

Dimensionierung eines vereinfachten Schulgebäudes in Italian
als Hysteretic-Device System (HYDE System)
nach EN 1998-1
(EC8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben)

Lehrveranstaltung: Erdbebeningenieurwesen

Dozent: Prof. Dr.-Ing. U. Dorka

Verfasser: M.Sc.-Ing. C. Nguyen

Verfasser: M.Sc.-Ing. A. Ansalone

Bearbeitungsstand: Mai 2019

Inhaltsverzeichnis

1	<i>Bauwerksbeschreibung</i>	3
2	<i>Statisches System</i>	4
2.1	Werkstoffeigenschaften	4
2.2	Anzusetzende seismische Masse	5
3	<i>Lastannahmen</i>	7
3.1	Eigengewicht	7
3.2	Nutzlast	7
3.3	Schnee- und Windlasten	7
3.4	Lastfallkombinationen	7
3.5	Erdbebenlasten	8
3.5.1	Elastisches Antwortspektrum	8
3.5.2	Designspektrum	10
4	<i>HYDE System</i>	12
4.1	Statisches System	12
4.2	Ergebnisdarstellung	14
4.3	Design Kurve	15
4.4	Design des Shear Panel	16
4.5	HYDE System Nachweise	17
4.5.1	V-Verband des 1. OG	18
4.5.2	Nachweis Stütze 1. OG	22
4.5.3	Nachweis Riegel 2.OG	26
5	<i>Konstruktionszeichnungen</i>	27
6	<i>Base Isolation</i>	28
6.1	Iteratives Bemessungsverfahren	28
6.2	Ergebnisse und Nachweise	33
6.2.1	Biegeknicke-Kontrollen	34
6.2.2	Dehnungskontrolle (Rollout-Stabilität)	34
6.2.3	Nachweis der Strukturelemente	35
7	<i>Der Vergleich der drei Struktursysteme</i>	35

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 3 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

1 Bauwerksbeschreibung

Bei der hier vorliegenden Beispielaufgabe handelt es sich um ein in Celico (Italien) stehendes Schulgebäude welches nach Vereinfachtenantwortspektrum Nachweisverfahren nach EC 8 dimensioniert werden soll.

Für eine bessere Veranschaulichung des Gebäudes ist nachfolgende Skizze aufgeführt.

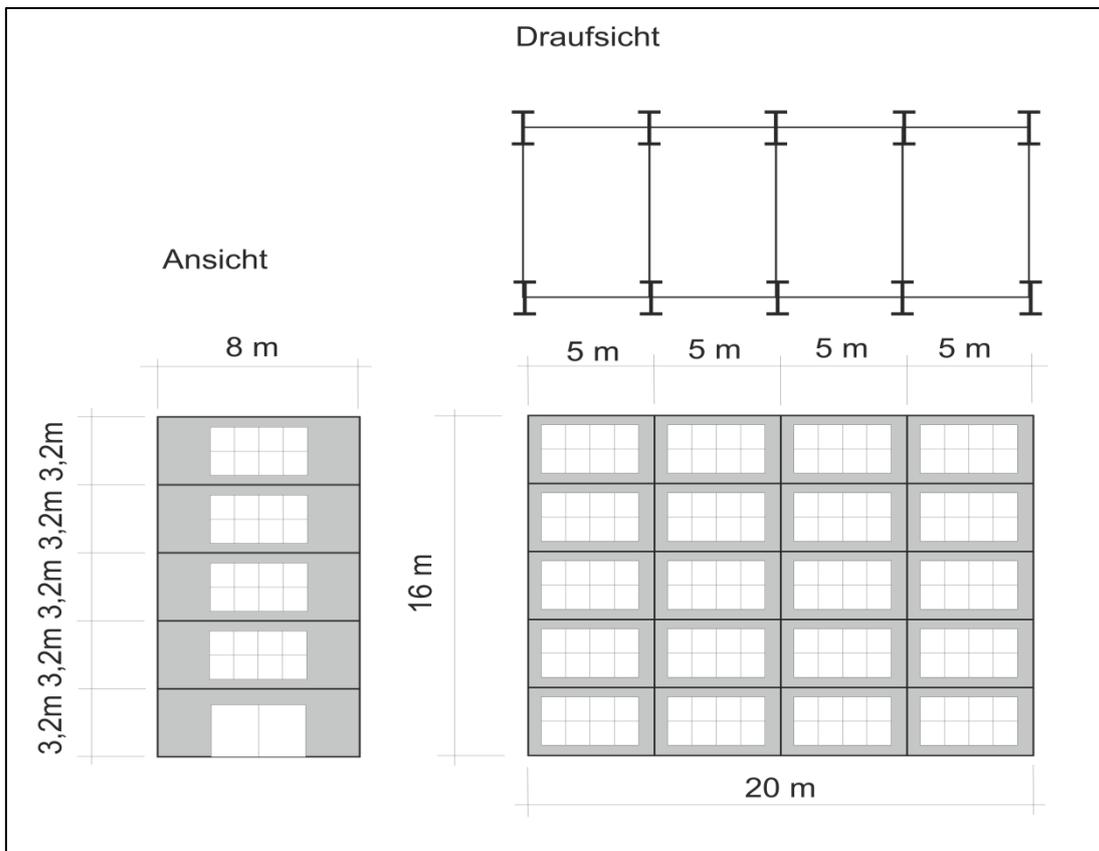


Abbildung 1: Skizze des Schulgebäudes, nicht maßstäblich (eigene Darstellung)

Folgende Daten sind zusätzlich über das Gebäude bekannt:

- 5-stöckiges Schulgebäude in Stahlrahmenbauweise mit Stahlbetondecken
- Ort: Italien, Celico
- Abmessungen: 8,00m x 20,00m
- Gebäudehöhe: $5 \times 3,2\text{m} = 16,00\text{m}$
- Binderabstand: 5,0m
- Boden: mitteldicht, kohäsionslos

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 4 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

2 Statisches System

2.1 Werkstoffeigenschaften

Baustahl

Die Nennwerte der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u für Baustahl sind in der Regel:
 S355: $f_y=355\text{e}6 \text{ N/m}^2$; $f_u=510\text{e}6 \text{ N/m}^2$ (EN 1993-1-1, Tabelle 3.1)

Anforderungen an die Duktilität

Für Stahl ist eine Mindestduktilität erforderlich. (EN 1993-1-1, 3.2.2)

Die Gleichmaßdehnung ε_u :

- 15%
 - $\varepsilon_u > 15 \cdot \varepsilon_y$ dabei ist $\varepsilon_y = f_y / E$
- $$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E} = 1,69\text{e} - 3 \Rightarrow 15 \times 1,69\text{e} - 3 = 0,025 < 0,15 \Rightarrow \varepsilon_u = 0,15$$

Bemessungswerte der Materialkonstanten

Für die in dem Teil des Eurocodes 3 geregelten Baustähle sind in der Regel folgende Werte für die Berechnung anzunehmen: (EN 1993-1-1, 3.2.6)

- Elastizitätsmodul $E = 2,1\text{e}11 \text{ N/m}^2$
- Schubmodul $G = E/2(1+\nu)$
- Poissonsche Zahl $\nu = 0,3$

Klassifizierung von Querschnitten

Stützen und Riegel Profil sind Querschnittsklasse 1 (EN1993-1-1, Tabelle 5.2)

Teilsicherheitsbeiwerte für die Grenzzustände der Tragfähigkeit

$\gamma_{M0} = 1,0$ (EN 1993-1-1, 6.1)

$\gamma_{M1} = 1,0$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 5 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

2.2 Anzusetzende seismische Masse

Eigengewicht

Regelgeschoss:

Stahlbetondecke/Riegel:	0,15m x 25000N/m ³	=	3,75e3 N/m ²
Estrich:	0,05m x 23000N/m ³	=	1,15e3 N/m ²
Innenwand: Zuschlag (<2000 N/m ²)		=	<u>8,0e2 N/m²</u>
	g_k	=	5,70e3 N/m ²
Fassade: Zuschlag 14% von g _k		=	8,0e2 N/m ²

Dachgeschoss:

Stahlbetondecke/Riegel:	0,15m x 25000 N/m ³	=	3,75e3 N/m ²
Estrich:	0,05m x 23000 N/m ³	=	1,15e3 N/m ²
Dachisolation		=	<u>8,0e2 N/m²</u>
	g_k	=	5,70e3 N/m ²

Eigengewicht für das Regelgeschoss und 1m Breite:

$$g_k = 5m \cdot \left(\frac{5,7e3N}{m^2} + \frac{8,0e2N}{m^2} \right) = 32,5e3 N/m$$

Eigengewicht für das Dachgeschoss und 1m Breite:

$$g_k = 5m \cdot \left(\frac{5,7e3N}{m^2} \right) = 28,5e3 N/m$$

Nutzlast

Bestimmung der Nutzungskategorie und der Nutzlast erfolgt nach EN1991-1, Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2)

Nutzungskategorie:	C1
Anzusetzende Nutzlast:	$q_k = 3,0e3 \frac{N}{m^2}$

Stockwerksmasse

Nach EC 8, Abschnitt 3.2.4 (Gl. 3.17) ermittelt sich die Masse unter seismischer Einwirkung wie folgt:

$$\sum G_{K,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{K,i} \text{ mit } \psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 6 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Die Werte für den Abminderungsfaktor φ (EC 8, Tabelle 4.2) und die Kombinationsbeiwerte für Hochbauten $\psi_{2,i}$ (EN 1990:2001, Tabelle A1.1) ergeben sich für das vorliegende Schulgebäude wie folgt:

- Dach: $\varphi_{Dach} = 1,0$
- Regelgeschoss mit in Beziehung zueinander stehender Nutzung $\varphi_{Geschoss} = 0,8$
- Nutzungslast für Versammlungsräume: $\psi_{2,i} = 0,6$
- Schneelast für Hochbauten <1000m über NN $\psi_{2,i} = 0,0$
- Dach Kategorie H: $\psi_{2,i} = 0,0$

Für das Regelgeschoss (RG) F_{RG} und für das Dachgeschoss (DG) F_{DG} ergibt sich eine Gewichtskraft von:

$$F_{RG} = 8m \cdot 5m \cdot \left[\left(5,7e3 \frac{N}{m^2} + 8,0e2 \frac{N}{m^2} \right) + 0,8 \cdot 0,6 \cdot 3e3 \frac{N}{m^2} \right] = 3,176e5 N$$

$$F_{DG} = 8m \cdot 5m \cdot \left[5,7e3 \frac{N}{m^2} + 8,0e2 \frac{N}{m^2} \cdot 0,5 \right] = 2,44e5 N$$

Die Masse der Fassade wird je zur Hälfte auf das Dachgeschoss und auf das 4. Regelgeschoss angesetzt.

Diese Gewichtskraft berechnet sich zu einer Masse M_{RG} und M_{DG}

$$M_{RG} = F_{RG}/g = \frac{3,176e5N \cdot 1000}{9,81 \frac{m}{s^2}} \approx 32500kg$$

$$M_{DG} = F_{DG}/g = \frac{2,44e5N \cdot 1000}{9,81 \frac{m}{s^2}} \approx 24900kg$$

Stockwerksmasse	Masse	Beschreibung
M_5	24900kg	DG
M_4	32500kg	RG
M_3	32500kg	RG
M_2	32500kg	RG
M_1	32500kg	RG
M_{ges}	154900kg	Gesamtmasse des Bauwerks

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 7 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

3 Lastannahmen

Die Ermittlung der Lastannahmen erfolgt nach DIN EN 1991-1-1, Tabelle 6.1 und 6.2. Der Zuschlag für die Innenwand ist der DIN EN 1991-1-1: 6.3.1.2-(8) entnommen.

3.1 Eigengewicht

Siehe Abschnitt „Anzusetzende seismische Masse“.

Eigengewicht für das Regelgeschoss und 1m Breite:

$$g_k = 5m \cdot \left(\frac{5,7e3N}{m^2} + \frac{8,0e2N}{m^2} \right) = 32,5e3 N/m$$

Eigengewicht für das Dachgeschoss und 1m Breite:

$$g_k = 5m \cdot \left(\frac{5,7e3N}{m^2} \right) = 28,5e4 N/m$$

3.2 Nutzlast

Bestimmung der Nutzungskategorie und der Nutzlast erfolgt nach EN1991-1, Tabelle 6.1 und Tabelle 6.2.

Nutzungskategorie: C1

Anzusetzende Nutzlast: $q_k = 3,0e3 \frac{N}{m^2}$

3.3 Schnee- und Windlasten

Begründung für Wegfall von Schnee- und Windlasten: Aufgrund der Kombinationsbeiwerte für Hochbauten $\psi_{2,i}$ für Schnee- und Windlasten (beide gleich 0) entfallen die Schnee- und Windlasten für dieses Beispiel. Bei anderen geographischen Gegebenheiten wären Schnee und Windlasten zu berücksichtigen. Vergleich mit EN 1990:2001, Tabelle A1.1.

3.4 Lastfallkombinationen

Kombination $\sum_{j \geq 1} G_{K,j} + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{K,i}$ (EN 1990, 6.4.3.4)

Dach: $\psi_{2,i} = 0$ (Tabelle A1.1, EN 1990)

andere: $\psi_{2,i} = 0,6$

Lastfallkombination Erdbeben (LFK1):

Dachgeschoss: $LFK1_{DG} = g_k + 0 \cdot q_k = 28,5e3 \frac{N}{m}$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 8 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Regelgeschoss: $LFK1_{RG} = g_k + 0,6 \cdot q_k = 32,5e3 \frac{N}{m} + 0,6 \cdot 3e3 \frac{N}{m^2} \cdot 5m = 41,5e3 \frac{N}{m}$

3.5 Erdbebenlasten

3.5.1 Elastisches Antwortspektrum

Ermittlung der Parameter Bodenbeschleunigung, Bauwerksbedeutung und Bodenklasse:

Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung siehe Karte:

Ort: Celico, Italien $\Rightarrow a_{gR} = 0,3g$

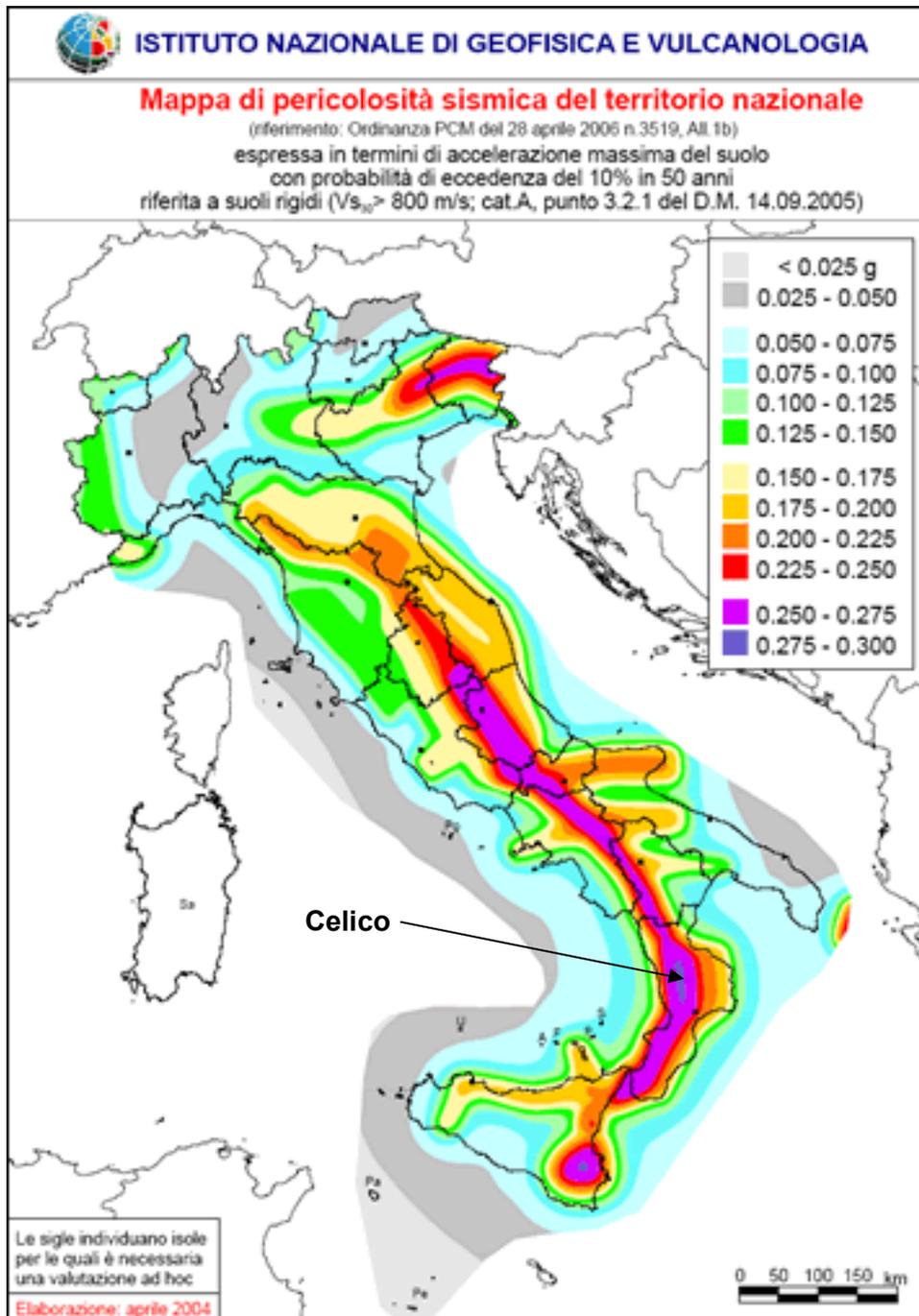


Abbildung 2: Gefährdungskarte von Italien, Wiederkehrperiode 475 Jahre

Bauwerksbedeutung

Schulen: Kategorie III $\rightarrow \gamma_1 = 1,2$

(EN 1998-1, Tabelle 4.3)

$$a_{gR} = a_{gR} \cdot \gamma_1 = 0,3g \cdot 1,2 = 0,36g$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 10 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Bodenklasse nach Tabelle 3.1, EN 1998-1:

Boden: mitteldicht, kohäsionslos ⇒ Baugrundklasse D

Baugrundklasse	S	$T_B(s)$	$T_C(s)$	$T_D(s)$
D	1,35	0,20	0,8	2,0

Horizontales elastisches Antwortspektrum nach EN 1998-1 (3.2.2.2)

$$0,0 \leq T \leq 0,2: \quad S_e(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot \left[1 + T \cdot \frac{2,5 \cdot 1,0 - 1,0}{0,2} \right]$$

$$0,2 \leq T \leq 0,8: \quad S_e(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot 2,5$$

$$0,8 \leq T \leq 2,0: \quad S_e(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot 2,5 \cdot \frac{0,8}{T}$$

$$2,0 \leq T \leq 4,0: \quad S_e(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot \frac{2,0}{T^2}$$

Vertikales elastisches Antwortspektrum

Vertikales elastisches Antwortspektrum nach EN 1998-1 (3.2.2.3)

Vertikale Beschleunigungen werden bei diesem statischen System nicht maßgebend!

3.5.2 Designspektrum

Bestimmung des q-Faktors nach Bild 6.1 und Tabelle 6.2, EN 1998-1

q-Faktor für V- Verbände: q=2 (Annahme: Duktilitätsklasse DCM)

$$S_d(T) = \frac{S_e(T)}{q}$$

$$0,0 \leq T \leq 0,2: \quad S_d(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot \frac{\left[1 + T \cdot \frac{2,5 \cdot 1,0 - 1,0}{0,2} \right]}{2,0}$$

$$0,2 \leq T \leq 0,8: \quad S_d(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot \frac{2,5}{2,0}$$

$$0,8 \leq T \leq 2,0: \quad S_d(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot 2,5 \cdot \frac{0,8}{T \cdot 2,0}$$

$$2,0 \leq T \leq 4,0: \quad S_d(T) = 0,36g \cdot 1,35 \cdot 2,5 \cdot 0,8 \cdot \frac{2,0}{T^2 \cdot 2,0}$$

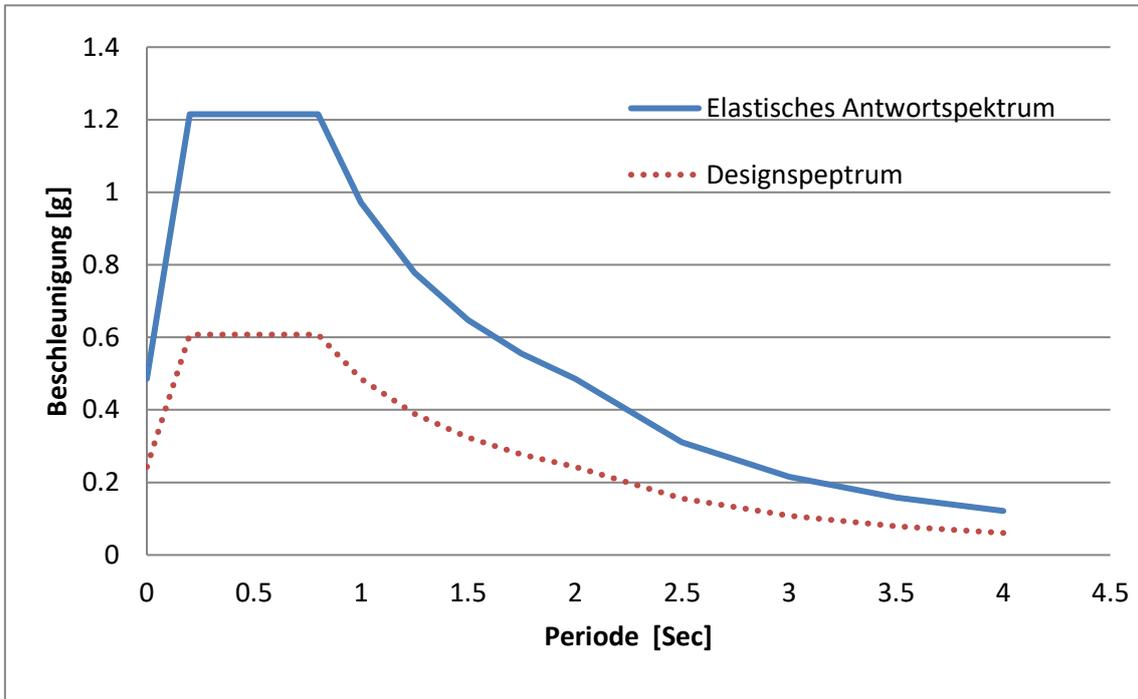


Abbildung 3: Darstellung des elastischen Antwortspektrum und des Designspektrums

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 12 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

4 HYDE System

4.1 Statisches System

Bei der hier vorliegenden Beispielaufgabe handelt es sich um ein in Celico (Italien) stehendes Schulgebäude, welches nach dem Zeitverlauf-Nachweisverfahren nach EC 8 dimensioniert werden soll. Die Materialien, Lasten und Massen sind gleich mit denen des Fachwerkmodells, welche mit dem linearen Verfahren berechnet und nachgewiesen wurden.

Das statische System wird als Hyde System mit Shear Panel aus einem 5-stöckigen Stahlrahmen modelliert.

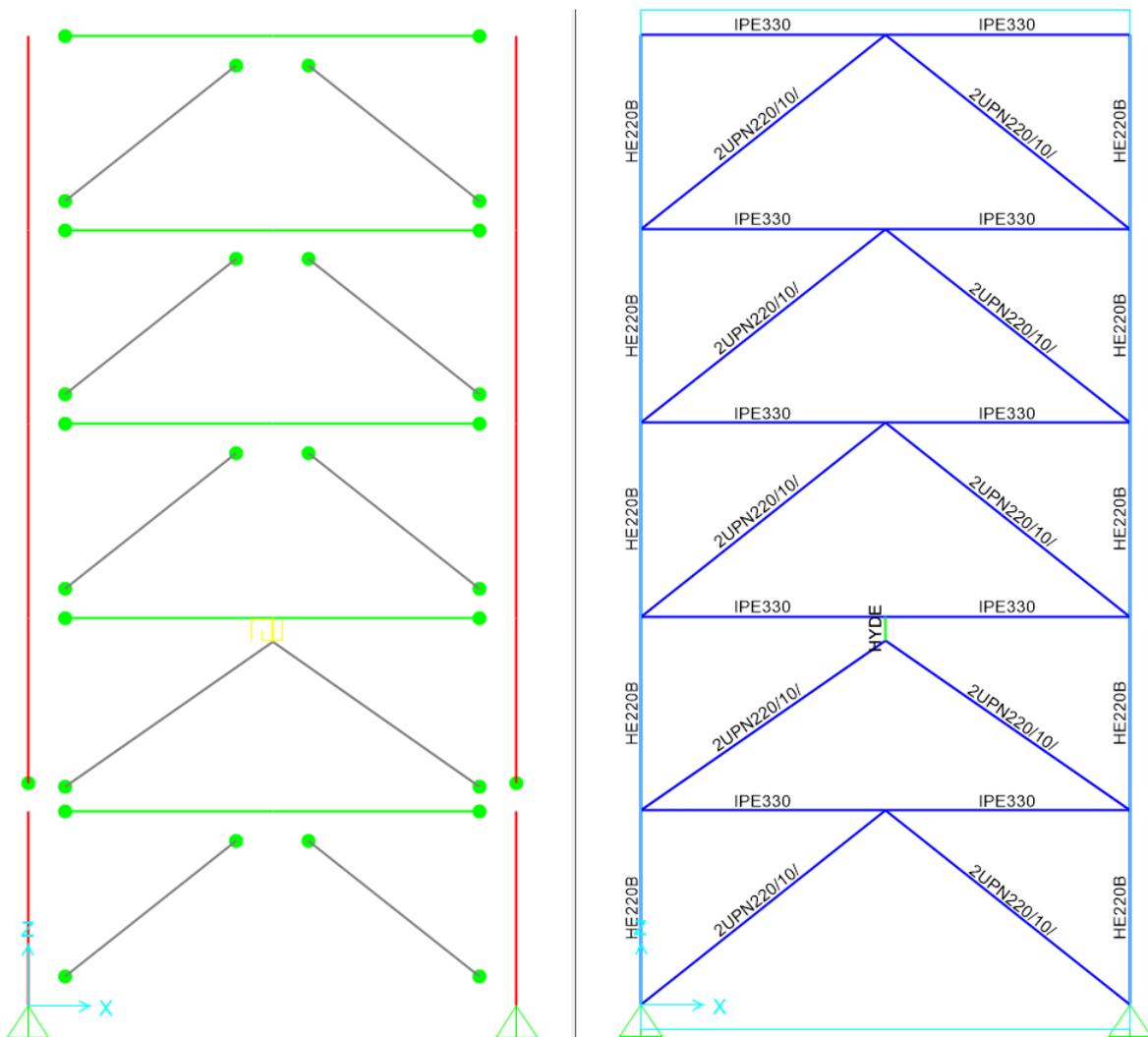


Abbildung 4: Element- und Knotennummerierung aus SAP 2000

Definition des Shear Panel – BoucWen link

Das unten abgebildete Modell ermöglicht die Aufstellung einer Formel unter Einfluss der Scherkraft und des Biegemoments, die als gute Annahme für das SPD-Design gilt. Der verwendete E-Modul wird mit 210.000 N/mm² und die Fließspannung mit 235 N/mm² angenommen. Es wird eine maximale Scherverschiebung von 5mm angesetzt. Es kann die folgende Tabelle für Fließkraft und Steifigkeit von SL darstellen.

$F_y [N]$	$K [N/m]$
10e3	2,0e ⁶
50e3	1,0e ⁷
100e3	2,0e ⁷
200e3	4,0e ⁷
400e3	8,0e ⁷
800e3	1,2e ⁸
1200e3	2,4e ⁸
3000e3	6,0e ⁸

Tabelle 1: Fließkraft und Steifigkeit des SL

Das 2. Geschoss wird als Weichgeschoss definiert. Der Shear Panel wird in der Verbindung zwischen Diagonal- und Balkenelementen des 2. Geschosses eingesetzt. Der Shear Panel ist als ein LINK-Element definiert worden (siehe Abbildung). In SAP 2000 kann man die Bouc-Wen Eigenschaften vollständig mit vier Parametern (K , $yield (F_y)$, $ratio$, exp) definieren **Tabelle 1**. Die nichtlineare Kraft-Verformungs-Beziehung ist wie folgt gegeben.

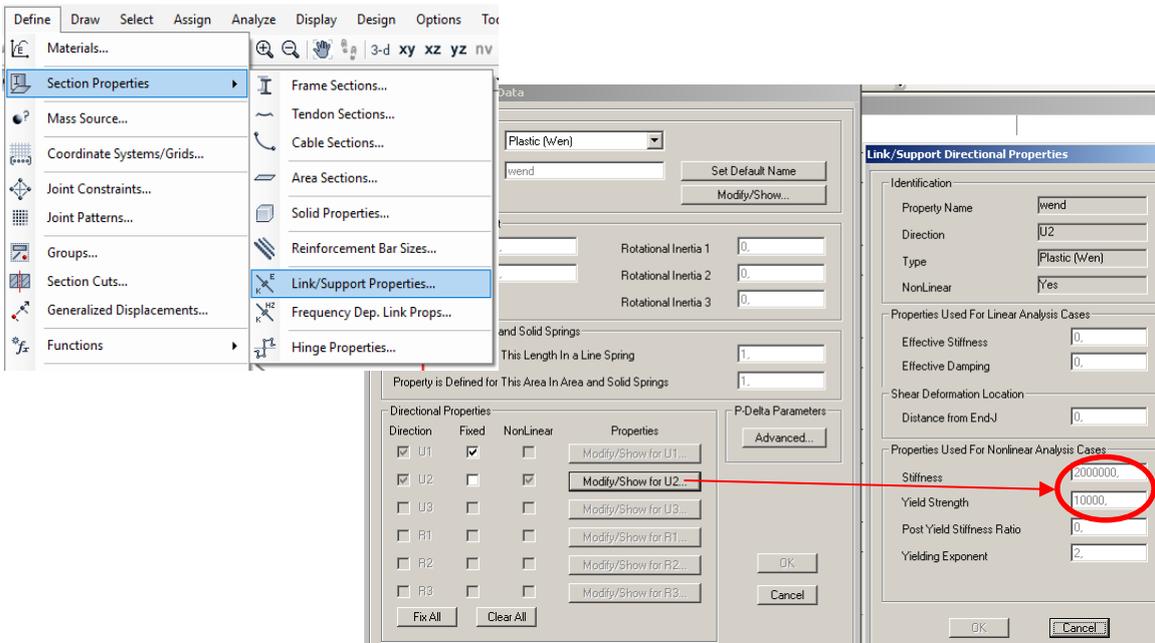


Abbildung 5 : Definition eines Shear Panel

4.2 Ergebnisdarstellung

Nachfolgend aufgeführte Tabellen sind mit Hilfe von SAP 2000 berechnet worden.

Erdbeben1

Fy [N]	Max. Link Verschiebung [m]	Moment [Nm]	Normalkraft [N]
10 e3	0,4199	1055,3 e3	926,4 e3
50 e3	0,2567	640,5 e3	746,7 e3
100 e3	0,1424	356,5 e3	689,3 e3
200 e3	0,1151	290,4 e3	765,6 e3
400 e3	0,0739	189,8 e3	897,9 e3
800 e3	0,0602	105,6 e3	1123,8 e3
1600 e3	0,0349	87,8 e3	1485,1 e3
3200 e3	0,0353	85,8 e3	1688,5 e3

In den nachfolgenden drei Abbildungen werden die horizontale Verschiebung des Shear Panel und das Moment in der Stütze 1. OG dargestellt.

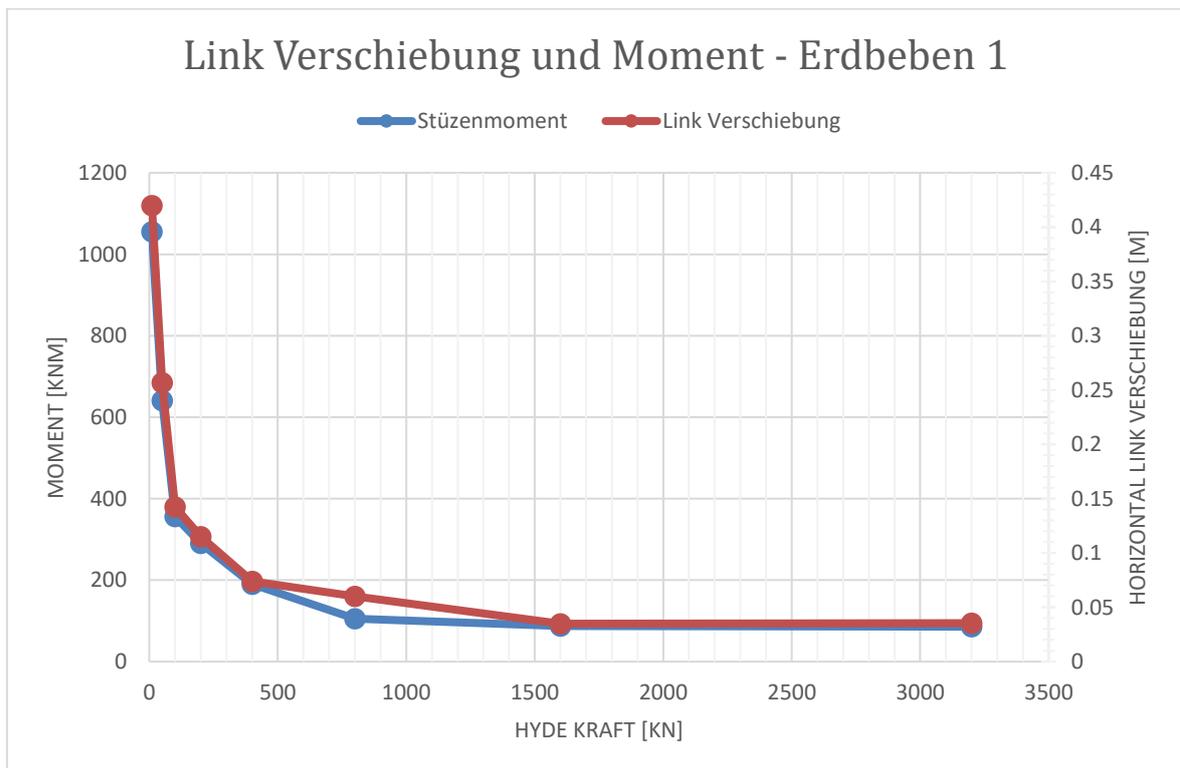


Abbildung 6 : Link Verschiebung des HYDE System und Moment in Stützen 1.OG

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 15 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

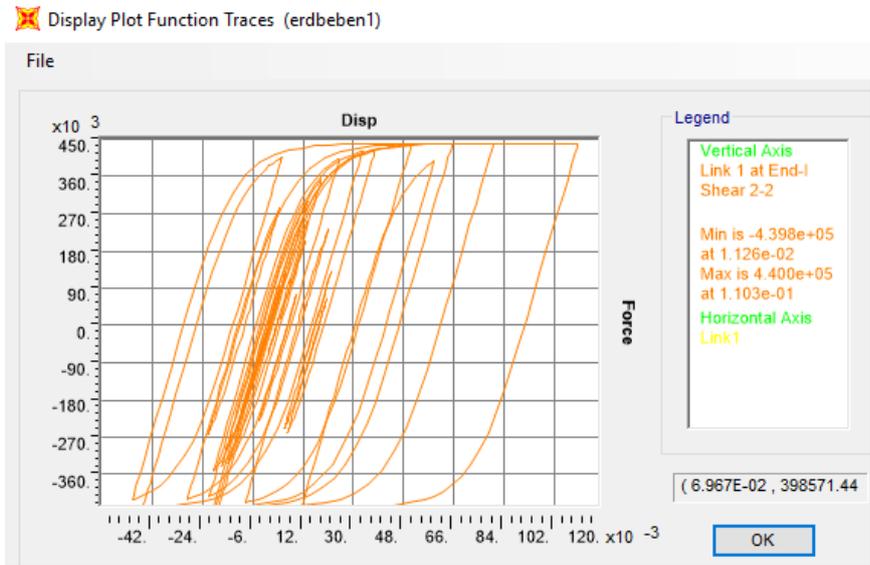


Abbildung 7 : Beispiel für eine Hystereseschleife

4.3 Design Kurve

Die erforderliche Hyde Kraft ist so zu wählen, dass die Stütze elastisch bleibt.

$$\text{Design elastische Kriterium: } \sigma = \frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_y}{W_{el}} \leq f_y \rightarrow M_y \leq \left(f_y - \frac{N_{Ed}}{A} \right) \cdot W_{el}$$

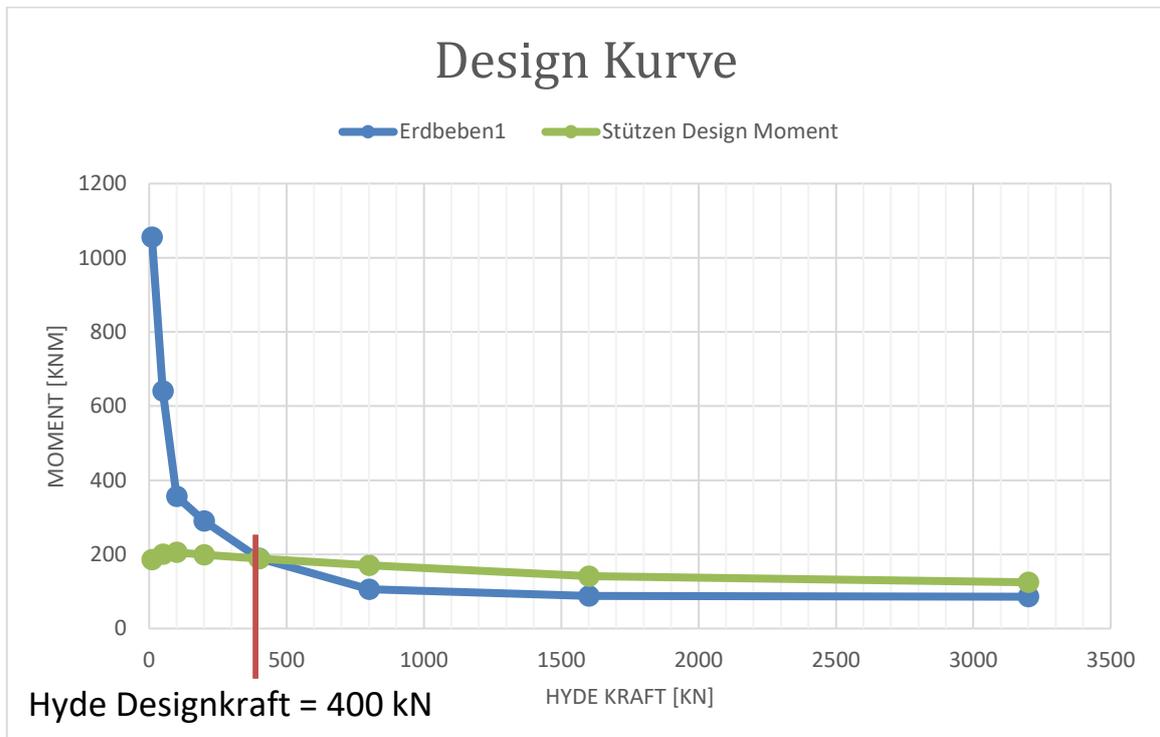
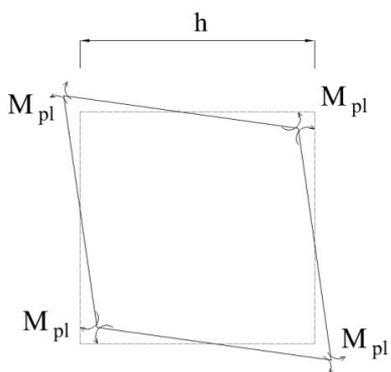


Abbildung 8 : Design Kurve

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 16 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

4.4 Design des Shear Panel

Das unten abgebildete Modell ermöglicht die Aufstellung einer Formel unter Einfluss der Scherkraft und des Biegemoments, die als gute Annahme für das SPD-Design gilt. Die Summe Kräfte aus Steg und Flansch die max. aufnehmbare Kraft des ShearPanel. Zur Reduzierung der Spannungskonzentration ergeben in den Ecken werden diese elliptisch ausgeführt. Für $F_y = 400 \text{ kN}$



$$F_y = f_y \cdot \left(\frac{t_{Steg} \cdot h}{\sqrt{3}} + 4 \cdot \frac{b \cdot t_{Flansch}^2}{h \cdot 4} \right)$$

- F_y : Hyde Kraft
- f_y : Streckgrenze des verwendeten Stahls
- h : Seitenlänge der Schubfeldes
- b : Breite des Flansches
- t_{Steg} : Blechdicke des Steges
- $t_{Flansch}$: Blechdicke des Flansches

Es wird Shear Panel aus S235, einer Seitenlänge $h = 400 \text{ mm}$ und einer Flanschdicke von $t_f = 8 \text{ mm}$ gewählt.

$$F_y = \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot A_{Schub} = \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot h \cdot t_f = \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot 400 \cdot 8 = 440000 \text{ N}$$

Die Fließverschiebung des Shear Panels beträgt:

$$\delta_y = \frac{\tau_{Rd}}{G} \cdot h = \frac{\frac{235}{\sqrt{3}}}{\frac{81000}{1,0}} \cdot 400 = 0,67 \text{ mm}$$

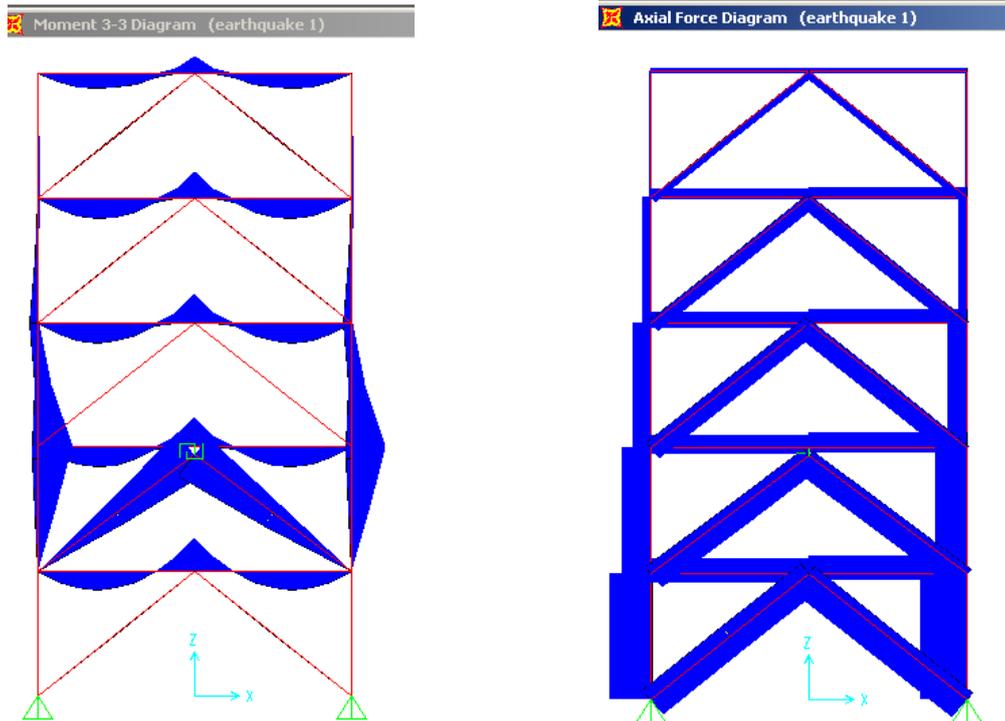
Die plastische Grenzverschiebung wird wie folgt abgeschätzt.

$$\epsilon_u = 0,15$$

$$\delta_u = \frac{\sqrt{2} \cdot \epsilon_u \cdot (\sqrt{2} \cdot a)}{1,0} = 120 \text{ mm}$$

4.5 HYDE System Nachweise

Schnittgrößen aus dem Zeitverlaufe Analysis für HYDE Kraft $F_y=440000\text{N}$ aus dem SAP2000 Programm ist:



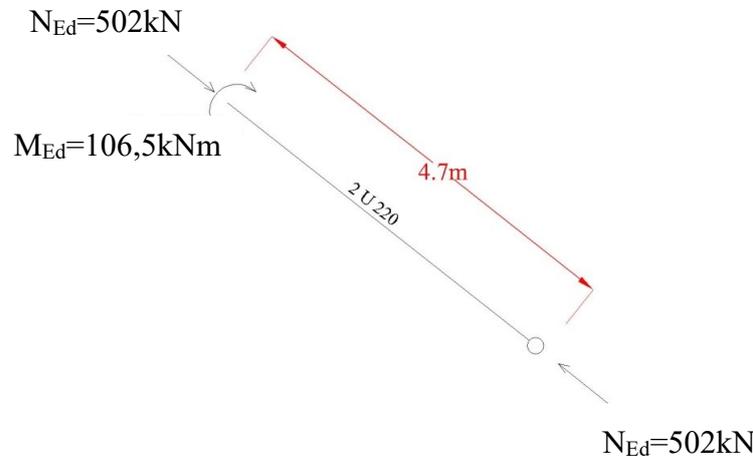
Schnittgrößen aus des Zeitverlaufsrechnung Analysis für HYDE Kraft $F_y=440\text{ kN}$ aus dem SAP2000 Programm ist:

	M [Nm]	V [N]	N [N]
Riegel des 2. OG	87,2e3	105e3	380e3
V-Verband des 1. OG	106,5e3	21,8e3	502e3
Stütze des 1. OG	282,3e3	88,2e3	873e3

Für die folgenden Nachweise werden die Schnittgrößen aus dem Zeitverlauf Analysis verwendet.

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 18 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

4.5.1 V-Verband des 1. OG



Der Nachweis erfolgt nach EN 1993-1-1, 6.3.1.

2UPN 220, S355: $A = 7,48e-3 \text{ (m}^2\text{)}$ $W_y = 4,90e-4 \text{ (m}^3\text{)}$ $I_y = 5,38e-5 \text{ (m}^4\text{)}$
 $W_{pl} = 5,24e-4 \text{ (m}^3\text{)}$ $I_z = 3,94e-6 \text{ (m}^4\text{)}$

Durch Biegung und Druck beanspruchte Bauteile müssen in der Regel folgende Anforderungen erfüllen.

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\frac{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (\text{EN 1993-1-1, Gl. 6.61})$$

$N_{Ed}, M_{y,Ed}$ die Bemessungswerte der einwirkenden Druckkraft und der einwirkenden maximalen Momente um die y-y Achse.
 $\Delta M_{y,Ed}, \Delta M_{z,Ed}$ die Momente aus der Verschiebung der Querschnittsachsen von Klasse-4-Querschnitten nach 6.2.9.3 sind, siehe Tabelle 6.1. Für Klasse 1 sind die beide Null
 χ_y, χ_z die Abminderungsbeiwerte für Biegeknicken nach 6.3.1
 χ_{LT} der Abminderungsbeiwerte für Biegedrillknicken nach 6.3.2
 $k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ die Interaktionsfaktoren

Als (EN 1993-1-1, Tabelle 6.7)

$$N_{Rk} = f_y \cdot A = 3,55e8 \cdot 7,48e-3 = 2655e3 \text{ N}$$

$$\Delta M_{y,Ed} = 0$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{pl} = 3,55e8 \cdot 5,24e-4 = 186e3 \text{ Nm}$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 19 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Die anzunehmende Form der Imperfektionen eines Gesamttragwerkes und örtlicher Imperfektionen eines Tragwerks kann aus der Form der maßgebenden Eigenform in der betrachteten Ebene hergeleitet werden.

Globale Anfangsschiefstellung:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200} \quad \text{der Ausgangswert}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{L}} \quad \text{der Abmilderungsfaktore für Höher h von Stützen}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{4,7}} = 0,92$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad \text{der Abminderungsfaktor für Anzahl der Stützen in einer Reihe}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 0,92 \cdot 0,866 = 3,98e - 3$$

$$M_{y,Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot l \cdot \phi = 106,5e3 + 502e3 \cdot 4,7 \cdot 3,98e - 3 = 115,9e3 Nm$$

Für planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe ist in der Regel folgender Nachweis gegen Biegeknicken zu führen:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1e11 \cdot 5,38e - 5}{(0,7 \cdot 4,7)^2} = 10301e3 N$$

Fall 3: $L_{cr}=0,7L$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{7,48e-3 \cdot 3,55e8}{10301e3}} = 0,51 \quad (\text{EN 1993-1-1, Gl. 6.50})$$

Achse y-y (Schneider 8.25)

$$2UPN: h/b=220/(2 \cdot 80)=1,38 > 1,2$$

$$t_f = 12,5mm < 40mm$$

S355

→ Knicklinie a (Schneider 8.26)

$$\rightarrow \chi_y = 0,92$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 20 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Interaktionsbeiwerte k_{yy} :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 0,0 = 0,6 \Rightarrow C_{my} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \left(1 + \frac{(0,51 - 0,2)502e3}{\frac{0,92 \cdot 2,655e6}{1,0}} \right) \leq 0,6 \left(1 + 0,8 \frac{502e3}{\frac{0,92 \cdot 2,655e6}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,638 \leq 0,7$$

Das ideale Biegedrillknickmoment M_{cr} kann der Literatur, z. B (Bautabellen für Ingenieure 3.3.2 a), entnommen werden

$$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr,z} \cdot \left[\sqrt{(c^2 + 0,25 \cdot z_p^2)} + 0,5 \cdot z_p \right] \quad (\text{Schneider 8.33})$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1e11 \cdot 3,94e - 6}{4,7^2} = 369,7e3 \text{ N}$$

$L=4,7 \text{ m}$ Abstand der Gabellager

$\zeta = 1,77$ Momentenbeiwert für Gabellagerung an den Stabenden (Tafel 8.34a)

$z_p=h/2=0,11\text{m}$ Abstand des Angriffspunktes der Belastung vom Schwerpunkt, bei rückdrehender Wirkung der Belastung positiv.

$c^2 = (I_w + 0,039 \times l^2 \times I_T)/I_z$ Drehradius des Querschnitts.

$I_T = 3,24e - 7\text{m}^4$ Torsionsflächenmoment 2. Grades (Sap2000-Section Properties)

$I_w = 4,24e - 8\text{m}^6$ Wölbflächenmoment 2. Grades bezogen auf den Schubmittelpunkt:

$$I_w = \frac{(h-t_f)^2}{4} \left[I_z - A \left(c_z - \frac{t_w}{2} \right)^2 \left(\frac{(h-t_f)^2 A}{4I_y} - 1 \right) \right]$$

$$c^2 = \frac{(4,24e - 8 + 0,039 \times 4,7^2 \times 3,24e - 7)}{3,94e - 6} = 0,078\text{m}^2$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 21 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

$$M_{cr} = 1,77 \times 369,7e3 \times \left[\sqrt{(0,078 + 0,25 \times 0,11^2)} + 0,5 \times 0,11 \right] = 222e3 \text{ Nm}$$

Für gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte unter Biegebeanspruchung werden die Werte χ_{LT} mit dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{jedoch } \chi_{LT} \leq 1,0 \quad (\text{EN 1993-1-1, Gl. 6.47})$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

α_{LT} der Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie für das Biegedrillknicken.

$$\alpha_{LT} = 0,49 \text{ (Linie c)} \quad (\text{EN 1993-1-1, Tabelle 6.3, 6.4})$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (Höchstwert)} \quad (\text{EN 1993-1-1, 6.3.2.3})$$

$$\beta = 0,75 \text{ (Mindestwert)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{5,24e - 4 \cdot 3,55e8}{222e3}} = 0,92$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + 0,49(0,92 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,92^2 \right] = 0,94$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,94 + \sqrt{0,94^2 - 0,75 \cdot 0,92^2}} = 0,69 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{502e3}{\frac{0,92 \cdot 2655e3}{1,0}} + 0,638 \cdot \frac{115,9e3 + 0,0}{0,69 \cdot \frac{186e3}{1,0}} + 0,0 \leq 1$$

$$0,21 + 0,58 = 0,79 < 1,0$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 23 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

$$M_{y,Rk} = f_y \times W_y = 3,55e8 \times 8,27e - 4 = 293,6e3 Nm$$

Die anzunehmende Form der Imperfektionen eines Gesamttragwerkes und örtlicher Imperfektionen eines Tragwerks kann aus der Form der maßgebenden Eigenform in der betrachteten Ebene hergeleitet werden.

globale Anfangsschiefstellung:

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200} \quad \text{der Ausgangswert}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{der Abmilderungsfaktore für Höher h von Stützen}$$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{2,8}} = 1,19$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad \text{der Abminderungsfaktor für Anzahl der Stützen in einer Reihe}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = \frac{1}{200} \cdot 1,19 \cdot 0,866 = 5,15e - 3$$

$$M_{y,Ed} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot L \cdot \phi = 282,3e3 + 873e3 \cdot 2,8 \cdot 5,15e - 3 = 295e3 Nm$$

Für planmäßig zentrisch belastete Druckstäbe ist in der Regel folgender Nachweis gegen Biegeknicken zu führen:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1e11 \cdot 8,09e - 5}{(0,7 \cdot 2,8)^2} = 43647e3 N$$

Fall 3: $L_{cr}=0,7L$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{9,1e-3 \cdot 3,55e8}{43647e3}} = 0,27 \quad (\text{EN 1993-1-1, Gl. 6.50})$$

Achse y-y (Schneider 8.25)

HEB220: $h/b=1,0 < 1,2$

$t_f = 16\text{mm} < 100\text{mm}$

S355

→ Knicklinie b (Schneider 8.26)

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 24 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

$$\rightarrow \chi_y = 0,977$$

Interaktionsbeiwerte k_{yy} :

$$k_{yy} = C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$$

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \times 0 = 0,6 \Rightarrow C_{my} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,6 \left(1 + \frac{(0,272 - 0,2)873e3}{\frac{0,977 \cdot 3230,5e3}{1,0}} \right) \leq 0,6 \left(1 + 0,8 \frac{873e3}{\frac{0,977 \cdot 3230,5e3}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,61 \leq 0,73$$

Das ideale Biegedrillknickmoment M_{cr} kann der Literatur, z. B. (Bautabellen für Ingenieure 3.3.2 a), entnommen werden

$$M_{cr} = \zeta \cdot N_{cr,z} \cdot \left[\sqrt{(c^2 + 0,25 \cdot z_p^2)} + 0,5 \cdot z_p \right]$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1e11 \cdot 2,84e-5}{2,8^2} = 7508e3 \text{ N}$$

$l=2,8\text{m}$ Abstand der Gabelager

$\zeta = 1,77$ Momentenbeiwert für Gabelagerung an den Stabenden (Tafel 8.34a)

$z_p = h/2 = 0,11\text{m}$ Abstand des Angriffspunktes der Belastung vom Schwerpunkt, bei rückdrehender Wirkung der Belastung positiv.

$c^2 = (I_w + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T) / I_z$ Drehradius des Querschnitts.

$I_T = 7,66e-7 \text{m}^4$ Torsionsflächenmoment 2. Grades (Tafel 8.190)

$I_w = 2,954e-7 \text{m}^6$ Wölbflächenmoment 2. Grades bezogen auf den Schubmittelpunkt (Tafel 8.190)

$$c^2 = (2,954e-7 + 0,039 \cdot 2,8^2 \cdot 7,66e-7) / 2,84e-5 = 0,019 \text{ m}^2$$

$$M_{cr} = 1,77 \cdot 7508e3 \cdot \left[\sqrt{(0,019 + 0,25 \cdot 0,11^2)} + 0,5 \cdot 0,11 \right] = 2687e3 \text{ Nm}$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 25 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Für gewalzte oder gleichartige geschweißte Querschnitte unter Biegebeanspruchung werden die Werte χ_{LT} mit dem Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_{LT}$ aus der maßgebenden Biegedrillknicklinie nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{jedoch } \chi_{LT} \leq 1,0 \quad (\text{EN 1993-1-1, Gl. 6.47})$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

α_{LT} der Imperfektionsbeiwert für die maßgebende Knicklinie b (h/b=1,0<2) für das Biegedrillknicken.

$$\alpha_{LT} = 0,34 \quad (\text{EN 1993-1-1, Tabelle 6.3, 6.4})$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ (Höchstwert)} \quad (\text{EN 1993-1-1, 6.3.2.3})$$

$$\beta = 0,75 \text{ (Mindestwert)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,27e - 4 \cdot 3,55e8}{2687e3}} = 0,33$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 [1 + 0,34(0,33 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,33^2] = 0,53$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,53 + \sqrt{0,53^2 - 0,75 \cdot 0,33^2}} = 1,03 \Rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

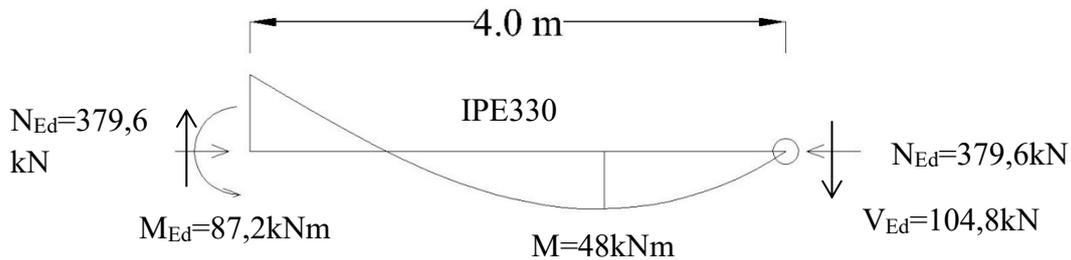
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{873e3}{0,977 \cdot 3230,5e3} + 0,61 \cdot \frac{295e3 + 0,0}{1,0 \cdot \frac{293,6e3}{1,0}} + 0,0 \leq 1$$

$$0,28 + 0,61 = 0,89 \leq 1,0$$

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 26 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

4.5.3 Nachweis Riegel 2.OG



Der Nachweis erfolgt nach EN 1993-1-1, 6.3.1.

IPE 330:

$$\begin{array}{lll}
 A=6,26e-3 & W_y=7,13e-4 & I_y=1,1770e-4 \\
 i_{\min}=3,55e-2 & W_{pl}=8,04e-4 & I_z=7,88e-6 \\
 M_{pl,y,Rd}=285,5e3 \text{ Nm} & V_{pl,z,Rd}=631,3e3 \text{ N} & N_{pl,Rd}=2222e3 \text{ N}
 \end{array}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,z,Rd}} = \frac{104,8e3}{631,3e3} = 0,166 < 0,5$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{379,6e3}{2222e3} = 0,171 < 0,25$$

$$0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,5 \cdot 0,33 \cdot 0,0075 \cdot \frac{3,55e8}{1,0} = 439,3e3 \text{ N} > N_{Ed} = 379,6e3 \text{ N}$$

$$M_{N,y,Ed} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{379,6e3}{2222e3} = 0,171$$

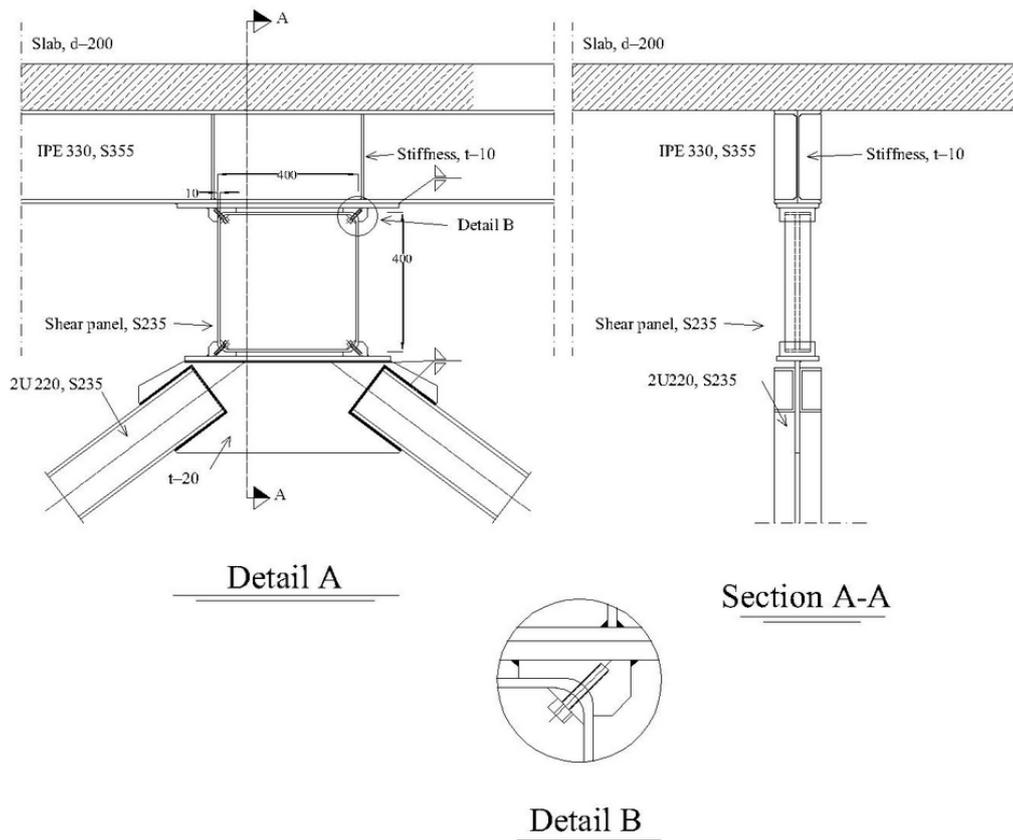
$$a = \min \left\{ \frac{A-2bt_f}{A}, 0,5 \right\} = \min \left\{ 0,41, 0,5 \right\} = 0,41$$

$$M_{N,y,Ed} = M_{pl,y,Rd} \cdot \frac{1-n}{1-0,5 \cdot a} = 285,5e3 \cdot \frac{1-0,171}{1-0,5 \cdot 0,41} = 298,2e3 \text{ Nm}$$

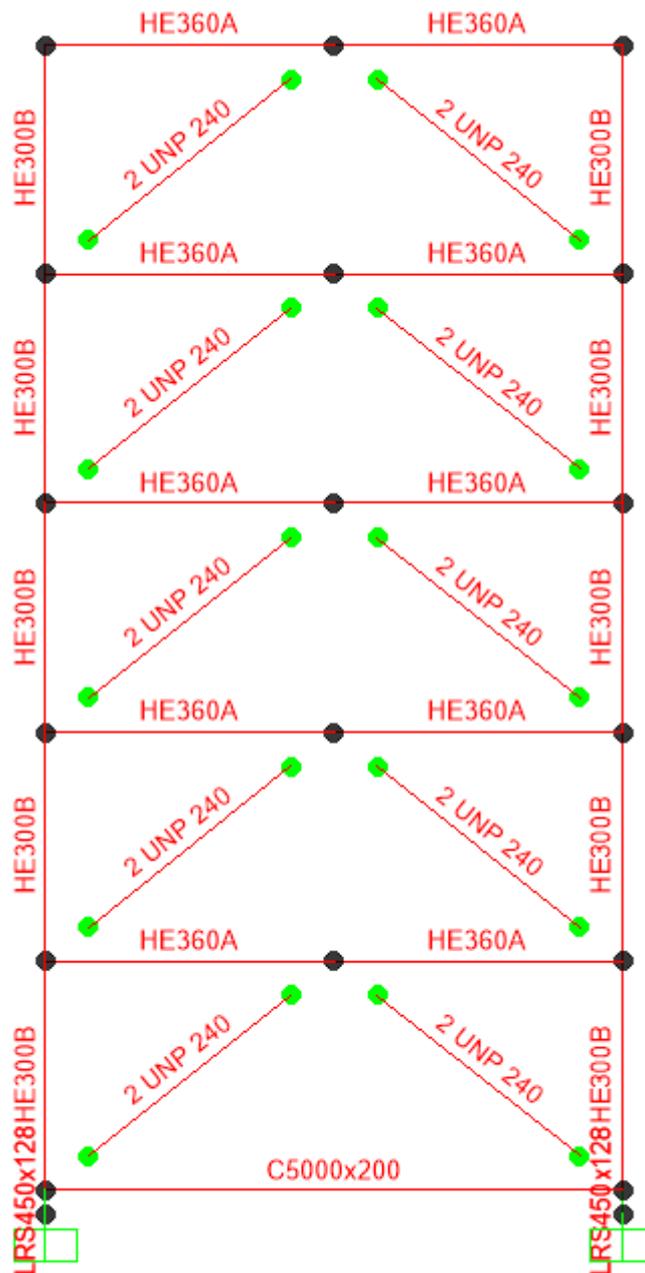
$$\frac{M_{Ed}}{M_{N,y,Ed}} = \frac{87,2e3}{298,2e3} = 0,29 \leq 1,0$$

Nur für Lehrzwecke: keine Gewähr für die Richtigkeit aller Einzelheiten

5 Konstruktionszeichnungen



6 Base Isolation



Mit dem Entwurf der "Base Isolation" ist es möglich, den Überbau mit nicht-seismischen Details zu entwerfen, indem die gesamte Nichtlinearität in der Isolierschicht konzentriert wird. Der Entwurf wird in Übereinstimmung mit EC8, Kapitel 10. Für diese Übung wird der lead rubber Bearig (LRS) verwendet.

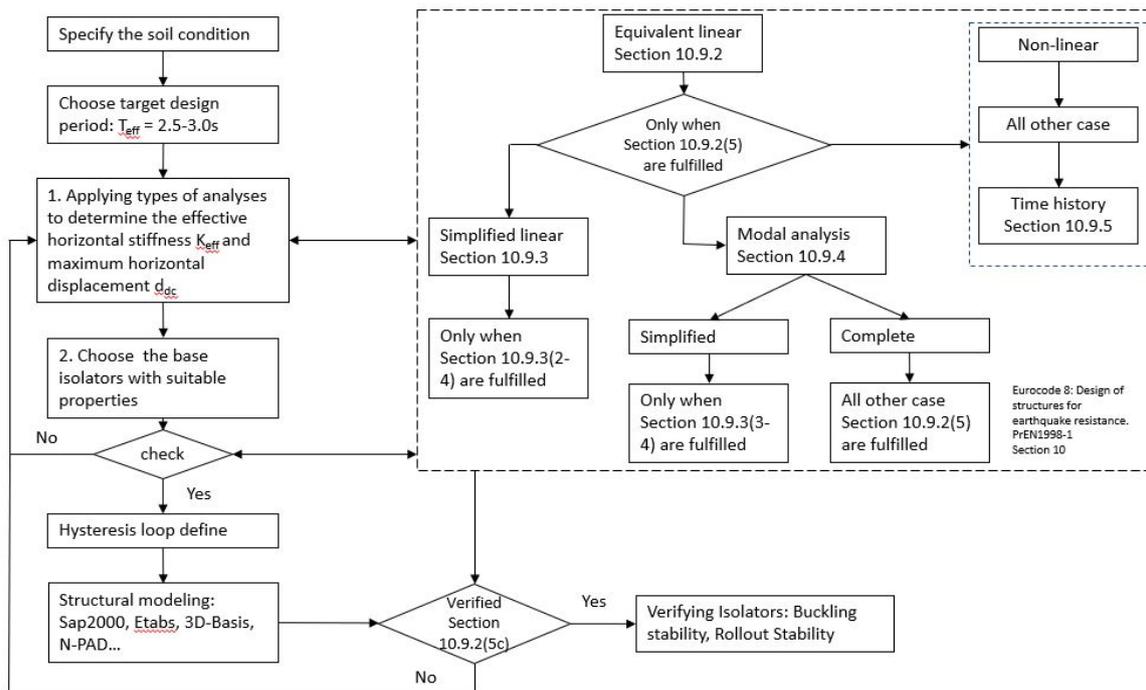
6.1 Iteratives Bemessungsverfahren

Nur für Lehrzwecke: keine Gewähr für die Richtigkeit aller Einzelheiten

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 29 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Die Vordimensionierung der Strukturelemente und erste Wahl der Isolationseinrichtungen erfolgt in der Regel unter Verwendung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit für vertikale Lasten. Mit diesen Lasten ist es möglich, HEB240 für die Stützen und HEA320 für die Träger zu verwenden.

Der Entwurf solcher Strukturen erfordert die Anwendung eines iterativen Verfahrens, das in der nachstehenden Abbildung zusammengefasst ist.



Bei dem in der Berechnung verwendeten Gebäude handelt es sich um dieselbe Schule, die im vorherigen Beispiel entworfen wurde. Daher wird die folgende Massenmatrix verwendet:

$$MM := \begin{pmatrix} 2 \cdot 17840 \text{kg} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 \cdot 17840 \text{kg} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \cdot 17505 \text{kg} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 \cdot 17505 \text{kg} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 \cdot 13500 \text{kg} \end{pmatrix}$$

mit einer Gesamtmasse $M = 1.684 \times 10^5 \text{kg}$.

Wie in Kapitel 10.7 der EC8 angegeben, muss der q-Faktor den Wert 1 haben. Darüber hinaus beträgt der Dämpfungsfaktor 10% für die effektiven Modalformen (normalerweise

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 30 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

die ersten 3 für eine 3D-Analyse und die erste modale Form für eine 2D-Analyse) und 5% für die höheren Modalformen.

Da das Isolationssystem auf die erste Modalform wirkt, wird der Dämpfungsfaktor von 10% in die Berechnung einbezogen. Weiterhin wird eine Wirkungsdauer für die isolierte Struktur $T_{eff}=3$ sec gewählt. Mit diesen Werten ist es möglich, die Beschleunigung $S_{d,Teff}=0,641$ m/s² zu berechnen.

Zur Durchführung einer gleichwertigen Linear-Analyse ist es notwendig, die in EC8 10.9.2 aufgeführten Anforderungen zu erfüllen. Wenn die in Kapitel 10.9.3(5) aufgeführten Bedingungen erfüllt sind, ist es möglich, die vereinfachte lineare Analyse zu verwenden. Um zu sehen, ob die Anforderungen erfüllt sind, wird davon ausgegangen, dass sie erfüllt sind. Auf diese Weise ist es möglich, die in 10.9.3 vorgeschlagenen vereinfachten Formeln zu verwenden. Schauen wir, ob die Anforderungen erfüllt sind, indem wir die effektive Steifigkeit der Struktur K_{eff} berechnen, um dann auf jede Vorrichtung $K_{r,unit}$.

$$K_{eff} = \frac{4\pi^2 M}{T_{eff}^2} = 0.739 \frac{kN}{mm}$$

$$K_{r,unit} = \frac{K_{eff}}{2} = 0.369 \frac{kN}{mm}$$

Mit diesen Werten ist es möglich, die Bemessungsverschiebung d_{dc} zu berechnen:

$$d_{dc} = \frac{MS_{d,Teff}}{K_{eff}} = 146 \text{ mm}$$

Aus dem Algasim-Katalog (ALGASISMUS_HDRB& LRB) der LRS ist es möglich, ein Gerät auszuwählen, das eine solche Verschiebung zulässt. Das Gerät ist LRS 400x112.

Maximum der vertikalen Belastung (ULS): $V_{max} = 1000kN$

Vertikale Belastung unter seismischen Bedingungen: $V_{sism} = 450kN$

Insgesamt wirksame Steifigkeit: $K_{r,LRS} = 0,67 \frac{kN}{mm}$

Horizontale Steifigkeit des Elastomers: $K_r = 0,44 \frac{kN}{mm}$

Horizontale Steifigkeit des Bleis: $K_{lead} = 4,47 \frac{kN}{mm}$

Horizontale maximale Verschiebung: $S_{max,LRS} = 230mm$

Insgesamt hohe & elastomere Dicke: $H_{LRS} = 305mm$ $t_{e,LRS} = 234mm$

Horizontale Streckgrenze: $F_y = 42kN$

Effektive Dämpfung: $\beta_{eff} = 28\%$

Durchmesser des Elastomers: $D = 400mm$

Gesamtabmessungen: $B = D + 50mm = 450mm$

Schermodul $G = 0.4 \frac{N}{mm^2}$

Zugverformung (Bruchdehnung min (%)): $\epsilon = 750\%$

Physikalisch-mechanische Eigenschaften der Gummimischung:

Härte - Shore A3: 40+/-3

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 31 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Elastizitätsmodul: $E = 1.35 \frac{N}{mm^2}$
 Materialkonstante: $k_m = 0,87$
 Formfaktor: $f_s = 10$

Die Bedingung in 10.9.2 (5) a) verlangt, dass die effektive Steifigkeit des Isolationssystems bei der Sekante mindestens 50% der effektiven Steifigkeit bei 20% der konstruktiven Verlagerung beträgt.

$$K_{eff,0.2d} = \frac{MS_{d,Teff}}{0.2d_{dc}} = 3.693 \frac{kN}{mm}$$

$$\left(K_{lead} = 4.47 \frac{kN}{mm} \right) \geq \left(0.50 K_{eff,0.2d} = 1.847 \frac{kN}{mm} \right) \text{ erfüllt}$$

Die Bedingung in 10.9.2 (5) b) verlangt, dass die effektive Dämpfung weniger als 30% beträgt.

$$\left(\beta_{eff} = 28\% \right) \leq 30\% \text{ erfüllt}$$

die Bedingung in 10.9.2 (5) d) ist eine Anforderung an die im Isolationssystem wirkenden Rückstellkräfte. Zu seiner Berechnung werden die in 10.9.3 (6) angegebenen Formeln verwendet.

Horizontale Kräfte $f_j = MM_{j,j} \cdot S_{d,Teff}$

$$\text{z. B. } f_5 = MM_{0,0} \cdot S_{d,Teff} = 22.855 \text{ kN}$$

$$f = \sum_{j=1}^5 f_j = 107.859 \text{ kN}$$

$$\left(f = 107.859 \text{ kN} \right) \geq \left(0.025 Mg = 41.32 \text{ kN} \right) \text{ erfüllt}$$

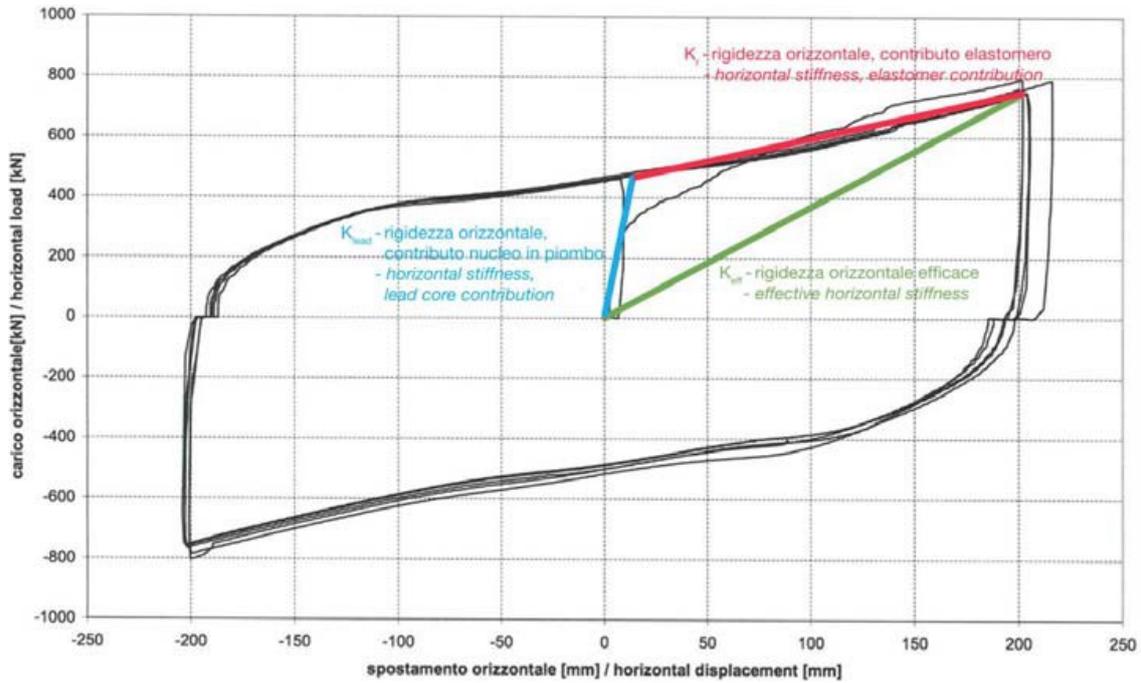
Es ist daher möglich, eine äquivalente lineare Analyse zu verwenden. Lassen Sie uns überprüfen, ob eine vereinfachte lineare Analyse zulässig ist, indem wir die Bedingung in 10.9.3 kontrollieren. Es stellt sich sofort heraus, dass die Bedingung 10.9.3 (4) d) nicht erfüllt ist.

$$K_V = \frac{E(1 + 2k_m f_s^2)}{G} K_{eff} = 436.234 \frac{kN}{mm}$$

$$T_V = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_V}} = 0.123 \text{ sec}$$

$$\left(T_V = 0.123 \text{ sec} \right) \leq 0.1 \text{ sec} \text{ nicht erfüllt}$$

Daher wird eine nichtlineare Zeitverlaufsberechnung durchgeführt. Dazu ist es notwendig, die Parameter der Hystereseschleife zu definieren, die für die Ausführung von SAP2000-Simulationen erforderlich sind. Die Hystereseschleife des Geräts wird vom Hersteller angegeben.

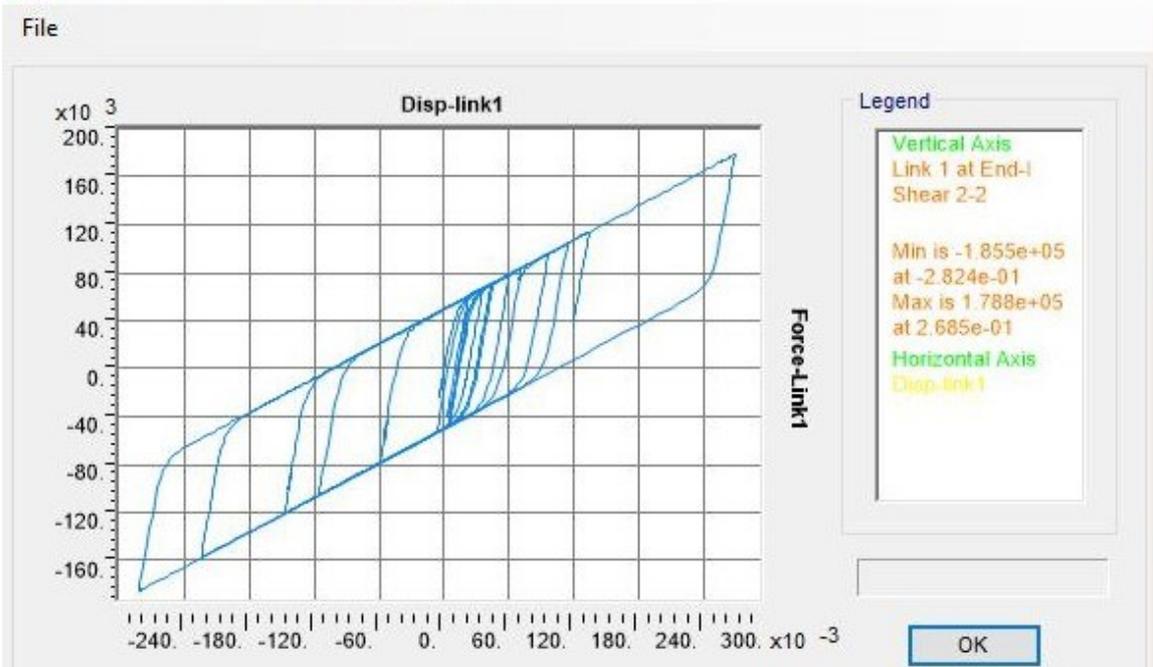


$$k_e = K_{lead} = 5.11 \frac{kN}{mm} \quad k_p = K_r = 0.48 \frac{kN}{mm} \quad k_{eff} = K_{lead} = 0.739 \frac{kN}{mm}$$

Steifigkeitsverhältnis nach der Ausbringung: $\alpha = \frac{k_p}{k_e} = 0.094$

Ort der Scherverformung: $d_y = \frac{F_y}{k_p} = 114.583mm$

Display Plot Function Traces (time histoy1)



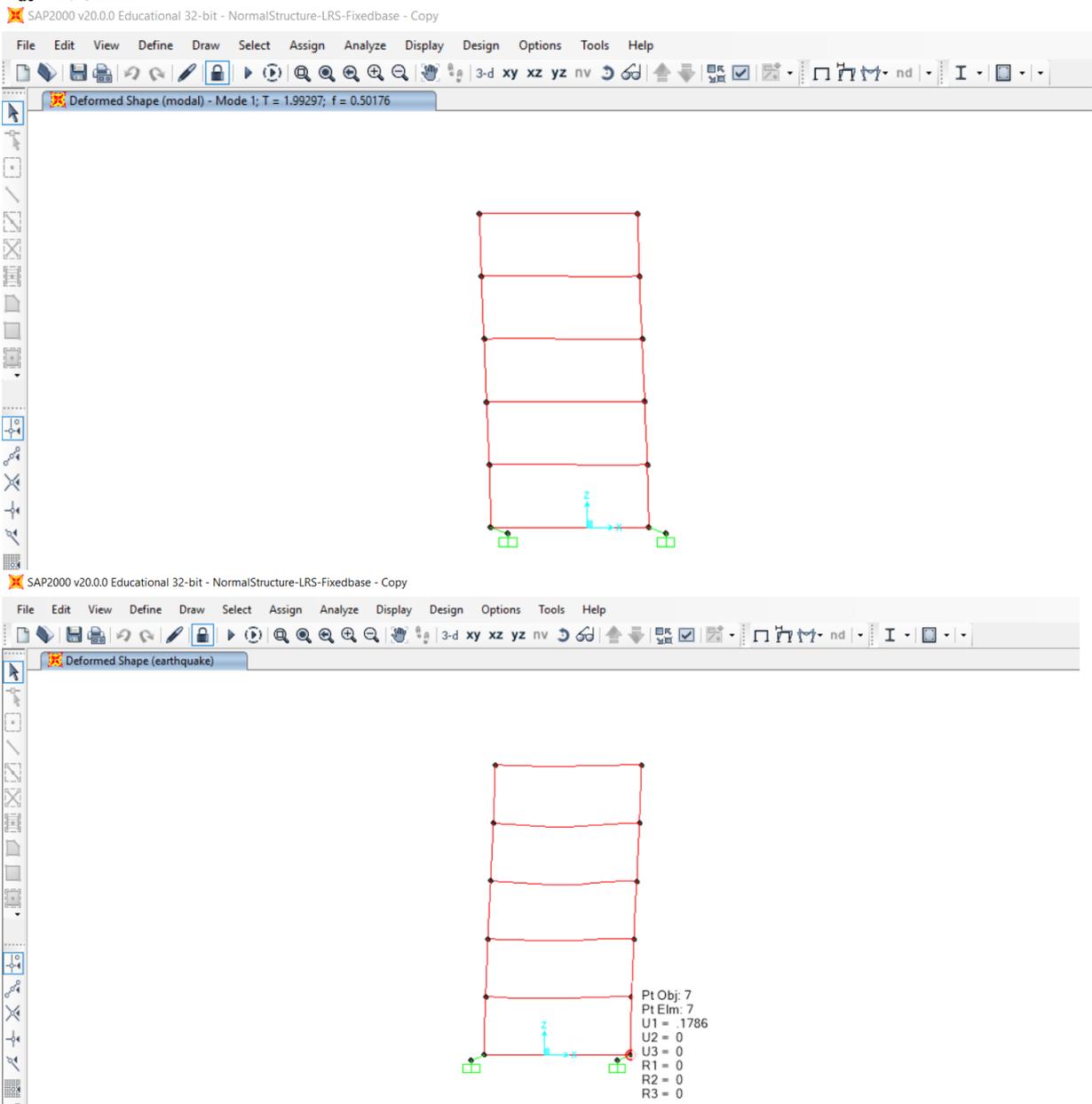
Nach der Zeitverlaufsberechnung wird eine neue Schwingungsperiode und maximale Auslenkung für die erste Mode erhalten. Mit diesen Werten ist es möglich, die

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 33 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Entwurfsparameter des LRB erneut zu berechnen, bis die Entwurfsverschiebung zwischen zwei aufeinander folgenden Iterationen nicht mehr als 5% abweicht.

6.2 Ergebnisse und Nachweise

Nachdem die Iteration konvergiert war, stabilisierte sich die Periode der ersten Modalform auf $T=1,99$ sec mit einer maximalen Verschiebung auf der Isolationsebene von $d_{dc}=178$ mm.



Die am Ende der Iteration erhaltene Vorrichtung ist LRS 450x128.

Maximum der vertikalen Belastung (ULS): $V_{\max} = 1450$ kN

Vertikale Belastung unter seismischen Bedingungen: $V_{\text{seism}} = 700$ kN

Insgesamt wirksame Steifigkeit: $K_{r,LRS} = 0,67 \frac{\text{kN}}{\text{mm}}$

Nur für Lehrzwecke: keine Gewähr für die Richtigkeit aller Einzelheiten

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 34 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

Horizontale Steifigkeit des Elastomers: $K_r = 0,48 \frac{kN}{mm}$
 Horizontale Steifigkeit des Bleis: $K_{lead} = 5,11 \frac{kN}{mm}$
 Horizontale maximale Verschiebung: $S_{max.LRS} = 260mm$
 Insgesamt hohe & elastomere Dicke: $H_{LRS} = 258mm$ $t_{e.LRS} = 128mm$
 Horizontale Streckgrenze: $F_y = 55kN$
 Effektive Dämpfung: $\beta_{eff} = 28\%$
 Durchmesser des Elastomers: $D = 450mm$
 Gesamtabmessungen: $B = D + 50mm = 500mm$
 Schermodul $G = 0,4 \frac{N}{mm^2}$
 Zugverformung (Bruchdehnung min (%)): $\varepsilon = 750\%$

Nach den Iterationen ist es möglich, die Nachweise durchzuführen.

6.2.1 Biegeknicken-Kontrollen

Die Nachweise folgen EC8 10.10(6) mit Werten aus EN 15129, 8.2.3.4.4.4, 8.2.3.3.3.4.

Kreisförmiges Lager: $\lambda = 1,3$

Durchmesser des Elastomerlagers: $\varphi = D = 450mm$

Effektive ebene Fläche: $A_r = \pi \frac{D^2}{4} = 1,59 \cdot 10^5 mm^2$

Gesamtgummidicke des Lagers: $t_r = t_{e.LRS} = 128mm$

Formfaktor: $f_s = 10$

Knicklast: $W_{cr} = \frac{\lambda \cdot G \cdot A_r \cdot \varphi \cdot f_s}{t_r} = 2,908 \cdot 10^3 kN$

Vertikale Belastung [Tabelle 19 - Beispiel: Stahlrahmen_04_2020]: $P_{DL+LL} = 777,8kN$

Die vertikale Belastung sollte 50% der Knicklast nicht überschreiten

$$(P_{DL+LL} = 777,8kN) \leq (0,5W_{cr} = 1453kN) \text{ erfüllt}$$

6.2.2 Dehnungskontrolle (Rollout-Stabilität)

Die horizontale Verschiebung des Lagers muss kleiner als die Rollout-Verschiebung sein.
 [EN 15129, 8.2.3.4.4.4, 8.2.3.3.3.4]

Vertikale Kraft: $P_{DL+LL+EQ} = 2617kN$ aus isoliertem Modell berechnet

Gesamthöhe des Lagers: $h = H_{LRS} = 258mm$

Effektive Steifigkeit des Lagers: $K_{eff} = K_{r.LRS} = 0,67 \frac{kN}{mm}$

Kleinste Grundrissabmessung eines kreisförmigen Lagers: $L = D = 450mm$

Rollout-Verschiebung: $\delta_{rollout} = \frac{P_{DL+LL+EQ} \cdot L}{P_{DL+LL+EQ} + K_{eff} \cdot h} = 422mm$ [Earthquake engineering handbook Base isolation 17- Eq. 17.27]

$$(d_{dc} = 178mm) \leq (\delta_{rollout} = 422mm) \text{ erfüllt}$$

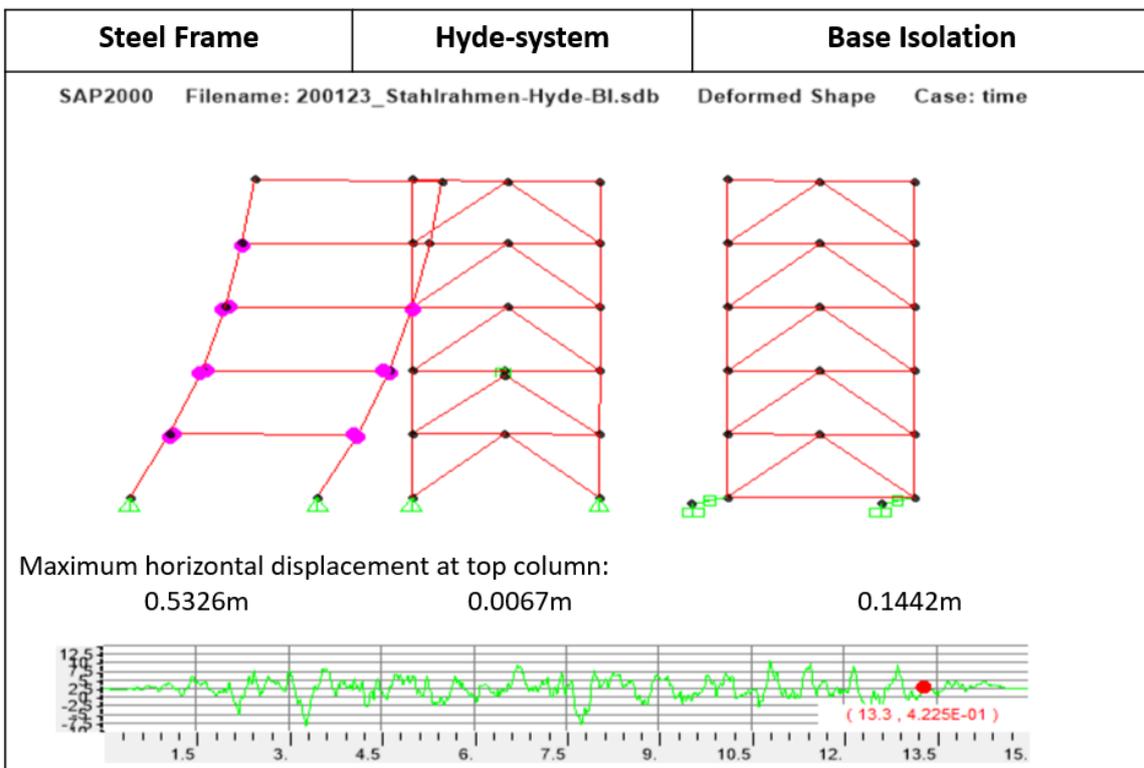
Nur für Lehrzwecke: keine Gewähr für die Richtigkeit aller Einzelheiten

U N I K A S S E L V E R S I T Ä T STAHL- & VERBUNDBAU	Titel: Dimensionierung eines HYDE-Systems un Base Isolation system nach DIN EN 1998	Seite 35 von 37
	Ansprechpartner: Antonio Ansalone, Chuyen Nguyen	Bearbeitet am: 01.07.2021

6.2.3 Nachweis der Strukturelemente

Da auf den Überbau kein Erdbeben einwirkt, werden die Nachweise der Strukturelemente nach EC3 geführt.

7 Der Vergleich der drei Struktursysteme



Stahlrahmen	Hyde-system	Base Isolation
<p>Schwere Träger und Stützen, komplizierte Details, teure Qualitätskontrolle</p>	<p>70% des Gewichts, einfache Details, wenig Qualitätskontrolle</p>	<p>Kommerzielle Geräte, schwierige Wartungseinrichtungen, große Systemverschiebung</p>

