

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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 113 (1962)

**Heft:** 8-9

**Artikel:** Grundlagen und Anwendung der Bodenstabilisierung mit Kalk im schweizerischen Waldstrassenbau

**Autor:** Kuonen, V.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-768041>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.02.2025

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

# Grundlagen und Anwendung der Bodenstabilisierung mit Kalk im schweizerischen Waldstraßenbau

Oxf. 383.4

Von V. Kuonen, ETH/VAWE, Zürich<sup>1</sup>

## 1. Einleitung

Die Tatsache, daß heute das Holz auf schwersten Lastwagen direkt aus dem Walde an die Verbrauchs- oder Verarbeitungsplätze transportiert wird, stellt uns vor allem in Gebieten mit schlecht tragfähigem Baugrund vor Probleme einer wirtschaftlichen Fahrbahnbefestigung.

Dieses Problem beschäftigt uns zurzeit deshalb sehr stark, weil wir in nächster Zukunft die Erschließung vieler Gebiete mit wenig tragfähigem Baugrund auszuführen haben. Es sind dies vor allem die Flysch- und Molassegebiete.

## 2. Baugrundverhältnisse dieser Gebiete

In diesen Gebieten treffen wir überall mehr oder weniger ähnliche Baugrundverhältnisse an. Sie lassen sich kurz folgendermaßen charakterisieren:

### Bodenstabilisierung mit Kalk

Sieblinienbereich untersuchter Böden

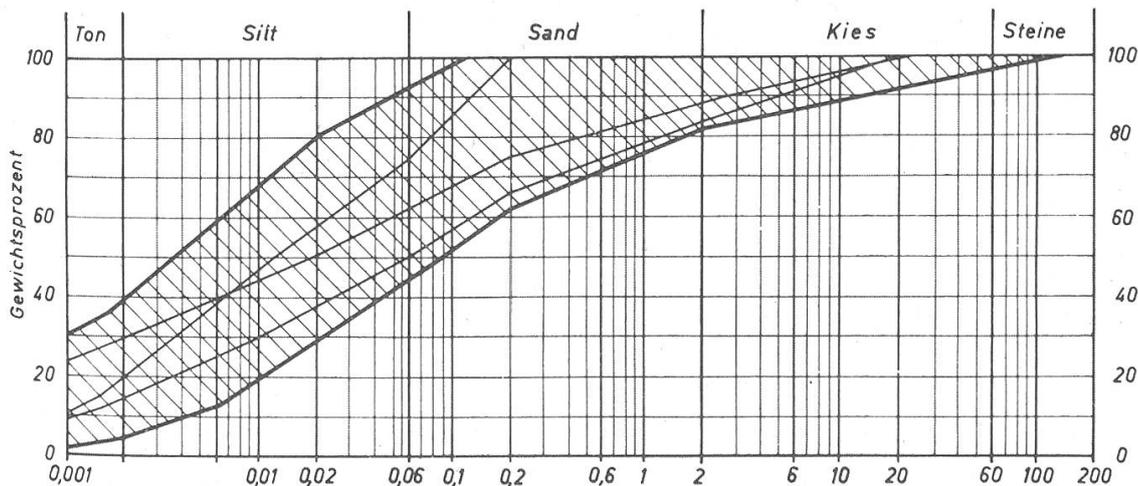


Bild 1

<sup>1</sup> Referat, gehalten anlässlich der Generalversammlung des Schweiz. Forstvereins 1962 in Siebnen.

Aus den Kornverteilungskurven dieser Böden sehen wir, daß die Menge der Feinanteile sehr groß ist. Sie ist in den bisher untersuchten Böden immer so groß gewesen, daß die Sand- und Kieskörner kein eigentliches körniges Traggerüst mehr bilden (mehr als 35 Prozent sind kleiner als 0,06 mm).

Der Anteil an Tonfraktionen ist ebenfalls relativ hoch, er schwankt zwischen etwa 10 bis 40 Gewichtsprozenten (kleiner als 0,002 mm).

Der Baugrund dieser Gebiete ist sehr stark vernäßt, nicht selten beträgt der natürliche Wassergehalt über 40 Prozent. Demzufolge ist auch das natürliche Trockenraumgewicht sehr klein.

Wenn wir die Werte des Trockenraumgewichtes und des Wassergehaltes des natürlichen Zustandes mit den entsprechenden optimalen Werten des Verdichtungsversuches vergleichen, dann stellen wir fest, daß diese Werte weit auseinanderliegen.

Auf Bild 2 sehen wir, dass

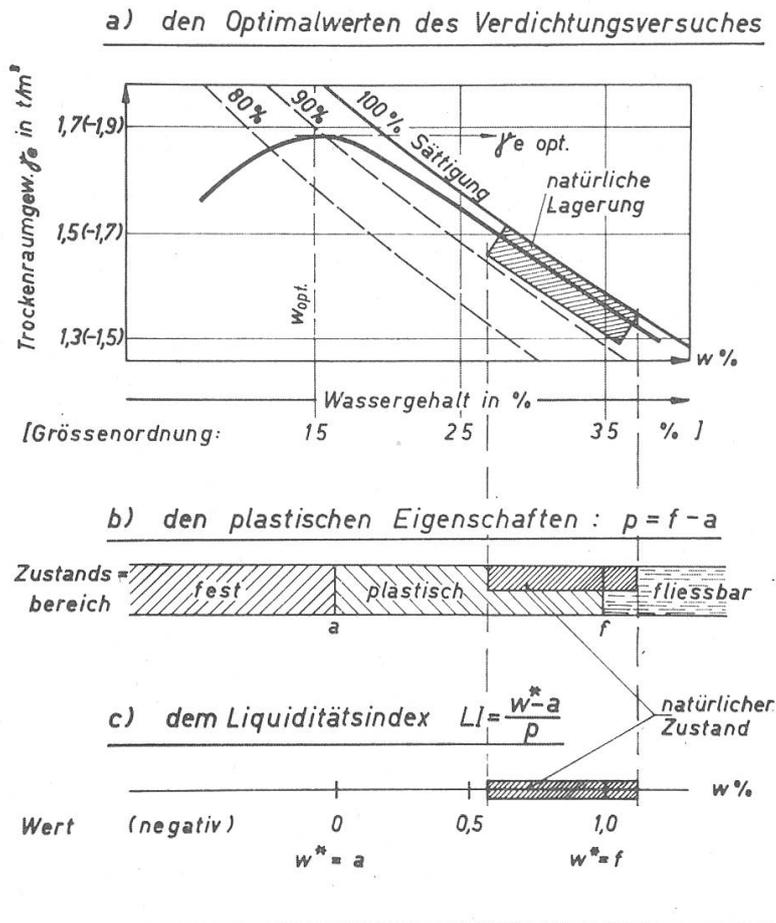
1. der natürliche Wassergehalt viel höher liegt als der für die Verdichtung optimale Wassergehalt, und daß die natürliche Lagerungsdichte viel kleiner ist als die optimale,
2. die natürliche Lagerung – beim vorhandenen hohen Wassergehalt – der dichtest möglichen Lagerung entspricht, denn die Poren, die in diesen Böden zwischen 45 bis 55 Volumenprozent einnehmen, sind praktisch immer zu 100 Prozent mit Wasser gefüllt. Das bedeutet, daß diese sehr undurchlässigen Böden im natürlichen Zustand nicht verdichtet werden können, weil die Verdichtungsenergie auf das Porenwasser geht und dieses nicht auszupressen vermag.

Die Plastizitätsgrenzen – die Fließ- und Ausrollgrenze eines bindigen Bodens – zeigen das Verhalten eines Bodens bei wechselndem Wassergehalt an. Die plastischen Eigenschaften werden durch den Plastizitätsindex ( $p$ ), das heißt durch die Differenz der Wassergehalte bei Fließ- und Ausrollgrenze dargestellt. Diese beiden von Atterberg festgelegten Grenzen – nach ihm auch Atterbergsche Konsistenzgrenzen genannt – teilen einen Boden in drei Zustandsbereiche ein: in einen festen, einen plastischen und einen fließbaren Bereich.

Wenn wir nun den natürlichen Wassergehalt eines Bodens im Zusammenhang mit seinen plastischen Eigenschaften betrachten, dann können wir feststellen, ob ein Boden in festem, in plastischem oder in fließbarem Bereich ansteht. Der Begriff, der diesen Zustand umschreibt, heißt Liquiditätsindex und ist definiert als  $LI = \frac{w^* - a}{p}$ . Ist nun der sich aus dieser Definition ergebende Wert kleiner als Null, dann befindet sich der Boden in festem Zustand, liegt der Wert zwischen 0 und 1, dann ist er im plastischen Bereich, ist er größer als 1, dann ist er im fließbaren Bereich.

In den hier zur Sprache stehenden Bodenverhältnissen liegt der Wert des Liquiditätsindexes zwischen 0,6 bis 1,1, das heißt diese Böden befinden sich

## Vergleich der natürlichen Lagerungswerte mit:



$w^*$  = natürlicher Wassergehalt       $P$  = Plastizitätsindex  
 $f$  = Wassergehalt bei Fließgrenze       $\rho_e$  = Trockenraumgew.  
 $a$  = Wassergehalt bei Ausrollgrenze

Bild 2

im natürlichen Zustand immer an der oberen Grenze des plastischen Zustandsbereiches, ja sogar gelegentlich in fließbarem Zustand (vgl. Bild 2).

Die Tragfähigkeit eines bindigen Bodens ohne körniges Traggerüst hängt weitgehend von der Kohäsion ab. Die Kohäsion ist aber wieder eine Funktion des Wassergehaltes eines Bodens: je größer der Wassergehalt um so kleiner die Kohäsion. Mit anderen Worten heißt das, daß wir in den stark vernäbten Böden nur eine geringe Tragfähigkeit erwarten dürfen. Das wird uns durch verschiedene Messungen und Beobachtungen bestätigt. So haben diese Böden zum Beispiel  $M_E$ -Werte von 0 bis 25 kg/cm<sup>2</sup> (Belastungsversuche mit 700-cm<sup>2</sup>-Platte) oder einen CBR-Koeffizienten von 0 bis 3 Prozent. Meistens quetscht der Baugrund bereits unter einem Trax aus, obwohl ein Trax nur eine spezifische Bodenpressung von 0,4 bis 0,6 kg/cm<sup>2</sup> besitzt. Dieser Wert gibt uns also einen Hinweis für die zulässige Belastung dieser Böden.

### 3. Straßenbefestigung nach herkömmlicher Methode

Will man auf herkömmliche Art und Weise eine Strassenbefestigung mit einem Sandfilter und einer Kies-Sand-Tragschicht herstellen, so ist es nicht möglich, diese Schicht einer normalen Mächtigkeit von 40 bis 50 cm auf ein gewünschtes Maß zu verdichten, weil die Scherfestigkeit des Baugrundes nicht genügt, um das Gewicht oder die Leistungsfähigkeit des Verdichtungsgerätes aufzunehmen. Der Untergrund weicht dem Druck aus und wird ausgequetscht.

Die Lastverteilung, das heißt der Abbau der Spannungen mit zunehmender Tiefe, ist abhängig von der Lagerungsdichte der Tragschicht. Auf dieser schlechten Unterlage (Baugrund) kann die Tragschicht nicht gut verdichtet werden, und wir können daher nur mit einer schlechten Lastverteilung rechnen, vielleicht etwa mit 30 Grad. Die Breite eines Doppelrades beträgt etwa 30 cm, so daß wir die in Bild 3 dargestellte Verteilung erhalten.

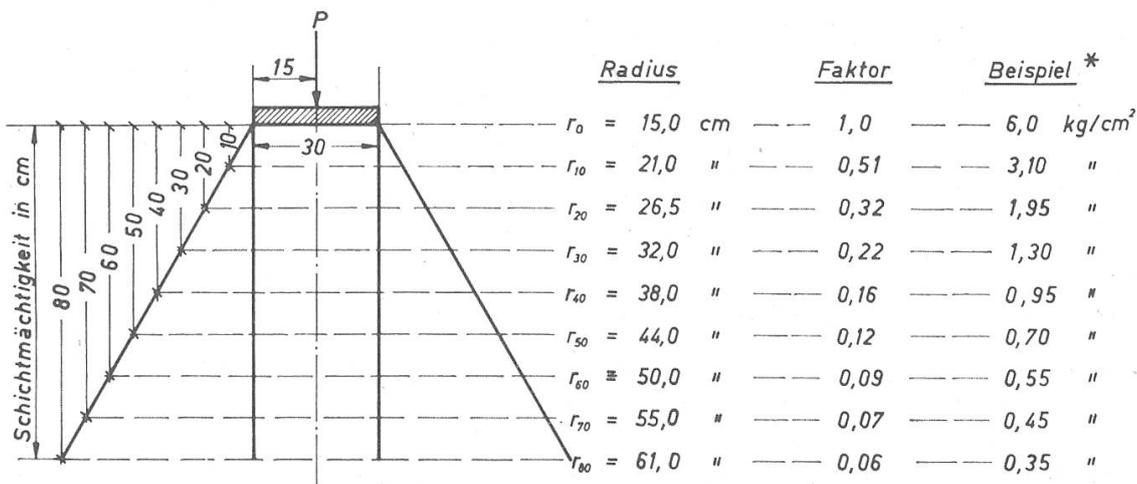
#### Abnahme der Spannungen in der Tiefe

Annahme : Kreisförmige Auflast - Lastverteilung unter 30°

Pneudoppelrad :  $\varnothing$  30 cm - schlecht verdichtbare Tragschicht

$$\text{Fläche} = r^2 \cdot \pi$$

$$\text{Abnahmefaktor} = r_0^2 \cdot \pi : r_x^2 \cdot \pi$$



\* entspricht ca. 8 to Achslast

Bild 3

Wir haben bereits gesehen, daß die Grenzbelastung dieser Böden etwa 0,4 bis 0,6 kg/cm<sup>2</sup> beträgt, das heißt wenn wir auf solchen Böden eine Fahrbahnbefestigung nach herkömmlicher Art machen wollen, benötigen wir eine Kofferschicht von 60 bis 80 cm, eine Zahl die uns auch die Praxis bestätigt.

Bei den immer steigenden Kiespreisen und den rapid in die Höhe kletternden Transportkosten werden in einem solchen Fall die Oberbaukosten

so groß, daß die Wirtschaftlichkeit des Bauens teils sicher in Frage gestellt ist.

Der große Baustellenverkehr, der durch solche Kiestransporte notwendig wird, zerstört dabei nicht selten die Zufahrtsstraßen zu den auszuführenden Projekten, da diese Straßen meistens nicht für eine derartige Beanspruchung gebaut wurden. Darum entstehen Unterhaltskosten infolge der Baustellen-transporte, die ganz ordentliche Summen verschlingen können.

Der Baustellentransport ist auf unseren Waldstraßen praktisch immer der strengste je zu erwartende Verkehr. Er wirkt sich vor allem darum nachteilig aus, weil einerseits die bereits gebauten Straßen nicht für eine derartige Beanspruchung dimensioniert sind und weil er andererseits auf den neu zu bauenden Straßen in einem Zeitpunkt erfolgt, in dem weder Untergrund noch Schüttungen nur annähernd konsolidiert sind. Hier ist nicht zu vergessen, daß wir Massenausgleich anstreben und jeden noch so nassen Mineralboden, welcher im Abtrag anfällt, aus wirtschaftlichen Gründen als Schüttmaterial verwenden müssen.

#### **4. Fahrbahnbefestigung mit Hilfe der Bodenstabilisierung mit Kalk**

Aus den bisherigen Ausführungen ergibt sich folgende Problemstellung: Kann ein Baugrund, der nicht selbst verdichtet und auf dem keine Tragschicht einwandfrei eingebracht werden kann, so verbessert werden, daß er lastverteilend wirkt und dadurch die Oberbaustärke dünner gehalten werden kann, so daß der gefürchtete Baustellentransport kleiner und der Bau der Straße wirtschaftlicher wird. Kurz: Gelingt es, in einem stark vernäßten, bindigen Boden selbst genügend Widerstandskraft zu mobilisieren, kann man diesen Boden stabilisieren?

Wir haben bereits gesehen, daß wir diese Böden nicht verdichten können, weil praktisch alle Poren mit Wasser gefüllt sind. Wir haben auch gesehen, daß deren Tragfähigkeit darum so klein ist, weil der hohe Wassergehalt die Kohäsion sehr stark verringert. Das bedeutet, daß wir diese Böden austrocknen müssen, wenn wir sie tragfähig machen wollen.

Diese Möglichkeit haben wir und zwar darin, daß wir dem Boden einen ungelöschten, pulverisierten Kalk, den sogenannten Branntkalk beimischen.

Dieser Branntkalk ist ein praktisch reines  $\text{CaO}$  (Calcit) oder ein  $\text{CaO} + \text{MgO}$  (Dolomit), je nach dem Gestein, welches gebrannt und gemahlen wird.

Wenn wir nun diesen ungelöschten Kalk in einer durch Untersuchungen bestimmten Menge (8 bis  $18 \text{ kg/m}^2$ ) in eine meistens durch die Bodenfräse bedingte Tiefe von 18 bis 22 cm einmischen, so haben wir aus folgenden Gründen eine Austrocknung dieser Bodenschicht:

1. Das  $\text{CaO}$  (Calciumoxyd) wird in dem nassen Boden zu einem  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (Kalkhydrat) abgelöscht, das heißt der Löschprozeß, der sonst in der

Fabrik erfolgt, vollzieht sich hier im Boden, so daß Wasser verbraucht wird.

2. Beim Ablöschen entwickelt sich eine große Wärme, und es verdunstet Wasser in Form von Wasserdampf.
3. Beim häufigen Durchmischen wird das Boden-Kalk-Gemisch gut gelüftet und bei trockenem Wetter wird die durchmischte Schicht weiter ausgetrocknet. Es ist klar, daß wir nicht bei Regen diese Arbeit ausführen können, man kann aber kurz nach einem Regen oder Gewitter beginnen und dadurch oft kostbare Zeit gewinnen.

Auf den bisher nach diesem Verfahren gebauten Strecken ist es immer gelungen, die durchmischte Bodenschicht auf den gewünschten Wassergehalt auszutrocknen, so daß diese Schicht auch verdichtet werden konnte. Wichtig ist dabei, daß mit der Verdichtung nicht zu früh begonnen wird, weil nämlich der Kalk eine bestimmte Zeit zum Ablöschen braucht. Der ungelöschte Kalk vergrößert durch das Ablöschen sein Volumen ziemlich stark und eine zu früh verdichtete Bodenschicht würde durch den Ablöschprozeß wieder gelockert und zerstört. Die Praxis zeigt, daß mit der Verdichtung sechs bis acht Stunden vom Beginn der Einmischung des Kalkes an zugewartet werden sollte.

Neben dem Wasserentzug und der dadurch ermöglichten Verdichtung gibt es aber in dem Boden-Kalk-Gemisch noch andere Vorgänge.

Durch die Kalkbeimischung erfolgt eine chemische Umwandlung des Bodens. Es entsteht ein Ca-Tonboden, welcher gegenüber Wasser weniger empfindlich ist als ein anderer Tonboden, so daß seine Verwendbarkeit als Baustoff bei einem höheren Wassergehalt möglich ist.

Neben der chemischen Umwandlung erfolgt auch eine Umwandlung der Bodenstruktur, der Boden wird gekrümelt, das heißt mehrere Einzeltonteilchen mit einer großen spezifischen Oberfläche werden durch das Calcium zu größeren Teilchen zusammengeballt, deren spezifische Oberfläche kleiner ist. Diese Sekundärstruktur des Bodens ist wasserfest, das heißt sie bleibt auch erhalten, wenn Wasser hinzukommt.

Wie wirken sich nun diese noch nicht bis ins letzte abgeklärten Vorgänge der Kalk-Boden-Reaktion auf verschiedene Bodenkennziffern, wie Plastizität, Liquidität, Verdichtbarkeit, Wasserbeständigkeit, Festigkeit und Deformationseigenschaften aus?

#### 4.1 *Einfluß des Kalkes auf die Plastizitätsgrenzen*

Beim Vergleich der Fließ- und Ausrollgrenzen eines bindigen Bodens im Ursprungszustand und des gleichen Bodens, dem wir Kalk beigemischt haben, stellen wir eine Verschiebung dieser Grenzen fest. Auffallend ist dabei immer die Erhöhung der Ausrollgrenze, was für unsere Zwecke einen enormen Vorteil bedeutet.

Die Ausrollgrenze bildet ja den Übergang vom festen in den plastischen Bereich. Wenn diese Grenze nun in Richtung eines höheren Wassergehaltes verschoben wird, so wird der feste Zustandsbereich verbreitert. Wir erhalten durch die Kalkbeimischung allein – also ohne Verdichtung – eine Verfestigung des Bodens.

Die Fließgrenze dagegen wird durch eine Kalkbeimischung ganz verschieden beeinflusst. In einzelnen Böden nimmt sie stark ab, oder sie bleibt mehr oder weniger gleich hoch, so daß die Plastizität des kalkbehandelten Bodens bedeutend kleiner wird als die des Ursprungsbodens (vgl. Bild 4).

### *Einfluss des Kalkes auf die Plastizitätsgrenzen*

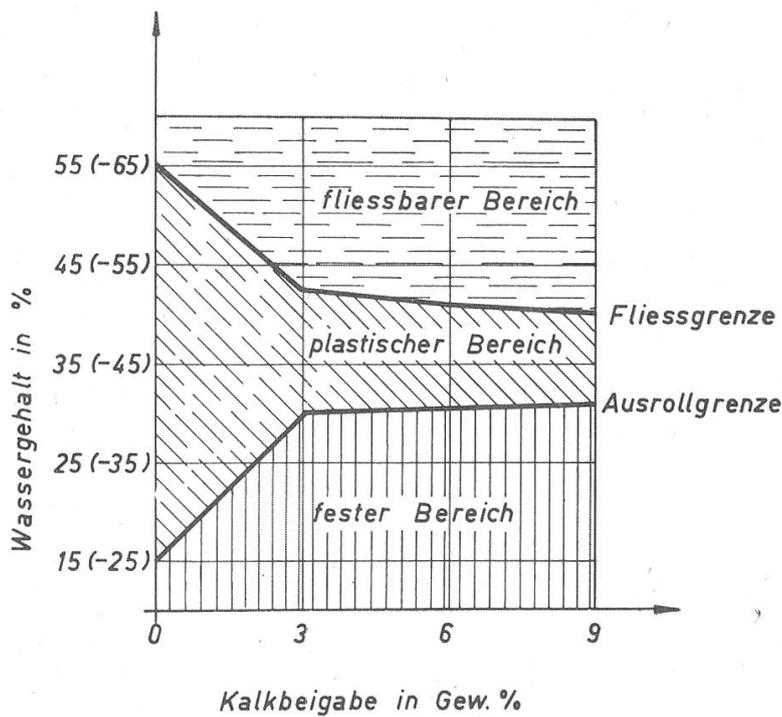


Bild 4

In anderen Böden aber wird die Fließgrenze ungefähr parallel der Ausrollgrenze in Richtung eines höheren Wassergehaltes verschoben. In diesem Falle bleibt die Plastizität des kalkbehandelten Bodens mehr oder weniger gleich groß wie beim Boden ohne Kalk, nur daß die jeweilige Grenze bei einem höheren Wassergehalt liegt (vgl. Bild 5).

## Einfluss des Kalkes auf:

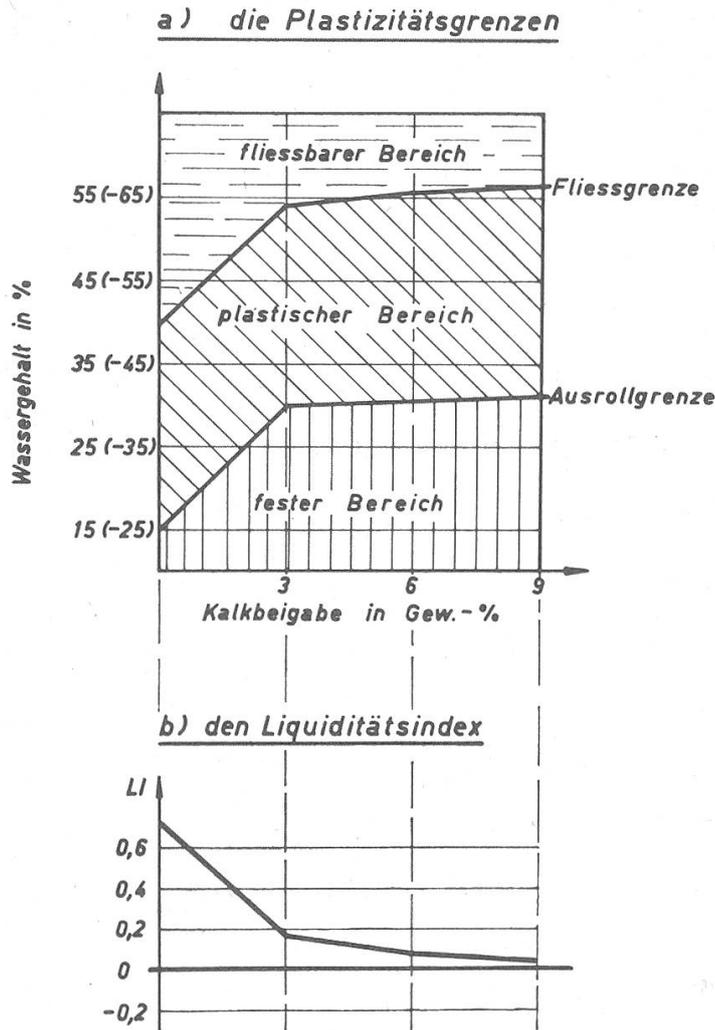


Bild 5

Weshalb die Plastizität infolge Kalkbeimischung in einem Boden kleiner wird und in einem andern gleich groß bleibt, ist noch nicht genau abgeklärt.

Für uns ist aber vorderhand vor allem die Erhöhung der Ausrollgrenze wichtig, weil wir nämlich dadurch näher an den natürlichen Wassergehalt des Bodens herankommen und der Boden fester wird.

### 4.2 Einfluß des Kalkes auf den Liquiditätsindex

Dadurch, daß eine Erhöhung der Ausrollgrenze durch Kalkbeimischung erfolgt, gibt es eine Änderung des Liquiditätsindex, da ja der Wert der Ausrollgrenze mitbestimmend ist für dessen Wert.

Und zwar wird der Liquiditätsindex durch die Erhöhung der Ausrollgrenze verkleinert, das heißt der Wert geht gegen Null oder wird sogar negativ, nämlich dann, wenn der Wert der Ausrollgrenze größer ist als der des

natürlichen Wassergehaltes. Mit anderen Worten heißt das, daß der Boden in den festen Zustandsbereich gelangt oder wenigstens nahe daran herankommt.

### Einfluss des Kalkes auf die Verdichtbarkeit

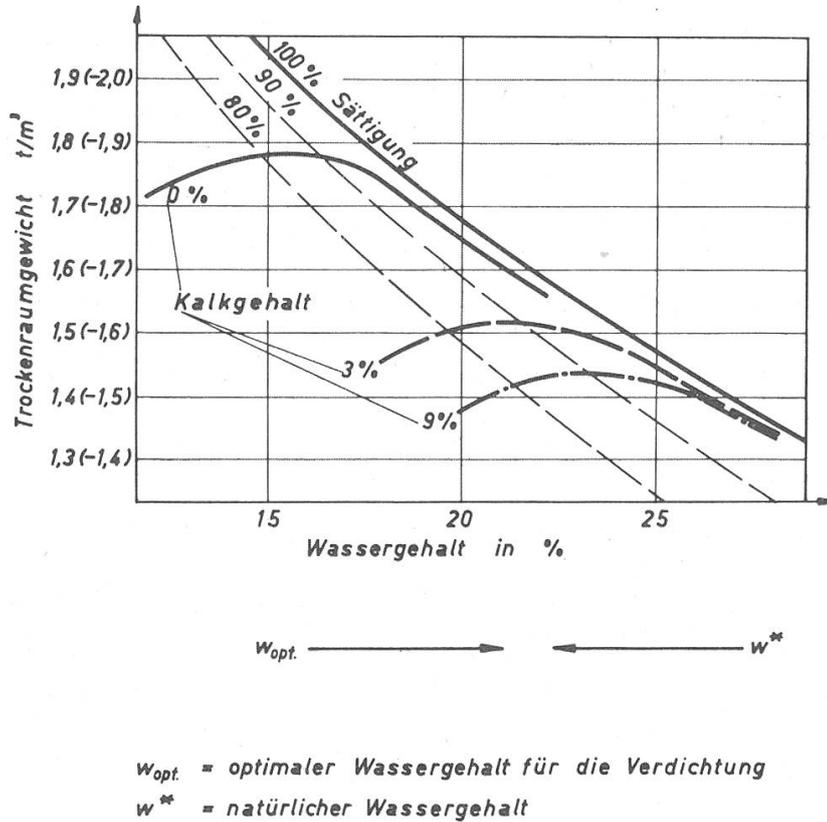


Bild 6

#### 4.3 Einfluß des Kalkes auf die Verdichtung

Wir haben bereits gesehen, daß ein stark vernäßter Boden erst dann verdichtet werden kann, wenn er zuerst ausgetrocknet wird, das heißt durch die Kalkbeimischung wird die Verdichtung erst ermöglicht. Wir haben aber auch gesehen, daß durch eine Kalkbeimischung ein bindiger Boden in seiner Struktur verändert wird, so daß der Ursprungsboden und der kalkbehandelte Boden nicht mehr der gleiche Boden ist. Es muß also der kalkbehandelte Boden eine andere Verdichtungskurve zeigen als der unbehandelte Boden. Meistens ist es nun so, daß der für die Verdichtung optimale Wassergehalt ansteigt, was in unseren Böden unbedingt ein Vorteil ist, weil wir den Boden weniger weit austrocknen müssen. Allerdings fällt dann dabei das optimale Trockenraumgewicht herab, was auf den ersten Blick als Nachteil erscheinen mag (vgl. Bild 6).

Das darf uns aber nicht stören, weil wir ja durch die Kalkbeimischung effektiv einen anderen Boden mit einer andern Verdichtbarkeit erhalten haben. Die Hauptsache ist, daß wir einen Boden auf ein Optimum verdichten können, ob dieses Optimum nun etwas höher oder tiefer liegt ist sekundär. Das bestätigen uns auch die Untersuchungen in bezug auf die Festigkeit dieser Böden.

#### *4.4 Einfluß des Kalkes auf die Festigkeit eines Bodens*

Wenn wir einen bindigen Boden optimal verdichten und ins Wasser stellen, dann nimmt dieser Boden in ein paar Stunden so viel Wasser auf, daß er wieder zerfällt. Wenn wir aber einen kalkbehandelten Boden verdichten und ins Wasser stellen, dann behält er seine Festigkeit, und zwar auch dann, wenn er monatelang im Wasser liegt.

Die kalkstabilisierten zylinderförmigen Proben von 10 cm Höhe und 5,6 cm Durchmesser, welche mindestens zwei Tage im Wasser gelagert werden, haben meist eine Druckfestigkeit bei unbehinderter Seitenausdehnung von 2 bis 4 kg/cm<sup>2</sup>. Es zeigt sich dabei, daß zwischen 3 und 9 Gewichtsprozent Kalkbeigabe keine wesentlichen Unterschiede in bezug auf die Festigkeit auftreten.

Die Zunahme der Festigkeit mit dem Alter kann nun wieder verschieden sein. In einzelnen kalkbehandelten Böden nimmt die Festigkeit im Laufe der Zeit stark zu, während in anderen Böden die Festigkeitszunahme mit dem Alter sehr gering ist. Diesbezügliche Untersuchungen sind im Gange.

#### *4.5 Einfluß des Kalkes auf die Deformationseigenschaften eines Bodens*

Auf Bild 7 sehen wir, daß die Deformationen bis zum Bruch bei kalkbehandelten Proben kleiner sind als bei optimal verdichteten Proben ohne Kalk. Zu beachten ist, daß der Wassergehalt der kalkbehandelten Proben um neun Prozent höher liegt als bei den Proben ohne Kalk.

#### *4.6 Kalkarten*

Ich habe bis jetzt immer nur von ungelöschtem Weißfeinkalk, von Branntkalk gesprochen, welcher in bindigen, stark vernäßten Böden, wie wir sie in Flysch- und Molassegebieten antreffen, verwendet werden muß. Wenn wir aber einen bindigen Boden, dessen natürlicher Wassergehalt in der Nähe des für die Verdichtung optimalen Wassergehaltes liegt, mit Kalk stabilisieren wollen, dann verwenden wir einen bereits in der Fabrik gelöschten Kalk, das sogenannte Kalkhydrat ( $\text{Ca}[\text{OH}]_2$ ).

Durch Beimischung dieses Kalkes erhalten wir die gleiche Verbesserung eines Bodens wie mit dem Branntkalk, nur daß bedeutend weniger Wasser verbraucht wird.

Der dritte Kalk, der hydraulische Kalk, gleicht in seiner Wirkungsweise mehr dem Zement, er wirkt wie ein langsam abbindender Zement, dessen Endfestigkeiten weniger hoch sind.

### Einfluss des Kalkes auf die Grösse der Deformation einer Bodenprobe

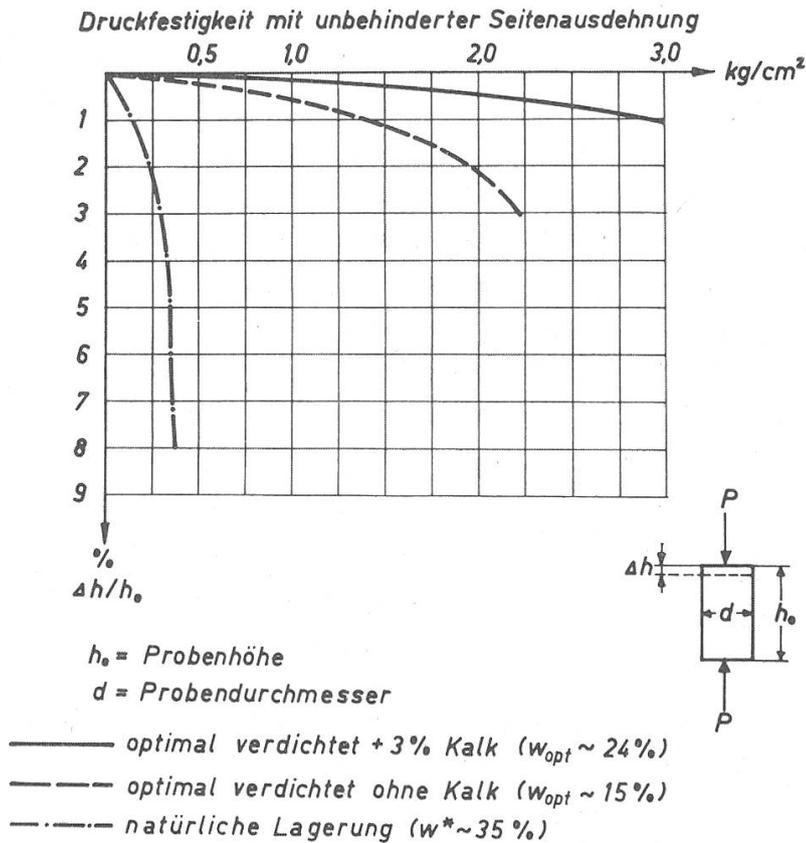


Bild 7

#### 4.7 Anwendungsgebiete der Bodenstabilisierung mit Kalk

Wo kommt eine Bodenstabilisierung mit Kalk in Frage?

Für unsere Straßentypen ist das wichtigste Anwendungsgebiet sicher die Stabilisierung der obersten Schicht des Untergrundes beziehungsweise Unterbaus, des Planums.

Dadurch, daß wir nämlich die oberste Schicht eines vernäbten Planums mit Kalk stabilisieren, erreichen wir folgende Vorteile:

1. Wir machen diese Schicht verdichtbar, dadurch tragfähig, so daß leichtere Transporte auf der kalkstabilisierten Schicht sofort nach der Durchführung der Stabilisierung erfolgen können.

2. Diese kalkstabilisierte Schicht verhindert, daß bindiger Untergrund in die Tragschicht aufsteigt und diese in ihrer Tragfähigkeit verschlechtert und frostgefährdet macht.
3. Durch die stabilisierte Schicht wird die einwandfreie Verdichtung der darüberliegenden Aufbauschichten ermöglicht, was vorher in keiner Weise möglich war, so daß auch die lastverteilende Wirkung der Kies-tragschicht erhöht wird.
4. Die größere Festigkeit der kalkstabilisierten Schicht, die bessere Ver-dichtung der Tragschichten, erlaubt eine geringere Oberbaustärke. Das hat gleichzeitig wieder zur Folge, daß wir viel kleinere Baustellentrans-porte haben, die uns früher oft ganze Straßen zuschanden gefahren haben.
5. Die kalkstabilisierte Schicht rationalisiert viele Arbeitsvorgänge auf den Baustellen selber, wie zum Beispiel motorisierte Antransporte von Sicker-röhren und Sickermaterial und andere Dinge mehr.

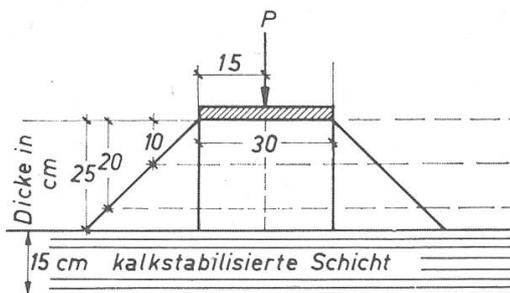
Das auf unsere Bodenverhältnisse angewandt ergibt etwa folgendes Bild: Wir dürfen annehmen, daß in einer gut verdichteten Kies-Sand-Schicht eine Last unter 45 Grad verteilt wird. Wenn wir andererseits mit einem großen Sicherheitsfaktor rechnen, dann nehmen wir für die kalkstabilisierte Schicht eine Festigkeit von 1 kg/cm<sup>2</sup> an und erhalten die in Bild 8 dargestellte Aufbau-variante.

### Abnahme der Spannungen in der Tiefe

- Annahme : - Kreisförmige Auflast - Pseudoppelrad 30 cm  $\varnothing$   
 - gut verdichtbare Tragschicht auf kalkstabilisierter Schicht mit wenigstens 1,0 kg/cm<sup>2</sup> Tragfähigkeit  
 - Lastverteilung unter 45°

$$\text{Fläche} = r^2 \pi$$

$$\text{Abnahmefaktor} = r_0^2 \pi : r_x^2 \pi$$



Radius	Faktor	Beispiel*
$r = 15,0 \text{ cm}$	1,0	6,0 kg/cm <sup>2</sup>
$r = 25,0 \text{ ''}$	0,36	2,2 ''
$r = 35,0 \text{ ''}$	0,18	1,1 ''
$r = 40,0 \text{ ''}$	0,14	0,85 ''

\* entspricht ca. 8 to Achslast

Bild 8

Der Einfluß dieser kalkstabilisierten Schicht ist auch auf den Baustellen durch Messungen ermittelt worden. Diese Messungen sind mit dem VSS-Plattengerät durchgeführt worden und sind in Bild 9 zusammengestellt.

## Bodenstabilisierung mit Kalk : Galgenen

### Einfluss des Kalkes auf die Tragfähigkeit

#### Resultate der Plattenversuche

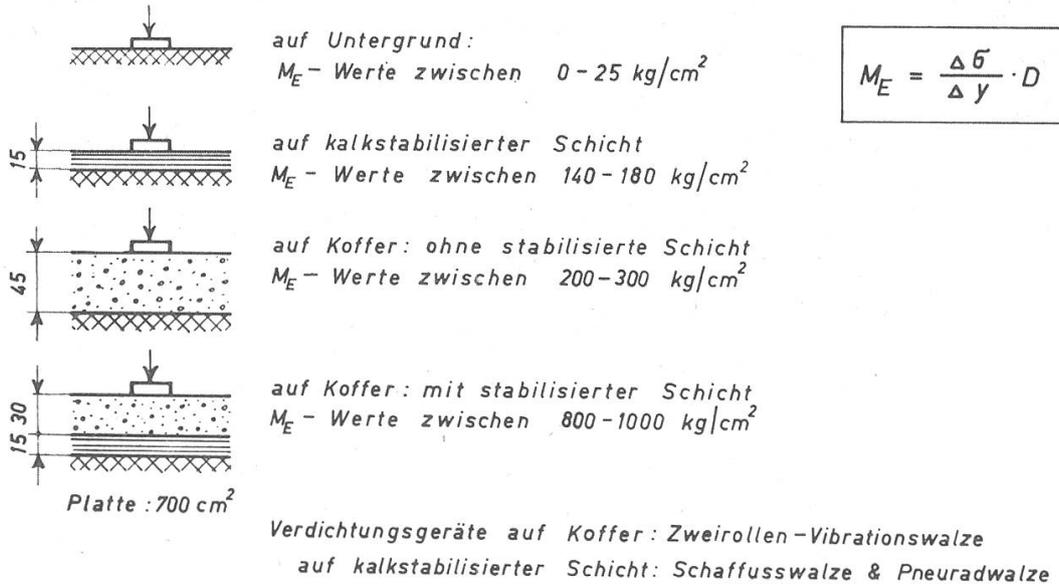


Bild 9

Die Bodenstabilisierung mit Kalk wird auch im Erdbau – und zwar vor allem im großen Straßenbau – Anwendung finden. Dies auch wieder in Gebieten, in welchen das im Abtrag anfallende Erdmaterial einen höheren natürlichen Wassergehalt besitzt als der für die Verdichtung optimale Wassergehalt beträgt. Um nicht zu große und zu lange andauernde Setzungen in einer Schüttung oder in einem Damm zu haben, darf dort nur Material geschüttet werden, das einwandfrei verdichtet werden kann, das heißt das einen mehr oder weniger optimalen Wassergehalt besitzt. Um nun zu nasses Material nicht auf Depot führen und dafür anderes schüttbares Material zuführen zu müssen, wird das zu nasse Material mit Kalk ausgetrocknet und schichtweise in Schüttungen und Dämmen eingebracht. Oft wird es in ähnlicher Weise auch von Vorteil sein, irgendein Planum, das sich infolge Regens mit Wasser vollgesaugt hat, mit Kalk zu behandeln und dadurch Zeit einzusparen, bis das Planum von selbst ausgetrocknet ist.

Die Bodenstabilisierung mit Kalk kann auch als vorbereitende Maßnahme für ein anderes Stabilisierungsverfahren dienen. Es können in einem Gebiet für eine mechanische Stabilisierung sehr günstige Umstände vorliegen, zum Beispiel das Vorhandensein einer eigenen Sandgrube. Es bestehen aber

Schwierigkeiten, den Sand dem vernäßen Boden beizumischen. In einem solchen Fall wird mit Kalk der Boden zuerst ausgetrocknet und aufgeschlossen und dadurch das Einbringen des Zuschlagbodens ermöglicht.

Andererseits haben wir auch gesehen, daß die Plastizität gewisser Böden durch eine Kalkbeimischung stark verkleinert wird, so daß eventuell eine Stabilisierung dieser durch den Kalk vorbereiteten Böden mit anderen Bindemitteln, wie Zement, Teer oder Bitumen, wirtschaftlich wird. Der Bindemittelverbrauch ist nämlich normalerweise um so höher, je größer der plastische Bereich eines Bodens ist.

Damit habe ich zum Schluß auch noch andere Stabilisierungsverfahren angedeutet, deren Bedeutung für den Bau und den Unterhalt von Wald- und Güterstraßen nicht zu unterschätzen ist.

### Résumé

L'auteur s'occupe de problèmes des routes forestières dans des conditions très difficiles de la Suisse, c'est-à-dire dans des régions de Flysch et de Molasse. Dans un premier chapitre il décrit les sous-sols de ces régions, qui sont en général très humides et n'ont qu'un petit poids sec naturel. L'analyse granulométrique au laboratoire indique toujours une grande fraction des grains fins. Les chiffres représentatifs des sols sont indiqués dans la figure 2.

Les méthodes de construction conventionnelles exigent des couches de fondations très grandes pour assurer une route satisfaisant aux exigences actuelles. Il en résulte un trafic de chantier qui détruit fréquemment le réseau routier existant.

L'auteur montre comment on peut construire mieux et plus économiquement à l'aide d'une stabilisation à la chaux. Il décrit les raisons qui suggèrent une stabilisation à la chaux et son influence favorable sur les chiffres représentatifs.

Finalement l'article indique dans quelles circonstances une application de la stabilisation est possible et comment une couche du planum supérieure stabilisée influence la construction d'une route forestière.