

Ist Strassenbau ein Kunst?: Gedanken zu einem umweltfreundlicheren Strassenbau

Autor(en): **Kuonen, Victor**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **90 (1972)**

Heft 46

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85360>

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.

Ist Strassenbau eine Kunst?

Gedanken zu einem umweltfreundlicheren Strassenbau

DK 625.731:624.002.5

Von V. Kuonen, Zürich¹⁾

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 Vertikal-aufbauten 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. Es sei hier aber nicht über Worte oder Begriffe diskutiert, sondern die Frage gestellt, 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 problemlosen Materialien, das heisst mit bestem Kies, zu bauen sind. 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 selten 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 Verbesserung 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 Lage? Belasten die riesigen Transporte nicht unsere Umwelt (Luftverschmutzung, Lärm usw.)? Führt andererseits die gierige Kiesausbeutung nicht zum Raubbau an diesem wichtigen Rohstoff und gar zur Zerstörung ausgiebiger Grundwasservorkommen? Bringt der problemlose Strassenbau nicht Pro-

bleme 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; andererseits 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: $[\tau = c + \sigma \cdot \text{tg } \Phi]$ aus dem 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. Die Kohäsion und damit die Tragfähigkeit in einem tonigen Boden kann bei schwankendem Wassergehalt sehr unterschiedlich sein. Wegen der Niederschlagsverhältnisse unseres Landes sind feinkörnige Böden nicht gerade beliebt. Wir müssen uns aber bewusst sein, dass in bindigen, feinkörnigen Böden die Kohäsion einen grossen Anteil an die 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 allenfalls 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 Rauigkeit der Oberfläche der Bodenkörner. Gut abgestufte Böden lassen sich dichter lagern als schlecht abgestufte, gleichkörnige Böden. Bei dichter 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

¹⁾ Vortrag, gehalten an der Tagung über Verdichtung, durchgeführt von den Firmen Boschung und MBA, am 27. Juni 1972 in Zürich.

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% 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 Sand, zu verwenden.

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

Seit mehr als 10 Jahren liegen auch in der Schweiz Ergebnisse mit Bodenstabilisierungen 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 traditio-

nellen Stabilisierungsmittel: Kalk, Zement, Teer und Bitumen in Frage. Es ist zu erwarten, dass in den nächsten Jahren neue, wahrscheinlich chemische Stabilisierungsmittel zur Verfügung stehen werden.

Die Strassenbauer werden sich 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 Fundamentalschicht – im Ausland häufig auch Frostschuttschicht genannt – unserer Strassen fast ausschliesslich mit Kies 1. Klasse gebaut worden, also mit Böden, deren Scherfestigkeit ausschliesslich von der Reibung abhängig ist. In letzter Zeit hat man auf einigen Baustellen den Mut aufgebracht, Kies 2. Klasse zu stabilisieren und damit den Bedarf an hochwertigen Kiesen herabzusetzen.

Gut abgestufte Kiese weisen einen grossen Reibungswinkel – etwa 35° bis 45° – auf. Trotzdem ist aber die lastverteilende Wirkung 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, \dots) ist von den Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften der Materialien (1, 2, 3...) abhängig.

Ein Blick auf eine Zusammenstellung dieser Tragfähigkeitskoeffizienten zeigt, 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 bescheidenen Beitrag an die Tragfähigkeit (Bild 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 Bemessung der Strasse nach AASHO erfolgt über den Stärkenindex (SN). Dabei hat man die Werte – also Tragfähigkeitskoeffizient \times Schichtstärke – der verschiedenen Aufbausichten 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 Stärkenindex zu variieren, sofern die konstruktiven Minimalstärken eingehalten werden.

Die Grösse des Stärkenindex ist eine Funktion der Untergrundtragfähigkeit und der Anzahl Normachlasten, für welche eine Strasse zu bauen ist. Dieser Zusammenhang als Hauptergebnis des AASHO-Tests ist auf Bild 2 für schwach beanspruchte Strassen dargestellt.

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

An Hand eines Beispiels – wiederum aus dem kleinen Strassenbau – wird gezeigt, dass es immer eine ganze Reihe

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		
Sandaspalt	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	
Fundamentalschicht D_3						
Gebrochenes Material(Schotter)	CBR	105-110	%			0,14
Kies-Sand I (bis ca.45cm 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 %						

Bild 1. Tragfähigkeitskoeffizienten [1]

von Möglichkeiten für den Aufbau einer Strasse gibt (siehe Bild 3).

Neue Baustoffe – und stabilisierte Materialien sind neue Baustoffe – bringen neue Probleme, auch Probleme der Verdichtung. Eine einwandfreie Verdichtung ist für jede Schicht im Strassenaufbau notwendig. Je besser die Verdichtung, desto grösser sind Kohäsion und Reibung und desto kleiner sind die Setzungen und die Durchlässigkeit.

Einzelheiten sollen hier nicht behandelt werden. Es seien aber ein paar grundsätzliche Gedanken zum Problem Verdichtung – dieser komplexen, noch nicht bis ins letzte geklärten Angelegenheit – dargelegt.

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. Je nach Grösse der verlangten Werte muss der Wassergehalt zwischen bestimmten Grenzen, das heisst zwischen den sog. Grenzwassergehalten, liegen (Bild 4).

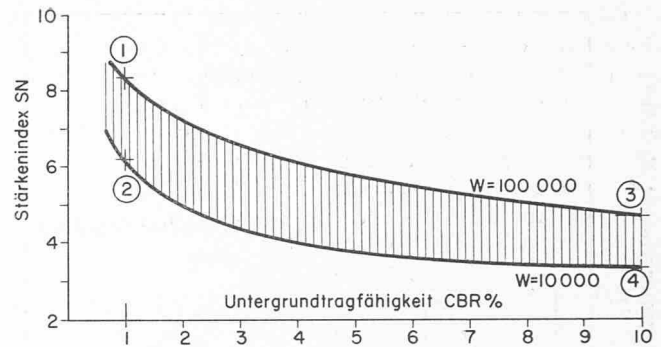
Eine weitere wichtige Grundlage für eine einwandfreie Verdichtung eines Bodens ist die Wahl des Verdichtungsgerätes. Vorher wurde unterschieden zwischen sogenannten

- 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 15 bis 20 kg/cm² zu erreichen, wurde ein lebendes Verdichtungsgerät, die Hufe von Viehherden, nachgebildet. Viehherden wurden zur Verdichtung von Dammschüttungen an der Nordsee eingesetzt. Das entsprechende Gerät heisst deshalb heute Schaffusswalze. Weitere Geräte dieser Art sind Tamping-Roller (Bild 5), Gitterwalzen usw. In diese Gruppe gehört auch die Gummirad- oder Pneuradwalze (Bild 6). Sie hat jedoch einen kleineren Auflagedruck. Bei neuen Konstruktionen mit wenigen, aber grossen und breiten Rädern können bis zu 20 cm dicke Schichten einwandfrei verdichtet werden. Vielfach werden Pneuradwalzen auch zur abschliessenden Verdichtung und Abglättung nach dem Einsatz der oben genannten knetenden Verdichtungsgeräte eingesetzt. Bei älteren Gerätetypen mit einer grossen Zahl von kleinen Rädern wurde häufig festgestellt, dass die Tiefenwirkung bescheiden ist und dass die Verdichtung beim alleinigen Einsatz von Gummiradwalzen mit zunehmender Tiefe abnimmt (Bild 7). In Zukunft muss auch in der Fundationsschicht vermehrt kohäsives Material eingebracht werden, so dass dieser Verdichtung eine immer grössere Bedeutung zukommt.

Auch für die Verdichtung von Reibungsböden müssen die Bodenkörner gegeneinander abgesichert werden. Durch die Einleitung einer Vibration werden die Bodenkörner in Schwingung 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.

Es gibt eine Grosszahl von Vibrationsgeräten auf dem Markt: Geräte mit allen Vor- und Nachteilen, reparaturan-



Punkt	Untergrundtragfähigkeit CBR%	Normachslasten $W_{8,2}$	Stärkenindex SN
①	1	100 000	8,3
②	1	10 000	6,0
③	10	100 000	4,8
④	10	10 000	3,3

Bild 2. Bereich des Stärkenindex für schwach beanspruchte Strassen (Regionalfaktor $R = 1,3$) [1]

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 Zementstab.	5 cm	—	—
	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

Bild 3. Beispiel einer Bemessung. Verbindungsstrasse, 100 000 Normallasten 8,2t während der angenommenen Lebensdauer von 30 bis 50 Jahren, Untergrundtragfähigkeit CBR = 2 %, Regionalfaktor 1,5 [1]

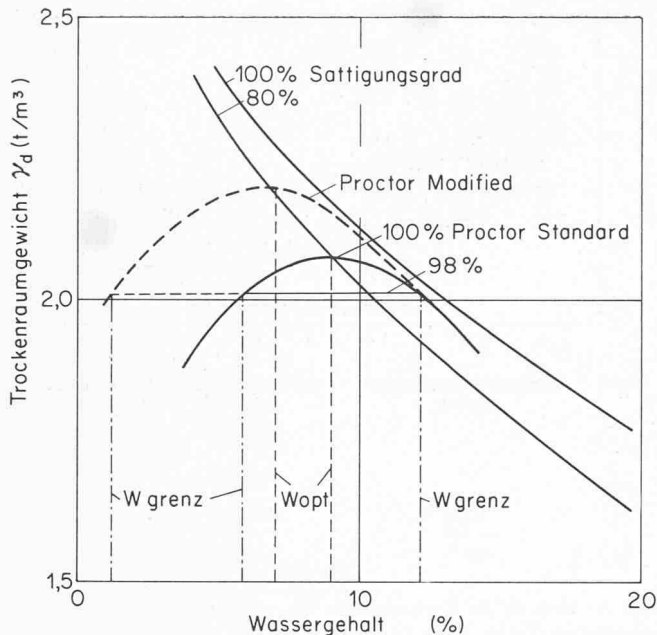


Bild 4. Verdichtungsversuch

fällige und solide, mehr oder weniger leistungsfähige, billige und teure; Walzen, Plattenvibratoren und Mehrplattenvibratoren. Je nach Grösse der Baustelle, nach der Unterlage, nach der mittleren Schichtstärke 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 Messergebnisse grosse Streuungen aufwiesen. Wir nehmen an, 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. Dies bewirkte die ungleichmässige Verdichtung.

Beim Boschung-Mehrplattenvibrator (BV) ist durch die Synchronisierung der Schlagfolge der Platten eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen. Dieses Gerät ergibt eine gute, gleichmässige Verdichtung, und seine Leistung ist dank der Grösse der Auflageflächen gross. Zwei oder gar drei Reihen

Bild 5. Selbstfahrender Caterpillar-Tamping-Verdichter 815. Einsatzgewicht 18,1 t



von Platten bewirken, dass weniger Übergänge notwendig sind (Bilder 8 und 9).

Eine besondere 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 falschen Meinung, dass eine Schicht oder ein Damm durch mehrmaliges Befahren mit dem Trax oder Dozer genügend verdichtet werden könne. Raupenfahrzeuge sind geländegängige Fahrzeuge, 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 auf Grund des Kornaufbaus zunächst beinahe 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 gilt bei Böden, die mit bituminösen Bindemitteln gebunden werden. Werden reine Reibungsböden mit heissen oder kalten Bindemitteln gemischt, ist solange mit Vibrationsgeräten zu verdichten, als dass die Bindemittel als «Schmiermittel» wirken. Wenn die Kohäsion durch Abkühlen oder Abbinden und Versteifen der Bindemittel zunimmt, müssen knetende Geräte – besonders Gummiradwalzen – eingesetzt werden.

Für eine einwandfreie Verdichtung müssen eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sein und einige wichtige Grundsätze befolgt werden.

Bild 6. Scheid-Gummiradwalze mit wenigen, aber grossen und breiten Reifen



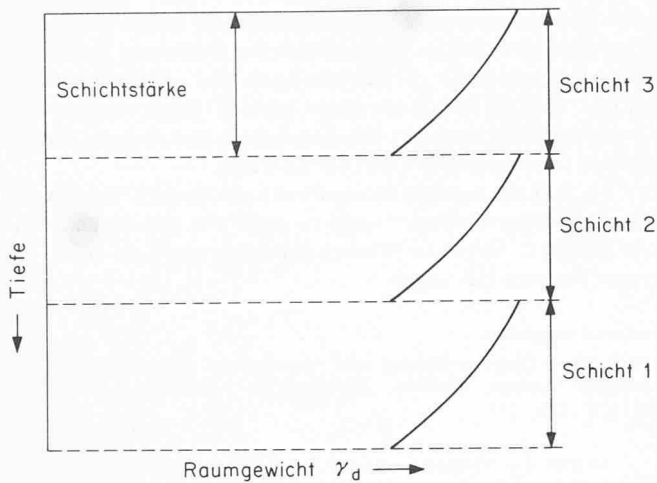


Bild 7. Tiefenwirkung von Verdichtungsgeräten

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 unbegreiflich, wie immer wieder versucht wird, auf einen stark vernässten, tonigen, schlecht tragfähigen Boden hochwertige Materialien einzubringen und zu verdichten. Die erste eingebrachte Schicht lässt sich auf einer schlecht tragfähigen, wassergesättigten Unterlage nicht verdichten. Durch die Austrocknung der Unterlage mit Kalk (Bild 10) und anschließender Verdichtung erhält diese eine genügende Tragfähigkeit, und die darüberliegende Schicht kann einwandfrei eingebracht und verdichtet werden. Zudem werden die gefährdeten Durchmischungen zwischen Untergrund und Oberbau verhindert.

Es kann zusammengefasst werden, 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 oder für die Verdichtung dünner Deck- und Belagsschichten zu.

Unklarheit besteht meistens über die notwendige Passenzahl. Allgemein weiss man, dass für die Verdichtung von kohäsiven Böden mit knetenden Walzen viele Passen notwendig sind, bis die Verdichtung den Anforderungen entspricht. Für die Verdichtung von Reibungsböden mit den Vibrationsgerä-

Bild 8. BV-6 an Ford-County: Boschung-Verdichter, zwei Reihen zu je drei Platten

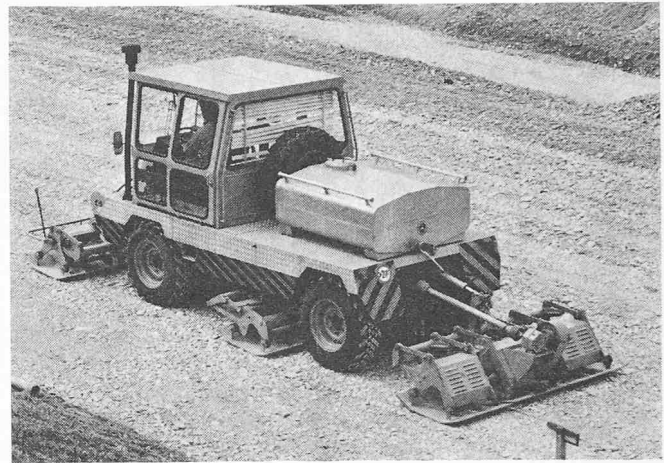


Bild 9. BV-9: Boschung-Verdichter, drei Reihen zu je drei Platten

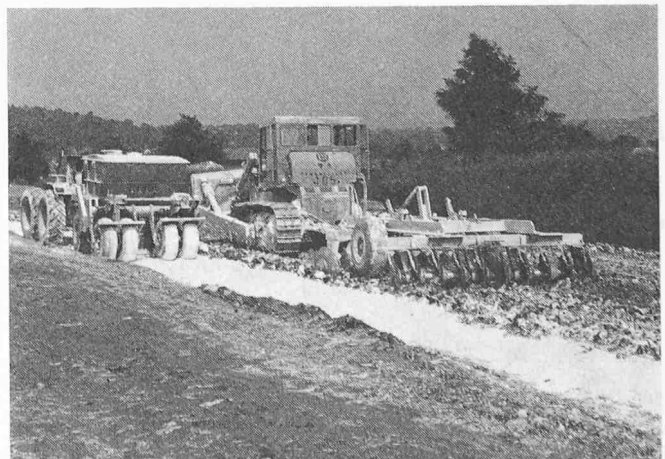
ten genügen meistens sehr wenig Übergänge. Genügt oft nicht schon ein Übergang? Die Frage der notwendigen Passenzahl ist für viele Geräte noch zu wenig untersucht. Für jedes Gerät sollten Angaben über die Passenzahl in Abhängigkeit der Verdichtungswilligkeit des Bodens, der Unterlage, der verlangten Proctordichte, der Schichtstärke usw. vorhanden sein. Es ergibt sich hier ein Arbeitsgebiet, welches in Zusammenarbeit zwischen Fabrikant, Verkaufsorganisation, Unternehmung und Forschung zu bewältigen ist. Jede zuviel gefahrene Passe kostet Zeit, Geld und Material, bedeutet eine Leistungseinbusse und bewirkt bei der Vibrationsverdichtung oft auch wieder eine Auflockerung.

Zusammenfassung

Moderner Strassenbau verlangt eine rationelle Materialbeschaffung für den Unter- und Oberbau, und rationelle Materialbeschaffung bedeutet die Verwendung der örtlich verfügbaren Baustoffe. Riesige Materialtransporte verbessern weder die befahrenen noch die zu bauenden Strassen. Dank der modernen Bauverfahren und der leistungsfähigen Verdichtungsgeräten ist es möglich, die verschiedensten Bodenarten zu verwenden. Instabile Böden können durch Stabilisierungen 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 wenig sinnvoll,

Bild 10. Stabilisierung der obersten Schicht des Unterbaues. Ammann-Kalkstreuer, gezogen von Allrad Ford-County; Rome-Scheibenege



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 der Professur des Verfassers von seinem Mitarbeiter, 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 Laboratorium und in Versuchsstrecken ausgeführt worden.

Die Strassenbauer – die Verwaltung, die Forschung und die Praxis – haben sich mit diesen Problemen in einem grös-

seren Zusammenhang auseinanderzusetzen, wobei neue, umfassendere Entscheidungsgrundlagen an Bedeutung gewinnen. Unter anderem 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 Wirtschaftlichkeit nicht in einem zu engen Rahmen beurteilt?

Literaturverzeichnis

[1] *R. Hirt*: Dimensionierung und Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen. «Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen» 123 (1972), Nr. 3, S. 129–159

Adresse des Verfassers: *Victor Kuonen*, dipl. Forsting., Professor für forstliches Ingenieurwesen an der ETH, Lindenweg 9, 8122 Pfaffhausen.

Der Grader: Einsatzbeispiele

DK 625.731:624.002.5

Allgemeines

Begriff

Der Grader ist ein Gerät zum Begradigen, d. h. zum Planieren. Er wurde zu einer gummibereiften Baumaschine entwickelt und findet sein Hauptarbeitsfeld im Strassen- und Wegebau zur Durchführung der verschiedensten Planierarbeiten, zum Einbau praktisch aller Materialsorten sowie zum Herrichten der Seitenräume, wie Böschungen, Gräben und Bankette.

Entwicklung des Graders

Die Entwicklung geht bis zur Jahrhundertwende zurück, wo erstmals «Wegehobel» für den Unterhalt von Wegen in steinfreien Böden eingesetzt wurden. Es handelte sich um durch Zugtiere geschleppte Geräte mit einem «Hobel» zwischen den Achsen. Der Hobel – heute als Schar bezeichnet – wurde von Hand über Spindeln und Zugstangen gehoben und gesenkt, Bild 1.

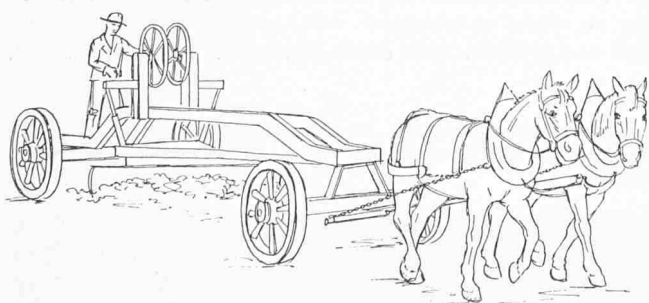


Bild 1. Von Pferden gezogener Wegehobel

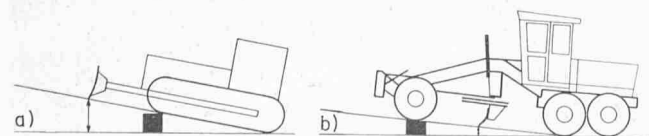


Bild 2. Auswirkung auf die Schneide beim Überfahren von Bodenunebenheiten

a) Planierdraupe

b) Grader

Schon damals hatte man erkannt, dass bei Anordnung der Schar in Gerätemitte die Planiergenauigkeit am grössten ist. Bei Maschinen mit vorgebautem Planierschild wird jede überfahrene Unebenheit vergrössert auf das zu schaffende Planum übertragen. Die Scharanordnung in Gerätemitte dagegen verkleinert diese Übertragung, Bild 2.

Im Verlaufe der allgemeinen Motorisierung wurden die Zugtiere durch Schlepper ersetzt. Schliesslich wurden Schlepper und Wegehobel zu einem Gerät vereint, wobei der Antriebssatz und die weit vorgezogene Vorderachse durch einen bogenförmigen Rahmen verbunden wurden. In den Raum zwischen Vorder- und Hinterachse wurde die Schar eingebaut.

Die technische Weiterentwicklung führte von Zweiachs- zu Dreiachsmaschinen, die als Tandem-Grader bezeichnet werden, von der manuellen Bedienung über Spindeln und Zugstangen zu mechanischen Steuerelementen und weiter über mechanisch-hydraulisch kombinierte Steuerungen zu vollhydraulischen Systemen.

Der Antrieb übt entscheidenden Einfluss auf die Leistung und damit auf die Wirtschaftlichkeit der Maschine; er ist daher das wichtigste Konstruktionselement des Graders. Die vorläufig letzte Stufe dieser Entwicklung ist der Antrieb über Drehmomentwandler und Lastschaltgetriebe. Durch die dauernde automatische Ausnutzung der installierten Leistung und durch die weitgehende Entlastung des Fahrers – er wird vom eigentlichen Fahrvorgang fast vollständig entlastet und kann sich ganz auf die Arbeit konzentrieren – wurden erhebliche Mehrleistungen gegenüber vergleichbaren Geräten mit mechanischen Schaltgetrieben erreicht.

Der Grader als Vielzweckgerät

Ursprünglich war der Grader eine Einzweckmaschine, die in vielen Fällen nicht voll ausgenutzt werden konnte. Daher entwickelte man für den Grader weitere Arbeitsgeräte, so beispielsweise Frontschilder und Heckaufreisser, Bild 3. Dadurch wurde der Grader zu einem Mehrzweckgerät, das innerhalb eines Maschinenparkes häufig den höchsten Ausnutzungsgrad aufweist.

Tandem-Grader

Die wichtigste Aufgabe für einen Grader ist die Erstellung eines sauberen und möglichst genauen Planums. Diese Forderungen werden nur vom Tandem-Grader erfüllt.