Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 103 (1985)

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

Artikel: Tropische Residualböden und ihre Verwendung im Strassenbau

Autor: Honold, Peter / Arnold, Walter

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-75779

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Tropische Residualböden und ihre Verwendung im Strassenbau

Von Peter Honold und Walter Arnold, Zürich

Charakteristiken und Eigenschaften der wichtigsten ivoirianischen Böden

Der Entscheid über die Verwendbarkeit örtlich anstehender Materialien im tropischen Strassenbau bereitet Schwierigkeiten. Die Beurteilung tropischer Böden aufgrund herkömmlicher Klassifikationssysteme ist oft unbefriedigend. Die spezifischen Eigenarten der tropischen Böden, insbesondere der weit verbreiteten Residualböden, werden nur ungenügend erfasst. Die Übertragung von Materialuntersuchungen und Baunormen von Böden der gemässigten Klimazone auf den tropischen Strassenbau führt oft zu einer allzu restriktiven Materialauswahl und zu teuren Projektlösungen.

Die tropischen Residualböden entstehen durch chemisch-physikalische Verwitterung des Muttergesteins. Diese Bodenbildung wird durch die Art des Muttergesteins, Klima (Temperatur, Niederschlagsmenge und -verteilung), Topographie, Drainagebedingungen, Grund- und Sickerwasser sowie die Vegetation beeinflusst. Minerale des Muttergesteins werden chemisch ausgelaugt. Die stabilsten unter ihnen, vornehmlich Eisen- und Aluminiumoxide sowie Quarz, bleiben zurück. Oberflächennah entstehen Sekundärminerale (Laterisierungsprozess), die infolge von Benetzungs- und Austrocknungszyklen im Boden zu Konkretionen aggregieren. Bei absoluter Anreicherung durch Metalloxide können sich harte Verkittungen und sekundäre Felsschichten bilden.

Die Residualprofile der Côte d'Ivoire bestehen im wesentlichen aus den nachstehenden Materialien:

Fels: Als verwendbare Felsgesteine stehen, zumeist allerdings in grösserer Tiefe, Granite, Diorite, Gneise und Schiefer des präkambrischen Sockels an.

Saprolite: Diese bezüglich Korngrössen und Bodenstruktur sehr heterogenen Böden befinden sich in einem frühen Stadium der lateritischen Bodenbildung. Wo kein Bodentransport stattgefunden hat, liegen sie direkt über dem Muttergestein in meist mehreren Metern mächtigen Schichten, welche zumindest noch Reste der Muttergesteinsstruktur (Schichtung, Körnung) aufweisen. Tonige Sande, tonige Silte und Silte sind vorherrschend. Die gröberen Fraktionen, Fragmente des Muttergesteins, sind oft bröckelig weich und zerfallen im Wasser zu einem tonig-siltigen Material. Die über dem präkambrischen Sockel anstehenden *schistes décomposés* und *arènes granitiques* haben einen hohen Feinanteilgehalt (∅ < 0,1 mm bis zu 80%). Sie sind in der Regel stark erosionsanfällig, durchlässig (im Vergleich zum Feinanteilgehalt und ihrer verhältnismässig hohen Plastizität), wasserempfindlich, aber allgemein gut verarbeitbar. Sie weisen nach ihrer Herkunft häufig einen hohen Glimmergehalt auf, was die Verdichtung erschwert und möglicherweise eine der Ursachen einer erhöhten Quellfähigkeit ist. Im Widerspruch zu den Quelleigenschaften steht die geringe Schrumpfung dieser saprolitischen Böden bei Austrocknung.

Lateritische Tone: Über den Saproliten liegen tonige Silte und tonige Sande mit vorwiegend kaolinitischen Tonmineralen. Ihr Quell- und Schrumpfverhalten ist im Vergleich zu schweizerischen Sedimentböden im allgemeinen geringer, was auf die starke Kaolinitisierung dieser Böden zurückzuführen ist. Aus demselben Grunde trennen die Plastizitätskriterien nach Casagrande Residualböden mit tonigem schlecht von solchen mit siltigem Charakter. Die *argiles d'altération* erlauben sehr steile, tiefe und stabile Einschnitte; die Böschungsoberflächen erweisen sich als erosionsresistent. Es handelt sich um kohäsive Böden.

Lateritkiese: Man trifft diese Materialien in Oberflächennähe, am ehesten auf Hochebenen oder an Abhängen, selten jedoch in Bodensenken. Die Schichtdicken variieren zwischen 20 cm und 1 m. Lateritkiese weisen in der Regel eine Ausfallkörnung in der Sandfraktion auf. Lateritische Verkittungen im Feinanteil erschweren die Deutung der Plastizitätseigenschaften, wie sie im Laboratorium ermittelt werden. Wenn von den Kiesen mit vorwiegend quarzitischer Grobfraktion abgesehen wird, liegen die spezifischen Gewichte der Festsubstanz für den Grobanteil deutlich über den Werten des zugehörigen Feinanteils. Gegenüber dem Wasser verhalten sich Lateritkiese recht stabil. Die Feinanteile gleicher Plastizität können allerdings bedeutende Unterschiede in ihren kohäsiven Eigenschaften aufweisen. Dementsprechend variiert auch ihr Risseverhalten bei Schrumpfung.

Im weiteren wurden von uns folgende Materialien untersucht:

Lateritsande: Ihre Verbreitung beschränkt sich in der Côte d'Ivoire auf die küstennahen Regionen. Sie sind aber zusammen mit Lagunensanden in der Region der Hauptstadt Abidjan das einzige, lokal verfügbare Strassenbaumaterial. In anderen tropischen Ländern wie z.B. Brasilien sind transportierte, laterisierte Sande in ausgesprochen weiten Gebieten anzutreffen. Es handelt sich um tonige Sande, deren Plastizitätseigenschaften sehr variabel sind angesichts des engen Streubereichs in bezug auf ihre Granulometrie. Das Schrumpf- und Risseverhalten, sowie die steilen Böschungen, deuten auf stark kohäsive Eigenschaften. Demgegenüber ist in diesen kaolinitischen Böden geringes Quellen zu beobachten.

Lagunensande: Es handelt sich um praktisch unverwitterte gleichförmige Quarzsande mit Korngrössenverteilungen, die zu praktisch 100% im Korndurchmesserbereich zwischen 0,2 und 2 mm liegen und dementsprechend schlechte Verdichtungseigenschaften besitzen.

Normgerechter Strassenbau

Da in tropischen Ländern die örtlichen Vorschriften im allgemeinen von amerikanischen und europäischen Vorbildern übernommen oder abgeleitet sind, bedeutet «normgerecht» bezüglich Klassifikation und Verwendung vergleichbar mit Böden der gemässigten Klimazone. Man steht deshalb oft vor der Alternative einer Verwendung normgerechter, aufbereiteter und damit aber auch teurer Materialien oder der eingehenden Prüfung der örtlichen Böden.

In der Côte d'Ivoire werden für den Strassenkörper fast ausschliesslich ausgewählte zementstabilisierte Lateritkiese und Lateritsande oder aufbereitete, aus dem Granit gewonnene Brechschotter verwendet. Die Abbauflächen der oberflächlich in dünnen Schichtlagen anstehenden Lateritkiese sind sehr gross, da auch Unterbau und Entwässerungsgräben mit Lateritkies ausgeführt werden. Dieser Abbau hinterlässt oft riesige Wunden in tropischen Wäldern und Kulturen. Die Rekultivierung der Kiesentnahmestellen wird untersucht, ist aber heute noch weitgehend ungelöst. Die Verwendung von Lateritkies sollte deshalb in Zukunft gezielter erfolgen und durch Mitberücksichtigung örtlicher Ersatzmaterialien eingeschränkt werden.

Bodenklassifizierung

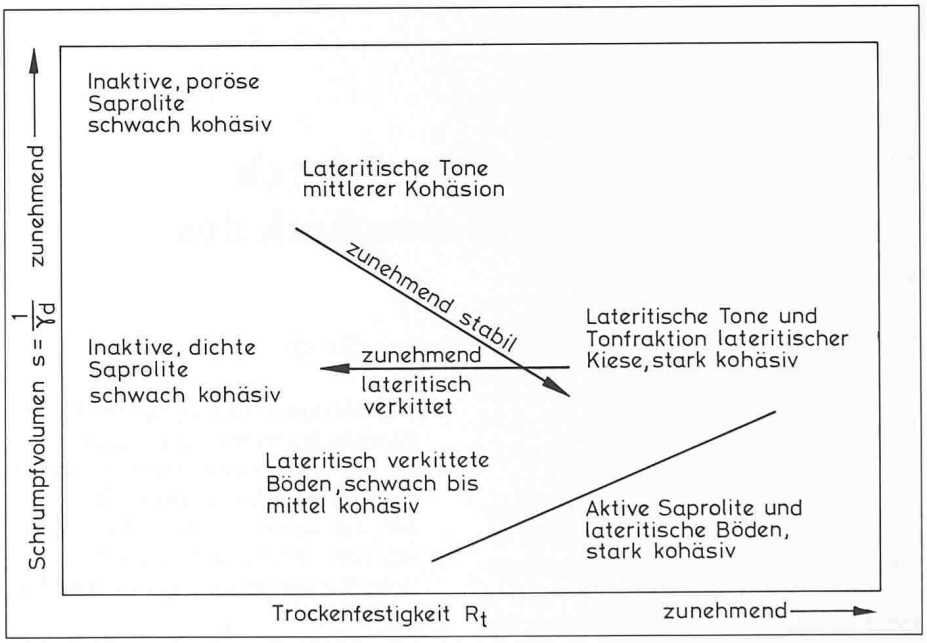
Die Anomalien in den Eigenschaften der beschriebenen tropischen Böden sowie auch die beschränkte Anwendbarkeit der Plastizitätsgrenzen und Kornverteilungsanalyse ruft nach zutreffenden Bodenbeurteilungskriterien [1].

Die Benetzungs-Austrocknungszyklen im Boden führen zu einer zunehmenden chemisch-kristallinen Stabilität der Einzelteile, was Voraussetzung für die Aggregatbildung im Boden ist (lateritische Verkittung, Bildung von Konkretionen bis Kieskorngrösse und Bildung von sekundärem Fels). Es ist durchaus möglich, dass einem hohen Tonmineralanteil eine geringe Tonfraktion entspricht [2]. Bodenstrukturänderungen durch Auslaugung und Laterisierung beeinflussen die Korngrössenverteilung in der Tonfraktion, was zu Veränderungen im Deformations-, Durchlässigkeits- und Festigkeitsverhalten des Bodens führt. Diese wesentlichen Verhaltenseigenschaften lassen sich durch einfache Versuche zur Bestimmung der Schrumpf- und Trockenfestigkeitseigenschaften sowohl im Feld wie im Laboratorium erfassen. Ein Klassifikationsvorschlag, beruhend auf dem Volumen je Gramm Festsubstanz (Schrumpfvolumen) einer an der Luft getrockneten Probe und der Spaltzugfestigkeit, ermittelt im Brasilianerversuch, ist in Bild 1 dargestellt. Es zeigt sich, dass die gute Korrelation zwischen Fliessgrenze und Kompressibilitätseigenschaften, wie sie im Falle nicht vorkonsolidierter gesättigter Böden der gemässigten Klimazone besteht, für tropische Böden nur beschränkt vorhanden ist. Residualböden werden durch die wechselweise Benetzung und Austrocknung chemisch verändert und durch Kapillarkräfte konsolidiert.

Materialien der Côte d'Ivoire	*Aktuelle Verwendung*		*Zusätzliche Verwendungsmöglichkeiten*	
	Schichtlage	*Aufbereitung*	*Schichtlage*	*Aufbereitung*
Brechschotter	Tragschicht Fundations-schicht	verdichtet verdichtet	Tragschicht	hochverdichtet
Lateritkies 1. Klasse *und lateritische Sande*	Tragschicht Fundations-schicht	stabilisiert mit 3 bis 4% Zement zementstabilisiert, verdichtet	Tragschicht	hochverdichtet
Lateritische 2. Klasse *Sande*	Unterbau Schüttung	verdichtet oberflächlich als Erosionsschutz	Fundations-schicht	stabilisiert mit 4 bis 6% Zement
Lateritische Tone	Schüttung	verdichtet	zum Teil auch im Unterbau	gut verdichtet
Feinkörnige saprolitische Materialien	Schüttung Depot	verdichtet (Dammkern) Abtransport von überschüssigem Material	(Tragschicht) Fundationssch. Unterbau	stabilisiert mit 4 bis 6% Zement gut verdichtet, zementstabilisiert
Lagunensand	Schüttung	verdichtet	Tragschicht Fundations-schicht	aufbereitet und stabilisiert mit 4 bis 6% Zement

Tabelle 1. Die heutige Verwendung und die Verwendungsmöglichkeiten tropischer Böden im ivoirianischen Strassenbau

Bild 1. Feinanteilklassierung tropischer Residualböden (Vorschlag W. Arnold)



Verwendbarkeit örtlicher Böden im Strassenbau

Für Entscheide über die Verwendbarkeit örtlicher Materialien sind neben den Klassifikationsversuchen auch direkte Kontrollen des Verdichtungs- und Festigkeitsverhaltens in Abhängigkeit von Wassergehalt und Verdichtungsenergie erforderlich [3]. Die Kontrolle des Materialverhaltens mit variabler Verdichtungsenergie kann mit *Moisture Condition-Versuchen* durchgeführt werden, da anhand dieser Versuche die Verwendbarkeit der Materialien für Strassenkörper oder Schüttungen festgelegt werden kann.

Aufgrund der bisher durchgeführten Laborversuche und Versuchsstrecken zeichnen sich in Erweiterung der heutigen Baupraxis folgende neue Verwendungsmöglichkeiten tropischer Verwitterungsmaterialien ab, die sich bezüglich Qualität und Wirtschaftlichkeit mit den heute üblichen Praktiken vergleichen lassen (vgl. Tabelle 1):

Verzicht auf den Einbau nichtregionaler, aufbereiteter Materialien

Der Einbau von aufbereiteten Materialien (Brechschotter) ist teuer und muss aus Kostengründen möglichst eingeschränkt werden. Eine Verwendung rechtfertigt sich nur bei kurzen Transportwegen (Region mit granitischem Muttergestein) und bei voller Ausnutzung der Materialqualitäten, d.h. einem hochverdichteten Einbau in dünnen Schichtlagen.

Einbau von ausgewählten Lateritkiesen und -sanden ohne Bindemittel; Zementstabilisierung von zweitklassigen Materialien

Die Bestimmung, dass vielerorts nur ausgewählte Lateritkiese mit Zement stabilisiert werden, könnten gelockert werden. Diese Materialien können auch ohne Bindemittel durch Verdichtung stabilisiert werden. Die teilweise Zertrümmerung lateritischer Kiese

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-