

1 Prüfmethode

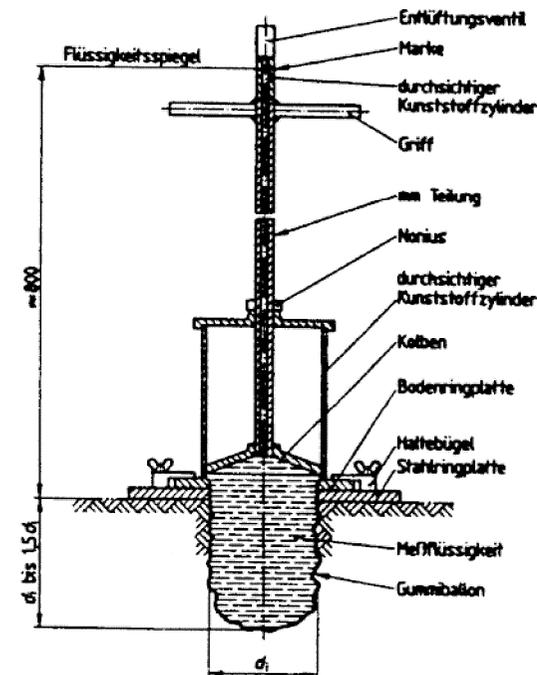
1.1 Bestimmung des Verdichtungsgrades mit direkten Methoden

Die eigentliche **Kontrolle des Verdichtungserfolges** erfolgt im Allgemeinen durch die **Bestimmung der Dichte im Feld** nach DIN 18125, Teil 2 durch die sog. **Ersatzverfahren**, z.B.

- das Densitometerverfahren (Ballon-Verfahren) und
- das Sandersatzverfahren.

Geprüft wird die zuletzt verdichtete Bodenschicht, indem eine Probe aus der Oberfläche entnommen und anschließend das zugehörige Volumen durch Ersatz gegen ein anderes Medium bekannter Dichte (z.B. Wasser oder Sand mit bekannter Schüttdichte) bestimmt wird.

Die Bodenprobe wird später im Labor in feuchtem Zustand sowie nach Ofentrocknung bei 105°C gewogen, so dass dann der Wassergehalt w und die Trockendichte ρ_d [g/cm³] der geprüften Lage in situ bekannt sind. Die Trockendichte kann nun auf den Laborwert der Proctordichte für den gleichen Boden bezogen werden, so dass man den Verdichtungsgrad D_{pr} erhält.



Der direkte Nachweis des Verdichtungsgrades erfordert also einerseits die Ermittlung der Dichte im Feld, andererseits auch die Ermittlung der Proctordichte als Bezugswert im Labor. Einschränkend kann nur eine geringe Tiefe bis ca. 30 cm unter dem aktuellen Planum geprüft werden, so dass auf jeder Schüttlage nach der vorgeschätzten Anzahl von Verdichtungsübergängen eine Prüfung notwendig ist.

1 Prüfmethode

1.2 Bestimmung des Verdichtungsgrades mit indirekten Methoden

Der große Aufwand für die direkte Verdichtungsprüfung hat zur Entwicklung von sog. indirekten Prüfverfahren geführt, bei denen über andere mechanische Bodenwiderstände aufgrund von **Erfahrungswerten** auf den zugehörigen Verdichtungsgrad geschlossen wird:

- statischer Lastplattendruckversuch nach DIN 18134

Kriterium für die Qualität der Verdichtung ist der Verhältniswert E_{v2}/E_{v1} und der Verformungsmodul E_{v2} . Die „Einwirkungstiefe“ der Lastplatte ist auf den ca. 2,5-fachen Plattendurchmesser D beschränkt. Bei Auffüllungen größerer Mächtigkeit wird somit die Durchführung von Plattendruckversuchen auf mindestens jeder dritten Einbaulage erforderlich (bei einem lagenweisen Einbau mit Schüttstärken von 30 cm).

- dynamischer Lastplattendruckversuch nach TP BF-StB

Beim dynamischen Lastplattendruckversuch wird die Lastplatte nicht statisch, sondern durch eine Fallmasse belastet, die aus definierter Höhe ausgeklinkt und auf ein Federpaket auf der Platte fallen gelassen wird (elastischer Stoß). Die zugehörige Plattenbeschleunigung ist ein Maß für die Zusammendrückbarkeit des Bodens darunter und damit auch **indirekt** für seinen **Verdichtungsgrad**. Zu berücksichtigen ist die begrenzte Prüftiefe (Einwirktiefe) des Versuchs, welcher somit keine Aussagekraft bezüglich der Tragfähigkeit bzw. Verdichtung des tieferen Untergrundes hat.

2 Rammsondierungen nach DIN 4094

- Rammsondierungen nach DIN 4094

Rammsondierungen liefern über den Eindringwiderstand N_{10} als Anzahl der Rammschläge für 10 cm Sondeneindringung ein **indirektes Maß** für die Zusammendrückbarkeit und die Scherfestigkeit und damit letzten Endes auch über den Verdichtungsgrad. Diese Methode bietet den **Vorteil**, auch **große Tiefen** prüfen zu können, sofern im aufgeschütteten Boden keine größeren Steine als Rammhindernisse vorkommen.

Allerdings stehen in DIN 4094 nur für sehr wenige Bodenarten Eichkurven zur Verfügung, die den Sondierwiderstand in Beziehung zur Lagerungsdichte bringen, jedoch noch nicht allgemein zur Proctordichte bzw. zum Verdichtungsgrad. Insofern ist bei Einsatz von Sondierungen für die zu prüfende Bodenart immer eine örtliche Eichung mit Hilfe von Proctorversuchen durchzuführen.



2 Rammsondierungen nach DIN 4094



Ansicht des 50kg-Fallgewichtes der schweren Rammsonde DPH mit einer Fallhöhe von 50 cm.



Ansicht der Rammsondenspitzen nach DIN 4094 für die schwere Rammsonde DPH (links) und die leichte Rammsonde DPL-5 (rechts)

2 Rammsondierungen nach DIN 4094

Tabelle 1 — Arten und Einsatzmöglichkeiten der Rammsondiergeräte

Nr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Technische Daten der Sondiergeräte										Messgrößen ^d	Max. Untersuchungstiefe ab Ansatzpunkt ^e	Spitzenquerschnittsbezogene Rammenergie je Schlag der einzelnen Sondiergeräte $\frac{m \cdot g \cdot h}{A}$ kJ/m ²
Benennung	Kurzzeichen	Spitzenquerschnitt A_s cm ²	Spitzendurchmesser ^a d (Verschleißgrenze) (d_{min}) mm	Masse des Rammhärens ^b m kg	Fallhöhe ^a h m	Gestängedurchmesser außen/innen ^b mm	Stangengewicht kg/m max.	Masse der Eintreibvorrichtung ohne Rammhärc ^c kg max.			etwa		
1	Leichte Rammsonde (en: Dynamic Probing Light)	DPL	10	35,7 ±0,3 (34)	10 ±0,1	0,50 ±0,01	22/6	3	6	N_{10}	10	50	mitteldichten und dicht gelagerten Kiesen, festen tonigen und schluffigen Böden
2	Schwere Rammsonde (en: Dynamic Probing Heavy)	DPH	15	43,7 ±0,3 (42)	50 ±0,5	0,50 ±0,01	32/9	6	18	N_{10}	25	167	—
3	Überschwere Rammsonde (en: Dynamic Probing Giant)	DPG	20	50,5 ±0,5 (49)	200 ±0,5	0,50 ±0,01	36/19	8	25	N_{10}	40	500	—

^a Fertigungstoleranzen

^b Angabe von Fertigungstoleranzen ist hier nicht erforderlich.

^c Das sind die durch den Stoß bewegten Teile (Amboss und Führungsstange), ausschließlich der Sonde. Mittlaufende Teile zum Heben und Ausklinken des Rammhärens gehören nicht dazu.

^d Schlagzahl

^e Richtwerte, bei Baugrundverhältnissen mittlerer Festigkeit gemessen

2 Rammsondierungen nach DIN 4094

Arten und Einsatzmöglichkeiten von Rammsondiergeräten mit regional begrenztem Einsatz

Tabelle A.1 — Arten und Einsatzmöglichkeiten von Rammsondiergeräten mit regional begrenztem Einsatz

Nr	1 Benennung	2 Kurzzeichen	3 Technische Daten der Sondiergeräte							10 Messgrößen ^d	11 Untersuchungstiefe ab Ansatzpunkt ^e	12 Spitzenquerschnittsbezogene Rammenergie je Schlag der einzelnen Sondiergeräte $\frac{m \cdot g \cdot h}{A}$ kJ/m ²	13 Einsatz eingeschränkt in Böden nach DIN 4022-1)
			4 Spitzenquerschnitt A_s cm ²	5 Spitzendurchmesser ^a d mm	6 Masse des Rammhärens ^a m kg	7 Fallhöhe ^a h m	8 Gestängedurchmesser außen/ innen ^b mm	9 Stängengewicht kg/m max.	9 Masse der Eintreibvorrichtung ohne Rammbar ^c kg max.				
1	Leichte Rammsonde (en: Dynamic Probing Light)	DPL-5	5	25,2 ±0,2	10 ±0,1	0,50 ±0,01	22/6	3	6	N ₁₀	8	100	tonigen und schluffigen Böden und dicht gelagerten, grobkörnigen Böden
2	Mittelschwere Rammsonde (en: Dynamic Probing Medium)	DPM	10	35,7 ±0,3	30 ±0,3	0,50 ±0,01	32/9	6	18	N ₁₀	20	150	dicht gelagerten Kiesen
3	Mittelschwere Rammsonde (en: Dynamic Probing Medium)	DPM-A	10	35,7 ±0,3	30 ±0,3	0,20 ±0,01	22/6	3	6	N ₁₀	15	60	dicht gelagerten Kiesen, festen, tonigen und schluffigen Böden

^a Fertigungstoleranzen

^b Angabe von Fertigungstoleranzen ist hier nicht erforderlich.

^c Das sind die durch den Stoß bewegten Teile (Amboss und Führungsstange), ausschließlich der Sonde. Mitlaufende Teile zum Heben und Ausklinken des Rammhärens gehören nicht dazu.

^d Schlagzahl

^e Richtwerte, bei Baugrundverhältnissen mittlerer Festigkeit gemessen

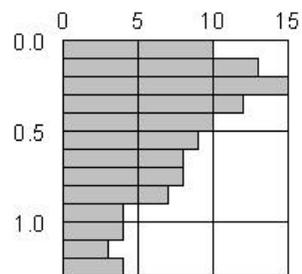
2 Rammsondierungen nach DIN 4094

Darstellung der Sondierergebnisse

SRS 01

OK FSS 0.00 m

Schlagzahlen je 10 cm



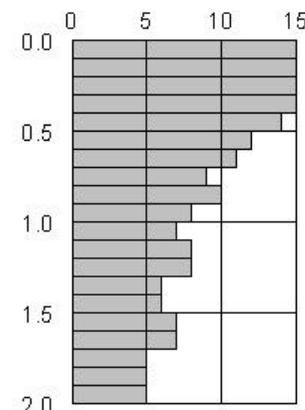
Haltung S141 - S146 (-20m)

Tiefe [m]	N ₁₀
0.10	10
0.20	13
0.30	15
0.40	12
0.50	10
0.60	9
0.70	8
0.80	8
0.90	7
1.00	4
1.10	4
1.20	3
1.30	4

SRS 02

OK FSS 0.00 m

Schlagzahlen je 10 cm



Haltung S149 - S150 (-10m)

Tiefe [m]	N ₁₀
0.10	21
0.20	20
0.30	18
0.40	18
0.50	14
0.60	12
0.70	11
0.80	9
0.90	10
1.00	8
1.10	7
1.20	8
1.30	8
1.40	6
1.50	6
1.60	7
1.70	7
1.80	5
1.90	5
2.00	5

3 Interpretation der Sondierergebnisse



Einflüsse auf die Sondierergebnisse

- **Gerätetechnische Einflüsse auf den Eindringwiderstand**

- *Fallgewicht*
- *Spitzendurchmesser*
- *Gestängelänge*

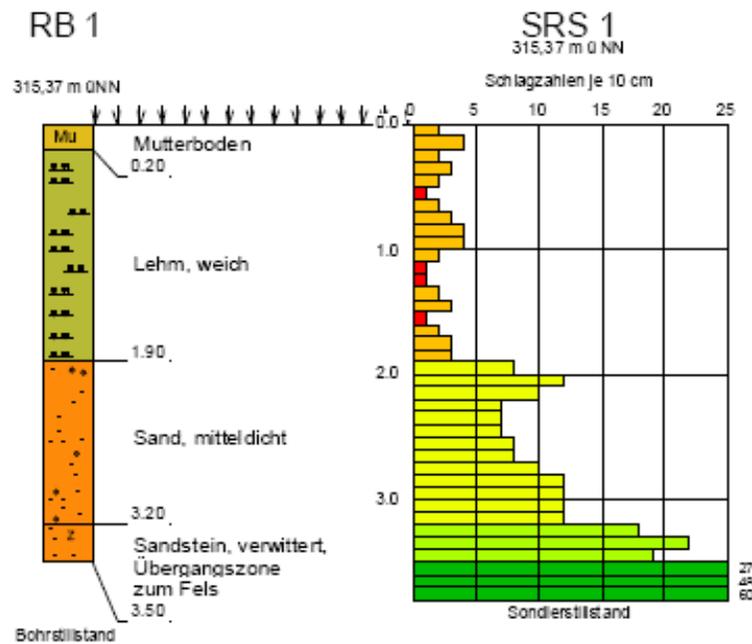
- **Geotechnische Einflüsse auf den Eindringwiderstand**

- *Grobkörnige Böden*
Lagerungsdichte, Korngefüge, Korngrößenverteilung, Kornform, Kornrauhigkeit, Mineralart, Verkittung, Verspannungszustand
- *Feinkörnige Böden*
Zustandsform (Konsistenz), Plastizität, Struktur
- *Gemischtkörnige Böden*
Eigenschaften und Massenanteil des Grobkorns, Plastizität und Zustandsform des Feinkorns
- *Einfluss der Oberfläche*
Oberflächeneinflusstiefe reicht bis zu ca. 1 m unter Ansatzpunkt (DIN 4094-3)

► **Nur in Verbindung mit direkten Baugrundaufschlüssen ist eine Beurteilung der Sondierergebnisse möglich!**

3 Interpretation der Sondierergebnisse

Darstellung der Sondierergebnisse mit Baugrundaufschluss



Tiefe (m)	N ₁₀
0.10	2
0.20	4
0.30	2
0.40	3
0.50	2
0.60	1
0.70	2
0.80	3
0.90	4
1.00	4
1.10	2
1.20	1
1.30	1
1.40	2
1.50	3
1.60	1
1.70	2
1.80	3
1.90	3
2.00	8
2.10	12
2.20	10
2.30	7
2.40	7
2.50	7
2.60	8
2.70	8
2.80	10
2.90	12
3.00	12
3.10	12
3.20	12
3.30	18
3.40	22
3.50	19
3.60	27
3.70	48
3.80	80

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

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 erfolgt im jeweiligen Einzelfall eine weitergehende bodenartspezifische Korrelation.

3 Interpretation der Sondierergebnisse

Qualitative Auswertung der Sondierergebnisse

Mit Hilfe direkter Baugrundaufschlüsse und der damit erhaltenen Erkenntnisse über die durchhörten Erdstoffe können nachfolgende qualitative Aussagen getroffen werden:

- Beurteilung der Gleichmäßigkeit bzw. Ungleichmäßigkeit der Lagerungsdichte
- Beurteilung des Verdichtungserfolgs durch Vergleich der Eindringwiderstände (vorher - nachher)
- Qualitative Beurteilung des Verdichtungsgrades durch Vorgabe einer Mindestschlagzahl

In Abhängigkeit von der Bodenart und der durchgeführten Sondiermethode können auf Erfahrungswerten basierende Mindestschlagzahlen angesetzt werden. Bei Einhaltung bzw. Überschreitung dieser Mindestschlagzahlen ist erfahrungsgemäß davon auszugehen, dass die geforderten Verdichtungsgrade erreicht bzw. überschritten werden.

Unterschreiten die Sondierergebnisse die angesetzten Mindestschlagzahlen, so muss dies jedoch nicht zwangsläufig ein Unterschreiten des Verdichtungsgrades bedeuten. In diesem Fall sind ausschließlich direkte Verdichtungsprüfungen vorzugsweise in den Tiefenzonen mit geringen Schlagzahlen durchzuführen. Erst mit den Ergebnissen der direkten Verdichtungsprüfungen kann eine Beurteilung des erreichten Verdichtungsgrades erfolgen.

3 Interpretation der Sondierergebnisse



Quantitative Auswertung der Sondierergebnisse

Quantitative Zusammenhänge zwischen dem Sondierergebnis und dem Verdichtungsgrad müssen für die jeweiligen Bodenarten innerhalb definierter Gültigkeitsgrenzen in nachprüfbarer Form statistisch ermittelt werden.

Durch eine Kalibrierung der Sondierergebnisse mit Hilfe von direkten Dichtebestimmungen nach DIN 18125-2 zu Beginn einer Baumaßnahme besteht die Möglichkeit, eine Korrelation zwischen Verdichtungsgrad und zugehörigen Schlagzahlen der Rammsondierung herzustellen. Im weiteren Verlauf der Baumaßnahme kann dann der zu erreichende Verdichtungsgrad mit der Rammsondierung nachgewiesen werden. Hierbei kommt jedoch der fortlaufenden Überwachung der Erdstoffe eine große Bedeutung zu. Bei wechselndem Material muss stets eine neue Kalibrierung erfolgen. Diese Methode eignet sich vorzugsweise für große Baulose bei Verwendung von gleich bleibenden Erdstoffen.

4 Felsklassen nach DIN 18300

Felsklasse 6 nach DIN 18300

- Felsarten mineralisch gebunden, jedoch stark klüftig, brüchig, bröckelig, schiefrig, verwittert
- vergleichbare verfestigte Böden sowie Boden mit mehr als 30 % Grobsteinen von über 0,01 m³ bis 0,1 m³ Rauminhalt (Kugel-Ø ca. 315 bis 630 mm)

Felsklasse 7 nach DIN 18300

- Felsarten mineralisch **fest** gebunden, wenig klüftig oder verwittert
- Steine von über 0,1 m³ Rauminhalt (Kugel-Ø > 630 mm)

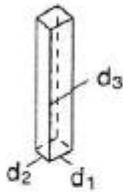
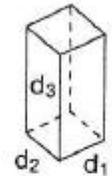
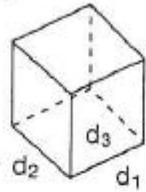
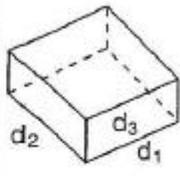
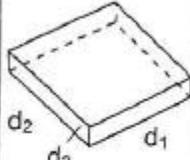
Zusammengefasst handelt es sich bei der Unterscheidung der Felsklassen nach DIN 18300 um Merkmale, die die Felseigenschaften der **Gesteinfestigkeit**, des **Trennflächengefüges** sowie des **Verwitterungszustandes** charakterisieren. Hierbei handelt es sich um rein visuelle Merkmale, die in der DIN 18300 nicht weiter quantifiziert sind.

4 Felsklassen nach DIN 18300

Interpretationshilfe: Gesteinfestigkeit

Ein „weicher Fels“ liegt nach *FLOSS* dann vor, „wenn er eine geringe Festigkeit aufweist oder sich witterungsempfindlich verhält. Dies ist dann der Fall, wenn er unter der mechanischen Beanspruchung des Straßenbaus zerbrechen kann oder wenn er durch Verwitterungsvorgänge zu einer wasserempfindlichen Bodenart zerfallen kann.“

Interpretationshilfe: Trennflächengefüge

	Form der Kluftkörper					
	Kluftabstand d [cm]	d_3 d_2 d_1	d_3 d_2 d_1	d_3 d_2 d_1	d_2 d_3 d_1	d_2 d_3 d_1
	Verhältnis $\frac{d_1}{d_3} : \frac{d_2}{d_3}$	< 1 : 5	1 : 2 bis 1 : 5	~ 1 : 1	2 : 1 bis 5 : 1	> 5 : 1
Felsklasse 7	$d_{max} > 100$	großsäulig	großblockig	großwürfelig	quaderig-bankig	großplattig
Felsklasse 6	$100 > d_{max} > 10$	kleinsäulig	kleinblockig	kleinwürfelig	kleintäfelig	schiefrig
	$d_{max} < 10$	stängelig-faserig	kubisch-ruschelig	kubisch-ruschelig	splitterig	blättrig-kleinschuppig

Klassifizierung der technischen Gebirgsfazies nach F. Karl

4 Felsklassen nach DIN 18300

Interpretationshilfe: Verwitterungszustand

	Code	Bezeichnung	Merkmal Gestein	Merkmal Gebirge
Felsklasse 7	VU	unverwittert	unverwittert, frisch kein Verwitterungseinfluß erkennbar	keine verwitterungsbedingte Auflockerung an Trenn- flächen
	VA	angewittert	auf frischer Bruchfläche Verwitterung von einzelnen Mineralkörpern erkennbar (Lupe), beginnende Mine- ralumbildung und Ver- färbung	teilweise Auflockerung an Trennflächen
Felsklasse 6	VE	entfestigt	durch Verwitterungsvor- gänge gelockertes, jedoch noch im Verband befind- liches Mineralgefüge, meist in Verbindung mit Mineral- umbildung, insbesondere mit und an Trennflächen	vollständige Auflockerung an Trennflächen
	VZ	zersetzt	noch im Gesteinsverband befindliches, durch Mineral- neubildung verändertes Gestein ohne Festge- steinseigenschaften (z.B. Umwandlung von Feld- späten zu Tonmineralien, von Tonschiefer zu Ton)	Kluftkörper ohne Festge- steinseigenschaften

Merkblatt über Felsgruppenbeschreibung für bautechnische Zwecke im Straßenbau

4 Felsklassen nach DIN 18300

Die einzelnen Merkmalszuordnungen stellen zwar eine wertvolle, letztlich aber doch nur orientierende Entscheidungshilfe dar. Wie diese einzelnen Merkmale dann aber zu gewichten sind, hierüber finden sich in der Fachliteratur keine Hinweise.

Die letzte Einstufungsentscheidung bleibt somit vorwiegend dem subjektiven Sachverstand des begutachteten Ingenieurgeologen überlassen.