

1. Erkundung und Untersuchung des Baugrundes

- 1.1 Notwendigkeit der Baugrunderkundung
- 1.2 Ziele der geotechnischen Untersuchungen
- 1.2 Umfang der geotechnischen Untersuchungen
- 1.4 Direkte Erkundungsverfahren
- 1.5 Indirekte Erkundungsverfahren

2. Bodenmechanische Parameter

- 2.1 Bodenarten (DIN 4022)
- 2.2 Bodengruppen (Bodenklassifikation nach DIN 18196)
- 2.3 Boden- und Felsklassen (DIN 18300)
- 2.4 Frostempfindlichkeitsklassen (ZTVE-StB94 (Fassung 1997))
- 2.5 Verdichtbarkeitsklassen (ZTVA-StB97)
- 2.6 Eignung der Böden als Baugrund und für den Erdbau
- 2.7 Aufnehmbarer Sohldruck von Flachgründungen (zulässige Bodenpressung)

3. Bodenverbesserung

- 3.1 Erfordernis
- 3.2 Verfahren
- 3.3 Tiefenrüttelverfahren
- 3.4 Rüttelstopfverdichtung (RSV)
- 3.5 Bemessung der Rüttelstopfverdichtung (RSV)
- 3.6 Vermörtelte Stopfsäulen (VSS) und Fertigmörtelstopfsäulen (FSS)
- 3.7 Betonrüttelsäulen (BRS)
- 3.8 Kombinierte Verfahren – „Teilvermörtelte Stopfsäulen“
- 3.9 Bodenverbesserungen und Bodenverfestigungen mit Bindemitteln
 - 3.9.1 Bodenverbesserung
 - 3.9.2 Qualifizierte Bodenverbesserung
 - 3.9.3 Bodenverfestigung

4. Betonböden für Produktions- und Lagerhallen

- 4.1 Konstruktion
- 4.2 Tragschicht
- 4.3 Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit
- 4.4 Abdichtung

1.1 Notwendigkeit der Baugrunderkundung

DIN 1054 (2005) und DIN 4020 (2003) definieren die Notwendigkeit und den Umfang von Baugrunduntersuchungen:

DIN 4020

(Geotechnische Untersuchungen für Bautechnische Zwecke)

→ Einstufung bautechnischer Maßnahmen in die **Kategorien GK1 - GK3** entsprechend dem geotechnischen Risiko.

- **GK1:** z.B. einfache, setzungsunempfindliche Bauwerke in ebenem Gelände, wenn der Baugrund nach gesicherten örtlichen Erfahrungen tragfähig und setzungsarm ist.
- **GK2:** z.B. Bauwerke mit **Stützenlasten > 250 kN** oder **Streifenlasten > 100 kN/m**.
- **GK3:** z.B. Konstruktionen mit **hoher Verformungsempfindlichkeit oder schwierigen Baugrundverhältnissen** (z.B. wechselnde Schichtung oder unkontrolliert geschüttete Geländeauffüllungen).

Bei GK2 und GK3 sind gemäß DIN 4020 immer direkte Baugrundaufschlüsse erforderlich !

DIN 1054

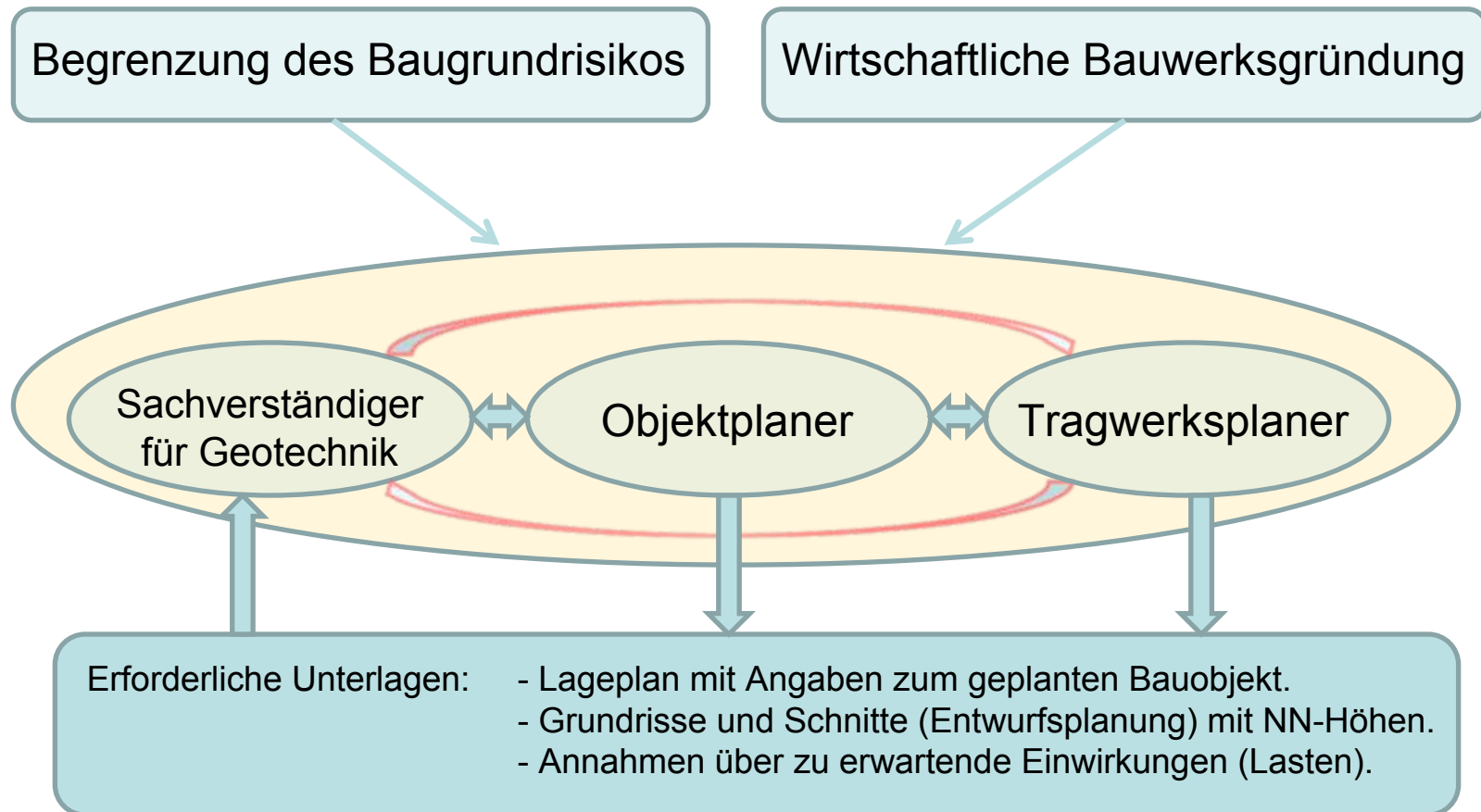
(Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau) übernimmt die geotechnischen Kategorien GK1 - GK3 der DIN 4020 und fordert weiterhin:

“Spätestens nach Aushub der Baugrube ist von einem Sachverständigen für Geotechnik zu prüfen, ob die getroffenen Annahmen über die tragenden Schichten in der Gründungssohle zutreffen.

Das Ergebnis dieser Prüfung, die nicht die Erkundung des Baugrundaufbaus ersetzt, ist zu den Bauakten zu nehmen.“

Dies impliziert, dass bei Flach- und Flächengründungen immer eine geotechnische Erkundung erfolgen muss.

1.2 Ziele der geotechnischen Untersuchungen



1.3 Umfang der geotechnischen Untersuchungen

Die Art, Tiefe und Abstände direkter Baugrundaufschlüsse sind fallweise nach den geologischen Gegebenheiten, den Bauwerksabmessungen und den bautechnischen Fragestellungen zu wählen. Die **DIN 4020** trifft folgende Unterscheidung:

Voruntersuchung des Baugrundes:

- Eine allgemein gültige, projektunabhängige Festlegung von Art und Umfang der Voruntersuchung ist nicht möglich.
- Sichtung und Bewertung vorhandener Unterlagen.
- Punktueller Baugrundaufschlüsse (weitmaschiges Erkundungsraster)
- Stichprobenartige Feststellung der maßgebenden Baugrundkenngrößen und -eigenschaften.

Hauptuntersuchung des Baugrundes:

- direkte Aufschlüsse im Raster oder in Schnitten zum Erfassen des räumlichen Verlaufs der Schichtung.
- Rasterabstände (**Richtwerte der DIN 4020**):
Hoch-/Industriebauten: **20 bis 40 m**
bei schwierigen geologischen Verhältnissen oder zur Eingrenzung von Unregelmäßigkeiten entsprechend geringere Abstände!
- Aufschlusstiefe (Richtwert der DIN 4020):
Hochbauten: **$z_a \geq 3 \cdot b_f$** und **$z_a \geq 6 \text{ m}$**
Erfassung aller Schichten, die durch das Bauwerk beansprucht werden.

Ein Teil der **direkten Aufschlüsse** darf durch **indirekte Aufschlüsse** ersetzt werden, wenn eine eindeutige Interpretation der Ergebnisse sichergestellt ist.

1.4 Direkte Erkundungsverfahren

Schürfgruben (Baggerschürfe)



Vorteile:

Art, Zusammensetzung, Zustand, Schichtung und Wasserführung können festgestellt werden.

Gezielte Probennahme und zuverlässige Bodenansprache möglich.

Bearbeitbarkeit (Lösbarkeit) der anstehenden Böden kann gut beurteilt werden.

Nachteile:

Schürfgruben dürfen nicht im Einflussbereich von Gründungskörpern des geplanten Bauwerkes ausgehoben werden.

Mögliche Aufschlusstiefe ist gerätebedingt auf ca. 4-6 m begrenzt.

Bei oberflächennahem Grundwasserspiegel nicht bzw. nur bedingt zu empfehlen.

Begehbare Schürfe müssen gemäß DIN 4124 abgebösch werden (dadurch großes Aushubvolumen!).

Bohrungen



Die unterschiedlichen Bohrverfahren sind in DIN 4021 aufgelistet.

Für geotechnische Untersuchungen in Lockergesteinsböden kommen vorrangig **Kleinbohrverfahren (Rammkernbohrungen)** zum Einsatz:

Hierbei werden Schlitzsonden (\varnothing 50 bis 80 mm) mittels Rammbar in den Boden eingetrieben, wobei die Erkundung der Schichtenfolge je nach Lagerungsdichte bzw. Konsistenz der Böden in der Regel bis in Tiefen von ca. 10 m möglich ist.

Mit diesem Verfahren können schichtweise Bodenproben zur Durchführung bodenmechanischer Laborversuche gewonnen werden.

1 Erkundung und Untersuchung des Baugrundes

Auswertung und Darstellung der Ergebnisse direkter Aufschlüsse:

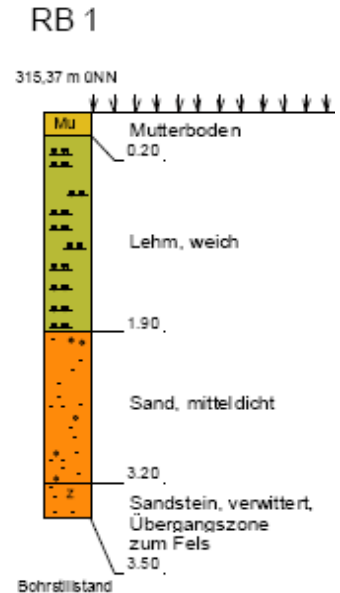
Die Bohr- bzw. Schürfergebnisse werden vom Geräteführer auf der Baustelle in Form von Schichtenverzeichnissen nach DIN 4022 festgehalten.

Die Bodenansprache im Feld erfolgt bei Entnahme der Bodenproben zunächst durch visuelle und manuelle Verfahren nach DIN 4022.

Die vom Bohrtrupp geführten Schichtenverzeichnisse werden nach Durchführung der zur Bodenklassifikation erforderlichen bodenmechanischen Laborversuche durch den Sachverständigen für Geotechnik ggf. berichtigt und ergänzt.

Zusätzlich erfolgt eine grafische Darstellung der Schichtenfolge am jeweiligen Aufschlusspunkt in Form von Bohr- bzw. Schurfprofilen nach DIN 4023.

ICP mbH Am Tränkwald 27 67888 Rodenbach Tel.: 06374/80 50 7-0 Fax.: 06374/80 50 77		Schichtenverzeichnis für Bohrungen mit durchgehender Gewinnung von gekernteten Proben				Bericht: B06298 Anlage 1	
Vorhaben: Neubau einer Lagerhalle in Musterstadt						Datum: 24.03.2008	
Bohrung RB 1 / Blatt: 1				Höhe: 315,37 m üNN			
1	2		3	4	5	6	
Bis ... m unter Ansatzpunkt	a) Benennung der Bodenart und Beimengungen b) Ergänzende Bemerkung ¹⁾ c) Beschaffenheit nach Bohrgut f) Übliche Benennung		d) Beschaffenheit nach Bohrvorgang g) Geologische Benennung h) ¹⁾ Gruppe i) Kalkgehalt	Bemerkungen Sonderprobe Wasserführung Bohrwerkzeuge Kernverlust Sonstiges		Entnommene Proben Art Nr Tiefe in m (Unter-karte)	
0.20	a) Mutterboden b) c) weich f) Oberboden		d) leicht zu bohren g) Quartär	e) braun h) OH i)			
1.90	a) Schluff, tonig b) c) weich f) Lehm		d) mäßig schwer zu bohren g) Quartär	e) hellbraun h) TL i)		SP2	1.30
3.20	a) Sand, schwach schluffig b) mäßig locker gelagert c) f) Sand		d) mäßig schwer zu bohren g) Quartär	e) rot h) SU i)		SP3	2.80
3.50	a) Sandstein, verwittert b) dicht gelagert c) f) Verwitterungszone		d) sehr schwer zu bohren g) Quartär	e) rot h) i)		Bohrstillstand, kein Grundwasser angetroffen	



1.5 Indirekte Erkundungsverfahren

Rammsondierungen nach DIN 4094

Sie werden *ergänzend* zu den aus Bohrungen und Schürfen gewonnenen Erkenntnissen durchgeführt.

Sie dienen zur qualitativen Beurteilung der Baugrundsichtung (Schichtwechsel) der Lagerungsdichte bzw. Konsistenz der Böden der Tiefenlage des Festgesteinshorizontes.

Die Auswertung
der Sondierungen erfordert
grundsätzlich eine Korrelation mit den
Ergebnissen der direkten Aufschlüsse.



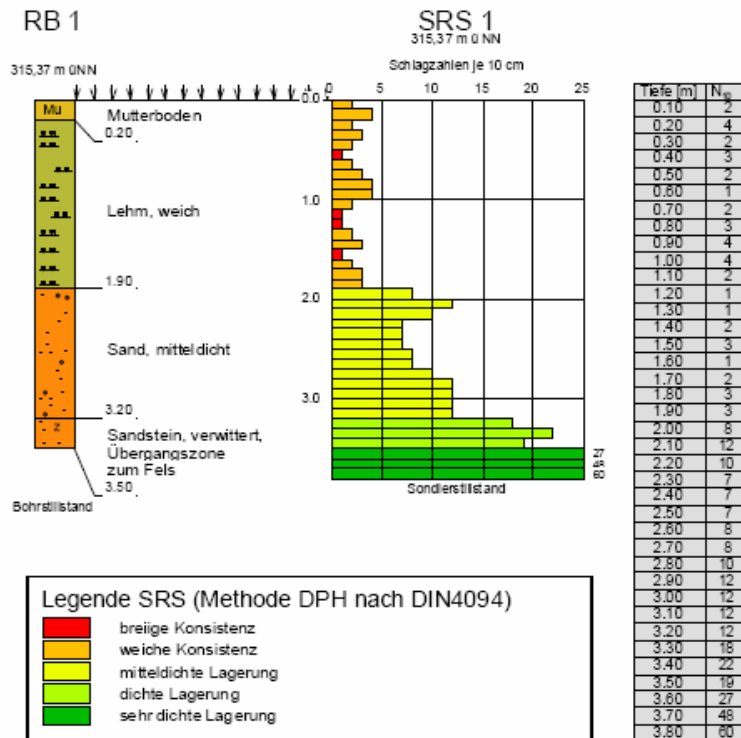
Die Rammsonde (Gestänge mit Sondierspitze) wird mittels Rammbar in den Untergrund gerammt.

Rammbargewicht und Fallhöhe ergeben eine auf den Spitzenquerschnitt der Sonde bezogene Rammenergie je Schlag.

Nach DIN 4094-3 werden unter anderem nebenstehende Methoden unterschieden.

Methode	Gewicht Rammbar	Fallhöhe Rammbar	Querschnitt der Sondenspitze	Bezogene Rammenergie
Leichte Rammsonde (DPL)	10 kg	50 cm	10 cm ²	50 kJ/m ²
Schwere Rammsonde (DPH)	50 kg	50 cm	15 cm ²	167 kJ/m ²

1 Erkundung und Untersuchung des Baugrundes



Gezählt und protokolliert werden die Schläge N₁₀ pro 10 cm Eindringtiefe der Sonde. Die Ergebnisse werden als Stufendiagramm über die Tiefe aufgetragen:

Qualitative *Richtwerte* bezüglich des Eindringwiderstands der Rammsonde DPH in Abhängigkeit von der Konsistenz bzw. Lagerungsdichte der durchörterten Böden können der Literatur entnommen werden, z.B.:

Konsistenz (Bindige Böden):

breiig: N₁₀ = 0 - 2
 weich: N₁₀ = 2 - 5
 steif: N₁₀ = 5 - 9
 halbfest: N₁₀ = 9 - 17
 fest: N₁₀ > 17

Lagerungsdichte (Nichtbindige Böden):

Sehr locker: N₁₀ = 0 - 1
 Locker: N₁₀ = 1 - 4
 Mitteldicht: N₁₀ = 4 - 13
 Dicht: N₁₀ = 13 - 24
 Sehr dicht: N₁₀ > 24

Durch Feldversuche nach DIN 4022 und bodenmechanische Laborversuche am Bohrgut muss im jeweiligen Einzelfall eine weitergehende bodenartspezifische Korrelation erfolgen!

2 Bodenmechanische Parameter

Um in der Bodenmechanik zu analytischen Aussagen über das mechanische Verhalten der unterschiedlichen natürlichen Bodenarten zu kommen, fasst man sie zu Baugrund-Gruppen von jeweils ähnlichem Verhalten zusammen.

2.1 Bodenarten (DIN 4022)

Durch die Verwitterung von Festgestein und die weitere Beanspruchung und Umlagerung der Lockermassen entsteht ein Konglomerat von Körnern, das man petrografisch durch die **Korngrößen d [mm]** klassifiziert.

Für die Benennung der Bodenarten nach ihrer Korngröße gilt die nebenstehende Tabelle (aus DIN 4022 T1).

Bereich /	Benennung	Kurzzeichen	Korngrößenbereich (mm)	manuelle Bestimmung	
Grobkornbereich (Siebkorn)	Blöcke	Y	über 200	Kopfgröße	
	Steine	X	über 63 bis 200	größer als Hühnereier	
	Kieskorn	Grobkies	gG	über 20 bis 63	Hühnerei
		Mittelkies	mG	über 6,3 bis 20	Haselnuss
		Feinkies	fG	über 2,0 bis 6,3	Erbse
	Sandkorn	Sandkorn	S	über 0,06 bis 2,0	Streichholzkopf
		Grobsand	gS	über 0,6 bis 2,0	Grieß
Mittelsand		mS	über 0,2 bis 0,6		
Feinkornbereich (Schlammkorn)	Schluffkorn	Feinsand	fS	über 0,06 bis 0,2	
		Schluffkorn	U	über 0,002 bis 0,06	<u>wenig plastisch</u> ¹⁾
		Grobschluff	gU	über 0,02 bis 0,06	trocken: gut zu Staub zerdrückbar
		Mittelschluff	mU	über 0,006 bis 0,02	feucht: mehlig, stumpf, bröckelt
	Feinschluff	fU	über 0,002 bis 0,006	im Wasser: wird leicht zu Brei, starke Trübung des Wassers	
	Tonkorn (Feinstes)	T	unter 0,002	<u>stark plastisch</u> trocken: nur zu zerbrechen feucht: seifig, glänzig, knetbar, vom Finger nur abzuwaschen. im Wasser: schwer aufzuweichen, geringe Trübung des Wassers	

¹⁾ Zur Unterscheidung von Schluff und Ton ist auch der Schüttelversuch gut geeignet: Wird ein feuchter Probenklumpen in der Hand geschüttelt, tritt aus Schluff Wasser aus. Dieses wird nach dem Schütteln von der Probe wieder aufgenommen.

Der prozentuale Gewichtsanteil einer Korngröße am Gemisch (Bodenprobe) wird bei den Grobanteilen ($d > 0,06$ mm) durch **Siebung**, bei den Feinanteilen ($d < 0,06$ mm) mittels **Schlämmung** bestimmt (DIN 18123).

Siebung:

- die ofentrockene (105°C) Probe wird durch eine **genormte Serie von Sieben** gerüttelt.
- die ermittelten Korngrößen werden der Nennweite des Siebes zugeordnet, durch das sie zuletzt hindurch gefallen sind.



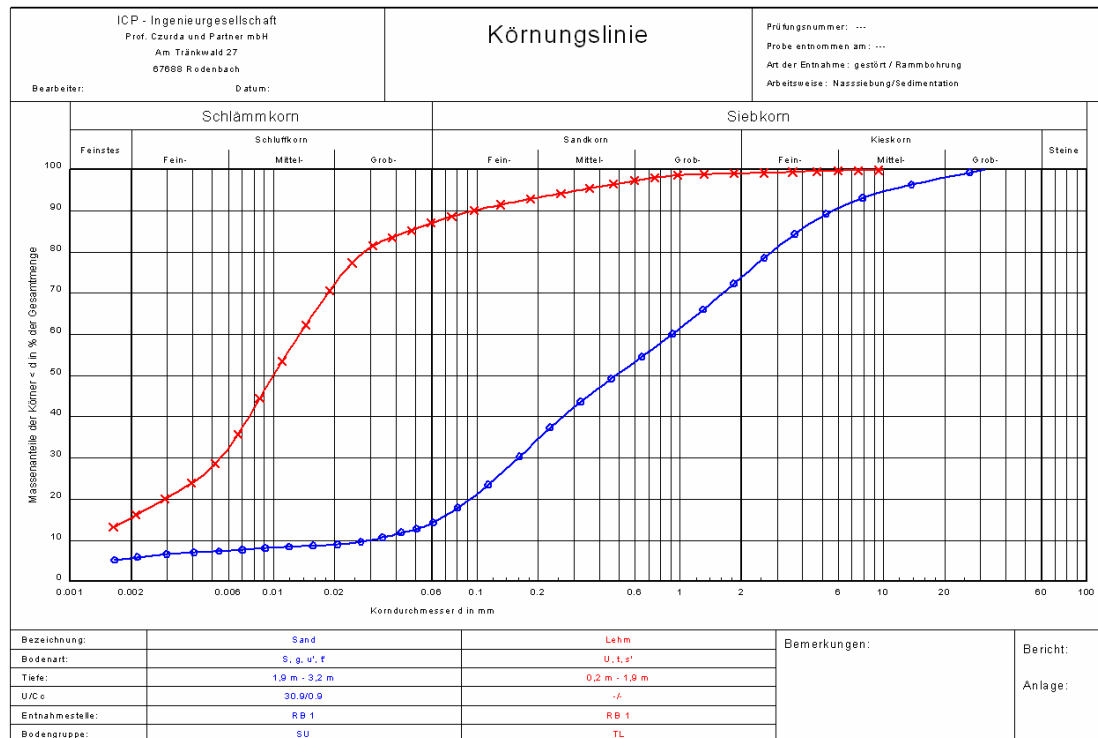
Schlämmung (Sedimentation):

- Bodenprobe wird in Wasser zu einer Suspension aufgerührt.
- Die in der Suspension enthaltenen Körner sinken im Standzylinder entsprechend ihrer Korngröße unterschiedlich schnell zu Boden.
- Hierbei ändert sich die Dichte der Suspension welche in festgelegten Zeitabständen mittels **Aräometer** gemessen wird.
- Die Auswertung (nach Casagrande) liefert den Massenanteil der verschiedenen großen Körner.



2 Bodenmechanische Parameter

Das Ergebnis der Versuche zur Korngrößenbestimmung wird in Form einer Summenlinie dargestellt („**Sieblinie, Kornverteilungskurve, Körnungslinie**“):



Die Form der Sieblinie lässt sich vereinfacht charakterisieren durch die **Ungleichförmigkeitszahl $U = d_{60}/d_{10}$** und die **Krümmungszahl $CC = (d_{30})^2/d_{10} \cdot d_{60}$** .

Bei $U > 6$ und $CC = 1$ bis 3 nennt man den **Boden weitgestuft** (flacher Verlauf der Sieblinie).

Das Gegenstück ist der **enggestufte Boden** (steiler Verlauf der Sieblinie).

Bei Ausfallkörnung spricht man von intermittierender Stufung (treppenartiger Verlauf der Sieblinie).

2 Bodenmechanische Parameter

Bei bindigen Böden ist die Kornzusammensetzung allein kein ausreichendes Bestimmungsmerkmal. Vielmehr muss ihre Plastizität I_P bestimmt werden:

Quantitative Bestimmung nach DIN18122 der **Fließgrenze** w_L (Übergang vom flüssigen zum plastischen Zustand) und der **Ausrollgrenze** w_P (Übergang vom plastischen zum halbfesten Zustand).

Daraus folgt die Plastizität $I_P = w_L - w_P$.

Die Plastizitätszahl I_P ist ein Kennwert, der noch nichts über den aktuellen Zustand eines bindigen Bodens aussagt. Deswegen stellt man eine Beziehung von I_P zum natürlichen Wassergehalt w durch die Konsistenzzahl her:

$$I_c = (w_L - w) / I_P$$

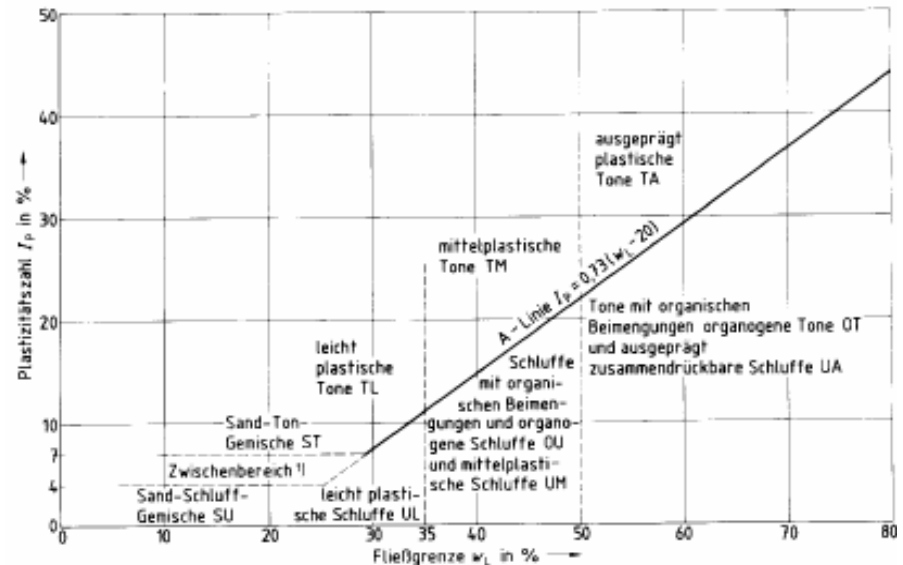
Zuordnung Konsistenzzahlen-Zustandsformen:

breiig	weich	steif	halbfest
$0 \div 0,5$	$0,5 \div 0,75$	$0,75 \div 1,0$	> 1

Von fester Konsistenz wird gesprochen, wenn der Wassergehalt unter der Schrumpfgrenze liegt. Dies entspricht etwa $I_c > 1,25$.



Nach Casagrande erhält man eine Einordnung bindiger Böden durch grafische Auftragung der Plastizitätszahl I_P über der Fließgrenze w_L in der sog. Plastizitätskarte:



2 Bodenmechanische Parameter

Entsprechend den Versuchen zur Bestimmung der Korngrößenverteilung und der Plastizität werden nach DIN 4022 folgende **Bodenarten** unterschieden:

		Bodenart nach DIN 4022		
		feinkörnig Massenanteil < 0,06 mm: > 40 %	gemischt-körnig Massenanteil < 0,06 mm: ≤ 40 % und ≥ 5 %	grobkörnig Massenanteil < 0,06 mm: < 5 %
Bezeichnungen für			<ul style="list-style-type: none"> - Grobkorn schwimmt in Feinkornmatrix - knetbar - mind. mittlere Trockenfestigkeit DIN 4022 	<ul style="list-style-type: none"> - Grobkorn bildet Korngerüst
Hauptanteil	T bzw. U (nach bestimmenden Eigenschaften, nicht nach KV!)		G bzw. S (Je nach größerem Massenanteil. Sind sie etwa gleich groß (ca. 40 % - 60 %), dann G und S)	
	aus Plastizitätsdiagramm:	U - $l_p \leq 4$ oder - unterhalb d. A-Linie T - $l_p \geq 7$ oder - oberhalb d. A-Linie		
feinkörnige Nebenanteile	T, u bzw. U, t Wenn weniger als 3 % über oder unter der A-Linie		Allgemein nach den Eigenschaften und dem Einfluss des feinkörnigen Nebenanteils (siehe Plastizität)	
	Die Bezeichnung „schwach“ oder „stark“ wird bei feinkörnigen Nebenanteilen nicht verwendet		Die Bezeichnung „schwach“ oder „stark“ wird bei feinkörnigen Nebenanteilen nur verwendet, wenn sie von besonders geringem bzw. besonders großen Einfluss auf den Boden sind (nicht nach KV !)	
grobkörnige Nebenanteile	„schwach“, wenn der jeweilige Massenanteil zwischen 5 % und 15 % beträgt „stark“, wenn der jeweilige Massenanteil zwischen 30 % und 40 % beträgt			
		Bindige Böden: > 15% feinkörnige Anteile		Nichtbindige Böden: ≤ 15% feinkörnige Anteile

2 Bodenmechanische Parameter

2.2 Bodengruppen (Bodenklassifikation nach DIN 18196)

Diese Bodenklassifikation wurde aufgestellt, um Bodenarten für bautechnische Zwecke in Gruppen mit annähernd gleichem stofflichem Aufbau und ähnlichen bodenphysikalischen Eigenschaften zusammenzufassen.

Die an die Erfordernisse des Erdbaus angepasste Klassifizierung mit **28 Bodengruppen** dient als Grundlage für viele weitere Zuordnungen und Klassifikationen hinsichtlich weiterer Eigenschaften (z. B. Frostempfindlichkeit).

Hauptgruppen	Definition und Bezeichnung				Erkennungsmerkmale	Beispiele	
	Korngrößenanteile in Gew.-%		Gruppen	Kurzzeichen Gruppen- symbol			
	≤ 0,06 mm	> 2 mm					
Grobkörnige Böden	≤ 5	> 40	Kies	enggestufte Kiese	GE	steile Körnungslinie infolge Vorherrschens eines Korngrößenbereichs über mehrere Korngrößenbereiche kontinuierlich verlaufende Körnungslinie Treppenartig verlaufende Körnungslinie infolge Fehlens eines oder mehrerer Korngrößenbereiche	Fluss- und Strandkies Terrassenschotter Moränenkies vulkanische Schlacke und Asche
				weitgestufte Kies-Sand-Gemische	GW		
				intermittierend gestufte Kies-Sand-Gemische	GI		
	≤ 40	Sand	enggestufte Sande	SE	steile Körnungslinie infolge Vorherrschens eines Korngrößenbereichs über mehrere Korngrößenbereiche kontinuierlich verlaufende Körnungslinie treppenartig verlaufende Körnungslinie infolge Fehlens eines oder mehrerer Korngrößenbereiche	Dünen- und Flugsand Talsand (Berliner Sand) Beckensand Tertiärsand Moränensand Terrassensand Strandsand	
			weitgestufte Sand-Kies-Gemische	SW			
			intermittierend gestufte Sand-Kies-Gemische	SI			
Gemischtkörnige Böden	5 bis 40	> 40	Kies-Schluff-Gemische	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,06 mm	GU	weit oder intermittierend gestufte Körnungslinie, Feinkomanteil ist schluffig weit oder intermittierend gestufte Körnungslinie Feinkomanteil ist tonig	Verwitterungskies Hangschutt lehmgiger Kies Geschiebelehm
				15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,06 mm	GÜ		
		Kies-Ton-Gemische	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,06 mm	GT			
			15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,06 mm	G \bar{T}			
	≤ 40	Sand-Schluff-Gemische	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,06 mm	SU	weit oder intermittierend gestufte Körnungslinie Feinkomanteil ist schluffig	Flottsand Auelehm Sandlöss	
			15 bis 40 Gew.-% ≤ 0,06 mm	S \bar{U}			
≤ 40	in- ne	5 bis 15 Gew.-% ≤ 0,06 mm	ST	...	lehmgiger Sand Schleichsand		

2 Bodenmechanische Parameter

2.3 Boden- und Felsklassen (DIN 18300)

In der DIN 18300 (Erdarbeiten) sind 7 **Boden- u. Felsklassen** festgelegt, die den Aufwand beim Lösen und Laden klassifizierend berücksichtigen.

Klasse 1	Oberboden (Mutterboden) Oberboden ist die oberste Schicht des Bodens, die neben anorganischen Stoffen, z. B. Kies-, Sand-, Schluff- und Ton- gemischen, auch Humus und Bodenlebewesen enthält.
Bodenklasse 2	Bodenarten, die von flüssiger bis breiiger Konsistenz sind und die das Wasser schwer abgeben.
Bodenklasse 3	Leicht lösbare Bodenarten. Nichtbindige bis schwach bindige Sande, Kiese und Sand-Kies-Gemische mit bis zu 15 Gew.-% Beimengungen an Schluff und Ton (Korngröße kleiner als 0,06 mm) und mit höchstens 30 Gew. % Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m ³ Rauminhalt. ¹⁾ Organische Bodenarten mit geringem Wassergehalt (z. B. feste Torfe).
Bodenklasse 4	Gemische von Sand, Kies, Schluff und Ton mit einem Anteil von mehr als 15 Gew. % Korngröße kleiner als 0,06 mm. Bindige Bodenarten von leichter bis mittlerer Plastizität, die je nach Wassergehalt weich bis fest sind, und die höchstens 30 Gew. % Steine von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m ³ Rauminhalt enthalten.
Bodenklasse 5	Schwer lösbare Bodenarten Bodenarten nach den Klassen 3 und 4, jedoch mit mehr als 30 Gew. % Steinen von über 63 mm Korngröße bis zu 0,01 m ³ Rauminhalt. Nichtbindige und bindige Bodenarten mit höchstens 30 Gew. % Steinen von über 0,01 m ³ bis 0,1 m ³ Rauminhalt ²⁾ . Ausgeprägt plastische Tone, die je nach Wassergehalt weich bis fest sind.
Felsklasse 6	Leicht lösbarer Fels und vergleichbare Bodenarten. Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt haben, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, weich oder verwittert sind, sowie vergleichbare verfestigte und bindige Bodenarten. Nichtbindige und bindige Bodenarten mit mehr als 30 Gew. % Steinen von über 0,01 m ³ bis zu 0,1 m ³ Rauminhalt.
Felsklasse 7	Schwer lösbarer Fels. Felsarten, die einen inneren, mineralisch gebundenen Zusammenhalt und hohe Gefügefestigkeit haben, und nur wenig klüftig oder verwittert sind. Festgelagerter und unverwitterter Tonschiefer, Nagelfluhschichten, Schlackenhalde der Hüttenwerke und dergleichen. Steine von über 0,1 m ³ Rauminhalt.

2.4 Frostempfindlichkeitsklassen (ZTVE-StB94 (Fassung 1997))

Je feinkörniger ein Boden ist, umso größer wird der Anteil des adsorptiv gebundenen Wassers. Bei rolligen Bodenarten (Sande und Kiese) entsteht ein kompaktes Gefüge von Erdstoffkörnern und Eis, wobei sich die strukturelle Anordnung der Erdstoffkörner zueinander nicht geändert hat. Beim Auftauen behält der Boden seine Tragfähigkeit. Diese Böden sind frostsicher.

Bei bindigen Böden setzt sich das Wasser bei der Kristallisation in Form von Eislinien ab, welche das Wasser aus der Umgebung der Frostzone an sich ziehen. Durch die Anziehung der zusätzlichen Feuchtigkeit aus dem noch nicht gefrorenen Boden kann sich der ursprüngliche Wassergehalt bis auf das Zehnfache in Form von Eislinsen und -bändern erhöhen. Diese Böden sind frostgefährdet.

Nach ZTVE-StB 94/97 besteht folgende Klassifizierung im Hinblick auf die Frostempfindlichkeit:

	Frostempfindlichkeit	Bodengruppe (DIN 18196)
F1	nicht frostempfindlich	GW, GI, GE SW, SI, SE
F2	gering bis mittel frostempfindlich	TA OT, OH, OK ST, GT } ₁₎ SU, GU }
F3	sehr frostempfindlich	TL, TM UL, UM, UA OU ST*, GT* SU*, GU*

1) Zu F1 gehörig bei einem Anteil an Korn < 0,063 mm von 5 % bei U >= 15 oder 15 % bei U <= 6.
Im Bereich 6 < U < 15 kann der für eine Zuordnung zu F1 zulässige Anteil an Korn < 0,063 mm linear interpoliert werden.

2.5 Verdichtbarkeitsklassen (ZTVA-StB97)

In der ZTVA-StB 97 werden die Bodengruppen gemäß ihrer Verdichtungswilligkeit beim Wiedereinbau (Graben-/Arbeitsraumverfüllung, Geländeauffüllungen) in die Verdichtbarkeitsklassen V 1 (gut verdichtbar) bis V 3 (weniger gut verdichtbar) eingeteilt:

Verdichtbarkeitsklasse	Kurzbeschreibung	Bodengruppe (DIN 18196)
V 1	nicht bindige bis schwach bindige, grobkörnige und gemischtkörnige Böden	GW, GI, GE, SW, SI, SE, GU, GT, SU, ST
V 2	bindige, gemischtkörnige Böden	G \bar{U} , G \bar{T} , S \bar{U} , S \bar{T}
V 3	bindige, feinkörnige Böden	UL, UM, TL, TM, TA

Das Verfüllen und Verdichten muß in jedem Fall lagenweise erfolgen. Die nachfolgende Tabelle enthält durchschnittliche Anhaltswerte für die Schütthöhen.

Geräte	Schütthöhe (in cm) bei den Bodengruppen		
	GW, GE, GI SW, SE, SI	GU, GT, SU, ST, GU* GT*, SU* ST*	U, T, OH, OU, OT, OK
leichte Verdichtungsgeräte	20–30	15–25	10–20
mittlere und schwere Verdichtungsgeräte	30–50	20–40	20–30

2.6 Eignung der Böden als Baugrund und für den Erdbau

Grobkörnige Böden
(Kies und Sand)

Gemischtkörnige Böden
(schluffige / tonige Sande / Kiese)

Feinkörnige Böden
(Ton und Schluff)

Tragfähigkeit nichtbindiger Böden :

→ stark abhängig von ihrer Lagerungsdichte.

Verdichtbarkeit: setzt geeigneten Wassergehalt voraus
(erdfeuchter Zustand).

Locker gelagerte nichtbindige Böden:
insbesondere unter dynamischen Einwirkungen stark
setzungswillig → Überführung in dichte Lagerung
(z.B. Walzenübergänge, Tiefenrüttler).

Durchnässte Böden: nicht bzw. nur unzureichend
verdichtbar → zur Geländeauffüllung bzw. Verfüllung
von Arbeitsräumen erst nach hinreichendem Abtrocknen
verwendbar (ggf. Behandlung mit Kalk).

Zu trockene Böden: nicht ordnungsgemäß verdichtbar
→ beim Wiedereinbau dosierte Anfeuchtung.

Optimaler Einbauwassergehalt → Proctorversuch

Tragfähigkeit , Einbaufähigkeit und Verdichtbarkeit
bindiger Böden:

→ stark abhängig vom Wassergehalt (Konsistenz).

Breiege und weiche bindige Böden:
für Gründungszwecke generell ungeeignet
→ müssen ausgetauscht bzw. durchstoßen werden
(z.B. Pfahlgründung).

Auch bei steifer Konsistenz stellen bindige Böden einen
vergleichsweise setzungsempfindlichen Boden dar und
sind daher nur als mäßig tragfähiger Baugrund
einzustufen.

→ Bei betragsmäßig großen flächigen Lasten bzw.
punktuell konzentriertem Lasteintrag
(z.B. Einzelfundamente) :
→ baugrundverbessernde Maßnahmen zur
Reduzierung der zu erwartenden Setzungen
erforderlich.

2.7 Aufnehmbarer Sohldruck von Flachgründungen (zulässige Bodenpressung)

Gründungen müssen Bauwerkslasten sicher und mit verträglichen Verformungen in den Baugrund einleiten. Dabei sind die Grenzzustände zu beachten, um einen ausreichenden Sicherheitsabstand zum Versagen (GZ 1) einzuhalten bzw. die Gebrauchstauglichkeit (GZ 2) sicherzustellen.

Folgende Nachweise sind zu führen:

- Grundbruchnachweis,
- Gleitsicherheitsnachweis,
- Nachweis der zulässigen Exzentrizität; Nachweis der klaffenden Fuge,
- (gegebenenfalls) Nachweis der Auftriebssicherheit,
- (gegebenenfalls) Nachweis der Geländebruchsicherheit,
- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (Setzungsberechnung).

Für einfache Fälle kann auf Einzelnachweise verzichtet werden. Hier kann anstelle von Grundbruch- und Setzungsnachweisen die Einhaltung tabellierter zulässiger Bodendruckspannungen nachgewiesen werden (→ DIN 1054:2005) .

Die Tafelwerte wurden aufgrund großmaßstäblicher Versuche (s. z.B. MUHS 1968), Grundbruch- und Setzungsberechnungen und unter Berücksichtigung der bisherigen praktischen Erfahrungen so gewählt, dass auf die sonst notwendigen Nachweise einer ausreichenden Grundbruchsicherheit oder einer zulässigen Setzung verzichtet werden darf. Die genannten zulässigen Werte decken im Sinne des neuen Sicherheitskonzepts also die Grenzzustände 1 und 2 ab.

2 Bodenmechanische Parameter

Tabelle 1: Aufnehmbarer Sohldruck für Streifenfundamente auf nichtbindigem Boden ⁽¹⁾ und Begrenzung der Setzungen (DIN 1054:2005, Tab. A.2)

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments in m	Zulässige Bodenpressung in kN/m ² bei Streifenfundamenten mit Breiten b bzw. b' von					
	0,5 m	1,0 m	1,5 m	2,0 m	2,5 m	3,0 m
0,5	200	300	330	280	250	220
1,0	270	370	360	310	280	240
1,5	340	440	390	340	290	260
2,0	400	500	420	360	310	280

⁽¹⁾ Entspricht den Bodengruppen GW, GI, GE, GU, SW, SE, SI, SU nach DIN 18 196

Bei Ansatz der obigen Tafelwerte muss mit Setzungen gerechnet werden, die bei Streifenfundamenten mit Breiten $\leq 1,5\text{m}$ bis zu **1cm** und bei Fundamenten mit Breiten $> 1,5\text{m}$ bis zu **2cm** betragen.

Im Falle einer wesentlichen Drucküberlagerung unter benachbarten Fundamenten sind auch größere Setzungsbeträge nicht auszuschließen.

Tabelle 2: Aufnehmbarer Sohldruck für Streifenfundamente auf tonig-schluffigem Boden ⁽¹⁾ (DIN 1054:2005, Tab. A.2)

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments in m	Zulässige Bodenpressung in kN/m ² bei Streifenfundamenten mit Breiten b bzw. b' von 0,5 bis 2 m und einer Konsistenz		
	steif	halbfest	fest
0,5	120	170	280
1,0	140	210	320
1,5	160	250	360
2,0	180	280	400

⁽¹⁾ Entspricht den Bodengruppen UM, TL und TM nach DIN 18 196

Bei Ansatz der obigen Tafelwerte muss mit Setzungen gerechnet werden, die in der Größenordnung **2cm bis 4cm** liegen (bei wesentlicher Beeinflussung benachbarter Fundamente auch mehr).

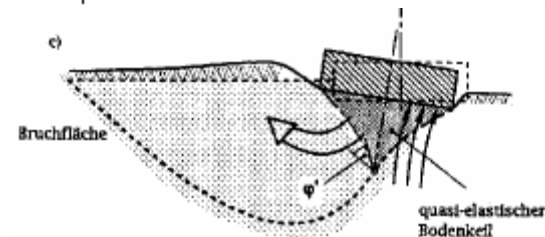
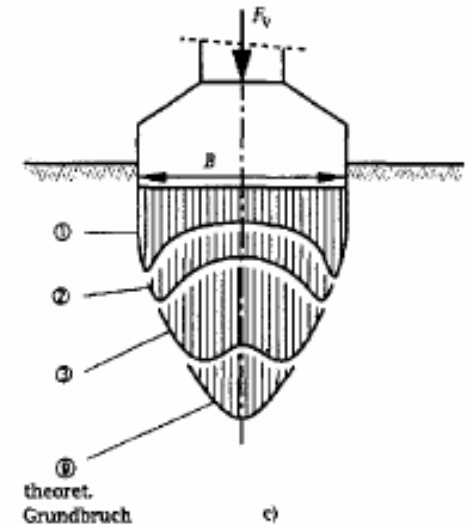
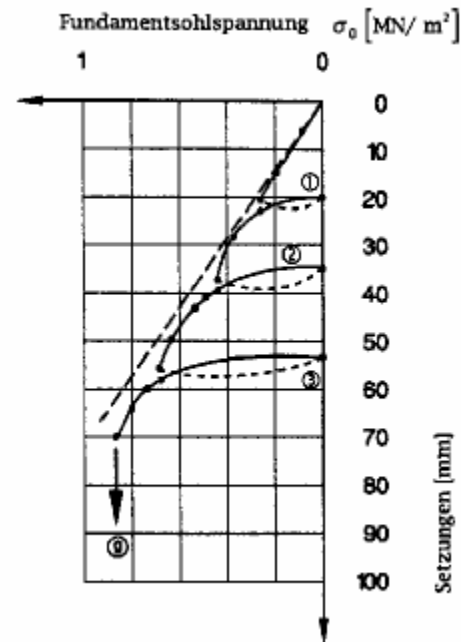
Folgende wesentliche Voraussetzung muss für die Anwendung der Tafeln erfüllt sein:

Bis zu einer Tiefe, die der 2-fachen Fundamentbreite entspricht, muss der Boden eine ausreichende Festigkeit aufweisen, d.h. er muss **mindestens mitteldicht gelagert** sein bzw. eine **mindestens steife Konsistenz** aufweisen.

Sind die Anwendungsvoraussetzungen für die Tafelwerte der DIN 1054 nicht erfüllt (z.B. lockere Lagerung oder weiche Konsistenz), oder sollen die dort angegebenen Werte des aufnehmbaren Sohldrucks überschritten werden, oder können die zu erwartenden Setzungsbeträge nicht in Kauf genommen werden, so ist die zulässige Bodenpressung im Einzelfall rechnerisch nachzuweisen.

Unter "Grundbruch" versteht man das Ausweichen des tragenden Bodens bei zunehmender Erhöhung der Fundamentlast:

- 1) *Gebrauchslastzustand:*
Setzungen annähernd proportional zur Last.
Sohldruck zeigt zwei außenliegende Maxima.
- 2) Krümmung der Last-Setzungs-Kurve .
Sohlspannungsmaxima wandern nach innen
Sohlspannungsfläche füllt sich im Mittelbereich auf, da nur dort noch Tragreserven sind.
- 3) Grenze der statisch möglichen Spannungsumlagerung im Boden ist erreicht (*Grenzzustand*).
- 4) Der Bodenkern, auf den sich das Fundament abstützt, wird instabil und bricht einseitig weg
→ **Grundbruch**.



2 Bodenmechanische Parameter

Berechnung des charakteristischen Grundbruchwiderstands $R_{n,k}$ bei Rechteckfundamenten:

$$R_{n,k} = a' \cdot b' \cdot (\gamma_2 \cdot b' \cdot N_b + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d + c \cdot N_c)$$

Einfluss der
Gründungstiefe
Kohäsion

mit $N_b = N_{b0} \cdot v_b \cdot i_b \cdot \lambda_b \cdot \xi_b$ $N_d = N_{d0} \cdot v_d \cdot i_d \cdot \lambda_d \cdot \xi_d$ $N_c = N_{c0} \cdot v_c \cdot i_c \cdot \lambda_c \cdot \xi_c$

a', b' um den Einfluss der Exzentrizität abgeminderte Fundamentabmessungen ($b' \leq a'$)

γ_1 Wichte des Bodens im Einbindebereich

γ_2 Wichte des Bodens unterhalb des Fundamentes

c Kohäsion

N_{b0}, N_{d0}, N_{c0} Tragfähigkeitsbeiwerte; sie sind vom Reibungswinkel φ' abhängig

v_b, v_d, v_c Formbeiwerte (bezogen auf abgeminderte Abmessungen!)

i_b, i_d, i_c Neigungsbeiwerte

$\lambda_b, \lambda_d, \lambda_c$ Geländeneigungsbeiwerte

ξ_b, ξ_d, ξ_c Sohlneigungsbeiwerte

Bei der Festlegung der Bodenkenwerte muss die **Schichtung des Baugrunds** berücksichtigt werden!

Im Beiblatt der DIN 4017 ist ein Verfahren vorgestellt, bei dem die Form der Grundbruchfigur und die gewichteten Scherfestigkeiten entlang der Grundbruchfuge iterativ ermittelt werden.

→ **Berechnungsprogramme**

Nach DIN 1054:2005 ist nachzuweisen:

$$N_d \leq R_{n,d} \quad \text{mit} \quad N_d = N_{G,k} \cdot \gamma_G + N_{Q,k} \cdot \gamma_Q \quad \text{und} \quad R_{n,d} = R_{n,k} / \gamma_{Gr}$$

Der Index d steht für Bemessungswerte, k für charakteristische Werte.

Die Teilsicherheitsbeiwerte bei den Vertikallasten N_G und N_Q ergeben sich aus Tabelle 2 der DIN 1054 für den Grenzzustand 1B, z.B. für den Lastfall 1 mit

$\gamma_G = 1,35$ (ständige Einwirkungen) und $\gamma_Q = 1,5$ (veränderliche Einwirkungen)

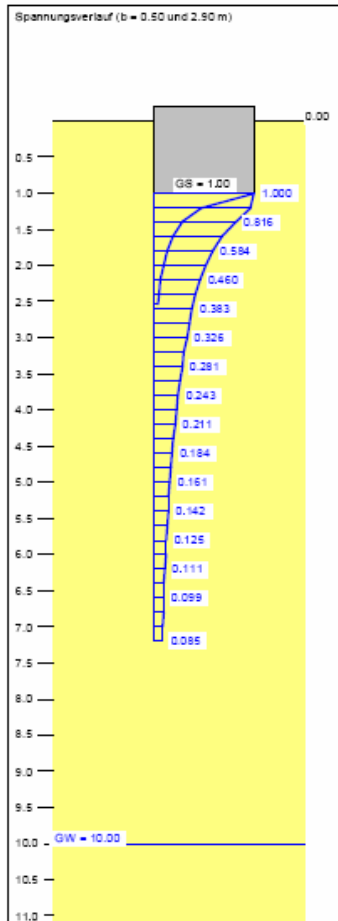
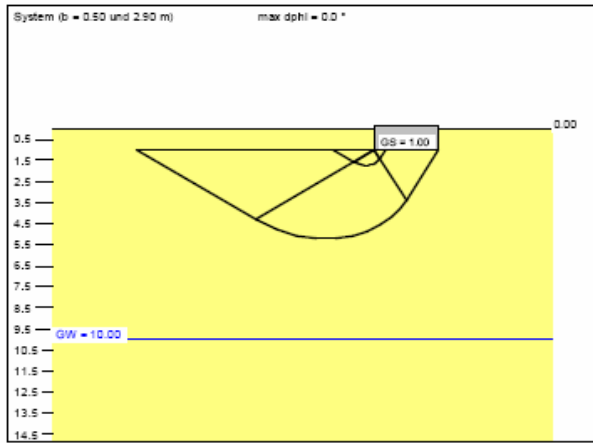
γ_{Gr} ist der Teilsicherheitsbeiwert auf den Grundbruchwiderstand (im LF 1 = 1,4).

2 Bodenmechanische Parameter

Boden	γ [kN/m ³]	γ' [kN/m ³]	φ [°]	c [kN/m ²]	E_s [MN/m ²]	v [-]	Bezeichnung
	20.0	10.0	27.5	0.0	12.0	0.00	Musterboden

Einzelfundamente mit $a/b=1$ und Einbindetiefe $t = 1,0$ m

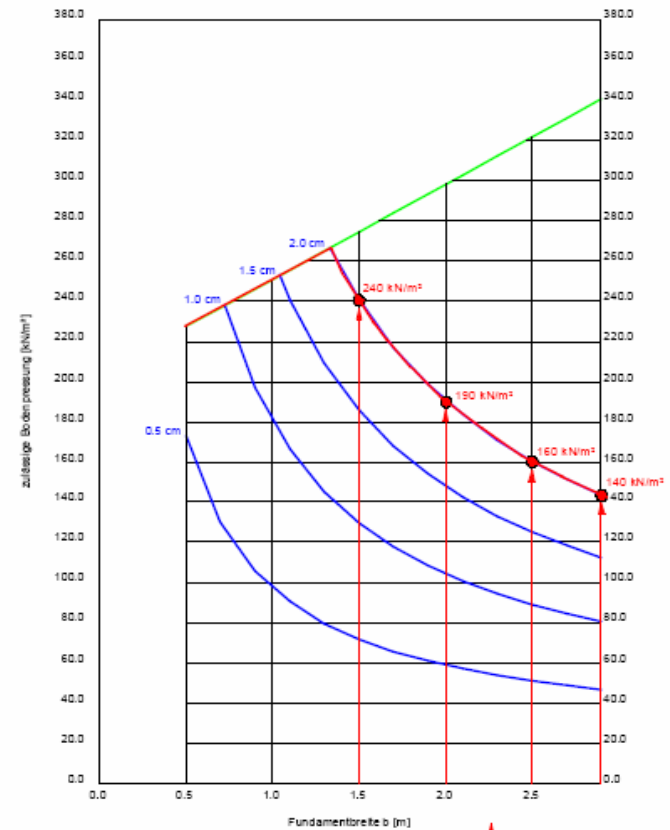
Vorgabe Tragwerksplaner: maximal zulässige Setzung: 2,0 cm



Berechnungsgrundlagen:
 Beispielrechnung
 Grundbruchformel nach DIN 4017 (alt)
 Globalsicherheitskonzept
 Einzelfundament ($a/b = 1.00$)
 Bezugsgröße: Last
 Grundbruchsicherheit = 2.00
 Gründungssohle = 1.00 m
 Grundwasser = 10.00 m

Grenztiefe mit $p = 20.0$ %
 Grenztiefen spannungsvariabel bestimmt
 — zulässige Bodenpressung
 — Setzungen

a	b	zul σ	zul V	s	cal φ	cal c	γ_2	σ_0	t_g	UK LB
[m]	[m]	[kN/m ²]	[kN]	[cm]	[°]	[kN/m ²]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[m]	[m]
0.50	0.50	227.3	55.8	0.67	27.5	0.00	20.00	20.00	2.55	1.73
0.70	0.70	236.7	116.0	0.97	27.5	0.00	20.00	20.00	3.01	2.02
0.90	0.90	246.1	199.4	1.28	27.5	0.00	20.00	20.00	3.45	2.31
1.10	1.10	255.6	309.2	1.60	27.5	0.00	20.00	20.00	3.87	2.60
1.30	1.30	265.0	447.8	1.95	27.5	0.00	20.00	20.00	4.27	2.89
1.50	1.50	274.4	617.4	2.31	27.5	0.00	20.00	20.00	4.66	3.18
1.70	1.70	283.8	820.3	2.69	27.5	0.00	20.00	20.00	5.04	3.47
1.90	1.90	293.3	1058.7	3.09	27.5	0.00	20.00	20.00	5.41	3.76
2.10	2.10	302.7	1334.9	3.51	27.5	0.00	20.00	20.00	5.78	4.05
2.30	2.30	312.1	1651.2	3.94	27.5	0.00	20.00	20.00	6.14	4.34
2.50	2.50	321.6	2009.7	4.39	27.5	0.00	20.00	20.00	6.49	4.63
2.70	2.70	331.0	2412.9	4.86	27.5	0.00	20.00	20.00	6.85	4.92
2.90	2.90	340.4	2862.8	5.35	27.5	0.00	20.00	20.00	7.19	5.21



→ für $s > 2,0$ cm
 → zul σ aus Fundamentdiagramm (Setzungskriterium)