

Leichte Rammsonde mit variabler Rammenergie zur Baugrunduntersuchung und zur Verdichtungskontrolle

Ursula Blume und Hartmut Reichenbach

Die französische Panda-Sonde ist ein Prüfgerät zur Bodenuntersuchung und Verdichtungskontrolle. Im Unterschied zu den Rammsonden mit konstanter Rammenergie gemäß DIN EN 22476 wird die Rammenergie bei der Panda-Sonde variabel durch Hammerschläge erzeugt. Wegen des relativ geringen Energieeintrages wird eine detaillierte Auflösung der durchteuften Bodenschichten erreicht. Außerdem ist die Sonde aufgrund ihrer geringen Abmessungen und ihres geringen Gewichtes auch zur Untersuchung schwer zugänglicher Geländepunkte, für Hinterfüllungen, in Rohrgräben sowie für horizontale Untersuchungen geeignet. In Frankreich ist die Rammsondierung mit variabler Energie seit dem Jahr 2000 in der XP P 94-105 „Überprüfung der Verdichtungsqualität – Methode mit dynamischer Rammsondierung mit variabler Energie“ genormt. Der Beitrag beschreibt das generelle Messprinzip und die Vorgehensweise zur Verdichtungskontrolle gemäß der französischen Norm. Erste positive Ergebnisse bei der Verdichtungskontrolle in Deutschland, wo die Panda-Sonde bislang vorwiegend für Eigenüberwachungsprüfungen bei Leitungsgabenverfüllungen eingesetzt wurde, werden beispielhaft beschrieben. Schließlich werden Möglichkeiten zur Adaption in das deutsche Straßenbauregelwerk dargelegt und der hierfür noch erforderliche Forschungsbedarf erläutert.

The French Panda is a lightweight dynamic cone penetrometer which uses variable energy and can be used both for site investigation and compaction control. Compared to dynamic cone penetrometers with a constant energy according to DIN EN 22476, the energy input for the Panda is provided by the blow of a hammer. The dynamic cone resistance and the depth of cone penetration are calculated for each blow of the hammer by a microprocessor by using the "Dutch formula". Because of the small energy input, the soil layers can be examined in detail. Due to its small size and light weight, the penetrometer is especially useful where access is restricted, for backfills, in trenches and for horizontal investigations. In France, the application for the measuring of compaction quality is standardized since 2000 in the XP P 94-105. The article describes the general principle of the penetrometer and the procedural method of compaction control according to the French standard. The first positive experiences in using the Panda for the compaction control in Germany, mainly for the internal quality control of minimal trenches, are exemplified. Finally, the possibilities for the adaption in the German body of rules and regulations for road construction and the requirements for further research are outlined.

Verfasseranschriften:
Dipl.-Geol. U. Blume,
Bundesanstalt für Straßen-
wesen, Referat „Erdbau,
Mineralstoffe“,
Brüderstraße 53,
51427 Bergisch Gladbach,
blumeu@bast.de;
Dipl.-Ing. H. Reichenbach,
Smolczyk & Partner GmbH,
Untere Waldplätze 14,
70569 Stuttgart, Reichen-
bach@SmolczykPartner.de

1 Einleitung

Im Unterschied zu den Rammsonden mit konstanter Rammenergie gemäß DIN EN 22476 wurde in Frankreich eine leichte Rammsonde (Panda-Sonde: Pénéromètre Automatique Numérique Dynamique Assisté par ordinateur) entwickelt, bei der die Rammenergie variabel durch Hammerschläge erzeugt wird (Bild 1). Diese Sonde kann zur Baugrunduntersuchung und zur Verdichtungskontrolle eingesetzt werden. Die variable Rammenergie und die Eindringtiefe pro Hammerschlag werden mit einem mobilen Datenlogger aufgezeichnet und ausgewertet. Durch den relativ geringen Energieeintrag zeigt das Sondierdiagramm eine hohe Auflösung der untersuchten Schichten.

Die Verdichtungskontrolle mit der Panda-Sonde wurde im Jahr 2000 mit der Norm XP P 94-105 [1] in das französische Regelwerk aufgenommen. Das Messprinzip hat seither eine ständige Weiterentwicklung zur Erhöhung der Messgenauigkeit und für eine vereinfachte Anwendung zur computergestützten Verdichtungskontrolle und Baugrunduntersuchung erfahren.

2 Anwendungsgebiete und -grenzen

Die Panda-Sonde kann sowohl zur Baugrunduntersuchung als auch zur Verdichtungskontrolle eingesetzt werden. Das Sondiergerät kann in einem Koffer verstaut und transportiert werden. Im Gesamtgewicht von ca. 20 kg ist das erforderliche

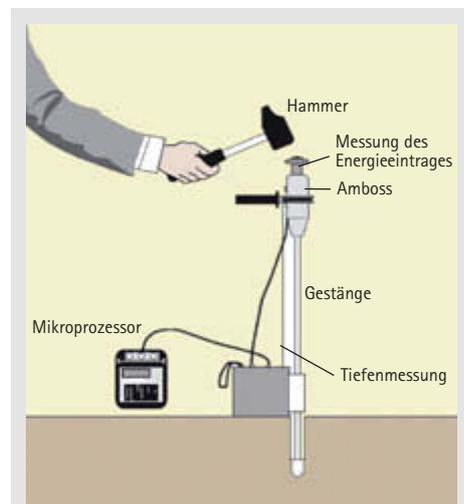
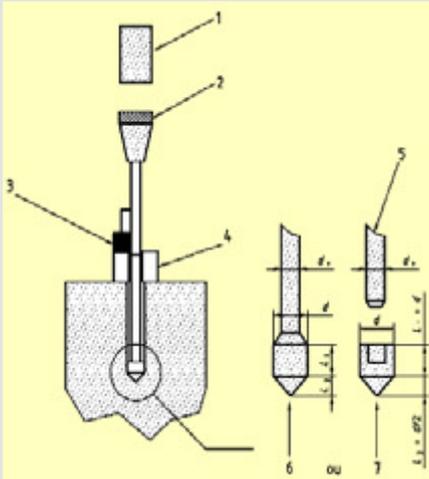


Bild 1: Leichte Rammsonde mit variabler Rammenergie



- 1 Vortriebsgerät (Hammer oder Rammbar)
- 2 Messsensor zur Ermittlung der eingebrachten Energie
- 3 Messsensor für:
 - Eindringtiefe der Spitze pro Schlag bzw.
 - Erreichte Tiefe der Sondenspitze
- 4 Gestängeführung
- 5 Gestänge mit Steckverbindung für (7)
- 6 Fest montierte Sondenspitze
- 7 Verlorene Sondenspitze

Bild 2: Schematische Darstellung der Leichten Rammsonde mit variabler Rammenergie

derliche Zubehör für Sondierungen bis zu einer maximalen Tiefe von 5,0 m enthalten. Die Abmessungen und das geringe Gesamtgewicht erlauben auch Untersuchungen an Punkten, die für andere Messgeräte schwer zugänglich sind. Beispiele hierfür sind Verdichtungsmessungen in Leitungsgräben und Hinterfüllungen von Bauwerken sowie Baugrunduntersuchungen von schwer zugänglichem Gelände, z. B. von steilen Böschungen. Der Energieeintrag durch Hammerschläge ermöglicht sogar horizontale Baugrunduntersuchungen z. B. in Tunnelwandungen. Mit diesen Funktionen eignet sich die Panda-Sonde besonders für Untersuchung im Straßen- und Eisenbahnbau sowie im Damm- und Deichbau. Das Sondiergerät kann von einer Person transportiert und bedient werden.

Eine begrenzte Anwendung ergibt sich beim Einsatz der Sonde zur Untersuchung stark bindiger Böden durch die erhöhte Mantelreibung. Dies wird durch Drehung des Gestänges um 360° nach jeder Verlängerung um 0,5 m überprüft. Wenn das Gestänge manuell nicht mehr gedreht werden kann, ist die Sondierung abzubrechen. Es ist möglich, das Abbruchkriterium durch einen maximalen Drehmoment exakt zu definieren und mit einem Drehmomentschlüssel zu überprüfen.

Vom Hersteller wird die Anwendungsgrenze für nichtbindige Böden mit einer maximalen Korngröße von ca. 70 mm angegeben. Bei Vergleichsuntersuchungen im Großversuchsstand der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde ein Quarzit der Körnung 0/45 mm mit einer Proctordichte von $D_{pr} = 108\%$ eingebaut. Bei den anschließend durchgeführten Sondierungen mit der Panda-Sonde wurde hier die Obergrenze des händisch möglichen Energieeintrages erreicht.

3 Allgemeine Verfahrensbeschreibung und Ermittlung des Spitzenwiderstandes q_d

Bei der Rammsondierung mit der Panda-Sonde wird ein Sondiergestänge ($d = 14 \text{ mm}$) mit einer Sondenspitze von $d = 16 \text{ mm}$ (Nennquerschnittsfläche $F = 2 \text{ cm}^2$) oder $d = 22,6 \text{ mm}$ ($F = 4 \text{ cm}^2$) mit einem Schlaghammer in den Boden getrieben (Bilder 1 und 2). Die Energie sollte so variiert werden, dass ein Vortrieb von ca. 0,1 cm bis 2,0 cm pro Hammerschlag erzielt wird.

Anders als bei den bekannten Rammsondiergeräten mit konstantem Energieeintrag ist die manuell durch Hammerschläge eingebrachte Energie bei der Panda-Sonde veränderlich. Für jeden Hammerschlag wird daher die eingebrachte Energie durch einen auf dem Amboss installierten Dehnungsmesssensor und die Eindringtiefe der Sondenspitze mit einem Bandmessgerät ermittelt. Beide Messwerte werden mit

einem Handterminal mit Mikroprozessor aufgezeichnet. Aus den ermittelten zwei Messgrößen „eingebrachte Rammenergie“ und „Eindringtiefe“ wird anschließend mittels der sogenannten „Holländischen Rammformel“ (Cassan [2]) der dynamische Spitzenwiderstand q_d der Sonde in der jeweiligen Tiefe für jeden Hammerschlag errechnet und gespeichert. Der ermittelte Spitzenwiderstand und die Eindringtiefe der Sonde werden sofort digital auf dem Display des Handterminals angezeigt. Optional kann die Anzeige eines Penetrogrammes (Rammdiagrammes) mit der Darstellung des Spitzenwiderstandes über die Tiefe gewählt werden.

Zur weiteren Bearbeitung und zum Ausdruck der Penetrogramme werden die Daten anschließend auf einen PC übertragen und über ein gerätespezifisches Auswerteprogramm als Rammdiagramm (Spitzenwiderstand über die Tiefe) visualisiert. Ergänzend können zusätzliche Informationen zur Klassifikation des Bodens bzw. der Geologie, zur Schichtdicke und zum Wassergehalt eingegeben werden (Bild 3).

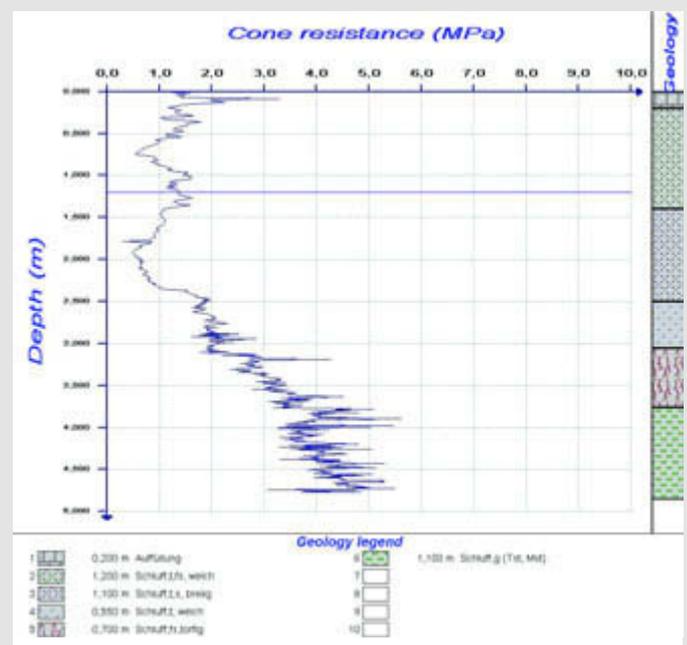
Bei Rammsondierungen wird der dynamische Spitzenwiderstand q_n gemäß der sogenannten „Holländischen Rammformel“ [2] ermittelt. Für die Rammsondierung mit variabler Energie wurde diese Formel folgendermaßen modifiziert:

$$q_n = E \frac{M}{A e' (M + P)}$$

mit

- q_n dynamischer Spitzenwiderstand [MPa]
- E Gesamte in das System eingebrachte Energie [kJ]
- M Fallmasse des Hammers/Rammbars [kN]

Bild 3: Penetrogramm einer Rammsondierung mit variabler Energie zur Baugrunduntersuchung (bindige Böden, 4-cm²-Spitze)



- A Querschnittsfläche der Sondenspitze [m²]
 e' plastische Eindringtiefe pro Schlag [m]
 P Gesamtmasse von Amboss, Sondiergestänge und -spitze [kN].

Für die Anwendung dieser Formel wird angenommen dass:

- der Untergrund während der Sondierung ideal-plastische Eigenschaften aufweist
- die gesamte eingebrachte Energie auf die Sondenspitze übertragen wird
- die Mantelreibung zwischen dem Bohrgestänge und den Bodenschichten gering ist.

4 Baugrunduntersuchung

Bei Einsatz der Panda-Sonde zur Baugrunduntersuchung können die Bodenschichten anhand ihrer unterschiedlichen Dichte und damit unterschiedlichen Spitzenwiderständen voneinander abgegrenzt werden (Bild 3). Nach der Datenübertragung vom Mikroprozessor auf den PC können mit der entsprechenden Software topografische Höhenangaben ergänzt werden. Bei Neuerkundung empfiehlt sich die Kalibrierung der Sondierungen mittels eines Schurfes oder einer (Klein-)Bohrung zur Vervollständigung des Penetrogrammes durch Eintragung von Bodenprofil und Grundwasserspiegel.

Für die Untersuchung von bindigen Böden wird vom Hersteller der Einsatz der verlorenen Spitze mit einer Fläche von 4 cm² empfohlen, da diese im Vergleich zur Spitze mit 2 cm² eine größere Differenz zum Gestängedurchmesser und dadurch eine geringere Mantelreibung aufweist.

Im Bild 3 ist das Rammdiagramm einer Panda-Sondierung dargestellt, die im Zuge der Baugrunderkundung für den Neubau eines Fußgängersteiges durchgeführt wurde. Die Bodenansprache basiert auf dem Aufschluss einer unmittelbar benachbarten Kleinbohrung. Im Rammdiagramm deutlich zu erkennen ist der geringe Sondierwiderstand in der breiigen Schicht zwischen 1,5 m und 2,3 m Tiefe. Danach ist dann allerdings auch der Einfluss der Mantelreibung zu erkennen, der sich

durch die gleichmäßige Zunahme des Sondierwiderstandes zur Tiefe hin darstellt. Dieser Mantelreibungseinfluss ist bei der Verdichtungskontrolle, wo breiige oder weiche Böden ohnehin nicht eingebaut werden, nicht mehr zu erkennen.

5 Verdichtungskontrolle gemäß französischer Normung

5.1 Allgemeines

Die Verdichtungskontrolle mit der Panda-Sonde ist ein indirektes Messverfahren, das nach Einbau aller Schichtlagen angewendet wird. In der französischen Norm XP P 94-105 [2] werden drei verschiedene Vorgehensweisen unterschieden:

Funktion A: Abschätzung der Schichtlagendicke

Funktion B: Überprüfung des vorgegebenen Verdichtungsgrades

Funktion C: Überprüfung der gemessenen Verdichtung mit der eines Referenzfeldes.

In allen Fällen wird die fest mit dem Gestänge verschraubte Sondenspitze mit einer Querschnittsfläche von 2 cm² eingesetzt. Der Einfluss der Mantelreibung ist, wie im Abschnitt 2 erläutert wurde, zu überprüfen.

5.2 Funktion A: Abschätzung der Schichtlagendicke

Die Vorgehensweise stimmt prinzipiell mit der Untersuchung des Baugrundes (siehe Abschnitt 4) überein. Parallel zur von oben nach unten abnehmenden Verdichtung jeder Schichtlage nimmt auch der Eindringwiderstand von oben nach unten ab. Schichtgrenzen können so anhand der unterschiedlichen Eindringwiderstände ober- und unterhalb der Schichtgrenze definiert und so die Schichtlagendicken ermittelt werden. Durch den Vergleich mit den Anforderungswerten an die maximale Dicke der Einbaulagen können eventuelle Abweichungen erkannt werden.

5.3 Funktion B: Überprüfung des vorgegebenen Verdichtungsgrades

Die einzelnen Schüttlagen werden mit der Panda-Sonde durchteuft und das Ergebnis als Rammdiagramm dargestellt. Abhängig von Boden, Verdichtungsanforderung und vorgeschriebener Schichtdicke werden zusätzlich ein charakteristischer unterer Grenzwert des Spitzenwiderstandes (q_L) und ein Referenzwert des Spitzenwiderstandes (q_R) abgebildet (Bild 4). Für häufig vorkommende Bodenarten und Baustoffe wurden in Frankreich material- und verdichtungsabhängige Vergleichskurven von q_L und q_R entwickelt. Die gerätespezifische Software ermöglicht die Auswahl einer jeweils typischen Grenz- und Referenzkurve. Diese beiden Kurven berücksichtigen die in den französischen Verdichtungsanforderungen übliche Unterscheidung des geforderten mittleren Verdichtungsgrades innerhalb einer Einbaulage und des zulässigen Mindestwertes an der Basis der Einbaulage. Ein komplexes Beurteilungsschema berücksichtigt sowohl die maximale Schichtlagendicke als auch die erforderliche Verdichtung. Damit wird die Qualität und Quantität der außerhalb des Toleranzbereiches liegenden Messungen, d.h. der Messwerte, die unterhalb des unteren Grenzwertes (q_L) liegen, beurteilt. Mit Hilfe dieses Beurteilungsschemas wird die gemessene Verdichtung der untersuchten Schichtlage entweder akzeptiert oder abgelehnt.

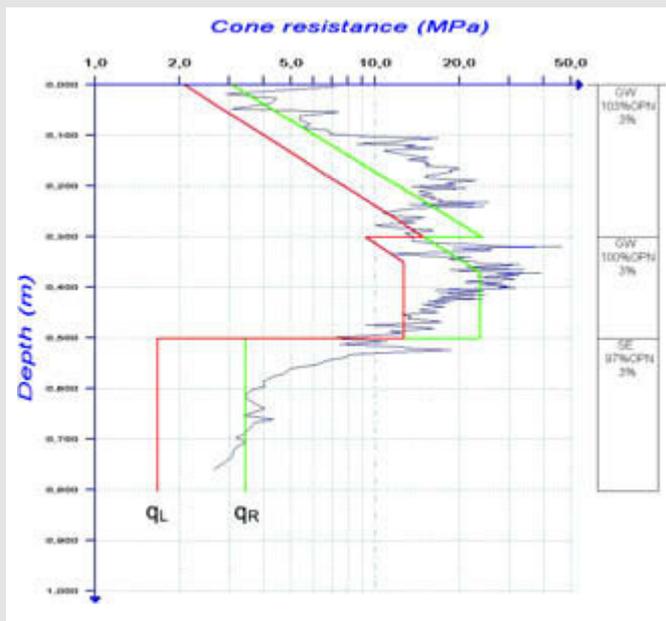
Für die qualitative Überprüfung des vorgesehenen Verdichtungsgrades ist eine Kalibrierung der Grenz- und Referenzlinien erforderlich.

Die Kenntnis der Tiefenlage der oberen und unteren Verfüllzone einschließlich der Schichtdicke der eingebauten Bodenart, der Konsistenz des Bodens und die gestellten Verdichtungsanforderungen ermöglichen es, Toleranzbereiche durch eine Referenz- (q_R) und eine Grenzlinie (q_L) zu bestimmen. Die Referenzlinie q_R (Bild 4, grüne Linie) entspricht der geforderten mittleren Verdichtung der Schicht, die Grenzlinie q_L (Bild 4, rote Linie) entspricht der

CO₂ im Strassenbau – was nun?
www.kaltrecycling.de

1000 to Heissasphalt=Oelverbrauch von 170'000 Auto-km. Gehen wir zu Fuss! U.Egli

Bild 4: Darstellung der Messkurve und des Grenzwertes (q_L ; rot) und Referenzwertes (q_R ; grün) des Spitzenwiderstandes



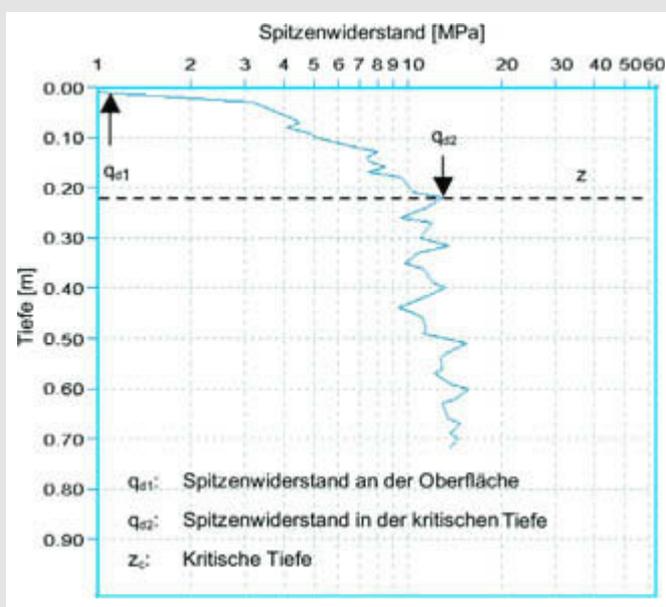
geforderten Verdichtung an der Unterseite der Einbaulage, die nicht unterschritten werden darf. Im oberen Bereich haben die Referenz- und Grenzl意思 ein Gefälle, das die Abminderung durch die oberflächen-nahe Auflockerung infolge der Sondierung berücksichtigt. Unterhalb einer bestimmten Grenztiefe, „kritische Tiefe“ (z_c) genannt, verlaufen die Linien theoretisch konstant vertikal, das Material wird durch die Sonde also nicht mehr aufgelockert. Abweichungen der Messkurve von dieser Ideallinie entstehen durch die Inhomogenität des untersuchten Bodens. Die Referenzlinie kann bestimmt werden, weil eine Beziehung zwischen dem Verdichtungsgrad D_{Pr} und dem dynamischen Spitzenwiderstand existiert. Praktische Untersuchungen [3] resultierten in einem

Modell, durch das für einen homogenen Untergrund der Bezug zwischen Spitzenwiderstand und Tiefe bei einem definierten Verdichtungsgrad hergestellt wurde. Für gleiche Bodenkennwerte und gleichen Verdichtungsgrad ergeben sich konstante Werte für z_c , q_{d1} und q_{d2} mit:

- q_{d1} Spitzenwiderstand an der Oberfläche
- q_{d2} Spitzenwiderstand der kritischen Tiefe oder Oberflächeneinflusstiefe; maximaler Spitzenwiderstand für ein bestimmtes Material und einen bestimmten Verdichtungsgrad
- z_c kritische Tiefe, gemessen von der Sondieroberfläche bis zum maximalen Spitzenwiderstand.

Das Bild 5 verdeutlicht diesen Zusammenhang.

Bild 5: Darstellung der kritischen Tiefe sowie der Spitzenwiderstände an der Oberfläche und in der Tiefe



Auf Grundlage dieser Erkenntnis wurden für die französischen Standardböden Durchschnittswerte für q_{d1} , q_{d2} und z_c bei verschiedenen Verdichtungsgraden und unterschiedlichen Wassergehalten bestimmt. Hierdurch können die jeweils spezifischen Referenz- und Grenzl意思 konstruiert und im Penetrogramm der Toleranzbereich und die Lage der Sondierkurve zu diesem Toleranzbereich dargestellt werden.

5.4 Funktion C: Überprüfung der gemessenen Verdichtung mit der eines Referenzfeldes

Bei dieser Methode wird für jeden zu überprüfenden homogenen Bereich ein Referenzfeld mit den gleichen Materialien, Schichtlagendicken und Verdichtungsübergängen angelegt. Für jeden Material- und Schichtlagenwechsel ist der Verdichtungsgrad D_{Pr} und der Wassergehalt der jeweiligen Schicht zu bestimmen. Anschließend wird eine Sondierung im Referenzfeld durchgeführt und mit den Penetrogrammen des zu überprüfenden Bereiches verglichen. Die Verdichtung gilt als ausreichend, wenn diese Penetrogramme innerhalb der Hüllkurve der Spitzendruckkurve des Referenzfeldes liegen.

6 Vorgehensweise zur Verdichtungskontrolle mit der Rammsonde mit variabler Energie in Deutschland

Prinzipiell ist eine Übernahme der Verdichtungskontrolle gemäß der Funktionen B und C der französischen Normung auf deutsche Verhältnisse nach Anpassung denkbar. Die Verdichtungskontrolle entspricht dem Prinzip der „indirekten Prüfverfahren“ gemäß ZTV E-StB.

Für das Verfahren in Anlehnung an „Funktion B“ der französischen Norm XP P 94-105 (Abschnitt 6.3) sind Bewertungskriterien für den gemessenen Spitzenwiderstand q_d festzulegen. Die vom Gerätehersteller entwickelten Grenz- und Referenzlinien sind daraufhin zu überprüfen, in welchem Rahmen die in den ZTV E-StB festgelegten Anforderungen eingehalten werden, und eventuell entsprechend anzupassen. In Anlehnung an französische Erfahrungen können Baustoffgemische bis zu einer Körnung von 0/56 mm untersucht werden. Mit dieser Methode können dann nach der Ermittlung eines Bewertungshintergrundes schnelle, bedienungsfreundliche, einfache und manipulations-sichere Eigenüberwachungs- und Kontrollprüfungen durchgeführt werden. Zur

Untersuchung und Festlegung der erforderlichen Parameter besteht allerdings noch Forschungsbedarf.

Die Verdichtungskontrolle gemäß „Funktion C“ (Abschnitt 6.4) entspricht vom Grundsatz der Vorgehensweise bei Kalibrierung eines indirekten Verdichtungsmerkmals, die in den ZTV E-StB [4] und den TP BF-StB Teil E4 [5] beschrieben ist. Vor Beginn der Prüfarbeiten ist durch Kalibrierversuche der Zusammenhang zwischen dem Rammsondiererergebnis mit variabler Energie und dem in der Leistungsbeschreibung angegebenen Anforderungswert zu ermitteln. Dieses Prinzip kann schon jetzt für Prüfzwecke eingesetzt werden, ggf. sind Untersuchungen zur Festlegung der Anwendungsgrenzen erforderlich.

7 Baupraktische Erfahrungen bei Verdichtungskontrollen

Bei der Smoltczyk & Partner GmbH, Stuttgart, wird die Panda-Sonde seit 2006 auf ihre Anwendungsmöglichkeiten in Deutschland erprobt. Hierbei wurde die Sonde in einer großen Bandbreite von Böden und Verfüllbaustoffen eingesetzt und, soweit möglich, Vergleiche mit den in Deutschland bisher üblichen Prüfverfahren durchgeführt. Einige Beispiele für den Einsatz der Panda-Sonde bei Verdichtungskontrollen werden nachfolgend vorgestellt.

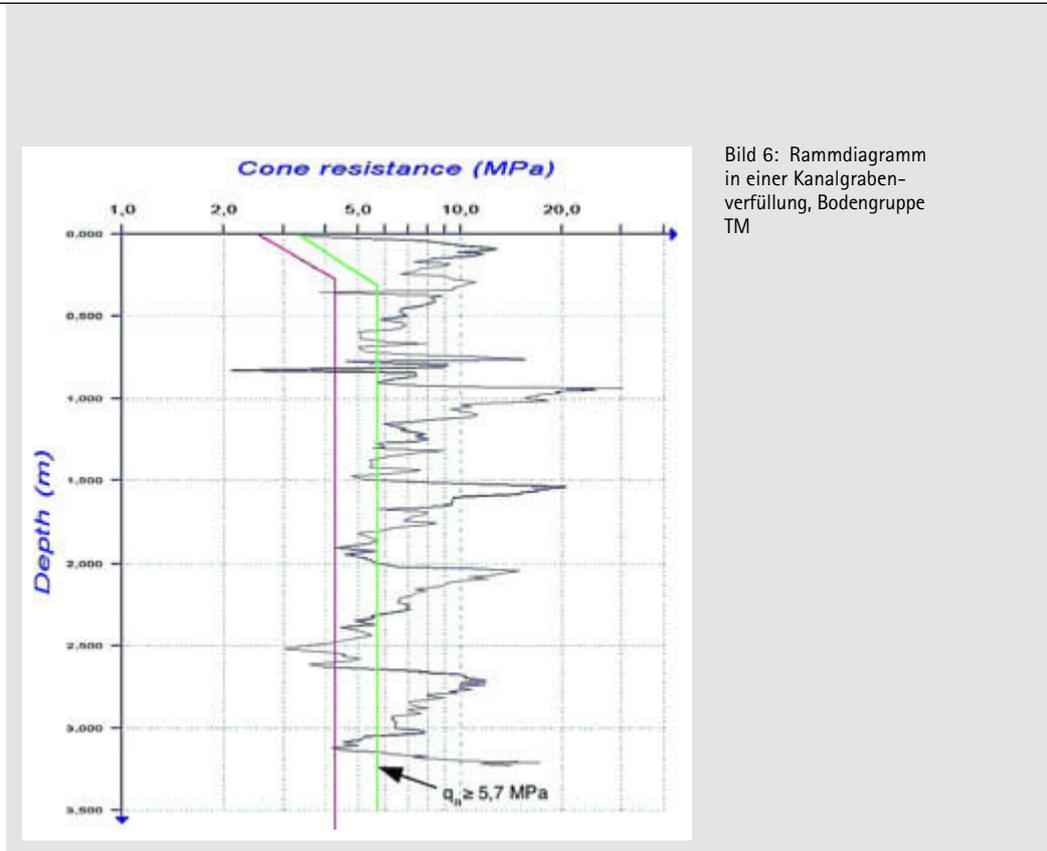


Bild 6: Rammdiagramm in einer Kanalgrabenverfüllung, Bodengruppe TM

Im Bild 6 ist eine Sondierung dargestellt, mit der die Verdichtung einer Kanalgrabenverfüllung geprüft wurde. Als Verfüllmaterial wurde ein stark verwittertes Tonsteinmaterial (Gipskeuper) verwendet, das mit 1,2 % Weißfeinkalk behandelt worden war. Nach seinen Plastizitätsgrenzen ist das Material als mittelplastischer Ton TM zu klassifizieren. Anhand einer Probeverdichtung und in Anlehnung an die Referenzlinien für einen Verdichtungsgrad von $D_{pr} \geq 95 \%$ wurde hier für die Verfüllung

eine Anforderung an den Spitzenwiderstand der Panda-Sonde von $q_d \geq 5,7$ MPa festgelegt. Aus dem Rammdiagramm im Bild 6 sind anhand des Sägezahn-Profiles deutlich die einzelnen Einbaulagen zu erkennen. Ebenso deutlich erkennt man, dass mit dem Überschreiten der Lagendicke von 40 cm der Sondierwiderstand an der Unterseite der Einbaulagen den geforderten Wert von $q_d \geq 5,7$ MPa unterschreitet (grüne Linie). So konnte während der Einbaukontrollen jeweils unmittelbar nach

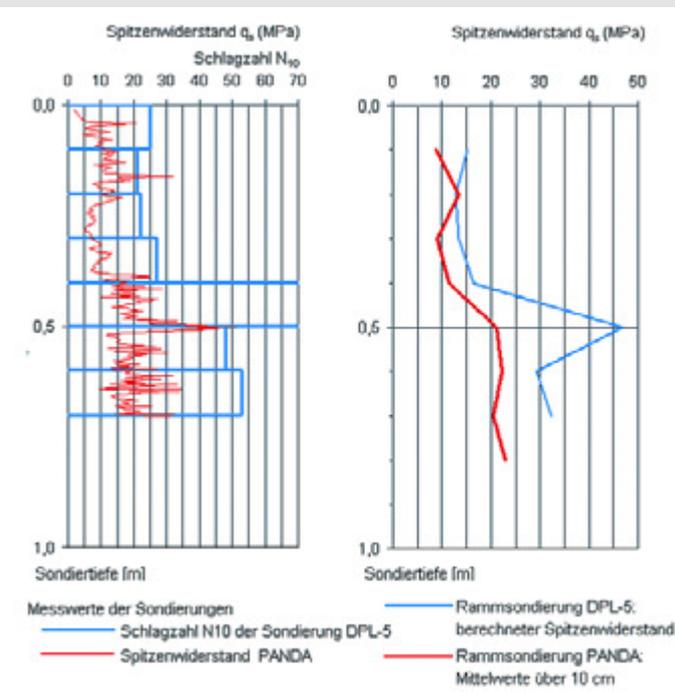


Bild 7: Vergleich der Rammdiagramme; PANDA und DPL-5

Abschluss der Sondierung vor Ort das Prüfergebn mitgeteilt und eine Änderung des Arbeitsverfahrens (geringere Schichtdicken) und eine Nachbesserung der Leistung veranlasst werden.

Der Zeitaufwand für eine Sondierung von ca. 3 m Tiefe belief sich hier auf ca. 15 bis 20 Minuten, einschließlich Umsetzen zwischen den Prüfpunkten.

Bei Leitungen mit geringerer Überdeckung, wie z. B. in der Gas- oder Wasserversorgung, werden die Gräben in der Praxis häufig mit Frostschutz- oder Tragschichtmaterial verfüllt. Auch bei diesen Materialien konnten gute Erfahrungen mit der Panda Sonde gemacht werden. Wie das Beispiel im Bild 7 zeigt, konnte eine Grabenverfüllung mit einem sandigen Kies bis zu 80 mm Größtkorn bis zu einer Tiefe von 0,7 m geprüft werden. Der Zeitaufwand für die Panda-Sondierung war dabei vergleichbar mit dem Aufwand für die leichte Rammsonde DPL-5. Im Bild 7 sind die Rammdiagramme der Panda-Sondierung im Vergleich zur herkömmlichen Rammsonde DPL-5 dargestellt. Hierbei zeigt sich die hohe Auflösung der Messungen mit der Panda-Sonde gegenüber der Schlagzahl N_{10} . Im rechten Diagramm ist der Mittelwert des Spitzenwiderstandes der Panda-Sonde über jeweils 10 cm aufgetragen (rote Linie) und als blaue Linie ist der Spitzenwiderstand der DPL-5 dargestellt, der aus der Schlagzahl N_{10} nach der „Holländischen Rammformel“ [1] errechnet wurde. Der Vergleich zeigt, dass trotz der unterschiedlichen Querschnittsflächen der Sonden bereichsweise ähnliche Spitzenwiderstände errechnet werden. In der Tiefe von 0,4 m bis 0,5 m ist erkennbar, dass durch die 2,5-fache Querschnittsflä-

che der DPL-5-Spitze gegenüber der Panda-Sonde großkörnige „Hindernisse“ zu hohen Schlagzahlen führen, die jedoch keine Relevanz für die Beurteilung des Verdichtungszustandes haben.

Ähnliche Ergebnisse wurden auch auf einer anderen Baustelle erzielt, bei der die Verfüllung aus einem Schottertragschichtmaterial STS 0/45 mm bestand. Hier ist der über 10 cm gemittelte Spitzenwiderstand der beiden Sondentypen Panda und DPL-5 weniger von einzelnen großen Steinen beeinflusst und die beiden Linien verlaufen nahezu übereinstimmend (Bild 8). Die Diagramme zeigen wieder die deutlich bessere Auflösung der Panda-Messungen, sodass die Schichtgrenzen der Einbaulagen bei 0,3 m und 0,5 m Tiefe erkennbar werden. Mit Hilfe der grünen Referenzlinie im rechten Diagramm im Bild 8 lässt sich der erreichte Verdichtungsgrad den gestellten Anforderungen gegenüberstellen. Es ist zu erkennen, dass jeweils an der Basis der Einbaulagen der Verdichtungsgrad geringer wird und die grüne Referenzlinie unterschreitet. Die rote Linie, die eine dreiprozentige Abweichung nach unten darstellt (sog. Toleranzbereich), kann genutzt werden, um das Maß der Unterschreitung in Bezug zum geforderten Verdichtungsgrad von $D_{pr} = 100\%$ gemäß ZTV E-StB abzuschätzen. Betrachtet man die Frostschutzschicht zwischen 0,3 m und 0,5 m Tiefe, kann der mittlere Verdichtungsgrad in der Schicht auf etwa 99 % geschätzt werden, an der Basis der Schicht wird die 97-%-Linie gerade noch unterschritten. Bei einem weiteren Bauvorhaben wurde die Verfüllung einer Baugrube unter einem geplanten Lebensmittelmarkt bzw. unter den zukünftigen Parkplätzen geprüft. Die

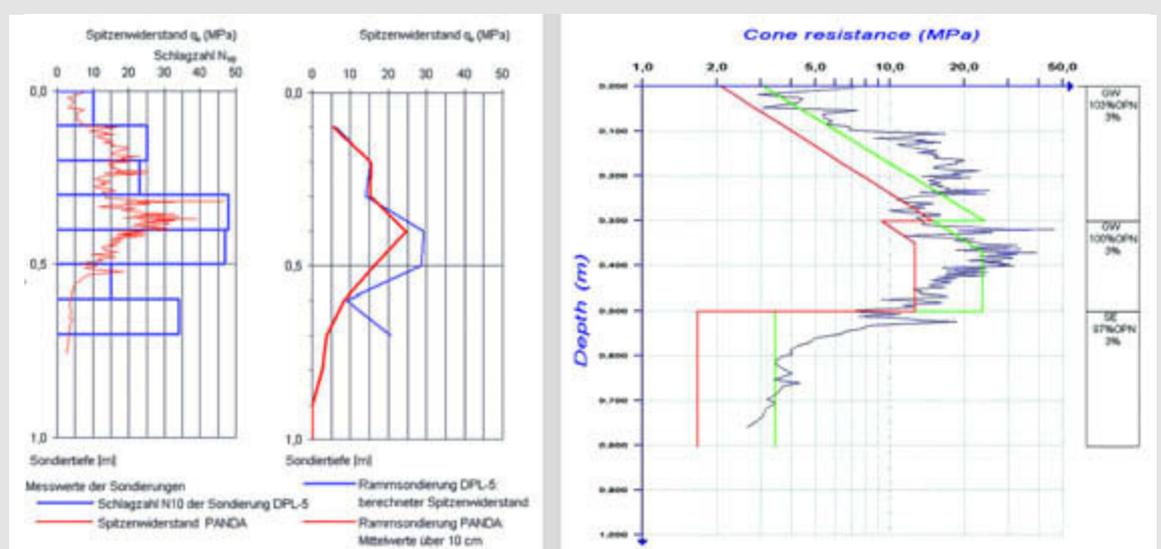
Baugrube wurde mit Beton-Recycling-Material einer Körnung $d/D = 0/60$ mm verfüllt. Die Panda-Sonde konnte bis zur Sohle der verfüllten Baugrube von ca. 2,0 m abgeteuft werden und lieferte durchweg brauchbare Ergebnisse und damit auch Hinweise auf Schwachstellen in der Verdichtung, die anschließend nachgebessert wurden.

Die bisherigen Erfahrungen beim Einsatz der Panda-Sonde auf verschiedenen Baustellen, zeigen, dass die Panda-Sonde in allen einbaufähigen Böden und den üblichen Baustoffen des Erd-, Tief- und Straßenbaus einsetzbar ist.

Ein großer Vorteil der Sonde ist die sofortige Verfügbarkeit der Sondierergebnisse auf dem Bildschirm des Messgerätes. Die in der Auswerte-Software der Sonde enthaltenen Referenz- und Grenzlinien können eine Hilfestellung bei der Bewertung des erreichten Verdichtungsgrades geben. Die Referenz- bzw. Grenzlinien müssen für eine allgemeine Anwendung in Deutschland jedoch noch verifiziert werden. Derzeit ist zu empfehlen, für konkrete Bauvorhaben Probeverdichtungen bzw. Kalibrierversuche durchzuführen und auf dieser Grundlage die Sondierergebnisse zu interpretieren.

Des Weiteren haben die Erfahrungen gezeigt, dass eine unzureichende Verdichtung häufig auf eine zu große Schüttlagendicke zurückzuführen ist. Dieses Qualitätskriterium kann mit der Panda-Sonde sehr gut überprüft werden. Durch die hohe Auflösung der Messung (i.d.R. ein Messwert je 0,1 cm bis 2,0 cm) ist es auch möglich, kleinere Schwachstellen der Verdichtung an der Basis der Einbaulagen zu erkennen und durch eine Anpassung der

Bild 8: Prüfung in STS 0/45: Vergleich PANDA und DPL-5 und Referenzlinien für die geforderte Verdichtung



Schüttlagendicke oder die Wahl schwerer Verdichtungsgeräte gegenzusteuern. Die Panda-Sonde ist also insbesondere bei der Festlegung des Arbeitsverfahrens und in Verbindung mit der Prüfmethode M3 nach den ZTV E-StB eine qualitätssteigernde Ergänzung der bisher üblichen Prüfverfahren.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die französische Panda-Sonde ist ein Prüfgerät zur Baugrunderkundung und Verdichtungskontrolle. In Frankreich ist die Rammsondierung mit variabler Energie seit dem Jahr 2000 in der XP P 94-105 genormt. Hier wurden schon umfangreiche positive Erfahrungen beim Einsatz dieses Gerätes gewonnen. Wie im Beitrag beschrieben, wurden auch in Deutschland erste gute Erfahrungen gesammelt. Der Untersuchungsaufwand mit der Panda-Sonde ist vergleichbar mit dem einer leichten Rammsondierung. Die Panda-Sonde liefert jedoch zusätzliche und detailliertere Informationen und ist flexibler einsetzbar, z. B. für horizontale Rammson-

dierungen und zur problemlosen und schnellen Untersuchung auch von schwer zugänglichen Geländepunkten. Die Untersuchungstiefe ist auf ca. 5,0 m begrenzt.

Für den Einsatz der Panda-Sonde zur Verdichtungskontrolle sind Grenz- und Referenzlinien entsprechend der deutschen Klassifizierung für Böden und Baustoffgemische nach DIN 18196 und ZTV E-StB bereits ermittelt und in die Auswertungssoftware integriert worden. Bei Eigenüberwachungsprüfungen von Leitungsrabenverfüllungen wird dieses Gerät von einigen Leitungsbetreibern in Deutschland schon mit Erfolg angewendet.

Auch für Kontrollprüfungen kann die Panda-Sonde zur Überprüfung der Verdichtung durch Vergleich mit einem Referenzfeld bereits jetzt in Deutschland eingesetzt werden.

Zur schnelleren Verdichtungskontrolle mit der Nutzung von Grenz- und Referenzlinien ist noch die Festlegung von Anforderungswerten für die Bodengruppen bei geeigneter Konsistenz erforderlich. Hierzu besteht Forschungsbedarf hinsichtlich der Anwendungsgrenzen (Größtkorn, Plastizität) sowie des Bewertungshintergrundes.

Auf der Grundlage dieser so gewonnenen Kenntnisse und Erfahrungen ist die Erarbeitung einer technischen Prüfvorschrift (TP BF-StB) denkbar, um die Verdichtungskontrolle mittels der Panda-Sonde durch verbindliche Abnahmeregelungen in das Straßenbauregelwerk einzubinden.

Literaturverzeichnis

- 1 XP P 94-105: Sols: Reconnaissance et essais – Contrôle de la qualité du compactage. Méthode au pénétromètre dynamique à énergie variable – Principe et méthode d'étalonnage du pénétromètre. Normalisation française, Mai 2000
- 2 C a s s a n, M. (1988): Les essais in situ en mécanique des sols. Volume 1 réalisation et interprétation. Eyrolles, 1988, pp146-151
- 3 Z h o u, S. (1997): Caractérisation des sols de surface à l'aide du pénétromètre dynamique léger à énergie variable type Panda. Formation Doctorale "Matériaux, structures, fiabilité en génie civil e génie mécanique". Laboratoire d'Accueil, Lermes/Cust. Université Blaise Pascal
- 4 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau (ZTV E-StB)
- 5 Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau (TP BF-StB), Teil E4

Erfahrung • Kompetenz • Flexibilität • Innovation



...wenn noch etwas fehlt...



- Schutzplankensysteme
- Stahlschutzwände
- Bauwerkskonstruktionen
- Anpralldämpfer
- Spezialkonstruktionen
- Verkehrssicherung
- Fahrbahnmarkierung
- Industrieschutz
- Amphibienschutz
- Serviceleistungen

VOLKMANN & ROSSBACH GmbH & Co. KG

Hohe Straße 9-17 • 56410 Montabaur • Tel.: +49 (0) 2602 135 0 • Fax: +49 (0) 2602 135 490

info@volkmann-rossbach.de • www.volkmann-rossbach.de