Schonung der Ressourcen durch Entwicklung in der Geotechnik des Strassenbaus

Autor(en): **Caprez, Markus / Bender, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **103 (1985)**

Heft 19: **50 Jahre Institut für Grundbau und Bodenmechanik an der ETH Zürich**

PDF erstellt am: **28.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75780

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

durch die Verdichtung erhöht den ohnehin fehlenden Sandanteil, bringt aber bezüglich Wasserstabilität der verdichteten Proben keine Nachteile mit sich. Lateritkiese können mit marktüblichen Verdichtungsgeräten auf Lagerungsdichten und damit auch Festigkeiten verdichtet werden, die einen Einbau in Tragschichten rechtfertigen [4].

Verwendung von feinkörnigen, saprolitischen Materialien im Strassenkörper

Umweltfreundlicher Strassenbau kann in vielen Regionen mangels hochwertiger Materialien nicht ohne die Verwendung örtlich vorkommender feinkörniger Materialien gelöst werden, im Fall der Côte d'Ivoire insbesondere der saprolitischen Materialien über Granit und Schiefer, denn nur so können grossflächige Abholzungen zur Ausbeutung von Lateritkiesen vermieden oder zumindest eingeschränkt werden. Trotz ihrer Feinkörnigkeit genügen für die genannten Saprolite bereits 4 bis 6% Zement, um ein Quellen der Materialien zu verhindern; die Festigkeit ist eine Frage der Materialqualität (Glimmergehalt), der Zementmenge und der Verdichtung. Die Saprolite lassen sich nicht nur zentral, sondern auch im Ortsmischverfahren stabilisieren, was wichtig ist für Projekte in tropischen Gebieten (Transportwege, Niederschlag).

Berücksichtigung von Spezialmaterialien

Lagunensand kann im Fall der Côte d'Ivoire als Spezialmaterial bezeichnet werden, denn seine Bedeutung für den örtlichen Strassenbau ist gering. Seine Verwendung kann aber für ein konkretes Projekt durchaus wirtschaftlich sein. Der gleichförmige Sand musste allerdings zur Verringerung des Porenvolumens der verdichteten Proben vorerst gebrochen oder, wie im Fall der durchgeführten Versuchsfelder, mit einem feinkörnigen Filler gemischt werden. So konnte dieser Sand mit nur 7% Zement für einen Einbau in Fundations- und Tragschichten stabilisiert werden.

Der Strassenbau in tropischen Gebieten verlangt gute Kenntnisse der örtlich vorkommenden Böden und ihres Verhaltens. Eine Loslösung von Normen der gemässigten Böden ist zur richtigen Verwendung der anfallenden Materialien im Strassenkörper und Unterbau wichtig.

Literatur

[1] *Arnold, W.:* Tropische Residualböden: Charakterisierung aufgrund von Porosimetriekriterien und Klassifizierung mittels Schrumpfvolumen und Trockenfestigkeit. Diss. ETH Nr. 7727, 1985

[2] *Terzaghi, K.:* Design and performance of Sasuama dam. Proc. Brit. Inst. Civ. Eng., vol. 9, 1958, p. 369

[3] *Honold, P.:* Neue Versuchsmethoden auf der Basis der Moisture Condition-Verdichtung zur Stabilisierung von Lateritkiesen ohne Bindemittel im tropischen Strassenbau Westafrikas. Diss. ETH Nr. 7718, 1985

[4] *Bamba Boike* und *Honold, P.:* Chaussées expérimentales en Côte d'Ivoire. Coll. Intern. Routes et Développement, Paris 1984

Adresse der Autoren: *Walter Arnold*, dipl. Ing. ETH; Dr. *Peter Honold*, Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Schonung der Ressourcen durch Entwicklung in der Geotechnik des Strassenbaus

Von Markus Caprez und Heinz Bender, Zürich

Einleitung

Die strassenbauliche Geotechnik ist ein traditionelles Forschungsgebiet des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik. Das Ziel dieser Forschung ist in jedem Falle das Einsparen von hochwertigen Baumaterialien wie Kiessand bzw. das Ausnützen aller Reserven, welche in den verwendeten Materialien stecken. Der Weg zu diesem Ziel wurde einerseits durch Stabilisieren von minderwertigen Bodenmaterialien mit Bindemitteln und anderseits durch Bearbeiten und Verdichten von hochwertigen Kiessanden begangen. Der Einsatz solcher Materialien im Bauprojekt, die Bemessung, ist ein weiterer Ansatzpunkt für die sparsame Verwendung von Rohstoffen. Die Anforderungen an unsere Verkehrswege und damit an die Materialien, aus welchen diese erstellt werden, sind in den letzten Jahren massiv gestiegen:

- die Achslasten und vor allem die Verkehrsdichte haben zugenommen
- die Linienführung neuer Verkehrswege nimmt kaum mehr Rücksicht auf die geotechnischen Eigenschaften von Untergrund und auf das örtliche Vorhandensein geeigneter Baumaterialien
- die Ansprüche an Sicherheit und Komfort sind sehr gross.

Symptomatisch für den heutigen Strassenbau ist, dass die Strassen kaum mehr infolge Tragfähigkeitsverlust wegen zu geringer Bemessung der Schichtdicken oder infolge Frosteinwirkungen in Brüche gehen. Den grossen Achslasten und Verkehrslasten konnte mit den verwendeten Bemessungsmethoden begegnet werden. Eine Sanierung drängt sich in den meisten Fällen dann auf, wenn die Strassen den Komfort- und Sicherheitsansprüchen nicht mehr genügen, weil Spurrillen auftreten. Gerade die Spurrillen können, wie neuere Forschungsergebnisse zeigen, durch geeignete Dosierung, Behandlung und Verdichtung der massgebenden Schichten weitgehend vermieden werden.

Die Tatsache, dass Strassen in der Regel nicht mehr wegen Tragfähigkeitsverlust zerstört werden, wird, teils zu Recht, als Überdimensionierung der in jüngster Zeit erstellten Oberbaustrukturen gedeutet. Es gilt jedoch zu bedenken, dass die eingebauten Untergrundverbesserungen und Fundationsschichten Investitionen sind, welche in der Regel auch nach der Zerstörung der Strassenoberfläche als Basis für eine Sanierung gebraucht werden können, falls sie noch intakt sind. Es wäre am falschen Ort gespart, wenn man minimale Fundationsschichtdicken unterschreitet und in Kauf nimmt, bei einer allfälligen Sanierung die gesamte Oberbaustruktur ersetzen zu müssen. Verringerungen von Schichtdicken müssen immer auch mit Materialverbesserungen begründet werden können.

Die Bemessung im modernen Strassenbau beruht auch heute noch auf den im Jahre 1961 publizierten Ergebnissen des AASHTO-Testes. Dieses empirische Bemessungsverfahren geht von einem schichtweisen Aufbau mit nach oben zunehmender Materialqualität aus. Dabei wird jeder Schicht, je nach Lage, Materialqualität und Schichtdik-

ke, ein Tragfähigkeitsanteil zugeordnet. Seit jener Zeit haben verschiedene Änderungen im Strassenbau stattgefunden:

- die nutzbaren sauberen Kiessandvorkommen müssen zunehmend dort verwendet werden, wo sie nicht durch Alternativmaterialien ersetzt werden können (beispielsweise Betonherstellung)
- qualitativ hochstehende Alternativmaterialien im Strassenbau, wie Stabilisierungen mit hydraulischen Bindemitteln, Kalk und bituminösen Bindemitteln sowie hochverdichteter Brechschotter gewinnen zunehmend an Bedeutung
- es wurden neue Strukturen, wie Sandwichaufbauten, eingeführt.

Die Einflüsse solcher Änderungen können mit dem AASHTO-Test nicht genügend erfasst werden. Eine Erweiterung zur AASHTO-Bemessung ist notwendig, um bessere, billigere und im Bau umweltfreundlichere Strassen zu bauen.

Aktuelle Forschungsarbeiten am Institut für Grundbau und Bodenmechanik zeigen, wie sich zementstabilisierte Bodenmaterialien in ihrer Tragwirkung von verdichteten Lockergesteinsmaterialien unterscheiden, und was aus Brechschotter allein durch Hochverdichten herausgeholt werden kann.

Die Auswirkungen dieser Materialverbesserungen beschränkt sich nicht nur auf die Fundations- und Tragschicht. Wenn die Verdichtungsanforderungen hoch sind, muss, um eine genügende Verdichtung zu erreichen, eine gute Verdichtungsunterlage vorhanden sein. Das bedeutet, dass schon im Unterbau bzw. unter der zu verdichtenden Schicht eine Tragfähigkeit von rd. Me=30 MN/m² erstellt werden muss. Auf Unterbauten geringer Tragfähigkeit oder bei schwer verdichtbaren Oberbaumaterialien bietet der Sandwichaufbau entscheidende Vorteile.

Hochverdichtung und Sekundärstruktur

Die zwei Begriffe, obwohl noch nicht Allgemeingut der Terminologie der klassischen Bodenmechanik, stehen für Forschungsarbeiten und Ergebnisse am Institut für Grundbau und Bodenmechanik.

Unter Hochverdichtung von Bodenmaterialien verstehen wir die Verdichtung nach bodenmechanischen Prinzipien, welche über die standardisierte Proctor-Modified-Dichte hinausgeht. Sekundärstruktur wird diejenige Struktur genannt, welche sich nach dem Verdichten oder nach der Beanspruchung von hochverdichteten oder mineralisch gebundenen Schichten einstellt. Als Mass für die Energieaufnahme durch Kornbrüche bzw. durch Schaffen von neuen Oberflächen ist die Messung der Sekundärstruktur geeignet. Die Sekundärstruktur kann mit der Siebanalyse gemessen werden. Damit ist es möglich, mit dem einfachen Versuch der Korngrössenverteilungsbestimmung über die beim Verdichten bzw. beim mechanischen Beanspruchen entstandene Struktur, Aussagen zu erhalten. Es ist eine Methode, um quantitative Angaben über die von der Kornstruktur aufgenommene Verdichtungsenergie zu machen.

In Bild 1 und 2 sind die Veränderungen der Korngrössenverteilungen infolge Hochverdichten, ausgehend von der Fullerkurve, von Brechschotter dargestellt. Der positive Anteil steht für die Körner, welche beim Verdichten produziert werden, der negative Wert zeigt an, von welchen Fraktionen die Zertrümmerungskörner alimentiert werden. Die Ausgangsmaterialien bzw. die Primärstrukturen sowie die absoluten Verdichtungsenergien sind für beide Proben (Bild 1 und Bild 2) dieselben. Die Probe in Bild 1 wurde in Schichtdicken von 32 mm und diejenige in Bild 2 in Schichtdicken von 25 mm verdichtet. Der Vergleich der beiden Bilder zeigt, dass die verschiedenen Verdichtungsbedingungen unterschiedliche Korngrössenverteilungen in den produzierten Körner (Sekundärstruktur) verursachen. Die grössere Schichtdicke (im kleineren Topf) ergibt kleinere Brechkörner als die kleinere Schichtdicke im grösseren Topf. Die Alimentation der Brechkörner geschieht in allen Fällen vom Grösstkorn. Erst bei noch höherer Verdichtungsenergie verlagert sich die alimentierende Fraktion in die Bereiche bis gegen 1 mm Korndurchmesser.

Tragfähigkeitsversuche (analog CBR-Tests) von hochverdichteten Brechschotterproben zeigen, bei geringer Zunahme in der Trockenrohdichte, eine massive Vergrösserung der Tragfähigkeit. In Bild 3 sind Penetrationswiderstände in Abhängigkeit der aufgebrachten Verdichtungsenergie aufgetragen. Es sind die Penetrationswiderstände direkt nach Verdichten, nach Wasserlagerung und nach einem Frost-Auftauzyklus dargestellt. Die Proben in Bild 3 sind alle bei einem Verdichtungswassergehalt Null trocken verdichtet. Die Stabilität gegen Durchnässen und Frost, der Tragfähigkeitsabfall, liegt bei 50%. Die gleichen Materialien mit denselben Bedingungen, aber beim optimalen Verdichtungswassergehalt verdichtet, zeigen eine sehr viel bessere Stabilität. In Bild 4 sind die Stabilitäten von zwei trockenen und einer beim optimalen Verdichtungswassergehalt verdichteten Probenserie dargestellt. Die Versuche zeigen, dass auch bei sehr hohen Verdichtungsenergien der optimale

Bilder 1 und 2. Veränderungen der Korngrössenverteilungen infolge Hochverdichten von Brechschotter. Ausgehend von der Fullerkurve, sind die Massenprozente bei den entsprechenden Fraktionen, wo Körner produziert (+) und von wo sie alimentiert (−) wurden, dargestellt. Bild 1 grössere Schichtdicken; Bild 2 kleinere Schichtdicken

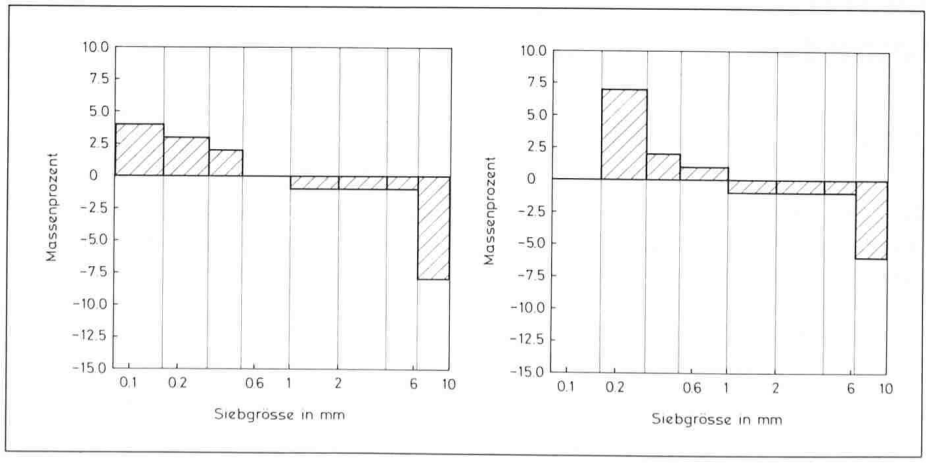
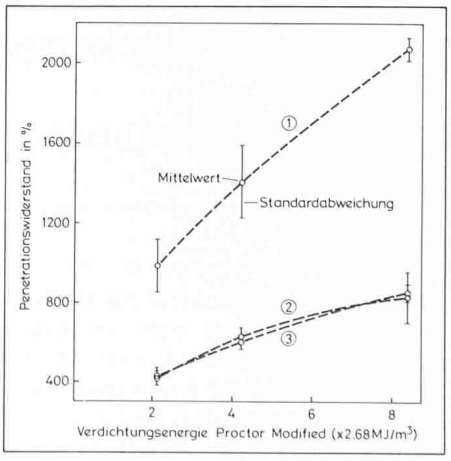


Bild 3. Penetrationswiderstände direkt nach Verdichten (1), nach Wasserlagerung (2) und nach einem Frost-Auftau-Wechsel (3) in Abhängigkeit der aufgebrachten Verdichtungsenergie



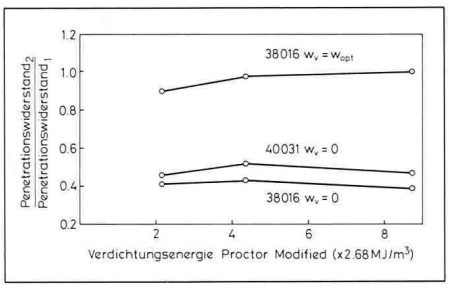


Bild 4. Stabilität der Penetrationswiderstände gegen Durchnässen in Abhängigkeit der aufgebrachten Verdichtungsenergie. Parameter: Verdichtungswassergehalt, Kornhärte (Material 40031 geringere Kornfestigkeit als Material 38016)

Verdichtungswassergehalt einen entscheidenden Einfluss auf die Stabilität gegen Durchnässen und Frost hat, obwohl bei der Trockenverdichtung dieselben Trockenrohdichten erzielt werden. Das Beispiel zeigt aber auch, dass mit der Trockenrohdichte allein keine genügende Aussage über das Materialverhalten gemacht werden kann. Es sind weitere Versuche, wie CBR-Versuche, nötig, um die Verbesserungen bezüglich Scherfestigkeitsverhalten messbar zu machen.

Die Sekundärstruktur kann auch bei zementstabilisierten Proben festgestellt werden. Wird eine zementstabilisierte Bodenprobe belastet, so nehmen die Korngrössen der entstehenden Bruchkörner eine Verteilung grösster Dichte nach Talbot (ähnlich Fullerkurve) ein. Die richtig dosierte und verdichtete Zementstabilisierung verhält sich im Bruchzustand wie ein gut abgestuftes, hochverdichtetes Lockergesteinsmaterial mit allen dessen Vorteilen. Das ist vor allem die grosse Dilatanz, welche einer Auflockerungskraft entgegenwirkt. Es kann aber auch gezeigt werden, dass eine abgebundene zementstabilisierte Bodenprobe unter dynamischer Belastung nachverdichtet wird. Wie bei Lockergesteinen bewirkt eine Wiederbelastung von zementstabilisierten Proben eine Konsolidation und eine entsprechende Verfestigung.

Auswirkung auf die Bemessung

Das Tragverhalten einer zementstabilisierten oder einer hochverdichteten Brechschotterschicht kann mit den erhaltenen Labor- und Feldergebnissen gedeutet werden. Es kann nicht analytisch genau erfasst werden, weil das elastisch-plastische Kraft-Verformungsverhalten eines mehrschichtigen Aufbaus ein sehr komplexes Problem ist, welches auch mit numerischen Rechenmethoden nicht genauer lösbar ist als das Aufstellen und Eingeben von realistischen nichtlinearen und zeitlich veränderlichen Materialkennziffern.

Durch das höhere Verdichten von Zementstabilisierung und Brechschotter verhalten sich diese Materialien wie stark überkonsolidierte bzw. vorgespannte Materialien. Zug- und Schubspannungen, welche infolge Belastung induziert werden, bauen zuerst die vorhandene Vorspannung ab, bevor sie als positive Zug- und Schubspannungen in Erscheinung treten. Durch die äussere Belastung entsteht eine Spannungsumlagerung im Druckspannungsbereich. Solange das geschieht, können sich in diesen Materialien keine offenen Risse bilden, und die Schichten bleiben intakt. Für die Bemessung solcher Trag- und Fundationsschichten heisst das, dass die Verdichtung möglichst gross sein sollte bzw. dass die Verdichtung der Beanspruchung angepasst werden müsste, damit sie ein Element der Bemessung wird. Die Verdichtung ist zwar heute schon in unseren Normenwerken vorgeschrieben. Die verlangten Verdichtungsanforderungen genügen aber nicht, um die Reserven von hochwertigen Materialien vollständig auszunützen und entsprechen auch nicht mehr den heutigen Möglichkeiten vom maschinellen Gesichtspunkt her. Die heute bestehenden Verdichtungsanforderungen sind allzu einseitig auf eine Begünstigung dicker bituminöser oder hydraulisch gebundener Schichten ausgerichtet, zum Teil sogar in der Meinung, dass durch höhere Bindemittelgehalte dieselbe Qualität, wie wir sie nur durch zusätzliches Verdichten gefunden haben, erreicht werde. Zurzeit werden von den zuständigen Normenkommissionen der VSS die Normenpakete über Verdichtung und Verdichtungsanforderungen revidiert.

Literatur

[1] Forschungsauftrag 26/81 des EVED, Bundesamt für Strassenbau, 1985. Geotechnische Untersuchung von Brechschotter.
[2] *Balduzzi, F.:* Vorlesungsnotizen «Erdbau» der Abteilung für Bauingenieurwesen an der ETH Zürich, 1984.
[3] *Balduzzi, F.:* Vorlesungsnotizen «Tropische Böden» der Abteilung für Bauingenieurwesen an der ETH Zürich, 1984.
[4] *Caprez, M.:* Projektbezogene Untersuchung der Tragwirkung von zementstabilisierten Bodenmaterialien, Forschungsbericht Nr. 54 des Eidgenössischen Departementes des Innern, 1983.
[5] *Bender, H.:* Befahrbarkeit und Endverdichtung von Zweischichtsystemen, Forschungsbericht Nr. 53 des Eidgenössischen Departementes des Innern, 1982.
[6] *Honold, P.:* Neue Versuchsmethoden auf der Basis der Moisture Condition-Verdichtung zur Stabilisierung von Lateritkiesen ohne Bindemittel im tropischen Strassenbau Westafrikas. Diss. ETH 7718, 1985

Adresse der Autoren: Dr. *Markus Caprez;* Dr. *Heinz Bender,* Institut für Grundbau und Bodenmechanik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Geotechnische Eigenschaften von gefrorenen Lockergesteinen

Von Peter Herzog und Andreas Hofer, Zürich

Einleitung

In den letzten Jahren hat das Gefrierverfahren mehr und mehr an Bedeutung gewonnen und ist auch in der Schweiz mit Erfolg angewendet worden. Dabei wird der Gefrierkörper nicht mehr nur als Abdichtung gegen Wasser, sondern auf Grund der Erhöhung der Festigkeit durch das Gefrieren des anstehenden Bodens vermehrt auch als tragendes Element, vor allem im Schacht- und Tunnelbau, und für die Sicherung extrem tiefer Baugruben verwendet. Bei der Bemessung solcher Gefrierkörper ist davon auszugehen, dass einerseits eine genügende Sicherheit gegen Versagen vorhanden ist, anderseits die Verformungen ein zulässiges Mass nicht überschreiten dürfen. Daraus folgt, dass für jedes Gefrierprojekt in erster Linie die Festigkeits- und Deformationseigenschaften des gefrorenen Bodens bestimmt werden müssen, damit diese mit den vorhandenen mathematischen Methoden erfasst und in die statischen Berechnungen eingeführt werden können. Diese Eigenschaften sind neben der Art, Struktur und Dichte des Untergrundes von der Gefrierdauer, der Eissättigung und vor allem von der Temperatur und der Belastungsdauer abhängig. Aufgrund dieser vielen Parameter und der immer