erkenntnisse sichtbar werden lassen, die aus skalar und diskret ausgeführten Berechnungen gewonnen wurden. Sie ist als Beitrag zum Sonderforschungsbereich 461 "Starkbeben" der Universität Karlsruhe³ entstanden. Die als Berechnungen aufgezeigten Untersuchungsreihen nehmen Bezug auf das Erdbebenereignis am 6. September 1995 von Vranica in Rumänien. Die Berechnungen begannen zu Beginn des Jahres 1997 und erfolgen unter Verwendung der Software MathCad⁴. Nach Abschluss der Berechnungen kann nun im einzelnen auf die Zielvorstellungen des Forschungsvorhabens näher eingegangen werden.

Sie ist darüber hinaus aus den immer weiterführenden Problemvorstellungen meiner früheren Tätigkeit in Bonn entstanden. Ich konnte dabei auf neue Entwicklungen und Ergebnisse im Bereich der Darstellungstheorie für das Aufstellen von Stoffgleichungen zurückgreifen. Das Interesse an den beruflich ausgeführten Aufgaben wurde zu meinem Hobby. Ich hoffe, dass es sich aus den folgenden Darlegungen ergibt.

Auch sei hervorgehoben, dass das Buch nicht zustande gekommen wäre, wenn nicht mein Sohn Wolfgang die technisch schwierige und überaus mühselige Arbeit der Herstellung der reproduktionsfähigen Vorlage auf sich genommen hätte. Ihm gebührt meine besondere Dankbarkeit.

Essen, im Mai 2000



³ www-sfb461.physik.uni-karlsruhe.de

⁴ MathCad Professionell Version 7.0

Inhaltsverzeichnis

Teil A Erarbeitung der Systemgrundlagen durch Modellsimulation	6
Kapitel I Erster Beitrag zum Sonderforschungsbereich	6
1 Problemstellung und Vorgehensweise	6
2 Die spektralen Antwortberechnungen	6
2.1 Äquivalente Zeitmaßstäbe	6
2.2 Erzeugung des spektrumskonformen Zeitverlaufs der Bodenbeschleunigung	7
3 Ergebnisbetrachtung im Einzelnen	7
3.1 Festlegung des äquivalenten Erdbebenszenarios	7
3.2 Abschätzung des Gefährdungspotenzials	8
4 Aufstellung eines Verträglichkeitsprogramms - Bauregelklassen	8
5 Zusammenfassung	8
Kapitel II Zweiter Beitrag zum Sonderforschungsbereich	25
1 Problemstellung	25
2 Spannungszustände durch lineare und nichtlineare Approximation	25
3 Zusammenfassung	26
3.1 Das lineare Lösungsverhalten der Approximation als Eigenwertaufgabe des k-Q-Schätzers	26
3.2 Das lineare und nichtlineare Lösungsverhalten der Approximation	26
Kapitel III Dritter Beitrag zum Sonderforschungsbereich	41
1 Problemstellung	41
2 Die Bildungsformen der modelladäquaten invarianten Hypothesen	41
3 Der Sturmsche Test	41
4 Zusammenfassung und Ausblick	42
Teil B Beweisdarstellung für die Aussagen in Teil A	75
1 Bauregelklassen als Bestandteil einer epizentralen Distanzordnung	75
2 Hauptbedingungen der Prüfungsordnung	75
3 Das ebene plastische Fließen als Beweis für Argumente in Abschnitt 1 und 2	75
Teil C Ergänzende Aussagen und Daten zur Boden/Bauwerks-Wechselwirkung	90
1 Deviatorspannungen (Formänderungen)	91
2 Hauptspannungsanalyse	96
3 Der Hauptachsenvektor des Dämpfungstensors	101
4 Der Hauptachsenvektor des Dämpfungsdeviators	106
5 Zonenstruktur 0,25[g] (Druck, Pressung, Geschwindigkeit)	111
6 Zonenstruktur 0,4[g] (Druck, Pressung, Geschwindigkeit)	114
Teil D Anhang	119
1 Literaturverzeichnis	119
2 Anlagenverzeichnis	120
3 Verzeichnis der benutzten Symbole	121

Hinweis: Im Text werden die Anlagen mit der laufenden Nr. im Anlagenverzeichnis Teil D Abschn. 2 bezeichnet.

Teil A Erarbeitung der Systemgrundlagen durch Modellsimulation

Kapitel I Erster Beitrag zum Sonderforschungsbereich

1 Problemstellung und Vorgehensweise

Die Lösung der vorgelegten Arbeit besteht darin, den an einem Baukörper durch eine Erdbebenbelastung entstandenen Erregungszustand mit Hilfe mathematischer Verfahren aufzuzeigen, zeitlich zu verfolgen und in seinen Bewegungsgrößen zu bestimmen, damit eine Zuordnung in einem dazu vorgesehenen Diagramm ermöglicht wird. Dieser Erregungszustand ist nämlich epizentral einer Distanzordnung unterworfen und wird durch eine Wechselwirkung von Boden und Bauwerk bestimmt. Damit bin ich bei der ersten zu formulierenden Aufgabenstellung angelangt, die das Erdbebenfeld im Newmarkschen Spektrum durch Beispiel-Antwort-Berechnungen festzulegen hat.

2 Die spektralen Antwortberechnungen

Für die vorliegende Arbeit wird ein diskret skales und mit Hilfe der finiten Elemente gewonnenes numerisches Rechenmodell benutzt. Das skalare Antwortmodell des äquivalenten Feder-Masse-Dämpfer-Systems, das für die Aufgabe am einläufigen Tragwerk benutzt wurde, ist deswegen von großer Bedeutung, weil es für die Erfassung komplizierterer Systeme und damit für die erdbebengerechte Auslegung von Bau- und Tragwerken eine wesentliche Grundlage bildet.

Aus den Anlagen 1 und 2 geht die Tragweite für den Eigenschwinger und partikulären Schwinger hervor. Im partikulären Schwingerbereich (Anlage 2, S. 4-6) wird der Eigenschwinger zur Gewichtsfunktion im Duhamelschen Integral umfunktioniert, um den Weg für die durch das Erdbeben am Bauwerk selektiv erzeugten Impulse frei zu machen.

2.1 Äquivalente Zeitmaßstäbe

Die durch die Berechnungen als Eigenformen entstandenen Schnittpunkt-Bewegungs-Größen innerhalb der Lastgrößen M , der Eigen- und Dämpfungswerte v, v_g und D , zeigen in der Anlage 4 eine große Streubreite auf, die in der Hauptsache durch die äquivalente Beschleunigungszeit zu Stande kam. Das Antwortspektrenverfahren verliert wohl sein absolutes Erregerzeitbild, aber nicht seine äquivalenten Maßstäbe (Anlagen 1, 5).

Weil dies besonders für die äquivalente Erregungszeit gilt, die sich für jede Berechnung als konstant erweist, kann der durch die Berechnungen als Erdbebenbereich ausgewiesene Frequenzbereich im Newmarkschen Spektrum festgelegt werden. Dieser Tatbestand

hat für das noch später zu erörternde Verträglichkeitsprogramm eine ausschlaggebende Bedeutung.

Bevor ich auf die für den Maßnahmenkatalog so wichtigen kausal regressiven Eigenschaften des Berechnungsverfahrens zu sprechen komme, möchte ich auf die Erzeugung des spektrumskonformen Zeitverlaufs der Bodenbeschleunigung eingehen.

2.2 Erzeugung des spektrumskonformen Zeitverlaufs der Bodenbeschleunigung

Die bei einem Erdbebenereignis durchzuführende Abbildung erzwungener Schwingungen stößt deshalb auf Schwierigkeiten, weil das partikuläre Integral normalerweise nicht geschlossen dargestellt werden kann. Nur über den Umweg einer Vereinfachung der Lastannahmen wie beispielsweise sinus- oder kosinusförmige Lasten oder auch die rechteckige Belastung entsprechen der Abbildungsvorschrift. Darum wird die nicht-periodische durch Störkräfte schwingende Einwirkung als frequenzmodulierende maximale Bodenbeschleunigung kalibriert.

Das Argument der Sinusfunktion ergibt sich aus dem Integral von $\varphi' = \Omega =$

$$\Omega t + \Lambda t \quad \text{zu} \quad \alpha + \frac{1}{2} \Lambda t^2 \quad \text{oder} \\ \varphi(t) = \frac{1}{2} \Lambda t^2 \quad \text{wobei}$$

Λ die Bodengeschwindigkeit bedeutet und Ω unterdrückt wird.

Λ wird in den Berechnungen als v_g symbolisiert (Anlage 2, Seite 1). Neben dem zeitabhängigen Term kommt der Amplitude als zeitunabhängige Grösse die Aufgabe zu, sich an der Magnitude in Verbindung mit dem maximalen Ausschlag zu orientieren. Somit ist die Erregergrösse spektrumskonform kalibriert.

3 Ergebnisbetrachtung im Einzelnen

3.1 Festlegung des äquivalenten Erdbebenszenarios

Ich weise erneut darauf hin, dass die äquivalenten Maßstäbe im Duhamelschen Berechnungsgang erhalten bleiben, sodass zwischen den berechneten und im Newmarkschen Diagramm grafisch ermittelten Eigenformen eine Äquivalenz besteht. Diese Äquivalenz wird benutzt, um das in der Berechnung ausgewiesene maximale Erdbebenszenario grafisch abzubilden.

Die Minimum-Maximum-Betrachtung erlaubt, in der Grafik des Diagramms auf Grund der Magnitudenbreite von 4, 4 – 8 eine ungefähre Abschätzung des Gefährdungspotenzials vorzunehmen.

3.2 Abschätzung des Gefährdungspotenzials

Zwischen der unter der äquivalenten Beschleunigungszeit aufgenommenen kinetischen Energie, der Magnitudenbreite, Eigenfrequenz und Dämpfung besteht ein kausal regressiver Zusammenhang, der nicht nur für die Aufstellung eines Verträglichkeitsprogramms, sondern auch für eine in den Intensitätsstufen abzuschätzende Schadensgefährdung genutzt wird. Diese probabilistisch angelegte statistische Berechnung kann mit Hilfe der computergestützten Autoregressionsmethode durchgeführt werden.

Auf jeder vom Epizentrum ausgehenden Intensitätsstufe liegen z.B. 5 Messpunkte, deren Merkmale in der Abfrage durch einen Hypothesentest bestätigt werden oder nicht. Dadurch wird eindeutig abgesichert, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Merkmalen der Messpunkte und der angestrebten Zielvorstellung der Abschätzung von Schäden besteht. Hier kommen durch probabilistisch eingeführte Variablenkombinationen auch nicht-lineare Bodenverhältnisse zum Vorschein, und zwar, wenn in der Histogrammauswertung die Zielgrade verfehlt wird, d.h. der ausgeworfene Punkt ausserhalb der Histogrammfläche erscheint.

Die Zuordnung der Schadenserwartung wird durch eine aufzustellende charakteristische Koinzidenztabelle in Verbindung mit den Eigenformaussagen des Newmarkschen Diagramms vorgenommen.

4 Aufstellung eines Verträglichkeitsprogramms - Bauregelklassen

Die Durchrechnung der selbstgestellten Aufgaben zur Eintragung eines Erdbebenszenarios in das äquivalente Newmarksche Spektrum hat den Sinn, in umgekehrter Weise aus den erstellten Erwartungswerten realistisch formatierte Einwirkungspolygone für die Aufstellung eines Verträglichkeitsprogramms zu erstellen. Aus der Anlage 6 geht hervor, dass ich hinsichtlich der Abschätzung des Gefährdungspotenzials sechs Bauregelklassen (BRK) eingerichtet habe, die auf Grund der charakteristischen Eigenschaften der Tragwerke die Eliminierung der am Baukörper entstandenen Eigenformen bewirken sollen. Unterhalb der Klasse ist ihr Verträglichkeitsbereich. Die Zulassung einer hohen Regelklasse (4-6) stellt an die Verwirklichung der Eliminierung der Bewegungsgrößen wegen der darin vorkommenden plastischen Verformungen (Duktilitätsproblematik) hohe Ansprüche an die konstruktive Durchbildung des Tragwerks.

Von daher erscheint es zwingend notwendig, dass eine Prüfregeleklasse besteht, die jede bauliche Maßnahme in ihrer Verträglichkeit gegenüber der Erdbebenbelastung überprüft.

5 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird versucht, mit Hilfe der Erkenntnisse aus den selbstgestellten Szenario-Berechnungen zu den Herausforderungen des Erdbebenereignis vom 6. September 1995 von Vranica in Rumänien Stellung zu nehmen.

Die Beweisführung für die Gültigkeit der angewandten theoretischen Grundlagen legt besonderen Wert auf die Herausstellung der äquivalenten Zeitmaßstäbe und des künstlich eingerichteten spektrumskonformen Zeitverlaufs der Bodenbeschleunigung. Für eine in den Intensitätsstufen abzuschätzende Schadensgefährdung wird ein computergestütztes Autoregressionsverfahren vorgeschlagen.

Das für den Maßnahmenkatalog aus den Berechnungen entstandene Verträglichkeitsprogramm zeigt wohl am besten die Zielvorstellung des Forschungsvorhabens auf, nämlich die Reduzierung der für die Bevölkerung so katastrophalen Gefährdung durch Gebäudeschäden, Umgebung und Umwelt. Hieran knüpfen sich viele Maßnahmen bis zur Errichtung einer Prüfanlage.

Anlage 1

Tabelle der ins Netz eingetragenen Schnittpunkte als Designspektren vom einläufigen Tragwerk mit den Verträglichkeitsstrukturen ⁵							
Punkt Daten	2	3	6	7	11	13	Bemerkung
Datei	Starkbeben 2 Beben 1,0	Starkbeben 3	StaDcon 4	Starkbeben 5	Starkbeben 4	Starkbeben 6	Magnitude 4-8
max. Einw. [g]	0,4601 $M \cong 8$	0,4601 $M \cong 8$	0,463 $M \cong 8$	$6 \cdot 10^{-4}$ $M \cong 4,4$	0,4601 $M \cong 8$	$6 \cdot 10^{-4}$ $M \cong 8$	Magnitude 8 wurde
äquiv. Beschlg zeit ta [ms]	184,5	46,1	20,0	458,33	20	171,88	geschätzt
ω [rad/s]	5,42	21,686	50	2,71	50	5,42	
Sd2 [m]	0,085 0,0085	0,0056	0,00044	0,00035	0,00081	0,00004	
Spa2 [g]	0,250 0,0250	0,2634	0,109	0,000168	0,2034	0,000128	
Spv2 [m/s]	0,46125 0,046125	0,12146	0,021	0,00077	0,0407	0,00024	
max. Schub- kraft [N]	51000 5100	53731	22370	34,24	41512	26,19	gewahrte
max.Feder- kraft [N]	51000 5100	53731	22370	34,24	41512	26,19	Verträglich- keit
max. Biegung [Nm ²]	%	%	%	%	%	%	
zul. Biegungs- steifk. [Nm ²]	%	%	%	%	%	%	
zul. Schubstfk [N]	%	%	%	%	%	%	
D%	2%	0,5	2%	5%	0,2%	2,05%	
äquivalente Erregungs- zeit [sek]	1	1	1	1	1	1	
M [kN]	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	20,4	

⁵ Datei: eingetrpkt.doc

Anlage 1 a (starkbeben2.mcd)

Seite 1

Formblatt für die Lösung von Aufgaben nach der Runge Kutta Methode

$$\begin{aligned} m\ddot{q}(t) + b\dot{q}(t) + cq(t) &= F(t) \\ \ddot{q}(t) + A\dot{q}(t) + Bq(t) &= C(t) \end{aligned}$$

mit $\delta A = \frac{b}{m} \neq \kappa^2 = \omega^2 \quad C(t) = F(t)/m$

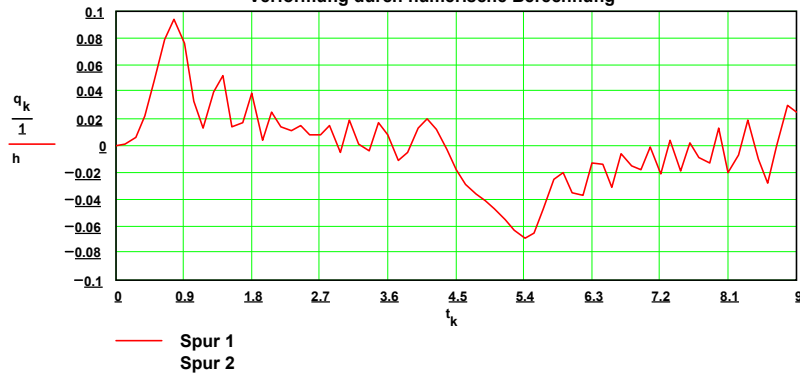
$$\begin{aligned} m &:= 20400 & \kappa &:= 5.42 & A &:= 2 \cdot \delta & v_g &:= 10.06691 & EZ &:= 9.225 & \delta &:= \frac{1}{EZ} \\ D &:= \frac{A}{2 \cdot \kappa} & b &:= A \cdot m & b &= 4422.76423 & D &= 0.02 & T_g &:= \frac{2 \cdot \pi}{v_g} & T_g &= 0.62414 \\ \delta &= 0.1084 & B &:= \kappa^2 & B &= 29.3764 & v &:= \kappa \cdot \sqrt{1 - D^2} & v &= 5.41892 & v_g &:= \frac{2 \cdot \pi}{T_g} \\ A &= 0.2168 & ag(t) &:= 4.63 \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot v_g \cdot t^2\right) & & & v_g &= 10.06691 \\ startt &:= 0 & endt &:= 9 & n &:= 70 & Intervals & & & & & \\ initq &:= 0 & initq' &:= 0 & & & & & & & & \\ G(t, q, z) &:= ag(t) - B \cdot q - A \cdot z \\ k1(t, q, z, h) &:= z \\ K1(t, q, z, h) &:= G(t, q, z) \\ k2(t, q, z, h) &:= z + 0.5 \cdot h \cdot K1(t, q, z, h) \\ K2(t, q, z, h) &:= G(t + 0.5 \cdot h, q + 0.5 \cdot h \cdot k1(t, q, z, h), z + 0.5 \cdot h \cdot K1(t, q, z, h)) \\ k3(t, q, z, h) &:= z + 0.5 \cdot h \cdot K2(t, q, z, h) \\ K3(t, q, z, h) &:= G(t + 0.5 \cdot h, q + 0.5 \cdot h \cdot k2(t, q, z, h), z + 0.5 \cdot h \cdot K2(t, q, z, h)) \\ k4(t, q, z, h) &:= z + h \cdot K3(t, q, z, h) \\ K4(t, q, z, h) &:= G(t + h, q + h \cdot k3(t, q, z, h), z + h \cdot K3(t, q, z, h)) \\ rk(t, q, z, h) &:= \frac{h}{6} \cdot (k1(t, q, z, h) + 2 \cdot k2(t, q, z, h) + 2 \cdot k3(t, q, z, h) + k4(t, q, z, h)) \\ rK(t, q, z, h) &:= \frac{h}{6} \cdot (K1(t, q, z, h) + 2 \cdot K2(t, q, z, h) + 2 \cdot K3(t, q, z, h) + K4(t, q, z, h)) \\ j &:= 0 \dots n - 1 & t_0 &:= startt & h &:= \frac{endt - startt}{n} & t_{j+1} &:= t_j + h & k &:= 0 \dots 70 \\ \begin{bmatrix} q_0 \\ z_0 \end{bmatrix} &:= \begin{bmatrix} initq \\ initq' \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} q_{j+1} \\ z_{j+1} \end{bmatrix} &:= \begin{bmatrix} q_j + rk(t_j, q_j, z_j, h) \\ z_j + rK(t_j, q_j, z_j, h) \end{bmatrix} & & & & & & & \end{aligned}$$

zu Anlage: 1a

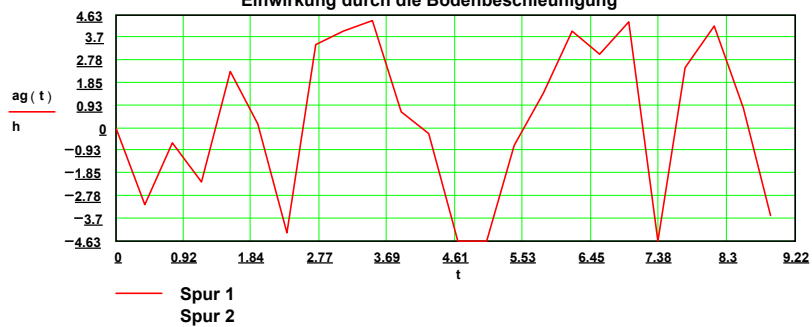
Seite 2

 $b = 4422.76423$ $D = 0.02$ $L := \text{floor}(\min(q))$ $U := \text{ceil}(\max(q))$ $h := 0$ $\text{linterp}(t, q, 0.9) = 0.07568$ $U = 1$ $L = -1$

Verformung durch numerische Berechnung

 $A = 0.2168$ $B = 29.3764$ $D = 0.02$ $\kappa = 5.42$ $\text{end}t = 9$ $t := 0, \frac{EZ}{23.8577} \dots 9.225$ $\delta = 0.1084$ $\frac{1}{\delta} = 9.225$ $n = 70$ $ag(t) := -4.63 \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot v_g \cdot t^2\right)$ $fg := \frac{v_g}{6.2831} \quad fg = 1.60222$

Einwirkung durch die Bodenbeschleunigung



$$t := 0, \frac{EZ}{23.8577} \dots 4.63704$$

$$a := 1 \dots 10$$

Einwirkungsfunktion

lfdnr	Zeit	Einwirk
a	t	ag (t)
1	0	0
2	0.38667	- 3.16465
3	0.77334	- 0.60639
4	1.16	- 2.17845
5	1.54667	2.32219
6	1.93334	0.16446
7	2.32001	- 4.28468
8	2.70667	3.3966
9	3.09334	3.99299
10	3.48001	4.41825
	3.86668	0.65575
	4.25334	- 0.21424
	4.64001	- 4.6294
	5.02668	- 4.62382
	5.41335	- 0.70503
	5.80001	1.45532
	6.18668	3.94163
	6.57335	3.05392
	6.96002	4.33908
	7.34668	- 4.6176
	7.73335	2.4924
	8.12002	4.18615
	8.50669	0.85237
	8.89336	- 3.5609

$$t := 0, \frac{EZ}{23.8577} \dots 4.63704$$

Seite 4

zuAnlg. 1a

$$\delta = 0.1084$$

$$b = 4422.76423$$

$$\kappa = 5.42$$

$$\kappa^2 = 29.3764$$

$$vg = 10.06691$$

$$ag(t) := 4.63 \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot vg \cdot t^2\right)$$

$$Spv2 := 0.04614$$

$$Spa1 := 1.35491$$

$$Spamaxbau := 0.25003 \quad vmax := 0.32706$$

$$v = 5.41892$$

$$D = 0.02$$

$$Spa2 := Spamaxbau \quad Spa2 = 0.25003$$

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

t	EZ - t	ag(t)	Sdbau(t)
0	9.225	0	0
0.38667	8.83833	3.16465	0.15601
0.77334	8.45166	0.60639	-0.04342
1.16	8.065	2.17845	0.04615
1.54667	7.67833	-2.32219	-0.12944
1.93334	7.29166	-0.16446	0.01336
2.32001	6.90499	4.28468	0.10392
2.70667	6.51833	-3.3966	-0.21409
3.09334	6.13166	-3.99299	0.36818
3.48001	5.74499	-4.41825	-0.12268
3.86668	5.35832	-0.65575	-0.04673
4.25334	4.97166	0.21424	-0.02242

$$Sdmaxbau := \frac{Sdbau(1.16)}{v}$$

$$Sdmaxbau = 0.04614$$

$$Sd1 := Sdmaxbau$$

$$Sd1 = 0.04614$$

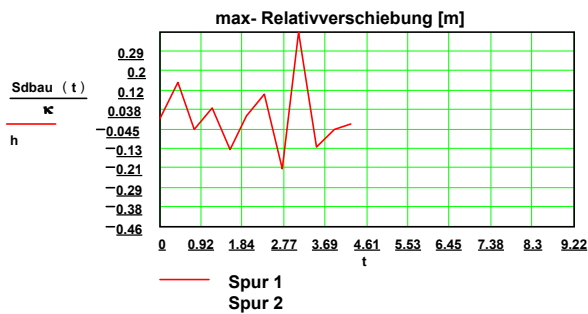
$$Sd2 := \frac{Spv2}{v} \quad Sd2 = 0.00851$$

$$Sd2 := \frac{Spamaxbau}{v^2} \quad Sd2 = 0.00851$$

$$Sd3 := \frac{vmax}{v} \quad Sd3 = 0.06036$$

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

$$Sd4g = 0.01337$$



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

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

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

$$ta = 0.18454$$

$$tv1 = 1.00002$$

$$tv2 = 1.30809$$

Seite 5

zu Anlg. 1a

$$\kappa = 5.42$$

$$v_g = 10.06691$$

$$\delta = 0.1084$$

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

$$ag(t) := 4.63 \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot v_g \cdot t^2\right)$$

$$\kappa = 5.42$$

$$m := 20400$$

$$A := 2 \cdot \delta \quad A = 0.2168$$

$$D = 0.02$$

$$b := A \cdot m$$

$$t := 0, \frac{EZ}{23.8577} \approx 4.63704$$

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

$$b = 4422.76423$$

$$v = 5.41892$$

$$\kappa = 5.42$$

$$\kappa^2 = 29.3764$$

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

$$\frac{1}{\kappa} = 0.1845$$

$$Spamaxbau := Sabau(1.16) \cdot v$$

$$Spamaxbau = 0.25003$$

Pseudobeschleunigung:

$$Sdmaxbau := Sd1$$

$$Sd1 = 0.04614 \quad Sd2 = 0.00851$$

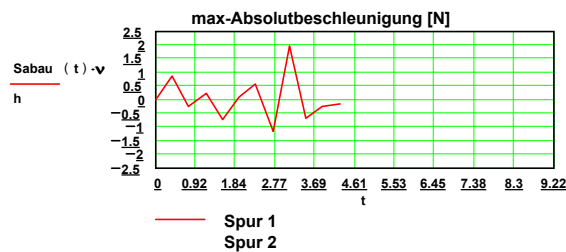
$$Sd3 = 0.06036$$

$$Spa1 := Sd1 \cdot v^2 \quad Spa1 = 1.35491$$

$$Spa1 := Sdmaxbau \cdot v^2 \quad Spa1 = 1.35491$$

$$Spa2 := Sd2 \cdot v^2 \quad Spa2 = 0.25003$$

t	EZ - t	ag(t)	Sabau(t) · v
0	9.225	0	0
0.38667	8.83833	3.16465	0.84539
0.77334	8.45166	0.60639	-0.2353
1.16	8.065	2.17845	0.25006
1.54667	7.67833	-2.32219	-0.70145
1.93334	7.29166	-0.16446	0.07241
2.32001	6.90499	4.28468	0.56314
2.70667	6.51833	-3.3966	-1.16012
3.09334	6.13166	-3.99299	1.99516
3.48001	5.74499	-4.41825	-0.66481
3.86668	5.35832	-0.65575	-0.25325
4.25334	4.97166	0.21424	-0.12147



$$D = 0.02$$

$$\delta = 0.1084$$

$$\kappa = 5.42$$

$$\kappa^2 = 29.3764$$

$$t := 0, \frac{EZ}{23.8577} \dots 4.63704$$

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

$$\frac{1}{\kappa} = 0.1845$$

$$v_{max} = 0.32706$$

t	EZ - t	ag(t)	Sv _{bau} (t)
0	9.225	0	0
0.38667	8.83833	3.16465	-0.87133
0.77334	8.45166	0.60639	-0.05902
1.16	8.065	2.17845	0.87371
1.54667	7.67833	-2.32219	0.72699
1.93334	7.29166	-0.16446	0.01795
2.32001	6.90499	4.28468	1.94716
2.70667	6.51833	-3.3966	1.20906
3.09334	6.13166	-3.99299	0.48872
3.48001	5.74499	-4.41825	-2.27507
3.86668	5.35832	-0.65575	0.2654
4.25334	4.97166	0.21424	-0.0294

$$v_{max} := Sv_{bau}(1.16)$$

Pseudogeswindigkeit:

$$Sd2 = 0.00851 \quad Spa1 = 1.35491$$

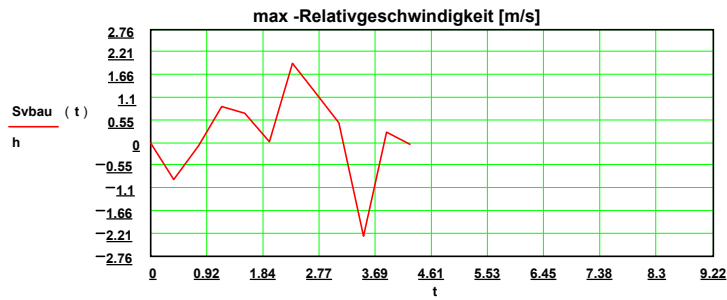
$$Spa2 = 0.25003$$

$$Spv2 := Sd2 \cdot v \quad Spv2 = 0.04614$$

$$Spv2 := \frac{Spa2}{v} \quad Spv2 = 0.04614$$

$$Spv1 := \frac{Spa1}{v} \quad Spv1 = 0.25003$$

$$Spv3g := \frac{Spa1}{vg} \quad Spv3g = 0.13459$$



$$H_{max} := m \cdot Spamax_{bau}$$

Spur 1

Spur 2

$$H_{max} = 5100.67638$$

maximale Schubkraft

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

$$c = 5.99046 \cdot 10^5$$

Federkonstante

$$F_{ederkraft} := Sd2 \cdot c$$

$$F_{ederkraft} = 5100.67638$$

maximale Federkraft

Anlage: 1b

Seite 1

Datei: Modaleigl.mcd Disk Nr. 1

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Lösung linearer Gleichungssysteme.

hier:

$$K := \begin{bmatrix} 9079.11 \cdot 10^6 & 5000 \cdot 10^6 & 2000 \cdot 10^6 & 0 \\ 5000 \cdot 10^6 & 6101.57 \cdot 10^6 & 0 & 0 \\ 2000 \cdot 10^6 & 0 & 1414.25 \cdot 10^6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 60.97 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

$$i := 0 \dots 3$$

$$j := 0 \dots 3$$

$$M := \begin{bmatrix} 168 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 212 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 212 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 212 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

$$\lambda := \text{genwerte} (K, M)$$

$$\Phi := \text{genvektoren} (K, M)$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 72001.943 \\ 15251.197 \\ 2241.163 \\ 287.594 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.871 & 0.437 & 0.398 & 0 \\ 0.475 & -0.761 & -0.353 & 0 \\ 0.126 & 0.48 & -0.847 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\omega_i := \sqrt{\lambda_i}$$

$$\Phi^T \cdot M \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 1.786 \cdot 10^5 & -7.834 \cdot 10^{-12} & -8.432 \cdot 10^{-12} & 0 \\ -9.646 \cdot 10^{-12} & 2.036 \cdot 10^5 & 1.399 \cdot 10^{-11} & 0 \\ -6.532 \cdot 10^{-12} & 1.058 \cdot 10^{-11} & 2.05 \cdot 10^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2.12 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

$$f_i := \frac{\sqrt{\lambda_i}}{2 \cdot \pi}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 268.332 \\ 123.496 \\ 47.341 \\ 16.959 \end{bmatrix}$$

$$f = \begin{bmatrix} 42.706 \\ 19.655 \\ 7.535 \\ 2.699 \end{bmatrix}$$

$$\Phi_1 := \Phi \cdot \text{diag} (x_1)$$

$$x_1 := \begin{bmatrix} 0.002366 \\ 0.002216 \\ 0.002208 \\ 0.002172 \end{bmatrix}$$

$$\Phi_1^T \cdot M \cdot \Phi_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi_1 = \begin{bmatrix} 0.002 & 0.001 & 0.001 & 0 \\ 0.001 & -0.002 & -0.001 & 0 \\ 0 & 0.001 & -0.002 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.002 \end{bmatrix}$$

zu Anlg. 1b

Seite 2

Modaleig1.m

$$\Phi 1^{<0>T} \cdot M \cdot \Phi 1^{<1>} = 0$$

$$\Phi 1^T \cdot K \cdot \Phi 1 = \begin{bmatrix} 72000.001 & -2.191 \cdot 10^{-12} & -2.078 \cdot 10^{-12} & 0 \\ 5.642 \cdot 10^{-13} & 15249.431 & 2.345 \cdot 10^{-13} & 0 \\ 7.78 \cdot 10^{-14} & 4.591 \cdot 10^{-14} & 2240.359 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 287.631 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag}(\lambda)$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 72001.943 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15251.197 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2241.163 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 287.594 \end{bmatrix}$$

$$\Omega \cdot \Phi 1^T \cdot M \cdot \Phi 1 = \begin{bmatrix} 72000.001 & 1.708 \cdot 10^{-12} & -3.666 \cdot 10^{-12} & 0 \\ 1.854 \cdot 10^{-13} & 15249.431 & 1.446 \cdot 10^{-12} & 0 \\ -1.772 \cdot 10^{-13} & 1.209 \cdot 10^{-13} & 2240.359 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 287.631 \end{bmatrix}$$

$$\mu 1 := \Phi 1^{<0>T} \cdot M \cdot \Phi 1^{<0>} \quad \mu 2 := \Phi 1^{<1>T} \cdot M \cdot \Phi 1^{<1>} \quad \gamma 1 := \Phi 1^{<0>T} \cdot K \cdot \Phi 1^{<0>}$$

$$\mu 1 = 1 \quad \mu 2 = 1 \quad \gamma 1 = 72000.001 \quad \gamma 3 := \Phi 1^{<2>T} \cdot K \cdot \Phi 1^{<2>}$$

$$\frac{\gamma 1_0}{\mu 1_0} = 72001.943 \quad \mu 3 := \Phi 1^{<2>T} \cdot M \cdot \Phi 1^{<2>} \quad \gamma 2 := \Phi 1^{<1>T} \cdot K \cdot \Phi 1^{<1>} \quad \gamma 3 = 2240.359$$

$$\mu 3_0 = 1 \quad \gamma 2 = 15249.431$$

$$\frac{\gamma 2_0}{\mu 2_0} = 15251.197 \quad \frac{\gamma 3_0}{\mu 3_0} = 2241.163 \quad \gamma 4 := \Phi 1^{<3>T} \cdot K \cdot \Phi 1^{<3>} \quad \mu 4 := \Phi 1^{<3>T} \cdot M \cdot \Phi 1^{<3>}$$

$$\frac{\gamma 4_0}{\mu 4_0} = 287.594$$

Es handelt sich um den Rayleigh Quotienten

$$\frac{1}{\sqrt{\mu 1_0}} \cdot \mu 1_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu 1_0}} = 1 \quad \omega^2 = g/m = F^T K F / F^T M F \quad E := \text{einheit} (4)$$

$$\Phi 1^T \cdot M \cdot E \text{ ist identisch} \quad \text{diag} \left(\frac{1}{\sqrt{\mu 1_0}} \cdot \Phi 1^{<1>T} \cdot M \cdot \frac{1}{\sqrt{\mu 1_0}} \cdot \Phi 1^{<1>} \right) = 1$$

$$\text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{\mu 1_0}} \cdot \Phi 1^{<1>T} \cdot K \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{\mu 1_0}} \right) \cdot \Phi 1^{<1>} \right] = 15249.843$$

zu Anlg. 1b

Seite3

Modaleig1.mc

1. Eigenformberechnung

$$v_1 := 2.036 \cdot 10^5 \quad \omega_1 := 123.496 \quad v g_1 := 23.084 \quad E Z_1 := 0.40$$

$$\delta_1 := \frac{1}{E Z_1}$$

$$A := 2 \cdot \delta_1$$

$$v b_1 := \omega_1 \cdot \sqrt{1 - (D_1)^2}$$

$$D_1 := \frac{A}{2 \cdot \omega_1}$$

$$D_1 = 0.02$$

$$v b_1 = 123.471$$

$$T_g := \frac{2 \cdot \pi}{v g_1} \quad T_g = 0.272$$

Perioden

$$T_b := \frac{2 \cdot \pi}{\omega_1}$$

$$T_b = 0.051$$

$$b_1 := A \cdot v_1$$

$$ablm_{1,0} := (T_b)$$

$$Fak := \frac{ablm_{1,0}}{E Z_1}$$

$$A := \frac{b_1}{v_1}$$

$$ablm_{1,0} = 0.051$$

$$A = 5$$

Periode 0.051 sek wurde einges

$$\delta_1 = 2.5$$

$$b_1 = 1.018 \cdot 10^6$$

$$Twiedh1 := T_b \cdot 7.87$$

$$A = 5 \quad B := (\omega_1)^2$$

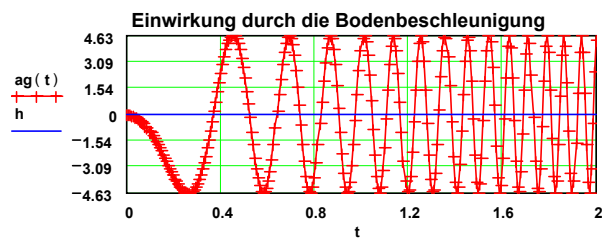
$$B = 15251.262$$

$$e := \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$t := 0, \frac{E Z_1}{55} .. E Z_1 \cdot 5$$

$$h := 0$$

$$ag(t) := -4.63 \cdot \sin(v g_1 \cdot t^2)$$



$$\delta 1 := \frac{1}{EZ_1} \quad \delta 1 = 2.5 \quad ag(t) := 4.63 \cdot \sin\left(\frac{1}{2} \cdot v g_1 \cdot t^2\right)$$

$$verallg := \Phi^T \cdot M \cdot \Phi$$

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

$$v := verallg <1>$$

$$verallg = \begin{bmatrix} 1.786 \cdot 10^5 & -7.834 \cdot 10^{-12} & -8.432 \cdot 10^{-12} & 0 \\ -9.646 \cdot 10^{-12} & 2.036 \cdot 10^5 & 1.399 \cdot 10^{-11} & 0 \\ -6.532 \cdot 10^{-12} & 1.058 \cdot 10^{-11} & 2.05 \cdot 10^5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2.12 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

$$r = \begin{bmatrix} 2.737 \cdot 10^5 \\ 13768.269 \\ -1.876 \cdot 10^5 \\ 2.12 \cdot 10^5 \end{bmatrix}$$

$$r_1 = 13768.269 \quad v_1 = 2.036 \cdot 10^5$$

$$partifak := \frac{r_1}{v_1} \quad partifak = 0.068$$

$$\Sigma r = 3.118 \cdot 10^5$$

$$t := 0, \frac{EZ_1}{55} \dots 0.102$$

$$q(t) := \frac{-1}{v b_1} \cdot partifak \cdot ag(t) \cdot \left[\exp[-\delta 1 \cdot (EZ_1 - t)] \right] \cdot \sin[v b_1 \cdot (EZ_1 - t)] \quad Sam_1 := 0.227$$

a	t	$EZ_1 - t$	ag(t)	(q(t))
0	0	0.4	0	0
1	0.007	0.393	0.003	$5.678 \cdot 10^{-7}$
2	0.015	0.385	0.011	$1.067 \cdot 10^{-6}$
3	0.022	0.378	0.025	$-2.254 \cdot 10^{-6}$
4	0.029	0.371	0.045	$-9.51 \cdot 10^{-6}$
5	0.036	0.364	0.071	$-1.237 \cdot 10^{-5}$
6	0.044	0.356	0.102	$-4.153 \cdot 10^{-7}$
7	0.051	0.349	0.138	$2.442 \cdot 10^{-5}$
8	0.058	0.342	0.181	$4.124 \cdot 10^{-5}$
9	0.065	0.335	0.229	$2.439 \cdot 10^{-5}$
10	0.073	0.327	0.282	$-2.859 \cdot 10^{-5}$
	0.08	0.32	0.342	$-8.166 \cdot 10^{-5}$
	0.087	0.313	0.406	$-8.064 \cdot 10^{-5}$
	0.095	0.305	0.477	$-1.895 \cdot 10^{-6}$
	0.102	0.298	0.553	0

$$Sdm := \Phi <1> \cdot q(Tb \cdot 7.6)$$

$$Sdm_1 = 0.002$$

$$Sd2 := \frac{Sam_1}{(v b_1)^2}$$

$$Sd2 = 1.489 \cdot 10^{-5}$$

$$Sdm = \begin{bmatrix} -0.001 \\ 0.002 \\ -0.001 \\ 0 \end{bmatrix}$$

zu Anlg. 1b

Seite 5

Modal

$$ag(t) := 4.63 \sin\left(\frac{1}{2} \cdot vg_1 \cdot t^2\right)$$

$$vg_1 := 23.084$$

$$q1(t) := \frac{-1}{vb_1} \cdot partifak \cdot ag(t) \cdot \left[\exp\left[-\delta_1 \cdot (EZ_1 - t)\right] \right] \cdot \sin[vb_1 \cdot (EZ_1 - t)]$$

a	t	$EZ_1 - t$	ag(t)	$q1(t) \cdot vb_1$	$Sam := \Phi^{<1>} \cdot q1(Tb \cdot 7.6) \cdot vb_1$
0	0	0.4	0	0	$Sam_1 = 0.227$
1	0.007	0.393	0.003	$7.011 \cdot 10^{-5}$	
2	0.015	0.385	0.011	0	$Spa1 := Sdm_1 \cdot (vb_1)^2$
3	0.022	0.378	0.025	-0	
4	0.029	0.371	0.045	-0.001	$Spa1 = 28.032$
5	0.036	0.364	0.071	-0.002	
6	0.044	0.356	0.102	$-5.128 \cdot 10^{-5}$	$Spa2 := Sd2 \cdot (vb_1)^2$
7	0.051	0.349	0.138	0.003	
8	0.058	0.342	0.181	0.005	$Spa2 = 0.227$
9	0.065	0.335	0.229	0.003	$Sam = \begin{bmatrix} -0.13 \\ 0.227 \\ -0.143 \\ 0 \end{bmatrix}$
10	0.073	0.327	0.282	-0.004	
	0.08	0.32	0.342	-0.01	
	0.087	0.313	0.406	-0.01	
	0.095	0.305	0.477	-0	
	0.102	0.298	0.553	0.014	

$$q2(t) := -\text{partifak} \cdot ag(t) \cdot \exp[-\delta_1 \cdot (EZ_1 - t)] \cdot \cos[vb_1 \cdot (EZ_1 - t)]$$

t	$EZ_1 - t$	ag(t)	q2(t)	Svm := $\Phi^{<1>} \cdot q2(Tb \cdot 7.87)$
0	0.4	0	0	
0.007	0.393	0.003	$1.453 \cdot 10^{-5}$	Svm ₁ = 0.229
0.015	0.385	0.011	0	Spv2 := Sd2 · vb ₁ Spv2 = 0.002
0.022	0.378	0.025	0.001	Spv1 := $\frac{Spa1}{vb_1}$ Spv1 = 0.227
0.029	0.371	0.045	0	
0.036	0.364	0.071	-0.001	
0.044	0.356	0.102	-0.003	
0.051	0.349	0.138	-0.002	
0.058	0.342	0.181	0.001	
0.065	0.335	0.229	0.006	
0.073	0.327	0.282	0.008	
0.08	0.32	0.342	0.002	
0.087	0.313	0.406	-0.008	
0.095	0.305	0.477	-0.015	
0.102	0.298	0.553	-0.011	

Anstiegszeit für cta := $\frac{Spv2}{Spa2}$	Gesamtlaufzeit am Bauwerk	tv1 := $\frac{Sdm_1}{Spv2}$
Beschleunigung:		
ta = 0.008		tv1 = 1

Beanspruchung der Tragwand durch Schubkraft:

$$f_{\max} := \lambda_1 \cdot M \cdot \Phi^{<1>} \cdot Sd2$$

Beanspruchung der Tragwand durch Biegung:

$$f_{\max} = \begin{bmatrix} 16654.485 \\ -36635.384 \\ 23107.565 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$E := 0.6 \cdot 10^6 \quad I := \frac{b \cdot h^3}{12} \quad b := 0.3 \quad h := 6.3 + Sd2$$

$$Bst := E \cdot I \quad Bst = 3.751 \cdot 10^6 \quad [Nm^2]$$

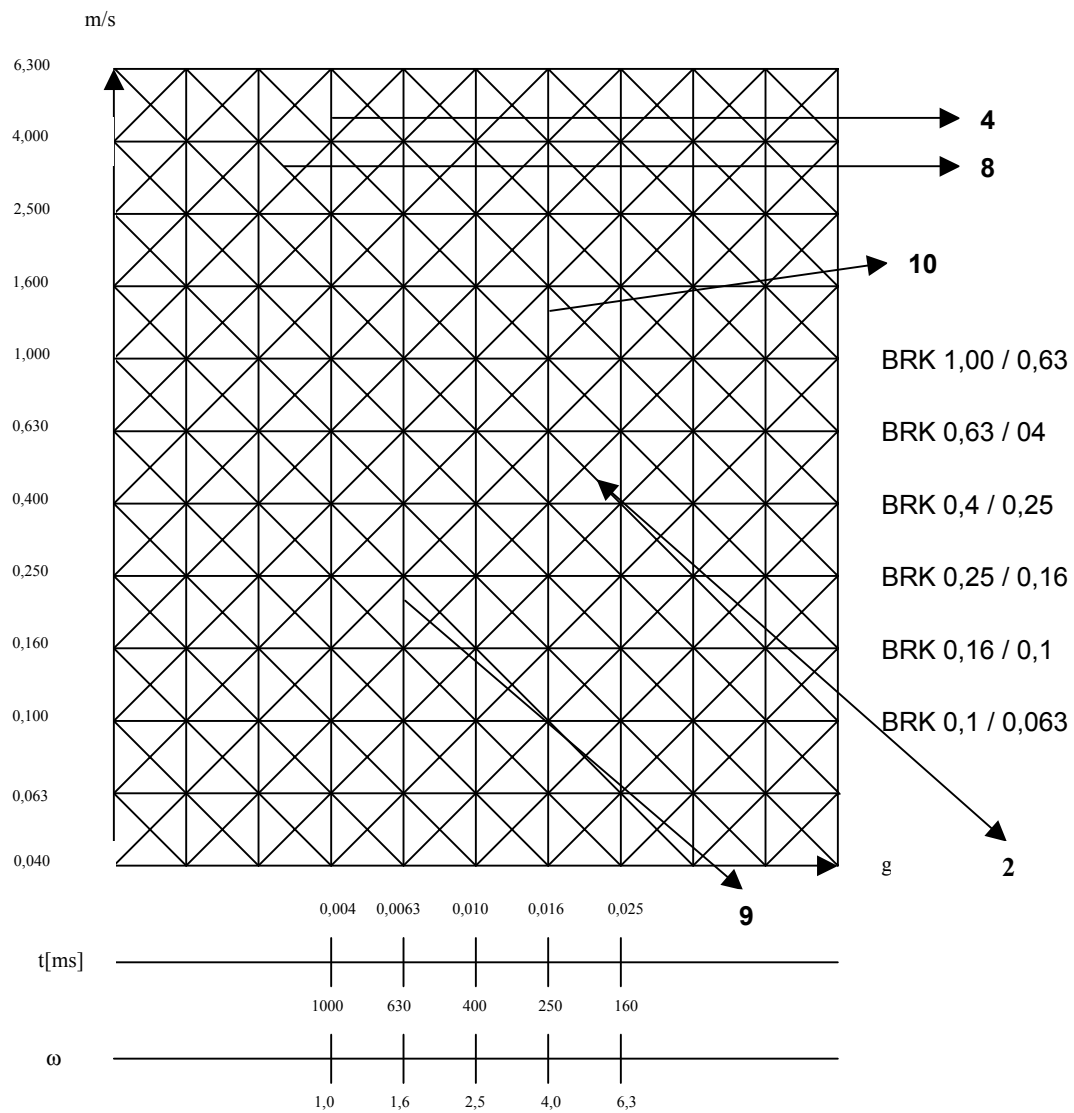
Zulässige Kenngrößen der Tragwand:

Biegesteifigkeit: 124.000 [MNm²]

Schubsteifigkeit 13.6 [MN]

Anlage 2

Newmarksche Diagramm mit den ausgewählten Eigenformen



Anlage 3

Tabelle der ins Netz eingetragenen Schnittpunkte als Designspektren vom vierstöckigen Tragwerk mit den Verträglichkeitsstrukturen ⁶							
Punkt Daten	1	4	Max-Einstg. 5	8	9	10	12:
Datei	Moda3,64 3.U St.3	Modal 1.0 3.U. St.1	Modaleig 1 1.U.St 3	Modal0,63 2.U. St 1	Modal 1,5 3. U. St 2	Modal 4.0 2.U. St.2	Modaleig 281/247
max. Einw. [g]	0,4601 $M \cong 8$	0,4601 $M \cong 8$	0,463 $M \cong 8$	0,46 $M \cong 8$	0,4601 $M \cong 8$	0,46 $M \cong 8$	0,46 $M \cong 8$
äquiv.Beschl zeit ta[ms]	274	1000	8	1588	664	250	12/21
ω [rad/s]	3,64	1,0	123,496	0,63	1,506	4,0	81,676
Sd2 [m]	0,005	4,473	$1,48 \cdot 10^5$	4,328	0,105	0,007	0,0004
Spa2 [g]	0,0069	0,4471	0,0227	0,1717	0,0239	0,0104	0,3087
Spv2[m/s]	0,019	4,472	0,002	2,726	0,159	0,026	0,038
max. Schub- maxkraft [N]	$14,9 \cdot 10^6$	$272 \cdot 10^6$	36635,38	$263 \cdot 10^6$	$136 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^5$
max.Feder- kraft [N]	%	%	%	%	%	%	%
max. Biegung [Nm ²]	$124 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$	$144 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^6$	$3,75 \cdot 10^6$
zul. Biegungs- steifk. [Nm ²]	$124 \cdot 10^6$	$124 \cdot 10^6$	$124 \cdot 10^6$	$124 \cdot 10^6$	$124 \cdot 10^6$	$124 \cdot 10^6$	$124 \cdot 10^6$
zul. Schubstfk [N]	$13,6 \cdot 10^6$	$13,6 \cdot 10^6$	$13,6 \cdot 10^6$	$13,6 \cdot 10^6$	$13,6 \cdot 10^6$	$13,6 \cdot 10^6$	$13,6 \cdot 10^6$
D%	2%	2%	2%	2%	2%	2, %	2%
äquivalente Erregungs- zeit [sek]	1	1	1	1	1	1	1
Partifikatf	0,286	1,0	0,68	1,0	1,174	1,113	1.0

⁶ (eingetrpkt3.doc)

Kapitel II Zweiter Beitrag zum Sonderforschungsbereich

1 Problemstellung

Im Folgenden möchte ich nun auf die Grundlagen im Zusammenhang mit der Bruch- und Versagensmechanik eingehen, weil sie tiefe Einblicke in lineare und nichtlineare Verhaltensweisen bei den Mediendurchsätzen zulässt. Bei der transient aufgebrachten Erdbellenbelastung steigt durch eine erhöhte Energiedichte das in den Konstruktionen gespeicherte Gefahrenpotenzial und treibt im Versagensfall die Schwere der Schäden und ihre Folgen in die Höhe. Nach den Regeln der klassischen Festigkeitslehre muss eine errechnete Spannung kleiner sein als die Werkstoffkenngröße „Bruchfestigkeit“, um den Bruch auszuschließen. Diese Vorgehensweise versagt jedoch bei stark inhomogenen und mehrachsigen Beanspruchungszuständen, wie sie in der Umgebung von plötzlichen Querschnittsänderungen oder rissartigen Defekten bei der Erdbellenbelastung auftreten.

Unter welchen Umständen ein Material versagt, darüber müssen Festigkeitshypothesen Auskunft geben. Bis zu einer bestimmten Belastungsgrenze verhalten sich viele Werkstoffe rein elastisch. Duktiler Verhalten hinterlässt nach Überschreiten der Fließgrenze plastische Deformationen. Der Bruch tritt hier oft erst nach hinreichend großen inelastischen Deformationen ein. Dagegen treten bei sprödem Materialverhalten keine bemerkenswerten inelastischen Deformationen vor dem Bruch auf.

In beiden Fällen ergibt sich eine drastische Änderung im Materialverhalten, die keine reine Materialeigenschaft ist, sondern vom Spannungszustand wesentlich beeinflusst wird.

2 Spannungszustände durch lineare und nichtlineare Approximation

Aus Abschnitt 1 geht hervor, dass der Spannungszustand in den erdbellenbelasteten Medien das ausschlaggebende Kriterium für die Behandlung der durch die Wechselwirkung von Baugrund und Bauwerk entstandenen Bruchmechanismen bedeutet. Daher wurde mit approximativen Mitteln versucht, nicht nur den oftmals mit ausreichender Genauigkeit gegenüber der Bruchmechanik geführten Materialzustand linear abzubilden (Anlagen 9, 10), sondern mit Hilfe einer in den Einheiten der Parameter aus der Grundlagengleichung umstrukturierten Differenzialgleichung durch die Wirkparameter p, σ und c , dem für die Spannungsbestimmung nichtlinearen Wechselspiel zwischen Boden und Bauwerk Rechnung zu tragen (Anlagen 11,12).

3 Zusammenfassung

3.1 Das lineare Lösungsverhalten der Approximation als Eigenwertaufgabe des k-Q-Schätzers

Mit den Berechnungen⁷ wird gezeigt, dass in einer einfachen linearen Regression ein k-Q-Schätzer die Eigenwertaufgabe löst. Er löst sie eindeutig, wenn die Dekadensprünge der Messwerte nicht übermäßig groß ausfallen. Die Anpassungskurven spiegeln im quadratischen und kubischen Polynom die Vektorkonstanten wider. Ich habe diese Beispiele angeführt, um das Kernproblem der linearen Algebra aufzuzeigen, das darin besteht, die Lösungen der Aufgaben in linearer Annäherung zu suchen. Der Aufgabenlösung werden sie im vorliegenden Fall nicht gerecht. Sie eignen sich aber gut für statistische Testaufgaben.

3.2 Das lineare und nichtlineare Lösungsverhalten der Approximation⁸

3.2.1 Das lineare Lösungsverhalten

Auch hier versucht im linearen Fall ein k-Q-Schätzer die bestmögliche Anpassung an die fallgerecht definierten Funktionen zu erreichen. Die direkte Abhängigkeit der linearen Kombinationen zwischen S und $F(p)$ von irgendeiner Belastung p , nicht von ihrer Höhe, zeigt den Einschränkungsscharakter linearer Lösungsformen auf. Weil in $F(p)$ die nichtperiodische Einwirkungsart zum Ausdruck kommt, wird die Anpassungskurve eine 0-Raumgerade, deren stationärer Anteil weggedämpft worden ist. Die 0-Raumkurve wird nur von der Belastung p gesteuert. Die neu entstandene Lastverteilung ergibt einen Schlüssel für die Bestimmung von Gefährdungspotenzialen, der für eine regional beschränkte Arbeitsweise genutzt werden kann.

3.2.2 Das nichtlineare Lösungsverhalten

Die nichtlineare approximative Abbildung⁹ liefert einen individuellen Lösungsaufbau, der hinsichtlich der eingesetzten Wirkparameter einen Einblick in die Außenstrukturen der beteiligten Medien zulässt. Wie im linearen Fall, gelten als Funktionsparameter die Boden- und Bauwerkskenngrößen, die aber für den nichtlinearen „Fit“ einzeln partiell abgeleitet werden, um in der Funktion ihren eigenen Wert einzubringen. Die Herausforderung aller Größen, sich an den Kombinationen zu beteiligen, zeigt sich daran, dass eine nicht unbeschränkt große Gruppe an Wirkparametern für die gleiche Abbildung verantwortlich ist. Sie ist Ausdruck für eine in der Natur vorliegende Boden/Bauwerks-Wechselwirkung. Die nichtlineare Approximation erfordert eine individuelle Entscheidung bei der Festlegung der

⁷ Anlagen 7, 8; Dateien: univar00.mcd; kubnäher.mcd

⁸ Anlagen 9, 10; Dateien: linfit.mcd; Nlinfit.mcd

⁹ Anlagen 11, 12; Datei: Nlinfit.mcd

neu verteilten Spannungszustände. Diese aus einer Gruppe von Spannungszuständen zu fällende Entscheidung wird den individuellen nichtlinearen Abläufen in der Natur gerecht.

Zugrundegelegt wird ein univariates multiples Regressionsmodell

unabhängige
Testvariablen

$$\begin{array}{lcl}
 \text{abhängiger} & & \\
 \text{Zielvektor} & x := & \begin{bmatrix} 1 & 0.1 & 0.01 \\ 1 & 0.2 & 0.04 \\ 1 & 0.3 & 0.09 \\ 1 & 0.4 & 0.16 \\ 1 & 0.5 & 0.25 \end{bmatrix} \\
 & & \begin{array}{l} i := 0..4 \quad j := 0..2 \\ n := 5 \\ pr := 0\% \quad pr3 := 0\% \\ pr1 := 0\% \quad pr4 := 0\% \\ pr2 := 0\% \quad pr5 := 0\% \end{array} \\
 y1 := & \begin{bmatrix} -0.055 \\ 0.095 \\ 0.314 \\ 0.756 \\ 1.137 \end{bmatrix} & \begin{array}{l} S0 := x^{<1>} \cdot (1 + (-1)^{\text{floor}(\text{rnd}(\text{pr3}))}) \cdot \text{rnd}(\text{pr}) \\ S01 := x^{<2>} \cdot (1 + (-1)^{\text{floor}(\text{rnd}(\text{pr4}))}) \cdot \text{rnd}(\text{pr1}) \end{array}
 \end{array}$$

$x1 := \text{submatrix}(x, 0, 4, 1, 1)$

$tS := \text{erweitern}(S0, S01)$

$tS1 := tS$

$tS2 := \text{erweitern}(x^{<0>}, tS1)$

$$\begin{array}{lcl}
 S0 = & \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.2 \\ 0.3 \\ 0.4 \\ 0.5 \end{bmatrix} & S01 = \begin{bmatrix} 0.01 \\ 0.04 \\ 0.09 \\ 0.16 \\ 0.25 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

$$\mathbf{b} := (\mathbf{x}^T \cdot \mathbf{x})^{-1} \cdot \mathbf{x}^T \cdot \mathbf{y1} \qquad \mathbf{y1}^T \cdot \mathbf{y1} = 1.97$$

$$\mathbf{p} := 2 \qquad \mathbf{b}^T \cdot (\mathbf{x}^T \cdot \mathbf{y1}) = 1.97$$

mittelwert (y1) = 0.45

$$\Lambda 1 := \mathbf{y1}^T \cdot \mathbf{y1} - \mathbf{b}^T \cdot (\mathbf{x}^T \cdot \mathbf{y1}) \qquad |\Lambda 1| = 4.43 \cdot 10^{-3}$$

$$\Lambda 2 := \mathbf{y1}^T \cdot \mathbf{y1} - n \cdot \text{mittelwert}(\mathbf{y1})^2 \qquad |\Lambda 2| = 0.97$$

$$\Lambda := \left| \frac{\Lambda 1}{|\Lambda 2|} \right| \qquad \Lambda = 4.59 \cdot 10^{-3} \qquad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} -0.12 \\ 0.11 \\ 4.89 \end{bmatrix}$$

Regressions-
koeffizienten.

$$\chi(n, p) := - \left[n - 1 - \left(\frac{p + 2}{2} \right) \right] \cdot \ln(\Lambda) \qquad \text{Chiquadratstest}$$

$$\chi 1(n, p) := - \left[n - 1 - \left(\frac{p + 2}{2} \right) \right] \cdot \ln(\Lambda 1) \qquad \Lambda 1 = 4.43 \cdot 10^{-3}$$

$$\chi(n, p) = 10.77 \qquad \chi(n, p) - 5.99 = 4.78$$

$$\mathbf{y0} := \mathbf{b0} \cdot \mathbf{x0,0} + \mathbf{b1} \cdot \mathbf{x0,1} + \mathbf{b2} \cdot \mathbf{x0,2}$$

$$\mathbf{y1} := \mathbf{b0} \cdot \mathbf{x1,0} + \mathbf{b1} \cdot \mathbf{x1,1} + \mathbf{b2} \cdot \mathbf{x1,2}$$

$$\mathbf{y2} := \mathbf{b0} \cdot \mathbf{x2,0} + \mathbf{b1} \cdot \mathbf{x2,1} + \mathbf{b2} \cdot \mathbf{x2,2}$$

$$\mathbf{y3} := \mathbf{b0} \cdot \mathbf{x3,0} + \mathbf{b1} \cdot \mathbf{x3,1} + \mathbf{b2} \cdot \mathbf{x3,2}$$

$$\mathbf{y4} := \mathbf{b0} \cdot \mathbf{x4,0} + \mathbf{b1} \cdot \mathbf{x4,1} + \mathbf{b2} \cdot \mathbf{x4,2}$$

erwarteter Zielvektor y_z als Korrektur durch

$$y_1 = \begin{bmatrix} -0.06 \\ 0.1 \\ 0.31 \\ 0.76 \\ 1.14 \end{bmatrix}$$

$$y_0 = -0.06$$

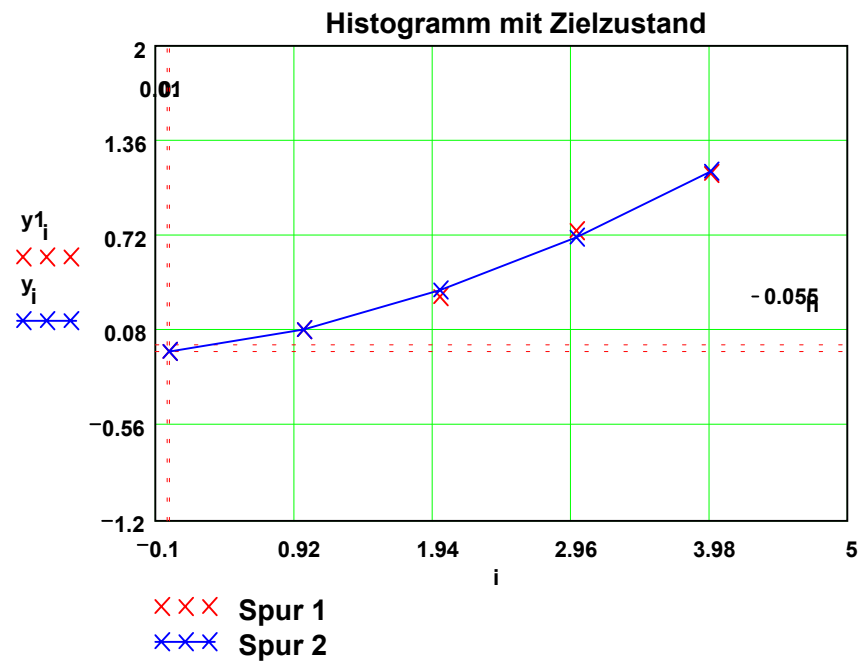
$$y_1 = 0.1$$

$$y_2 = 0.35$$

$$y_3 = 0.7$$

$$y_4 = 1.16$$

h := 0



Zugrundegelegt wird ein univariates multiples Regressionsm

Bestimmung eines kubischen Näherungspolyno

unabhängige
Testvariablen

abhängiger
Zielvektor

$$y1 := \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 8 \\ 27 \end{bmatrix}$$

$$X := \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 8 \\ 1 & 3 & 9 & 27 \end{bmatrix}$$

$i := 0..4 \quad j := 0..3$
 $n := 5$

$S_0 := X^{<0>} \quad S_1 := X^{<1>} \quad S_2 := X^{<2>} \quad S_3 := X^{<3>}$

$$X1 := \begin{bmatrix} -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 2 & 4 & 8 \\ 3 & 9 & 27 \end{bmatrix} \quad S_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad S_1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} \quad S_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ 4 \\ 9 \end{bmatrix} \quad S_3 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 8 \\ 27 \end{bmatrix}$$

x

$$b := (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot y1$$

$$y1^T \cdot y1 = 795$$

$$p := 3$$

$$\text{mittelwert}(y1) = 7$$

$$\Lambda 1 := y1^T \cdot y1 - b^T \cdot (X^T \cdot y1) \quad |\Lambda 1| = 3.297 \cdot 10^{-12}$$

$$\Lambda 2 := y1^T \cdot y1 - n \cdot \text{mittelwert}(y1)^2 \quad |\Lambda 2| = 550$$

$$\Lambda := \left| \frac{\Lambda 1}{\Lambda 2} \right| \quad \Lambda = 5.994 \cdot 10^{-15}$$

$$b = \begin{bmatrix} -1.611 \cdot 10^{-14} \\ 2.176 \cdot 10^{-14} \\ 5.884 \cdot 10^{-15} \\ 1 \end{bmatrix}$$

Regressions
koeffizient

$$\chi(n, p) := - \left[n - 1 - \left(\frac{p+2}{2} \right) \right] \cdot \ln(\Lambda)$$

$$\chi(n, p) = 49.122$$

$$y_0 := (b_0 \cdot X_{0,0} + b_1 \cdot X_{0,1} + b_2 \cdot X_{0,2}) + b_3 \cdot X_{0,3}$$

$$y_1 := b_0 \cdot X_{1,0} + b_1 \cdot X_{1,1} + b_2 \cdot X_{1,2} + b_3 \cdot X_{1,3}$$

$$y_2 := b_0 \cdot X_{2,0} + b_1 \cdot X_{2,1} + b_2 \cdot X_{2,2} + b_3 \cdot X_{2,3}$$

$$y_3 := b_0 \cdot X_{3,0} + b_1 \cdot X_{3,1} + b_2 \cdot X_{3,2} + b_3 \cdot X_{3,3}$$

$$y_4 := b_0 \cdot X_{4,0} + b_1 \cdot X_{4,1} + b_2 \cdot X_{4,2} + b_3 \cdot X_{4,3}$$

Meßwerte

kubisch regressiv angepaßte Werte

$$y1 = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 1 \\ 8 \\ 27 \end{bmatrix}$$

$$y_0 = -1$$

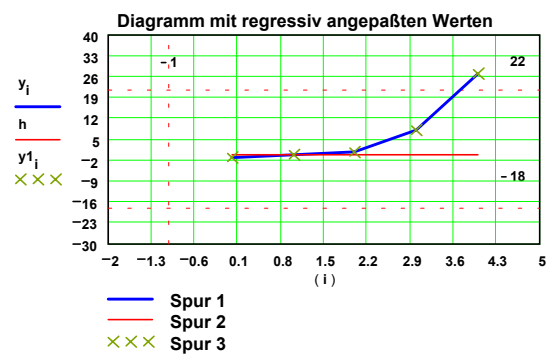
$$y_1 = 0$$

$$y_2 = 1$$

$$y_3 = 8$$

$$y_4 = 27$$

$$h := 0$$



Anlage 3

Datei: linfit 1

$$p := 0.4$$

$$\sigma := 2$$

$$\gamma := 2$$

$$c := 0.3$$

$$t := 1.4$$

$$a := 9.81$$

$$b := \frac{\gamma}{\sigma} \cdot c \cdot t$$

$$b = 0.420$$

$$vx := \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix}$$

$$vy := \begin{bmatrix} 0.01 \\ 0.063 \\ 0.1 \\ 0.16 \\ 0.25 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

$$F(p) := \begin{bmatrix} \frac{p}{\sigma} \cdot a \cdot \frac{1}{(b)} \cdot (1 - \exp(-b)) \\ p \cdot \frac{a}{\gamma \cdot c \cdot t} \end{bmatrix}$$

$$S := \text{linanp}(vx, vy, F)$$

$$h := 0$$

$$S = \begin{bmatrix} 1.788 \cdot 10^{-3} \\ 5.214 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$i := 0 \dots \text{länge}(vx) - 1$$

$$r := -10 \dots 6$$

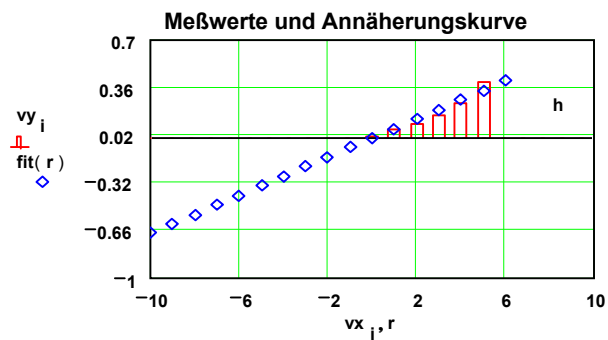
$$\text{fit}(r) := S \cdot F(r)$$

$$\text{fit}(i)$$

0
0.068
0.136
0.204
0.272
0.340

$$vy_i$$

0.010
0.063
0.100
0.160
0.250
0.400



Anlage 4

Datei: linfit 1

$$p := 0.4$$

$$\sigma := 2$$

$$\gamma := 2$$

$$c := 0.3$$

$$t := 1.4$$

$$a := 9.81$$

$$b := \frac{\gamma}{\sigma} \cdot c \cdot t$$

$$b = 0.420$$

$$vx := \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix}$$

$$vy := \begin{bmatrix} 0.01 \\ 0.063 \\ 0.16 \\ 0.4 \\ 0.04 \\ 0.63 \end{bmatrix}$$

$$F(p) := \begin{bmatrix} \frac{p \cdot a}{\sigma} \cdot \frac{1}{(b)} \cdot (1 - \exp(-b)) \\ p \cdot \frac{a}{\gamma \cdot c \cdot t} \end{bmatrix}$$

$$S := \text{linanp}(vx, vy, F)$$

$$h := 0$$

$$S = \begin{bmatrix} 2.338 \cdot 10^{-3} \\ 6.816 \cdot 10^{-3} \end{bmatrix}$$

$$i := 0 \dots \text{länge}(vx) - 1$$

$$r := -10 \dots 6$$

$$\text{fit}(r) := S \cdot F(r)$$

$$\text{fit}(i)$$

0
0.089
0.178
0.267
0.356
0.445

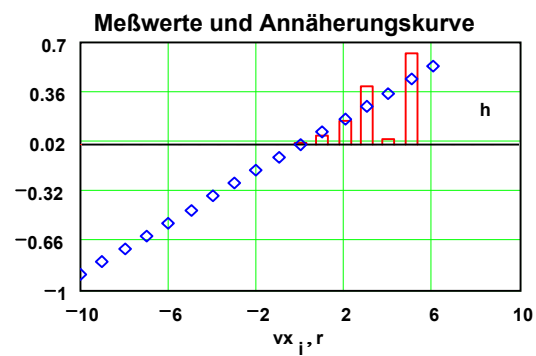
$$vy_i$$

0.010
0.063
0.160
0.400
0.040
0.630

$$vy_i$$

$$\text{fit}(r)$$

$$\diamond$$



Anlage 5 Seite 1

Datei: Nlinfit0.mcd

$$\mathbf{vx} \equiv \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{vy} \equiv \begin{bmatrix} 0.01 \\ 0.063 \\ 0.1 \\ 0.16 \\ 0.25 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

i := 0 .. 5 r := 0 .. 5 h := 0

$$\mathbf{F}(t, u) \equiv \begin{bmatrix} \frac{u_0}{u_1} \cdot \frac{9.81}{2 \cdot u_2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) \\ \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot t)} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) \right] \\ - u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_1)^2} \cdot \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \\ \frac{-1}{2} \cdot u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_2)^2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) + u_0 \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot u_1)} \cdot \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right] \end{bmatrix} *$$

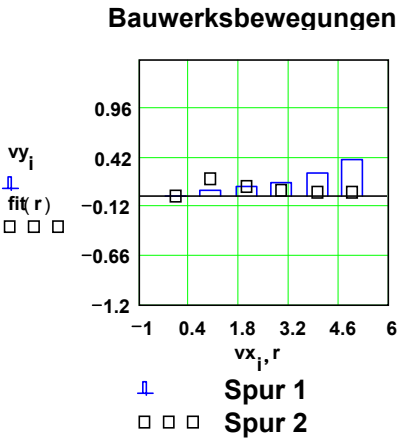
$$\mathbf{vg} \equiv \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.1 \\ 0.4 \end{bmatrix}$$

$P \equiv \text{genanp}(vx,vy,vg,F)$

$$\text{fit}(r) \equiv F(r,P)_0$$

$$P = \begin{bmatrix} 0.018 \\ 0.099 \\ 0.435 \end{bmatrix}$$

vx_i	vy_i	$\text{fit}(r)$
0	0.01	0
1	0.063	0.201
2	0.1	0.101
3	0.16	0.067
4	0.25	0.05
5	0.4	0.04



Anlage 6 Seite 1

Datei: Nlinfit0.mcd

$$\mathbf{vx} \equiv \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{vy} \equiv \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.16 \\ 0.25 \\ 0.4 \\ 0.63 \\ 1 \end{bmatrix}$$

i := 0..5 r := 0..5 h := 0

$$\mathbf{F}(t, u) \equiv \begin{bmatrix} \frac{u_0}{u_1} \cdot \frac{9.81}{2 \cdot u_2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) \\ \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot t)} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) \right] \\ - u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_1)^2} \cdot \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \\ \frac{-1}{2} \cdot u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_2)^2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) + u_0 \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot u_1)} \cdot \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right] \end{bmatrix} *$$

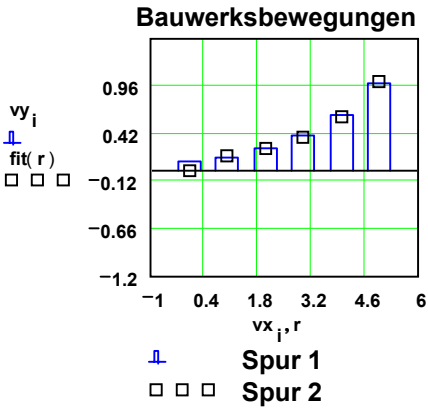
$$\mathbf{vg} \equiv \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.5 \\ 0.8 \end{bmatrix}$$

$P \equiv \text{genanp} (vx , vy , vg , F)$

$\text{fit}(r) \equiv F(r,P)_0$

$$P = \begin{bmatrix} 2.196 \cdot 10^{-3} \\ 0.177 \\ -0.06 \end{bmatrix}$$

vx_i	vy_i	$\text{fit}(r)$
0	0.1	0
1	0.16	0.173
2	0.25	0.256
3	0.4	0.392
4	0.63	0.62
5	1	1.006



Kapitel III Dritter Beitrag zum Sonderforschungsbereich

1 Problemstellung

Die weitergeführte Erdbebenproblematik um Vranica in Rumänien gibt Anlass, die kritischen oft inkonsistenten linearen und nichtlinearen Formen der um den Eigenwert sich scharenden Abläufe mit mathematischen Mitteln anzugehen. Aus den vorigen Kapiteln geht hervor, dass für die Ermittlung der Beanspruchungen das elastisch-inelastische Antwortspektren-Verfahren angewandt wird. Hierbei soll der Einwand für einen Nachweis der Gültigkeitsgrenze Geltung besitzen. Dieser Nachweis wird im vorliegenden Beitrag erbracht.

2 Die Bildungsformen der modelladäquaten invarianten Hypothesen

Die Bildungsformen der invarianten Hypothesen des Modells zur Ermittlung des unbekannten Informationsgehaltes über die Zusammenhänge zwischen Eigenwert- und viskosen Dämpfungsabläufen gehen aus den Berechnungsunterlagen zur Dämpfungsanalyse der Anlagen 14-17 hervor. Bei der Modellentwicklung bin ich davon ausgegangen, dass der aus der Antwortberechnung aufgenommene viskose Dämpfungsbetrag als dyadisch schief-symmetrischer Tensor für die Lösung der Aufgabe geeignet ist und durch die Ermittlung seiner Gitterwerte die völlig unabhängig operierende Dämpfungskraft erkennen lässt (siehe Anlage 13). Hier wird die Grenze für die Objektivität der Antwortrechnung sichtbar und die nicht angezeigten Starrkörperbewegungen verständlich. Für die Ermittlung dieses für das Tragwerk schicksalsträchtigen Dissipationsstaus wird ein anderes Modell herangezogen.

3 Der Sturmsche Test

Als Erleichterung empfinde ich die Tatsache, dass es einen Test gibt, der neben den positiven auch die negativen Eigenwertanteile in seinem Lösungsalbum anzeigt (siehe Anlagen 14-17). Die Testuntersuchung wird von den Ausgangswerten des dritten Stockwerks der ersten Untersuchung gestartet und lässt nach der ersten Reduktion der Freiheitsgrade den negativen Eigenwert im zweiten Stock des vierstöckigen Testbauwerks erscheinen (Seite 4 Anlage 18).

Die Testuntersuchung von Sturm separiert die Eigenwerte ihrer Größe nach, ohne vorher die Automatik zwischen M und K selbst in Anspruch zu nehmen. Mit der unter Reduktion der Systemfreiheitsgrade durchgeführten mathematischen Operation haben charakteristische Polynome die Tensorfunktion zur Ermittlung der Eigenwerte übernommen. Damit ist der bei einer Auftragung der Eigenformen über ihrer Periode aufgetauchte Trendwiderspruch bestätigt worden (siehe Anlage 19).

4 Zusammenfassung und Ausblick

In der mit der Automatik zwischen M und K durchgeführten Stockwerksuntersuchung wird die durch einen Dissipationsstau verursachte Starrkörperbewegung nicht konsistent angezeigt.

Die Untersuchung über die Zusammenhänge der Dämpfungs-Eigenwertproblematik hat gezeigt, dass sich erst dann alle Widersprüche auflösen, wenn das richtig angepasste mathematische Inventar ausgeschöpft wird. Sie hat erneut auch das von mir immer angemahnte Verträglichkeitsprogramm zur Sanierung bestehender und neu errichteter Bausubstanz in den Vordergrund gerückt.

Als nächste Testuntersuchung bietet sich die Dissipationsdyade für ein elastomersanier-tes Bauwerk mit der Lebenserwartungsfrage in der Zeitenfolge an. Es handelt sich um eine Aufgabenstellung für die als notwendig angesehene Zurückdrängung der totalen „Unabhängigkeit“ der Dämpfungskraft mit Hilfe einer Werkstoffveränderung (rhombisch-hexagonale oder kubische Tensorfläche). Mit einem Elastomer kaum denkbar zu verwirklichen.

Anlage 1

Tabelle zur Dämpfungsstudie aus eigenen Berechnungen des Forschungsvorhabens 461“Starkbeben“ der Universität Karlsruhe ¹⁰								
Daten	M Masse	K Steif- gig- keit	$\lambda = \omega^2 B$	1)b=c visko.Dis Tensor abs	spezif... Dämpfg.	Gitter Winkel 2)	Haupt- achsen Dämpfg. 2)	Tensor- fläche
Diagr.- Pkt.	Ns ² /m	[N/m]	[1/t ²]	Ns/m	[Ns/m]	grad	%	%
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	20,4* 10 ³	600* 10 ³	29,37	4422,76	5,42	xy ∠90° xz ∠90° yz ∠90°	X=44,222 Y=6,723 Z=14,825	rhomboedrische- Struktur
9	2,029* 10 ⁷	4,765* 10 ⁸	2,269	1,194* 10 ⁷	1,506	xy ∠90° xz ∠90° yz ∠90°	X= 242 Y= 219 Z= 225	rhomboedrische- Struktur
4	6,1* 10 ⁷	6.097* 10 ⁷	1,0	2,44* 10 ⁶	1,0	xy ∠90° xz ∠90° yz ∠90°	X=153 Y=120 Z=133	rhomboedrische- Struktur
8	1,54 *10 ⁸	6,097 *10 ⁷	0,397	3,94 *10 ⁶	0,63	xy ∠90° xz ∠90° yz ∠90°	X= 176 Y= 144 Z= 156	rhomboedrische- Struktur

1) b=viskoser Dissipationstensor absolut

2) Abbildungsgleichung: $K\Phi = \lambda M \Phi$

¹⁰ Datei:tabbeitr3.doc

Anlage 2

Seite 1

Datei: Dämpfanalyse

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

E := einheit (3) i := 1 .. 3 j := 1 .. 3

ORIGIN := 1

g := 9.81

$$K := \begin{bmatrix} 21.9355 & 15 & 10 \\ 15 & 21.9355 & 8 \\ 10 & 8 & 21.9355 \end{bmatrix}$$

$$|K| = 4.422 \cdot 10^3$$

$$M := \begin{bmatrix} 28 & 0 & 0 \\ 0 & 28 & 0 \\ 0 & 0 & 26.02 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 2.001 \cdot 10^5 \quad N$$

$$\lambda := \text{eigenwerte} (K) \quad \Phi := \text{eigenvektoren} (K) \quad |M| = 2.04 \cdot 10^4$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 44.222 \\ 6.732 \\ 14.852 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.741 & -0.241 & 0.627 \\ -0.656 & -0.457 & 0.6 \\ -0.142 & 0.856 & 0.497 \end{bmatrix} \quad x1 := \begin{bmatrix} 0.1891 \\ 0.1941 \\ 0.1907 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag} (x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 8.836 \cdot 10^{-3} & 5.037 \cdot 10^{-3} \\ 8.836 \cdot 10^{-3} & 1 & -0.031 \\ 5.037 \cdot 10^{-3} & -0.031 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag} (\lambda)$$

$$\Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 44.214 & 0.391 & 0.223 \\ 0.059 & 6.734 & -0.21 \\ 0.075 & -0.463 & 14.86 \end{bmatrix}$$

$$\omega_j := \sqrt{\lambda_j}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 44.222 & 0 & 0 \\ 0 & 6.732 & 0 \\ 0 & 0 & 14.852 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 6.65 \\ 2.595 \\ 3.854 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} 0.14 & -0.047 & 0.12 \\ -0.124 & -0.089 & 0.114 \\ -0.027 & 0.166 & 0.095 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>} \cdot \Phi^{<3>} = 0$$

Orthogonalitätsnachweis

$$K1 := \begin{bmatrix} 21.9355 - \lambda_{1,1} & 15 & 10 \\ 15 & 21.9355 - \lambda_{1,1} & 8 \\ 10 & 8 & 21.9355 - \lambda_{1,1} \end{bmatrix}$$

$$|K1| = -1.063 \cdot 10^6$$

$$K1 = \begin{bmatrix} -103.405 & 15 & 10 \\ 15 & -103.405 & 8 \\ 10 & 8 & -103.405 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.741 & -0.241 & 0.627 \\ -0.656 & -0.457 & 0.6 \\ -0.142 & 0.856 & 0.497 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi_{1,1}$$

$$y := \Phi_{2,1}$$

$$z := \Phi_{3,1}$$

$$x = 0.741$$

$$y = -0.656$$

$$z = -0.142$$

Vorgabe

$$K1_{1,1} \cdot x + K1_{1,2} \cdot y + K1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{2,1} \cdot x + K1_{2,2} \cdot y + K1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{3,1} \cdot x + K1_{3,2} \cdot y + K1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = 0$$

$$y = 0$$

$$z = 0$$

$$V\lambda := \lambda_{1,1} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V\lambda_1 := K \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \Phi^{<1>}$$

$$y2 := \Phi^{<2>}$$

$$z3 := \Phi^{<3>}$$

$$x1 = \begin{bmatrix} 0.741 \\ -0.656 \\ -0.142 \end{bmatrix}$$

$$y2 = \begin{bmatrix} -0.241 \\ -0.457 \\ 0.856 \end{bmatrix}$$

$$z3 = \begin{bmatrix} 0.627 \\ 0.6 \\ 0.497 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_1 := \begin{bmatrix} 4421.71080816 \\ -1054.49848075 \\ 65.8065 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}_1 := \mathbf{K}_1 \quad \mathbf{I}_1 = 65.807 \quad \mathbf{S} := \frac{1}{3} \cdot \mathbf{I}_1 \quad \mathbf{S} = 21.935$$

$$\mathbf{D} := \mathbf{K} - \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 3.553 \cdot 10^{-15} & 15 & 10 \\ 15 & 3.553 \cdot 10^{-15} & 8 \\ 10 & 8 & 3.553 \cdot 10^{-15} \end{bmatrix}$$

$$\cos(x1, y2) := \frac{x1 \cdot y2}{|x1| \cdot |y2|} \quad r := \cos(x1, y2) \quad r = 0$$

$$\alpha0 := \arccos(r) \quad \alpha0 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha0 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x1, z3) := \frac{x1 \cdot z3}{|x1| \cdot |z3|} \quad r1 := \cos(x1, z3) \quad r1 = 0$$

$$\alpha1 := \arccos(r1) \quad \alpha1 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha1 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y2, z3) := \frac{y2 \cdot z3}{|y2| \cdot |z3|} \quad r2 := \cos(y2, z3) \quad r2 = 0$$

$$\alpha2 := \arccos(r2) \quad \alpha2 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha2 = 90 \quad \text{grad}$$

$$|x1| = 1 \quad |y2| = 1 \quad |z3| = 1$$

Datei: Dämpfanalyse

Seite5

$$D + S \cdot E = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 3.553 \cdot 10^{-15} & 15 & 10 \\ 15 & 3.553 \cdot 10^{-15} & 8 \\ 10 & 8 & 3.553 \cdot 10^{-15} \end{bmatrix}$$

$$S \cdot E = \begin{bmatrix} 21.935 & 0 & 0 \\ 0 & 21.935 & 0 \\ 0 & 0 & 21.935 \end{bmatrix}$$

D=Deviator

S =Kugeltensor

$$K4 := D + S \cdot E \quad K4 = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$|D| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$K_1 := \begin{bmatrix} 4421.71080816 \\ -1054.49848075 \\ 65.8065 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$N := \text{nullstellen}(K_1)$$

$$N = \begin{bmatrix} 6.732 \\ 14.852 \\ 44.222 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 44.222 \\ 6.732 \\ 14.852 \end{bmatrix}$$

$$K2 := \begin{bmatrix} 21.9355 - \lambda_1 & 15 & 10 \\ 15 & 21.9355 - \lambda_1 & 8 \\ 10 & 8 & 21.9355 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$K2 := 4421.710808163875 - 1054.49848075 \lambda_1 + 65.8065 \cdot (\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3$$

Seite6

Datei: Dämpfanalyse

$$D1 := \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K5 := D1 + S \cdot E$$

$$|D1| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$K5 = \begin{bmatrix} 21.935 & 15 & 10 \\ 15 & 21.935 & 8 \\ 10 & 8 & 21.935 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$\Omega \cdot \Phi^T \cdot M \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 44.214 & 0.391 & 0.223 \\ 0.059 & 6.734 & -0.21 \\ 0.075 & -0.463 & 14.86 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^T \cdot K \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 6.732 & 5.457 \cdot 10^{-15} & -1.431 \cdot 10^{-14} \\ 5.21 \cdot 10^{-15} & 14.852 & -4.018 \cdot 10^{-15} \\ -1.378 \cdot 10^{-14} & -4.829 \cdot 10^{-15} & 44.222 \end{bmatrix} \quad \lambda = \begin{bmatrix} 44.222 \\ 6.732 \\ 14.852 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>T} \cdot M \cdot \Phi^{<1>} = 27.96$$

$$K \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} 4.988 \\ -4.419 \\ -0.956 \end{bmatrix}$$

$$K \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 27.722 \\ 26.543 \\ 21.967 \end{bmatrix}$$

$$K \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -3.576 \\ -6.789 \\ 12.717 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} 92.874 \\ -82.266 \\ -17.8 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_3 \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 97.379 \\ 93.24 \\ 77.164 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_2 \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -30.181 \\ -57.292 \\ 107.316 \end{bmatrix}$$

Anlage 3

Seite 1

Datei: Dämpfanalysepkt9neu

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

E := einheit (3) i := 1 .. 3 j := 1 .. 3

ORIGIN := 1

g := 9.81

$$b := \begin{bmatrix} 229 & 10 & 5 \\ 10 & 229 & 4 \\ 5 & 4 & 228.3 \end{bmatrix}$$

$$|b| = 1.194 \cdot 10^7$$

$$M := \begin{bmatrix} 585 & 0 & 0 \\ 0 & 589 & 0 \\ 0 & 0 & 589 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 1.991 \cdot 10^9 \quad N$$

$$\lambda := \text{eigenwerte} (b) \quad \Phi := \text{eigenvektoren} (b) \quad |M| = 2.029 \cdot 10^8$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 241.968 \\ 218.932 \\ 225.4 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.725 & -0.228 & 0.65 \\ -0.682 & -0.369 & 0.632 \\ -0.096 & 0.901 & 0.423 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \begin{bmatrix} 0.04127 \\ 0.04122 \\ 0.04126 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag} (x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 1.124 \cdot 10^{-3} & -3.21 \cdot 10^{-3} \\ 1.124 \cdot 10^{-3} & 1 & 1.007 \cdot 10^{-3} \\ -3.21 \cdot 10^{-3} & 1.007 \cdot 10^{-3} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag} (\lambda)$$

$$\Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 241.874 & 0.272 & -0.777 \\ 0.246 & 219.022 & 0.221 \\ -0.723 & 0.227 & 225.362 \end{bmatrix}$$

$$\lambda1 := \begin{bmatrix} 125.34 \\ 125.34 \\ 155.34 \end{bmatrix}$$

$$\omega_j := \sqrt{\lambda_j}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 241.968 & 0 & 0 \\ 0 & 218.932 & 0 \\ 0 & 0 & 225.4 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 15.555 \\ 14.796 \\ 15.013 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} 0.03 & -9.39 \cdot 10^{-3} & 0.027 \\ -0.028 & -0.015 & 0.026 \\ -3.95 \cdot 10^{-3} & 0.037 & 0.017 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>} \cdot \Phi^{<3>} = 0$$

Orthogonalitätsnachweis

Anlage 3

Seite 2

Datei: Dämpfanalysepkt9neu

$$b1 := \begin{bmatrix} 229 - \lambda_{1,1} & 10 & 5 \\ 10 & 229 - \lambda_{1,1} & 4 \\ 5 & 4 & 228.3 - \lambda_{1,1} \end{bmatrix}$$

$$|b1| = 1.092 \cdot 10^6$$

$$b1 = \begin{bmatrix} 103.66 & 10 & 5 \\ 10 & 103.66 & 4 \\ 5 & 4 & 102.96 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.725 & -0.228 & 0.65 \\ -0.682 & -0.369 & 0.632 \\ -0.096 & 0.901 & 0.423 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi_{1,1}$$

$$y := \Phi_{2,1}$$

$$z := \Phi_{3,1}$$

$$x = 0.725$$

$$y = -0.682$$

$$z = -0.096$$

Vorgabe

$$b1_{1,1} \cdot x + b1_{1,2} \cdot y + b1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$b1_{2,1} \cdot x + b1_{2,2} \cdot y + b1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$b1_{3,1} \cdot x + b1_{3,2} \cdot y + b1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = 0$$

$$y = 0$$

$$z = 0$$

$$V\lambda := \lambda_{1,1} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V\lambda_1 := b \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \Phi^{<1>}$$

$$y2 := \Phi^{<2>}$$

$$z3 := \Phi^{<3>}$$

$$x1 = \begin{bmatrix} 0.725 \\ -0.682 \\ -0.096 \end{bmatrix}$$

$$y2 = \begin{bmatrix} -0.228 \\ -0.369 \\ 0.901 \end{bmatrix}$$

$$z3 = \begin{bmatrix} 0.65 \\ 0.632 \\ 0.423 \end{bmatrix}$$

Anlage 3

Seite 3

Datei: Dämpfanalysepkt9neu

$$b_2 := 11940461.3 - 156861.4 \cdot \lambda_1 + 686.3 \cdot (\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3 \quad b_1 := \begin{bmatrix} 11940461.3 \\ -156861.4 \\ 686.3 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$l_1 := b_1_3 \quad l_1 = 686.3 \quad S := \frac{1}{3} \cdot l_1 \quad S = 228.767$$

$$D := b - S \cdot E \quad D = \begin{bmatrix} 0.233 & 10 & 5 \\ 10 & 0.233 & 4 \\ 5 & 4 & -0.467 \end{bmatrix}$$

Anlage 3

Seite 4

Datei: Dämpfanalysepkt9neu

$$\cos(x1, y2) := \frac{x1 \cdot y2}{|x1| \cdot |y2|} \quad r := \cos(x1, y2) \quad r = 0$$

$$\alpha0 := \arccos(r) \quad \alpha0 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha0 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x1, z3) := \frac{x1 \cdot z3}{|x1| \cdot |z3|} \quad r1 := \cos(x1, z3) \quad r1 = 0$$

$$\alpha1 := \arccos(r1) \quad \alpha1 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha1 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y2, z3) := \frac{y2 \cdot z3}{|y2| \cdot |z3|} \quad r2 := \cos(y2, z3) \quad r2 = 0$$

$$\alpha2 := \arccos(r2) \quad \alpha2 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha2 = 90 \quad \text{grad}$$

$$|x1| = 1 \quad |y2| = 1 \quad |z3| = 1$$

Anlage 3

Datei: Dämpfanalysepkt9neu

Seite5

$$D + S \cdot E = \begin{bmatrix} 229 & 10 & 5 \\ 10 & 229 & 4 \\ 5 & 4 & 228.3 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.233 & 10 & 5 \\ 10 & 0.233 & 4 \\ 5 & 4 & -0.467 \end{bmatrix}$$

$$S \cdot E = \begin{bmatrix} 228.767 & 0 & 0 \\ 0 & 228.767 & 0 \\ 0 & 0 & 228.767 \end{bmatrix}$$

D=Deviator

S =Kugeltensor

$$b4 := D + S \cdot E \quad b4 = \begin{bmatrix} 229 & 10 & 5 \\ 10 & 229 & 4 \\ 5 & 4 & 228.3 \end{bmatrix}$$

$$|D| = 437.075$$

$$b_1 := \begin{bmatrix} 11940461.3 \\ -156861.4 \\ 686.3 \\ -1 \end{bmatrix} \quad N := \text{nullstellen}(b_1)$$

$$N = \begin{bmatrix} 218.932 \\ 225.4 \\ 241.968 \end{bmatrix} \quad \lambda = \begin{bmatrix} 241.968 \\ 218.932 \\ 225.4 \end{bmatrix}$$

$$b2 := \begin{bmatrix} 229 - \lambda_1 & 10 & 5 \\ 10 & 229 - \lambda_1 & 4 \\ 5 & 4 & 228.3 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$b2 := 11940461.3 - 156861.4 \cdot \lambda_1 + 686.3 \cdot (\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3$$

Anlage 3

Seite6

Datei: Dämpfanalysepkt9neu

$$D1 := \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$b5 := D1 + S \cdot E$$

$$|D1| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$b5 = \begin{bmatrix} 228.767 & 15 & 10 \\ 15 & 228.767 & 8 \\ 10 & 8 & 228.767 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 229 & 10 & 5 \\ 10 & 229 & 4 \\ 5 & 4 & 228.3 \end{bmatrix}$$

$$\Omega \cdot \Phi^T \cdot M \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 241.874 & 0.272 & -0.777 \\ 0.246 & 219.022 & 0.221 \\ -0.723 & 0.227 & 225.362 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^T \cdot b \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 218.932 & 1.665 \cdot 10^{-14} & -5.385 \cdot 10^{-14} \\ 1.554 \cdot 10^{-14} & 225.4 & -3.506 \cdot 10^{-14} \\ -3.848 \cdot 10^{-14} & -3.06 \cdot 10^{-14} & 241.968 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>T} \cdot M \cdot \Phi^{<1>} = 586.898$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 241.968 \\ 218.932 \\ 225.4 \end{bmatrix}$$

$$b \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} 158.725 \\ -149.327 \\ -20.956 \end{bmatrix} \quad b \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 157.277 \\ 152.824 \\ 102.26 \end{bmatrix}$$

$$b \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -51.346 \\ -83.086 \\ 203.139 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{1_1} \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} 90.871 \\ -85.49 \\ -11.998 \end{bmatrix} \quad \lambda_{1_3} \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 100.969 \\ 98.111 \\ 65.65 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_{1_2} \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -28.552 \\ -46.202 \\ 112.961 \end{bmatrix}$$

Anlage 4

Seite 1

Datei: Dämpfanalysepkt4

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

$E := \text{einheit}(3) \quad i := 1..3 \quad j := 1..3 \quad \text{ORIGIN} := 1$
 $g := 9.81$

$$b := \begin{bmatrix} 135.8 & 15 & 5 \\ 15 & 135 & 4 \\ 5 & 4 & 135 \end{bmatrix}$$

$$|b| = 2.44 \cdot 10^6$$

$$M := \begin{bmatrix} 393.66 & 0 & 0 \\ 0 & 393.66 & 0 \\ 0 & 0 & 393.66 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 5.985 \cdot 10^8 \quad N$$

$\lambda := \text{eigenwerte}(b) \quad \Phi := \text{eigenvektoren}(b) \quad |M| = 6.1 \cdot 10^7$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 152.701 \\ 120.366 \\ 132.733 \end{bmatrix} \quad \Phi = \begin{bmatrix} -0.704 & -0.21 & 0.679 \\ 0.709 & -0.27 & 0.652 \\ 0.047 & 0.94 & 0.339 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \begin{bmatrix} 0.0504 \\ 0.0504 \\ 0.0504 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag}(x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda1 := \begin{bmatrix} 125.34 \\ 125.34 \\ 155.34 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag}(\lambda) \quad \Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 152.695 & 0 & 1.708 \cdot 10^{-15} \\ 1.254 \cdot 10^{-15} & 120.361 & -1.065 \cdot 10^{-14} \\ 0 & -6.665 \cdot 10^{-15} & 132.728 \end{bmatrix}$$

$$\omega_j := \sqrt{\lambda_j}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 152.701 & 0 & 0 \\ 0 & 120.366 & 0 \\ 0 & 0 & 132.733 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 12.357 \\ 10.971 \\ 11.521 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} -0.035 & -0.011 & 0.034 \\ 0.036 & -0.014 & 0.033 \\ 2.358 \cdot 10^{-3} & 0.047 & 0.017 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>} \cdot \Phi^{<3>} = 0$$

Orthogonalitätsnachweis

Anlage 4

Seite 2

Datei: Dämpfanalysepkt4

$$b1 := \begin{bmatrix} 135.8 - \lambda 1_1 & 10 & 5 \\ 10 & 135 - \lambda 1_1 & 4 \\ 5 & 4 & 135 - \lambda 1_1 \end{bmatrix}$$

$$|b1| = 1.221$$

$$b1 = \begin{bmatrix} 10.46 & 10 & 5 \\ 10 & 9.66 & 4 \\ 5 & 4 & 9.66 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} -0.704 & -0.21 & 0.679 \\ 0.709 & -0.27 & 0.652 \\ 0.047 & 0.94 & 0.339 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi_{1,1}$$

$$y := \Phi_{2,1}$$

$$z := \Phi_{3,1}$$

$$x = -0.704$$

$$y = 0.709$$

$$z = 0.047$$

Vorgabe

$$b1_{1,1} \cdot x + b1_{1,2} \cdot y + b1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$b1_{2,1} \cdot x + b1_{2,2} \cdot y + b1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$b1_{3,1} \cdot x + b1_{3,2} \cdot y + b1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = 0$$

$$y = 0$$

$$z = 0$$

$$V\lambda := \lambda 1_1 \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V\lambda 1 := b \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \Phi^{<1>}$$

$$y2 := \Phi^{<2>}$$

$$z3 := \Phi^{<3>}$$

$$x1 = \begin{bmatrix} -0.704 \\ 0.709 \\ 0.047 \end{bmatrix}$$

$$y2 = \begin{bmatrix} -0.21 \\ -0.27 \\ 0.94 \end{bmatrix}$$

$$z3 = \begin{bmatrix} 0.679 \\ 0.652 \\ 0.339 \end{bmatrix}$$

Anlage 4

Seite 3

Datei: Dämpfanalysepkt4

$$b_2 := 2437627.2 - 54610.0 \cdot \lambda_1 + 405.8 \cdot (\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3 \quad b_1 := \begin{bmatrix} 2437627.2 \\ -54610.0 \\ 405.8 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$l_1 := b_1 \quad l_1 = 405.8 \quad S := \frac{1}{3} \cdot l_1 \quad S = 135.267$$

$$D := b - S \cdot E \quad D = \begin{bmatrix} 0.533 & 15 & 5 \\ 15 & -0.267 & 4 \\ 5 & 4 & -0.267 \end{bmatrix}$$

Anlage 4

Datei: Dämpfanalysepkt4

Seite4

$$\cos(x1, y2) := \frac{x1 \cdot y2}{|x1| \cdot |y2|} \quad r := \cos(x1, y2) \quad r = 0$$

$$\alpha0 := \arccos(r) \quad \alpha0 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha0 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x1, z3) := \frac{x1 \cdot z3}{|x1| \cdot |z3|} \quad r1 := \cos(x1, z3) \quad r1 = 0$$

$$\alpha1 := \arccos(r1) \quad \alpha1 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha1 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y2, z3) := \frac{y2 \cdot z3}{|y2| \cdot |z3|} \quad r2 := \cos(y2, z3) \quad r2 = 0$$

$$\alpha2 := \arccos(r2) \quad \alpha2 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha2 = 90 \quad \text{grad}$$

$$|x1| = 1 \quad |y2| = 1 \quad |z3| = 1$$

Anlage 4

Datei: Dämpfanalysepkt4

Seite5

$$D + S \cdot E = \begin{bmatrix} 135.8 & 15 & 5 \\ 15 & 135 & 4 \\ 5 & 4 & 135 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.533 & 15 & 5 \\ 15 & -0.267 & 4 \\ 5 & 4 & -0.267 \end{bmatrix}$$

D=Deviator

$$b4 := D + S \cdot E \quad b4 = \begin{bmatrix} 135.8 & 15 & 5 \\ 15 & 135 & 4 \\ 5 & 4 & 135 \end{bmatrix}$$

$$b_1 := \begin{bmatrix} 2437627.2 \\ -54610.0 \\ 405.8 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$N := \text{nullstellen}(b_1)$$

$$b2 := \begin{bmatrix} 135.8 - \lambda_1 & 15 & 5 \\ 15 & 135 - \lambda_1 & 4 \\ 5 & 4 & 135 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$S \cdot E = \begin{bmatrix} 135.267 & 0 & 0 \\ 0 & 135.267 & 0 \\ 0 & 0 & 135.267 \end{bmatrix}$$

S =Kugeltensor

$$|D| = 658.171$$

$$N = \begin{bmatrix} 119.875 \\ 132.787 \\ 153.138 \end{bmatrix} \quad \lambda = \begin{bmatrix} 152.701 \\ 120.366 \\ 132.733 \end{bmatrix}$$

$$b2 := 2437627.2 - 54610.0 \cdot \lambda_1 + 405.8 \cdot (\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3$$

Anlage 4

Seite6

Datei: Dämpfanalysepkt4

$$D1 := \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$b5 := D1 + S \cdot E$$

$$|D1| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$b5 = \begin{bmatrix} 135.267 & 15 & 10 \\ 15 & 135.267 & 8 \\ 10 & 8 & 135.267 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 135.8 & 15 & 5 \\ 15 & 135 & 4 \\ 5 & 4 & 135 \end{bmatrix}$$

$$\Omega \cdot \Phi^T \cdot M \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 152.695 & 0 & 1.708 \cdot 10^{-15} \\ 1.254 \cdot 10^{-15} & 120.361 & -1.065 \cdot 10^{-14} \\ 0 & -6.665 \cdot 10^{-15} & 132.728 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^T \cdot b \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 120.366 & -9.735 \cdot 10^{-15} & 3.03 \cdot 10^{-14} \\ -1.297 \cdot 10^{-14} & 132.733 & -4.756 \cdot 10^{-14} \\ 2.949 \cdot 10^{-14} & -4.366 \cdot 10^{-14} & 152.701 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>T} \cdot M \cdot \Phi^{<1>} = 393.66$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 152.701 \\ 120.366 \\ 132.733 \end{bmatrix}$$

$$b \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} -84.729 \\ 85.306 \\ 5.632 \end{bmatrix} \quad b \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 103.623 \\ 99.505 \\ 51.755 \end{bmatrix}$$

$$b \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -27.837 \\ -35.883 \\ 124.722 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} -88.231 \\ 88.832 \\ 5.865 \end{bmatrix} \quad \lambda_3 \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 105.414 \\ 101.225 \\ 52.65 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_2 \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -26.286 \\ -33.884 \\ 117.775 \end{bmatrix}$$

Anlage 5

Seite 1

Datei: Däanalypt8

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

$E := \text{einheit}(3)$ $i := 1..3$ $j := 1..3$

ORIGIN := 1

$g := 9.81$

$$b := \begin{bmatrix} 158.65 & 15 & 5 \\ 15 & 158.6 & 4 \\ 5 & 4 & 158.6 \end{bmatrix}$$

$$|b| = 3.949 \cdot 10^6$$

$$M := \begin{bmatrix} 536 & 0 & 0 \\ 0 & 536 & 0 \\ 0 & 0 & 536 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 1.511 \cdot 10^9 \quad N$$

$$\lambda := \text{eigenwerte}(b) \quad \Phi := \text{eigenvektoren}(b) \quad |M| = 1.54 \cdot 10^8$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 175.96 \\ 143.589 \\ 156.301 \end{bmatrix} \quad \Phi = \begin{bmatrix} 0.713 & -0.207 & 0.67 \\ -0.699 & -0.28 & 0.658 \\ -0.051 & 0.937 & 0.344 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \begin{bmatrix} 0.0432 \\ 0.0432 \\ 0.0432 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag}(x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda1 := \begin{bmatrix} 125.34 \\ 125.34 \\ 155.34 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag}(\lambda) \quad \Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 176.014 & -1.311 \cdot 10^{-14} & 2.039 \cdot 10^{-14} \\ -9.888 \cdot 10^{-15} & 143.633 & 1.046 \cdot 10^{-14} \\ 1.333 \cdot 10^{-14} & 2.334 \cdot 10^{-14} & 156.348 \end{bmatrix}$$

$$\omega_j := \sqrt{\lambda_j}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 175.96 & 0 & 0 \\ 0 & 143.589 & 0 \\ 0 & 0 & 156.301 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 13.265 \\ 11.983 \\ 12.502 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} 0.031 & -8.944 \cdot 10^{-3} & 0.029 \\ -0.03 & -0.012 & 0.028 \\ -2.216 \cdot 10^{-3} & 0.04 & 0.015 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>} \cdot \Phi^{<3>} = 0$$

Orthogonalitätsnachweis

Anlage 5

Seite 2

Datei: Däanalypkt8

$$b1 := \begin{bmatrix} 158.65 - \lambda 1_1 & 15 & 5 \\ 15 & 158.6 - \lambda 1_1 & 4 \\ 5 & 4 & 158.6 - \lambda 1_1 \end{bmatrix}$$

$$|b1| = 2.86 \cdot 10^4$$

$$b1 = \begin{bmatrix} 33.31 & 15 & 5 \\ 15 & 33.26 & 4 \\ 5 & 4 & 33.26 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.713 & -0.207 & 0.67 \\ -0.699 & -0.28 & 0.658 \\ -0.051 & 0.937 & 0.344 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi_{1,1}$$

$$y := \Phi_{2,1}$$

$$z := \Phi_{3,1}$$

$$x = 0.713$$

$$y = -0.699$$

$$z = -0.051$$

Vorgabe

$$b1_{1,1} \cdot x + b1_{1,2} \cdot y + b1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$b1_{2,1} \cdot x + b1_{2,2} \cdot y + b1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$b1_{3,1} \cdot x + b1_{3,2} \cdot y + b1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = 0$$

$$y = 0$$

$$z = 0$$

$$V\lambda := \lambda 1_1 \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$V\lambda 1 := b \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda 1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \Phi^{<1>}$$

$$y2 := \Phi^{<2>}$$

$$z3 := \Phi^{<3>}$$

$$x1 = \begin{bmatrix} 0.713 \\ -0.699 \\ -0.051 \end{bmatrix}$$

$$y2 = \begin{bmatrix} -0.207 \\ -0.28 \\ 0.937 \end{bmatrix}$$

$$z3 = \begin{bmatrix} 0.67 \\ 0.658 \\ 0.344 \end{bmatrix}$$

Anlage 5

Seite 3

Datei: Däanalypkt8

$$b_2 := 3949087.354 - 75211.74\lambda_1 + 475.85(\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3 \quad b_1 := \begin{bmatrix} 3949087.354 \\ -75211.74 \\ 475.85 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$I_1 := b_1 \quad I_1 = 475.85 \quad S := \frac{1}{3} \cdot I_1 \quad S = 158.617$$

$$D := b - S \cdot E \quad D = \begin{bmatrix} 0.033 & 15 & 5 \\ 15 & -0.017 & 4 \\ 5 & 4 & -0.017 \end{bmatrix}$$

Anlage 5

Datei: Däanalypkt8

Seite4

$$\cos(x1, y2) := \frac{x1 \cdot y2}{|x1| \cdot |y2|} \quad r := \cos(x1, y2) \quad r = 0$$

$$\alpha0 := \arccos(r) \quad \alpha0 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha0 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x1, z3) := \frac{x1 \cdot z3}{|x1| \cdot |z3|} \quad r1 := \cos(x1, z3) \quad r1 = 0$$

$$\alpha1 := \arccos(r1) \quad \alpha1 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha1 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y2, z3) := \frac{y2 \cdot z3}{|y2| \cdot |z3|} \quad r2 := \cos(y2, z3) \quad r2 = 0$$

$$\alpha2 := \arccos(r2) \quad \alpha2 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha2 = 90 \quad \text{grad}$$

$$|x1| = 1 \quad |y2| = 1 \quad |z3| = 1$$

Anlage 5

Datei: Däanalypkt8

Seite5

$$D + S \cdot E = \begin{bmatrix} 158.65 & 15 & 5 \\ 15 & 158.6 & 4 \\ 5 & 4 & 158.6 \end{bmatrix}$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0.033 & 15 & 5 \\ 15 & -0.017 & 4 \\ 5 & 4 & -0.017 \end{bmatrix}$$

$$S \cdot E = \begin{bmatrix} 158.617 & 0 & 0 \\ 0 & 158.617 & 0 \\ 0 & 0 & 158.617 \end{bmatrix}$$

D=Deviator

S =Kugeltensor

$$b4 := D + S \cdot E \quad b4 = \begin{bmatrix} 158.65 & 15 & 5 \\ 15 & 158.6 & 4 \\ 5 & 4 & 158.6 \end{bmatrix}$$

$$|D| = 603.633$$

$$b_1 := \begin{bmatrix} 3949087.354 \\ -75211.74 \\ 475.85 \\ -1 \end{bmatrix} \quad N := \text{nullstellen}(b_1)$$

$$N = \begin{bmatrix} 143.589 \\ 156.301 \\ 175.96 \end{bmatrix} \quad \lambda = \begin{bmatrix} 175.96 \\ 143.589 \\ 156.301 \end{bmatrix}$$

$$b2 := \begin{bmatrix} 158.65 - \lambda_1 & 15 & 5 \\ 15 & 158.6 - \lambda_1 & 4 \\ 5 & 4 & 158.6 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$b2 := 3949087.354 - 75211.74\lambda_1 + 475.85(\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3$$

Anlage 5

Seite6

Datei: Däanalypkt8

$$D1 := \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$b5 := D1 + S \cdot E$$

$$|D1| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$b5 = \begin{bmatrix} 158.617 & 15 & 10 \\ 15 & 158.617 & 8 \\ 10 & 8 & 158.617 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 158.65 & 15 & 5 \\ 15 & 158.6 & 4 \\ 5 & 4 & 158.6 \end{bmatrix}$$

$$\Omega \cdot \Phi^T \cdot M \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 176.014 & -1.311 \cdot 10^{-14} & 2.039 \cdot 10^{-14} \\ -9.888 \cdot 10^{-15} & 143.633 & 1.046 \cdot 10^{-14} \\ 1.333 \cdot 10^{-14} & 2.334 \cdot 10^{-14} & 156.348 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^T \cdot b \cdot \Phi = \begin{bmatrix} 143.589 & -1.087 \cdot 10^{-15} & -1.402 \cdot 10^{-14} \\ -2.498 \cdot 10^{-15} & 156.301 & -5.24 \cdot 10^{-14} \\ -1.331 \cdot 10^{-14} & -4.755 \cdot 10^{-14} & 175.96 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>T} \cdot M \cdot \Phi^{<1>} = 536$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 175.96 \\ 143.589 \\ 156.301 \end{bmatrix}$$

$$b \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} 102.413 \\ -100.375 \\ -7.366 \end{bmatrix} \quad b \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 117.831 \\ 115.776 \\ 60.613 \end{bmatrix}$$

$$b \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -32.361 \\ -43.77 \\ 146.516 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 \cdot \Phi^{<1>} = \begin{bmatrix} 89.397 \\ -87.618 \\ -6.43 \end{bmatrix} \quad \lambda_3 \cdot \Phi^{<3>} = \begin{bmatrix} 104.023 \\ 102.208 \\ 53.51 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_2 \cdot \Phi^{<2>} = \begin{bmatrix} -25.951 \\ -35.1 \\ 117.493 \end{bmatrix}$$

Anlage 6

Seite 1

Datei: Polynome

Anlage 6

 $i := 0..3$ $j := 0..3$

$$K := \begin{bmatrix} 9079.11 \cdot 10^6 & 5000 \cdot 10^6 & 2000 \cdot 10^6 & 0 \\ 5000 \cdot 10^6 & 6101.57 \cdot 10^6 & 0 & 0 \\ 2000 \cdot 10^6 & 0 & 1414.25 \cdot 10^6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 60.97 \cdot 10^6 \end{bmatrix}$$

$$M := \begin{bmatrix} 168 \cdot 10^3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 212 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 212 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 212 \cdot 10^3 \end{bmatrix}$$

 $\lambda := \text{genwerte}(K, M)$ $\Phi := \text{genvektoren}(K, M)$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 72001.943 \\ 15251.197 \\ 2241.163 \\ 287.594 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.871 & 0.437 & 0.398 & 0 \\ 0.475 & -0.761 & -0.353 & 0 \\ 0.126 & 0.48 & -0.847 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\omega_i := \sqrt{\lambda_i}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 268.332 \\ 123.496 \\ 47.341 \\ 16.959 \end{bmatrix}$$

$$f_i := \frac{\sqrt{\lambda_i}}{2 \cdot \pi}$$

$$f = \begin{bmatrix} 42.706 \\ 19.655 \\ 7.535 \\ 2.699 \end{bmatrix}$$

 $\Phi 1 := \Phi \cdot \text{diag}(x1)$

$$x1 := \begin{bmatrix} 0.002366 \\ 0.002216 \\ 0.002208 \\ 0.002172 \end{bmatrix}$$

$$\Phi 1 = \begin{bmatrix} 0.002 & 0.001 & 0.001 & 0 \\ 0.001 & -0.002 & -0.001 & 0 \\ 0 & 0.001 & -0.002 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.002 \end{bmatrix}$$

$$\Phi 1^T \cdot M \cdot \Phi 1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

 $h := 0$

Anlage 6

Seite 2

zu Anlage 6 Polynome

$$\Phi_1^T \cdot K \cdot \Phi_1 = \begin{bmatrix} 72000.001 & -2.191 \cdot 10^{-12} & -2.078 \cdot 10^{-12} & 0 \\ 5.642 \cdot 10^{-13} & 15249.431 & 2.345 \cdot 10^{-13} & 0 \\ 7.78 \cdot 10^{-14} & 4.591 \cdot 10^{-14} & 2240.359 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 287.631 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag}(\lambda)$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 72001.943 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 15251.197 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2241.163 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 287.594 \end{bmatrix}$$

$$\gamma_1 := \Phi_1^{<0>T} \cdot K \cdot \Phi_1^{<0>}$$

$$\gamma_1 = 72000.001$$

$$\gamma_2 := \Phi_1^{<1>T} \cdot K \cdot \Phi_1^{<1>}$$

$$\gamma_2 = 15249.431$$

$$\gamma_4 := \Phi_1^{<3>T} \cdot K \cdot \Phi_1^{<3>}$$

$$\gamma_3 := \Phi_1^{<2>T} \cdot K \cdot \Phi_1^{<2>}$$

$$\gamma_3 = 2240.359$$

$$\Omega \cdot \Phi_1^T \cdot M \cdot \Phi_1 = \begin{bmatrix} 72000.001 & 1.708 \cdot 10^{-12} & -3.666 \cdot 10^{-12} & 0 \\ 1.854 \cdot 10^{-13} & 15249.431 & 1.446 \cdot 10^{-12} & 0 \\ -1.772 \cdot 10^{-13} & 1.209 \cdot 10^{-13} & 2240.359 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 287.631 \end{bmatrix}$$

$$\gamma_{1_0} = 72000.001$$

$$\gamma_{2_0} = 15249.431$$

$$\gamma_{3_0} = 2240.359$$

$$\gamma_{4_0} = 287.631$$

Anlage 6

Seite 3 Datei: Polyzu Anlage 6

$$K = \begin{bmatrix} 9.079 \cdot 10^9 & 5 \cdot 10^9 & 2 \cdot 10^9 & 0 \\ 5 \cdot 10^9 & 6.102 \cdot 10^9 & 0 & 0 \\ 2 \cdot 10^9 & 0 & 1.414 \cdot 10^9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.097 \cdot 10^7 \end{bmatrix} \quad \text{rg}(K) = 4$$

$$\begin{bmatrix} 9.07911 \cdot 10^9 - 1.786 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 & 5 \cdot 10^9 & 2 \cdot 10^9 & 0 \\ 5 \cdot 10^9 & 6.10157 \cdot 10^9 - 2.036 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 & 0 & 0 \\ 2 \cdot 10^9 & 0 & 1.41425 \cdot 10^9 - 2.05 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6.097 \cdot 10^7 - 212 \cdot 10^3 \cdot \lambda_0 \end{bmatrix}$$

$$\omega 1_i := \sqrt{\text{nullstellen}(K1)_i} \quad K1 := \begin{bmatrix} 1.132970759716739410^{36} \\ -4.5231022793865519510^{33} \\ 2.069201609949116910^{30} \\ -1.39053097437836010^{26} \\ 1.580334241610^{21} \end{bmatrix} \quad \text{nullstellen}(K1) = \begin{bmatrix} 287.594 \\ 2290.092 \\ 15589.918 \\ 69822.072 \end{bmatrix}$$

$$\omega 1_i$$

16.959
47.855
124.86
264.239

$$\begin{bmatrix} 9.07911 \cdot 10^9 - 1.786 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 & 5 \cdot 10^9 & 2 \cdot 10^9 \\ 5 \cdot 10^9 & 6.102 \cdot 10^9 - 2.036 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 & 0 \\ 2 \cdot 10^9 & 0 & 1.41425 \cdot 10^9 - 2.05 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 \end{bmatrix}$$

Anlage 6

Seite 4

Datei: polynozu Anlage6

a := 0..20

$$\lambda_1 := -100700, -100000 \dots 70000$$

$$h := 0$$

$$\lambda := 0, 5000 \dots 80000$$

$$K2 := \begin{bmatrix} 1.8586231299385 \cdot 10^{28} \\ -9.573274201443 \cdot 10^{24} \\ 6.5378273536 \cdot 10^{20} \\ 7454406680000000.0 \end{bmatrix}$$

$$\text{nullstellen}(K2) = \begin{bmatrix} -1.007 \cdot 10^5 \\ 2318.168 \\ 10680.497 \end{bmatrix}$$

$$P2(\lambda_1) := 1.8586231299385 \cdot 10^{28} - 9.573274201443 \cdot 10^{24} \cdot \lambda_1 + 6.5378273536 \cdot 10^{20} \cdot \lambda_1^2 + 7454406680000000.0 \cdot \lambda_1^3$$

$$\left| \begin{bmatrix} 9.07911 \cdot 10^9 - 1.786 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 & 5 \cdot 10^9 \\ 5 \cdot 10^9 & 6.102 \cdot 10^9 - 2.036 \cdot 10^5 \cdot \lambda_0 \end{bmatrix} \right|$$

$$30400729220000000000.0 - 2938323996000000.0 \cdot \lambda_0 + 36362960000.0 \cdot (\lambda_0)^2 \quad i := 0 \dots 1$$

$$K3 := \begin{bmatrix} 30400729220000000000 \\ -2938323996000000 \\ 36362960000 \end{bmatrix}$$

$$\text{nullstellen}(K3) = \begin{bmatrix} 12183.155 \\ 68622.258 \end{bmatrix}$$

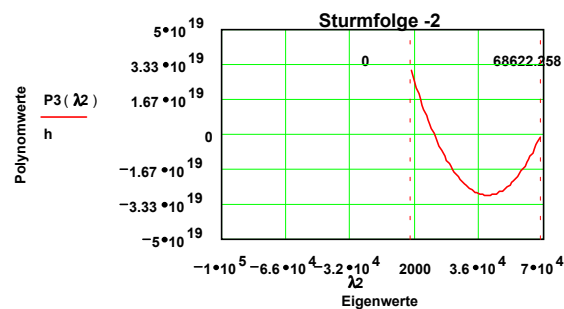
$$\lambda_2 := 0, 1000 \dots 68622.258$$

$$\omega_{3_i} := \sqrt{\text{nullstellen}(K3)_i}$$

$$P3(\lambda_2) := 30400729220000000000 - 2938323996000000 \cdot \lambda_2 + 36362960000 \cdot \lambda_2^2$$

$$\omega_{3_i}$$

110.377
261.959



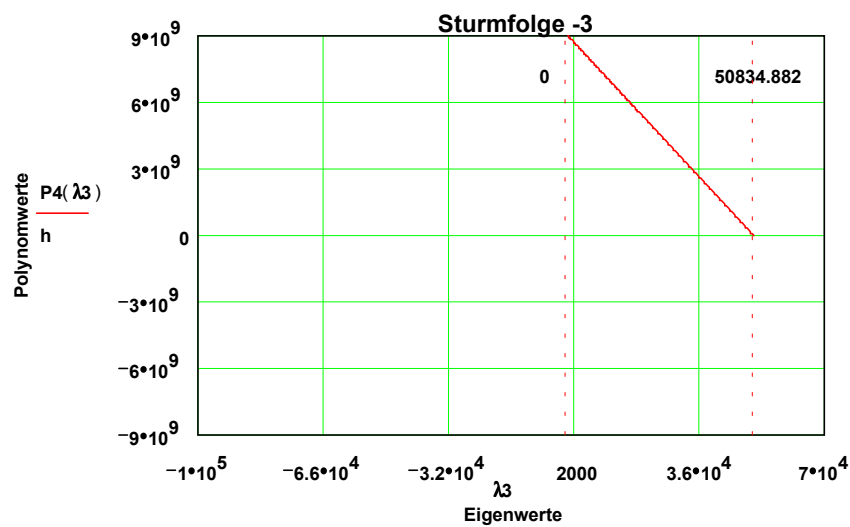
Anlage 6

Seite 5 zu Anlage 6

$$\begin{vmatrix} 9.0791110^9 - 1.78610^5 \cdot \lambda_0 \\ 9079110000.0 - 178600.0 \lambda_0 \end{vmatrix} \quad K4 := \begin{bmatrix} 9079110000 \\ -178600 \end{bmatrix} \quad \text{nullstellen}(K4) = 50834.882$$

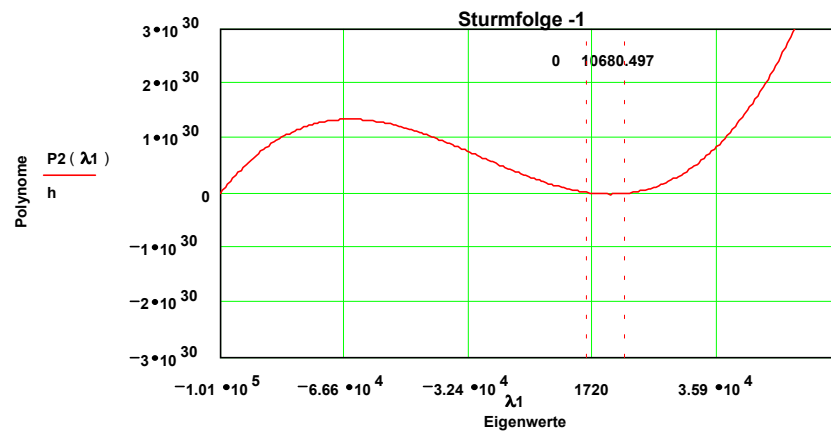
$$P4(\lambda_3) := 9079110000 - 178600 \lambda_3$$

$$\lambda_3 := 0, 200, 50834.882$$



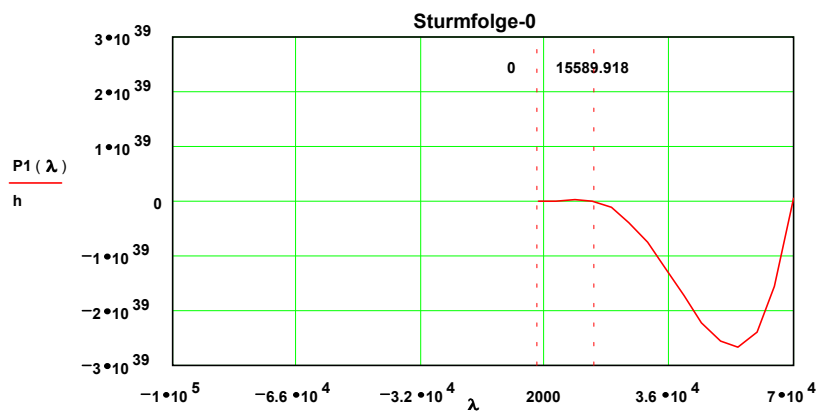
Anlage 6

Seite 6 zu Anlage6



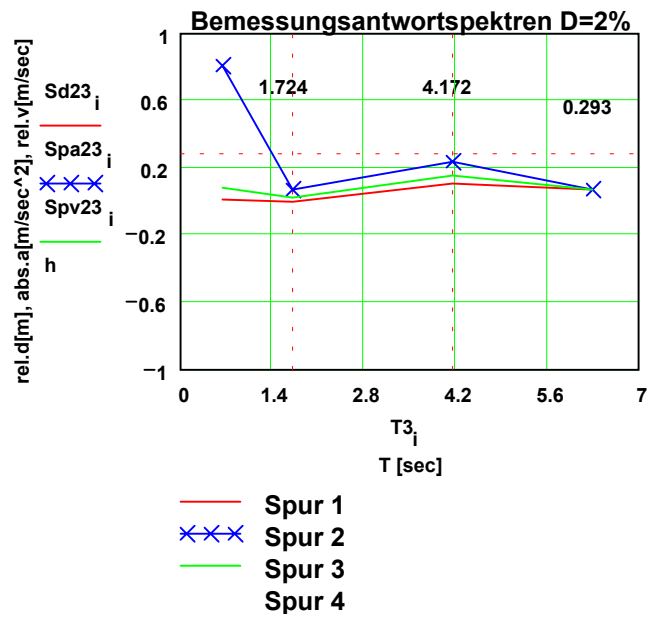
$$P1(\lambda) := 1.133 \cdot 10^{36} - 4.523 \cdot 10^{33} \cdot \lambda + 2.069 \cdot 10^{30} \cdot (\lambda)^2 - 1.391 \cdot 10^{26} \cdot (\lambda)^3 + 1.58 \cdot 10^{21} \cdot (\lambda)^4$$

$$\lambda := 0, 5000 \dots 7 \cdot 10^4 \quad h := 0$$



3. Untersuchung

Eigenwert-Perioden-Diagramm



Teil B Beweisdarstellung für die Aussagen in Teil A

1 Bauregelklassen als Bestandteil einer epizentralen Distanzordnung

Die im ersten Teil A aufgeführten drei Beiträge zum UN-Forschungsvorhaben der Universität Karlsruhe stellen die Grundlage für eine deterministisch begründete auf eine epizentrale Distanzordnung bezogene Bemessungsstrategie dar. Mit den Bauwerken der Diagrammpunkte 2 und 5 sind zwei der 24 durchgeführten Antwortberechnungen im ersten Beitrag vorgelegt worden.

Das Newmarksche Diagramm bildet die während des Erdbebens entstehenden Bewegungsgrößen, Verschiebung, Geschwindigkeit und Beschleunigung, über dem Eigenschwingungsvermögen adäquat ab (Anlage 20). Damit ist jedes Bauwerk hinsichtlich seiner Eingangs- und Ausgangsbelastung durch einen ganz bestimmten Schnittpunkt im Diagramm gekennzeichnet.

Für das symbolisierte Bauwerk 2 des einläufigen Tragrahmens gelten die Werte in der Tabelle 1 der Anlage 21, wobei sich die Eingangsverschiebung nach dem Abklingen mit der Ausgangsgeschwindigkeit identifiziert hat. Dieser Tatbestand der Identifikation ist Indiz für die Konsistenz der im Programmablauf zu erwartenden Lösung.

2 Hauptbedingungen der Prüfungsordnung

Aus Abschn. 3.1 Teil A Kapitel I (S. 7) geht hervor, dass die Eigenformen und das Eigenschwingungsvermögen zur Aufstellung von Bauregelklassen als Bestandteile einer Prüfungsordnung herangezogen werden können. Sie stellen unterhalb ihrer horizontalen Schnittpunktlinie im Diagramm einen Ort der Verträglichkeit für diejenigen Bauwerke dar, die in dieser Zone durch die Erregungsgrößen des Erdbebens betroffen sind; denn die als Antwort gespeicherten Größen sind unter dieser Zonenbelastung je nach Festigkeitsstruktur zum Überleben des Baukörpers ausreichend oder nicht. Dieser unbekannte Zustand kann für Bauten dieser Zone nur durch eine auf sie zugeschnittene Prüfungsordnung behoben werden. Damit ist die Regelklasse als eine in epizentraler Distanzordnung eingebundene Prüfungsordnung anzusehen.

3 Das ebene plastische Fließen als Beweis für Argumente in Abschnitt 1 und 2

Diese Einsicht wird nachhaltig dadurch unterstützt, dass mit den Mitteln der Darstellungstheorie die durch das Erbeben bezogene Schubkraft eine in der Antwortberechnung ausgewiesene Dämpfungskraft freisetzt, die als zweite Invariante des adäquaten Tensorkraftfeldes das plastische Potenzial zum verträglichen Ausgleich der Dämpfungsstruktur ausmacht. Dieses plastische Potenzial muss in der Zone den Zustand zwischen Beanspruchung und Widerstand ausgleichen. Der für die Zone durch das plastische Fließen und

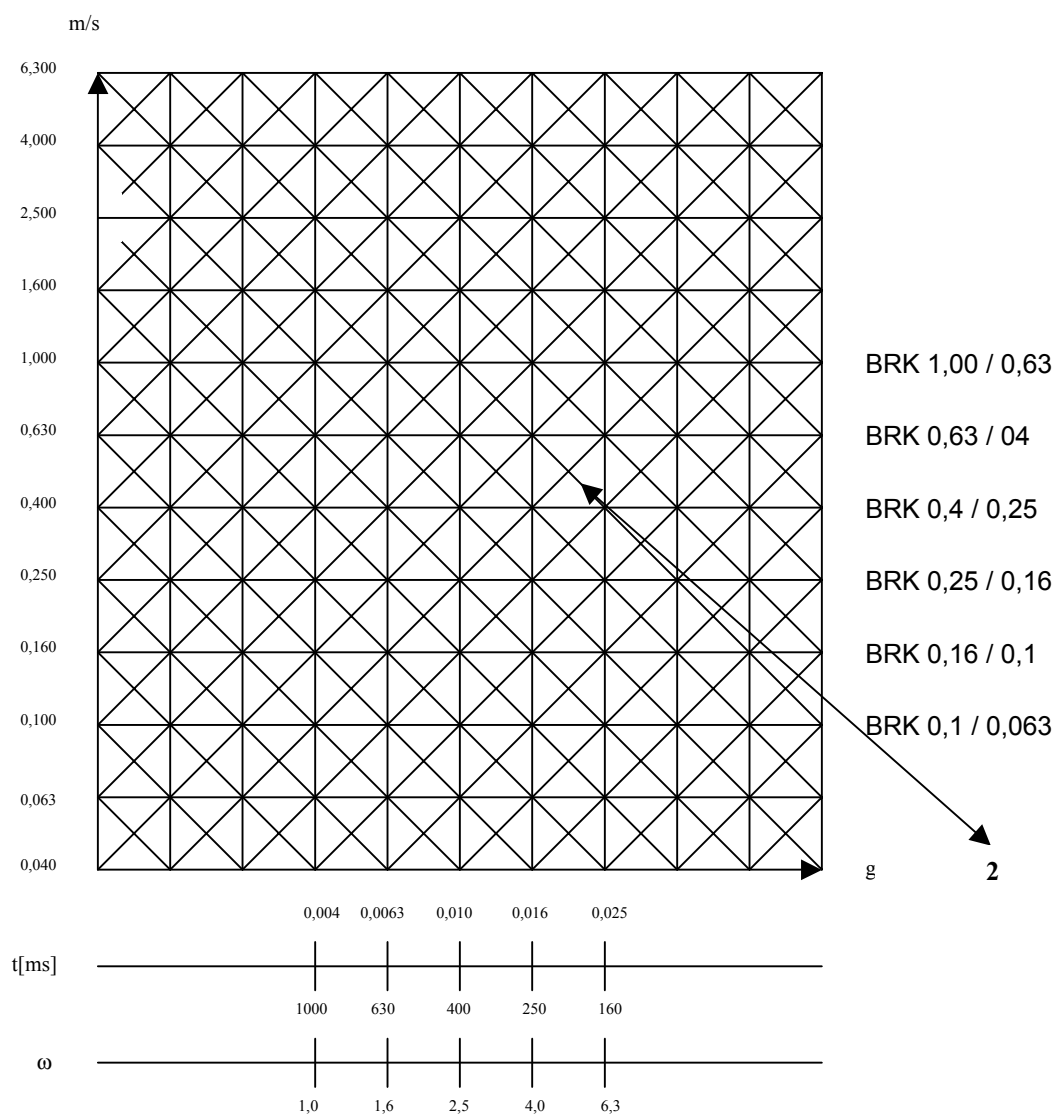
bedingte fundamentale Variationsprozess wurde mit der Anlage isotropisch (S. 78-83¹¹) anisotropisch (S. 84-89¹²) quantitativ nachgewiesen. Der Nachweis stellt das Gesetz für die o.a. Prüfungsordnung dar.

¹¹ Anlage 22

¹² Anlage 23

Lfd. Nr. 20

Bauregelklassen



Lfd.Nr. 22

Seite 1

Datei: isotroppkt2

**Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Lösung linearer Gleichungssysteme.**

hier: Zerlegung von Tensor und Deviator, Adjunganz von T, symmetrische und antisymmetrische Anteile von T und D.

**A) Aufgabe: Ermittlung der plastischen Eigenschaften des Bauwerks gemäß Punkt 2
der Zoneneintragung im Newmarkschen Spektrum.**

B) Zur Aufgabe gehört sinngemäß die Übung: 6.1.4 S. 127 tens

**Text: Gegeben sei der nicht schubfreie Spannungstensor $\sigma_{i,j}$ mit der Schubkraft
aus dem Erdbeben an der Tragwand als Determinante in der Größe
von $5,1 \cdot 10^4$ [N].**

**Unter Berücksichtigung der Fließbedingung $J_2' = k^2$
ermittle man das Feld der Eigenrichtungen des Tensors und seines
Deviators.**

ORIGIN := 1

Seite 2

Datei: isotroppkt2

 $E := \text{einheit}(3)$ $i := 1..3$ $j := 1..3$ $a := 39.989$ $d := 18$ $e := 0$ $f := 18$ $b := 39.994$ $g := 0$ $h := 0$ $i := 0$ $c := 0$

$$A := \begin{bmatrix} a & d & e \\ f & b & g \\ h & i & \frac{a+b}{2} \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 39.989 & 18 & 0 \\ 18 & 39.994 & 0 \\ 0 & 0 & 39.992 \end{bmatrix}$$

 $\text{sp}(A) = 119.975$ $|A| = 5.1 \cdot 10^4$ $\lambda A := \text{eigenwerte}(A)$

$$\lambda A = \begin{bmatrix} 21.991 \\ 57.992 \\ 39.992 \end{bmatrix}$$

Vektorkoordinaten

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

$$\Phi A = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.707 & 0 \\ -0.707 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Richtungskoordinaten

 $|\Phi A| = 1$

$$M1 := \begin{bmatrix} a - \lambda A_1 & 18 & 0 \\ 18 & b - \lambda A_1 & 0 \\ 0 & 0 & c - \lambda A_1 \end{bmatrix}$$

$$M1 = \begin{bmatrix} 17.998 & 18 & 0 \\ 18 & 18.003 & 0 \\ 0 & 0 & -21.991 \end{bmatrix}$$

 $|M1| = 2.706 \cdot 10^{-13}$

P := eigenvektoren (M1)

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} -0.707 & -0.327 & 0.627 \\ 0.707 & -0.325 & 0.628 \\ -1.64 \cdot 10^{-3} & 0.888 & 0.461 \end{bmatrix}$$

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

$$\Phi A^T \cdot \Phi A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi A^{<3>} := \Phi A^{<1>} \times \Phi A^{<2>}$$

$$\Phi A^{<3>} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi A^T \cdot A \cdot \Phi A = \begin{bmatrix} 21.992 & -7.105 \cdot 10^{-15} & 0 \\ -7.105 \cdot 10^{-15} & 57.992 & 0 \\ 0 & 0 & 39.992 \end{bmatrix}$$

$$\Phi A^T = \begin{bmatrix} 0.707 & -0.707 & 0 \\ 0.707 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}^T \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 21.992 & -0.027 & -0.011 \\ -0.027 & 43.81 & -7.359 \\ -0.011 & -7.359 & 54.173 \end{bmatrix}$$

Seite 4

Datei: isotroppkt2

Die Invarianten sind:

$$\mathbf{JA} := \begin{bmatrix} 51002.600079472 \\ -4474.000202 \\ 119.975 \\ -1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \mathbf{JA3} \\ \mathbf{JA2} \\ \mathbf{JA1} \end{matrix} \quad |\mathbf{A}| = 5.1 \cdot 10^4$$

$$\mathbf{JA3} := \mathbf{JA}_1 \quad \mathbf{JA3} = 5.1 \cdot 10^4$$

$$\mathbf{JA2} := \mathbf{JA}_2 \quad \mathbf{JA2} = -4.474 \cdot 10^3$$

$$\text{nullstellen}(\mathbf{JA}) = \begin{bmatrix} 21.991 \\ 39.992 \\ 57.991 \end{bmatrix} \quad \lambda \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 21.991 \\ 57.992 \\ 39.992 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{JA1} := \mathbf{JA}_3 \quad \mathbf{JA1} = 119.975 \quad \mathbf{S2} := \frac{1}{3} \cdot \mathbf{JA1} \quad \mathbf{S2} = 39.992$$

$$\mathbf{D} := \mathbf{A} - \mathbf{S2} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} -2.667 \cdot 10^{-3} & 18 & 0 \\ 18 & 2.333 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 0 & -1.667 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix} \quad \text{sp}(\mathbf{D}) = -5 \cdot 10^{-4}$$

$$\lambda \mathbf{D} := \text{eigenwerte}(\mathbf{D})$$

$$\lambda \mathbf{D} = \begin{bmatrix} -18 \\ 18 \\ -1.667 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\Phi \mathbf{D} := \text{eigenvektoren}(\mathbf{D}) \quad \Phi \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.707 & 0 \\ -0.707 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi \mathbf{D}^T \cdot \mathbf{D} \cdot \Phi \mathbf{D} = \begin{bmatrix} -18 & 4.188 \cdot 10^{-15} & 0 \\ 4.407 \cdot 10^{-15} & 18 & 0 \\ 0 & 0 & -1.667 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix} \quad \Phi \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.707 & 0 \\ -0.707 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D1} := .054010801037225903700 - 324.0000061664332 \cdot \lambda \mathbf{D}_1 - 5.007000000000000000 \cdot 10^{-4} \cdot (\lambda \mathbf{D}_1)^2 - (\lambda \mathbf{D}_1)^3$$

$$\mathbf{JD} := \begin{bmatrix} 0.054010801 \\ 324.000 \\ -5.007 \cdot 10^{-4} \\ -1 \end{bmatrix}$$

JD3
JD2
JD1

$$\text{nullstellen}(\mathbf{JD}) = \begin{bmatrix} -18 \\ -1.667 \cdot 10^{-4} \\ 18 \end{bmatrix}$$

$$\text{sp}\left(\frac{1}{2} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{D}\right) = 324$$

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

$$\mathbf{JD2} = 324$$

$$\mathbf{JD2} := \mathbf{JA2} + \frac{1}{3} \cdot \mathbf{JA1}^2$$

$$\mathbf{JD2} = 324$$

$$\mathbf{JD3} := \mathbf{JA3} + \frac{1}{3} \cdot (\mathbf{JA1} \cdot \mathbf{JA2}) + \frac{2}{27} \cdot \mathbf{JA1}^3$$

$$\mathbf{JD3} = -0.108$$

$$\mathbf{JD} = \begin{bmatrix} 0.054 \\ 324 \\ -5.007 \cdot 10^{-4} \\ -1 \end{bmatrix}$$

JD3
JD2
JD1

$$\lambda \mathbf{D} = \begin{bmatrix} -18 \\ 18 \\ -1.667 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k} := \sqrt{\mathbf{JD}_2}$$

$$\mathbf{k} = 18$$

$$\mathbf{k}^2 = 324$$

$$\mathbf{k} = \text{Schubfließgrenze}$$

$$\mathbf{k} := \sqrt{\left(\mathbf{D}_{1,1} \right)^2 + \left(\mathbf{D}_{1,2} \right)^2}$$

$$\mathbf{k} = 18$$

$$\mathbf{R} := \sqrt{\mathbf{JD}_2}$$

$$\mathbf{R} = 18$$

Mohrscher Kreis

Seite 6

Datei: isotroppkt2

$$\Phi A = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.707 & 0 \\ -0.707 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi D = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.707 & 0 \\ -0.707 & 0.707 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda A = \begin{bmatrix} 21.991 \\ 57.992 \\ 39.992 \end{bmatrix}$$

$$\lambda D = \begin{bmatrix} -18 \\ 18 \\ -1.667 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

$$\sigma'_{1,1} := D_{1,1} \quad \sigma'_{1,1} = -2.667 \cdot 10^{-3}$$

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

$$\sigma_{1,2} = 18$$

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

$$n_1 = 0.707$$

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

$$n_2 = -0.707$$

$$A = \begin{bmatrix} 39.989 & 18 & 0 \\ 18 & 39.994 & 0 \\ 0 & 0 & 39.992 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} -2.667 \cdot 10^{-3} & 18 & 0 \\ 18 & 2.333 \cdot 10^{-3} & 0 \\ 0 & 0 & -1.667 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix}$$

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

$$\lambda'_1 = 18$$

gleich k

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

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

bezogene Schubkraft

$$\frac{n_2}{n_1} = -1$$

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

$$\tan \Psi := -1$$

$$\text{atan}(-1) = -0.785 \quad \text{rad}$$

$$\Psi := \frac{180}{\pi} \cdot -0.785$$

$$\Psi = -44.977$$

grad

$$\Psi + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{180}{\pi} = 0.023$$

Lfd. Nr. 23

**Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Lösung linearer Gleichungssysteme.**

**hier: Zerlegung von Tensor und Deviator, Adjunganz von T, symmetrische und
antisymmetrische Anteile von T und D.**

**A) Aufgabe: Ermittlung der plastischen Eigenschaften des Bauwerks gemäß Punkt 2
der Zoneneintragung im Newmarkschen Spektrum.**

B) Zur Aufgabe gehört sinngemäß die Übung: 6.1.4 S. 127 tens

**Text: Gegeben sei der nicht schubfreie Spannungstensor $\sigma_{i,j}$ mit der Schubkraft
aus dem Erdbeben an der Tragwand als Determinante in der Größe
von $5,1 \cdot 10^4$ [N].**

**Unter Berücksichtigung der Fließbedingung $J_2' = k^2$
ermittle man das Feld der Eigenrichtungen des Tensors und seines
Deviators.**

ORIGIN := 1

Seite 2

Datei: Anisopkt 2

 $E := \text{einheit}(3)$ $i := 0..3 \quad j := 0..3$ $a := 40$ $d := 18$ $e := 1$ $f := 18$ $b := 40$ $g := 1$ $h := 1$ $i := 1$ $c := 40$

$$A := \begin{bmatrix} a & d & e \\ f & b & g \\ h & i & c \end{bmatrix}$$

$$A = \begin{bmatrix} 40 & 18 & 1 \\ 18 & 40 & 1 \\ 1 & 1 & 40 \end{bmatrix}$$

$$\text{sp}(A) = 120$$

$$|A| = 5.1 \cdot 10^4$$

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

$$\lambda A = \begin{bmatrix} 58.11 \\ 22 \\ 39.89 \end{bmatrix}$$

Längenkoeffizienten

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

$$\Phi A = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.705 & -0.055 \\ -0.707 & 0.705 & -0.055 \\ 0 & 0.078 & 0.997 \end{bmatrix}$$

Richtungskordinaten

$$M1 := \begin{bmatrix} a - \lambda A_1 & 1 & 1 \\ 1 & b - \lambda A_1 & 1 \\ 1 & 1 & c - \lambda A_1 \end{bmatrix}$$

$$M1 = \begin{bmatrix} -18.11 & 1 & 1 \\ 1 & -18.11 & 1 \\ 1 & 1 & -18.11 \end{bmatrix}$$

$$|M1| = -5.884 \cdot 10^3$$

$\mathbf{P} := \text{eigenvektoren}(\mathbf{M1})$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0.813 & -0.07 & 0.577 \\ -0.467 & -0.67 & 0.577 \\ -0.346 & 0.74 & 0.577 \end{bmatrix}$$

Vektoren im Rechtssystem durch das Kreuzprodukt von $\Phi \mathbf{A1}$, $\Phi \mathbf{A2} = \Phi \mathbf{A3}$.

$$\Phi \mathbf{A}^T \cdot \Phi \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi \mathbf{A}^{<3>} := \Phi \mathbf{A}^{<1>} \times \Phi \mathbf{A}^{<2>}$$

$$\Phi \mathbf{A}^{<3>} = \begin{bmatrix} -0.055 \\ -0.055 \\ 0.997 \end{bmatrix} \quad \Phi \mathbf{A}^T \cdot \mathbf{A} \cdot \Phi \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 22 & 1.405 \cdot 10^{-14} & 0 \\ 1.308 \cdot 10^{-14} & 58.11 & -2.779 \cdot 10^{-15} \\ 0 & -2.445 \cdot 10^{-15} & 39.89 \end{bmatrix}$$

$$\Phi \mathbf{A}^T = \begin{bmatrix} 0.707 & -0.707 & 0 \\ 0.705 & 0.705 & 0.078 \\ -0.055 & -0.055 & 0.997 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}^T \cdot \mathbf{A} \cdot \mathbf{P} = \begin{bmatrix} 26.073 & -8.703 & 3.397 \\ -8.703 & 40.593 & -7.258 \\ 3.397 & -7.258 & 53.333 \end{bmatrix}$$

Seite 4

Datei: Anisopt 2

Die Invarianten sind:

$$\mathbf{JA} := \begin{bmatrix} 50996 \\ -4474 \\ 120 \\ -1 \end{bmatrix} \quad |\mathbf{A}| = 5.1 \cdot 10^4$$

$$\mathbf{JA3} := \mathbf{JA}_1 \quad \mathbf{JA3} = 5.1 \cdot 10^4$$

$$\mathbf{JA2} := \mathbf{JA}_2 \quad \mathbf{JA2} = -4.474 \cdot 10^3$$

$$\mathbf{JA1} := \mathbf{JA}_3 \quad \mathbf{JA1} = 120$$

$$\mathbf{S2} := \frac{1}{3} \cdot \mathbf{JA1} \quad \mathbf{S2} = 40$$

$$\text{nullstellen}(\mathbf{JA}) = \begin{bmatrix} 22 \\ 39.89 \\ 58.11 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D} := \mathbf{A} - \mathbf{S2} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 18 & 1 \\ 18 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{sp}(\mathbf{D}) = 0$$

$$\lambda \mathbf{D} := \text{eigenwert}(\mathbf{D})$$

$$\lambda \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 18.11 \\ -18 \\ -0.11 \end{bmatrix}$$

$$\Phi \mathbf{D} := \text{eigenvektoren}(\mathbf{D})$$

$$\Phi \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.705 & -0.055 \\ -0.707 & 0.705 & -0.055 \\ 0 & 0.078 & 0.997 \end{bmatrix}$$

$$\Phi \mathbf{D}^T \cdot \mathbf{D} \cdot \Phi \mathbf{D} = \begin{bmatrix} -18 & -4.078 \cdot 10^{-15} & 0 \\ -2.515 \cdot 10^{-15} & 18.11 & 0 \\ 0 & 0 & -0.11 \end{bmatrix}$$

$$\Phi \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.705 & -0.055 \\ -0.707 & 0.705 & -0.055 \\ 0 & 0.078 & 0.997 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{JD} := \begin{bmatrix} 36 \\ 326 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \mathbf{JD3} \\ \mathbf{JD2} \\ \mathbf{JD1} \end{matrix} \quad \text{nullstellen}(\mathbf{JD}) = \begin{bmatrix} -18 \\ -0.11 \\ 18.11 \end{bmatrix}$$

$$\text{sp}\left(\frac{1}{2} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{D}\right) = 326$$

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

$$\mathbf{JD2} = 56 \quad \mathbf{JD2} := \mathbf{JA2} + \frac{1}{3} \cdot \mathbf{JA1}^2 \quad \mathbf{JD2} = 326$$

$$\mathbf{JD3} := \mathbf{JA3} + \frac{1}{3} \cdot (\mathbf{JA1} \cdot \mathbf{JA2}) + \frac{2}{27} \cdot \mathbf{JA1}^3 \quad \mathbf{JD3} = 36$$

$$\mathbf{JD} = \begin{bmatrix} 36 \\ 326 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} \mathbf{JD3} \\ \mathbf{JD2} \\ \mathbf{JD1} \end{matrix} \quad \lambda \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 18.11 \\ -18 \\ -0.11 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{k} := \sqrt{\mathbf{JD}_2} \quad \mathbf{k} = 18.055 \quad \mathbf{k}^2 = 326 \quad \mathbf{k} = \text{Schubfließgrenze}$$

$$\mathbf{k} := \sqrt{\left(\mathbf{D}_{1,1} \right)^2 + \left(\mathbf{D}_{1,2} \right)^2} \quad \mathbf{k} = 18 \quad \mathbf{R} := \sqrt{\mathbf{JD}_2} \quad \mathbf{R} = 18.055$$

Mohrscher Kreis

$$\Phi A = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.705 & -0.055 \\ -0.707 & 0.705 & -0.055 \\ 0 & 0.078 & 0.997 \end{bmatrix}$$

$$\Phi D = \begin{bmatrix} 0.707 & 0.705 & -0.055 \\ -0.707 & 0.705 & -0.055 \\ 0 & 0.078 & 0.997 \end{bmatrix}$$

$$\lambda A = \begin{bmatrix} 58.11 \\ 22 \\ 39.89 \end{bmatrix}$$

$$\lambda D = \begin{bmatrix} 18.11 \\ -18 \\ -0.11 \end{bmatrix}$$

$$\sigma'_{1,1} := D_{1,1} \quad \sigma'_{1,1} = 0$$

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

$$\sigma_{1,2} = 18$$

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

$$n_1 = 0.707$$

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

$$n_2 = -0.707$$

$$A = \begin{bmatrix} 40 & 18 & 1 \\ 18 & 40 & 1 \\ 1 & 1 & 40 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 18 & 1 \\ 18 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

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

$$\lambda'_1 = 18$$

gleich k

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

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

bezogene Schubkraft

$$\frac{n_2}{n_1} = -1$$

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

$$\tan \Psi := -0.687$$

$$\text{atan}(-0.687) = -0.602$$

$$\Psi := \frac{180}{\pi} \cdot -0.687$$

$$\Psi = -39.362$$

$$\Psi + \frac{\pi}{4} \cdot \frac{180}{\pi} = 5.638$$

Teil C Ergänzende Aussagen und Daten zur Boden/Bauwerks- Wechselwirkung

Der Teil C gilt als Parafeld der bei der Erdbeben- und Schocksimulation anstehenden Modellarbeit. In den folgenden Abschnitten 1 bis 4 (Anlagen 24-27) wird durch die Ermittlung der Hauptspannungswerte und ihre Richtungen im Bereichsfeld der Spannungs- und Deviator tensoren das auf der Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk beruhende Systemverhalten angesprochen.

Aus diesen Anlagen ist eine orthogonale Spannungs- und nicht-orthogonale Wärmeabfuhrbewegung ersichtlich. Die orthogonale Spannungsbewegung geht auf die Anisotropie der sechs unabhängig agierenden Komponenten der Dyade zurück. Bei nur drei Unabhängigen gestaltet sich in der Isotropie das Werkstoffverhalten losgelöst von den Richtungen, sodass die Wärmeabfuhr keinen orthogonalen Charakter besitzt. Es zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Argumenten in Kapitel III.

In den Abschnitten 5 und 6 (Anlagen 28, 29) wird das bei der Erdbebensimulation fundamentale Problem der Wechselwirkung zwischen Boden und Bauwerk angegangen. Zu den Integralen der partiellen Differenzialgleichungen in diesen Anlagen gehört das Boden-Bauwerksmodell vom Schweizer Bundesamt für Zivilschutz.¹³

Wenn sich durch kausal regressive Zusammenhänge beim Austausch modellübergreifender Parameter identische Lösungsfolgen ergeben, ist damit die Konsistenz der zonalen Modellrechnungen bestätigt.

Zur Probe:

als zonaler Parameter :	die Bodenbewegung:	0,4 [g]
als Antwortparameter:	die Bodenwellengeschwindigkeit:	10,06691[1/s]
dann gilt:	$4/10,06691 = 0,397$ [m/s]	q. e. d. (Anlage 21)

Die Daten in der Anlage 21 sind der Schlüssel für die Aufstellung der zonenbezogenen Prüfungsordnung.

In den folgenden Abschnitten werden ergänzende Berechnungen der Daten für die computergestützte Aufstellung einer zonalorientierten Prüfungsordnung dargestellt.¹⁴

¹³ S. 134-139 Handbuch der Waffenwirkungen für die Bemessung von Schutzbauten

¹⁴ s. auch Anlagenverzeichnis (Teil D Abschn. 2)

1 Deviatorspannungen (Formänderungen)

Seite 1

Datei: Spanndeviatens

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

ORIGIN := 1

E := einheit (3) i := 1 .. 3 j := 1 .. 3

g := 9.81

$$K := \begin{bmatrix} 0 & 40 & 35 \\ 40 & 0 & 10 \\ 35 & 10 & 0 \end{bmatrix}$$

$$|K| = 2.8 \cdot 10^4$$

$$M := \begin{bmatrix} 28 & 0 & 0 \\ 0 & 28 & 0 \\ 0 & 0 & 26.02 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 2.001 \cdot 10^5 \quad N$$

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

$$\lambda = \begin{bmatrix} 58.351 \\ -48.446 \\ -9.905 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.739 & -0.027 & 0.673 \\ -0.522 & -0.654 & 0.547 \\ -0.426 & 0.756 & 0.498 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \begin{bmatrix} 0.1902 \\ 0.1929 \\ 0.1907 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag} (x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 0.023 & 0.015 \\ 0.023 & 1 & -0.027 \\ 0.015 & -0.027 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag} (\lambda)$$

$$\Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 58.347 & 1.364 & 0.888 \\ -1.133 & -48.438 & 1.327 \\ -0.151 & 0.271 & -9.909 \end{bmatrix}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 58.351 & 0 & 0 \\ 0 & -48.446 & 0 \\ 0 & 0 & -9.905 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} 0.141 & -5.175 \cdot 10^{-3} & 0.128 \\ -0.099 & -0.126 & 0.104 \\ -0.081 & 0.146 & 0.095 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^{<1>} \cdot \Phi^{<2>} = 0$$

$$\Phi^{<1>} \cdot \Phi^{<3>} = 0$$

$$\Phi^{<2>} \cdot \Phi^{<3>} = 0$$

Orthogonalitätsnachweis

$$K1 := \begin{bmatrix} 0 - \lambda_3 & 40 & 35 \\ 40 & 0 - \lambda_3 & 10 \\ 35 & 10 & 0 - \lambda_3 \end{bmatrix}$$

$$|K1| = 5.952 \cdot 10^{-12}$$

$$K1 = \begin{bmatrix} 9.905 & 40 & 35 \\ 40 & 9.905 & 10 \\ 35 & 10 & 9.905 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.739 & -0.027 & 0.673 \\ -0.522 & -0.654 & 0.547 \\ -0.426 & 0.756 & 0.498 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi_{1,3}$$

$$y := \Phi_{2,3}$$

$$z := \Phi_{3,3}$$

$$x = 0.673$$

$$y = 0.547$$

$$z = 0.498$$

Vorgabe

$$K1_{1,1} \cdot x + K1_{1,2} \cdot y + K1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{2,1} \cdot x + K1_{2,2} \cdot y + K1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{3,1} \cdot x + K1_{3,2} \cdot y + K1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = 0.017$$

$$y = 0.423$$

$$z = -0.488$$

$$V\lambda := \lambda_3 \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} -0.172 \\ -4.185 \\ 4.832 \end{bmatrix}$$

$$V\lambda1 := K \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda1 = \begin{bmatrix} -0.172 \\ -4.185 \\ 4.832 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \Phi^{<1>}$$

$$y2 := \Phi^{<2>}$$

$$z3 := \Phi^{<3>}$$

$$x1 = \begin{bmatrix} 0.739 \\ -0.522 \\ -0.426 \end{bmatrix}$$

$$y2 = \begin{bmatrix} -0.027 \\ -0.654 \\ 0.756 \end{bmatrix}$$

$$z3 = \begin{bmatrix} 0.673 \\ 0.547 \\ 0.498 \end{bmatrix}$$

Seite-
3

Datei: Spanndeviatens

$$\mathbf{K}_1 := \begin{bmatrix} 28000 \\ 2925 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{l}_1 := \mathbf{K}_1 \quad \mathbf{l}_1 = 0 \quad \mathbf{S} := \frac{1}{3} \cdot \mathbf{l}_1 \quad \mathbf{S} = 0$$

$$\mathbf{d} := \mathbf{K} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{d} = \begin{bmatrix} 0 & 40 & 35 \\ 40 & 0 & 10 \\ 35 & 10 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\cos(x1, y2) := \frac{x1 \cdot y2}{|x1| \cdot |y2|} \quad r := \cos(x1, y2) \quad r = 0$$

$$\alpha0 := \arccos(r) \quad \alpha0 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha0 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x1, z3) := \frac{x1 \cdot z3}{|x1| \cdot |z3|} \quad r1 := \cos(x1, z3) \quad r1 = 0$$

$$\alpha1 := \arccos(r1) \quad \alpha1 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha1 = 90 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y2, z3) := \frac{y2 \cdot z3}{|y2| \cdot |z3|} \quad r2 := \cos(y2, z3) \quad r2 = 0$$

$$\alpha2 := \arccos(r2) \quad \alpha2 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha2 = 90 \quad \text{grad}$$

$$|x1| = 1 \quad |y2| = 1 \quad |z3| = 1$$

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.141 & -5.175 \cdot 10^{-3} & 0.128 \\ -0.099 & -0.126 & 0.104 \\ -0.081 & 0.146 & 0.095 \end{bmatrix}$$

$$\Phi^T \cdot K \cdot \Phi = \begin{bmatrix} -48.446 & -5.666 \cdot 10^{-15} & -1.34 \cdot 10^{-14} \\ -3.777 \cdot 10^{-15} & -9.905 & -7.708 \cdot 10^{-15} \\ -1.586 \cdot 10^{-14} & -6.134 \cdot 10^{-15} & 58.351 \end{bmatrix}$$

Datei: Spanndeviatens

Seite5

$$\mathbf{D1} := \begin{bmatrix} 0 & 40 & 35 \\ 40 & 0 & 10 \\ 35 & 10 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K5} := \mathbf{D1} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E}$$

$$|\mathbf{D1}| = 2.8 \cdot 10^4$$

$$\mathbf{K5} = \begin{bmatrix} 0 & 40 & 35 \\ 40 & 0 & 10 \\ 35 & 10 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0 & 40 & 35 \\ 40 & 0 & 10 \\ 35 & 10 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_1 := \begin{bmatrix} 28000 \\ 2925 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 58.351 \\ -48.446 \\ -9.905 \end{bmatrix}$$

$$\lambda_1 =$$

$$\mathbf{N} := \text{nullstellen}(\mathbf{K}_1)$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} -48.446 \\ -9.905 \\ 58.351 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := \begin{bmatrix} 0 - \lambda_1 & 40 & 35 \\ 40 & 0 - \lambda_1 & 10 \\ 35 & 10 & 0 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := -(\lambda_1)^3 + 2925 \cdot \lambda_1 + 28000$$

2 Hauptspannungsanalyse

Seite 1

Datei: Spannanalyse

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

$E := \text{einheit} (3)$ $i := 1 \dots 3$ $j := 1 \dots 3$

ORIGIN := 1

$g := 9.81$

$$K := \begin{bmatrix} 57.653 & 40 & 35 \\ 40 & 57.653 & 10 \\ 35 & 10 & 57.653 \end{bmatrix}$$

$$|K| = 5.1 \cdot 10^4$$

$$M := \begin{bmatrix} 27.32 & 0 & 0 \\ 0 & 27.32 & 0 \\ 0 & 0 & 27.32 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 2 \cdot 10^5 \quad N$$

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

$$\lambda = \begin{bmatrix} 116.004 \\ 9.207 \\ 47.748 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.739 & -0.027 & 0.673 \\ -0.522 & -0.654 & 0.547 \\ -0.426 & 0.756 & 0.498 \end{bmatrix} \quad x1 := \begin{bmatrix} 0.1913 \\ 0.1913 \\ 0.1913 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag} (x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag} (\lambda)$$

$$\omega_j := \sqrt{\lambda_j}$$

$$\Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 115.98 & 0 & -4.484 \cdot 10^{-15} \\ 0 & 9.205 & 0 \\ -7.556 \cdot 10^{-15} & -2.921 \cdot 10^{-15} & 47.738 \end{bmatrix}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 116.004 & 0 & 0 \\ 0 & 9.207 & 0 \\ 0 & 0 & 47.748 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} 0.141 & -5.133 \cdot 10^{-3} & 0.129 \\ -0.1 & -0.125 & 0.105 \\ -0.081 & 0.145 & 0.095 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 10.771 \\ 3.034 \\ 6.91 \end{bmatrix}$$

$$K1 := \begin{bmatrix} 57.653 - \lambda_3 & 40 & 35 \\ 40 & 57.653 - \lambda_3 & 10 \\ 35 & 10 & 57.653 - \lambda_3 \end{bmatrix} \quad |K1| = -3.132 \cdot 10^{-11}$$

$$K1 = \begin{bmatrix} 9.905 & 40 & 35 \\ 40 & 9.905 & 10 \\ 35 & 10 & 9.905 \end{bmatrix} \quad \Phi1 = \begin{bmatrix} 0.141 & -5.133 \cdot 10^{-3} & 0.129 \\ -0.1 & -0.125 & 0.105 \\ -0.081 & 0.145 & 0.095 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi1_{1,3} \quad y := \Phi1_{2,3} \quad z := \Phi1_{3,3}$$

$$x = 0.129 \quad y = 0.105 \quad z = 0.095$$

Vorgabe

$$K1_{1,1} \cdot x + K1_{1,2} \cdot y + K1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{2,1} \cdot x + K1_{2,2} \cdot y + K1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{3,1} \cdot x + K1_{3,2} \cdot y + K1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = 0.022 \quad y = 0.539 \quad z = -0.622$$

$$V\lambda := K \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} 1.054 \\ 25.713 \\ -29.684 \end{bmatrix}$$

hier die Werte aus $V \lambda$ nach x_0, y_1, z_2 übertragen
bei den entsprechenden λ -Werten in $K1$ u. $\Phi 1$

$$x_0 := \begin{bmatrix} -28.604 \\ -23.231 \\ -21.138 \end{bmatrix}$$

$$y_1 := \begin{bmatrix} -0.026 \\ 0.018 \\ 0.015 \end{bmatrix}$$

$$z_2 := \begin{bmatrix} 1.054 \\ 25.713 \\ -29.684 \end{bmatrix}$$

Datei: Spannanalyse

Seite 3

$$K_1 := \begin{bmatrix} 50995.96038 \\ -7046.605227 \\ 172.959 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$I_1 := K_1$$

$$I_1 = 172.959$$

$$S := \frac{1}{3} \cdot I_1 \quad S = 57.653$$

$$D := K - S \cdot E \quad D = \begin{bmatrix} 0 & 40 & 35 \\ 40 & 0 & 10 \\ 35 & 10 & 0 \end{bmatrix}$$

Seite 4

Datei: Spannanalyse

$$\cos(x_0, y_1) := \frac{x_0 \cdot y_1}{|x_0| \cdot |y_1|} \quad r := \cos(x_0, y_1) \quad r = 5.701 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_0 := \arccos(r) \quad \alpha_0 = 1.565 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_0 = 89.673 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x_0, z_2) := \frac{x_0 \cdot z_2}{|x_0| \cdot |z_2|} \quad r_1 := \cos(x_0, z_2) \quad r_1 = -1.613 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha_1 := \arccos(r_1) \quad \alpha_1 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_1 = 90.001 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y_1, z_2) := \frac{y_1 \cdot z_2}{|y_1| \cdot |z_2|} \quad r_2 := \cos(y_1, z_2) \quad r_2 = -7.149 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_2 := \arccos(r_2) \quad \alpha_2 = 1.578 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_2 = 90.41 \quad \text{grad}$$

$$|x_0| = 42.482 \quad |y_1| = 0.035 \quad |z_2| = 39.286$$

Datei: Spannanalyse

Seite 5

$$\mathbf{D} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 57.653 & 40 & 35 \\ 40 & 57.653 & 10 \\ 35 & 10 & 57.653 \end{bmatrix} \quad \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 40 & 35 \\ 40 & 0 & 10 \\ 35 & 10 & 0 \end{bmatrix} \quad \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 57.653 & 0 & 0 \\ 0 & 57.653 & 0 \\ 0 & 0 & 57.653 \end{bmatrix}$$

D=Deviator

S=Kugeltensor

$$\mathbf{K4} := \mathbf{D} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{K4} = \begin{bmatrix} 57.653 & 40 & 35 \\ 40 & 57.653 & 10 \\ 35 & 10 & 57.653 \end{bmatrix} \quad |\mathbf{D}| = 2.8 \cdot 10^4$$

$$\mathbf{K2} := \begin{bmatrix} 57.653 - \lambda_1 & 40 & 35 \\ 40 & 57.653 - \lambda_1 & 10 \\ 35 & 10 & 57.653 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 116.004 \\ 9.207 \\ 47.748 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_1 := \begin{bmatrix} 50995.96038 \\ -7046.605227 \\ 172.959 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{N} := \text{nullstellen}(\mathbf{K}_1)$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} 9.207 \\ 47.748 \\ 116.004 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D1} := \begin{bmatrix} 57.635 & 40 & 35 \\ 40 & 57.635 & 10 \\ 35 & 10 & 57.635 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K5} := \mathbf{D1} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E}$$

$$|\mathbf{D1}| = 5.087 \cdot 10^4$$

$$\mathbf{K5} = \begin{bmatrix} 115.288 & 40 & 35 \\ 40 & 115.288 & 10 \\ 35 & 10 & 115.288 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 57.653 & 40 & 35 \\ 40 & 57.653 & 10 \\ 35 & 10 & 57.653 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := \begin{bmatrix} 57.653 - \lambda_1 & 40 & 35 \\ 40 & 57.653 - \lambda_1 & 10 \\ 35 & 10 & 57.653 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := 50995.960384077 - 7046.605227 \cdot \lambda_1 + 172.959 \cdot (\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3$$

3 Der Hauptachsenvektor des Dämpfungstensors

Seite 1

Datei: Dämpfanalyse

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur
Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

$E := \text{einheit}(3)$ $i := 1..3$ $j := 1..3$

ORIGIN := 1

 $g := 9.81$

$$K := \begin{bmatrix} 21.9355 & 15 & 10 \\ 15 & 21.9355 & 8 \\ 10 & 8 & 21.9355 \end{bmatrix}$$

$$|K| = 4.422 \cdot 10^3$$

$$\text{sp}(K) = 65.807$$

$$M := \begin{bmatrix} 27.32 & 0 & 0 \\ 0 & 27.32 & 0 \\ 0 & 0 & 27.32 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 2 \cdot 10^5 \quad N$$

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

$$\lambda = \begin{bmatrix} 44.222 \\ 6.732 \\ 14.852 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.741 & -0.241 & 0.627 \\ -0.656 & -0.457 & 0.6 \\ -0.142 & 0.856 & 0.497 \end{bmatrix} \quad x1 := \begin{bmatrix} 0.1913 \\ 0.1913 \\ 0.1913 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag}(x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag}(\lambda)$$

$$\omega_j := \sqrt{\lambda_j}$$

$$\Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 44.213 & 3.224 \cdot 10^{-15} & 0 \\ 0 & 6.731 & 1.176 \cdot 10^{-15} \\ 0 & 4.058 \cdot 10^{-15} & 14.849 \end{bmatrix}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 44.222 & 0 & 0 \\ 0 & 6.732 & 0 \\ 0 & 0 & 14.852 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} 0.142 & -0.046 & 0.12 \\ -0.126 & -0.087 & 0.115 \\ -0.027 & 0.164 & 0.095 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 6.65 \\ 2.595 \\ 3.854 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$K1 := \begin{bmatrix} 21.9355 - \lambda_3 & 15 & 10 \\ 15 & 21.9355 - \lambda_3 & 8 \\ 10 & 8 & 21.9355 - \lambda_3 \end{bmatrix} \quad |K1| = 5.173 \cdot 10^{-14}$$

$$K1 = \begin{bmatrix} 7.083 & 15 & 10 \\ 15 & 7.083 & 8 \\ 10 & 8 & 7.083 \end{bmatrix} \quad \Phi1 = \begin{bmatrix} 0.142 & -0.046 & 0.12 \\ -0.126 & -0.087 & 0.115 \\ -0.027 & 0.164 & 0.095 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi1_{1,3} \quad y := \Phi1_{2,3} \quad z := \Phi1_{3,3}$$

$$x = 0.12 \quad y = 0.115 \quad z = 0.095$$

Vorgabe

$$K1_{1,1} \cdot x + K1_{1,2} \cdot y + K1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{2,1} \cdot x + K1_{2,2} \cdot y + K1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{3,1} \cdot x + K1_{3,2} \cdot y + K1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = -0.165 \quad y = -0.312 \quad z = 0.585$$

$$V\lambda := K \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} -2.444 \\ -4.64 \\ 8.691 \end{bmatrix}$$

hier die Werte aus $V\lambda$ nach x_0, y_1, z_2 übertragen
bei den entsprechenden λ -Werten in $K1$ u. $\Phi1$

$$x_0 := \begin{bmatrix} -1.958 \\ -1.874 \\ -1.551 \end{bmatrix}$$

$$y_1 := \begin{bmatrix} -0.363 \\ -1.556 \\ -0.492 \end{bmatrix}$$

$$z_2 := \begin{bmatrix} -2.444 \\ -4.64 \\ 8.691 \end{bmatrix}$$

Datei: Dämpfanalyse

Seite 3

$$K_1 := \begin{bmatrix} 4421.710808163875 \\ -1054.49848075 \\ 65.8065 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$I_1 := K_1 \quad I_1 = 65.807 \quad S := \frac{1}{3} \cdot I_1 \quad S = 21.935$$

$$D := K - S \cdot E \quad D = \begin{bmatrix} 3.553 \cdot 10^{-15} & 15 & 10 \\ 15 & 3.553 \cdot 10^{-15} & 8 \\ 10 & 8 & 3.553 \cdot 10^{-15} \end{bmatrix}$$

Seite4

Datei: Dämpfanalyse

$$\cos(x_0, y_1) := \frac{x_0 \cdot y_1}{|x_0| \cdot |y_1|} \quad r := \cos(x_0, y_1) \quad r = 0.841$$

$$\alpha_0 := \arccos(r) \quad \alpha_0 = 0.572 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_0 = 32.769 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x_0, z_2) := \frac{x_0 \cdot z_2}{|x_0| \cdot |z_2|} \quad r_1 := \cos(x_0, z_2) \quad r_1 = 3.063 \cdot 10^{-5}$$

$$\alpha_1 := \arccos(r_1) \quad \alpha_1 = 1.571 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_1 = 89.998 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y_1, z_2) := \frac{y_1 \cdot z_2}{|y_1| \cdot |z_2|} \quad r_2 := \cos(y_1, z_2) \quad r_2 = 0.226$$

$$\alpha_2 := \arccos(r_2) \quad \alpha_2 = 1.343 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_2 = 76.953 \quad \text{grad}$$

$$|x_0| = 3.123 \quad |y_1| = 1.672 \quad |z_2| = 10.151$$

Datei: Dämpfanalyse

Seite5

$$\mathbf{D} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 3.553 \cdot 10^{-15} & 15 & 10 \\ 15 & 3.553 \cdot 10^{-15} & 8 \\ 10 & 8 & 3.553 \cdot 10^{-15} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 21.935 & 0 & 0 \\ 0 & 21.935 & 0 \\ 0 & 0 & 21.935 \end{bmatrix}$$

D=Deviator

S=Kugeltensor

$$\mathbf{K4} := \mathbf{D} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{K4} = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$|\mathbf{D}| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$\mathbf{K2} := \begin{bmatrix} 20 - \lambda_1 & 12.163 & 7 \\ 12.163 & 20 - \lambda_1 & 4 \\ 7 & 4 & 20 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 44.222 \\ 6.732 \\ 14.852 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_1 := \begin{bmatrix} 4421.710808163875 \\ -1054.49848075 \\ 65.8065 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{N} := \text{nullstellen}(\mathbf{K}_1)$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} 6.732 \\ 14.852 \\ 44.222 \end{bmatrix}$$

Seite6

Datei: Dämpfanalyse

$$\mathbf{D1} := \begin{bmatrix} 16.434 & 1 & 0 \\ 1 & 16.434 & 0 \\ 0 & 0 & 16.434 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K5} := \mathbf{D1} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E}$$

$$|\mathbf{D1}| = 4.422 \cdot 10^3$$

$$\mathbf{K5} = \begin{bmatrix} 38.37 & 1 & 0 \\ 1 & 38.37 & 0 \\ 0 & 0 & 38.37 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 21.936 & 15 & 10 \\ 15 & 21.936 & 8 \\ 10 & 8 & 21.936 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := \begin{bmatrix} 21.9355 - \lambda_1 & 15 & 10 \\ 15 & 21.9355 - \lambda_1 & 8 \\ 10 & 8 & 21.9355 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := 4421.710808163875 - 1054.49848075 \cdot \lambda_1 + 65.8065 \cdot (\lambda_1)^2 - (\lambda_1)^3$$

4 Der Hauptachsenvektor des Dämpfungsdeviators

Seite 1

Datei: Dämpfdeviator

Formblatt für die Ermittlung von Eigenwerten und -vektoren zur Bestimmung von Lösungen linearer Gleichungssysteme.

$E := \text{einheit}(3)$ $i := 1..3$ $j := 1..3$

ORIGIN := 1

$g := 9.81$

$$K := \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$|K| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$\text{sp}(K) = 0$$

$$M := \begin{bmatrix} 27.32 & 0 & 0 \\ 0 & 27.32 & 0 \\ 0 & 0 & 27.32 \end{bmatrix}$$

$$G := |M| \cdot g \quad G = 2 \cdot 10^5 \quad N$$

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

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

$$\lambda = \begin{bmatrix} 22.287 \\ -15.203 \\ -7.083 \end{bmatrix}$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} 0.741 & -0.241 & 0.627 \\ -0.656 & -0.457 & 0.6 \\ -0.142 & 0.856 & 0.497 \end{bmatrix}$$

$$x1 := \begin{bmatrix} 0.1913 \\ 0.1913 \\ 0.1913 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 := \Phi \cdot \text{diag}(x1)$$

$$\Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Omega := \text{diag}(\lambda)$$

$$\omega_j := \sqrt{\lambda_j}$$

$$\Omega \cdot \Phi1^T \cdot M \cdot \Phi1 = \begin{bmatrix} 22.282 & 3.743 \cdot 10^{-15} & -1.309 \cdot 10^{-15} \\ -2.673 \cdot 10^{-15} & -15.2 & -4.617 \cdot 10^{-15} \\ 0 & -1.635 \cdot 10^{-15} & -7.082 \end{bmatrix}$$

$$\Omega = \begin{bmatrix} 22.287 & 0 & 0 \\ 0 & -15.203 & 0 \\ 0 & 0 & -7.083 \end{bmatrix}$$

$$\Phi1 = \begin{bmatrix} 0.142 & -0.046 & 0.12 \\ -0.126 & -0.087 & 0.115 \\ -0.027 & 0.164 & 0.095 \end{bmatrix}$$

$$\omega = \begin{bmatrix} 4.721 \\ 3.899i \\ 2.661i \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$K1 := \begin{bmatrix} 0 - \lambda_2 & 15 & 10 \\ 15 & 0 - \lambda_2 & 8 \\ 10 & 8 & 0 - \lambda_2 \end{bmatrix} \quad |K1| = -8.263 \cdot 10^{-13}$$

$$K1 = \begin{bmatrix} 15.203 & 15 & 10 \\ 15 & 15.203 & 8 \\ 10 & 8 & 15.203 \end{bmatrix} \quad \Phi1 = \begin{bmatrix} 0.142 & -0.046 & 0.12 \\ -0.126 & -0.087 & 0.115 \\ -0.027 & 0.164 & 0.095 \end{bmatrix}$$

Schätzwerte

$$x := \Phi1_{1,2} \quad y := \Phi1_{2,2} \quad z := \Phi1_{3,2}$$

$$x = -0.046 \quad y = -0.087 \quad z = 0.164$$

Vorgabe

$$K1_{1,1} \cdot x + K1_{1,2} \cdot y + K1_{1,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{2,1} \cdot x + K1_{2,2} \cdot y + K1_{2,3} \cdot z = 0$$

$$K1_{3,1} \cdot x + K1_{3,2} \cdot y + K1_{3,3} \cdot z = 0$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} := \text{suchen}(x, y, z)$$

$$x = 0.259 \quad y = -0.229 \quad z = -0.05$$

$$V\lambda := K \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

$$V\lambda = \begin{bmatrix} -3.93 \\ 3.481 \\ 0.753 \end{bmatrix}$$

hier die Werte aus $V \lambda$ nach $x0, y1, z2$ übertragen
bei den entsprechenden λ -Werten in $K1$ u. $\Phi1$

$$x0 := \begin{bmatrix} -0.342 \\ -0.328 \\ -0.271 \end{bmatrix}$$

$$y1 := \begin{bmatrix} -0.393 \\ -3.481 \\ -0.753 \end{bmatrix}$$

$$z2 := \begin{bmatrix} -0.057 \\ -0.108 \\ 0.202 \end{bmatrix}$$

Datei: Dämpfdeviator

Seite 3

$$\mathbf{K}_1 := \begin{bmatrix} 2400 \\ 389 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}_1 := \mathbf{K}_1 \quad \mathbf{I}_1 = 0 \quad \mathbf{S} := \frac{1}{3} \cdot \mathbf{I}_1 \quad \mathbf{S} = 0$$

$$\mathbf{D} := \mathbf{K} - \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

Seite4

Datei: Dämpfdeviator

$$\cos(x_0, y_1) := \frac{x_0 \cdot y_1}{|x_0| \cdot |y_1|} \quad r := \cos(x_0, y_1) \quad r = 0.757$$

$$\alpha_0 := \arccos(r) \quad \alpha_0 = 0.712 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_0 = 40.819 \quad \text{grad}$$

$$\cos(x_0, z_2) := \frac{x_0 \cdot z_2}{|x_0| \cdot |z_2|} \quad r_1 := \cos(x_0, z_2) \quad r_1 = 1.366 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha_1 := \arccos(r_1) \quad \alpha_1 = 1.569 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_1 = 89.922 \quad \text{grad}$$

$$\cos(y_1, z_2) := \frac{y_1 \cdot z_2}{|y_1| \cdot |z_2|} \quad r_2 := \cos(y_1, z_2) \quad r_2 = 0.291$$

$$\alpha_2 := \arccos(r_2) \quad \alpha_2 = 1.275 \quad \text{rad} \quad \frac{180}{\pi} \cdot \alpha_2 = 73.074 \quad \text{grad}$$

$$|x_0| = 0.546 \quad |y_1| = 3.583 \quad |z_2| = 0.236$$

Datei: Dämpfdeviator

Seite5

$$\mathbf{D} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{S} \cdot \mathbf{E} = 0$$

D=Deviator

S=Kugeltensor

$$\mathbf{K4} := \mathbf{D} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E} \quad \mathbf{K4} = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$|\mathbf{D}| = 2.4 \cdot 10^3$$

$$\mathbf{K2} := \begin{bmatrix} 20 - \lambda_1 & 12.163 & 7 \\ 12.163 & 20 - \lambda_1 & 4 \\ 7 & 4 & 20 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\lambda = \begin{bmatrix} 22.287 \\ -15.203 \\ -7.083 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}_1 := \begin{bmatrix} 2400 \\ 389 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{N} := \text{nullstellen}(\mathbf{K}_1)$$

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} -15.203 \\ -7.083 \\ 22.287 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{D1} := \begin{bmatrix} 16.434 & 1 & 0 \\ 1 & 16.434 & 0 \\ 0 & 0 & 16.434 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K5} := \mathbf{D1} + \mathbf{S} \cdot \mathbf{E}$$

$$|\mathbf{D1}| = 4.422 \cdot 10^3$$

$$\mathbf{K5} = \begin{bmatrix} 16.434 & 1 & 0 \\ 1 & 16.434 & 0 \\ 0 & 0 & 16.434 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 0 & 15 & 10 \\ 15 & 0 & 8 \\ 10 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := \begin{bmatrix} 0 - \lambda_1 & 15 & 10 \\ 15 & 0 - \lambda_1 & 8 \\ 10 & 8 & 0 - \lambda_1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K2} := -(\lambda_1)^3 + 389 \cdot \lambda_1 + 2400$$

5 Zonenstruktur 0,25[g] (Druck, Pressung, Geschwindigkeit)

Seite 1

Datei: Nlinfit.mcd

$$\mathbf{vx} := \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{vy} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.25 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F(t, u)} \equiv \begin{bmatrix} \frac{u_0}{u_1} \cdot \frac{9.81}{\frac{2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) \\ \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot t)} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) \right] \\ - u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_1)^2} \cdot \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \\ \frac{-1}{2} \cdot u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_2)^2 \cdot t} \cdot \left(1 - \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right) + u_0 \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot u_1)} \cdot \exp \left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t \right) \right] \end{bmatrix} *$$

$$\mathbf{i} := 0 \dots 5 \quad \mathbf{r} := 0 \dots 5 \quad \mathbf{h} := 0$$

$$\mathbf{vg} \equiv \begin{bmatrix} 0.00395 \\ 0.08 \\ 0.949 \end{bmatrix}$$

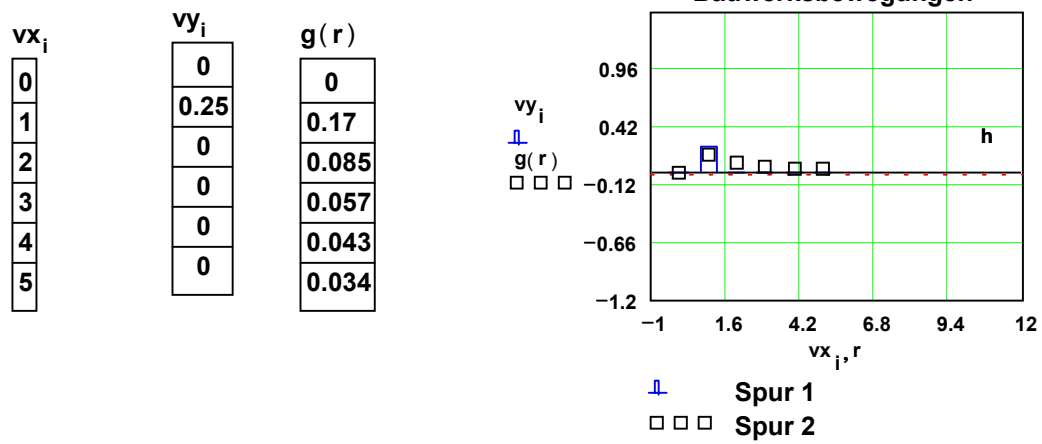
$$\mathbf{P} := \text{genanp}(\mathbf{vx}, \mathbf{vy}, \mathbf{vg}, \mathbf{F})$$
$$\mathbf{g}(\mathbf{r}) := \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{P})_0$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 8.684 \cdot 10^{-3} \\ 0.08 \\ 0.25 \end{bmatrix}$$

$$\text{fit}(\mathbf{r}) := \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{P})_0$$
$$\mathbf{P}_0 \cdot 10^4 = 86.839$$
$$\mathbf{P}_1 \cdot 10^4 = 799.87$$
$$\mathbf{P}_2 = 0.25$$

$\mathbf{vy}_i$	$\mathbf{g}(\mathbf{r})$
0	0
0.25	0.17
0	0.085
0	0.057
0	0.043
0	0.034

Seite3



$$P_0 \cdot 10^4 = 86.839 \quad \frac{kp}{m^2} \quad \frac{1}{0.1} \cdot P_0 \cdot 10^4 = 868.391 \quad \frac{N}{m^2} \quad Pa$$

$$P_1 \cdot 10^4 = 799.87 \quad \frac{kp}{m^2} \quad \frac{1}{0.1} \cdot P_1 \cdot 10^4 = 7.999 \cdot 10^3 \quad \frac{N}{m^2} \quad Pa$$

$$P_2 = 0.25 \quad \frac{m}{s}$$

6 Zonenstruktur 0,4[g] (Druck, Pressung, Geschwindigkeit)

Seite 1

Datei: Nlinfit.mcd

$$\mathbf{vx} := \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} \quad \mathbf{vy} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F(t, u)} \equiv \begin{bmatrix} \frac{u_0}{u_1} \cdot \frac{9.81}{2} \cdot \frac{1}{u_1} \cdot t \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right) \\ \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot t)} \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right) \right] \\ - u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_1)^2} \cdot \exp\left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \\ \frac{-1}{2} \cdot u_0 \cdot \frac{9.81}{(u_2)^2} \cdot t \cdot \left(1 - \exp\left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right) + u_0 \cdot \left[\frac{9.81}{(u_2 \cdot u_1)} \cdot \exp\left(\frac{-2}{u_1} \cdot u_2 \cdot t\right) \right] \end{bmatrix} *$$

 $i := 0 \dots 5$ $r := 0 \dots 5$ $h := 0$

$$\mathbf{vg} \equiv \begin{bmatrix} 0.0098 \\ 0.1 \\ 1.3 \end{bmatrix}$$

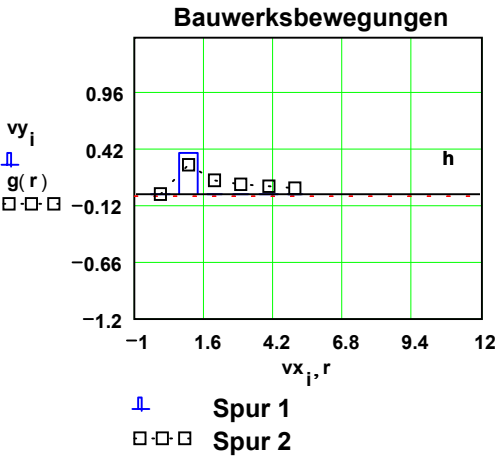
$$\mathbf{P} := \text{genanp}(\mathbf{vx}, \mathbf{vy}, \mathbf{vg}, \mathbf{F})$$
$$\mathbf{g}(\mathbf{r}) := \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{P})_0$$
$$\text{fit}(\mathbf{r}) := \mathbf{F}(\mathbf{r}, \mathbf{P})_0$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} 0.022 \\ 0.1 \\ 0.397 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P}_0 \cdot 10^4 = 221.427$$
$$\mathbf{P}_1 \cdot 10^4 = 999.915$$
$$\mathbf{P}_2 = 0.397$$

$\mathbf{vy}_i$	$\mathbf{g}(\mathbf{r})$
0	0
0.4	0.273
0	0.137
0	0.091
0	0.068
0	0.055

vx_i	vy_i	$g(r)$
0	0	0
1	0.4	0.273
2	0	0.137
3	0	0.091
4	0	0.068
5	0	0.055



$$P_0 \cdot 10^4 = 221.427 \quad \frac{kp}{m^2} \quad \frac{1}{0.1} \cdot P_0 \cdot 10^4 = 2.214 \cdot 10^3 \quad \frac{N}{m^2} \quad Pa$$

$$P_1 \cdot 10^4 = 999.915 \quad \frac{kp}{m^2} \quad \frac{1}{0.1} \cdot P_1 \cdot 10^4 = 9.999 \cdot 10^3 \quad \frac{N}{m^2} \quad Pa$$

$$P_2 = 0.397 \quad \frac{m}{s}$$

Allgemeine zonenbezogene Prüfungsbedingungen für Bauwerke gegen Erdbebenbelastung¹⁵ Zone 0,25-0,40[g]		
1	Daten Punkt	Prototyp Einzelrahmen
2	Masse $M[\text{Ns}^2/\text{m}]$	20400
3	max. Einwirkung [g]	0,46 $M \cong 8$
4	äquivalente Beschleunigungszeit t_a [ms]	184,5
5	ω [rad/s]	5.42
6	Eigenform S_d2 [m]	0.0851
7	Eigenform S_{pa2} [g]	0.25
8	Eigenform S_{pv2} [m/s]	0,461
9	max. Schubkraft. [N]	51000
10	max. Federkraft. [N]	51000
11	Eigenwert λ [m/sek ²]	29,3764
12	Spannung. Hauptachsen [MN/m ²]	X=116,00 Y=9,199 Z=47,795
13	Achsenrichtung [grad]	X=90 Y=90 Z=90
14	Tensor Fläche	Rhomb. Dipyramide Brownmillerit z.B.
15	Spannung bei Formänderung (Deviator) [MN/m ²]	X=58,351 Y=-48,445 Z=-9,905

¹⁵ lfd. Nr. 21 (Datei: eingetrpkt2.doc)

16	Achsenrichtung bei Formänderung [grad]	XY=90 XZ=90 YZ=90
17	Dämpfung am Bauwerk (viskos) Ns/m	X=44,222 Y=6,723 Z=14,825
17	Achsenrichtung. bei Dämpfung [grad]	XY=32 XZ=90 YZ=77
19	Dämpfung bei Formänderung [Ns/m]	X= 22,287 Y= -15,203 Z= -7,083
20	Achsenrichtung bei Formänderung [grad] Dämpfung	XY= 41 XZ= 90 YZ= 73
21	Bodenbewegung in der Zone [g]	0.25—0.4
22	Bodendruck in der Zone [Pa] N/m ²	868--2214
23	Bodenpressung in der Zone [Pa] N/m ²	8000--10000
24	Bodenwellegeschwindigkeit [m/s]	0.25----0.397
25	Bauwerksbewegungen in der Zone [g]	0.17---0.273

Teil D Anhang

1 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 Ingenieure*1. Berlin: Springer, 1997
- Betten Betten, Josef: *Finite Elemente für Ingenieure*2. 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 Betonteilen 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 Anwendungen*1. Berlin: Springer, 1992
- Zurmühl Zurmühl, R.; Falk, S.: *Matrizen und ihre Anwendungen*2. Berlin: Springer, 1986

2 Anlagenverzeichnis

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Inhalt	Seite
Teil A			
Kapitel I - 1. Beitrag zum Sonderforschungsbereich			
1	Anlage 1	Tabelle der ins Netz eingetragenen Schnittpunkte vom einläufigen Schwinger	10
2	Anlage 1a	Berechnung von Punkt 2 (einläufiger Schwinger)	11
3	Anlage 1 b	Berechnung von Punkt 5 (mehrläufiger Schwinger)	17
4	Anlage 2	Newmarksche Diagramm mit den ausgewählten Eigenformen	23
5	Anlage 3	Tabelle der ins Netz eingetragenen Schnittpunkte vom vierstöckigen Schwinger	24
6	Anlage 4	Newmarksche Diagramm mit den eingerichteten Regelklassen (s. Nr. 20)	77
Kapitel II - 2. Beitrag zum Sonderforschungsbereich			
7	Anlage 1	Quadratische polynomiale Annäherung	28
8	Anlage 2	Kubische polynomiale Annäherung	32
9	Anlage 3	Lineare Approximation mit fallgerecht definierten Annäherungsfunktionen	35
10	Anlage 4	wie Anlage 3	36
11	Anlage 5	Nichtlineare Approximation mit fallgerecht definierten Annäherungsfunktionen	37
12	Anlage 6	wie Anlage 5	39
Kapitel III - 3. Beitrag zum Sonderforschungsbereich			
13	Anlage 1	Tabelle zur Dämpfungsstudie	43
14	Anlage 2	Dämpfungsanalyse für Punkt 2 mit Gittergrößen	44
15	Anlage 3	Dämpfungsanalyse für Punkt 9 mit Gittergrößen	50
16	Anlage 4	Dämpfungsanalyse für Punkt 4 mit Gittergrößen	56
17	Anlage 5	Dämpfungsanalyse für Punkt 8 mit Gittergrößen	62
18	Anlage 6	Der Sturmsche Test	68
19	Anlage 7	Das Eigenform-Periodendiagramm	74
Teil B			
20	Spektrum	Bauregelklassen	77
21	Tabelle	Allgemeine zonenbezogene Prüfungsbedingungen für Bauwerke gegen Erdbebenbelastung	117
22	Isotropie	Maximale plastische Arbeit bei isotropem Werkstoffverhalten	78
23	Anisotropie	Maximale plastische Arbeit bei anisotropischem Werkstoffverhalten	84
Teil C			
24	Vektor	Deviatorspannungen (Formänderungen (lfd.Nr. 21 Zeilen 15-16)	91
25	Vektor	Hauptspannungsanalyse (lfd.Nr. 21 Zeilen 12-14)	96
26	Vektor	Hauptachsenvektor des Dämpfungstensors (lfd.Nr. 21 Zeilen 17-18)	101
27	Vektor	Hauptachsenvektor des Dämpfungsdeviators (lfd.Nr. 21 Zeilen 19-20)	106
28	Zonenstruktur	Zonenstruktur 0,25[g] (Druck, Pressung; Geschwindigkeit) (lfd.Nr. 21 Zeilen 21-25)	111
29	Zonenstruktur	Zonenstruktur 0,40[g] (Druck, Pressung; Geschwindigkeit) (lfd.Nr. 21 Zeilen 21-25)	114

3 Verzeichnis der benutzten Symbole

Symbol Teil A – Kapitel I

δ	Abklingkoeffizient
ω	Eigenfrequenz des Bauwerks
$1/\delta$	Abklingzeit
a	Beschleunigung
Ablm	Ablesemodus
ag(t)	Bodenbeschleunigung
D	Dämpfungsmaß
dg(t)max	Spitzenwert der Bodenverschiebung
EZ	Erregerzeit
K	Steifigkeitsmatrix
m	Masse
P	Pseudo
S	Spektrum
Tb	Periode der Bauwerksbeschleunigung
üblg	Überlagerung
v	Geschwindigkeit
vb	Eigenfrequenz des Bauwerks unter D
vg	Eigenfrequenz des Bodens

Teil A – Kapitel II

P	Bodendruck
σ	statische Bodenpressung
c	Bodengeschwindigkeit
γ	spezifisches Gewicht
a	Fallbeschleunigung
b	dimloser Ausdruck
k-Q	kleinste Quadrate-Schätzer

Teil A – Kapitel III

M	Massenmatrix
K	Steifigkeitsmatrix
b	viskoser Dissipationstensor
ω	Eigenfrequenz des Bauwerks
vb	Eigenfrequenz des Bauwerks unter D
D	Dämpfungsmaß

Zu diesem Buch

Mit dieser Arbeit wird zur Verminderung des Erdbebenrisikos von Bauwerken eine **computergestützte Problemlösungsmethode** zur Gestaltung einer deterministischen Bemessungsstrategie vorgestellt. Im Vordergrund dabei liegt die Erkennbarkeit von Operatoren, die sich aus dem Lösungsverhalten ergeben. Eine rechnerische Vorgehensweise steht deswegen im Mittelpunkt, weil sich vor etwa zwanzig Jahren in der Bauphysik eine Trendwende gegenüber experimentellen Untersuchungen abgezeichnet hat.

Da verträgliches Bauen gegen Erdbebenbelastung ein Zusammenwirken von Masse, Festigkeit und Eigenschwingungsvermögen des Baukörpers bedeutet, kann die konstruktive Durchbildung des Baukörpers zonengerecht deterministisch behandelt werden. Zonengerecht bedeutet die Festlegung von Erregungsdaten und Verträglichkeitszonen innerhalb einer epizentralen Distanzordnung. Dieser Ordnung muss eine Bemessungsstrategie der rechnerisch angelegten Untersuchungsarbeit gerecht werden, d.h. dass die konstruktive Durchbildung nicht auf hypothetisch deterministischen Daten beruht (Kapazitätsbemessungsmethode), sondern sich auf eindeutige mit Hilfe der Kontinuummechanik und des Tensorkalküls ermittelten Daten abstützen kann.

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 3-8311-0108-6

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.