

Einführung in den Strassenbau



Inhalt

1. Strassen - Komponenten und ihre Funktionen.....	3
2. Erdbauplanum: Materialien und Anforderungen an die Festigkeit.....	4
2.1. Optimierung des Erdbauplanums (Standard).....	7
2.2. Optimierung des Erdbauplanums mit TERRA-3000®.....	7
3. Fundament und Struktur der Strasse.....	10
3.1. Gestaltung der Strasse.....	10
3.2. Typische Strukturen der Strassen.....	11
3.3. Entwässerung.....	13
4. Zusammenfassung.....	15

1. Strassen - Komponenten und ihre Funktionen

Abbildung 1 zeigt einen Querschnitt einer Strasse, sie besteht aus hochwertigen (üblicherweise herangeführten/fremden) Materialien über dem Erdbauplanum und schließt die Verschleißschicht, den Unterbau/obere Tragschicht sowie die untere Tragschicht ein. Die Funktion dieser Materialien besteht darin, das Erdbauplanum vor Verkehrsbelastung und Witterung zu schützen.

Voraussetzungen und Zustand des Erdbauplanums sowie die Last durch den Verkehr bestimmen hierbei ihre Anforderungen an Qualität und Stärke. In vielen Fällen kommt es vor allem auf den Zustand des Erdbauplanums und die Witterungsverhältnisse an

Jede Straße ist in Schichten gebaut, und zwar von oben nach unten:

Oberbau/Verschleißschicht	Asphaltdecke, feste Oberschicht, oder Schotter
Unterbau/obere Tragschicht	Schotter, stabilisierter und verdichteter Boden
Untere Tragschicht	Schotter, gebrochener Kies, stabilisierter und verdichteter Boden
Erdbauplanum	vorhandener Boden, stabilisiert oder unbehandelt

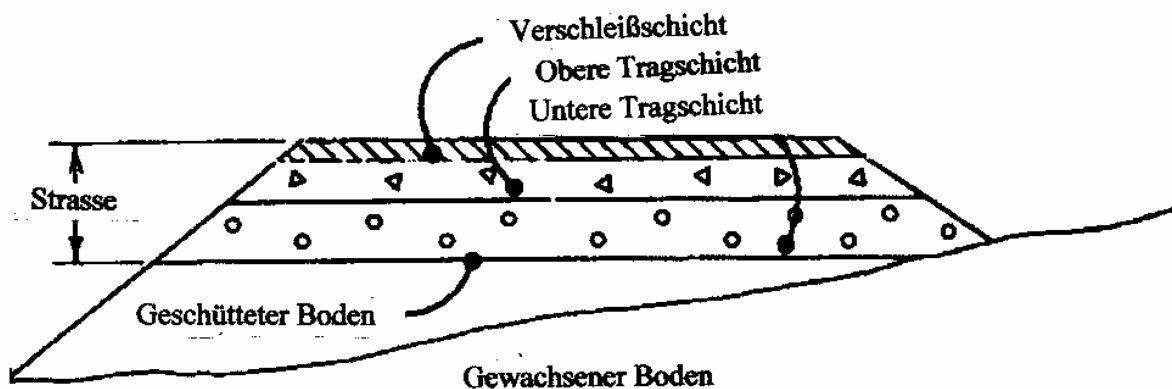


Abbildung 1 Strassen-Querschnitt (Standard)

Die Oberdecke/Verschleißschicht einer jeden Straße sollte von der höchsten Qualität innerhalb der Struktur der Straße sein, außer in solchen Fällen, wo das Erdbauplanum aus hartem, beständigem und intaktem Gestein besteht. Auf vorrangigen Straßen besteht sie für gewöhnlich aus Asphalt, in festem oder stabilisiertem Zustand. Sie muss ausreichend stark sein, um den Druckkräften der Radlasten standzuhalten, und mechanisch stabil genug, um einer Abnutzung durch den Verkehr zu widerstehen.

Der Unterbau/obere Tragschicht ist üblicherweise das hauptsächliche Element in einer Straße, außer bei solchen, deren Oberfläche aus festem Portland-Zement besteht. Es handelt sich um eine vergleichsweise dicke, hochstabile Schicht aus gut eingeebneten, saubereren, grobkörnigen und gebrochenen Stoffen.

Ungebrochenes Material wird manchmal dann verwendet, wenn natürliche Gradationen verfügbar sind. Die Qualität der unteren Tragschicht liegt zwischen der von Erdbauplanum und oberer Tragschicht, auf Grund der Tatsache, dass untere Schichten nicht die gleiche Belastbarkeit aufweisen müssen wie die obere Tragschicht.

Im Gegensatz zu diesem Standardaufbau verwendet das **TERRASYSTEM®** den vor Ort verfügbaren Boden.

2. Erdbauplanum-Materialien und Anforderungen an die Festigkeit

Die grundsätzliche Verwendbarkeit verschiedener Böden als Erdbauplanum lässt sich aus der Klassifizierung von Böden ableiten. Über die allgemeine Verwendbarkeit hinaus wird die Festigkeit des Erdbauplanums durch Verfahren ermittelt, die in Verbindung mit verschiedenen Arbeitsabläufen bei der Planung von Strassen Anwendung finden. Die meisten dieser Verfahren bei der Planung von Strassen sind Erfahrungswerte. Jeder Wert erfordert eine komplexe Ausrüstung und Tests, um die Festigkeit des Erdbauplanums zu bestimmen, und jedes Verfahren arbeitet in hochspezialisierten, analytischen Abläufen.

Beim TERRASYSTEM® zeigt ein einfacher Labortest genau, was Sie von Ihrer Strasse erwarten können.

Ein vernünftiges und gutes Verständnis von Strassenbau-Analysemethoden und der Anforderungen an die Festigkeit des Erdbauplanums ist erforderlich.

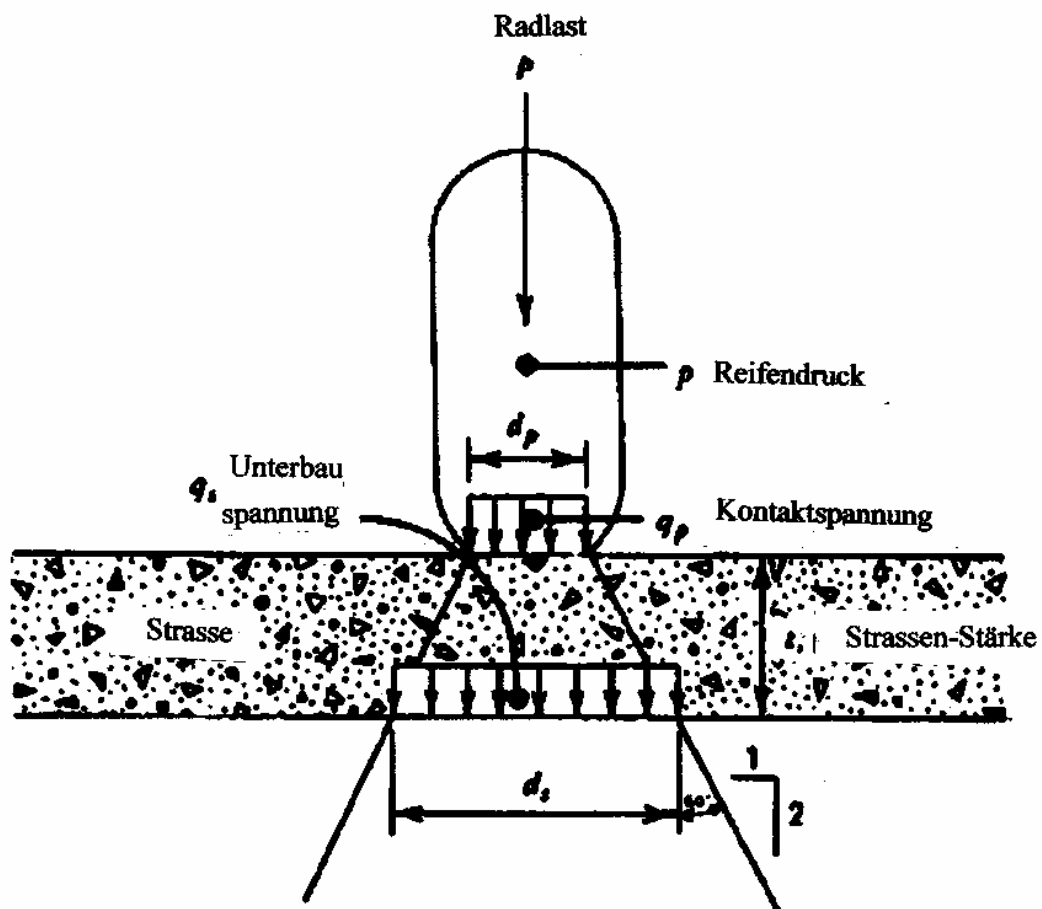


Abbildung 2 Definition der Begriffe, die den Radlast-Transfer durch die Strasse auf das Erdbauplanum bezeichnen.

Fahrzeug	Maximale Achslast (Tonnen)	Max. Radlast (Tonnen)	Reifendruck (bar)
Frontlader, leicht	13	7	3.4 -
Frontlader, schwer	54	2	3.4 -
Lastkraftwagen, Allrad, leicht30		1	3.4 -
Lastkraftwagen, Allrad, schwer	39	2	3.4 -
Schürfwagen, leicht	14	7	3.4 -
Schürfwagen, mittel	26	13	3.4 -
Schürfwagen, schwer	43	2	3.4 -

Reifendruck variiert für optimalen Betrieb bei unterschiedlicher Last und Straßenzustand.

Tabelle 1 Typische Radlasten für Baufahrzeuge

Die Belastung auf der Oberfläche einer Straße - der statische Druck - wird zur Tiefe der Strasse weitergeleitet, wobei mit steigender Tiefe der Druck beachtlich reduziert wird. Diese Verteilung breitet sich in die Tiefe aus in einem Winkel von 60 Grad bei Material, dessen Siebkurve nicht gut ausgewogen ist, und in einem Winkel von 90 Grad bei ordentlich gefestigtem Material. Darauf basierend zeigt Abbildung 3 die Formel für die Berechnung der Belastbarkeit in der Tiefe jeweils in 10 cm Schritten absteigend. Sie erlaubt eine vergleichbare Grundsatzprüfung gegenüber den tatsächlichen Werten des Bodens vor Ort und den verfügbaren Lastfaktor für diesen Boden oder irgendeine Bodenmischung auf der Grundlage des lokalen Bodens. Diese Abnahme kann ebenso ausgedrückt werden im tatsächlich erforderlichen CBR-Wert in jeder Schicht. Mit steigender Tiefe der Strasse wird die Last von der Oberfläche auf geringere Werte reduziert und daraus folgend auch die Anforderung an eine bestimmte Festigkeit. Diese statische Abnahme kann berechnet werden, wie in Abbildung 3 gezeigt.

Auflagebereich = Reduktionsfaktor = ...
 Auflage r = 15 cm r₀ = Oberfläche; r_x = Radius innerhalb der Schicht in 10 cm Schritten

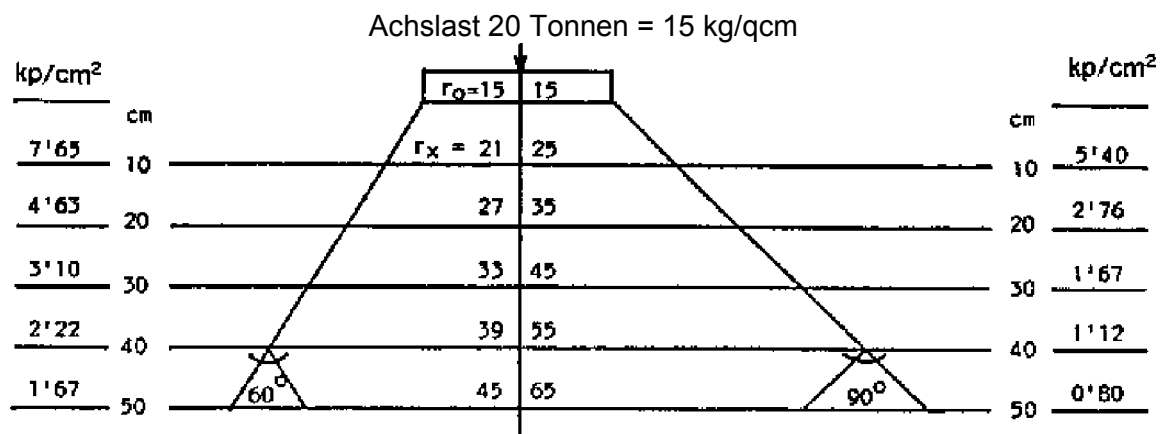


Abbildung 3 Druckverteilung in der Tiefe einer Strasse

Auf diese Weise kann jede durch den Zusatz von **TERRA-3000®** bewirkte Aufbesserung der Bodenschichten vollständige Berücksichtigung bei der Entwicklung finden. Durch solche Bodenverbesserung und den Zusatz fehlenden Bruchs kann jeder Boden ausgebaut werden zu einem Material mit hoher Verdichtbarkeit (90 Grad)

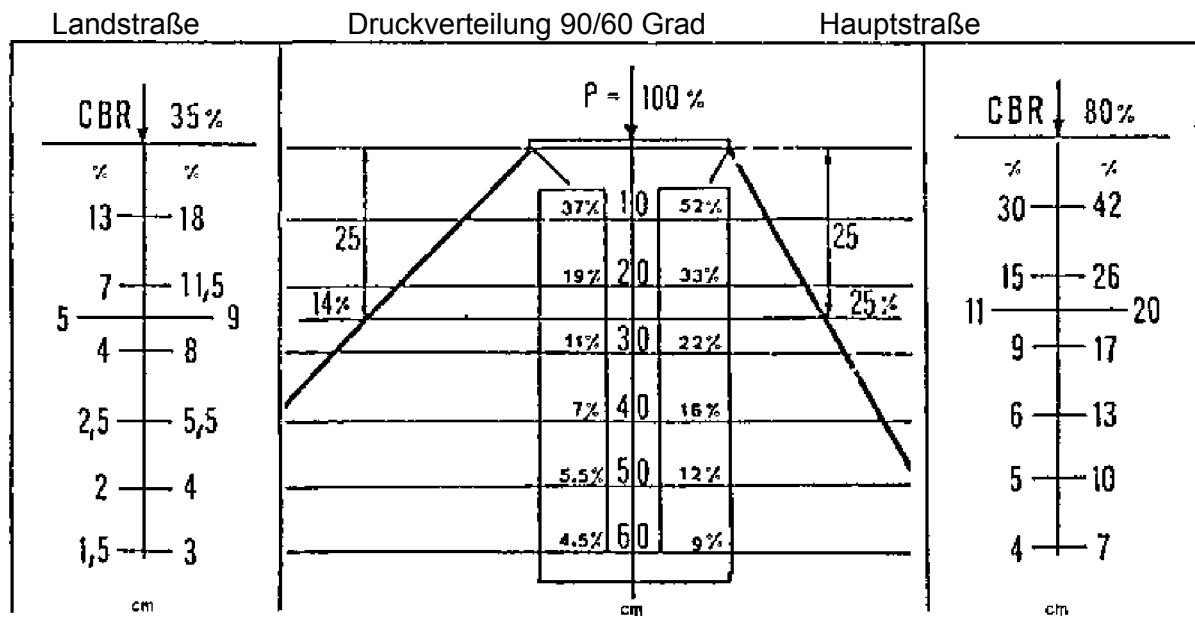


Abbildung 4 zeigt annähernd die erforderlichen CBR-Werte für tiefere Bodenschichten.

Diese Formel wird verwendet für die annähernde Ermittlung des erforderlichen CBR-Wertes für tiefere Bodenschichten in der oberen und unteren Tragschicht sowie dem Erdbauplanum. **Von der Behandlung mit TERRA-3000® können Sie einen um mindestens das 3fache bis 5fache höheren CBR-Wert bei Nässe erwarten** als bei dem selben, unbehandelten Boden, doch in mehr als 50% der Fälle erhalten Sie sogar einen noch höheren Wert.

Wichtig ist hierbei, dass diese Aufbesserung ganz einfach im Labor dargestellt und ggf. korrigiert werden kann, bevor es an den tatsächlichen Einsatz vor Ort geht - Sie können sicher sein, das zu bekommen, was Sie haben wollen.

Neben dem statischen muss natürlich auch der dynamische Druck auf die Strasse volle Berücksichtigung finden, doch ist das ein anderes Thema.

2.1. Verbesserung des Erdbauplanums (Standard)

Sofern die Strassen-Analyse ergibt, dass sie nicht über geeignete Eigenschaften verfügt, hat man zwei Optionen. Die erste ist, einen dickeren Strassenkörper zu verwenden, die zweite, das Erdbauplanum aufzubessern und zu verstärken. Eine Verbesserung des Erdbauplanums erreicht man durch Verdichtung oder durch chemische Stabilisierung.

Die Kohäsionsenergie betreffend, kann die innere Reibung in etwa in Bezug gesetzt werden zur relativen Dichte. (?) Als ein Ergebnis der Verdichtung erhalten wir einen Winkel des Anstiegs der inneren Reibung von etwa 30 auf ungefähr 37 Grad. Man erkennt, dass die Tragfähigkeit mehr als verdoppelt wird. Offenbar hat also Verdichtung eine vorteilhafte Wirkung für die Stärke des Erdbauplanums.

Eine Mischung mit Chemikalien kann die Bindekraft einiger feiner Böden erhöhen, und Kohäsion kann in sandigen Böden oder Kies gefördert werden durch den Zusatz von Zement oder Kalk.

2.2. Aufbesserung des Erdbauplanums mit TERRA-3000®

TERRA-3000® arbeitet in den meisten Fällen mit dem vor Ort vorhandenen Boden im Erdbauplanum und erhöht die Qualität dieses Bodens durch die Behandlung, so dass dieser sowohl in der unteren als auch der oberen Tragschicht verwendet werden kann, um so die Notwendigkeit, Fremdmaterial herbeizuschaffen, weitgehend zu vermeiden.

Die Möglichkeit, Fremdmaterial einfach durch den mit **TERRA-3000®** behandelten lokalen Boden zu ersetzen, ergibt sich dadurch, dass diese Behandlung das Bodenverhalten dramatisch in Richtung höherer Belastbarkeit verändert. **TERRA-3000® hält eine Aufweichung durch Wasser vom behandelten Boden fern.** Die Aufnahmefähigkeit des Auflagedrucks (CBR oder eine andere Messmethode bezogen auf den Lastfaktor) steigt erheblich auf das 3 bis 5-fache derjenigen von unbehandeltem Boden. Dieser Umstand erlaubt es, nur bereits vorhandenen Boden zu verwenden oder zumindest den Einsatz von Fremdmaterial deutlich einzuschränken.

Der Aufbau der Straße wird nicht verändert. Was Sie ändern sind Verhalten und Eigenschaften des bereits vorhandenen Bodens, so dass Sie wesentlich mehr oder sogar ausschließlich den lokalen Boden für die einzelnen Schichten nutzen können. Das erspart Ihnen Bodenaustausch, Transport- und Entsorgungskosten.

Es hängt von der Qualität des vorhandenen Bodens ab, ob es notwendig ist, lehmige oder tonige Feinstoffe bei zu sandigen Böden hinzu zu fügen oder andererseits die Verformbarkeit oder Schrumpf-/Schwellneigung bei Lehmböden durch den Zusatz von Sand oder grobkörnigem Material herabzusetzen.

Je gleichmäßiger die Siebkurve, ohne Lücken oder fehlenden Bruch, desto besser die Anfangsbedingungen für das TERRASYSTEM®

Es kostet gleich viel, einen Boden mit mangelhafter Zusammensetzung zu behandeln oder einen aufgebesserten, aber Sie erhalten eine weit günstigere Wirkung, wenn der Boden den Bedürfnissen angepasst wurde.

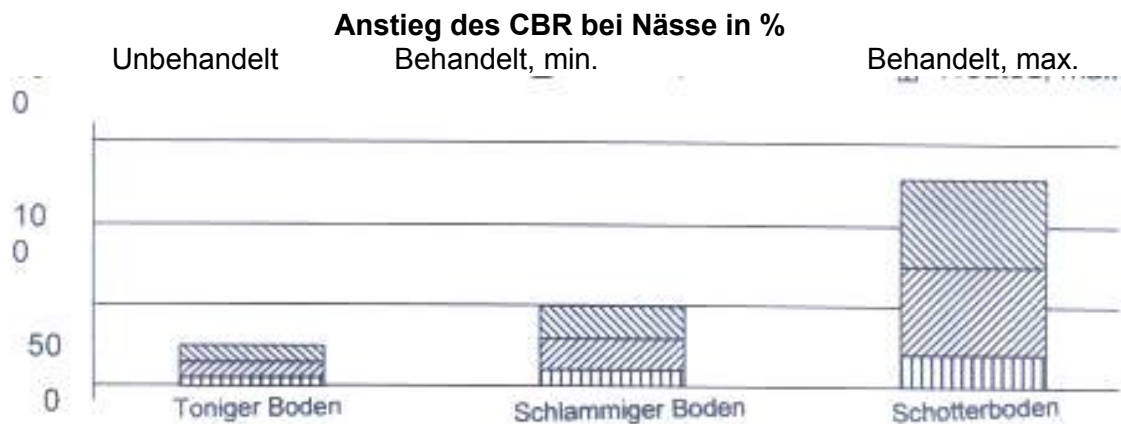


Abbildung 5 Der Zusatz von fehlendem Bruch macht die Bodenmischung mechanisch stabiler. Abbildung 5 zeigt den dadurch erzielten Fortschritt, der bei einer Anwendung von **TERRA-3000®** noch erheblich größer ist. Deshalb kann in den meisten Fällen der bereits vor Ort vorhandene Boden entweder ausschließlich oder in überwiegenden Teilen in allen Schichten der Strasse zum Einsatz kommen.

Die Optimierung der Bodenzusammensetzung ist ein wirtschaftlicher Schritt zur Anhebung der Wertigkeit des Straßenaufbaus und sollte in jedem einzelnen Fall bedacht werden. Auf Grund der Tatsache, dass das **TERRASYSTEM®** Wasser von den behandelten Schichten fernhält, können weder untere noch obere Tragschicht von diesem zerstört werden.

Es ist leicht, die angemessene Bodenzusammensetzung zu bestimmen, weil die **einfachen und aussagefähigen Versuche** in einem Speziallabor sehr genau anzeigen, was empfehlenswert ist im Hinblick auf die Bodenzusammensetzung wie auch die geeignete Behandlung mit **TERRA-3000®**. **Auf diese Weise kann jeder Bodenparameter auf die Anforderungen zugeschnitten werden** (Dichte, Druckfestigkeit, CBR, Wasserfestigkeit usw.). **Und genau dieselben guten Ergebnisse erhalten Sie an der Baustelle.**

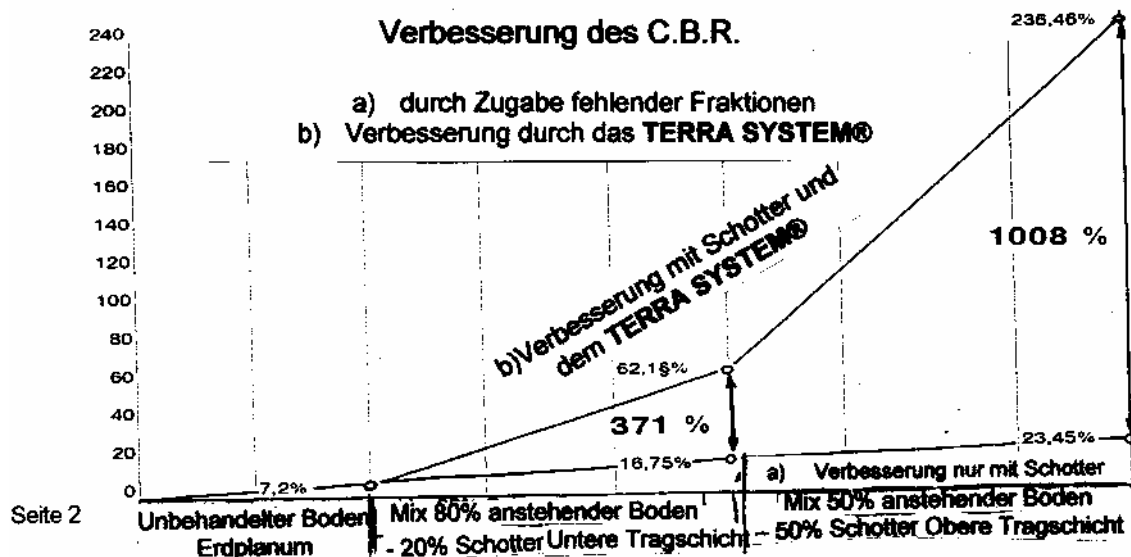
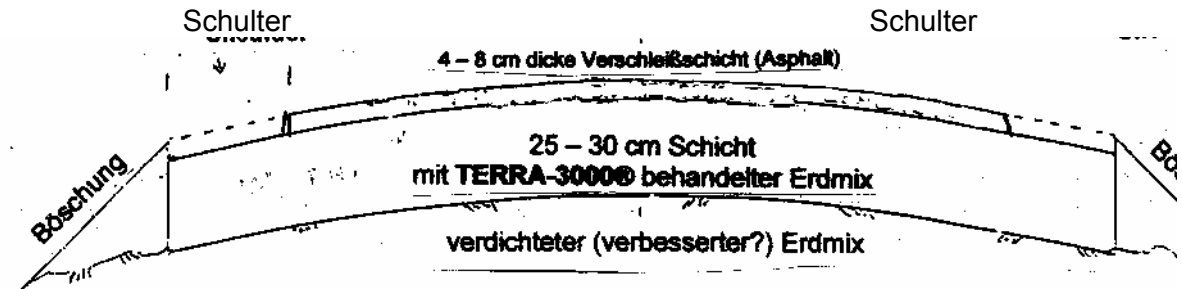


Abbildung 6 zeigt die Optimierung des CBR bei einem Aufbau ohne oder mit **TERRA-3000®**

TERRA-SYSTEM Bodenstabilisierung Betriebsges.m.b.H.

Phone: + 43-(0)3118-5110, email: terra.system@aon.at, <http://www.terra-3000.com>

Die folgende Grafik 7 ist ein Entwurf, der die oben erwähnten Fakten berücksichtigt und zeigt, dass lokaler Boden in einem Bereich bis zu einer CBR von 25% geeignet ist, in seinem CBR-Wert um 100% verbessert zu werden, sofern er korrekt mit **TERRA-3000®** behandelt wird.



- 4-8 cm dicke, feste Asphalttschicht
- 10 cm dicke Schicht gemischten Bodens, behandelt mit **TERRA-3000®**.
- 15 cm mit **TERRA-3000®** behandelte Bodenschicht
- VERDICHTETES und OPTIMIERTES ERDBAUPLANUM, soweit notwendig

Abbildung 7 zeigt den Querschnitt einer Straße, aufgebaut mit **TERRA-3000®**.

Erdbau-Spezifikation für die Behandlung mit **TERRA-3000®**

Typ "A"		Typ "B"	
Lehmiger Boden (0 - 0.2 mm, min. 15% < 0.002)	25 - 35%	Lehmiger Boden	50 - 75%
Sandboden (0.2 - 2 mm)	30 - 40%	Sandboden	25 - 50%
Kies (2 - 200 mm)	25 - 45%		

ERDBAUPLANUM: Kohäsiver lokaler Boden
verdichtet auf min. 98% mod.

AASHTO CBR 35% +		CBR 80% +	
für Landstraßen erforderlich für jede Schicht behandelt unbehandelt		für Hauptstraßen erforderlich für j. Schicht behandelt unbehandelt	

<u>4 - 8 cm Deckschicht</u>				
CBR 35	CBR 10	10 cm obere Tragschicht	CBR 80	CBR 25
CBR 15	CBR 5	15 cm untere Tragschicht	CBR 35	CBR 10
CBR 10	CBR 3	Erdbauplanum	CBR 15	CBR 5

Tabelle 2 Diese niedrigen CBR-Werte sind für die einzelnen Schichten erforderlich v o r der Behandlung mit **TERRA-3000®**.

Ergebnis: Jedes Verfahren des Straßenaufbaus kann angewendet werden. Es besteht keine Notwendigkeit, den Aufbau zu ändern, sondern nur das Material. Vorhandener Boden, ordentlich behandelt mit **TERRA-3000®**, kann Fremdmaterial ohne Risiko ersetzen. Beachten Sie jedoch, dass die Bodenmasse niemals ein einheitliches Baumaterial darstellt und an der Baustelle eine schnelle Anpassung an die jeweilige Bodenbeschaffenheit erfordert.

Dennoch ist sogar dies viel leichter bei der Verwendung von **TERRA-3000®** für die Aufbesserung der Bedingungen in einem Fahrbahnkörper. Der einfache Bodentest im Labor zeigt Ihnen, wann das notwendig ist.

3. Strassenaufbau und Grundlage

Strassen haben an der Oberfläche gewöhnlich Asphaltmischungen oder sonstige feste Beläge. Gleichwohl beinhaltet die Vorbereitung für eine solche Beschichtung den Aufbau des Erdbauplanums sowie der unteren und oberen Tragschicht. Die Herstellung dieser Komponenten hängt ab vom verwendeten Material und den Bedingungen, die die Strasse erfüllen muss.

Der Strassenaufbau hat die Aufgabe, die einwirkenden Radlasten über einen weiten Bereich des natürlichen Bodens zu verteilen. Müssten die Fahrzeuge auf dem natürlichen Boden selbst fahren, so würden bei den meisten Böden Scherdefekte in der Radbahn auftreten und sich darüber hinaus Spurrillen bilden. Die Scherfestigkeit des Bodens ist gewöhnlich nicht hoch genug, um die Last zu stützen. Zusätzlich zu dieser Lastverteilungsfunktion soll die Fahrbahn einer Schnellstraße oder die Piste eines Flugplatzes einen sicheren Betrieb gewährleisten.

Strassen werden klassifiziert als 'starr' oder 'nachgiebig', abhängig davon, wie sie Oberflächenlasten verteilen (Abbildung 8). Starre Strassen haben an der Oberfläche feste Steindecken. Diese agieren wie Richtstrahlen und verteilen die Radlasten ausgewogen einheitlich über die Decke.

Flexible Strassen - eingeschlossen sind hier fester Asphalt, stabilisiertes oder gebundenes körniges Material oder nur körniges Material - verteilen die Last über eine kegelförmige Fläche unter dem Rad, wobei die einwirkenden Belastungen mit fortschreitender Tiefe reduziert werden. Der Grad der Lastreduzierung variiert mit den Eigenschaften der Schichten und ist schwierig genau abzuschätzen.

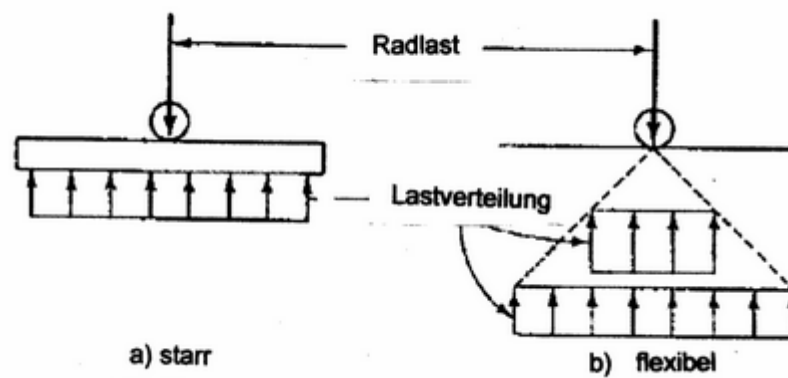


Abbildung 8 Varianten der Fahrbahnausführung

Hauptkomponenten eines Strassenaufbaus sind:

1. Oberfläche – Verschleißschicht
2. Obere Tragschicht
3. Untere Tragschicht
4. Verdichtetes Erdbauplanum
5. Natürlicher anstehender Boden

3.2. Typische Strassenstrukturen

Abbildung 9a Typischer Aufbau für ein flaches Gebiet

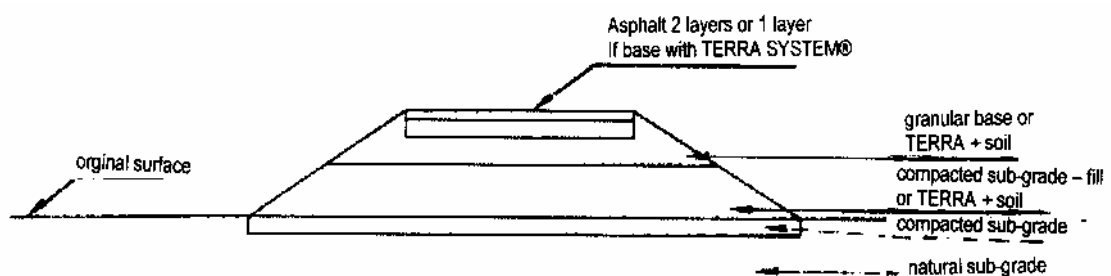


Abbildung 9b Typischer Aufbau für hügeliges Gelände - Einschnitt

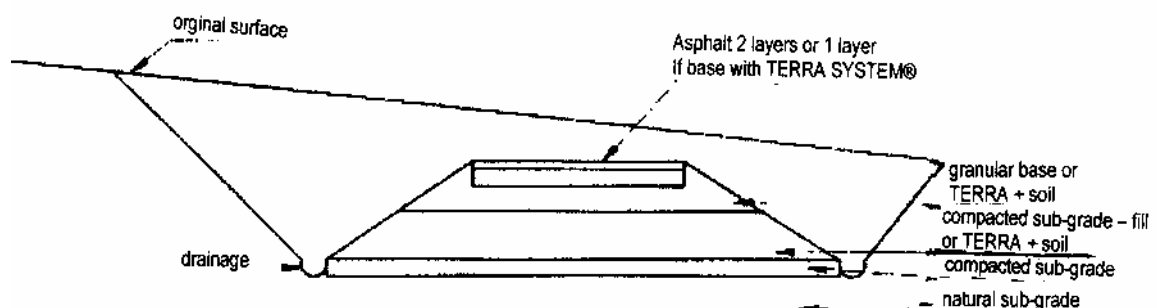
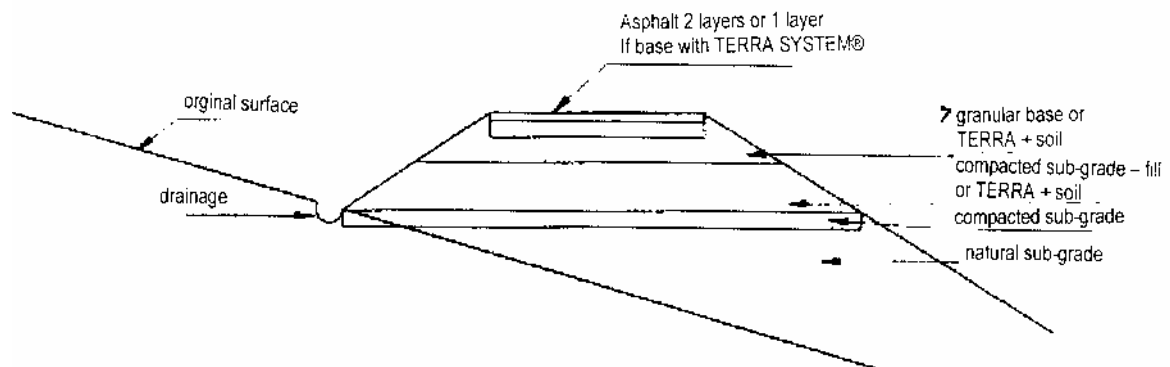


Abbildung 9c Typischer Aufbau für hügeliges Gelände - Schüttung



Obere und untere Tragschichten bestehen gewöhnlich aus grobkörnigem Material oder Zuschlagstoffen. Die in der Struktur tiefer liegende untere Tragschicht benötigt nicht das gleiche hochwertige Material wie die obere, da die Lasten hier merklich reduziert sind.

Mit TERRA-3000® verwenden Sie einfach den vorhandenen Boden.

Die Hauptfunktion der Strasse liegt darin, die durch die Fahrzeuge an der Oberfläche einwirkenden hohen Stückbelastungen so zu reduzieren, dass die auf das Erdbauplanum wirkende Last gering genug ist, um von diesem getragen werden zu können ohne Defekte zu verursachen, etwa durch Furchenbildung, übermäßige Senkung oder andere Arten von Gefahren. Der Wert der Lastreduzierung hängt hauptsächlich von der Stärke der Strasse ab. Daher ist die wichtigste Regelgröße bei der Planung der Strassenstruktur ihre Stärke. Zwei Faktoren spielen hierbei eine wesentliche Rolle:

1. Die Größe der einwirkenden Lasten
2. Die Festigkeit des Bodens im Erdbauplanum

Viele verschiedene Messverfahren für die einwirkende Last, den Festigkeitswert des Erdbauplanums und die erforderliche Strassenstruktur sind bereits vorgeschlagen und angewendet worden. Bei den Unternehmen, die sich mit der Planung von Strassen beschäftigen, herrscht nur wenig Übereinstimmung bezüglich der Testverfahren. Die Probleme sind vielschichtig. Die Radlasten variieren von leichten Personenwagen bis zu Schwertransporten mit doppelten Zwillingsreifen. Aufzunehmende Lasten schwanken von ein paar Tausend bis zu Millionen pro Jahr. Fahrdämme können entworfen werden für eine Betriebsdauer über unterschiedliche Zeiträume. Wirtschaftliche Überlegungen müssen angestellt werden, etwa ob es rationeller ist, schwächere Strassen zu bauen und sie häufig nachzubessern, oder stattdessen vergleichsweise wartungsfreie Schnellstrassen zu bauen, bei hohen Gestehungskosten. Böden können sich merklich ändern entlang eines vorgesehenen Schnellstrassen-Verlaufs, doch der Strassenaufbau kann nicht ständig geändert werden wegen der daraus resultierenden Ausführungsschwierigkeiten.

**Gerade solche Bodenveränderungen sind viel leichter zu bewältigen, wenn
TERRA-3000® angewendet wird.**

Viele Behörden, die für die Spezifikationen von Strassenplanungen zuständig sind, haben einheitliche Standards entwickelt, basierend auf ihrer Erfahrung mit Strukturen, die einen zweckentsprechenden Betrieb gewährleisten konnten. Ein solcher Standardentwurf wäre beispielsweise:

Ausfallstraßen	75 mm 150 mm 300 mm	fester Asphalt granulare obere Tragschicht granulare untere Tragschicht
Ortsstraßen	40 mm 150 mm 150 mm 150 mm	fester Asphalt granulare obere Tragschicht granulare untere Tragschicht granulare Tragschicht mit Asphaltversiegelung
Gemeindewege	150 mm	granulare untere Tragschicht

Mit **TERRA-3000®** benötigen Sie für die oben genannten Straßen - neben der Asphalttschicht oder einer Bitumen-Auflage mit Bruchstein von ca. 10 mm Durchmesser - lediglich einen Unterbau von insgesamt 250 mm, der mit dem **TERRA-3000®** behandelt wurde.

TERRA-3000® kann mit nahezu allen Arten von Böden umgehen, und das in Aussicht stehende Resultat ist bei den Labortests erkennbar, **bevor die Strasse gebaut wird.**

3.3 Entwässerung

Der große Feind jeder Straße ist das Wasser. Durch die Kapillaren dringt Wasser in die Straße ein, sie quillt auf. Durch Druck und Vibration der Fahrzeuge wird der Boden verformbar. In Gebieten, die Frost ausgesetzt sind, bildet die Feuchtigkeit im Boden Eislinnen aus.

Ein anderes Problem ist das die Straße entlang laufende Oberflächenwasser, das Wasser über die Straße bergab und die Erosion der Schultern entlang der Straße. Zunächst wäscht das Wasser die Feinstoffe hinweg, danach wirkt der Sand als Schleifstein auf die Bodenpartikel. Das Wasser schwemmt zunehmend Erde fort, solange, bis die Straße stark unterspült ist. Das Gleiche geschieht durch Staubverwehungen bei trockener Witterung.

Es gibt also einen fortdauernden Kampf gegen den Einfluss von Wasser, weil dieses den Boden aufweicht und so seine Verformbarkeit erhöht. Die Beimischung von Wasser in kohäsiven Böden ist immer mit einem mehr oder weniger auffallenden Schwelleneffekt verbunden, der die Dichte und damit die Druckfestigkeit zerstört.

Um die Bedeutung des Wassers in einer Strasse zu würdigen, muss beachtet werden, dass es aus verschiedenen Gründen - hervorgerufen durch den Feuchtigkeitsgehalt in einer Strasse - dazu neigt, sich in der Mitte unter einer festen Oberfläche zu sammeln. Der höchste Feuchtegehalt ist genau da, wo er die meisten Probleme verursacht, und nur dadurch, dass der kapillare Aufstieg des Wassers und ein Eindringen von Oberflächenwasser verhindert wird, indem man die Durchlässigkeit der Böden herabsetzt, konnte dieses Problem gelöst oder deutlich verringert werden durch die Verwendung von **TERRA-3000®**.

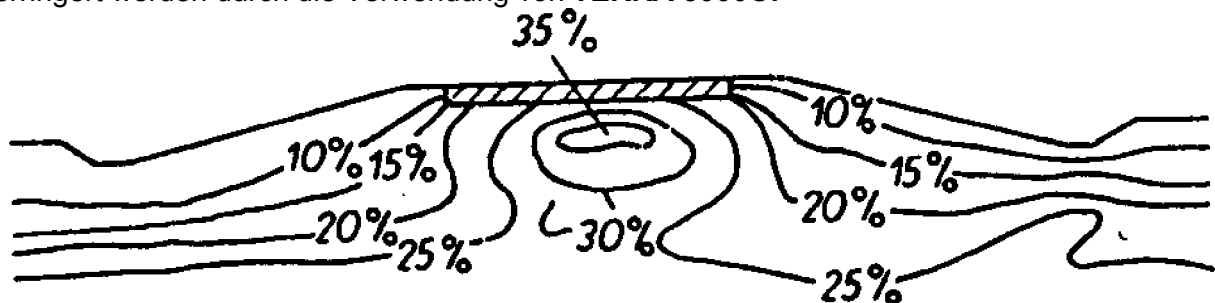


Abbildung 10 Die Feuchte hat die Neigung, sich in der Mitte unter einer harten Oberfläche zu sammeln.

Das Oberflächenwasser muss von jeder Straße abgeführt werden. In flachen Gebieten fließt das Wasser in die Umgebung. Die Flussrate ist nicht hoch, aber es kann an den Seiten stehen bleiben und eine Aufweichung der oberen und unteren Tragschicht verursachen. Die Straße muss daher höher liegen als die Umgebung, und ein Graben muss das Wasser von der Straße abführen. In hügeligem Gelände ist die Fließgeschwindigkeit hoch. Hier haben wir es nicht nur mit dem Oberflächenwasser auf der Straße zu tun, sondern ebenso mit dem Wasser am Gefälle (Abbildung 9a-9c). An der Bergseite wäscht das Wasser den Boden weg und könnte die Straße unterspülen. Auf der Talseite fließt das Wasser vom Berg über die Straße und wäscht dort den Rand weg. Aus diesem Grund brauchen wir einen Graben auf beiden Seiten der Straße, der das Wasser bis zu einem Punkt abfließen lässt, wo es keinen Schaden mehr anrichten kann. Daher ist überall unter der Straße eine Entwässerung von der Berg- zur Talseite erforderlich. Die Talseite, an der das Wasser ausfließt, muss gut präpariert sein, um ein Auswaschen der Böschung zu verhindern. Fahrbahnschäden durch Frost sind ein weiterer ernstlicher Grund für den Defekt von Strassen-Strukturen in Klimazonen mit gefrierender Witterung. Die übliche

Erscheinung auf Straßen, bekannt als "Frühlingsaufbruch", wird hauptsächlich durch Frosteinfluss in anfälligen Böden hervorgerufen.

Kapillarer Anstieg in Böden ist ein wesentlicher Faktor bei Frostschäden. Wasser steigt in Kapillarröhren über den Grundwasserspiegel an, in eine Höhe, die sich in umgekehrtem Verhältnis ändert zu der durchschnittlichen Größe der Poren in der Bodenstruktur.

Wenn der Frost im Herbst oder Winter in den Boden hinabsinkt, dann gefriert das Wasser in den größeren Poren. Das Wasser in angrenzenden, kleineren Poren gefriert jedoch nicht wegen der Herabsetzung des Gefrierpunktes in diesen sehr kleinen Wasservolumina. Dieses unterkühlte Wasser bewegt sich zu den davor gebildeten Eiskristallen hin und friert dort fest. Wird das kapillare Wasser erneuert, solange der Frost dauert, entsteht im Boden eine Eislinse. Unter Bedingungen, die eine Eislinsenausbildung begünstigen, kann diese - vornehmlich bestehend aus überschüssigem Wasser, das vom Grundwasserspiegel aufgestiegen ist - bis zu einer Stärke von 5 - 10 cm oder mehr anwachsen.

Mit fortwährendem Eindringen des Frostes in den Boden bilden sich immer mehr Eislinsen und verursachen Erhebungen in der Fahrbahndecke. Bodenerhebungen von mehr als 30 cm sind bereits vorgekommen. Senkrechte Schnitte in solche Stellen offenbaren eine Fülle von Eislinsen aus relativ klarem Eis, deren Gesamtstärke der Höhe der Erhebung entspricht.

Wenn hoch gedrückter Boden auftaut, kann die Fahrbahndecke aufbrechen, wie in Abbildung 11 dargestellt. Auf Grund des Überschusswassers und des lockeren Zustands der Straßenbettung bilden sich während des Auftauvorgangs "Frostbeulen" und nasse Schlaglöcher auf der Straßenoberfläche. Die Quelle des freien Wassers ist gewöhnlich Grundwasser, wengleich auch Sickerwasser aus höher gelegenen Bereichen eindringen ann.

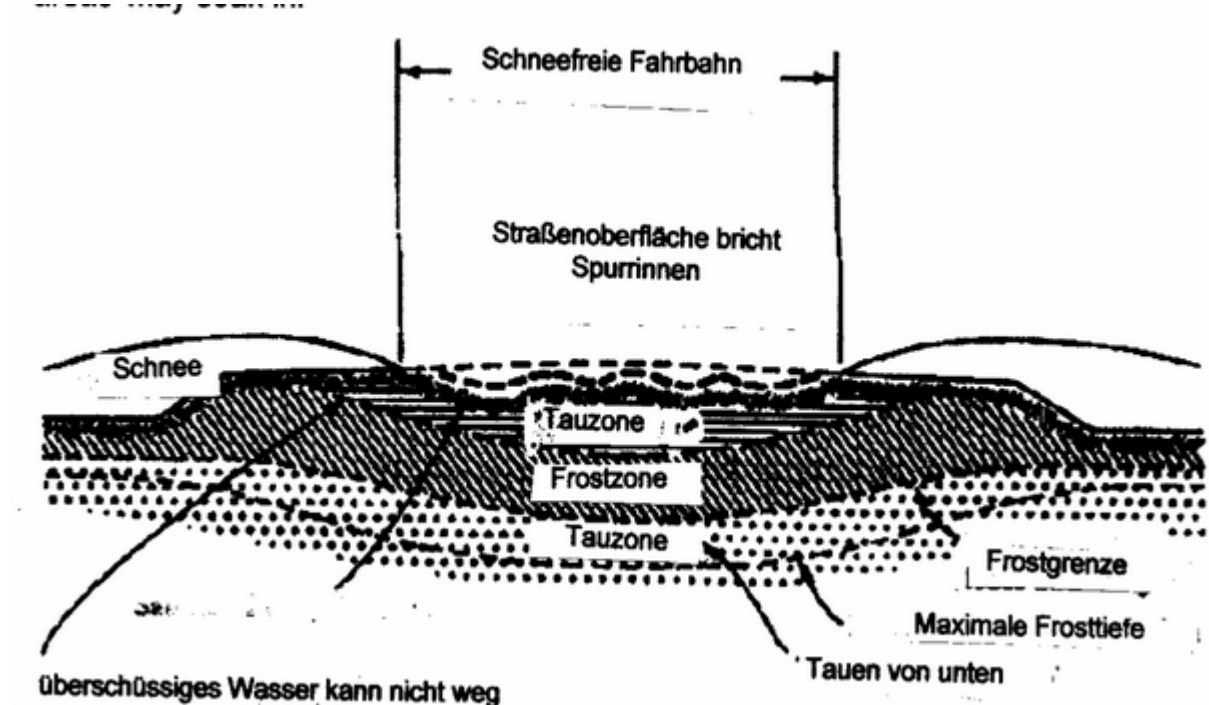


Abbildung 11 Typische Fahrbahndecke, beschädigt durch Wasser und Eis

Frostschäden, verursacht durch entsprechende Empfindlichkeit des Bodens, können vollständig unter Kontrolle gebracht werden, weil das **TERRASYSTEM®** gestattet, den kapillaren Anstieg des Wasser wie auch eine Versickerung von Oberflächenwasser in den Boden auf nahezu null zu reduzieren.

Mit TERRA-3000® behandelter Boden wird undurchlässig und verhindert Durchsickerung.

Die Gefahr von Frosteinflüssen ist erheblich herabgesetzt, wenn ein vorhandener Boden ordnungsgemäß mit **TERRA-3000®** behandelt wurde. Wird die Präsenz von Wasser reduziert, so **wird das Frost-Problem entscheidend verringert oder existiert sogar überhaupt nicht mehr.** Praktische Erfahrungen der letzten 20 Jahre in Gebieten, die schwerem und tiefem Frost ausgesetzt sind, wie den Alpen haben bestätigt, dass ansonsten frostanfällige Böden keinerlei Schäden durch Frost hinnehmen mussten.

Bei herkömmlicher Konstruktion sind obere und untere Tragschicht als gut ableitende Schichten ausgeführt, die das Wasser leicht durchlaufen kann. Hierbei würden jedoch zu viele Feinstoffe die Entwässerung blockieren und Reibung, Anschwellung und Frostschäden erzeugen. **Völlig anders gelagert sind daher die Ziele des TERRASYSTEM®** - wir füllen die Hohlräume in der oberen und unteren Tragschicht mit so vielen Feinstoffen wie möglich, um damit eine sehr dichte Konfektionierung und die gewünschte Undurchlässigkeit zu erhalten; um damit die Trocken- und Abscherfestigkeit zu bewahren und sie zu einem Element der Ausführung zu machen. 'Pumpen' der Strasse (vertikale Bewegung) kann auftreten bei durchtränkter oberer und unterer Tragschicht oder ebensolchen Planumschichten, die womöglich sogar zuvor mit Schichten aus granularem Material aufgebaut wurden. Schon während der Bauarbeiten (Walzen) beginnen Schwächung und Abtragung des verwendeten Materials und setzen sich unter Verkehrsbelastung fort.

Sogar Bodenschichten mit einem hohen Gehalt an Feinstoffen werden niemals Pumpbewegungen ausführen - als Ausgestaltung ihrer Verformbarkeit -, wenn ihr Feuchtigkeitsgehalt stabil auf einer niedrigen Ebene unter dem OMC gehalten wird. Der behandelte Boden wird zunehmend ein Mineralbeton bei Anwendung von **TERRA-3000®**.

4. Zusammenfassung

Es ist notwendig sich der Tatsache zu gewärtigen, dass ein großer Unterschied besteht zwischen Theorien einerseits und auf der anderen Seite der praktischen Umsetzung eines Projektes vor Ort. Daher ist es von enormer Wichtigkeit, dass jede Maßnahme zur Abänderung einer konventionellen Aufbaumethode uneingeschränkte Betriebssicherheit gewährleistet. Im Umgang mit Böden beschäftigen Sie sich nur an der Oberfläche mit billigem, lokal vorhandenem Material, welches bei nicht angemessenem Gebrauch sich sehr schnell als der teuerste Faktor bei einer fehlgeschlagenen Straßenkonstruktion erweist. Das **TERRASYSTEM®** kann dieses Problem beträchtlich verringern im Hinblick darauf, dass es eine dramatische Verbesserung des behandelten Bodens bewirkt, ohne all zu sehr von gleichförmiger Beschaffenheit des Bodenmaterials abhängig zu sein. Es ist wirksam unter nahezu allen Verhältnissen, auch bei veränderlicher Bodenzusammensetzung, und in den meisten Fällen mit der gleichen Menge von **TERRA-3000®**, solange die Siebkurve der vorhandenen Böden sich mehr oder weniger im Gleichgewicht befindet.

Wir haben niemals von einem vollständigen Fehlschlag einer Anwendung erfahren, selbst dann nicht, wenn die Produkte nicht sonderlich sorgfältig verwendet wurden.

Das **TERRASYSTEM®** verringert den Bedarf an schweren Verschleißschichten, da der behandelte Boden die 'Brücken'-Aufgabe übernehmen kann, die sonst von schweren Fahrbahndecken erfüllt werden müsste. Der vorhandene Boden ist immer das schwache Glied in einer Strasse und verändert seine Leistungsfähigkeit fortwährend unter den wechselnden Bedingungen von Witterung wie auch Verkehr. Beachten Sie auch, dass jede Straßenausführung im Laufe der Zeit mehr und schwererem Verkehr ausgesetzt wird als bei der Planung ursprünglich angenommen.

Jegliche Aufbesserungen der Bodenschichten durch das TERRASYSTEM® sind von Dauer, wachsen mit der Zeit und liefern einen wertvollen Beitrag für die Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit der Straße.

Portland-Zement ist ein Binder, der zur Bodenfestigung verwendet wird. Aber Zement ist empfindlich gegenüber organischem Inhalt des Bodens und seine Anwendung daher auf bestimmte sandige/grobkörnige Arten von Boden beschränkt. Die Wirkung ist unbefriedigend auf Grund der Tatsache, dass die Boden-/Zementmischung zu einer Art Erdbeton führt, der aber nicht die Qualität von Beton aufweist; es ist vielmehr eine schwache, starr gebundene Masse, die leicht unter den dynamischen Kräften des Verkehrs aufbricht und dabei zu schwimmenden (schwebenden?) Platten führt. Einmal gebrochen, kann sie nicht erneut binden.

Ein Umstand, der einen gewaltigen Unterschied zu jeder anderen Methode der Bodenfestigung aufzeigt, wurde bislang nicht erwähnt. Das **TERRASYSTEM®** erlaubt nicht nur die Behandlung des lokalen Bodens vor Ort, sondern **ebenso die Behandlung jeder Bodenmischung "betriebsintern"**. Behandeltes Material kann ohne zeitliche Einschränkungen bevorratet werden und jederzeit aus dem Lager heraus ohne irgendeinen Verlust an Wirksamkeit zur Anwendung kommen. Es ist lediglich erforderlich, das vorgemischte Bodenmaterial vor der Verdichtung nahe an den OMC zu bringen. Auf diese Weise wird es möglich, immer die gleiche Bodenmischung mit den bekannten Eigenschaften vorzubereiten und die Zeit mit Vormischung zu nutzen, wenn Bauarbeiten draußen nicht durchführbar sind (während regnerischer, feuchter Jahreszeiten).