

Interaktion Boden-Bauwerk bei Betonböden und Bodenplatten

1. Grundlagen

Jedes Bauwerk muss ausreichend sicher gegründet werden, daher ist in der Planungsphase ein Gründungskonzept zu erarbeiten. Wird durch entsprechende Bodenaufschlüsse sowie eine Grundbruch- und Setzungsberechnung ein nicht ausreichend tragfähiger Untergrund festgestellt, kommen Bodenverbesserungen oder Pfahlgründungen zur Anwendung. In allen anderen Fällen sind Flachfundationen die erste Wahl. Ein- und Auswirkungen auf die Flachfundation sind oft in starkem Mass beeinflusst von der Boden-Bauwerk Interaktion.

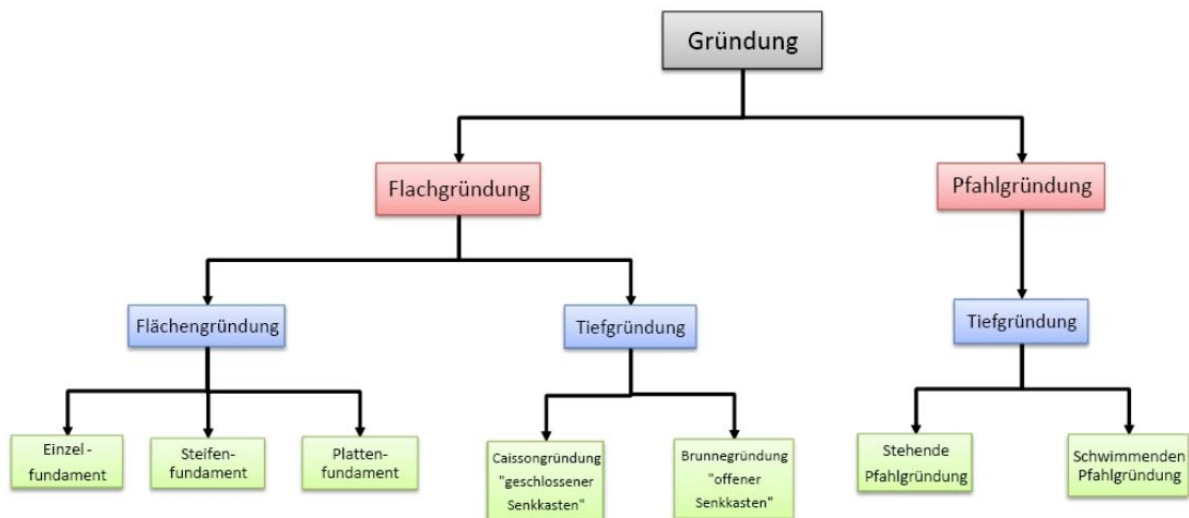


Bild 1 Gründungsarten

1.1 Normative Grundlagen

SIA260 Art. 3.3.4.5

Bei beträchtlicher Beeinflussung des Tragverhaltens durch den Baugrund ist die Interaktion von Baugrund und übrigen Tragwerk durch geeignete Modellierung zu berücksichtigen. Die Anwendung ist in der Norm SIA 267 geregelt.

SIA260 Art. 3.3.4.5 (Ausgabe 2003)

~~Bei beträchtlicher Beeinflussung des Tragverhaltens durch den Baugrund ist dessen Mitwirkung durch geeignete Modellierung zu berücksichtigen. Die Anwendung ist in der Norm SIA 267 geregelt.~~

SIA 262 Art. 4.1.3.1.2

Die Interaktion von Boden und Bauwerk ist angemessen zu berücksichtigen. Die Bestimmung der Normen SIA197, SIA198 und SIA 267 sind zu beachten.

SIA267 Art. 4.5.3.1

Das gewählte Berechnungsmodell muss das Verhalten von Baugrund, Wasser im Baugrund und Tragwerk im betrachteten Grenzzustand ausreichend zuverlässig beschreiben.

1.2 Baugrund

Grundlage für die Wahl der Fundationsart sind die Tragfähigkeit und das Verformungsverhalten des Baugrundes. Ist der Baugrund und das zu errichtende Bauwerk bekannt, kann meist schon in einer frühen Phase entschieden werden, ob eine Flachfundation in Frage kommt.



Aufnehmbarer Sohldruck

Faustregel:

Nichtbindiger Boden: $q_k \approx 300 \text{ kN/m}^2$

Bindiger Boden: $q_k \approx 100 \text{ kN/m}^2$

Fels: $q_k \approx 1000 \text{ kN/m}^2$

Anmerkung: Der Druck des menschlichen Fusses beträgt etwa 50 kN/m^2

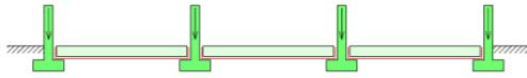


Bild 2 Aufnehmbare Bodenpressungen

Bauwerkstyp	Bauwerk	Zul. Setzungen	Übliche Bodenpressung
Wohnhäuser Büro- und Gewerbebauten	Flachbauten 1- 3 Stockwerke	Klein 25 - 50 mm	Klein 100 - 200 kN/m^2
	Hochbauten 3 - 6 Stockwerke	Klein 25 - 50 mm	Mittel 200 kN/m^2
	Hochhäuser mehr als 6 Stockw.	Klein 25 - 50 mm	Gross > 300 kN/m^2
Industriebauten	Lagerhallen	Klein - Mittel	Klein 100 - 200 kN/m^2
	Rahmentragwerke Fabriken	Mittel	Mittel 200 - 300 kN/m^2
	Grosse Stützweiten Schwere Maschinen	Klein	Gross 400 kN/m^2

Tabelle 1) Beanspruchung des Baugrundes durch unterschiedliche Tragwerke

1.3 Bauwerk

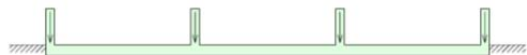


Betonböden

Schwimmender Betonboden

Gebäudelasten werden über Streifen und Einzelfundamente abgetragen.

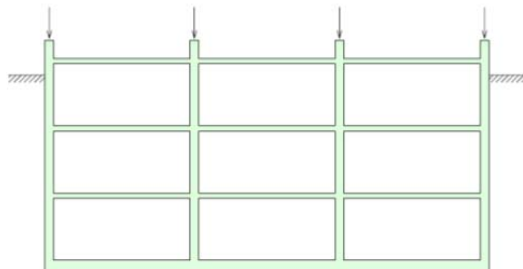
Grundbruch-, Gleit- und Kippsicherheitsnachweis erforderlich.
Plattenstärke (in der Regel) konstruktiv



Bodenplatte

Kein Kellergeschoss, Bodenplatte durchgehend oder mit lokalen Verstärkungen.

Bei hohen Linien- und Einzellasten lokale Plattenverstärkung.



Mit Kellergeschoss, Bodenplatte durchgehend oder mit lokalen Verstärkungen

Plattenstärke nach Gebrauchstauglichkeit, oft "weisse Wanne". Bei hohen Linien- und Einzellasten lokale Plattenverstärkung.

Bild 3 Hochbaukonstruktionen

- Nachweiskriterium für schwimmende Betonböden
 - Eignung bei gutem, trockenem Baugrund
 - Grundbruch-, Gleit- und Kippsicherheitsnachweis für Einzelfundamente erforderlich
 - Plattendicke nach den vorhandenen Nutzlasten
 - Möglichkeit zum Ausgleich von Inhomogenität im Baugrund nicht vorhanden
 - Interaktion von Baugrund und übrigen Tragwerk klein
 - Keine Zwängungen Bodenplatte aufgehendes Bauwerk
- Nachweiskriterium für durchgehende Bodenplatten
 - Grundbruch-, Gleit- und Kippsicherheitsnachweis i.d.R. nicht massgebend
 - Plattendicke nach Gebäudestatik (Oft Durchstanzen massgebend)
 - Plattendicke nach Gebrauchstauglichkeit (z.B. weisse Wanne)
 - Möglichkeit zum Ausgleich von Inhomogenität im Baugrund
 - Interaktion von Baugrund und übrigen Tragwerk klein
 - Zwängungen Bodenplatte aufgehendes Bauwerk beachten

- Nachweiskriterium für Bodenplatte mit lokaler Verstärkung
 - Eignung bei hohen Einzel- und Linienlasten
 - Verstärkungsbereich genügend gross wählen (Durchstanzen für Plattenstärke massgebend), Hydratationswärme Beton beachten.
 - Plattendicke ausserhalb der Verdickung nach Gebrauchstauglichkeit (Rissbildung) wählen.
 - Möglichkeit zum Ausgleich von Inhomogenitäten im Baugrund beschränkt
 - Interaktion von Baugrund und übrigem Tragwerk gross
 - Zwängungen Bodenplatte aufgehendes Bauwerk beachten

2. Interaktion Boden - Bauwerk

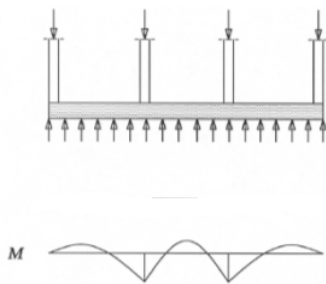


Bild 4 Biegestarres Fundament

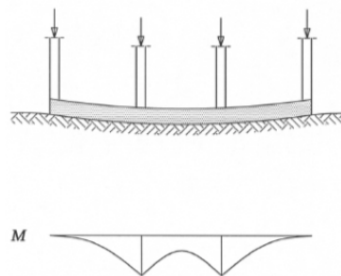
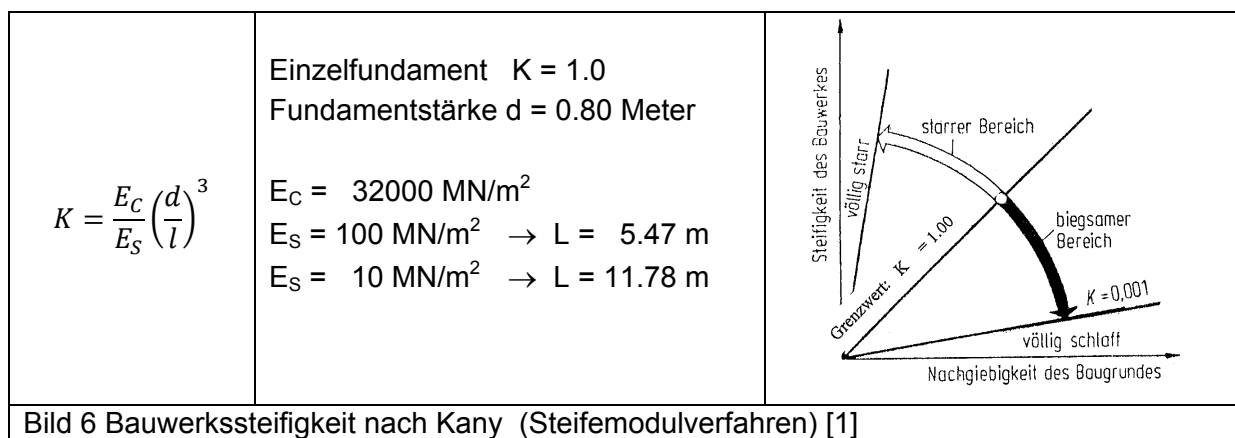


Bild 5 Biegeweiches Fundament

Die Bauwerkssteifigkeit beeinflusst die Bodenpressungen. Dabei können zwei Grenzfälle unterschieden werden, die biegestarre Konstruktion und die biegeweiche Konstruktion. Im ersten Fall bleibt die Sohlfläche eben, im zweiten Fall wird die vertikale Belastung direkt in den Baugrund übertragen, es erfolgt keine Umlagerung und die Bodenpressung entspricht der Flächenlast. Für die Abgrenzung biegestarr und biegeweich kann die Systemsteifigkeit K verwendet werden. Eine nennenswerte Abweichung von der Bodenpressungsverteilung unter einer vollkommen starren Platte erscheint erst dann, wenn die Vergleichszahl K unter den Wert von 1 sinkt.



Die Vergleichsrechnung Bild 6 zeigt, dass Einzel- und Streifenfundamente in der Regel dem starren Bereich zugeordnet werden können.

Bodenart	Wichte		Endfestigkeit		Anfangs- festigkeit (*)	Steife- modul
	feucht	unter Auftrieb	Reibungs- winkel	Kohäsion		
	γ	γ'	φ'	c'	c_u	E_s
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[MN/m ²]
Nichtbindige Böden:						
Sand, locker, rund	18	10	30	-	-	20 - 50
Sand, locker, eckig	18	10	32,5	-	-	40 - 80
Sand, mitteldicht, rund	19	11	32,5	-	-	50 - 100
Sand, mitteldicht, eckig	19	11	35	-	-	80 - 150
Kies ohne Sand	16	10	37,5	-	-	100 - 200
Naturschotter, scharfkantig	18	11	40	-	-	150 - 300
Sand, dicht, eckig	19	11	37,5	-	-	150 - 250
Bindige Böden: Erfahrungswerte aus dem norddeutschen Raum für ungestörte Proben						
Ton, halbfest	19	9	25	25	50 - 100	5 - 10
Ton, schwer knetbar, steif	18	8	20	20	25 - 50	2,5 - 5
Ton, leicht knetbar, weich	17	7	17,5	10	10 - 25	1 - 2,5
Geschiebemergel, fest	22	12	30	25	200 - 700	30 - 100
Lehm, halbfest	21	11	27,5	10	50 - 100	5 - 20
Lehm, weich	19	9	27,5	-	10 - 25	4 - 8
Schluff	18	8	27,5	-	10 - 50	3 - 10
Klei, org., tonarm, weich	17	7	20	10	10 - 25	2 - 5
Klei, stark org., tonreich, weich	14	4	15	15	10 - 20	0,5 - 3
Torf	11	1	15	5	-	0,4 - 1
Torf unter mäßiger Vorbelastung	13	3	15	10	-	0,8 - 2

(*): Kohäsion des undränierten Bodens. Der zugehörige Reibungswinkel ist mit $\varphi_u = 0$ anzunehmen.

Tabelle 2) Bodenkennwerte

3. Einzel- und Streifenfundamente

⇒ Einzelfundamente und Streifenfundamente verhalten sich i.d.R. biegestarr. Die Bodenpressungen und die Schnittkräfte können ohne Interaktion mit dem Baugrund bestimmt werden.

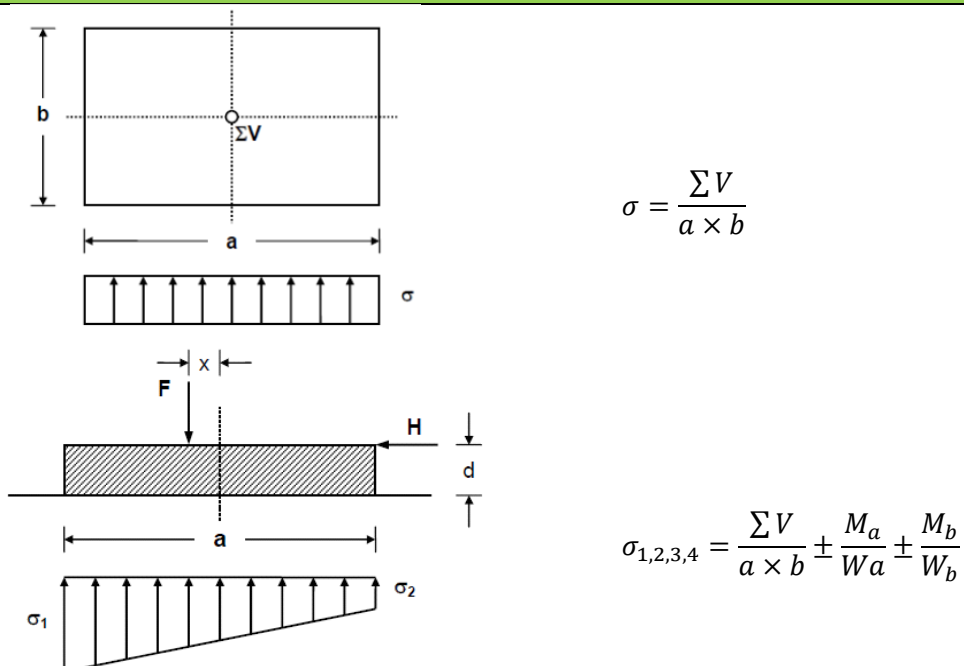


Bild 7 Spannungstrapezverfahren für starre Fundamente

4. Bodenplatten

4.1 Die Reaktionskraft im Boden (Erddruck, Erdwiderstand) durch eine vorbestimmte Erddruckbelastung

Im Standardwerk „Dimensionnement des Structures en Béton“ finden wir folgenden Vorschlag für die Dimensionierung von Bodenplatten:

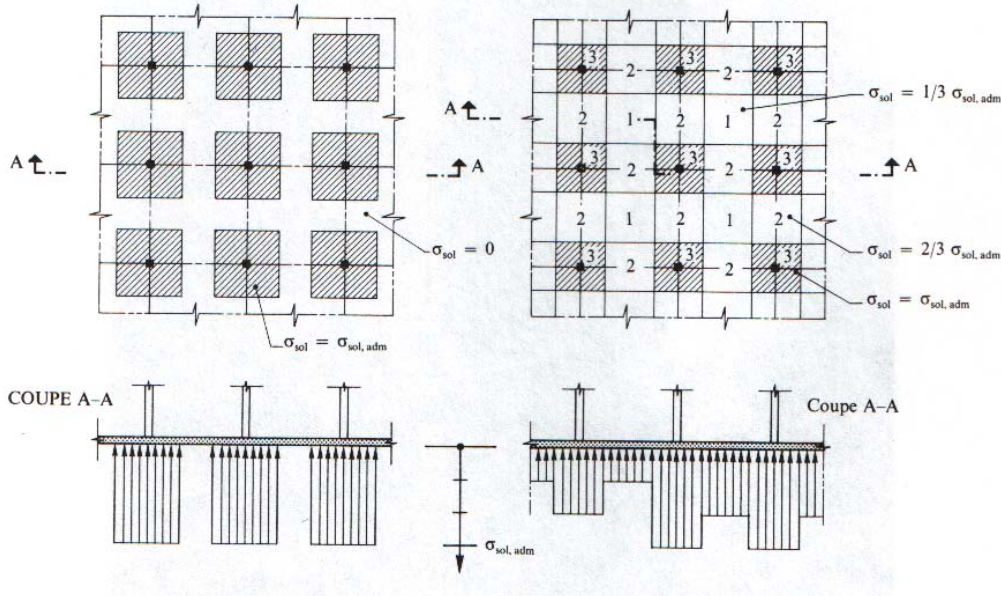


Bild 8 Bemessung einer Fundamentplatte [2]

In ähnlicher Weise finden wir in der Literatur Angaben wie die Bodenpressungen anzunehmen sind. Diese Berechnungsvorschläge erfüllen die Gleichgewichtsbedingungen ohne Berücksichtigung der Verträglichkeit Bodenplatte - Baugrund. Sie erfüllen den ersten Grenzwertsatz der Plastizitätstheorie.

⇒ *Ein Tragwerk aus plastisch verformbaren Werkstoffen versagt nicht, wenn zu der gegebenen Belastung irgendeine Spannungsverteilung gefunden werden kann, die den Gleichgewichtsbedingungen genügt und nirgends die Fließgrenze überschreitet*

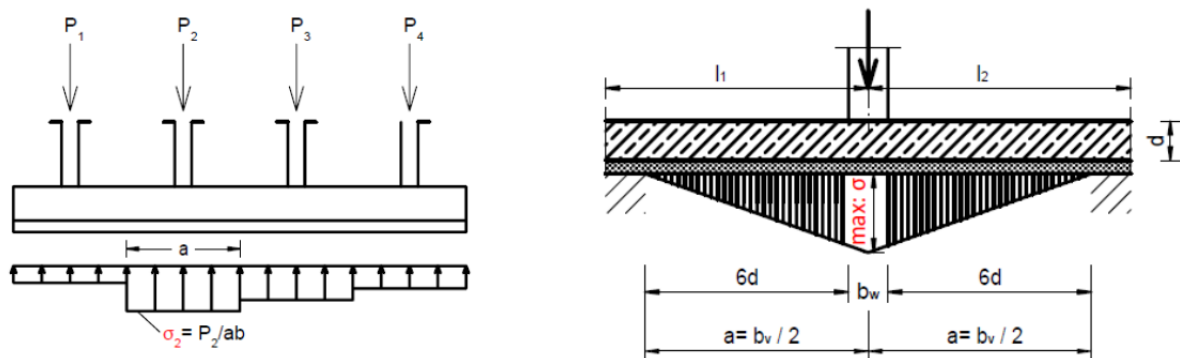


Bild 9 Vorgabe der Bodenpressungen ohne Interaktion mit dem Baugrund

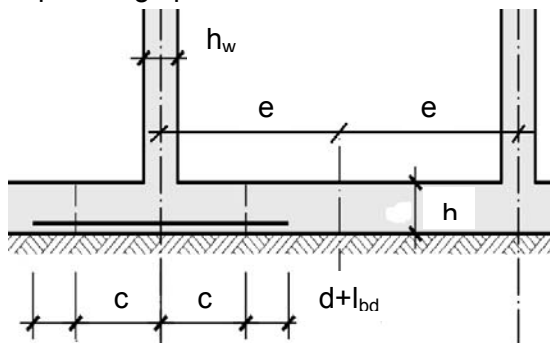
Die Wahl einer fixen Breite für die Verteilung der Bodenpressungen (z.B. 6d im Bild 9) ist willkürlich. Das Mass a im Bild 9 hat einen grossen Einfluss auf die Grösse der Momente. Je nach Bauwerks- und Baugrundsteifigkeit kann dieser Wert grösser oder kleiner sein. Einen Hinweis liefert die "elastische Länge" L.

$$L = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E_C \cdot I_C}{a \cdot k_S}}$$

a = Fundamentlänge

bindiger Boden	(Es ~ 10 MN/m ²):	L = 11,0 × h
Sand locker	(Es ~ 20 MN/m ²):	L = 8,7 × h
Sand mitteldicht	(Es ~ 50 MN/m ²):	L = 6,4 × h
Kies	(Es ~ 100 MN/m ²):	L = 5,8 × h

Empfehlung vpi



Rechenwert Fundament:

$$b = 2 \times c = \frac{F_d}{\sigma_{B,d}} \leq 2 \times L$$

Momente in der Platte unter der Last

$$e \geq 1.1 \cdot L \quad M_d = 0.27 \times F_d \times L - \Delta M_d$$

$$e \leq 1.1 \cdot L \quad M_d = 0.25 \times F_d \times e - \Delta M_d$$

$$\Delta M_d = \frac{F_d \times h_w}{8}$$

Bild 10 Momente unter einer Mittelwand nach [3]

Beurteilung Spannungstrapezverfahren aus Sicht der Normen:

SIA 260 Art. 3.2.6.5

Bei der Untersuchung der Interaktion von Baugrund und übrigem Tragwerk sind in der Regel vorsichtige Erwartungswerte der Steifigkeiten von Baugrund und übrigem Tragwerk anzunehmen. Das nichtlineare Verhalten des Baugrundes ist zu berücksichtigen. Je nach Bemessungssituation können obere oder untere Werte der Steifigkeiten massgebend sein.

SIA 262 Art. 4.1.1.3

Grundlage für die Ermittlung der Schnittgrössen bei statisch unbestimmten Systemen können sein:

- lineare Elastizitätstheorie (Ziffer 4.1.4.1)
- Plastizitätstheorie (Ziffer 4.1.4.2)
- nichtlineare Verfahren (Ziffer 4.1.4.3)

SIA 262 Art. 4.1.2.2

Zwangsschnittgrössen können für den Nachweis der Tragsicherheit nur vernachlässigt werden, falls für alle Tragwerksbereiche ein ausreichendes Verformungsvermögen gewährleistet ist und Stabilitätsversagen ausgeschlossen werden können. Die Auswirkungen von aufgezwungenen Deformationen aus dem Baugrund sind angemessen zu berücksichtigen.

SIA 267 Art. 2.5.2

Bei einfachen Bauaufgaben kann das Verhalten von Baugrund und Tragwerk unabhängig voneinander untersucht werden, sofern Gewähr für eine für die Bemessung zuverlässige Tragwerksanalyse besteht.

SIA 267 Art. 4.5.2.3

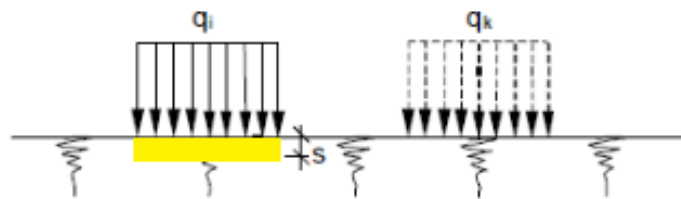
In der Regel darf bei geotechnischen Analysen der Baugrund bzw. das Baugrundverhalten durch einfache Modelle idealisiert werden, z.B.:

- die Baugrundsteifigkeit durch einen Bettungsmodul
- die Reaktionskraft im Boden (Erddruck, Erdwiderstand) durch eine vorbestimmte Erddruckbelastung
- das räumliche Tragwerk durch ein ebenes Modell
- das komplexen Formänderungsverhalten durch einfache Verformungsgesetze
- Die Zuverlässigkeit der vereinfachten Modellannahmen ist zu überprüfen.

4.2 Berechnung nach dem Bettungsmodulverfahren

Der Boden wird durch ein Federsystem ersetzt. Die Bodenreaktionen sind proportional zur Setzung. Der Bettungsmodul wird definiert zu:

$$k_s = \frac{q}{s} \quad (\text{MN/m}^3)$$



$$s \approx q$$

$$s_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} q_j$$

$$c_{ij} = 0 \text{ für } i \neq j$$

i: Ort der Setzung

j: Ort der Einwirkung

Bild 11 Bettungsmodulverfahren

Die meisten Statikprogramme bieten eine effiziente Unterstützung für die Bemessung nach dem Bettungsmodulverfahren. Das Modell geht davon aus, dass eine Last auf dem Baugrund nur in der Feder unter dem Lastpunkt eine Verformung verursacht. Die einzelnen Federn haben keine Verbindung untereinander. Die aus der Federkonstante resultierende Verschiebung der Bodenplatte stimmt nicht mit der zu erwartenden Setzungsmulde überein.

Die Bettungsziffer ist abhängig vom Bauwerk und vom Baugrund und damit keine Baugrundkonstante. Eine Berechnung mit Hilfe von Tabellenwerten ist nicht zu empfehlen. Die Bettungsziffer soll aus einer Setzungsberechnung bestimmt werden.

4.2.1 Bestimmung der Bettungsziffer für Fundamente

A) Bettungsziffer aus Tabellen

Tabelle 11.9. Einige gebräuchliche Werte für den Bettungsmodul k_s .

Bodenart	Bettungsmodul in MN/m ³ ca.
Torf, Humus	5 - 20
Ton, weich	20 - 40
Ton, plastisch	30 - 60
Ton, steif	50 - 90
Ton, sehr steif	100 - 120
Ton, sandig	80 - 100
Sand, locker gelagert	10 - 30
Sand, dicht gelagert	80 - 100
Kies, fein mit Sand	100 - 120
Kies, mittel mit Sand	120 - 150
Kies, grob mit Sand	180 - 240
Kies, sehr dicht gelagert	200 - 300

$$k_s = \frac{M_E}{f \times m \times D}$$

b: Fundamentbreite

D: Durchmesser Lastplatte 298 mm

M_E -Wert 20 MN/m²

Fundament 3/3 Meter

$$k_s = \frac{20}{1.0 \times 5.5 \times 0.298} = 9.1$$

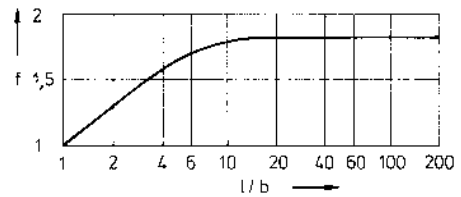
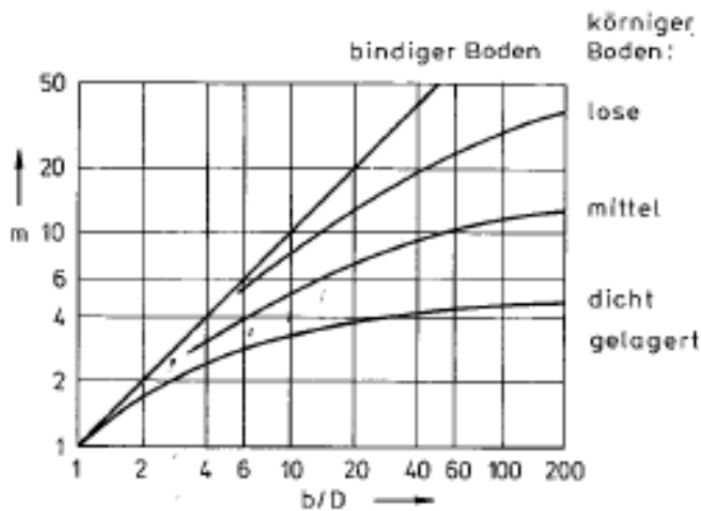
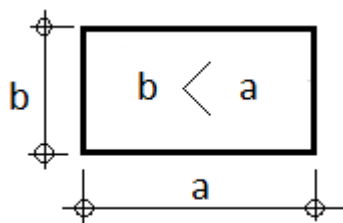


Bild 12 Bettungsmodul nach [4]

B) Bettungsziffer aus einer Setzungsberechnung



Setzung s

$$s = \frac{p \cdot b}{E_s} f_s$$

f_s Setzungseinflusszahlen nach Kany

für den kennzeichnenden Punkt $k_s = \frac{E_s}{b \cdot f_s}$

Bettungsmodul k_s $s = \frac{p}{k_s}$

Bild 13) Zusammenhang Bettungsmodul / Setzungsberechnung

Beispiel: Fundament mit Bodenpressung 200 kN/m²

Bettungsziffer für einen Baugrund mit Steifemodul $E_s = 100$ MN/m² und für einen

Baugrund mit Steifemodul $E_s = 20$ MN/m²

Berechnungen Bild 14 und Bild 15 mit dem Programm GGU-FOOTING von Prof. Dr. Johann Buss

Geotechnische und konstruktive Bemessung von Flachfundationen
HSR Rapperswil

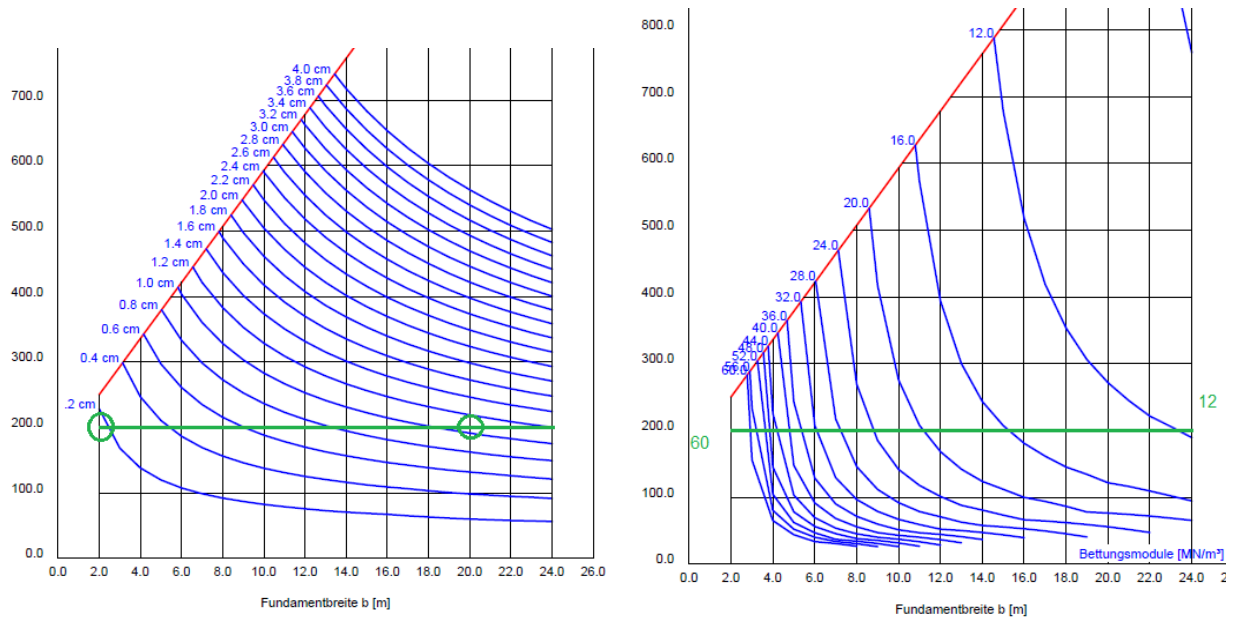


Bild 14 Setzungen und Bettungsmodul für einen gut tragfähigen Boden mit einem Steifemodul $E_s = 100 \text{ MN/m}^2$

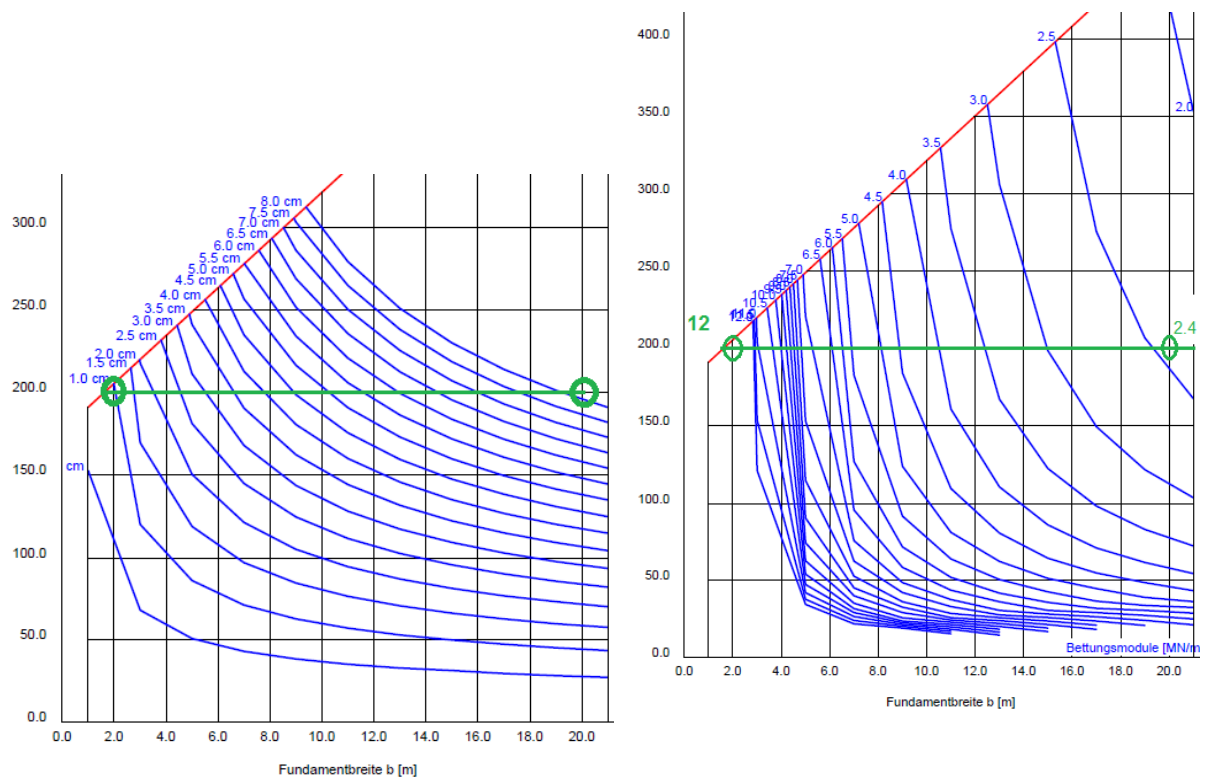


Bild 15 Setzungen und Bettungsmodul für einen gut tragfähigen Boden mit einem Steifemodul $E_s = 20 \text{ MN/m}^2$

Die Bettungsziffer ist keine Baugrundkonstante. Sie ist wie die Setzungen abhängig von der Belastung und der Fundamentgrösse.

4.2.2 Bestimmung der Bettungsziffer für Bodenplatten

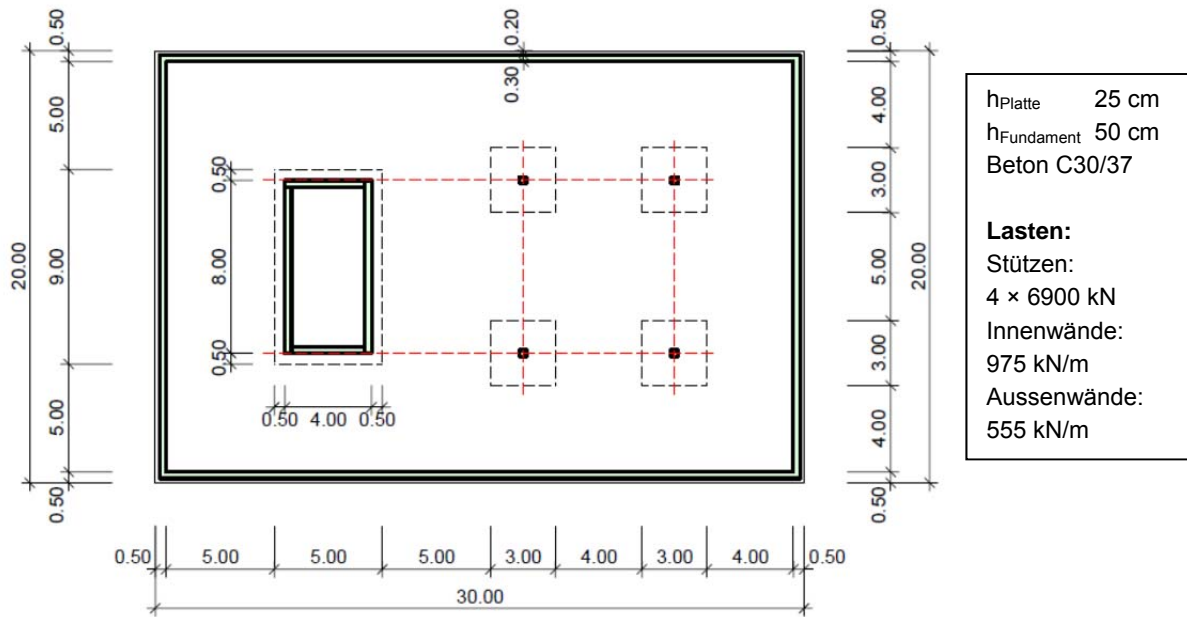


Bild 16 Bodenplatte
 Baugrund ES = 100 MN/m²

Welches ist die korrekte Bettungsziffer für die Bemessung der Bodenplatte?

- Betrachtung der Bodenplatte als "Einzelfundament" mit der Abmessung 20*30 Meter und der Gesamtlast von 107'751 kN?
- Differenzierte Bettungsziffern für Platte und Fundamente?

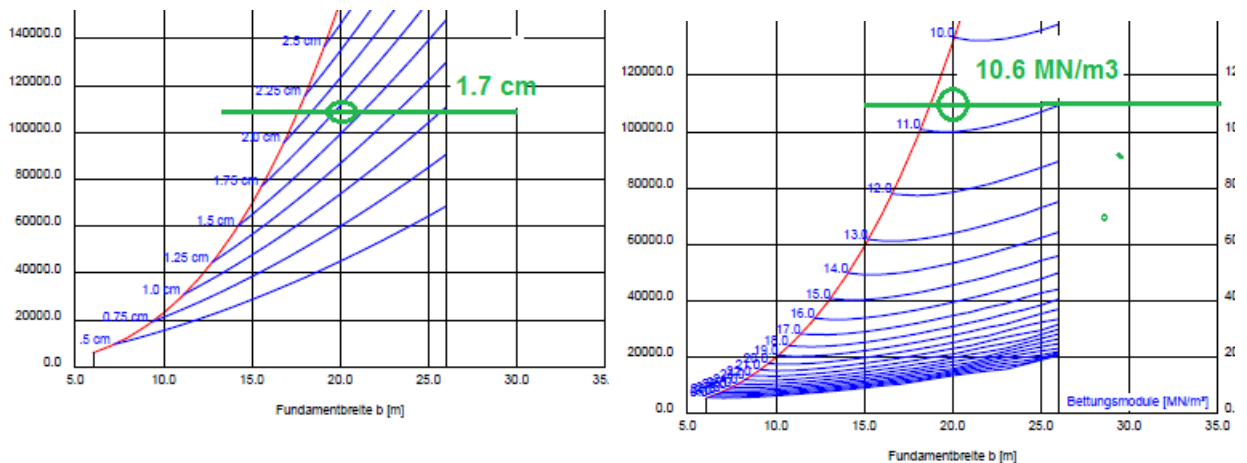


Bild 17 Bettungsziffer für ein Fundament 20*30 Meter und einer Gesamtlast von 107'751 kN
 Mittlere Bodenpressung 180 kN/m², Bettungsmodul 12.5 MN/m³

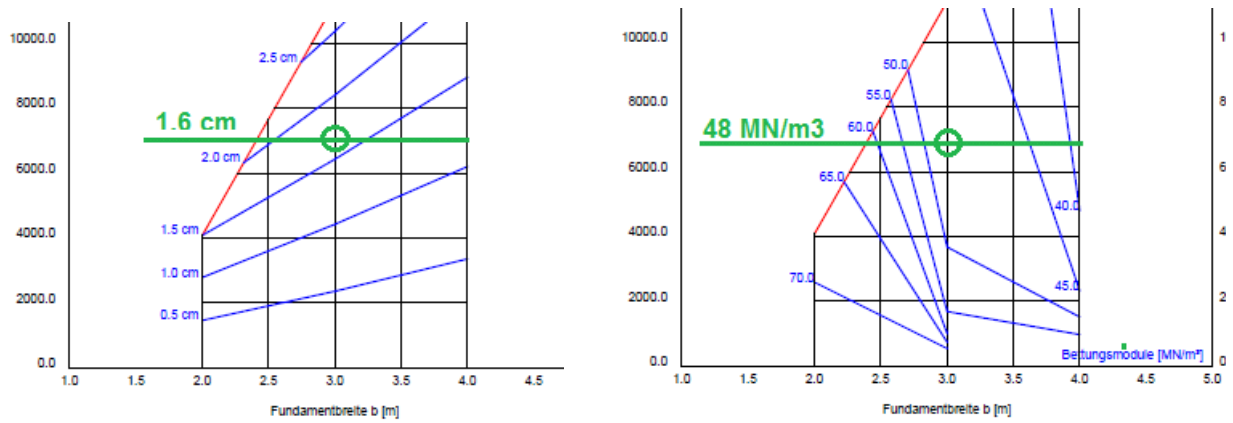


Bild 18 Bettungsziffer für ein Fundament 3*3 Meter und einer Gesamtlast von 6900 kN

Ein für die ganze Platte gültiger Bettungsmodul existiert nicht. Die im Bild 17 und 18 berechneten Werte sind gültig für ein starres Fundament mit gleichmässiger Pressung. So gesehen wäre eher der Wert nach Bild 17 zutreffend. Im Folgenden sollen der Bettungsmodul und die daraus resultierenden Schnittkräfte für die Bodenplatte Bild 16 mit einem Plattenmodell bestimmt werden.

Berechnungen Bild 19 und Bild 15 mit dem Programm GGU-SLAB von Prof. Dr. Johann Buss

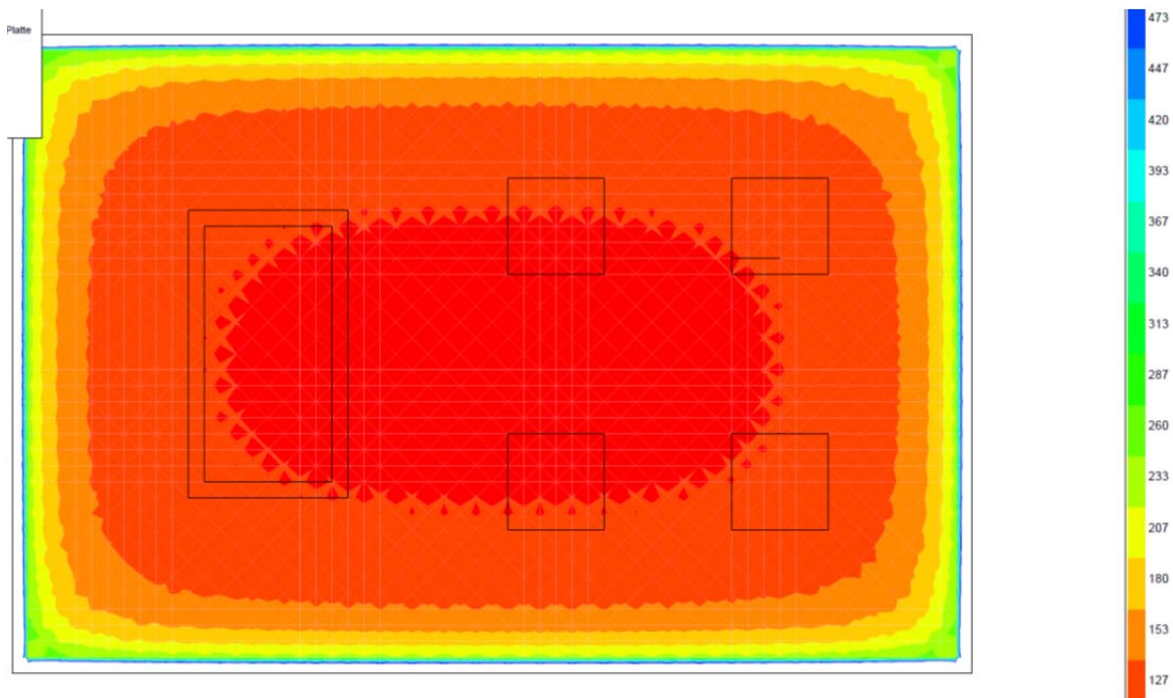


Bild 19 Spannungen unter einer unendlich steifen Platte für ein Fundament 20*30 Meter und einer Gesamtlast von 107'751 kN, mittlere Bodenpressung 180 kN/m²,

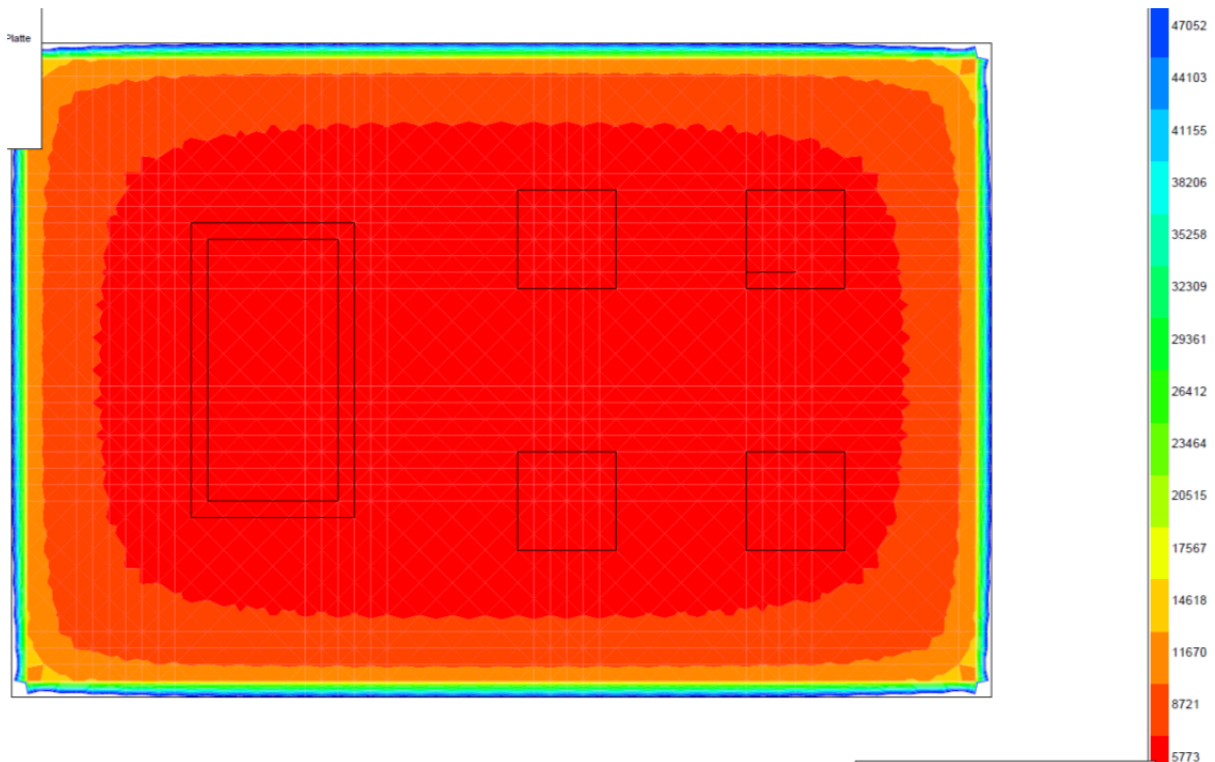


Bild 20 Bettungsmodul (kN/m³) für ein Fundament 20*30 Meter und einer Gesamtlast von 107'751 kN, mittlere Bodenpressung 180 kN/m²

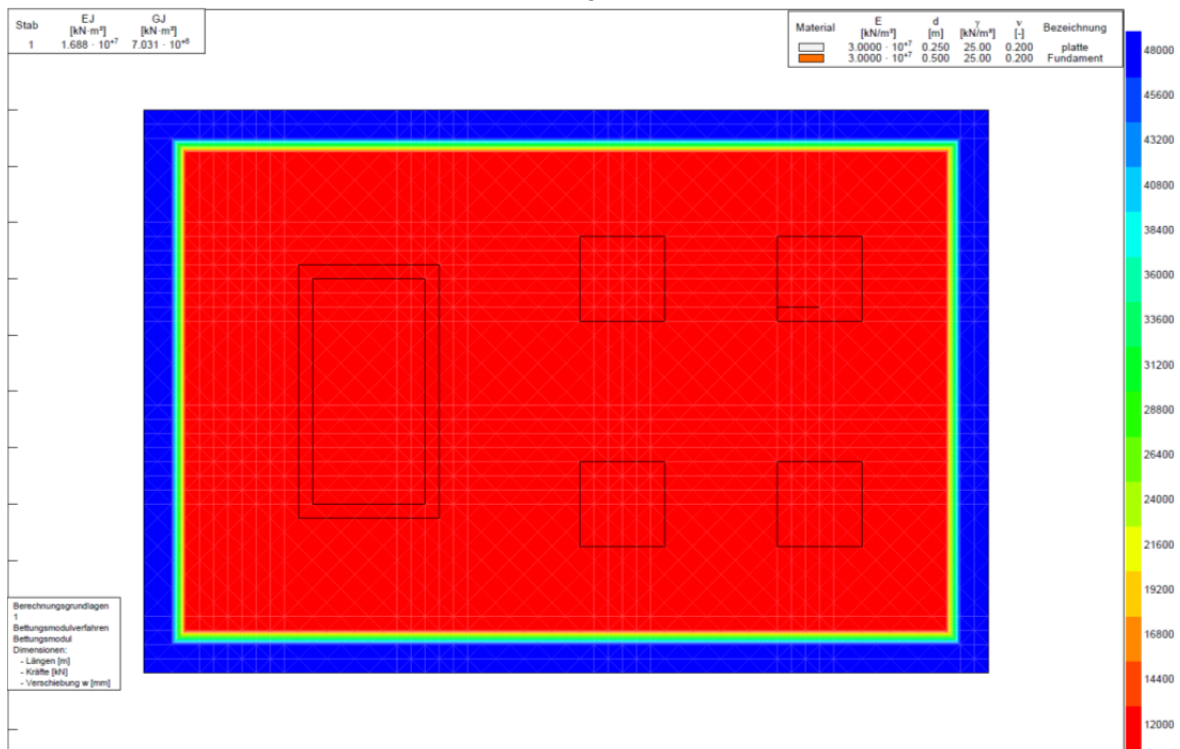


Bild 19 Bettungsmodul 10'600 kN/m³ gemäss Bild 17
Randbereich von einem Meter Bettungsmodul ca. $4 \cdot 10'600 = 42'000$ kN/m³

Hinweis:

Um die Mitwirkung des Bodens am Plattenrand zu berücksichtigen, wird empfohlen den Bettungsmodul in einem schmalen Randbereich (ca. 1 m) um den Faktor 2 bis 4 zu vergrössern.

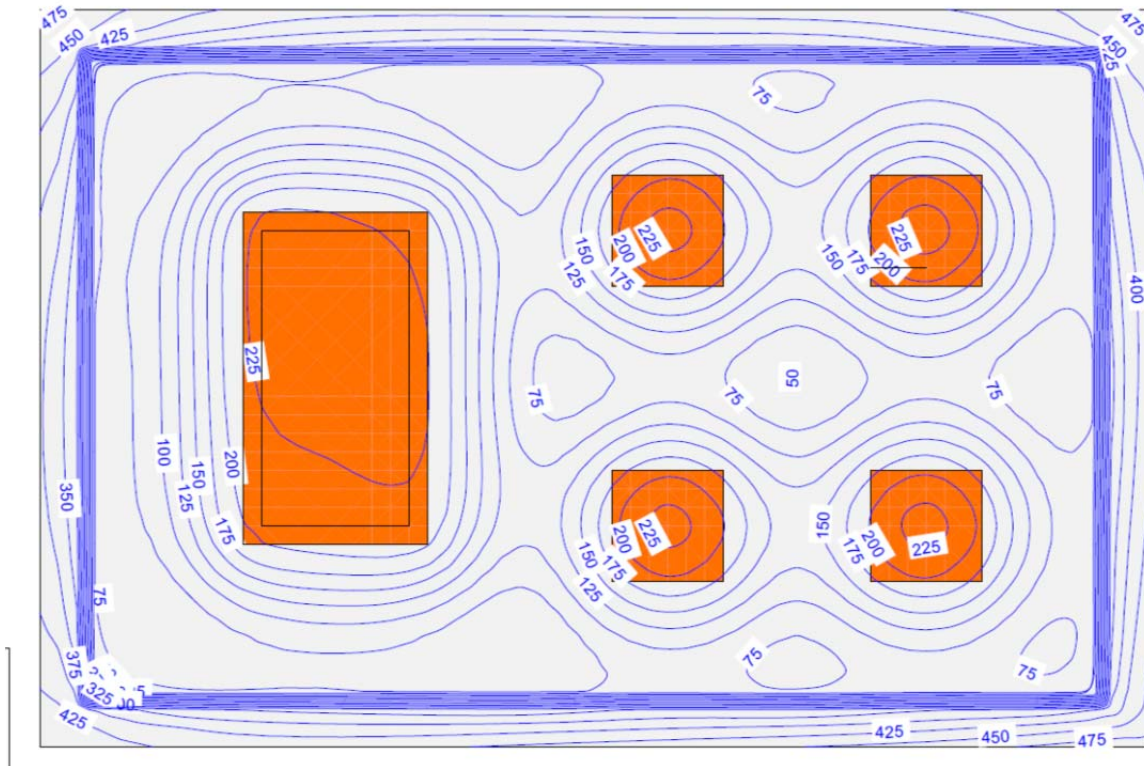


Bild 20 Pressungen

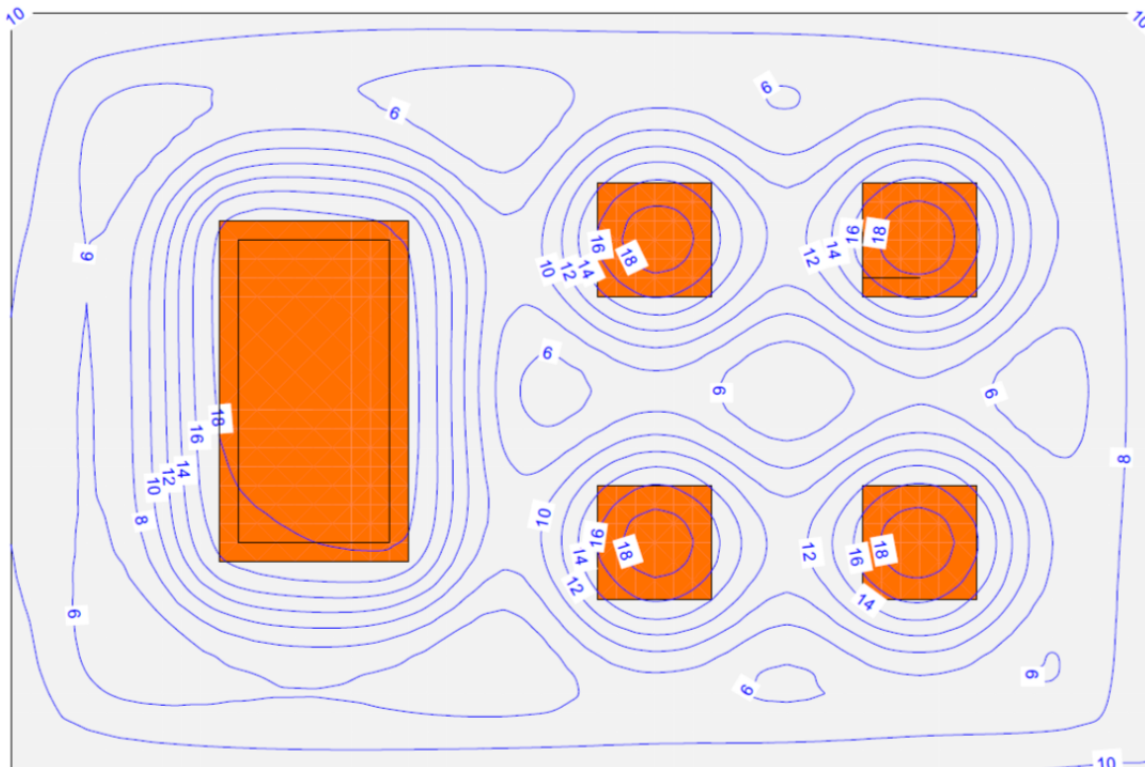


Bild 21 Setzungen

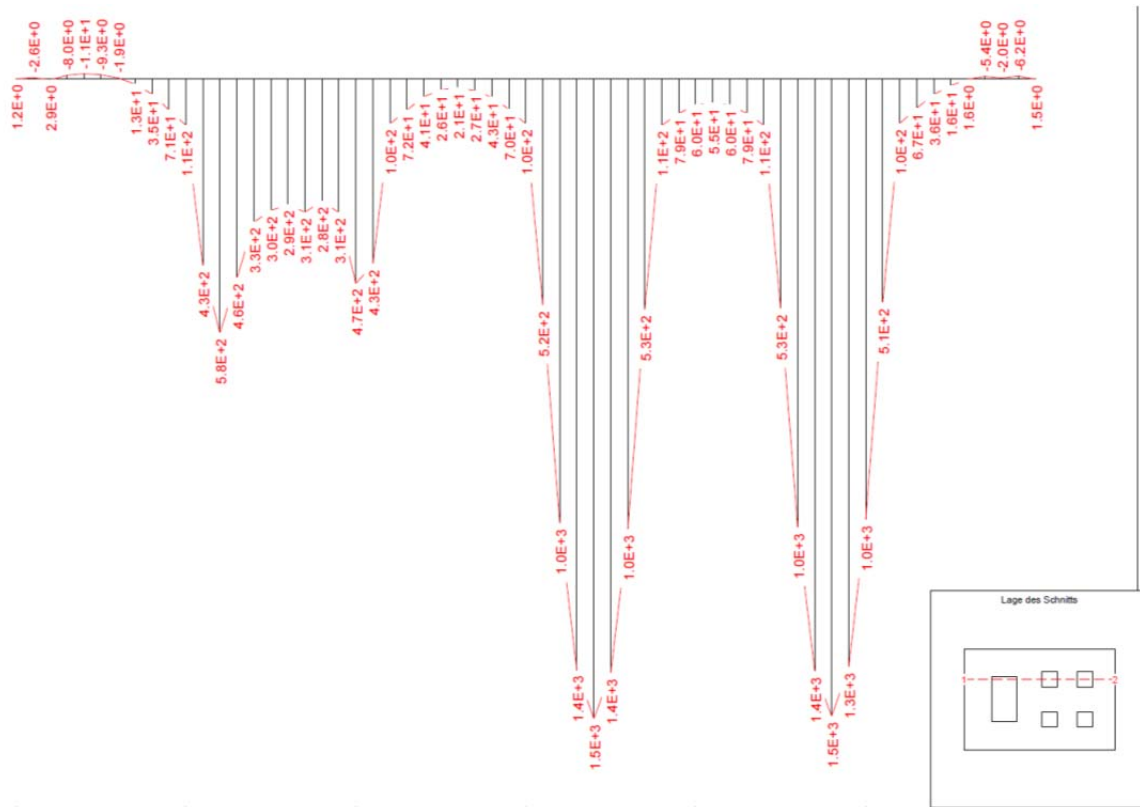


Bild 22 Momente im Längsschnitt

Zusammenfassung Bettungsmodulverfahren	
Vorteile	Nachteile
<p>Einfache Eingabe In den meisten Softwaresystemen verfügbar Keine iterative Berechnung Kurze Rechenzeit Erweiterung auf modifiziertes Verfahren schwierig</p>	<p>Unzureichende Bodenmodellierung Keine Berücksichtigung angrenzender Bodenbereiche (keine Setzungsmulde) Keine Bodenschichtungen erfassbar Interaktion zwischen Boden und Bauwerken ist nicht erfassbar Setzungen und Biegelinie der Platte stimmen nicht überein</p>

Die Bettungsziffer eine lastabhängige Grösse und keine eigentliche Bodeneigenschaft!
Je realistischer die Verteilung des Bettungsmoduls vorgegeben wird, desto besser sind die Ergebnisse. Oder anders gesagt: Kennt man die richtige Verteilung des Bettungsmoduls (mit der Konsequenz, dass die Bettungsziffer eine lastabhängige Grösse und damit keine eigentliche Bodeneigenschaft darstellt) und kann sie als Eingangsparameter dem Programm vorgeben, sind die Ergebnisse brauchbar.

4.3 Berechnung nach dem Steifemodulverfahren

Der Boden wird in diesem Verfahren als Tragsystem in das statische Modell integriert. Die Steifigkeit des statischen Systems und des als elastischen Halbraum modellierten Bodens stellen damit eine Einheit dar. Auf iterativem Weg werden die Auflagersenkungen des Plattenmodells mit den Setzungen des Bodens zur Übereinstimmung gebracht.

Dabei muss folgende Bedingung eingehalten werden:

⇒ Biegelinie der Platte = Setzungsmulde des elastisch isotropen Halbraums $w_{\text{Platte}} - w_{\text{Boden}} = 0$

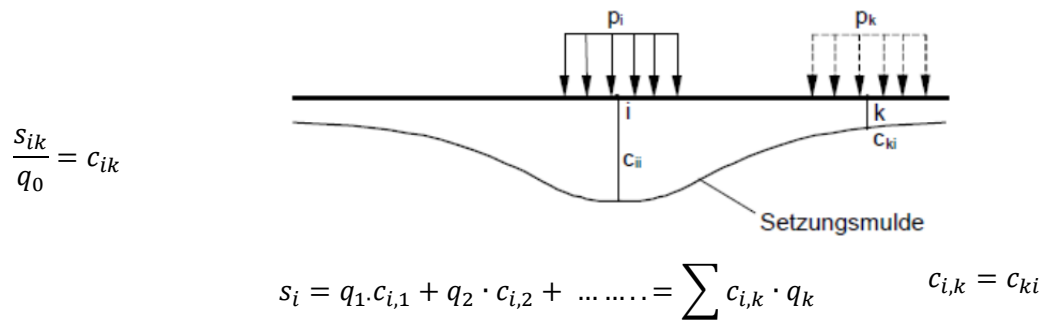


Bild 23) Steifemodulverfahren

Bei einer Berechnung der Platte Bild 16 nach dem Steifemodulverfahren erhalten wir folgende Resultate:

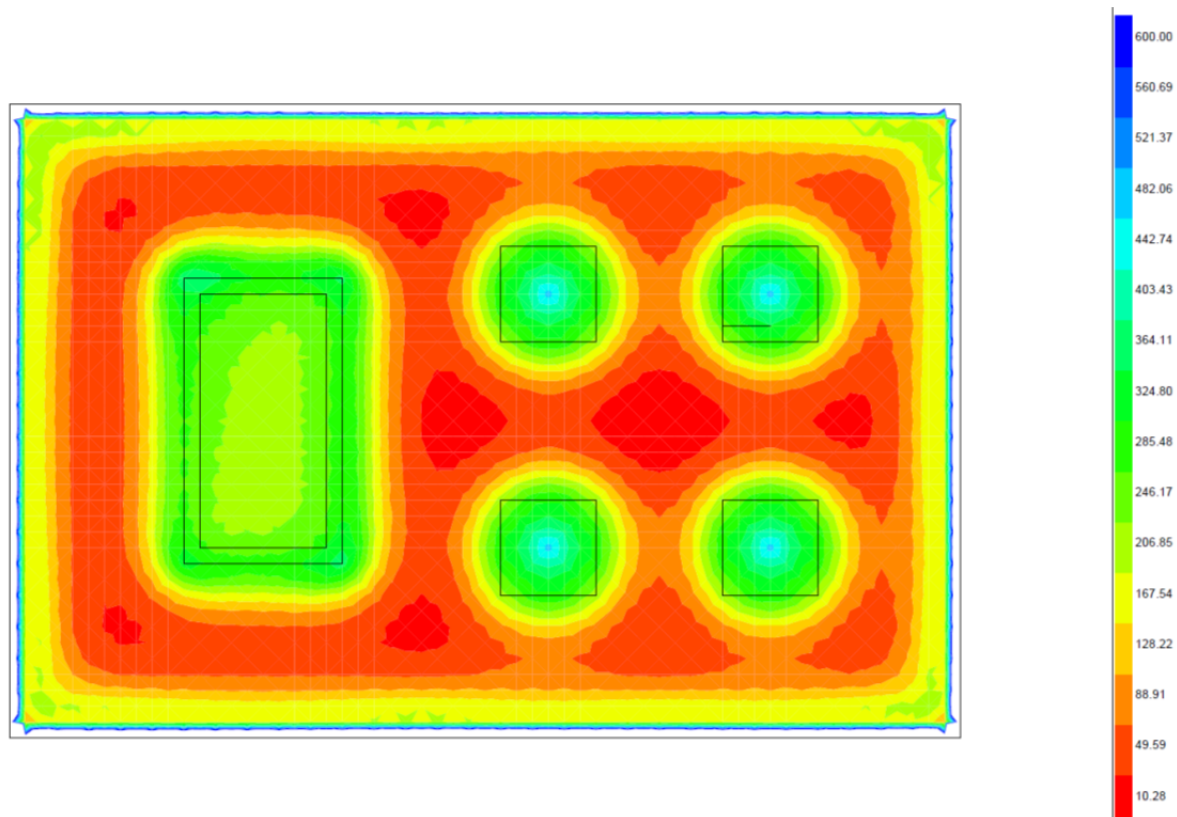


Bild 24 Pressungen

Vergleich der Verfahren

Bodenpressungen unter dem Einzelfundament:

BZ $\sigma = 200$ bis 240 kN/m^2

SZ $\sigma = 200$ bis 450 kN/m^2 $\Delta 88 \%$

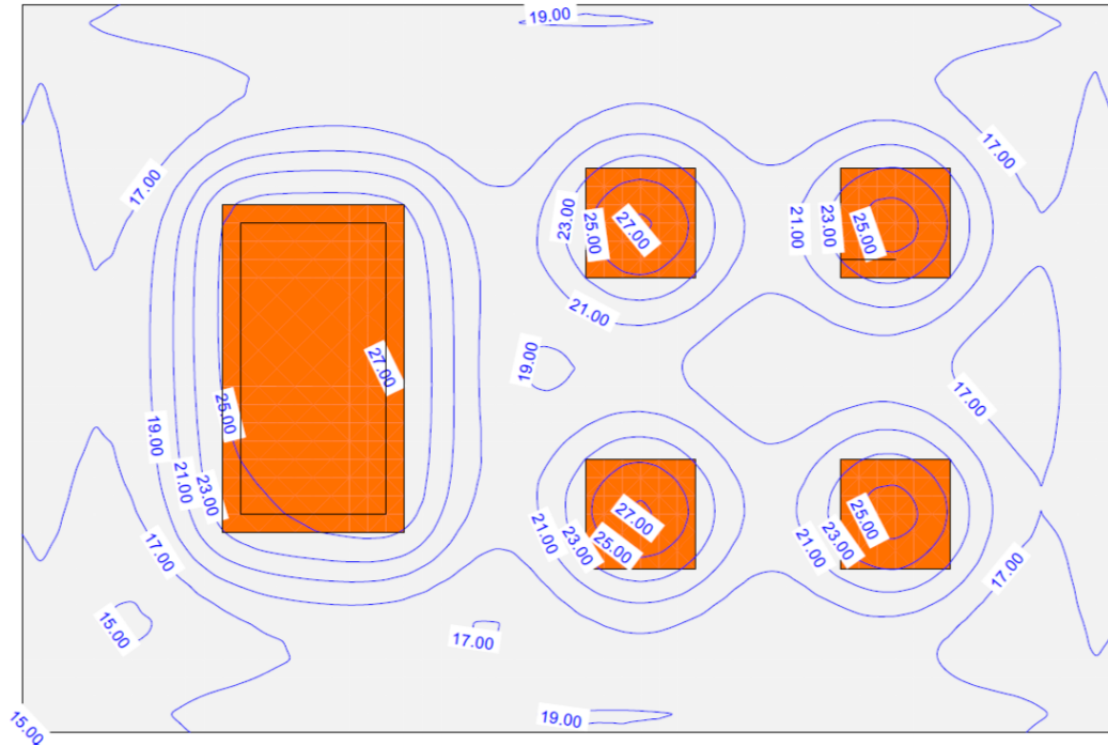


Bild 25 Setzungen

Vergleich der Verfahren, Setzungen

BZ $\delta = 19 \text{ mm}$

SZ $\delta = 27 \text{ mm}$ $\Delta 42 \%$

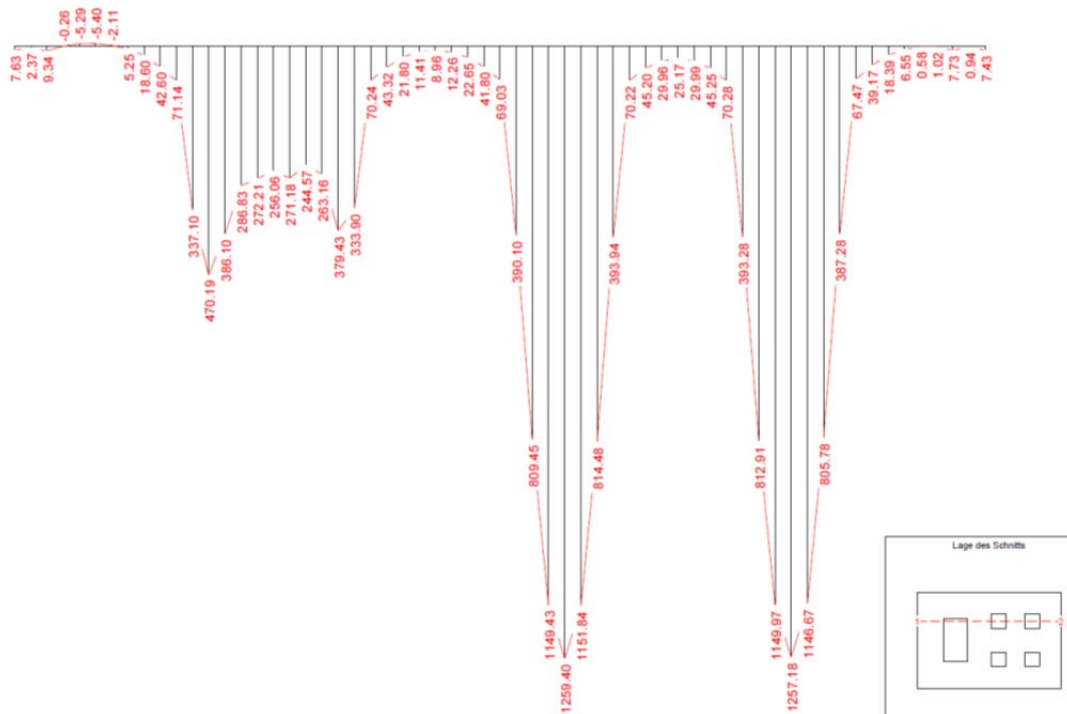


Bild 26 Momente im Längsschnitt

Vergleich der Verfahren, Momente

BZ $m = 1557 \text{ kNm}$

SZ $m = 1259 \text{ kNm}$ $\Delta 24 \%$

Ein Vergleich der Biegemomente zeigt, dass die Resultate des Bettungsmodulverfahrens deutlich von den Werten des Steifezahlverfahrens abweichen. Vor allem die Verformungen der Platte können mit dem Bettungsmodulverfahren nicht korrekt erfasst werden.

Zusammenfassung Steifemodulverfahren	
Vorteile	Nachteile
Gute Bodenmodellierung Realitätsnahe Ergebnisse Bodenschichtungen und Interaktionen zwischen Bauwerken sind erfassbar	Nicht für alle Software verfügbar Iterative Berechnung Superpositions-gesetz gilt nicht (nichtlineare Berechnung)

Mit den Bodenpressungen und den Setzungen aus dem Steifemodulverfahren erhält man folgende Verteilung der Bettungsziffer:

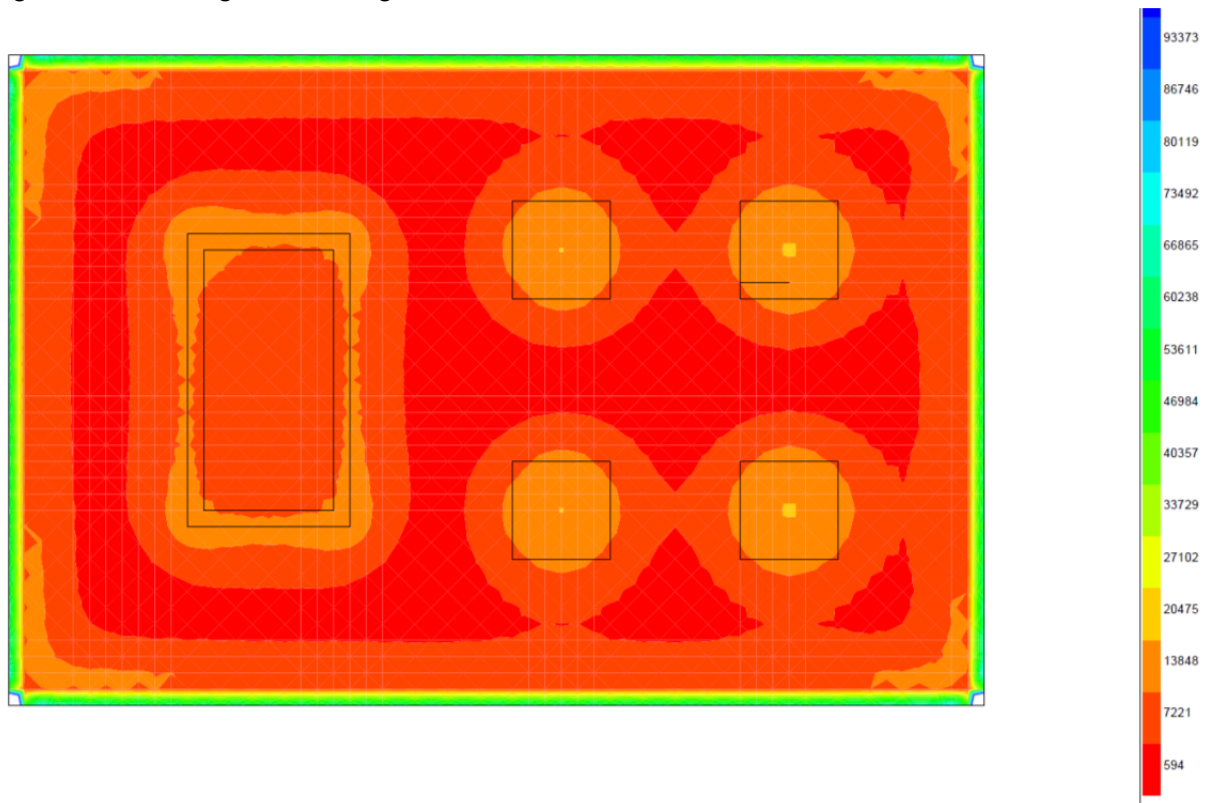


Bild 27 Bettungsmodul abgeleitet aus dem Steifezahlverfahren

4.4 Berechnung nach dem 3D-Halbraumverfahren

Bei diesem Verfahren wird der elastische Halbraum des Bodens durch eine Abbildung der Bodenschichten als 3D-System mit Volumenelementen modelliert. Baugrund und Bauwerk werden vollständig finiten Elementen vernetzt. Damit ist die Verbindung zwischen Baugrund und Bauwerk automatisch durch die Steifigkeitsbeziehung hergestellt.

5. Materialverhalten von Stahlbeton

Bei der Berechnung nach dem Bettungsmodul- oder dem Steifemodulverfahren ist die Biegesteifigkeit des Gebäudes ein wesentlicher Parameter. Im Stahlbetonbau ist die Biegesteifigkeit keine Konstante. Ihre Abhängigkeit von der Beanspruchung muss bei Verformungsrechnungen berücksichtigt werden. Die Durchbiegung eines Bauteils wird deshalb durch Integration der Verkrümmung ϵ_x über die Bauteillänge ermittelt.

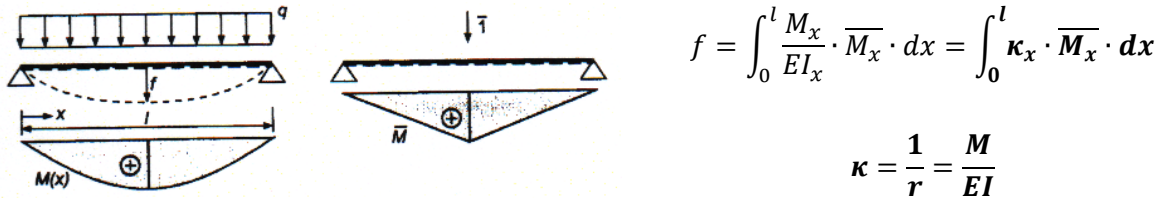


Bild 28 Verformungsberechnung im Stahlbetonbau

Im Stahlbetonbau ist es zweckmässig, die Krümmung direkt aus dem Dehnungszustand des Querschnittes zu ermitteln, der sich aus dem inneren Kräftegleichgewicht ergibt. Bild 29 zeigt den Zusammenhang zwischen einer Biegebeanspruchung und der Verformung (Krümmung) eines Stahlbetonbalkens. Die Rissbildung und die Mitwirkung des Betons zwischen den Rissen $\Delta\epsilon_{sm}$ (tension stiffening) haben einen grossen Einfluss auf die Biegesteifigkeit.

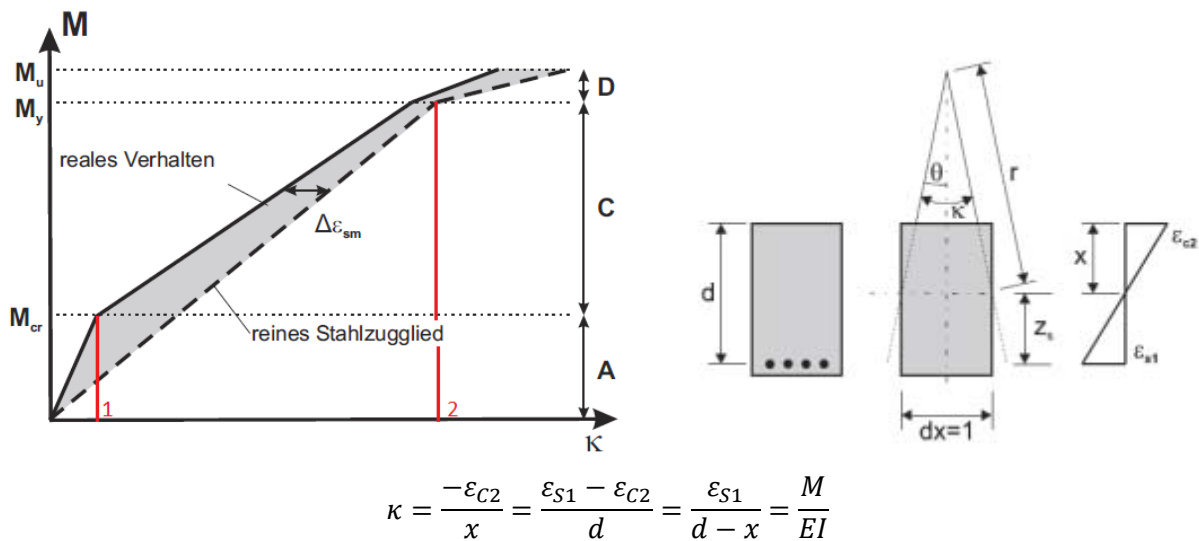


Bild 29 Momenten-Krümmungs-Beziehung

- Punkt 1 Vom Koordinatenursprung bis zum Punkt 1 ist der linear elastische Bereich. Das Bauteil ist ungerissen, Das Rissmoment M_{cr} und die zugehörige Krümmung κ_{cr} können näherungsweise ohne Berücksichtigung der Bewehrung berechnet werden. Die Biegesteifigkeit EI entspricht der Biegesteifigkeit des ungerissenen Betonquerschnittes.
- Punkt 2 Die Spannung in der Bewehrung erreicht die Fließgrenze. Die Krümmung (und damit die Verformung) erreicht ein Mehrfaches, die Biegesteifigkeit einen Bruchteil der Werte im ungerissenen Zustand.

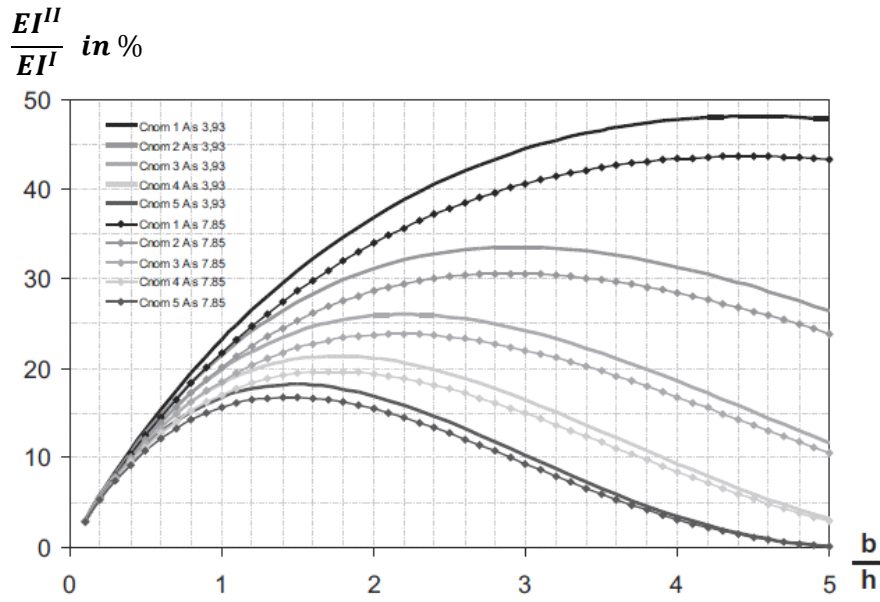


Bild 30 Verhältnis der Biegesteifigkeit bei einfach bewehrten Rechteckquerschnitten [3]

Bild 30 zeigt, dass der Steifigkeitsabfall im gerissenen Zustand beträchtlich ist und weniger als 20 % des Wertes im ungerissenen Zustand betragen kann. Im Folgenden sind die Werte Durchbiegung und Momente aus Bild 25 und 26 bei einer auf 33% reduzierten Biegesteifigkeit der Platte dargestellt.

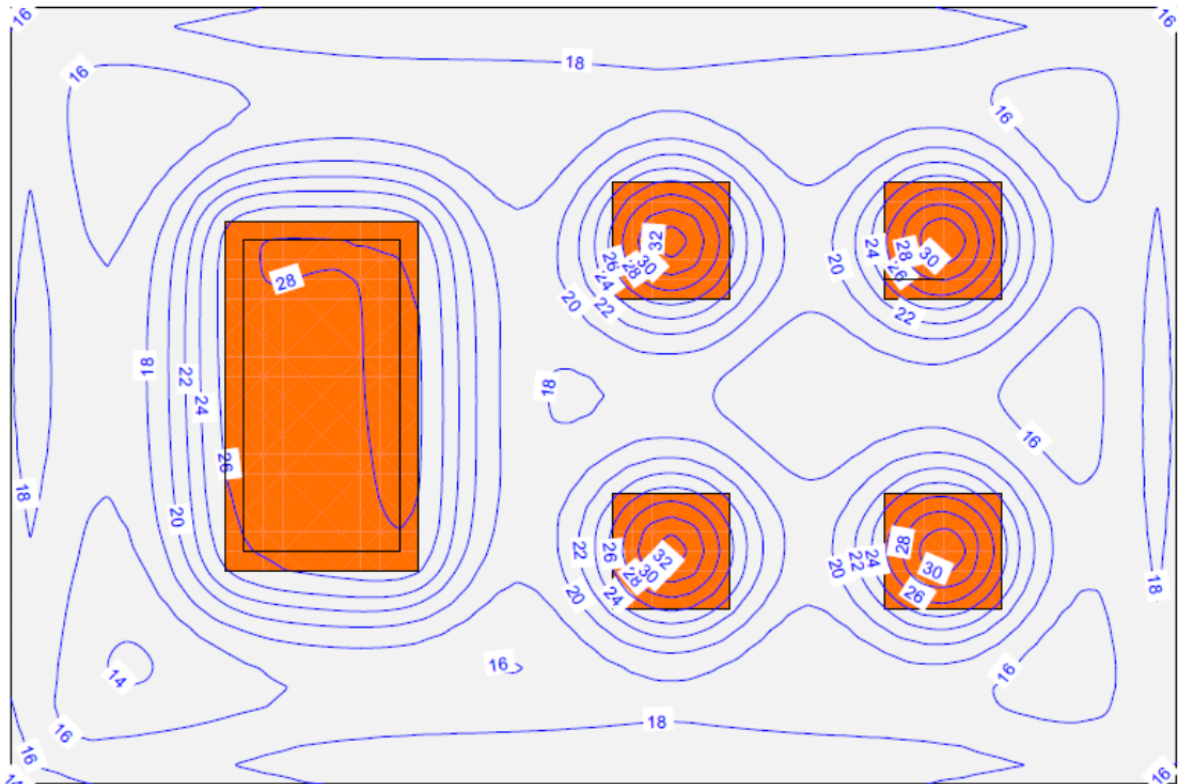


Bild 31 Setzungen

Vergleich der Verfahren, Setzungen

BZ $\delta = 18$ mm

SZ₁₀₀ $\delta = 27$ mm 150 %

SZ₃₃ $\delta = 32$ mm 119 %, bzw. 178 %

Geotechnische und konstruktive Bemessung von Flachfundationen
HSR Rapperswil

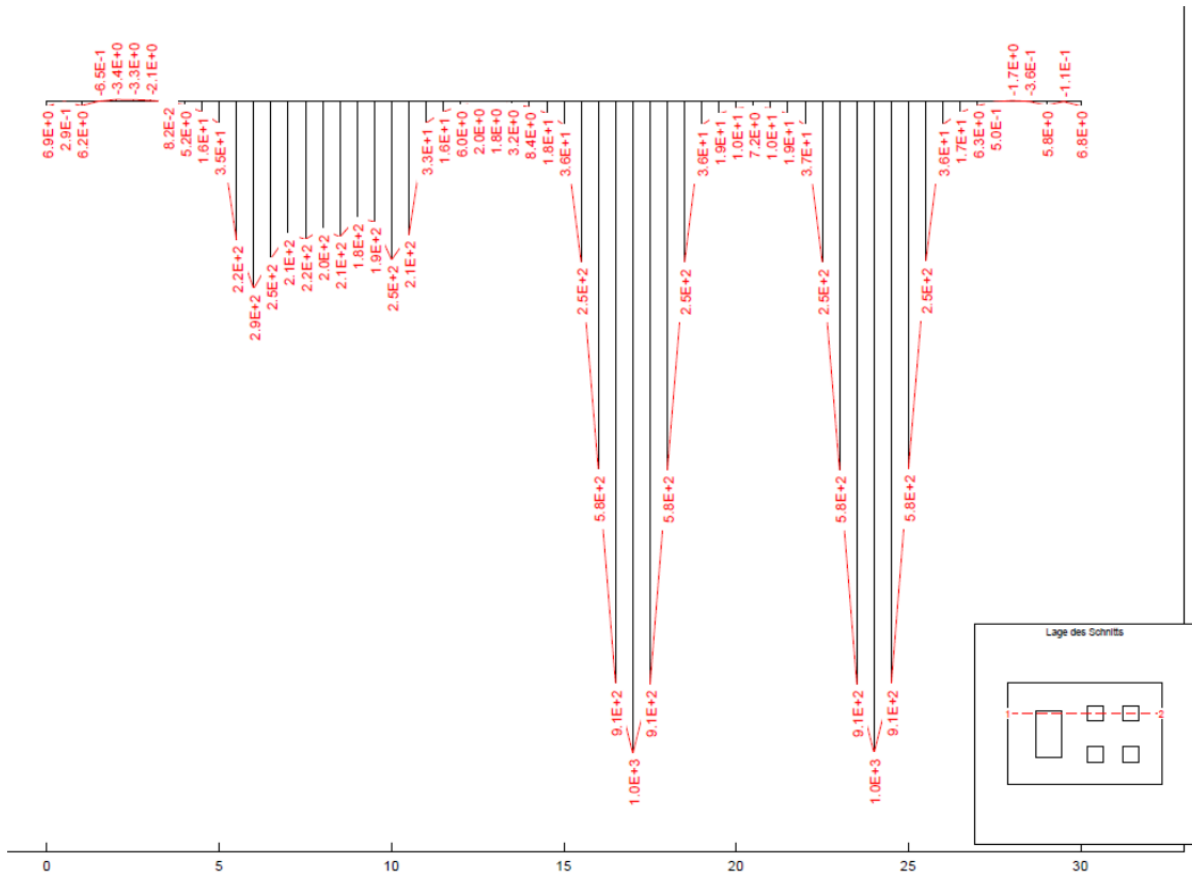
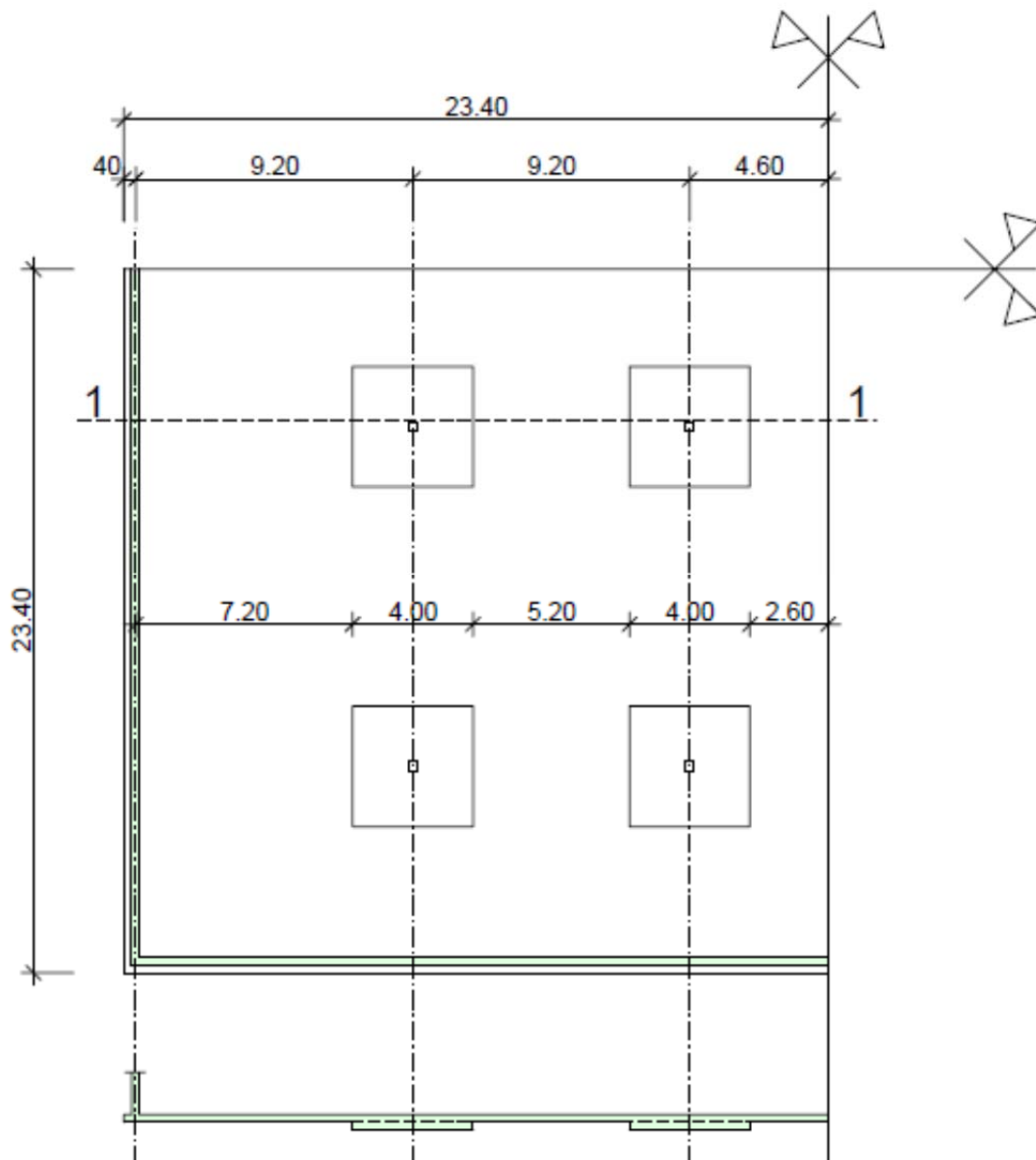


Bild 32 Momente im Längsschnitt

Vergleich der Verfahren, Momente

BZ	m = 1557 kNm	
SZ ₁₀₀	m = 1259 kNm	80 %
SZ ₃₃	m = 1000 kNm	79 %; 64 %

6. Beispiel „Schadenfall“



Bodenplatte C 30/37

Plattenstärke 25 cm

Fundament 75 cm

Baugrund:

Schicht 1 Lehm 1.8 m

$E_s = 20 \text{ MN/m}^2$

Schicht 2 Kies Sand

$E_s = 100 \text{ MN/m}^2$

Einwirkungen:

Stützen:

S1 $G_K = 3500 \text{ kN}$

$Q_K = 1500 \text{ kN}$

S2 $G_K = 4200 \text{ kN}$

$Q_K = 1800 \text{ kN}$

S3 + S4 $G_K = 3900 \text{ kN}$

$Q_K = 1700 \text{ kN}$

Wasserdruck vernachlässigt

Wandeg_k = 200 kN/m

$q_k = 65 \text{ kN/m}$

Bild 33 Bodenplatte Einstellhalle

Mit den Annahmen nach Bild 7 und Bild 8 erhalten wir die Bodenpressungen und Schnittkräfte nach Bild 34 und 35.

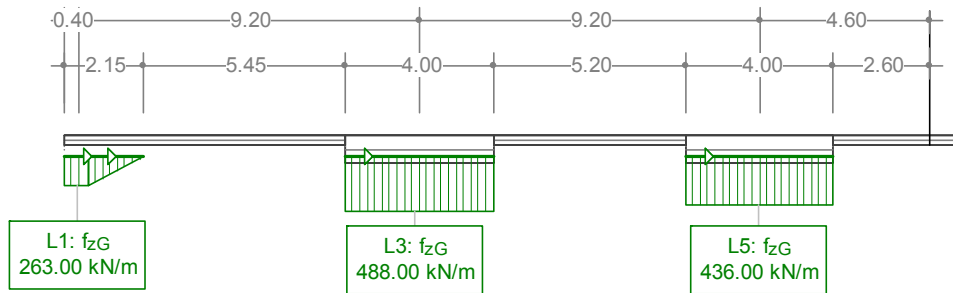


Bild 34 Bodenpressungen (kN/m^2)

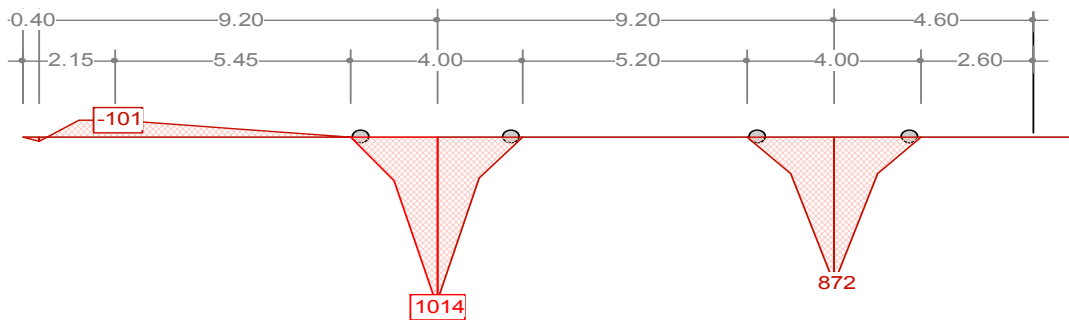


Bild 35 Momente (kNm/M)

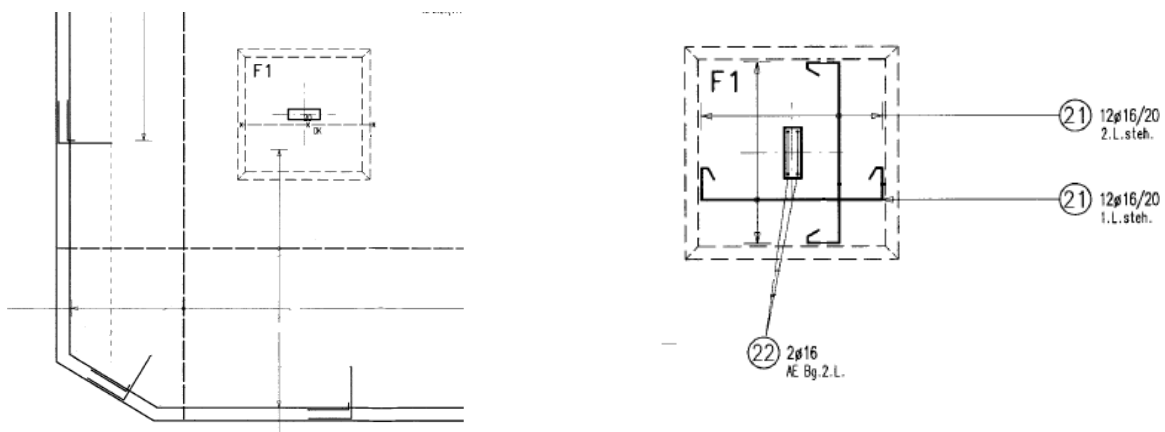


Bild 36 Bewehrungsführung

Im Bild 36 ist die Bewehrung einer Bodenplatte dargestellt. Die Verstärkungen Stützenbereich wurden als "Einzelfundamente" berechnet und armiert. Auf eine untere Bewehrung im Feld wurde verzichtet.

Das Gebäude steht in der Nähe der Limmat. Bei Hochwasser ist ein Anstieg des Grundwasserspiegels bis ein Meter über OK Bodenplatte zu erwarten. Die gewählte Ausführung kann die Gefährdungsbilder Gebrauchstauglichkeit und Tragsicherheit nicht erfüllen.



Bild 37 Bemessungsmodell

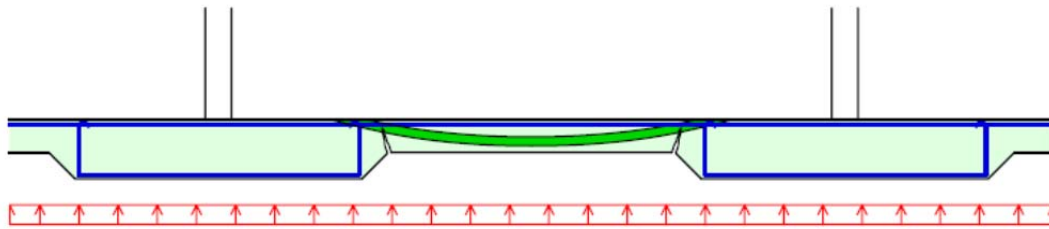


Bild 38 Tragmodell

Nachweis Platte nach dem Bettungsmodulverfahren

Aussenwände $b = 0.80 \text{ m}$, $k_S = 14'000$ Innenbereich $k_S = 7'000$

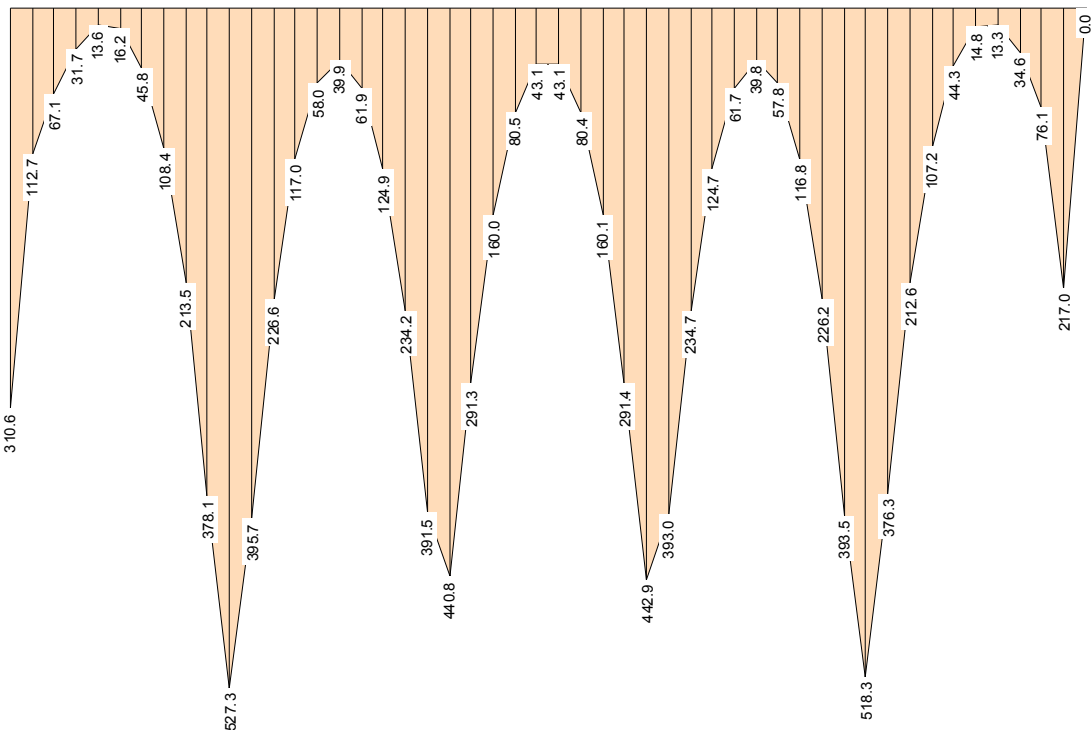


Bild 39 Bodenpressungen p_d Schnitt 1-1 der Abb. 33 (BZ)

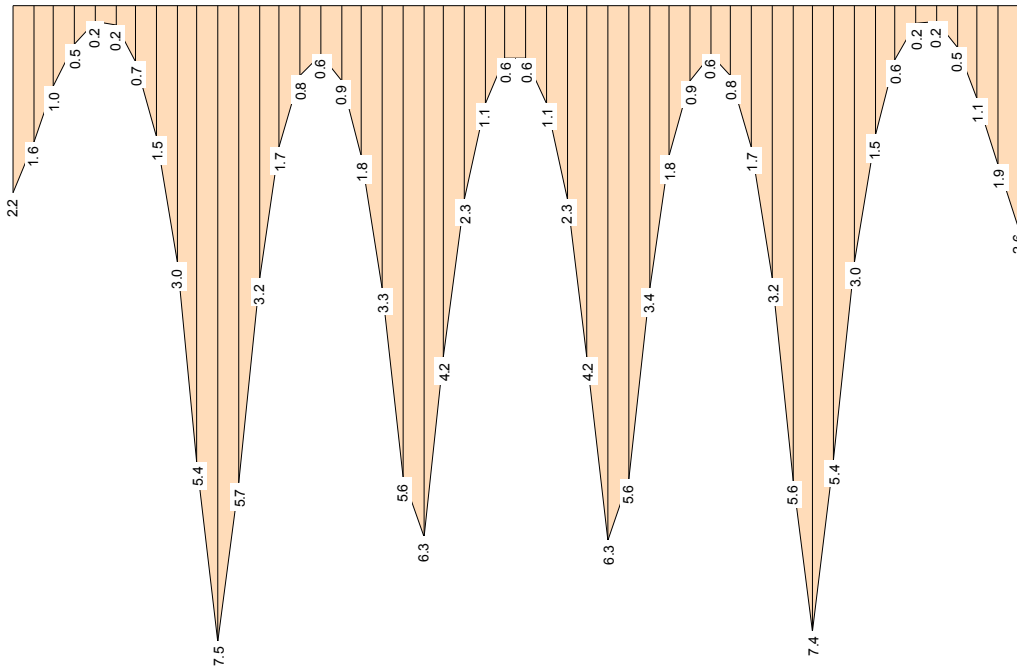
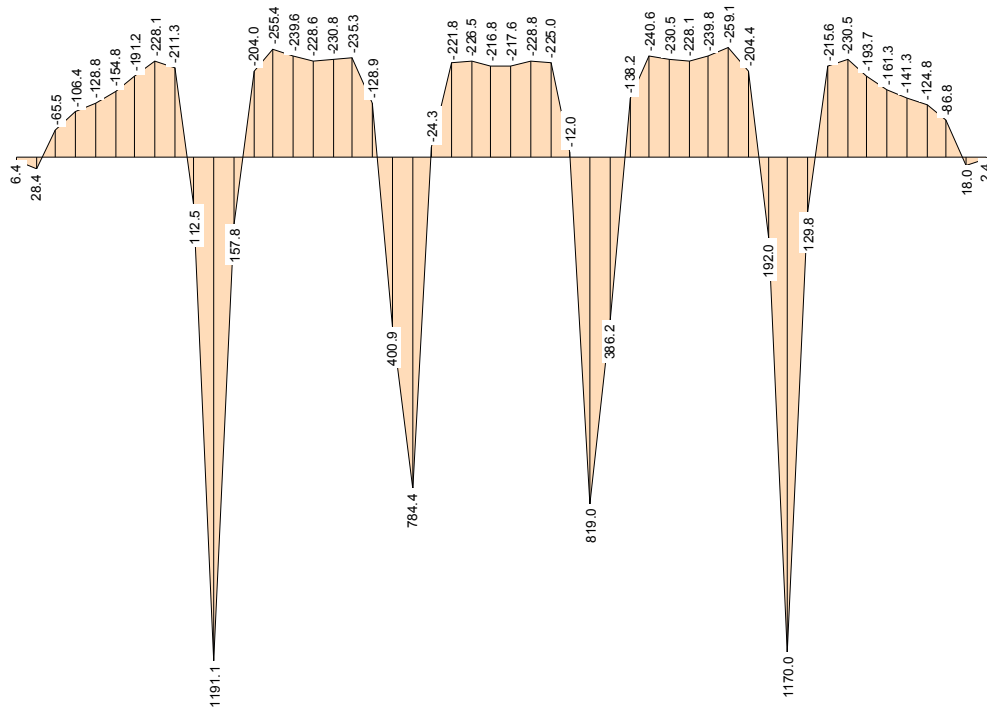


Bild 40 Verschiebungen im Schnitt 1-1 der Abb. 33 (BZ)

Bild 41 Biegemomente m_d Schnitt 1-1 der Abb. 33 (BZ)



Nachweis Platte nach dem Steifemodulverfahren

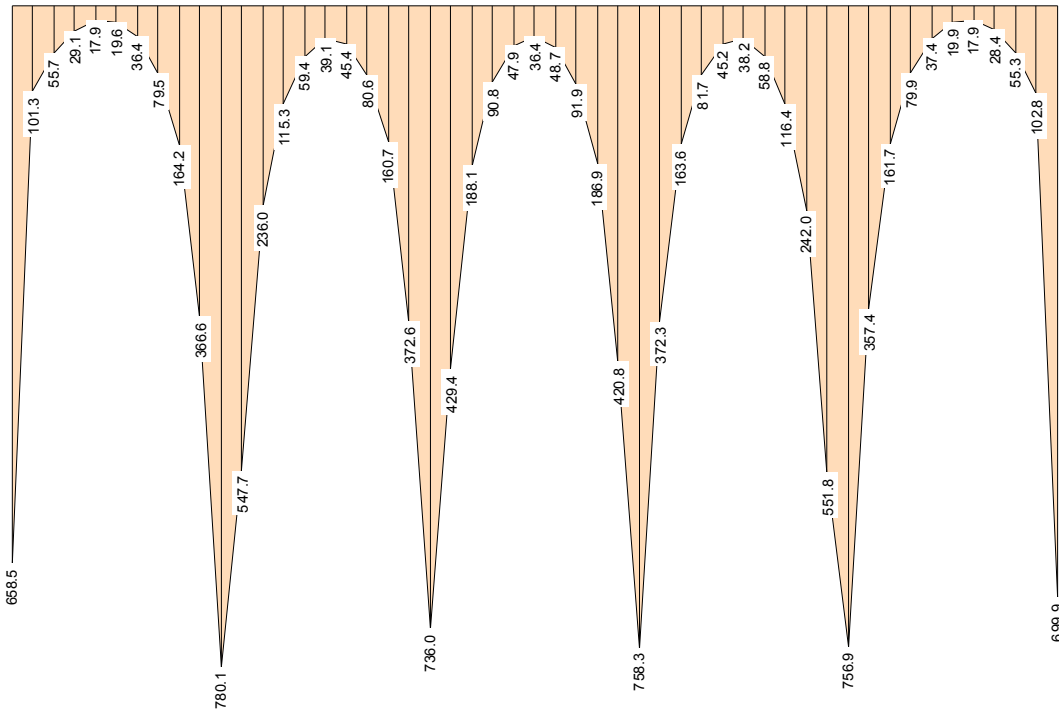


Bild 42 Bodenpressungen p_d Schnitt 1-1 (SM)

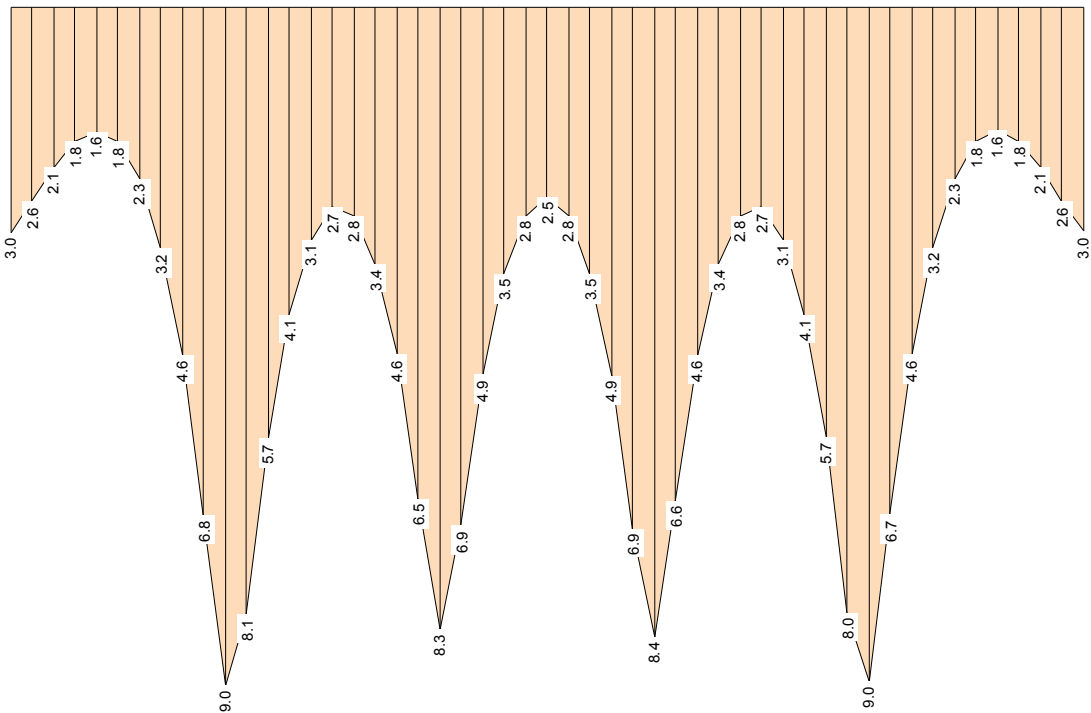


Bild 43 Verschiebungen im Schnitt 1-1 (SM)

Geotechnische und konstruktive Bemessung von Flachfundationen
HSR Rapperswil

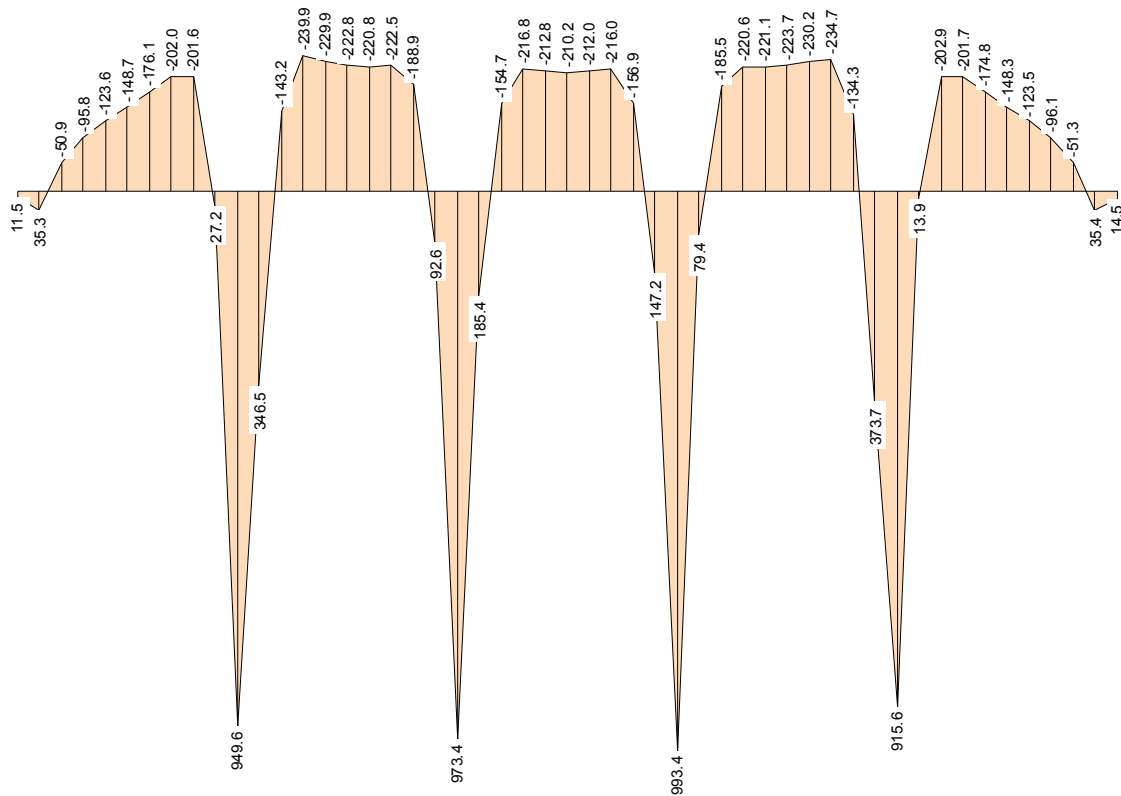


Bild 44 Biegemomente m_d Schnitt 1-1 (SM)

Für die Schnittkräfte am gerissenen Bauwerk wurden die Steifigkeiten mit dem Programm FAGUS der Cubus AG berechnet. Hier dargestellt ist die Situation Fundament.

Querschnitt PLATTE75 (C30/37;B500B): Ausnutzung $M_y=1110.0$; eff(M,N) = 1.00 erfüllt

Mstb. 1:22.3

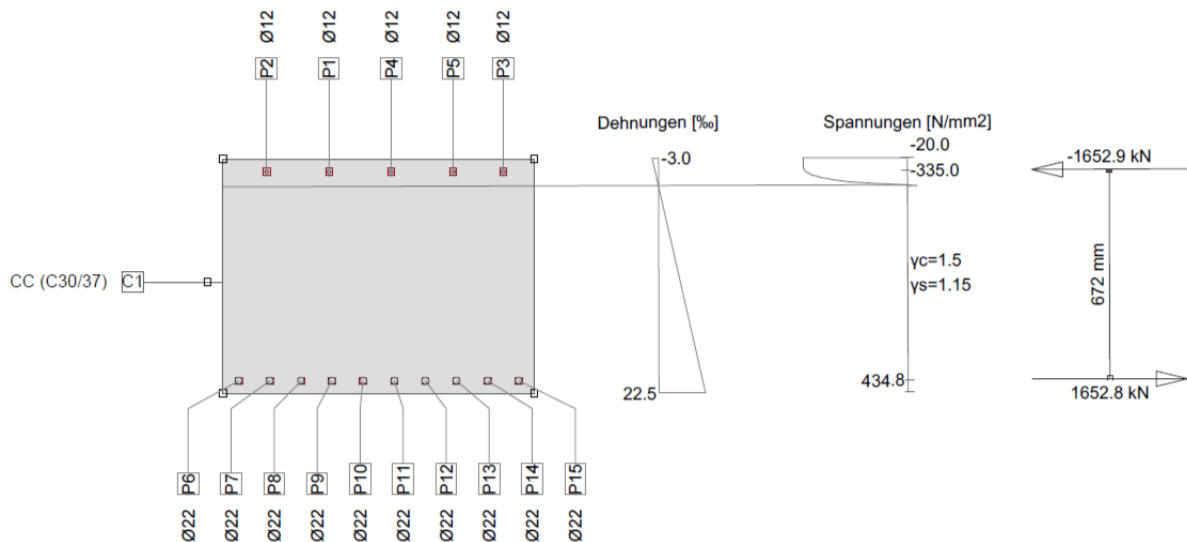


Bild 45 Nachweis Querschnitt, $M_{Rd} = 1110$ kNm (Bewehrung $\varnothing 22$ t 10)

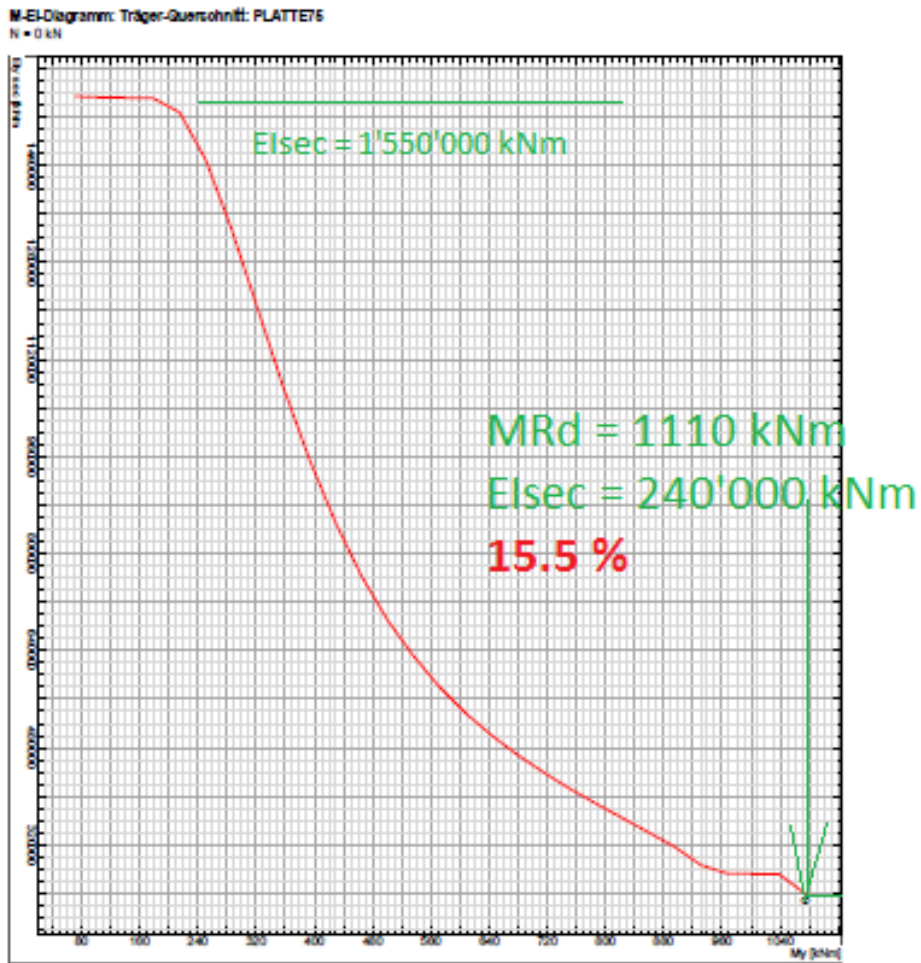
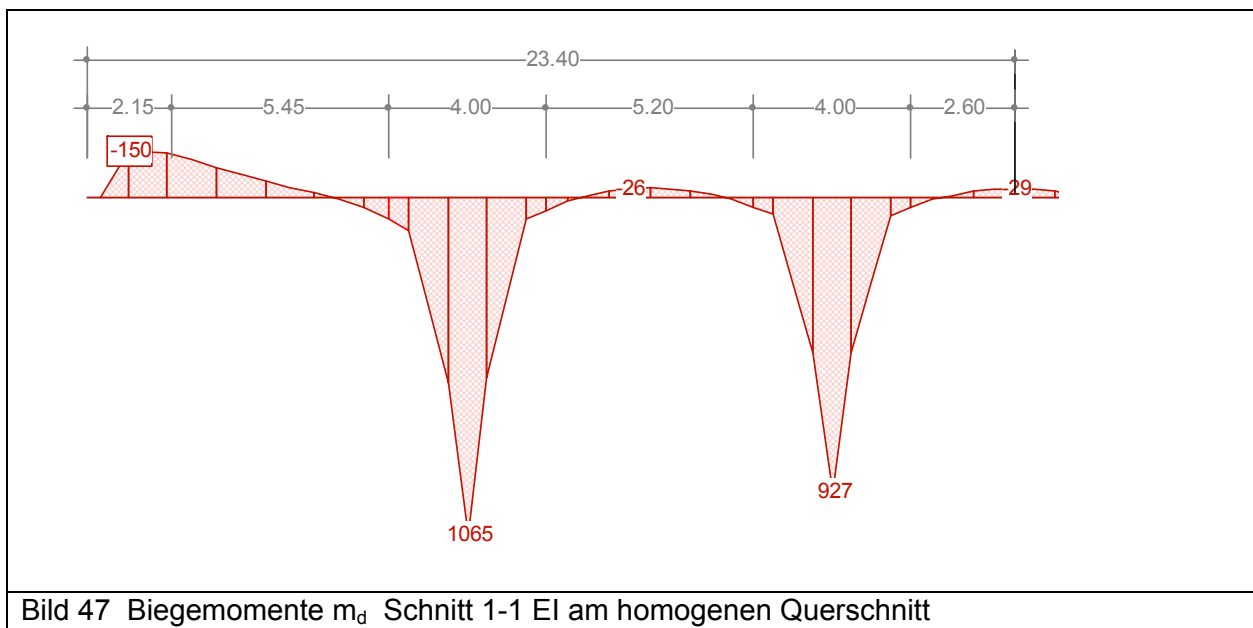


Bild 46 Momenten-Stefigkeitsdiagramm für das 75 cm starke Fundament



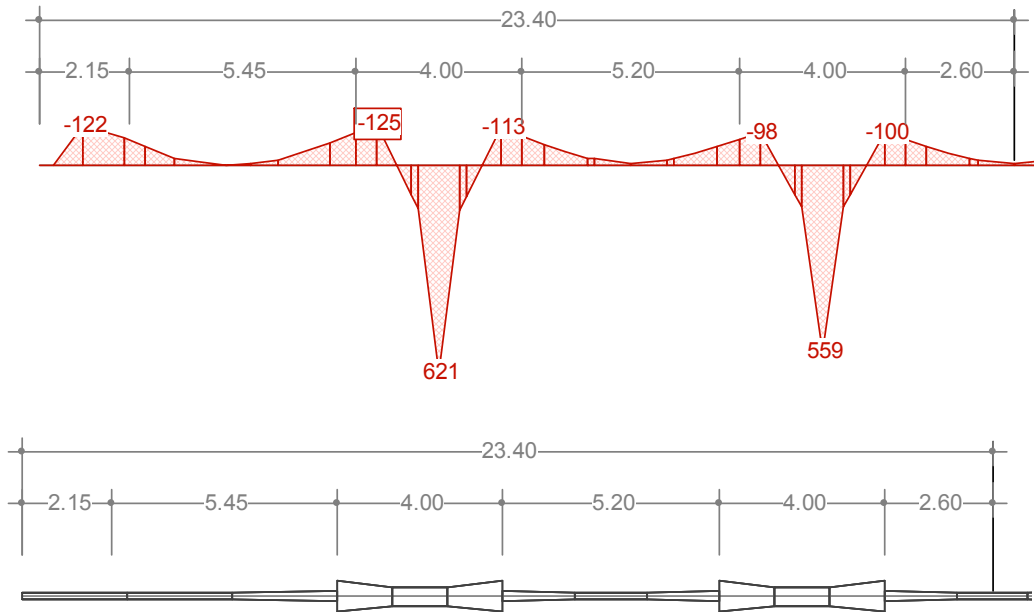


Bild 48) Biegemomente m_d Schnitt 1-1 Querschnitts-StEIFigkeit variabel

- [1] Manfred Kany: Berechnung von Flächengründungen
Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1974
- [2] Renaud Favre: Dimensionnement des Structures en Béton, Presse Polytechniques,
Lausanne 1989
- [3] vpi : Vereinigung der Prüfmgenieure für Baustatik
Landesvereinigung Baden-Württemberg e.V. 2008
- [4] H.Lang, J. Huder: Bodenmechanik und Grundbau; Springer
- [5] Lars Rüdiger : Zum Tragverhalten von Stahlbetonplatten unter Berücksichtigung der
StEIFigkeitsänderung im gerissenen Zustand, Universität München , Dissertation 2009

Kurz-CV

Beat Noser

- 1969 - 1972 Lehre als Bauzeichner, Emch + Berger AG Bern
- 1972 - 1973 Mitarbeiter bei ICA Ingénieurs Civils SA, Fribourg
- 1973 - 1976 Bauingenieurstudium am Technikum Burgdorf BE
- 1976 - 1977 Sachbearbeiter Brückenbau bei Losinger International in Köniz BE
- 1978 - 1980 Bauingenieur Hoch- und Tiefbau bei Bysäth AG in Brunnen SZ
- 1981 - 1983 Projektleiter Tragkonstruktionen bei De Berti AG in ZG
- 1983 - 1991 Abteilungsleiter Tragkonstruktion bei Steiner & Buschor Burgdorf BE
- 1992 Gründung der BPU Ingenieurunternehmung AG in Burgdorf BE
- seit 1990 Professor für Massivbau Berner Fachhochschule Burgdorf BE