Ist Strassenbau eine Kunst? : Gedanken zu einem umweltfreundlicheren Strassenbau

Autor(en): **Kuonen, V.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty journal = Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **124 (1973)**

Heft 1

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-767419

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

Ist Strassenbau eine Kunst? [1]

Gedanken zu einem umweltfreundlicheren Strassenbau

Von *V. Kuonen,* Zürich

Oxf.: 383.1 :907

Ist Strassenbau eine Kunst? Diese Frage mag heute — in der Hochblüte der Technik — anachronistisch erscheinen. Im Altertum, ja noch in den letzten Jahrhunderten erachtete man den Strassenbau als eine erhabene Kunst. In neuerer Zeit, besonders in den letzten zwei bis drei Jahrzehnten, hat man mit Stolz von Strassenbautechnik, von nüchterner Technik, zu sprechen begonnen. Wenn wir an die Linienführung einzelner Autobahnen denken, wenn wir die gewaltigen Transporte auf einzelnen Abschnitten unseres Autobahnbaus betrachten, wie das Abführen grosser Abtragsmassen auf Deponien und den Antransport immenser Kiesmengen, wenn wir die Vertikalaufbauten unserer Strassen unter die Lupe nehmen und wenn wir die technisch einwandfreien Kunstbauten «bewundern», dann ist die Bezeichnung Strassenbautechnik sicher zutreffender als Strassenbaukunst. Oft ist man versucht zu sagen, der heutige Strassenbau sei zur Hauptsache eine Frage der Transportorganisation. Wir wollen hier aber nicht über Worte oder Begriffe diskutieren, sondern uns fragen, welche Qualitätsanforderungen an ein Strassenbaumaterial zu stellen sind und welche Baumethoden die zweckentsprechenden Baustoffe liefern.

Vor allem in der Schweiz sind wir in den letzten zwei Jahrzehnten beim Strassenoberbau zu stark einer einzigen, gefährlichen Richtung gefolgt. Allzustark wurde gefordert, dass Übergangs- und Fundationsschichten mit sogenannten problemlosen Materialien, das heisst mit bestem Kies, zu bauen seien. Leider haben in dieser Richtung auch die wertvollen Normen der VSS das Ihre getan. Man hat es vorgezogen, nach Materialien in näherer oder weiterer Entfernung zu suchen, die einen problemlosen Einbau bei jedem Wetter erlauben (man spricht direkt vom «Schlechtwettermaterial»). Mit der Verwendung des anstehenden Bodens oder mit den Materialien in nächster Nähe des Projektes hat man sich nur wenig befasst.

Wenn einmal im Vertikalaufbau einer Strasse eine Bodenverbesserung, eine Bodenstabilisierung ausgeführt wurde, wagte man sich höchstens an eine «problemlose» Stabilisierung. Dabei ging man vom Stabilisierungsmittel aus und hat dann den Boden gesucht, der sich problem- und risikolos mit dem vorgesehenen Stabilisierungsmittel stabilisieren liess. Statt der Verbesse-

[1] Vortrag, gehalten an der Tagung über Verdichtung, durchgeführt von den Firmen Boschung und MBA.

rung des anstehenden und abzutragenden Bodens wurden grosse Materialtransporte ausgeführt und nachgewiesen, dass die getroffene Massnahme wirtschaftlicher sei als ein Strassenbau mit örtlich vorkommendem Baumaterial.

Ist ein solcher Strassenbau tatsächlich wirtschaftlich; bringt uns diese Strassenbautechnik nicht in eine gefährliche Situation? Belasten die riesigen Transporte nicht unsere Umwelt (Luftverschmutzung, Lärm usw.)? Führt anderseits die gierige Kiesausbeutung nicht zum Raubbau an diesem wichtigen Rohstoff und gar zur Zerstörung ausgiebiger Grundwasservorkommen? Schafft der problemlose Strassenbau nicht Probleme anderer Art, die uns in nächster Zukunft schon mehr zu schaffen geben werden als Probleme, die wir jetzt im Strassenbau auf eine andere Art lösen könnten? Sind — aus dieser Sicht betrachtet — die billigsten Baumethoden auch tatsächlich die wirtschaftlichsten?

Um Lösungen aufzuzeigen, müssen wir uns fragen, welche Anforderungen an ein Strassenbaumaterial zu stellen sind.

Das Material muss einerseits eine genügende Festigkeit, eine genügende Tragfähigkeit aufweisen; anderseits muss es aber auch wasserstabil und für die meisten Gebiete der Schweiz auch froststabil sein.

Die Scherfestigkeit eines Bodens setzt sich aus ein oder zwei Komponenten zusammen: [$\tau = c + \sigma \cdot \mathrm{tg}\, \Phi$] aus dem sogenannten Kohäsionsanteil und/oder dem Reibungsanteil. Die Kohäsion ist eine chemisch-physikalische Eigenschaft der Tonminerale, also der feinsten Teilchen im Boden. Sie ist abhängig von der Menge und der Art der Tonminerale und — was uns zu schaffen macht — vom Wassergehalt des Bodens. Aus Erfahrung weiss man, dass die Kohäsion und damit die Tragfähigkeit in einem tonigen Boden bei schwankendem Wassergehalt sehr unterschiedlich sein kann. Die Niederschlagsverhältnisse unseres Landes sind die Ursache, dass feinkörnige Böden nicht gerade beliebt sind. Wir müssen uns aber bewusst sein, dass in bindigen, feinkörnigen Böden die Kohäsion einen grossen Anteil zur Tragfähigkeit beiträgt. Dabei ist die Kohäsion, das heisst die gegenseitige Bindung der Bodenteilchen, um so grösser, je dichter die Bodenteilchen gelagert sind.

In reinen Reibungsböden, also in Böden, die aus Kies, Sand und eventuell Silt bestehen, wird die Scherfestigkeit nur durch die Reibung erzeugt. Sie entsteht zwischen den Berührungspunkten der einzelnen Körner und ist zur Hauptsache abhängig von der Grösse und der Menge der Berührungspunkte und von der Rauhigkeit der Oberfläche der Bodenkörner. Es ist bekannt, dass gut abgestufte Böden sich dichter lagern lassen als schlecht abgestufte, gleichkörnige Böden. Bei dichterer Lagerung entstehen mehr Kontaktstellen und grössere Reibungsflächen und damit eine höhere Scherfestigkeit des Materials. Eine besondere Stellung nehmen die bindigen, grobkörnigen Böden ein. Bei diesen setzt sich die Scherfestigkeit aus beiden

Komponenten, aus Kohäsions- und Reibungsanteil, zusammen. Das Verhalten dieser Böden ist sowohl durch die Kohäsion als auch die Reibung geprägt.

Diese Unterteilung der Böden in
— kohäsive, feinkörnige Böden,
— Reibungsböden und
— grobkörnige Böden mit Kohäsion und Reibung
wird später dazu dienen, die Frage nach der Wahl der Verdichtungsgeräte zu beantworten.

Die Schichten im obersten Teil des Strassenaufbaus müssen aber auch wasserstabil sein, das heisst, sie dürfen Volumen und Festigkeit durch Wasseraufnahme oder -abgabe nicht oder nur unwesentlich verändern.

Grobkörnige Bodenteilchen — also Kiese und Sande — haben im Verhältnis zu den feinkörnigen Teilchen — Silt und Ton — eine kleine spezifische Oberfläche und damit ein geringes Wasseranlagerungs- und -rückhaltevermögen. Eine Volumenveränderung infolge Wassergehaltsänderung tritt daher bei diesen Böden nicht auf. Die feinkörnigen Bodenteilchen, Silt und Ton, haben eine grosse spezifische Oberfläche und damit ein grosses Wasseranlagerungsvermögen. Durch Quellen und Schrumpfen — wie diese unangenehmen Eigenschaften genannt werden — kann das Volumen feinkörniger Böden etwa um 15 bis 20 Prozent verändert werden. Diese Volumenveränderung ist mit einer Änderung des Wassergehaltes gekoppelt, und daher wird auch die Festigkeit und die Tragfähigkeit — besonders die Kohäsion — verändert. Eine ständige Volumenänderung mit Setzungen und Hebungen und eine ständig ändernde Tragfähigkeit können in den obersten Schichten des Strassenaufbaus sicher nicht zugelassen werden. Die Schlussfolgerung, nur wasserstabile Kiese und Sande in den obersten Schichten der Strasse zu verwenden, liegt daher auf der Hand.

Das gleiche gilt für die Froststabilität der Böden. Die wasserempfindlichen, feinkörnigen Böden sind nicht frostsicher. Wenn bei Frostwirkung genügend Wasser verfügbar ist, entstehen beim Gefrieren Hebungen durch die Bildung von Eislinsen und Eisschichten. Beim Auftauen ergibt sich eine grosse Erhöhung des Wassergehaltes, welcher einen Tragfähigkeitsverlust verursacht. Materialien mit grosser spezifischer Oberfläche sind also frostempfindlich und dürfen im Bereich der Frosteindringtiefe nicht verwendet werden. Die Schlussfolgerung lautet also auch hier: Im Bereich der obersten Schichten im Aufbau der Strasse sind nur froststabile Böden, das heisst Kiese und Sande, zu verwenden.

Warum also zu Felde ziehen gegen einen Strassenbau, der mit problemlosen, das heisst mit wasser- und froststabilen Materialien arbeitet? Ich habe früher schon ausgeführt, dass ein solcher Strassenbau nicht umweltfreundlich ist und dass er Probleme schafft, die schwieriger zu lösen sind als unser Strassenbauproblem.

Viele Strassenbauer haben sich in den letzten Jahren mit Bodenstabilisierungen befasst. Seit mehr als zehn Jahren liegen auch in der Schweiz Resultate vor, die beweisen, dass instabile Böden, also Böden, die durch Wasser und Frost ihr Volumen und ihre Tragfähigkeit verändern, stabil gemacht werden können. Es ist ja gerade das Ziel der Bodenstabilisierung, instabile Materialien so zu verbessern, dass sie wasser- und froststabil werden und diese Stabilität auch beibehalten.

Je nach Bodenzusammensetzung kommen dafür die traditionellen Stabilisierungsmittel Kalk, Zement, Teer und Bitumen in Frage. Ich bin aber überzeugt, dass es in den nächsten Jahren neue, wahrscheinlich chemische Stabilisierungsmittel geben wird.

Nach wie vor vertrete ich die Meinung, dass sich die Strassenbauer mit dem anstehenden Boden auseinandersetzen und sich die Frage stellen müssen, wie und mit welchen Mitteln sich der abzutragende Boden im Aufbau der Strasse verwenden lässt, wie sich dadurch Transporte einsparen lassen und wie die noch vorhandenen Kiesvorkommen für andere Zwecke geschont werden können.

Bisher ist die Fundationsschicht — im Ausland häufig auch Frostschutzschicht genannt — unserer Strassen fast ausschliesslich mit Kies erster Klasse gebaut worden, also mit Böden, deren Scherfestigkeit ausschliesslich von der Reibung abhängig ist. In letzter Zeit hat man auf einigen Baustellen den Mut gehabt, Kiese zweiter Klasse zu stabilisieren und damit den Kiesbedarf etwas herabzusetzen.

Wir wissen, dass gut abgestufte Kiese einen grossen Reibungswinkel — etwa 35° bis 45° — aufweisen. Trotzdem ist aber die lastverteilende Wirkung relativ klein, wenn man sie mit derjenigen der gebundenen Materialien vergleicht. Gebundene Materialien, also Materialien mit Kohäsion, haben eine viel grössere Tragfähigkeit. Materialien aber, die durch natürliche Bindemittel, durch Tonminerale, gebunden sind, wagt man nicht einzubauen. Warum wagt man es aber nicht, wenn sie stabil gemacht werden können? Wie sieht die Tragfähigkeit stabilisierter — also künstlich gebundener — Materialien aus im Vergleich mit Kies-Sanden?

Im AASHO-Strassentest konnte die Tragfähigkeitswirkung der verschiedenen Oberbaumaterialien gewertet und verglichen werden. Es wurden die sogenannten Tragfähigkeitskoeffizienten ermittelt, welche die Tragfähigkeitswirkung eines bestimmten Materials ausdrücken. Durch Satellit- und Laborversuche wurden zusätzlich die Tragfähigkeitskoeffizienten weiterer Materialien bestimmt. Die Grösse der Tragfähigkeitskoeffizienten (a_1, a_2, a_3) ist von den Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften der Materialien abhängig.

Ein Blick auf eine Zusammenstellung dieser Tragfähigkeitskoeffizienten zeigt uns, dass es mit der Tragfähigkeit der Kies-Sande nicht gerade gut bestellt ist, dass aber die gebundenen und die stabilisierten Materialien einen

zwei- bis dreimal höheren Wert aufweisen als die Kies-Sande. Mit anderen Worten: Die problemlosen Materialien Kies und Sand leisten nur einen sehr bescheidenen Beitrag an die Tragfähigkeit (siehe Abbildung 1; Lit. 1).

Diese Tragfähigkeitskoeffizienten geben den Wert pro 1 cm Schichtstärke an. Werden sie mit der jeweiligen Schichtstärke multipliziert, erhält man die Tragfähigkeit der gesamten Schicht.

Die Dimensionierung der Strasse nach AASHO erfolgt über den sogenannten Stärkenindex (SN). Dabei hat man die Werte — also Tragfähigkeitskoeffizient × Schichtstärke — der verschiedenen Aufbauschichten zu addieren. Dies ergibt den Stärkenindex nach der Formel $SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3$ als Mass für die Tragfähigkeit des gesamten Strassenaufbaus.

Es steht uns dabei weitgehend frei, die Stärken der einzelnen Schichten innerhalb des gegebenen Stärkenindexes zu variieren, sofern die konstruktiven Minimalstärken eingehalten werden.

Tragfähigkeitskoeffizienten

Schicht	Festigkeitsanforderung			a_1	a_2	a_3
Belag D_1 min. 5cm						
Belag hohe Stabilität	MS	900	kg	0,44		
Belag kleine Stabilität	MS	230-450	kg	0,20		
Sandasphalt	MS	450-500	kg	0,40		
Tragschicht D_2 min. 7,5cm						
HMT Sorte A	MS	>250	kg		0,34	
HMT Sorte B	MS	>450	kg		0,40	
Bituminöse Stabilisierung	MS	ca. 200	kg		0,23	
Stabilisierung mit Zement	dc_7	>50	kg/cm^2		0,23	
do	dc_7	30-50	kg/cm^2		0,20	
do	dc_7	<30	kg/cm^2		0,15	
Fundationsschicht D_3						
Gebrochenes Material (Schotter)	CBR	105-110	%			0,14
Kies-Sand I (bis ca. 45 cm Stärke)	CBR	> 80	%			0,11
Kies-Sand II	CBR	20-30	%			0,07
Stabilisierung mit Kalk						0,1-0,2

Bezeichnungen: MS : Marshallstabilität
dc_7 : 7-Tage Druckfestigkeit
CBR : Labor CBR%

Abbildung 1

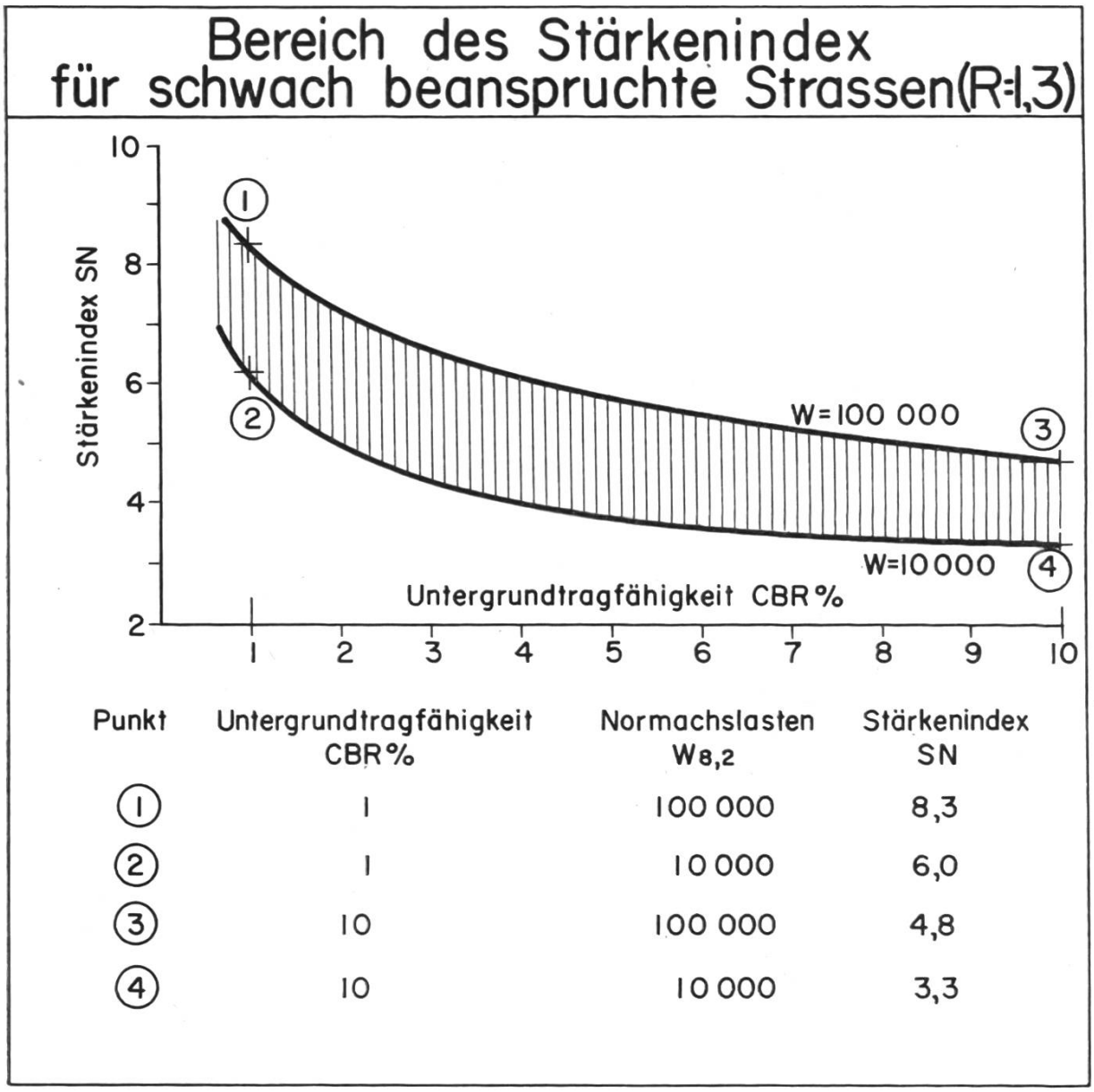


Abbildung 2

Die Grösse des Stärkenindexes ist eine Funktion der Untergrundtragfähigkeit und der Anzahl Normachslasten, für welche eine Strasse zu bauen ist. Dieser Zusammenhang als Hauptergebnis des AASHO-Tests ist in der Abbildung 2 (Lit. 1) für schwach beanspruchte Strassen dargestellt.

Für Hauptverkehrsstrassen und Autobahnen ist der Verkehr (Normachslasten) und damit der Stärkenindex grösser.

Anhand eines Beispiels — wiederum aus dem kleinen Strassenbau — möchte ich zeigen, dass es immer eine ganze Reihe von Möglichkeiten für den Aufbau einer Strasse gibt (siehe Abbildung 3, Lit. 1).

Neue Baustoffe — und stabilisierte Materialien sind neue Baustoffe — bringen neue Probleme, auch Probleme, welche die Verdichtung betreffen. Eine einwandfreie Verdichtung ist für jede Schicht im Strassenaufbau unab-

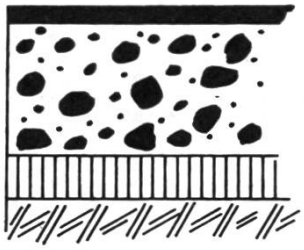
Beispiel einer Dimensionierung

Funktion der Strasse	:	Verbindungsstrasse
Dimensionierungsverkehr	:	100 000 Normachslasten
Untergrundtragfähigkeit	:	CBR = 2 %
Regionalfaktor	:	1,5

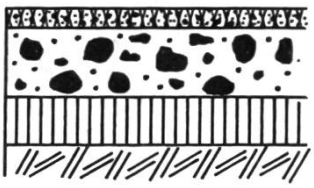
Stärkenindex nach AASHO: SN = 7,3

Gleichwertige Aufbauten

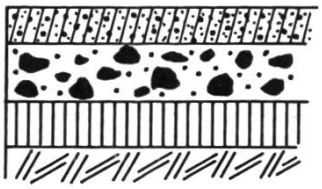
	Schichtstärke		a-Wert		Stärkenindex SN
Flexbelag	5 cm	·	—	=	—
Kies I	50 cm	·	0,11	=	5,5
Kies II	25 cm	·	0,07	=	1,8
	80 cm				7,3



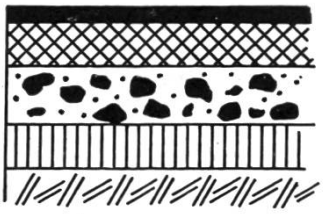
Flexbelag	5 cm	·	—	=	—
Kies I	45 cm	·	0,11	=	5,0
Kalkstabilisierung	15 cm	·	0,15	=	2,2
	65 cm				7,2



HMT A	7 cm	·	0,34	=	2,4
Kies I	25 cm	·	0,11	=	2,7
Kalkstabilisierung	15 cm	·	0,15	=	2,2
	47 cm				7,3



bit. Stabilisierung	12 cm	·	0,23	=	2,8
Kies I	20 cm	·	0,11	=	2,2
Kalkstabilisierung	15 cm	·	0,15	=	2,2
	47 cm				7,2



Flexbelag	5 cm	·	—	=	—
Zementstab.	15 cm	·	0,20	=	3,0
Kies I	20 cm	·	0,11	=	2,2
Kalkstabilisierung	15 cm	·	0,15	=	2,2
	55 cm				7,4

Abbildung 3

dingbare Notwendigkeit. Je besser die Verdichtung, desto grösser sind Kohäsion und Reibung und desto kleiner sind die Setzungen und die Durchlässigkeit.

Details sollen hier nicht behandelt werden. Ich möchte aber ein paar grundsätzliche Gedanken zum Problem Verdichtung — dieser komplexen, noch nicht bis ins letzte geklärten Angelegenheit — darlegen.

Wichtigste Grundlage für die Verdichtung eines Bodens ist die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Wassergehalt und Verdichtbarkeit. *Proctor* hat in den dreissiger Jahren die Zusammenhänge zwischen Trockenraumgewicht und Wassergehalt aufgedeckt und für eine konstante Verdichtungsenergie den optimalen Wassergehalt (W_{opt}) definiert. Wird die Verdichtungsenergie erhöht, ändert auch der optimale Wassergehalt. Aus der untenstehenden Figur ersehen wir schematisch diese Zusammenhänge. Je nach Grösse der verlangten Werte muss nun der Wassergehalt zwischen bestimmten Grenzen, das heisst zwischen den sogenannten Grenzwassergehalten, liegen (siehe Abbildung 4).

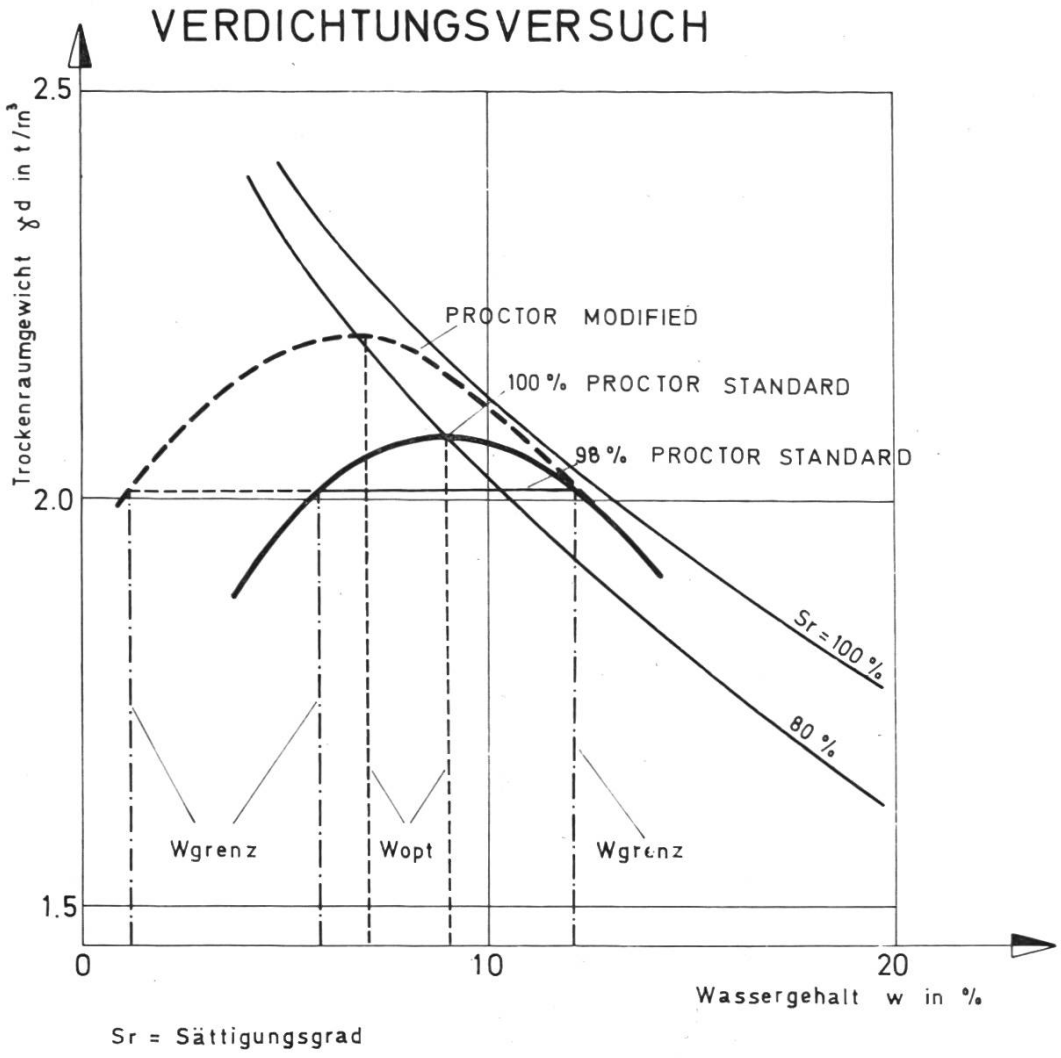


Abbildung 4

Eine weitere wichtige Grundlage für eine einwandfreie Verdichtung eines Bodens ist die Wahl des Verdichtungsgerätes in Abhängigkeit von der Bodenart. Ich habe vorher unterschieden zwischen sogenannten

— kohäsiven, feinkörnigen Böden,
— Reibungsböden und
— grobkörnigen Böden mit Kohäsion und Reibung.

Die Kohäsion eines Bodens ist unabhängig von der Normalspannung, also unabhängig von der Belastung, die durch den Einsatz der Verdichtungsgeräte aufgebracht wird. Eine dichtere Lagerung und somit eine Vergrösserung der Kohäsion kann nur durch einen Schervorgang zwischen den Bodenkörnern durch Überwindung der vorhandenen Kohäsion erreicht werden. Dazu sind Druckbeanspruchungen notwendig, welche grösser sind als die Kohäsion des Bodens. Es kommen also nur Geräte in Frage, welche einen hohen spezifischen Druck ausüben. Um einen Druck von etwa 15 bis 20 kg/cm² zu erreichen, hat man ein lebendes Verdichtungsgerät, die Hufe von Viehherden, nachgebildet. Bekanntlich wurden Viehherden zur Verdichtung von Dammschüttungen an der Nordsee eingesetzt. Das entsprechende Gerät heisst darum heute Schaffusswalze. Weitere Geräte dieser Art sind Tamping-Roller, Gitterwalzen usw. In diese Kategorie gehört auch die Gummirad- oder Pneuradwalze. Sie hat jedoch einen kleineren Auflagedruck. Bei neuen Konstruktionen (Abbildung 5) mit wenigen, aber grossen und breiten Rädern habe ich festgestellt, dass bis zu 20 cm dicke Schichten einwandfrei verdichtet werden können. Vielfach wird sie auch zur abschliessenden Verdichtung und Abglättung nach dem Einsatz der obengenannten knetenden Verdichtungsgeräte eingesetzt. Bei älteren Gerätetypen mit einer grossen Zahl von kleinen Rädern hat man häufig festgestellt, dass die Tiefenwirkung relativ bescheiden ist und dass die Verdichtung beim alleinigen Einsatz von Gummiradwalzen mit zunehmender Tiefe abnimmt (siehe Abbildung 6).

Ich bin überzeugt, dass in Zukunft auch in der Fundationsschicht vermehrt kohäsives Material eingebracht wird, so dass dieser Verdichtung eine immer grössere Bedeutung zukommt.

Auch für die Verdichtung von Reibungsböden müssen die Bodenkörner gegeneinander abgeschert werden. Durch die Einleitung einer Vibration werden die Bodenkörner in Schwingungen versetzt. Dadurch wird der Kontakt und somit die Reibung zwischen den Bodenkörnern kurzfristig aufgehoben. Die Bodenkörner können sich gegeneinander verschieben und durch geringe Druckkräfte in eine dichtere Lagerung gebracht werden.

Er ist bekannt, dass es eine Grosszahl von Vibrationsgeräten auf dem Markte gibt: Geräte, die alle Vor- und Nachteile haben, reparaturanfällige und solide, mehr oder weniger leistungsfähige, billige und teure; Walzen, Plattenvibratoren und Mehrplattenvibratoren. Je nach Grösse der Baustelle, nach der Unterlage, nach der mittleren Schichtdicke ist ein Gerät mit grosser oder kleiner Verdichtungsleistung, ein leichtes oder schweres Gerät und mit

unterschiedlicher Tiefenwirkung zu wählen. Es ist aber von jedem Gerät zu fordern, dass es eine homogene, gleichmässige Verdichtung erbringt; es darf keine Unzulänglichkeiten der Bedienung und Konstruktion aufweisen, welche die Gleichmässigkeit der Verdichtung beeinträchtigen. Auf einer Baustelle haben wir festgestellt, dass die Messresultate grosse Streuungen aufweisen. Wir glauben, dass die ungleichmässige Verdichtung durch das Gerät bedingt war. Bei dem eingesetzten Vierplattenvibrator waren die Schwingungen der Platten nicht gesteuert und erfolgten in beliebiger Reihenfolge. Dadurch kam es zu Erscheinungen, welche die ungleichmässige Verdichtung bewirkten.

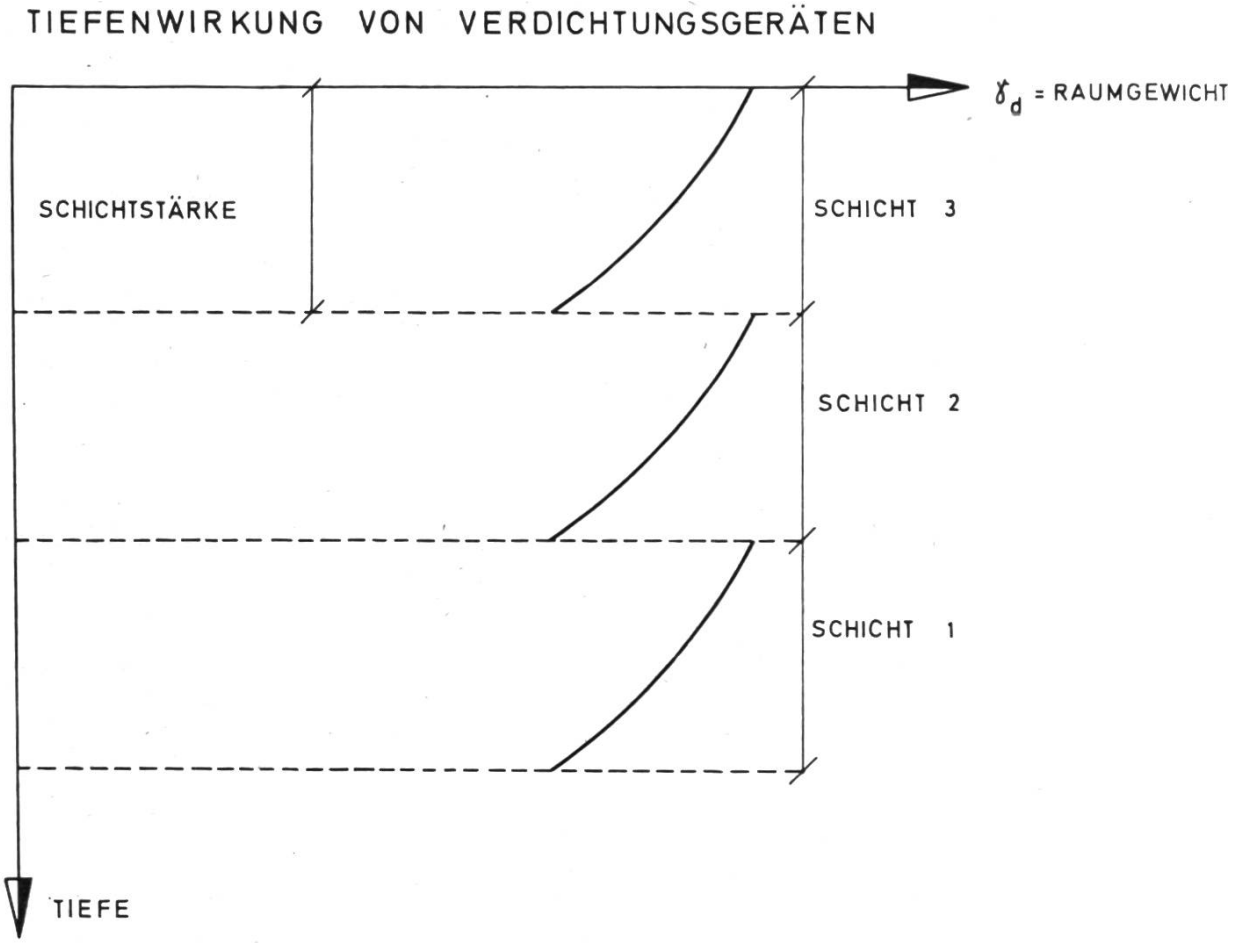


Abbildung 6

Abbildung 5
Scheid-Gummiradwalze mit wenigen, aber grossen, breiten Pneus

Abbildung 8
Stabilisierung der obersten Schicht des Unterbaues mit Hilfe einer Anbau-Scheibenegge «TOWNER»

5

8

Abbildung 7
Boschung-Mehrplattenverdichter an FORD-COUNTY

Beim Boschung-Mehrplatten-Vibrator aber ist durch die Synchronisierung der Schlagfolge der Platten eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen. Aus persönlichen Untersuchungen weiss ich, dass dieses Gerät eine gute, gleichmässige Verdichtung ergibt und dass die Leistung dank der Grösse der Auflageflächen sehr gross ist. Zwei (Abbildung 7) oder gar drei Reihen von Platten bewirken, dass weniger Übergänge notwendig sind.

Eine spezielle Verdichtung verlangen die grobkörnigen Böden, deren Scherfestigkeit sich aus der Kohäsion und der Reibung zusammensetzt. Dies sind vor allem die stark verbreiteten, grobkörnigen Moränen mit reichlich bindigen Feinanteilen.

Aus dem bisher Gesagten liegt es nahe, diese Böden mit hohem Druck und Vibration zu verdichten. Tatsächlich gibt es knetende Geräte, die auch Schwingungen erzeugen. Auch hier ist eine abschliessende Verdichtung mit Gummiradwalzen notwendig.

Auf vielen Baustellen begegnet man immer noch der irrigen Meinung, dass eine Schicht oder ein Damm durch mehrmaliges Befahren mit dem Trax oder Dozer genügend verdichtet werden kann. Es muss hier gesagt sein, dass Raupenfahrzeuge geländegängige Fahrzeuge sind, die eine sehr kleine

Bodenpressung von 0,5 bis 0,8 kg/cm² aufweisen, also Bodenpressungen, mit denen höchstens sehr dünne Schichten verdichtet werden können. Verdichten heisst aber den Boden dichter lagern und nicht mit einem untauglichen Gerät auf einer Oberfläche herumfahren und diese abglätten.

Bei den modernen Baumethoden nehmen in bezug auf die Verdichtung auch jene Materialien eine besondere Stellung ein, deren Scherfestigkeit aufgrund des Kornaufbaus zunächst praktisch nur aus Reibung besteht, die aber durch das Einmischen von Bindemitteln Kohäsion erhalten. Die Zunahme der Kohäsion ist abhängig von der Wirkungsweise der Bindemittel, zum Beispiel beim Zement das Abbinden oder Erhärten; beim Heissmischgut das Abkühlen und die Versteifung des Bitumens oder Teers. In einem Reibungsboden, der mit Zement zu Beton oder zu einer zementstabilisierten Schicht aufbereitet wird, ist die Verdichtung durch Vibrationsgeräte vor Erhärtungsbeginn abzuschliessen, das heisst wenige Stunden nach dem Mischbeginn. Werden aber tonige Böden mit Zement stabilisiert, richtet sich die Wahl des Verdichtungsgerätes nach der Kohäsion des natürlichen Bodens, das heisst, es sind knetende Geräte mit hohem Druck einzusetzen.

Ähnliches ist zu sagen über die Böden, die mit bituminösen Bindemitteln gebunden werden. Werden reine Reibungsböden mit heissen oder kalten Bindemitteln gemischt, ist so lange mit Vibrationsgeräten zu verdichten, als die Bindemittel als «Schmiermittel» wirken. Wenn die Kohäsion durch Abkühlen oder Abbinden und Versteifen der Bindemittel zunimmt, dann müssen knetende Geräte — besonders Gummiwalzen — eingesetzt werden.

Es kann somit festgehalten werden, dass für eine einwandfreie Verdichtung eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein und einige wichtige Grundsätze befolgt werden müssen.

So muss die Unterlage der zu verdichtenden Schicht genügend tragfähig sein, damit durch den Einsatz des Verdichtungsgerätes keine Scherdeformationen in der Unterlage auftreten. Es ist mir unbegreiflich, wie man auf einen stark vernässten, tonigen, schlecht tragfähigen Boden hochwertige Materialien einzubringen und zu verdichten versucht. Die erste eingebrachte Schicht lässt sich auf einer schlecht tragfähigen, wassergesättigten Unterlage nicht verdichten. Durch die Austrocknung der Unterlage mit Kalk (Abbildung 8) und anschliessender Verdichtung erhält diese eine genügende Tragfähigkeit, und die darüberliegende Schicht kann einwandfrei eingebracht und verdichtet werden. Zudem werden die gefürchteten Durchmischungen zwischen Untergrund und Oberbau verhindert.

Ich habe darzulegen versucht, dass auf reinen Reibungsböden grundsätzlich Vibrationsgeräte, auf kohäsiven Böden aber knetende Walzen einzusetzen sind. Die sogenannten statischen Walzen haben eine sehr kleine Tiefenwirkung (8 bis 10 cm); ihnen kommt daher eine grosse Bedeutung für eine abschliessende Verdichtung zu oder für die Verdichtung dünner Deck- und Belagsschichten.

Unklarheit besteht meistens über die notwendige Passenzahl. Allgemein weiss man, dass für die Verdichtung von kohäsiven Böden mit knetenden Walzen relativ viele Passen notwendig sind, bis die Verdichtung den Anforderungen entspricht. Für die Verdichtung von Reibungsböden mit den Vibrationsgeräten genügen meistens sehr wenig Übergänge. Genügt oft nicht schon ein Übergang? Diese Frage darf man sich beim heute vorgestellten Gerät stellen, denn die zwei oder drei Reihen von Platten weisen eine gute Verdichtungswirkung auf. Die Frage der notwendigen Passenzahl ist noch zuwenig untersucht. Für jedes Gerät sollten Angaben über die Passenzahl in Abhängigkeit der Verdichtungswilligkeit des Bodens, der Unterlage, der verlangten Proctordichte, der Schichtstärke usw. vorhanden sein. Meiner Ansicht nach ergibt sich hier ein Arbeitsgebiet, welches in Zusammenarbeit zwischen Fabrikant, Verkaufsorganisation, Unternehmung und Forschung zu bewältigen ist. Vergessen wir nicht, dass jede zuviel gefahrene Passe Zeit, Geld und Material kostet, eine Leistungseinbusse bedeutet, und dass bei der Vibrationsverdichtung auch wieder eine Auflockerung erfolgen kann.

Zusammenfassend möchte ich festhalten: Moderner Strassenbau beinhaltet eine rationelle Materialbeschaffung für den Unter- und Oberbau, und rationelle Materialbeschaffung bedeutet die Verwendung der örtlich verfügbaren Baustoffe, denn riesige Materialtransporte verbessern weder die befahrenen noch die zu bauenden Strassen. Dank den modernen Bauverfahren und den leistungsfähigen Verdichtungsgeräten ist es möglich, eine weite Skala verschiedener Bodenarten zu verwenden. Instabile Böden können durch Methoden der Stabilisierung zu qualifizierten Materialien aufbereitet werden.

Eine Möglichkeit, die insbesondere im Gebirge noch immer zu wenig ausgeschöpft wird, ist die Aufbereitung von Fels- und Schuttmaterial durch Brechen. Es ist doch unsinnig, das vom Wasser transportierte Material wieder an den Ursprungsort zurückzubringen, anstatt das gleiche Material an Ort und Stelle zu brechen.

Einen weiteren Baustoff liefert unsere «Wegwerfgesellschaft», welche pro Kopf der Bevölkerung jährlich 350 bis 400 kg Müll produziert. Die in den Verbrennungsanlagen anfallende Schlacke wird auf Deponien geführt. Untersuchungen, die an meiner Professur von meinem Mitarbeiter, Herrn Dr. Hirt, ausgeführt werden, zeigen, dass diese Schlacke ein brauchbares Material für den Strassenbau liefert. Initiative Unternehmer ermöglichen uns zurzeit Versuche im Massstab 1 : 1 durchzuführen. Die Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich finanziert diese Forschungsarbeiten. Ähnliche Forschungsarbeiten befassen sich mit Industrieabfällen. Mit Erfolg sind erste Versuche im Labor und in Versuchsstrecken ausgeführt worden.

In diesem Lichte betrachtet, haben sich die Strassenbauer — die Verwaltung, die Forschung und die Praxis — mit Problemen in einem grösseren Zusammenhang auseinanderzusetzen, wobei neue, umfassendere Entschei-

dungsgrundlagen an Bedeutung gewinnen. Unter anderm ist für die Schweiz auch eine «Kiespolitik» zu fordern, welche den zukünftigen grossen Bauvorhaben, den Grundwasservorkommen, der Landschaft und anderen ökologischen Gesichtspunkten Rechnung trägt.

Ist nun der heutige Strassenbau eine Kunst? Werden die Entscheidungsgrundlagen nicht zu stark von der reinen Technik geliefert? Wird die Wirtschaftlichkeitsrechnung nicht in einem zu engen Rahmen gemacht?

Résumé

Le renforcement des routes par l'apport de gravier ne pose que peu de problèmes. Par contre, les transports que nécessitent ces travaux mettent le réseau routier et l'environnement fortement à contribution (gaz d'échappement et exploitations abusives des gravières, ces dernières représentant un danger pour les réserves d'eau potable). Les méthodes de construction et les machines modernes permettent de réaliser des ouvrages d'aussi bonne qualité et moins dommageables pour l'environnement en utilisant le matériau en place, ainsi que cela a été démontré au cours d'une grande expérience américaine (AASHO-Road-Test).

Traduction: J.-P. Sorg

Literatur

(1) *Hirt, R.:* Dimensionierung und Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen, SZF Nr. 3, März 1972, S. 129—159