

---

# GRÜNDUNGEN IN WEICHEN BÖDEN

## ERFAHRUNGEN AUS DEM BODENSEERAUM

Dr.-Ing. Ulrich Berner  
Kempfert + Partner Geotechnik, Konstanz

### 1 GRUNDLAGEN

Weiche Böden in Form von eiszeitlichen Beckensedimenten sind in Deutschland im Bodenseeraum, im Allgäu und im bayrischen Voralpenland, dort vor allem im Raum Starnberger See – Chiemsee verbreitet. Auch in der Schweiz und in Österreich stehen regional Beckensedimente als Baugrund an. Entsprechend der Sedimentation in eiszeitlichen und nacheiszeitlichen Schmelzwasserseen bestehen diese Böden überwiegend aus Ton, Schluff und Sand. Der Sandanteil ist dabei oft in Form von Bändern im Ton oder Schluff eingelagert, ebenso können Schluff und Ton in feiner Wechselschichtung vorliegen (Bänderton). Je nach Sedimentationsregime und Beeinflussung durch Schmelzwässer ist auch Kieskorn in die bindige Matrix eingelagert. Vor allem in oberflächennahen und nacheiszeitlichen Sedimenten treten organische Anteile in Form von Schilf- und sonstigen Pflanzenresten auf.

Die Beckensedimente im Bereich des Bodensees werden in der Literatur als Beckenton oder Seeton bezeichnet. Entsprechend der Benennung in der Geologischen Karte von Baden-Württemberg wird im Folgenden der Begriff Beckenton verwendet.

Bei den Beckentonen im Bereich von Konstanz handelt es sich bodenmechanisch überwiegend um leicht bis mittelplastische Tone mit weicher oder breiiger Konsistenz. Steife Konsistenz ist in der Regel im obersten Bereich oberhalb eines durchgehenden Grundwasserspiegels vorhanden („Austrocknungskruste“). Auch Bereiche mit flüssiger Konsistenz werden immer wieder angetroffen.

Die Beckentone sind meist normalkonsolidiert. Bei verschiedenen Untersuchungen wurden bereichsweise auch Porenwasserüberdrücke gemessen, woraus zu schließen ist, dass diese Bereiche noch unterkonsolidiert sind. Umfassende Untersuchungen zum Materialverhalten des Beckentons wurden von *Scherzinger (1991)* durchgeführt.

#### **Tragfähigkeit, undrainede Scherfestigkeit**

Bautechnisch relevant sind die geringe Tragfähigkeit und die große Setzungswilligkeit dieser Böden. Bei der Tragfähigkeit ist zu unterscheiden zwischen der (geringen) Anfangsscherfestigkeit und der Endscherfestigkeit im konsolidierten Zustand. Für den Entwurf von Gründungen ist dabei in der Regel die Anfangsscherfestigkeit maßgebend, die durch die undrainede Kohäsion  $c_u$  angegeben wird. Die undrainede Scherfestigkeit  $c_u$  nimmt mit der vorhandenen effektiven Spannung, also normalerweise mit zunehmender Tiefe zu. Bei homogenem und normalkonsolidiertem Boden kann die Zunahme der undraineden Scherfestigkeit mit der Tiefe angegeben werden durch (siehe *Kempfert und Stadel (1997)*):

$$c_u = \lambda_{cu} \cdot \sigma_{eff}$$

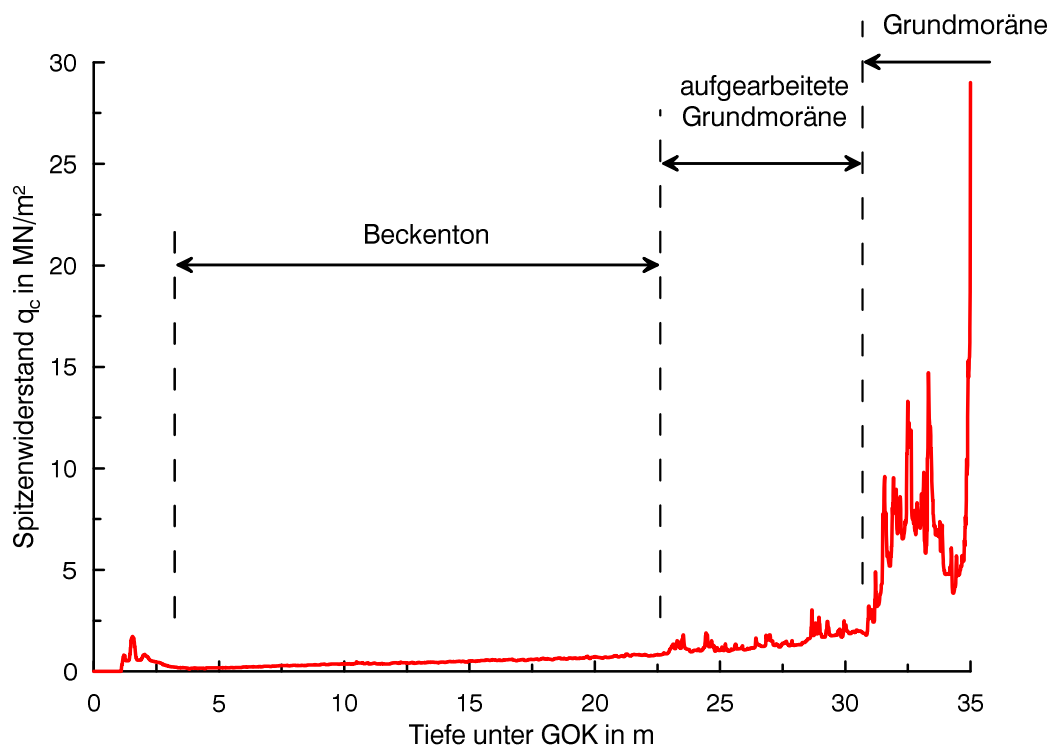
mit  $\sigma_{eff}$  vorhandene effektive Spannung

Der Parameter  $\lambda_{cu}$  liegt für den Konstanzer Beckenton zwischen etwa 0,2 und 0,3. *Scherzinger (1991)* gibt  $\lambda_{cu} = 0,26$  an.

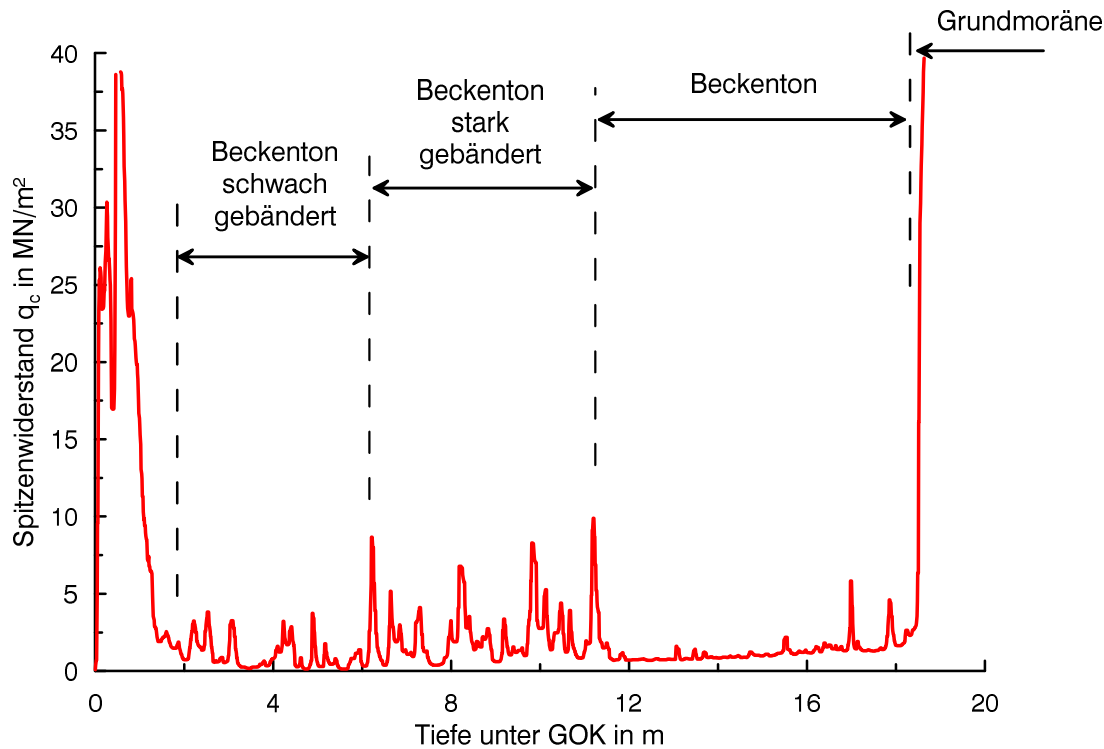
Die undrainede Scherfestigkeit kann in-situ mit Feldflügelversuchen gemessen oder aus dem Spitzendruck  $q_c$  von Drucksondierungen abgeleitet werden. Nach den *EAB* kann folgende Beziehung zur Ermittlung der undraineden Scherfestigkeit aus der Messung des Spitzendrucks angesetzt werden:

$$c_u = 0,05 \div 0,1 \cdot q_c$$

Die Abbildung 1 zeigt den Verlauf des Spitzendrucks aus Drucksondierungen aus Projekten in Konstanz. Der unruhige Verlauf der Messwerte zeigt eine Bänderung des Beckentons an, wobei die Spitzen der Messkurven bzw. die Abschnitte mit erhöhtem Spitzendruck durch Sandbänder verursacht sind. Erfahrungsgemäß sind die bei Drucksondierungen registrierten feinen Sandbänder in Bohrkernen nicht oder nur schwer erkennbar. Der Beckenton wird in der Regel von Böden der Grundmoräne unterlagert. Zwischen Beckenton und Grundmoräne ist häufig eine Übergangszone vorhanden, die durch zunehmende Festigkeit und höheren Grobkornanteil als im Beckenton gekennzeichnet ist. Dabei kann es sich um gemischt-körnige oder grobkörnige Beckenablagerungen oder um geologisch aufgearbeitete Grundmoränenböden handeln.



a)

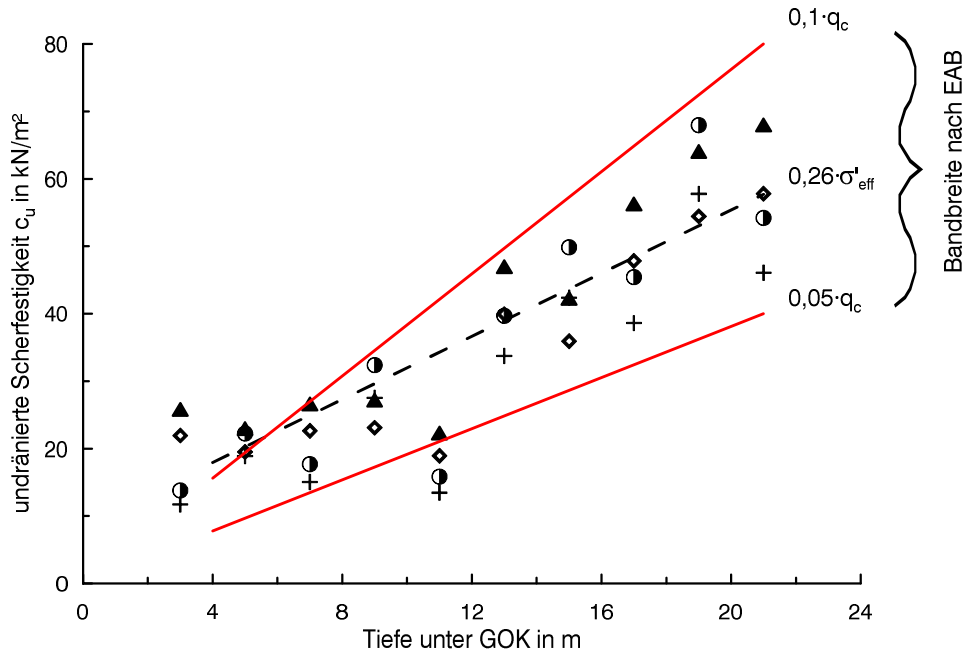


b)

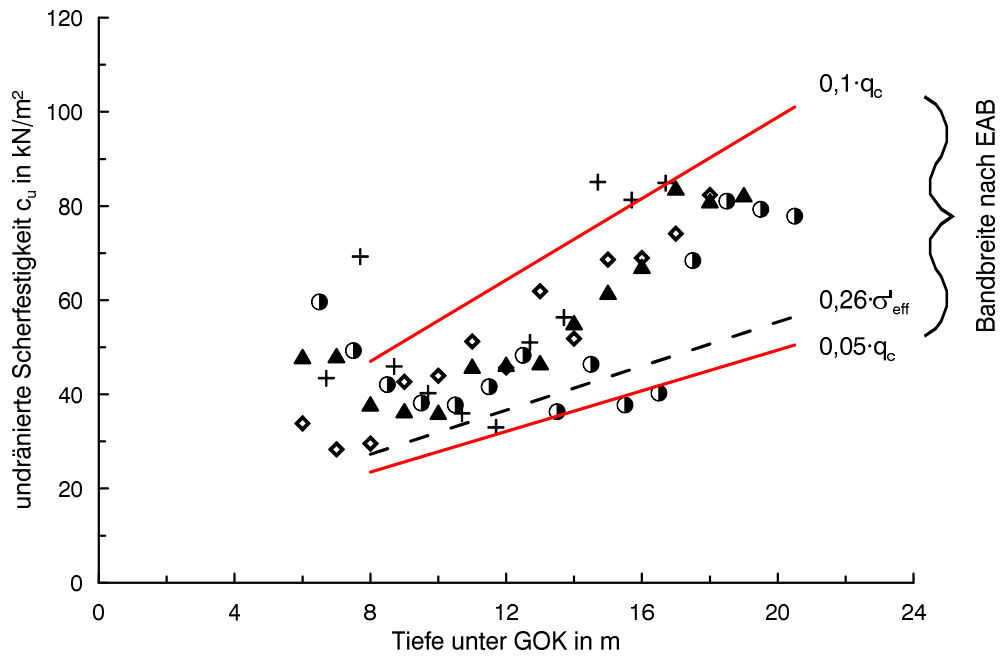
**Abb. 1** Spitzendruck  $q_c$  aus Drucksondierungen: a) Anbau Kaufland Konstanz b) Torhaus am Seerhein

Die Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse von Feldflügelsondierungen (in Abhängigkeit von der Plastizität korrigierte Scherfestigkeiten) aus zwei Projekten in Konstanz. In die Darstellungen sind jeweils auch als Geraden die undrained Scherfestigkeiten eingetragen, die sich aus den Beziehungen  $c_u = \lambda_{cu} \cdot \sigma_{eff}$  (mit  $\lambda_{cu} = 0,26$ ) und  $c_u = 0,05 \div 0,1 \cdot q_c$  ergeben.

Die Darstellungen zeigen, dass die Beziehung zwischen der undrained Scherfestigkeit und dem Spitzendruck aus Drucksondierungen durch die in den *EAB* vorgeschlagene Bandbreite gut eingegrenzt wird. Auch mit der angeführten Beziehung zur vorhandenen effektiven Spannung kann die undrained Scherfestigkeit angenähert werden. Für genauere Betrachtungen ist allerdings oft ein abgestufter Ansatz notwendig, der unterschiedliche Schichtungen im Beckenton, wie z. B. gebänderte und nicht gebänderte Bereiche, erfasst.



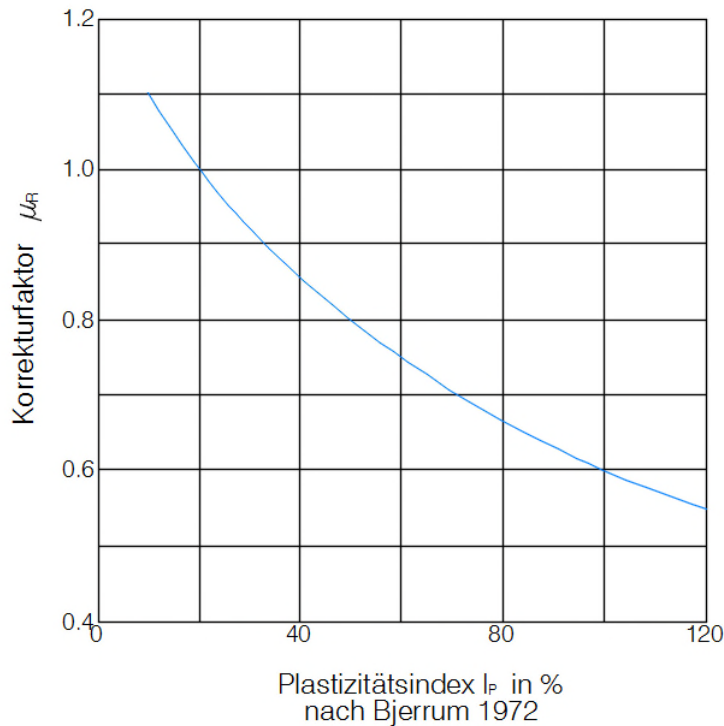
a)



b)

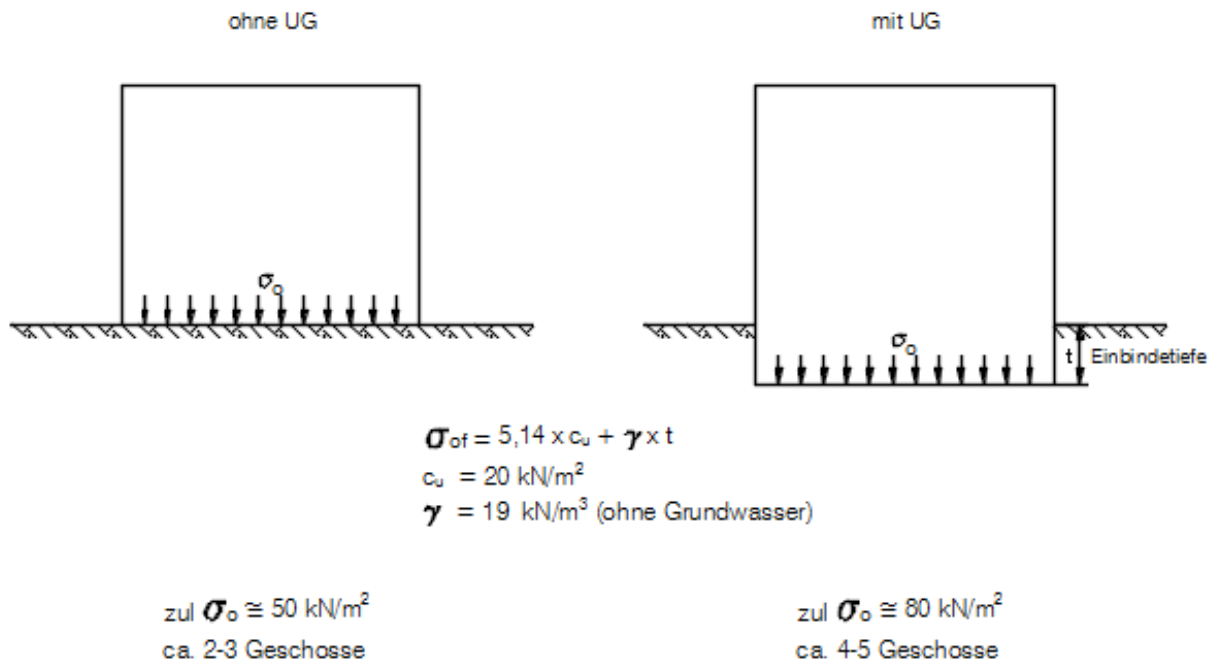
**Abb. 2** Undrained shear strength  $c_u$  aus Feldflügelsondierungen: a) Anbau Kaufland Konstanz b) Sporthaus zum See

Die Ergebnisse von Feldflügelversuchen müssen zur Berücksichtigung der Plastizität mit einem Korrekturfaktor abgemindert werden (*Bjerrum et al. (1972)* und *Hettler et al. (2002)*). Der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der Plastizität nach *Bjerrum* ist in Abbildung 3 dargestellt.



**Abb. 3** Korrekturfaktor für die Scherfestigkeit aus Feldflügelversuchen

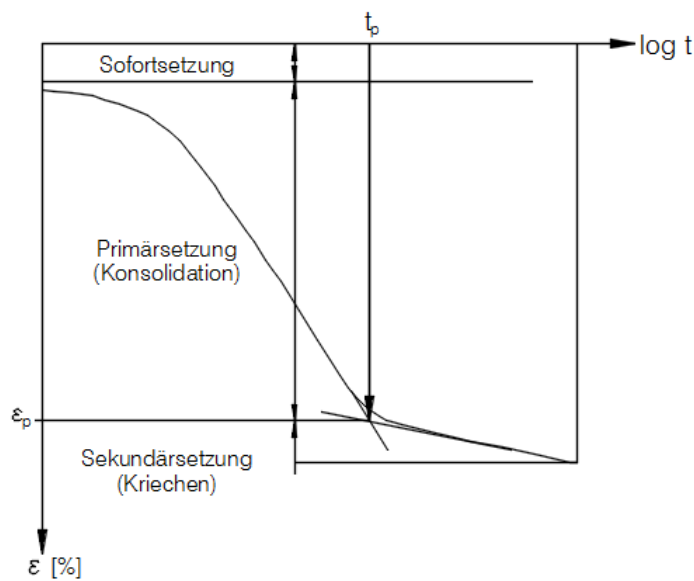
Aus der geringen undrännierten Scherfestigkeit bzw. Tragfähigkeit von weichen Böden ergibt sich eine Begrenzung der Gründungslasten über den Nachweis der Grundbruchsicherheit. Die Abbildung 4 zeigt anschaulich anhand von üblichen Größenordnungen für Hochbauten und für Konstanzer Beckenton, wie sich dies auf die maximal mögliche Geschosszahl einer Flachgründung auswirkt. Wie diese überschlägigen Abschätzungen zeigen, ergibt sich bei Flachgründungen von Hochbauten in weichen Böden bereits aus dem Nachweis der Standsicherheit eine Begrenzung auf wenige Geschosse. Bei den überschlägigen Abschätzungen wurde, da dies anschaulicher ist, eine globale Sicherheit gegen Grundbruch von 2,0 angesetzt. Aufgrund der bereits beim Bau (mit der allmählichen Lastaufbringung) einsetzenden Konsolidation kann bei Ansatz der undrännierten Scherfestigkeit eventuell auch eine etwas geringere globale Sicherheit gegen Grundbruch ( $\eta \approx 1,5 \div 2,0$ ) zugelassen werden. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass bei geringerer Sicherheit die Scherfestigkeit des Bodens stärker ausgenutzt wird und mit plastischen Bodenverformungen zu rechnen ist, welche die mit elastischen Berechnungen prognostizierten Setzungen erhöhen.



**Abb. 4** Maximal mögliche Geschosszahl einer Flächengründung anhand überschlägiger Abschätzungen

**Gebrauchstauglichkeit, Setzungen**

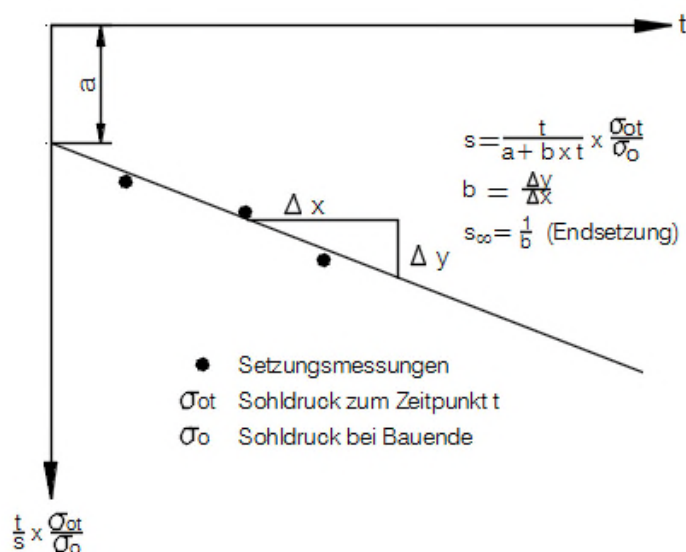
Das Setzungsverhalten von wassergesättigten weichen Böden ist gekennzeichnet durch eine Zeitabhängigkeit und es kann in drei Anteile bzw. Phasen unterschieden werden: Sofortsetzung, Konsolidationssetzung (Primärsetzung) und Kriechen (Sekundärsetzung). Die Abbildung 5 zeigt schematisch diesen Setzungsverlauf.



**Abb. 5** Zeit-Setzungslinie (schematisch) von wassergesättigten weichen Böden

Bei der Prognose von Setzungen über eine Setzungsberechnung ist zu beachten, dass sich bei Ansatz des Steifemoduls aus Kompressionsversuchen und bei Festlegung der Grenztiefe über das 20 %-Kriterium nach DIN 4019 meist höhere Setzungen ergeben als dann tatsächlich eintreten. Nach *Soumaya (2005)* liegt im Beckenton die Grenztiefe dort, wo die lotrechte Zusatzspannung etwa 25 % der Überlagerungsspannung beträgt und für eine Setzungsberechnung unter Ansatz des Steifemoduls aus Kompressionsversuchen kann ein Korrekturfaktor von etwa 0,7 angesetzt werden. Bei der Setzungsprognose ist wegen der Inhomogenität des Baugrunds bzw. der Bodenschichten üblicherweise eine mögliche Bandbreite der Setzungen von  $\pm 50\%$  in Bezug auf die berechneten Setzungen zu berücksichtigen.

Bei der Auswertung von laufenden Setzungsmessungen zur Prognose der Endsetzung hat sich das Verfahren von *Sherif (1973)* bewährt. Das Verfahren beruht auf der Annahme, dass der Setzungsverlauf mit einer Hyperbelfunktion angenähert werden kann, siehe Abbildung 5.



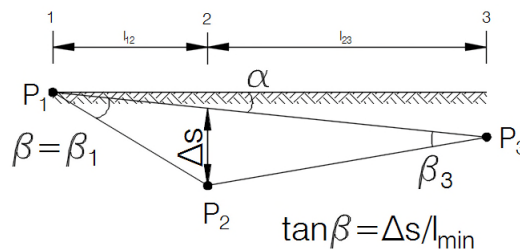
### Ermittlung der Parameter a und b nach Sherif (1973)

**Abb. 4** Prognose der Endsetzung s aus Setzungsmessungen (nach *Sherif (1973)*)

Bei Gründung in weichen Böden können, auch wenn die Grundbruchsicherheit ausreichend ist, Setzungen in der Größenordnung von mehreren Zentimetern bis mehreren Dezimetern eintreten. Beim Entwurf einer Gründung in weichen Böden müssen deshalb die zulässigen Setzungen, die zulässigen Setzungsdifferenzen, die zulässigen Verkantungen und die zulässigen Winkelverdrehungen berücksichtigt werden. Die Tabelle 1 enthält dazu beispielhaft Angaben aus der Literatur (*Fischer (2009)*).

**Tabelle 1** Zulässige Verkantungen und Winkelverdrehungen, verschiedene Angaben (beispielhaft) aus der Literatur für Muldenlagerungen (aus Fischer (2009))

	Verkantung $\tan \alpha$	
Schornsteine, Türme, Silos	1/250	b: Fundamentbreite h: Gebäudehöhe
	$b / 200 \cdot h$	
	$b / 250$	
Üblicher Hochbau	$h / 333$	
	Winkelverdrehung $\tan \beta$	
Mauerwerk, mehrgeschossige Gebäude	1 / 3333	L/H < 3
	1 / 1430	L/H > 5
Mauerwerk, eingeschossige Gebäude	1 / 1000	
Lange, ausgefachte Rahmenbauwerke	1 / 500	Rissefreiheit
Allgemein	1 / 1000 ÷ 1 / 500	keine Schäden
	1 / 300	leichte Risse, architektonische Schäden
	1 / 150	konstruktive Schäden



## 2 GRÜNDUNGSARTEN

Aufgrund der geringen Tragfähigkeit und großen Setzungswilligkeit kommen in weichen Böden Einzel- und Streifenfundamente nur bei setzungsunempfindlichen Gebäuden mit geringen Gründungslasten in Frage. Biegesteife Fundamentrost kommen z. B. zur Ausführung, wenn an der Geländeoberfläche zur Gründung ungeeignete Schichten vorhanden sind, die nicht ausgetauscht werden sollen (Auffüllungen, organische Böden usw.). Die Fundamente (oder Betonsockel unter den Fundamenten) werden dann auf den unterlagernden Weichschichten abgesetzt und die Bodenplatte wird deckenartig auf den Fundamenten aufgelagert. Die zu einem Fundamentrost verbundenen Fundamente bieten den Vorteil einer hohen Gründungssteifigkeit, die Anwendbarkeit ist jedoch durch die Grundbruchsicherheit der einzelnen Fundamentstreifen, die zulässigen Setzungen und die zulässigen Schiefstellungen begrenzt.

Flächengründungen auf einer biegesteifen Fundamentplatte stellen die häufigste Gründungsart in weichen Böden dar. Die Grundbruchsicherheit muss ausreichend und die Setzungen und Setzungsdifferenzen müssen zulässig sein und vom Bauherrn in Kauf genommen werden. Erfahrungsgemäß können gleichmäßige Setzungen von etwa 5 bis



10 cm im üblichen Hochbau noch ohne Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit in Kauf genommen werden. Ungünstig sind exzentrisch überbaute Untergeschosse, hohe Einzellasten oder, wie im Industriebau häufig, hohe Setzungsanforderungen.

Ein Bodenaustausch als Baugrundverbesserung kommt nur in seltenen Fällen in Frage. Zum einen wegen der notwendigen großen Austauschtiefen und damit Austauschmassen, zum anderen, weil das Eigengewicht des Bodenaustauschmaterials zusätzlich zu den Bauwerkslasten den Baugrund belastet und Setzungen verursacht.

Zur Baugrundverbesserung in Frage kommen im Verdrängungsverfahren hergestellte Stabilisierungssäulen (aus Nassmörtel oder Trockenmörtel), die zum einen die Steifigkeit des von den Säulen erfassten Bodenblocks verbessern und die Gründungslasten in die Tiefe ableiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch aus der Lasteintragung in den Boden unterhalb des verbesserten Bodenblocks Setzungen resultieren.

Bei Säulen, die mit Rüttelverfahren hergestellt werden, muss beachtet werden, dass durch den Rüttelvorgang der Boden gestört und entfestigt werden kann. Des Weiteren ist die seitliche Stützwirkung für nicht verfestigte Säulen und damit deren Tragfähigkeit begrenzt.

Bei hohen und vor allem punktuellen Gründungslasten oder bei hohen Setzungsanforderungen müssen Pfahlgründungen ausgeführt werden. Bei der Auswahl des Pfahlsystems müssen die Festigkeit des weichen Bodens, die Tiefe der gründungsfähigen Schicht, die Erschütterungsempfindlichkeit der Umgebung sowie die Größe und Verteilung der Gründungslasten beachtet werden.

Eine oft wirtschaftliche Gründungsform stellen kombinierte Pfahl-Plattengründungen dar, bei denen ein Teil der Gründungslasten über Sohldruck unter der Fundamentplatte und der andere Teil über Pfähle in den tieferen Baugrund abgetragen wird. Bei weichen Böden müssen Mantelreibungspfähle (wie z. B. verpresste Mikropfähle) eingesetzt werden, die eine Lasteintragung über Mantelreibung in die weiche Schicht ermöglichen. Werden die Pfähle in unterlagernde, feste Schichten abgesetzt, kann sich aufgrund der dann hohen Pfahlsteifigkeit eine nahezu vollständige Lastumlagerung in die Pfähle und damit quasi eine Pfahlgründung ergeben, was zu einer Überbeanspruchung der Pfähle führen kann. Anzahl und Länge der Pfähle ergeben sich meist aus den Setzungsanforderungen. Ein maßgebender Parameter für kombinierte Pfahl-Plattengründungen ist der sog. Pfahl-Plattenkoeffizient  $\alpha_{KPP}$ , der den von den Pfählen übernommenen Lastanteil angibt:

$$\alpha_{KPP} = R_{Pfahl} / R_{total}$$

mit  $R_{Pfahl}$  Widerstand der Pfähle

$R_{total}$  Widerstand der Gründung (Pfähle und Fundamentplatte)

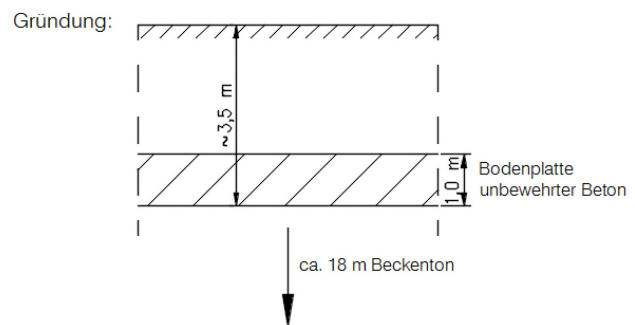
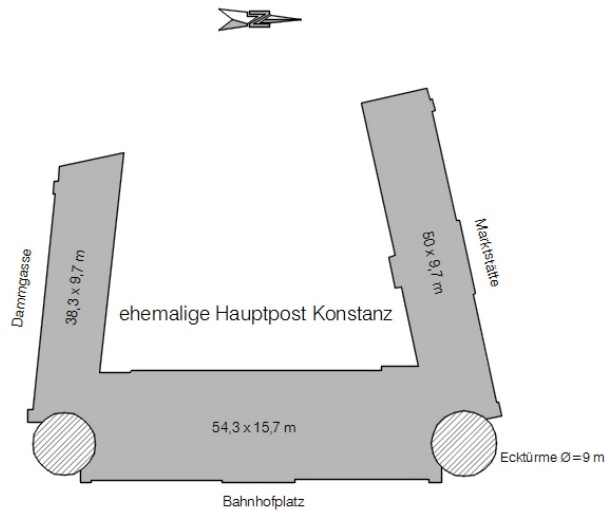
Im Folgenden werden Beispiele für verschiedene Gründungsarten im Konstanzer Beckenton vorgestellt und stichwortartig mit den wesentlichen Projektdaten beschrieben. Es handelt sich dabei um eine beispielhafte Auswahl von Projekten, die zwischen 1994 und 2013 von Kempfert + Partner Geotechnik bearbeitet wurden. Ergänzend wird das Gebäude der ehemaligen Hauptpost Konstanz aufgeführt (siehe dazu *Gudehus et al. (1987)*), da es sich um ein historisches Bauwerk handelt, für das Setzungsmessungen über einen Zeitraum von über 100 Jahren vorliegen.

### 3 FLACHGRÜNDUNGEN

#### Ehemalige Hauptpost Konstanz

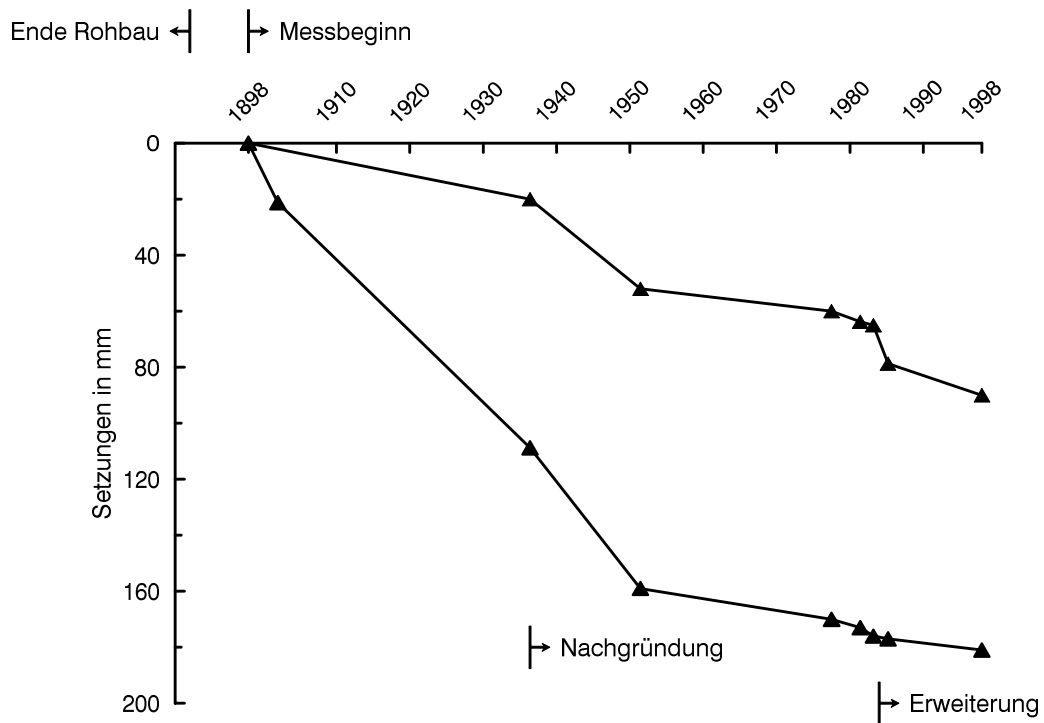
Hohe Setzungen durch große Bauwerkslasten

- Bauzeit 1889 bis 1891
- Flachgründung auf 1,0 m dicker Bodenplatte aus unbewehrtem Beton in etwa 3 bis 3,5 m Tiefe unter Gelände
- Ca. 18 m Beckenton, darunter Schluffe und Sande
- Mittlerer Sohldruck: Gebäude ca.  $120 \text{ kN/m}^2$ , Ecktürme ca.  $180 \text{ kN/m}^2$
- Während der Bauzeit Sofortsetzungen von ca. 30 cm
- Setzungsmessungen 1898 bis 1998: ca. 10 bis 20 cm Setzungen (größte Setzungen an den Ecktürmen)
- Sichtbare Setzungsdifferenzen ca. 50 cm
- Kriechsetzungen 1990-er Jahre: ca. 0,3 bis 1 mm/a
- Einbau von Nachgründungspfählen (Presspfähle) 1938, dadurch verursachte Setzungen von ca. 2 bis 4 cm
- Erweiterung 1985 und Umbau zur Sparkassenhauptstelle 1997





Hauptgebäude mit Ecktürmen (Ansicht vom Bahnhofplatz aus), am Verlauf der Fensterbrüstungen im Erdgeschoss optisch erkennbar zunehmende Setzung zu den Ecktürmen hin



Setzungsmessungen seit 1898 (ausgewählt Messpunkt mit kleinster und größter Setzungszunahme)

## Bürogebäude Turmstraße Konstanz

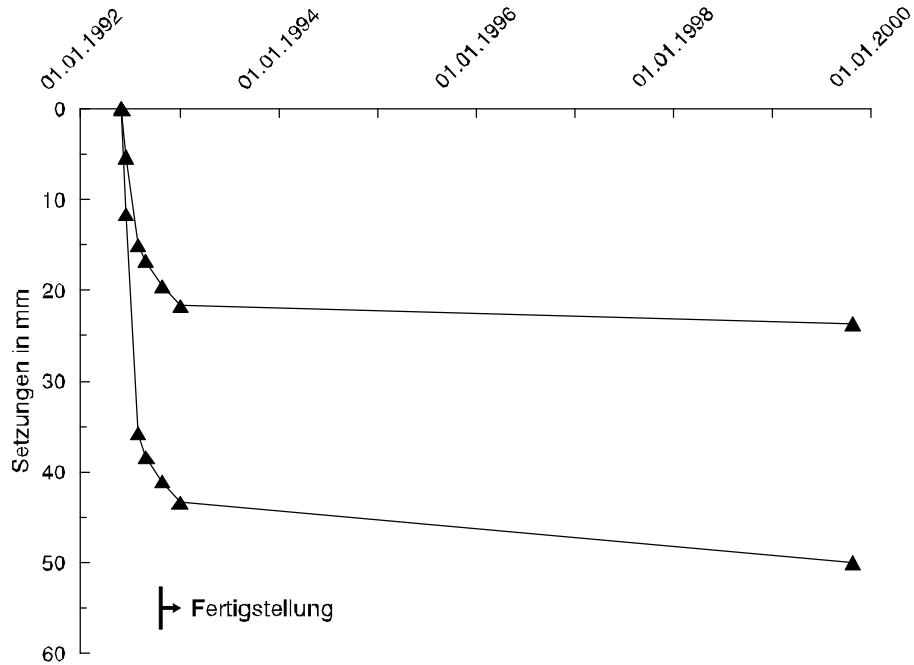
Flachgründung mit „planmäßigen“ Setzungen

- 5 Geschosse
- Flachgründung in 1,3 m Tiefe unter Gelände mit Fundamentplatte 17,1 x 12,4 m<sup>2</sup> aus Stahlbeton, darunter 0,5 m Kies als Polsterschicht
- Baugrund breiiger Beckenton (TM, TL) bis etwa 35 m Tiefe
- Mittlerer Sohldruck Unterkante Fundamentplatte: ca. 75 kN/m<sup>2</sup>
- Berechnete Setzung  $s \approx 5$  bis 8 cm
- Globale Grundbruchsicherheit im Anfangszustand  $\eta = 1,6$
- Nach 8 Jahren Setzungen zwischen ca. 2,5 und 5 cm



Bürogebäude Turmstraße im Vordergrund.

Anmerkung: eingerüstetes Nachbargebäude, Bau 2014, Tiefgründung auf Pfählen in Grundmoräne zur Vermeidung von Mitnahmesetzungen.

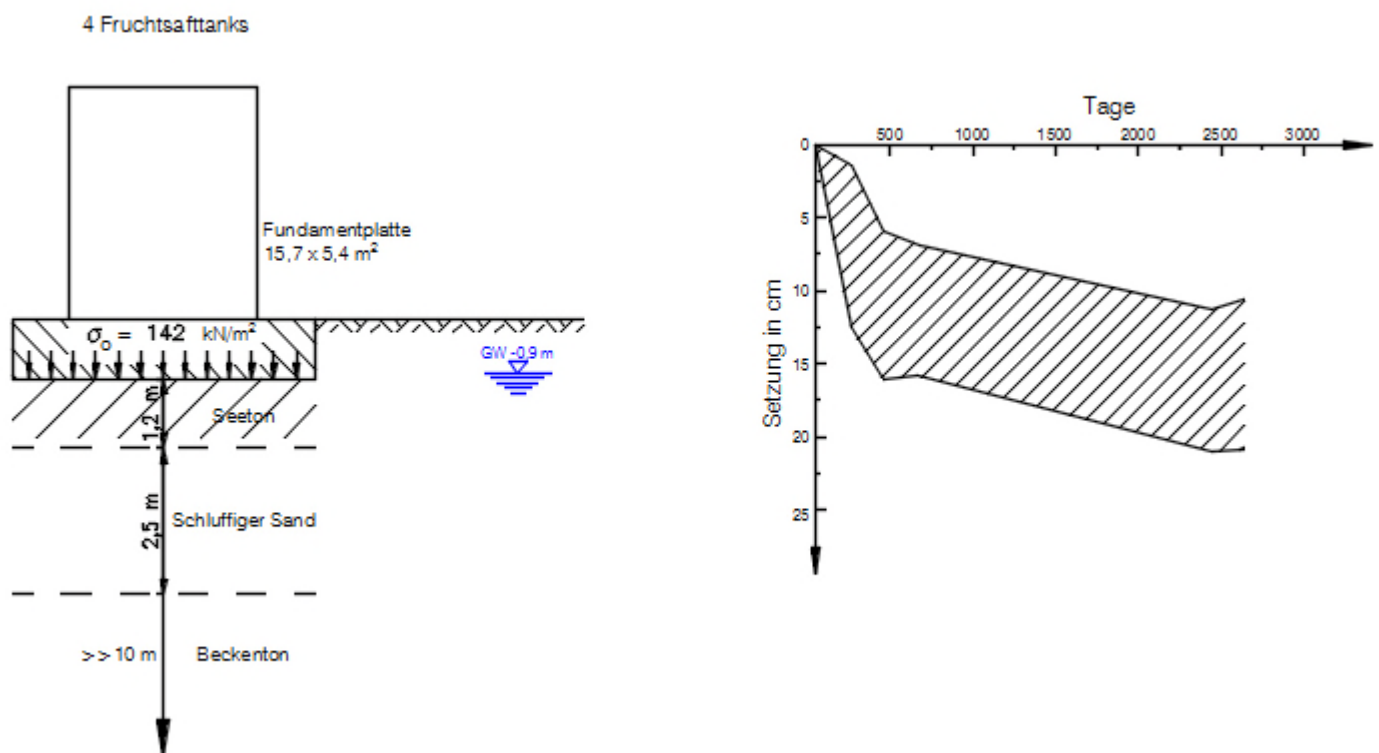


Gemessene Setzungen Bürogebäude Turmstraße

### Fruchtsafttanks Radolfzell

Hohe Setzungen durch schnelle Belastung und große Sohlspannung

- Flachgründung auf Fundamentplatte 5,4 x 15,7 m<sup>2</sup> aus Stahlbeton, ausgesteift durch Randriegel, in 1,2 m Tiefe unter Gelände
- Unter Fundamentplatte 1,2 m weicher Seeton (UL, UM), 2,5 m schluffiger Sand (lockere Lagerung), >> 10 m breiiger Beckenton (TL, TM)
- Mittlerer Sohldruck: ca. 142 kN/m<sup>2</sup>
- Berechnete Setzung  $s \approx 9$  cm
- 7 Monate nach Baubeginn Tanks vollständig gefüllt, Setzungen bis ca. 10 cm
- Nach 2 Jahren Setzungen zwischen ca. 7 und 16 cm
- Nach 7 Jahren Setzungen zwischen ca. 13 und 22 cm
- Nach *Sherif* extrapolierte mittlere Endsetzung ca. 18 cm



Schematischer Schnitt und gemessene Setzungen (ausgewählt Messpunkt mit kleinster und größter Setzung)

## Bürogebäude Unterlohn Konstanz

Hohe Setzungen durch nicht ausreichende Grundbruchsicherheit

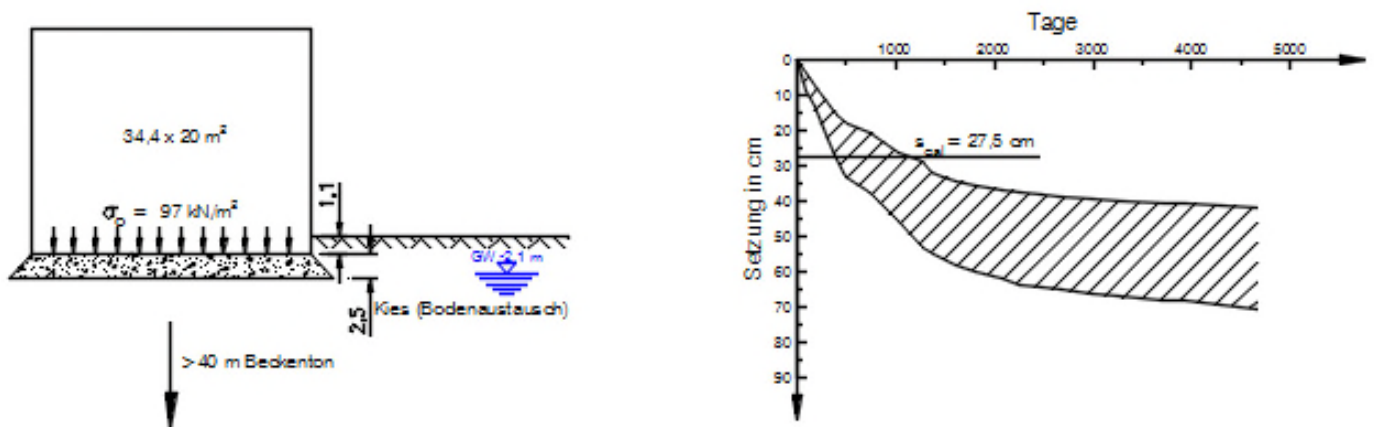
- Flachgründung in 1,1 m Tiefe unter Gelände mit Fundamentplatte 34,4 x 20 m<sup>2</sup> aus Stahlbeton, darunter 2,5 m Bodenaustausch (Kiessand)
- Baugrund breiiger Beckenton (TM, TL) bis über 40 m Tiefe
- Mittlerer Sohldruck Unterkante Fundamentplatte: ca. 97 kN/m<sup>2</sup>
- Berechnete Setzung  $s \approx 27,5$  cm
- Nach 13 Jahren Setzungen zwischen ca. 45 und 75 cm





Bürogebäude auf Fundamentplatte und Bodenaustausch, seitliche Ausbreitung der Setzungsmulde optisch erkennbar

Bürogebäude, 5 Geschosse



### Hochschulgebäude Kommunikationsdesign, HTWG Konstanz

Flachgründung mit umlaufender Spundwand als „Setzungsbremse“

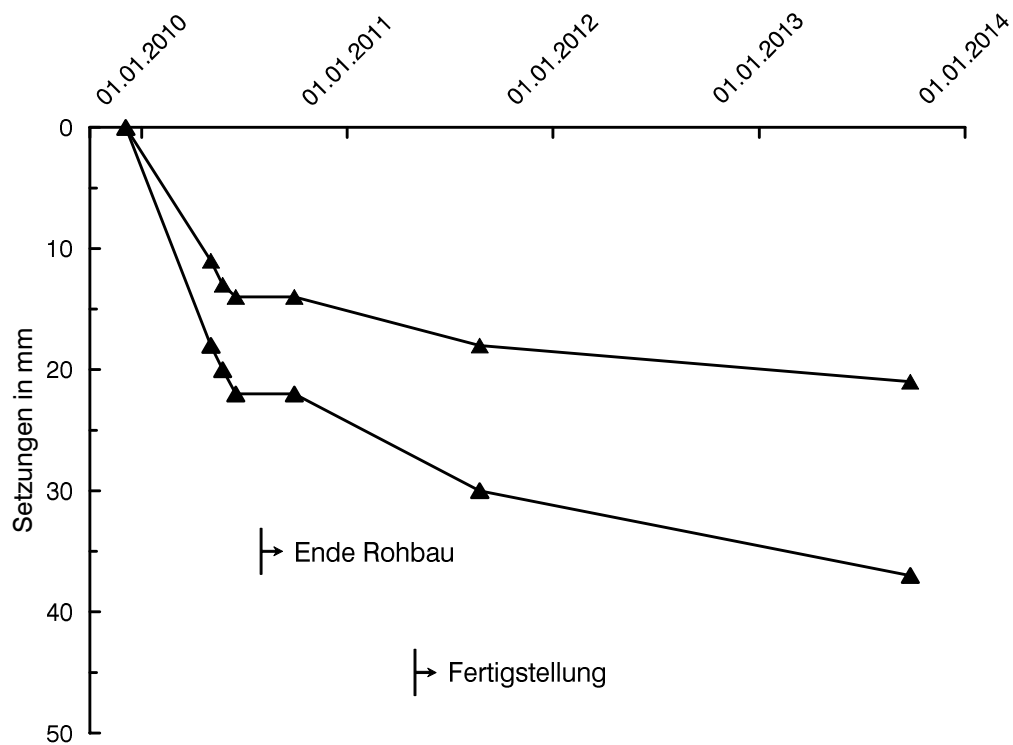
- 5 Geschosse einschließlich Untergeschoss
- Flachgründung in 4,0 m Tiefe unter Gelände mit Fundamentplatte ca. 30 x 30 m<sup>2</sup> aus Stahlbeton
- Mittlerer Sohldruck Unterkante Fundamentplatte: ca. 80 kN/m<sup>2</sup>
- Berechnete Setzung  $s \approx 5$  cm
- Umlaufende Spundwand (Baugrubenverbau) kraftschlüssig mit Fundamentplatte verbunden als „Setzungsbremse“, Einbindetiefe unter Unterkante Fundamentplatte 4,5 m



- Bei Ansatz einer Stützkraft von 100 kN/m durch die Spundwand ergibt sich bei Betrachtung als kombinierte Pfahl-Plattengründung  $\alpha_{KPP} = 0,17$
- Baugrund breiiger Beckenton (TM, TL) bis etwa 33 m Tiefe, bereichsweise mit ausgeprägter Sandbänderung
- Nach 4 Jahren Setzungen zwischen ca. 2 und 4 cm



Ansicht Gebäude und Aushub Baugrube mit Spundwand



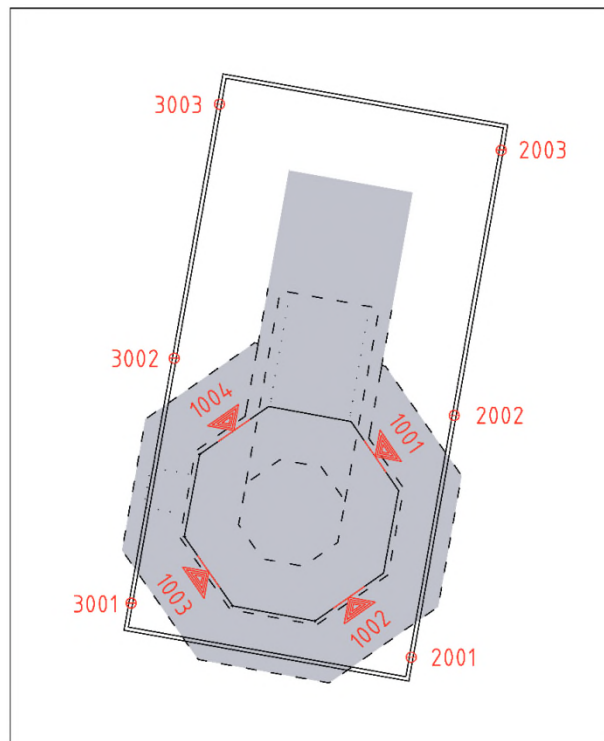
Gemessene Setzungen (ausgewählt Messpunkt mit kleinster und größter Setzung)

## 4 KOMBINIerte PFAHL-PLATTENGRÜNDUNGEN (KPP)

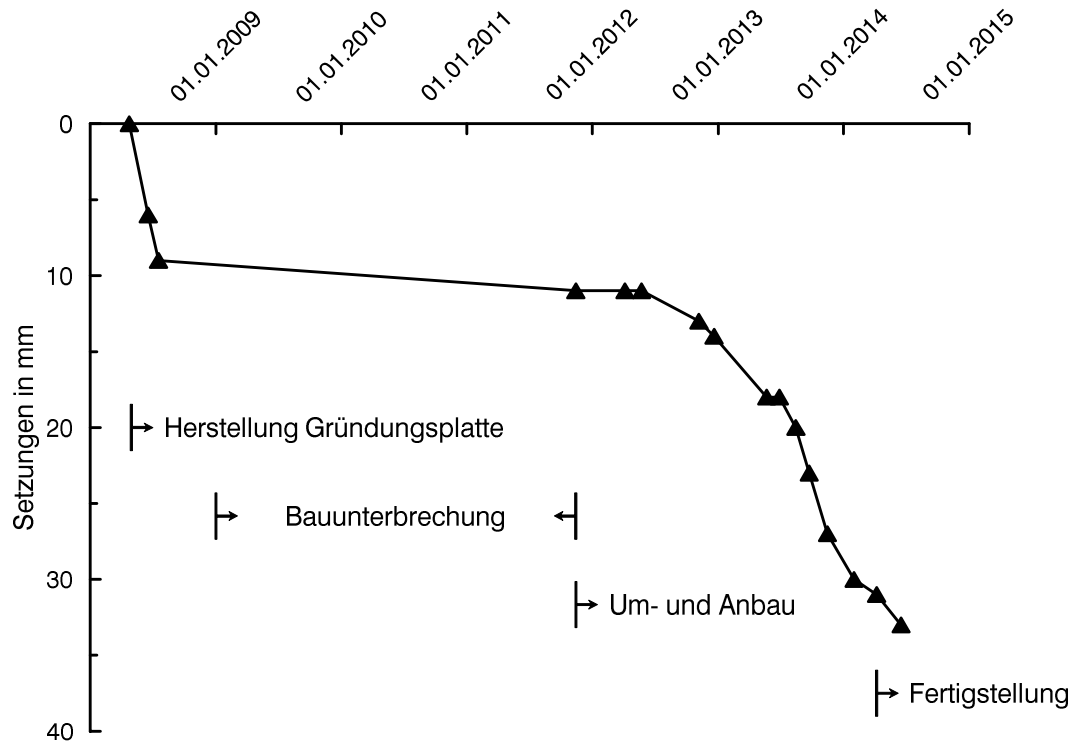
### Wasserturm Radolfzell

Turmbauwerk Höhe 50,5 m

- Bodenplatte ca. 22,5 x 11,5 m<sup>2</sup>, Einbindetiefe 1,2 m
- Mittlerer Sohldruck ca. 91 kN/m<sup>2</sup>
- 30 Pfähle, Pfahllänge  $l = 15,0$  m, Pfahltyp: mantelverpresste Duktilrammpfähle
- Pfahl-Plattenkoeffizient  $\alpha_{KPP} = 0,64$
- Beckensand bis etwa 9 m Tiefe unter Gelände, darunter weicher Beckenton bis etwa 30 m Tiefe
- Setzungsprognose KPP ca. 4 bis 5 cm
- Setzungen bei Fertigstellung ca. 3,5 cm, Setzungsdifferenzen über den Grundriss Bodenplatte ca. 0,5 cm



Grundriss (schematisch) mit Setzungsmesspunkten

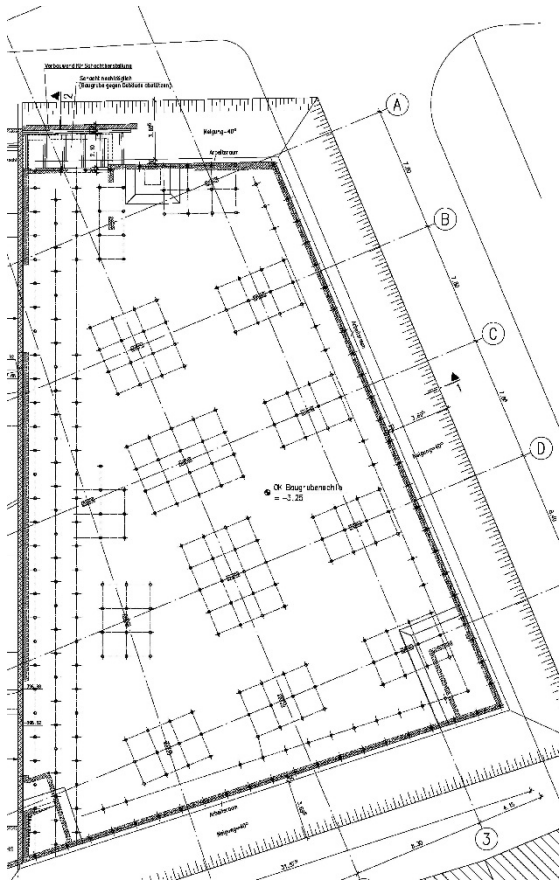


Gemessene mittlere Setzungen, Setzungsdifferenzen über den Grundriss Bodenplatte ca. 0,5 cm

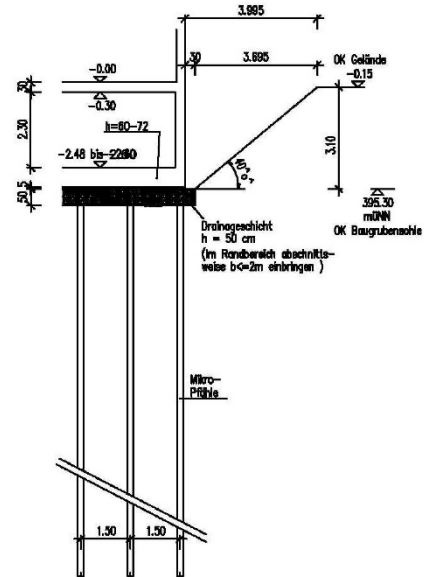
### Parkhausanbau LAGO, Konstanz

Bestandsgebäude (Parkhaus) mit Tiefgründung in Grundmoräne, Bohrpfähle mit Längen zwischen ca. 50 und 60 m, Anbau mit kombinierter Pfahl-Plattengründung mit 20 m langen mantelverpressten Duktillrammpfählen

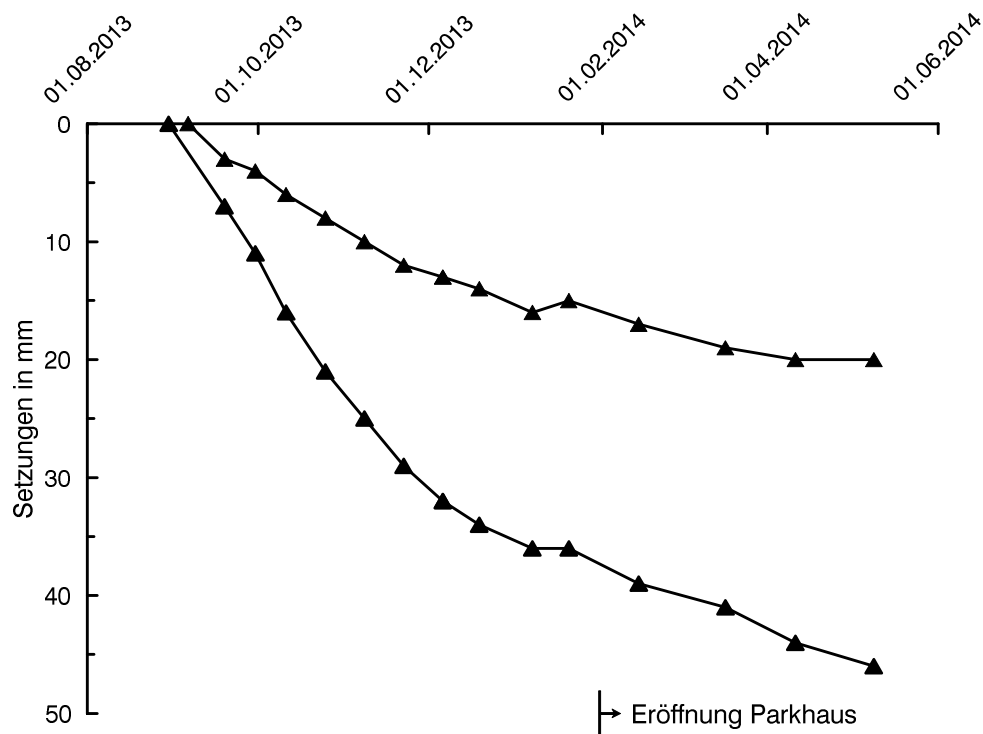
- Bodenplatte i. M. ca. 40 x 25 m<sup>2</sup>, Einbindetiefe ca. 3,0 m
- Mittlerer Sohldruck ca. 90 kN/m<sup>2</sup>
- 320 Pfähle, Pfahllänge l = 20,0 m, Pfahltyp: mantelverpresste Duktillrammpfähle
- Pfahl-Plattenkoeffizient  $\alpha_{KPP} = 1,0$
- Auffüllungen bis etwa 3 bis 6 m Tiefe unter Gelände, breiiger Beckenton bis etwa 40 m Tiefe unter Gelände, darunter Grundmoräne
- Setzungsprognose Flachgründung ca. 10 bis 15 cm
- Setzungsprognose KPP ca. 3 bis 5 cm
- Gemessene Setzungen 4 Monate nach Eröffnung ca. 2 bis 4,5 cm



Schnitt 1-1  
M 1:100



Parkhausanbau LAGO, Grundriss mit Pfahlraster, Regelschnitt Randbereich



Setzungsmessungen ab hergestellter Bodenplatte, Abklingen der Setzungen mit Rohbaufertigstellung, Zunahme der Setzungen nach Eröffnung durch Verkehrslasten (Parkbetrieb)

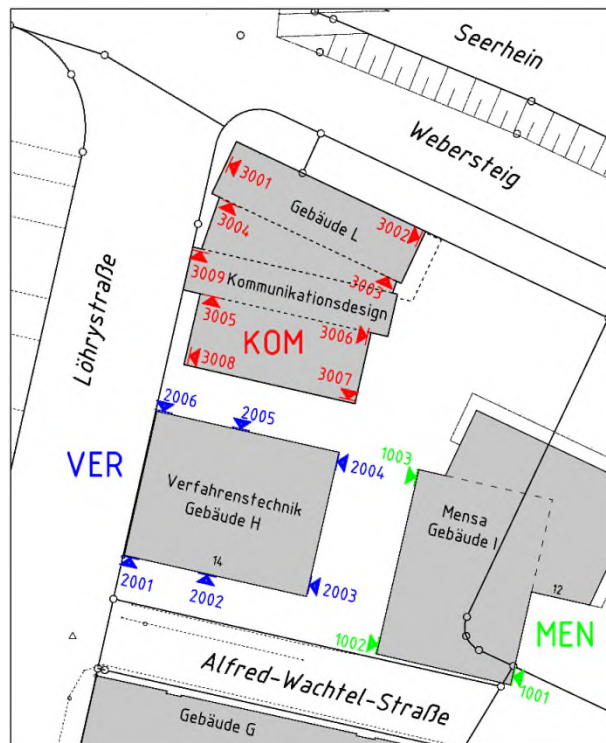
### Mensa, HTWG Konstanz

2- bis 3-geschossiger Neubau im Jahr 1994 ohne Untergeschoss

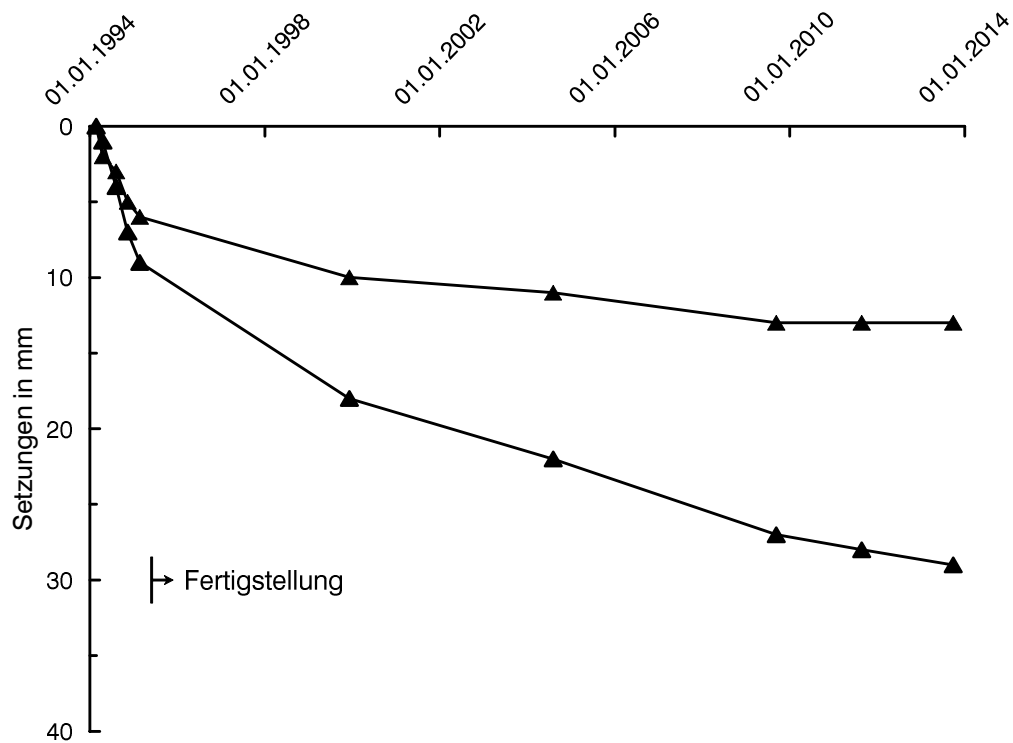
- Bodenplatte Umriss ca. 35 x 30 m<sup>2</sup>, Einbindetiefe ca. 0,5 m
- Mittlerer Sohldruck ca. 30 bis 60 kN/m<sup>2</sup>
- 100 Pfähle, Pfahllänge l = 16,0 m, Pfahltyp: GEWI-Pfahl mit Nachverpressung
- Pfahl-Plattenkoeffizient  $\alpha_{KPP} = 0,7$
- Auffüllungen bis etwa 2 bis 3 m Tiefe unter Gelände, weicher Beckenton bis etwa 30 m Tiefe unter Gelände (ab etwa 9 m Tiefe starke Sandbänderung), darunter Grundmoräne
- Setzungsprognose Flachgründung ca. 10 bis 19 cm
- Setzungsprognose KPP ca. 2 bis 5 cm
- Gemessene Setzungen 18 Jahre nach Fertigstellung ca. 1,5 bis 3 cm



Ansicht Mensa (2-geschossiger Teil)



Lageplan Gebäude Mensa, Verfahrenstechnik, Kommunikationsdesign, HTWG Konstanz



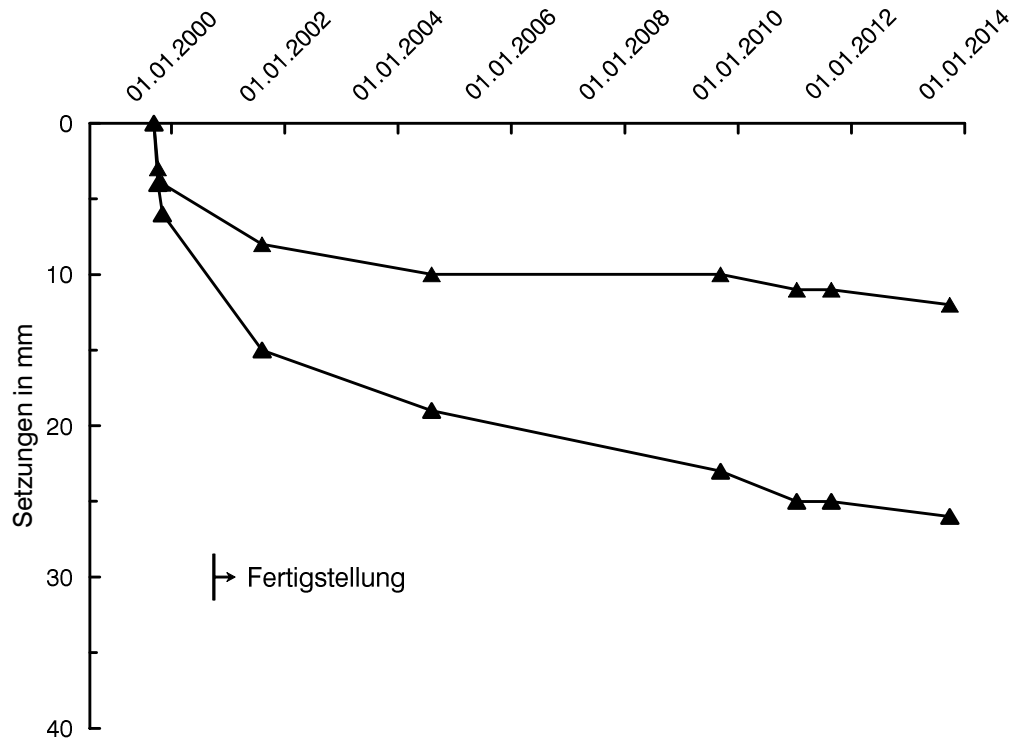
Setzungsmessungen Mensa seit Rohbaubeginn, Setzungszunahme nach Fertigstellung von ca. 0,5 – 1 cm auf ca. 1,5 bis 3 cm durch Konsolidation und Kriechen

### Verfahrenstechnik, HTWG Konstanz

5-geschossiger (einschließlich Untergeschoss) Neubau im Jahr 1999/2000

- Bodenplatte ca. 25 x 20 m<sup>2</sup>, Einbindetiefe ca. 4,0 m
- Mittlerer Sohldruck ca. 80 kN/m<sup>2</sup>
- 70 Pfähle, Pfahllänge l = 15,0 m, Pfahltyp: GEWI-Pfahl mit Nachverpressung
- Pfahl-Plattenkoeffizient  $\alpha_{KPP} = 0,7$
- Auffüllungen bis etwa 3 m Tiefe unter Gelände, weicher Beckenton bis etwa 30 m Tiefe unter Gelände (ab etwa 9 m Tiefe starke Sandbänderung), darunter Grundmoräne
- Setzungsprognose Flachgründung ca. 5 bis 8 cm
- Setzungsprognose KPP ca. 2 bis 4 cm
- Gemessene Setzungen 13 Jahre nach Fertigstellung ca. 1 bis 2,5 cm





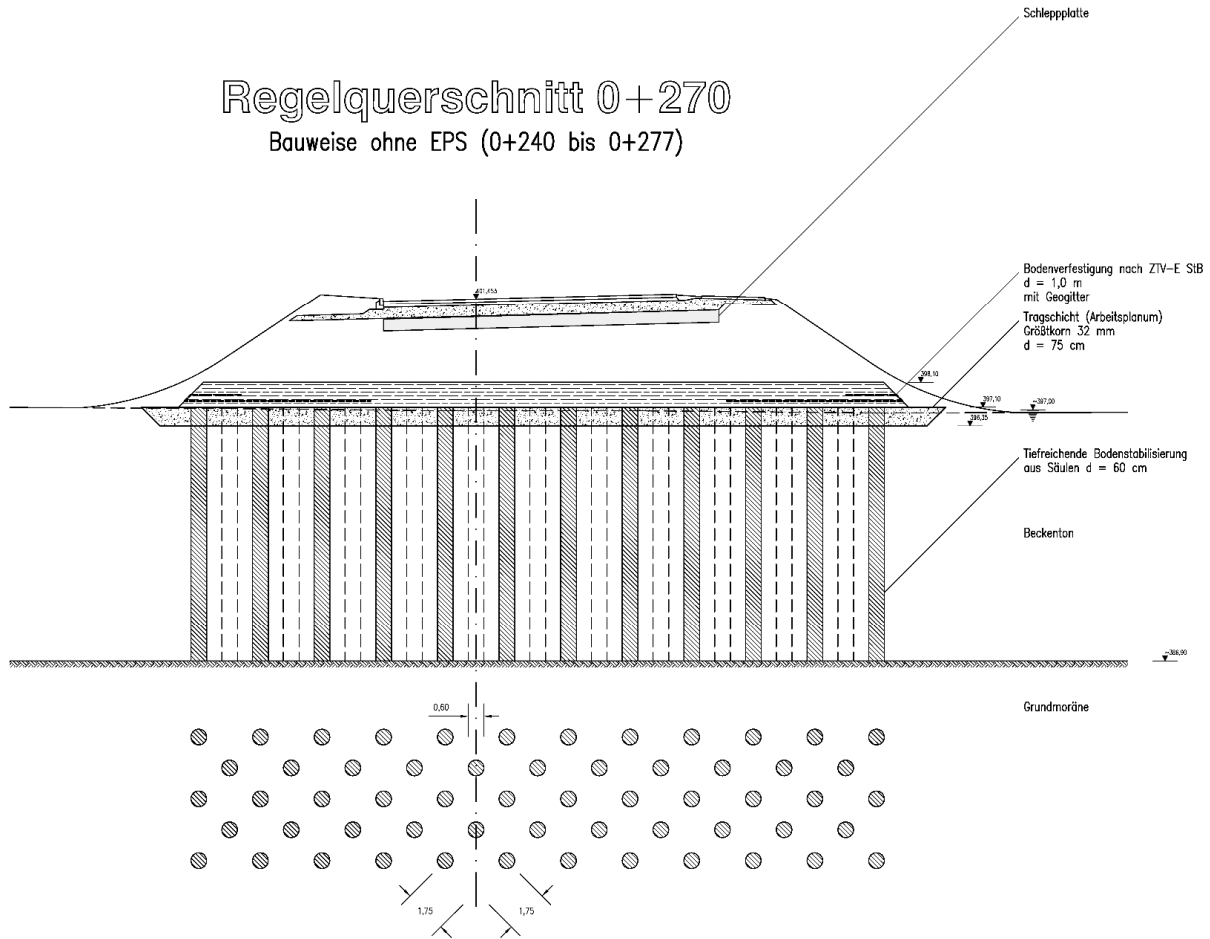
Setzungsmessungen seit Rohbaubeginn, Setzungszunahme nach Fertigstellung von ca. 0,5 bis 1,5 cm auf ca. 1 bis 2,5 cm durch Konsolidation und Kriechen

## 5 SÄULEN- UND PFAHLGRÜNDUNGEN

### Rampen Brücke BW5, L221 Westtangente Konstanz

Dammgründung auf Säulen und geogitterbewehrte Tragplatte aus verfestigtem Boden

- Erddämme als Rampen für Straßenbrücke über Bahnlinie Konstanz-Radolfzell
- Dammhöhe bis zu ca. 5 m
- Baugrund ca. 10 m breiiger Beckenton über Grundmoräne
- Tiefreichende Bodenstabilisierung aus Säulen  $D = 60$  cm bis zur Grundmoräne
- Einbau einer Bodenverfestigung  $d = 1,0$  m als Tragplatte auf den Säulen, System CMC-Baugrundverbesserung, DYNIV
- Lasteintragung in die Säulen über Gewölbewirkung, Bewehrung mit Geogitter im Randbereich zur Aufnahme der Spreizspannungen



Regelquerschnitt Dammgründung auf Säulen und Bodenverfestigung



Kopfplatten aus Stahlbeton auf Säulen

## Literatur

- Bjerrum, L., Clausen, C.-J., Duncan, J.M. (1972):* Earth pressures on flexible structures. A State-of-the-Art-Report. Proc. 3. European Conf. On Soil Mechanics and Foundations Engineering, Madrid, pp. 169 – 196
- EAB:* Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 5. Auflage, 2012, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Ernst & Sohn, Berlin.
- Fischer, D. (2009):* Interaktion zwischen Baugrund und Bauwerk – Zulässige Setzungsdifferenzen sowie Beanspruchung von Bauwerk und Gründung -. Schriftenreihe Geotechnik Universität Kassel, Heft 21
- Gudehus, G., Meißner, H., Orth, W., Schwarz, W. (1989):* Geotechnische Probleme bei der Gründung des Postamtes Konstanz. Geotechnik 1989, pp. 105 – 122
- Hettler, A., Leibnitz, S., Biehl, F. (2002):* Zur Kurzzeitstandsicherheit bei Baugrubenverbaukonstruktionen in weichen Böden. Bautechnik, Heft 9, pp. 612 – 619
- Kempfert, H.-G., Stadel, M. (1997):* Berechnungsgrundlagen für Baugruben in normalkonsolidierten weichen bindigen Böden. Bauingenieur 72, pp. 207 - 214
- Scherzinger, T. (1991):* Materialverhalten von Seetonen – Ergebnisse von Laboruntersuchungen und ihre Bedeutung für das Bauen in weichem Untergrund. Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe, Heft 122.
- Sherif, G. (1973):* Setzungsmessungen an Industrie- und Hochbauten und ihre Auswertung. Mitteilungen aus dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Hannover, Heft 7
- Soumaya, B. (2005):* Setzungsverhalten von Flachgründungen in normalkonsolidierten bindigen Böden. Schriftenreihe Geotechnik Universität Kassel, Heft 15