



# DIPLOMARBEIT

## Master Thesis

### **Fugenausteilung bei Fahrbahnen aus Walzbeton**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades  
eines Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ronald Blab  
Univ. Ass. Dipl.-Ing. Dr. techn. Lukas Eberhardsteiner  
Univ. Ass. Dipl.-Ing. Kristina Bayraktarova

E230/3

Institut für Verkehrswissenschaft

eingereicht an der Technischen Universität Wien  
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Strahil Belyovski

Matr. Nr.: 1429817  
Atanas Georgiev Str. Nr. 37  
9000 Varna, Bulgarien

Wien, Oktober 2017

eigenhändige Unterschrift



## **Danksagung**

Die vorliegende Diplomarbeit entstand am Institut für Verkehrswissenschaften, Forschungsbereich für Straßenwesen an der Technischen Universität Wien im Rahmen eines Doppel-Diplom Studiums zwischen der TU Wien und der Universität für Architektur, Bauingenieurwesen und Geodäsie – Sofia.

Ich bedanke mich bei allen, die mir während meines Studiums und bei der Erstellung dieser Diplomarbeit geholfen haben.

Strahil Belyovski

## Kurzfassung

Heutzutage stehen viele Verkehrsingenieure vor der Herausforderung einer dauerhaften und qualitativen Erhaltung von Straßen. Der Bedarf an durchzuführenden Erhaltungsmaßnahmen ist groß und die Kosten für Instandsetzung von beschädigten Asphaltstraßen steigen mit dem Alter der Straße an. Eine dauerhafte Sanierungsmöglichkeit beschädigter Asphaltstraßen ist die Überbauung mit Walzbeton in der sogenannten Whitetopping-Bauweise.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Überblick über die technischen Eigenschaften und Anforderungen, Betonzusammensetzung, Anwendungsbereiche, Einbauweisen und Fugenausbildung der Betonfahrbahnen in der herkömmlichen Bauweise, in der Whitetopping-Bauweise und in der Bauweise mit Walzbeton gegeben. Das Hauptziel ist Erkenntnisse aus der vorhandenen Literatur über die Betonfahrbahnen aus Walzbeton mit einem Schwerpunkt auf die Fugen zugewinnen.

Der Walzbeton stellt eine neue Technologie zur Herstellung von Betondecken mit Asphaltstraßenbauverfahrenstechnik dar – die Walzbetonschicht wird mit einem Asphaltfertiger hergestellt und durch Vibrationen- und Gummiradwalzen verdichtet. Der Walzbeton zeichnet sich mit einer Konsistenz aus, die die frühe Verkehrsfreigabe nach dem Verdichten erlaubt. Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Fugenausteilung bei Fahrbahnen aus Walzbeton. Die Walzbetondecken werden durch Schein-, Raum- und Pressfugen unterteilt, die in der Regel aufgrund der Einbaumethode des Walzbetons nicht verdübelt oder verankert ausgeführt werden.

Im letzten Kapitel wurden zwei Modelle zur Berechnung der Fugenabstände bei Fahrbahnen aus Walzbeton vorgestellt. Danach wurde eine Parameterstudie mit Hilfe der Software StreetPave [23] durchgeführt, in der zwei Fälle bzw. Einbauvarianten zur Instandsetzung beschädigter Asphaltstraßen betrachtet wurden. Im ersten Fall wird angenommen, dass die neue Betondecke aus Walzbeton ohne Verbund zu der alten Asphaltenschicht hergestellt wird. Hier wurde der Einfluss von drei Parametern analysiert – die Restdicke und das Elastizitätsmodul der Asphaltenschicht und die Biegezugfestigkeit des Betons. Im zweiten Fall wird angenommen, dass die Betondecke aus Walzbeton mit Verbund zu der Asphaltenschicht hergestellt wird.

Die vorliegende Arbeit kann als eine gute Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten über die Dimensionierung und Optimierung der Einbaumethode bei Fahrbahnen aus Walzbeton dienen. Weitere Punkte mit Entwicklungspotential sind die Verbesserung der Betonrezeptur, so dass zufriedenstellende Oberflächeneigenschaften erzielt werden können.



## Summary

Nowadays many transport engineers face the challenge of the quality and long-term maintenance of the roads. The need for new maintenance solutions is high and the maintenance costs are constantly growing along with the aging of the roads. One option for long-term maintenance of deformed asphalt pavements is the laying of a wear layer with roller compacted concrete (RCC) under the so-called White-topping method

A review of the technical properties and requirements, concrete composition, application areas and the way of construction and making the joints in three types of concrete pavement - classical concrete pavements, concrete overlays under the Whitetopping method and roller compacted concrete, is presented in the current study. The main purpose is to provide information on roller compacted concrete pavements with a focus on the joints.

Roller compacted concrete represents a new technology for laying concrete onto the asphalt road construction with an asphalt finisher like in the placement of traditional asphalt layers then the finished pavement is further compacted by vibratory and pneumatic rollers. RCC is characterized by its consistency, which allows immediate opening of the road right after the compaction of the pavement. The emphasis in this work is the design and implementation of joints distribution in roller compacted concrete pavements. The overlay is divided into warping, expansion and contraction joints, which are generally not fixed with dowels or anchorages.

In the last chapter, two models are considered to calculate the distance between joints in the roller compacted concrete pavement. A study of the parameters that effect the thickness and distance between the joints using the StreetPave software [23] has been carried out. Two cases are examined for repairing a deformed asphalt road. In the first case it is assumed that the new concrete overlay is unbonded to the old asphalt layer. The effect of the three parameters is analyzed - the remaining thickness of the asphalt, the elastic modulus of the existent asphalt layer and the flexural strength of the concrete obtained on the 28th day after its application. In the second case it is supposed that the RCC concrete layer is bonded to the asphalt layer and the effect of the same three parameters is analyzed.

The present work can serve as the basis for future studies on designing and optimization of the methods for the application of RCC pavements. There is study potential in the area of developing and improving of the concrete recipe, so that satisfactory surface qualities can be achieved.

## Резюме

В днешно време много транспортни инженери са изправени пред предизвикателството за качествено и дълготрайно поддържане на пътищата. Нуждата от нови решения за поддържане е голяма, а разходите за поддръжка растат непрекъснато заедно с остаряването на пътищата. Една опция за дълготрайно поддържане на деформирани асфалтови настилки е изпълнението на износващ пласт с валиран бетон по така наречения Whitetopping-метод

В настоящата работа е направен преглед върху техническите качества и изисквания, състав на бетона, области на приложение, начин на строителство и изпълнение на фугите при класическите бетонови настилки, при метода на Whitetopping и при строителство с валиран бетон. Главната цел е извеждането на информация за настилките от валиран бетон с акцент върху фугите.

Валираният бетон представлява една нова технология за полагане на бетонови настилки чрез техниката за изпълнение на асфалтови пътища – пластът от валиран бетон се полага с асфалтополагач и се уплътнява чрез вибрационни и пневматични валеци. Валираният бетон се характеризира с неговата консистенция, която позволява бързо отваряне на движението след уплътняване. Акцентът в тази работа е проектирането на фуги при настилките от валиран бетон. Настилките се разделят на привидни, натискови и разширителни фуги, които по правило не са закрепени с дюбели или анкериани.

В последната глава се пресмятат два модела за изчисление на разстоянието между фугите при настилки от валиран бетон. Проведено е едно изследване на параметрите, които оказват влияние върху дебелината и разстоянието между фугите с помощта на софтуера StreetPave [23]. Разглеждат се два случая, или по-скоро варианти за ремонт на деформиран асфалтов път. В първия случай се приема, че новата настилка няма да е свързана със стария асфалтов пласт. Анализира се влиянието на три параметъра – остатъчната дебелина на асфалта и неговият еластичен модул, и модулът на якост на бетона на 28-мия ден след полагането. Във втория случай се анализира настилка, където двата пласта са свързани

Настоящата работа може да послужи за основа на бъдещи проучвания върху оразмеряването и оптимизирането на методите за изпълнение на настилките от валиран бетон. Теми с продължение за развитие са подобряване на рецептата на бетона, така и подобряване на качествата на повърхността.

# Inhaltverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>9</b>
1.1 Ausgangslage und Problemstellung .....	9
1.2 Zielsetzung, Inhalte und Abgrenzung der Arbeit .....	11
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>13</b>
2.1 Eigenschaften von herkömmlichen Betonfahrbahnen .....	13
2.1.1 Technische Eigenschaften und Anforderungen .....	13
2.1.2 Anwendungsbereiche .....	15
2.1.3 Betonherstellung und Einbauweisen .....	18
2.1.4 Fugenausbildung .....	21
2.1.5 Vorteile und Nachteile gegenüber Asphaltstraßen .....	25
2.2 Instandsetzung von Asphaltstraßen durch eine zusätzliche Aufbetonschicht – White Topping .....	25
2.2.1 Technische Eigenschaften und Anforderungen .....	26
2.2.2 Anwendungsbereiche .....	28
2.2.3 Einbauweisen .....	29
2.2.4 Fugenausbildung .....	31
<b>3 Fahrbahnen aus Walzbeton (RCC) .....</b>	<b>33</b>
3.1 Betonzusammensetzung .....	33
3.1.1 Zement .....	34
3.1.2 Gesteine .....	34
3.1.3 Wasser .....	35
3.1.4 Chemische Zusatzstoffe .....	35
3.2 Technische Eigenschaften und Anforderungen .....	35
3.2.1 Festigkeit .....	35
3.2.2 Ermüdung .....	35
3.2.3 Frostbeständigkeit .....	36
3.2.4 Schwinden und Permeabilität .....	36
3.3 Anwendungsbereiche .....	37
3.3.1 Industrielle Verkehrsflächen .....	37
3.3.2 Urbane Verkehrsflächen .....	38
3.3.3 Hochrangiger Straßenbau .....	39
3.3.4 Multi-Layer Pavement Systems for High-Speed Uses .....	40
3.4 Einbauweisen .....	40
3.5 Vor- und Nachteile gegenüber herkömmlichen Betonüberdecke .....	44

<b>4 Fugenausteilung bei Fahrbahnen aus Walzbeton .....</b>	<b>46</b>
4.1 Arten von Fugen und Besonderheiten .....	46
4.1.1 Längsfugen .....	46
4.1.2 Querfugen .....	46
4.1.3 Ab- und Anschluss Fugen .....	47
4.2 Einflussfaktoren auf der Fugenwirksamkeit .....	47
4.2.1 Fugenart .....	48
4.2.2 Rissbreite und Temperatur .....	48
4.2.3 Fugenabstand .....	49
4.2.4 Verkehrslast .....	49
4.2.5 Andere Faktoren .....	49
4.3 Planung und Ausbildung .....	49
4.3.1 Theoretische Modell von Pittman .....	50
4.3.2 Fugenausbildung mit der Hilfe von Streetpave 12 .....	55
4.3.2.1 Ergebnisse aus der Bemessung beim Einbau mit Walzbeton ohne Verbund .....	57
4.3.2.2 Ergebnisse aus der Bemessung beim Einbau mit Walzbeton mit Verbund .....	60
4.3.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	62
<b>5 Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>63</b>
<b>6 Anhang .....</b>	<b>65</b>
6.1 Abbildungsverzeichnis .....	65
6.2 Tabellenverzeichnis .....	66
6.3 Literaturverzeichnis .....	67

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Heutzutage stehen viele Verkehrsingenieure vor der Herausforderung einer dauerhaften und qualitativen Erhaltung von Straßen.

Der Bedarf an durchzuführenden Erhaltungsmaßnahmen ist groß (siehe Abb. 1). Im österreichischen Landes- und Gemeindestraßennetz sind vor allem Asphaltfahrbahnen instandzuhalten, weil hier nur ein sehr geringer Anteil als Betonfahrbahn ausgeführt ist.

Eine Zustandserfassung des österreichischen Landesstraßennetzes (ca. 33700 km) wurde von emeritierten Univ. Prof. Johann Litzka im Jahre 2011 durchgeführt. Sie zeigte, dass 22 % der untersuchten Straßen einen schlechten bis sehr schlechten Zustand haben [5]. Ein Update der Ergebnisse von 2015 prognostizierte eine Erhöhung auf 30 %, wenn keine zusätzlichen Mittel in die Erhaltung investiert werden.

Ähnliches gilt für das knapp 98 000 km umfassende Gemeindestraßennetz. Obwohl es hier keine genauen Studien zum Straßenzustand und Erhaltungsbedarf gibt, sind bei einer typischen Lebensdauer von Asphaltbefestigungen von 25 Jahren regelmäßig Erhaltungsmaßnahmen notwendig.

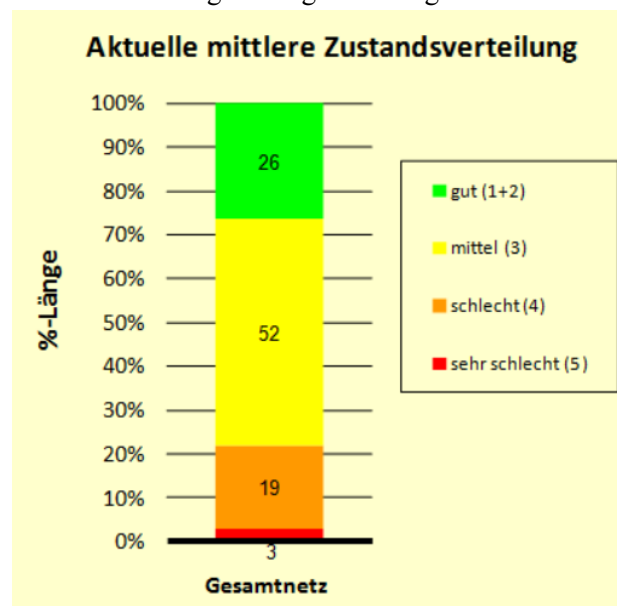


Abb. 1: Zustandsverteilung der österreichischen Landesstraßen [4]

Die herkömmliche Oberbauverstärkung von Asphaltfahrbahnen mit bituminösen Schichten ist bisher in der RVS 03.08.64 – Oberbauverstärkung von Asphaltstraßen (1992) geregelt. Die klassische Instandhaltung bzw. -setzung mit bituminösen Schichten stellt für Asphaltfahrbahnen nicht immer die wirtschaftlichste Lösung dar (Bitumenpreis ist Schwankungen ausgesetzt, temperaturabhängiges Verhalten, technische Lebensdauer von 20 Jahren) [4].

Unter diesen Vorzeichen stellen Erhaltungsmaßnahmen in Betonbauweise eine gute Alternative zu den klassischen bituminösen Erhaltungsmaßnahmen dar. Der Einbau von Betondecken, mit geringeren Schichtdicken gegenüber der herkömmlichen Bauweise, auf schadhafte bzw. unterdimensionierte Verkehrsflächen wird auch **Whitetopping-Bauweise** genannt.

Durch die Anwendung von Whitetopping können bestehende Asphaltstraßen vollwertig instandgesetzt werden und ihre Straßeneigenschaften dauerhaft verbessert werden. Es werden vergleichsweise

wenig Ressourcen verbraucht: Whitetopping kann – abhängig vom ursprünglichen Asphaltfahrbahnzustand – bereits ab einer Dicke von 10 cm die geforderten Tragfähigkeiten erreichen.

Im letzten Jahrzehnt steigt die Anwendung der Whitetopping-Bauweise mit Walzbeton (RCC – Roller Compacted Concrete) an. Sie wurde erstmals in Schweden in den 30er - Jahren des 20. Jahrhundert verwendet. In den 80er - Jahren des 20. Jahrhundert wurde diese neue Bauweise (Sanierungsart) von US Army Corps of Engineers erforscht. Eine Erhöhung der Nutzung der Fahrbahnen aus Walzbeton wurde in den letzten 30 Jahren in der Industrie, so wie im öffentlichen Bereich bemerkt [1]. Mehr Straßen mit Walzbeton werden in den nächsten Jahren gebaut werden. Die Einbaumethode und die stürmische Entwicklung dieser Fahrbahnen bringt, dass es in den nächsten Jahren mehr auf ihrer Anwendung für Sanierung und Instandhaltung des existierten Straßennetzes unterstreicht (Abb. 2).

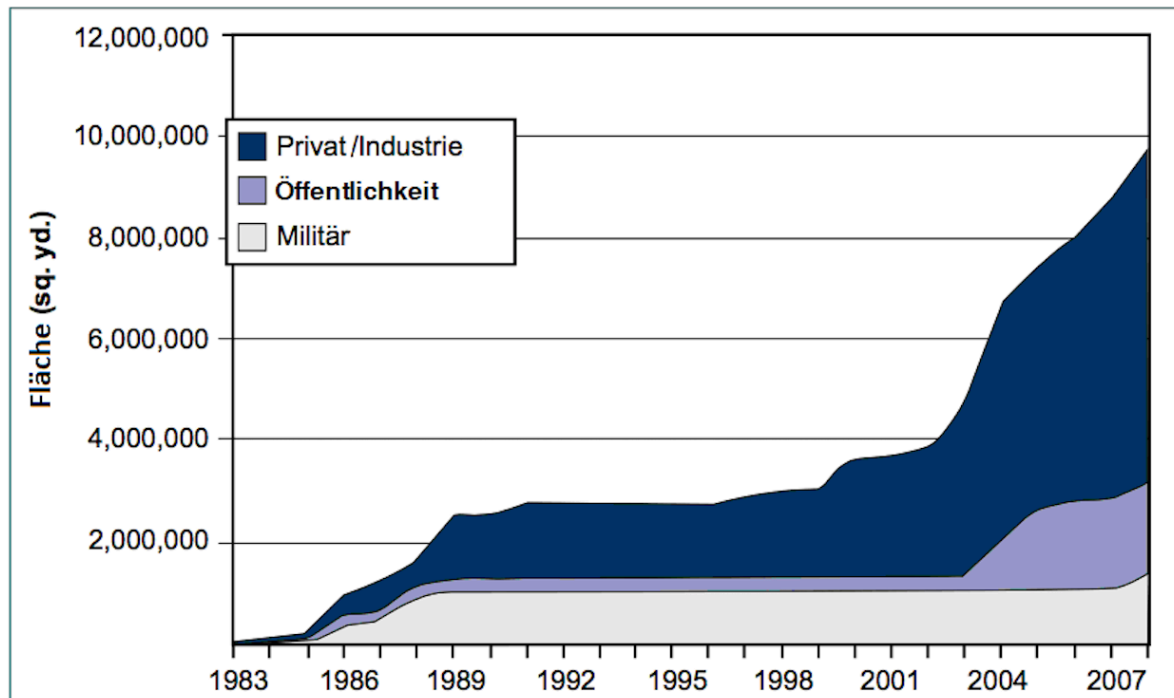


Abb. 2: Entwicklung der Anwendung von Walzbeton [1]

Eine gute Möglichkeit für Instandhaltung und -setzung von beschädigten Fahrbahnen aus Asphalt ist die Whitetopping-Bauweise. Diese Bauweise wird durch schnellen Einbau und geringe Betriebskosten charakterisiert. Eine Schicht mit Dicke zwischen 100 und 200 mm wird auf gefräster Grundfläche hergestellt. Die Oberflächeneigenschaften werden durch die Whitetopping-Schicht verbessert. Mit dieser Methode kann jede Verkehrsfläche instandgesetzt werden (Abb. 3 und Abb. 4) [3].

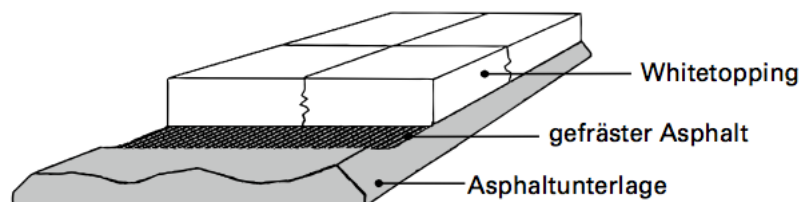


Abb. 3: Whitetopping auf Asphalt [3]

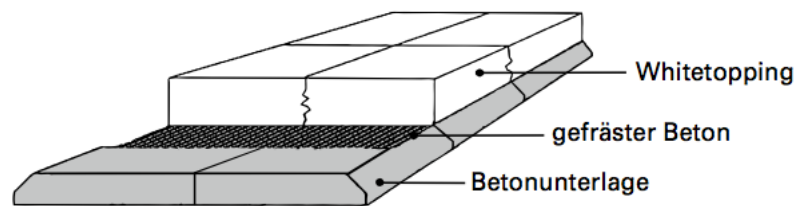


Abb. 4: Whitetopping auf Beton [3]

Die richtige Auswahl der Baustoffe ist eine Voraussetzung für eine langlebige und dauerhafte Instandsetzung mit der Whitetopping-Bauweise. Die Betonzusammensetzung ist an die jeweiligen Anforderungen abzustimmen. In der Praxis wurden viele Einsätze festgelegt. Die typische Festigkeitsklasse ist C 30/37 oder C 35/45. Der W/B-Wert muss weniger als 0,4 sein. Mit Hilfe von Zusatzmitteln können verschiedenen Betonnachteile vermieden werden. Die Betoneigenschaften wie Zug- und Druckfestigkeit können mit der Verwendung von Zusatzstoffe und Fasern verbessert werden. Der Beton kann auch in verschiedene Farben durch Pigmente hergestellt werden [3]. Die Fahrbahnfarbe beeinflusst die Verkehrssicherheit, den Albedowert und die visuellen Eigenschaften.

## 1.2 Zielsetzung, Inhalte und Abgrenzung der Arbeit

Der Bedarf an durchzuführenden Erhaltungsmaßnahmen und die Suche nach wirtschaftlicher Erhaltungstechnologie stellt den Walzbeton als eine neue Möglichkeit dar. Diese Arbeit ist eine Zusammenfassung von einer literarischeren Erforschung über die vorhandene Literatur über den Walzbeton, die Fahrbahnen aus Walzbeton und die Whitetopping-Technologie mit einem Schwerpunkt auf den Fugen.

Die Arbeit besteht aus drei Hauptkapiteln. Das Kapitel „Stand der Technik“ besteht aus zwei Nebenkapiteln – die herkömmlichen Betonstraßen und die Instandsetzung mit Whitetopping. Der erste Teil über die herkömmlichen Betondecken ist eine Einleitung zu den anderen Typen von Betondecken. Die technischen Eigenschaften und Teile, die Anwendungsgebiete und die Einbautechnologie sind beschrieben. Die herkömmlichen Betondecken sind eine Grundlage für alle anderen Typen von Betonstraßen. Das andere Nebenkapitel stellt eine Instandsetzungsmöglichkeit von beschädigten Asphaltdecken durch eine Betonschicht vor. Es wird die technischen Eigenschaften und Komponenten, die Anwendungsgebiete und die Einbaumethode beschreiben. Ein Schwerpunkt in der Arbeit ist die Instandsetzung von beschädigten Asphaltstraßen.

Das nächste Kapitel „Fahrbahnen aus Walzbeton (RCC)“ stellt den Walzbeton vor. Die Schwerpunkte beschreiben die Betonzusammensetzung, die technischen Eigenschaften, die Anwendungsbereiche und die Einbauweise. Diese Kapitel fasst die Information über die Fahrbahnen aus Walzbeton zusammen und stellt die Vor- und die Nachteile gegenüber den herkömmlichen Betonstraßen und die Instandsetzung von beschädigten Verkehrsflächen vor. Die Daten stammen aus verschiedenen Erforschungen und praktischen Vorlagen von verschiedenen amerikanischen Instituten. Die US Army Corps of Engineers macht die erste große Forschungen über die Anwendung von Walzbeton bei dem Einbau von Verkehrsflächen. Die Fahrbahnen aus Walzbeton hat eine stürmische Entwicklung in den letzten 30 Jahren durch seine technischen und wirtschaftlichen Eigenschaften.

Das letzte Kapitel „Fugenausbildung bei Fahrbahnen aus Walzbeton“ stellt das Thema von der Arbeit vor. Dieser Teil fasst alle Daten über die Fugen bei Walzbetonverkehrsflächen zusammen und kann in einen theoretischen und praktischen Teil geteilt werden. Die theoretische Erklärung sammelt alle Daten über die Fugen – Arten, technischen Eigenschaften, konstruktive Grundlagen und Leistung. Der praktische Teil des Kapitels beschreibt die Entwicklung von der Bemessung der Fugenabstände. Das theoretische Model von Pittman stellt einen Algorithmus dar, um den Fugenabstand zu berechnen, infolge

die Spannungen in dem Walzbeton. Diese Methode ist eine Grundlage für die zukünftige Entwicklung von Software zur Bemessung von Walzbetonverkehrsflächen. Dieser Teil enthält auch verschiedene Berechnungsmodelle von zwei Haupttypen von Walzbeton – Walzbetonstraße ohne Verbund und Walzbeton mit Verbund. Der Fall „mit Verbund“ teilt sich infolge der Fugenabständen. Die Besonderheiten sind in dem Kapitel beschrieben und zusammengefasst. Es gibt einen großen Unterschied zwischen die amerikanische und die europäische Erfahrung bei dem Walzbeton. Die Arbeit ist praktisch orientiert und fasst eine große Menge von amerikanischen Erforschungen zusammen.



## 2 Stand der Technik

### 2.1 Eigenschaften von herkömmlichen Betonstraßen

Betonstraßen sind starre, biege feste Konstruktionen, die aus bewehrten oder verdübelten und verankerten Betonplatten bestehen. Sie charakterisieren sich mit günstiger Lastübertragung auf den Untergrund, guten Dauereigenschaften, Verformungsstabilität, Verkehrssicherheit und geringem Erhaltungsaufwand. Abhängig von der konstruktiven Ausführung gibt es grundsätzlich vier Deckensysteme für Betonfahrbahnen – unbewehrte Betondecken, schlaff bewehrte Betondecken mit Fugen, durchgehend schlaff bewehrte Betondecke und vorgespannte Betondecke [4].

#### 2.1.1 Technische Eigenschaften und Anforderungen

Betonfahrbahnen sind unter Beachtung wesentlicher Konstruktions- und Herstellungsprinzipien kosteneffiziente und langlebige Bauweisen. Um dies zu gewährleisten, sind aber bekannte Grundsätze bei der baulichen Gestaltung, eine ausreichende Bemessung der Konstruktion im Hinblick auf die jeweiligen verkehrlichen und klimatischen Bedingungen und die qualitätsgesicherte Herstellung und Nachbehandlung der Betondecke zu beachten. Die Fahrbahnoberfläche grenzt nach oben die Straßenkonstruktion ab. Die Gebrauchseigenschaften der Fahrbahndecke hängen von der Baustoffauswahl ab. Die materialtechnologischen Eigenschaften der Fahrbahn beeinflussen die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort sowie die Umweltbelastung und den Energieverbrauch der Fahrzeuge. Die Qualität der Deckschicht/Oberflächeneigenschaften hängen von den angesetzten Erhaltungsmaßnahmen ab und sind nicht konstant über die Zeit [4]. Weitere Faktoren, die eine Auswirkung auf die Oberflächeneigenschaften haben, sind die Verkehrsbelastung, das Klima und die Winterdienstmaßnahmen. Wie in Abbildung 5 gezeigt sind die Lastverteilung und die entstehenden Druckspannungen bei starren und flexiblen Konstruktionen verschieden. Die Lastverteilung bei Betondecken ist gleichmäßig im Gegensatz zu den Asphaltkonstruktionen.

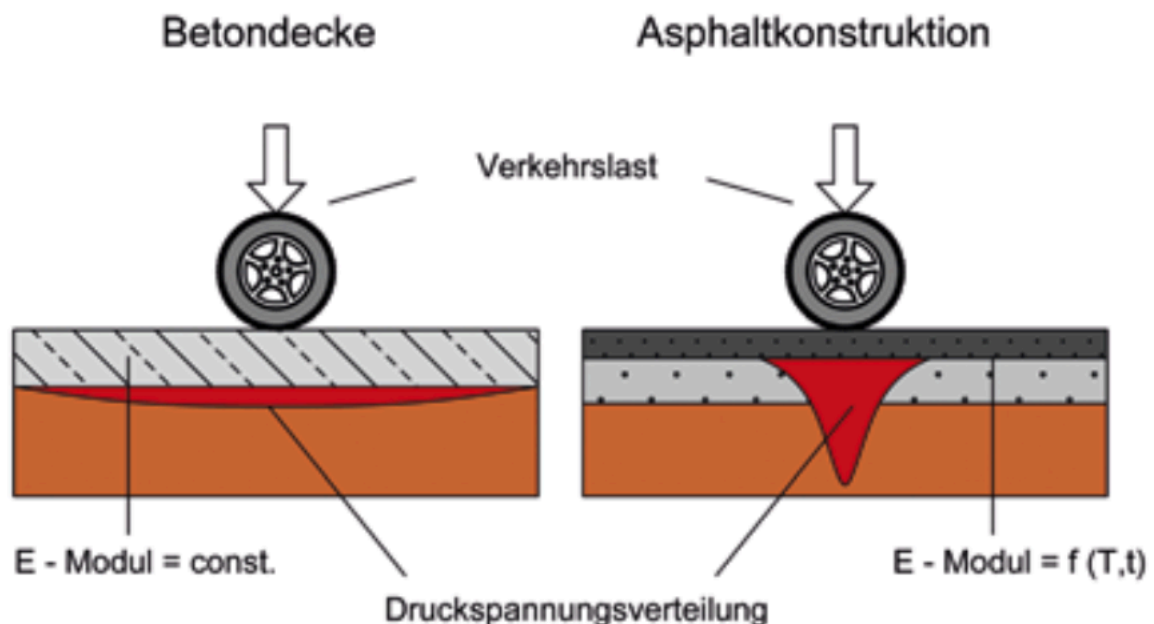


Abb. 5: Lastübertragung in dem Untergrund von Betondecke und Asphaltkonstruktion [4]

Die Betondecken sind aufgrund der Betoneigenschaften besonders für Verkehrsflächen unter Schwerverkehr geeignet. Der Betonaufbau wird auf eine Lebensdauer von 30 Jahren bemessen. Durch die Annahme verschiedener Randbedingungen, wie Qualität der Baustoffe, Fugenausbildung, Entwässerung,

bzw. Qualität der unteren Tragschichten, ist es möglich eine Lebensdauer von 40 Jahren zu erzielen [5]. Die Griffigkeit ist eine wesentliche Eigenschaft der Betonoberfläche. Sie beeinflusst den Fahrkomfort, die Verkehrssicherheit und den Kraftstoffverbrauch und ist durch die Makro- und Mikrotextur bestimmt. Es sind viele Einflüsse, die die Griffigkeit bestimmen. Die Griffigkeit hängt stark von den angesetzten Gesteinskörnungen, der Betonzusammensetzung und der Nachbehandlung ab. Für gute Griffigkeitseigenschaften werden polierresistente Sande und grobe Gesteinskörnungen empfohlen. Bei der Herstellung einer Betondecke entsteht eine dünne Mörtelschicht mit hohem Anteil an Feinteile. Sie muss geringgehalten werden, damit eine griffige Oberfläche erzeugt werden kann. Die Größe für die Griffigkeit ist der Reibungswert „ $\mu$ “ und wird von dem Messsystem RoadStar in Österreich gemessen. Es wird in den Spuren in 50 m - Abschnitten gemessen und je höher der Reibungsbeiwert ist, desto günstiger ist die Griffigkeit. Die Griffigkeit wird meistens nach dem Einbau durch eine Oberflächenbehandlung wie zum Beispiel mit Jutetuch, Stahlbesen oder Grinding sichergestellt. Die ausreichende Qualität der Ausgangsstoffe ist maßgebend für die Textur.

Eine weitere Anforderung an den Betonfahrbahnen ist die Ebenheit der Fahrbahn. Es wird zwischen Längs- und Querebenheit unterschieden. Die Entstehung von Unebenheiten hängt von der Qualität der Herstellung und der Baustoffauswahl ab. Die Betondecken sind starre Konstruktionen bei denen keine plastischen Verformungen auftreten. Die Unebenheiten werden durch Hebungen, Senkungen, bzw. Brüche von einzelnen Platten erzeugt. Die Längsebenheit wird mit dem IRI-Wert (International Roughness Index) ausgewertet. Je niedriger der IRI-Wert ist, desto besser ist die Ebenheit. Die Querebenheiten haben Einfluss auf die Verkehrssicherheit und erhöhen die Aquaplanung-Gefahr. Die Querebenheit wird auch mit dem Messsystem RoadStar erfasst. Die Querebenheit ist unabhängig von der Temperatur und bleibt unverändert bei großer Verkehrsbelastung [4].

Betondecken haben aufgrund der Betoneigenschaften eine längere Lebensdauer als die bituminösen Decken. Eine starre Verkehrsfläche hat eine theoretische Lebensdauer von 30 Jahren. Bei guten Bedingungen und Erhaltungsmaßnahmen kann diese Lebensdauer 40 Jahren sein. Betonfahrbahnen sind für hochbelasteten Verkehrsflächen, besonders für Autobahnen und Schnellstraßen aufgrund der höheren technischen Lebensdauer geeignet [4]. Die verwendeten Ausgangsstoffe (Kornzusammensetzung, Zement) bestimmen auch die Betonfestigkeit. Es gibt einen Zusammenhang zwischen der Festigkeit und dem W/B-Wert. Normalerweise steht der W/B-Wert zwischen 0,4 und 0,5 und hängt von den Fahrbahnanforderungen ab [11].

Der Beton kann durch seine Eigenschaften einen Einfluss auf die Umwelt haben. Durch die Verwendung von speziellen Technologien können lärmindernde Betonoberflächen hergestellt werden. Außerdem sichern die hellen Betonoberflächen mehr Sicherheit (bei Nacht oder im Tunnel) und weniger Energieverbrauch (Beleuchtung, Vermeidung von Wärmeinseln).

Bei der Bemessung von Betondecken ist es wichtig zwischen den Spannungen infolge von Temperaturunterschieden und Verkehrsbelastungen, sowie Spannungen infolge Schwinden und Quellen zu unterscheiden. Bei der Auswertung der Beanspruchungen im Rahmen der Dimensionierung ist neben der Größe der auftretenden Spannung auch ihre Häufigkeit und ihre Einwirkungsdauer in Betracht zu ziehen. Eine Bedingung für eine lange Betriebsdauer einer Betonfahrbahn ist die Vermeidung von Rissen, angenommen die Bauweise mit durchgehender Bewehrung und freier Rissbildung. Bei der Dimensionierung wird das Hauptaugenmerk auf die Ermittlung der Zug- und Biegezugspannungen gerichtet. Der Baugrund wird als gleichmäßig angenommen. Diese Voraussetzung trifft nur bedingt zu und kann in der Praxis nur durch besondere bauliche Maßnahmen annähernd erreicht werden. Bei einem steifen Untergrund stellt sich wegen der nicht möglichen Anpassung bei einer Verformung infolge von ungleichmäßiger Temperaturverteilung über dem Querschnitt oder ungleichmäßiger Schwindens eine Störung der Auflagerung der Betondecke ein. Infolge der guten Lastverteilung in Betondeckensystemen sind die Bodendruckspannungen niedrig und können bei der Bemessung von Fahrbahnen vernachlässigt werden [9].

## 2.1.2 Anwendungsbereiche

Die Anwendung von Betonfahrbahnen hat lange und kontinuierliche Tradition in Österreich. Die Betondecken sind aufgrund ihrer Eigenschaften, wie Festigkeit, Griffigkeit, Lastverteilung, Helligkeit, Verschleiß- und Verformungswiderstand, für alle Verkehrsflächen geeignet [4]. Im folgenden Kapitel sind die Anwendungsbereiche von Betondecken im Straßenbau zusammengefasst.

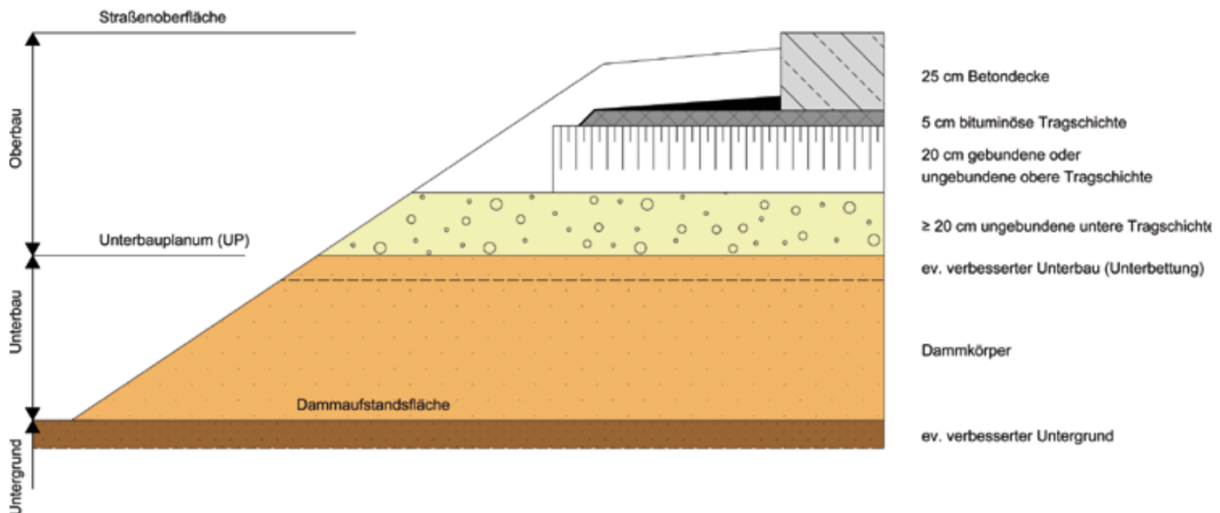
### 2.1.2.1 Hochrangiger Straßenbau

Betonfahrbahnen werden durch ihre Eigenschaften für das hochrangige Straßennetz – Autobahnen (Abb. 6) und Schnellstraßen - angewandt. In Österreich ist die Gesamtlänge des A und S-Netzes ca. 2100 km. Fast 40 Prozent davon sind Betondecken. Diese Fahrbahnen stellen aus Gründen der Verkehrssicherheit, des Umweltschutzes und der Wirtschaftlichkeit eine optimale Lösung dar [4].



**Abb. 6: Betonautobahn [24]**

Laut RVS 03.08.63 [6] - sind die Betonfahrbahnen Bautypen BE1 und BE2. Die Decken sind nicht bewehrt. Die starre Baukonstruktion besteht aus einem Untergrund, Unterbau und Oberbau. Der Unterbau besteht aus Dammkörper und die Unterbettung und schließt mit dem Unterbauplanum ab. Der Oberbau besteht aus ungebundenen und gebundenen Tragschichten und Betondecke (Abb. 7). Die Größe jeder Schicht variiert in Abhängigkeit von der Lastklasse und dem Bautyp. Eine große Bedeutung auf die prognostizierte Lebensdauer hat die Plattendicke. Für eine richtig bemessene Betonfahrbahn kann ein Erneuerungsintervall von 40 Jahren angenommen werden [5]. Außerdem hängt die Lebensdauer der Betonfahrbahn von Randbedingungen wie Fugenausbildung, Entwässerung, Erosionsbeständigkeit und Qualität der Baustoffe ab [5].



**Abb. 7: Straßenkonstruktion mit Betondecke [4]**

Die typische Betondecke in Österreich enthält Dübel in den Querfugen und Ankern in den Längsfugen. Eine Asphaltenschicht mit Dicke von 5 cm wird als Unterlage eingebaut, unabhängig davon, ob es sich um eine zementstabilisierte Tragschicht oder eine ungebundene, untere Tragschicht handelt. Diese Asphaltunterlage ist erosionsbeständig und schützt die unteren Tragschichten vor Wasser und Tausalz. Ein guter Verbund zwischen Asphalt und Beton führt zum gleichmäßigen Reißen in den Scheinfugen.

#### 2.1.2.2 Urbane Verkehrsfläche

Die steigenden Verkehrsbelastungen, die starke Zunahme des Schwerverkehrs, die hochbelasteten Verkehrsknoten und die vielseitige Nutzung der Verkehrsfläche stellen die Stadtverwaltungen vor neue Herausforderungen. Die Betonfahrbahnen sind für städtischen Bereiche (Abb. 8) wie Bushaltestellen, Busspuren, Kreuzungsbereich, Kreisverkehrsanlage, städtische Verkehrsknoten und Straßen mit hoher Verkehrsbelastung geeignet. Der seltene Einsatz von Betondecken in Städten ist der schweren Bautechnik und dem notwendigen Platz für die Fertiger bedingt. Die heutigen, modernen Straßenbetone erlauben allerdings auch händischen Einbau [4].



**Abb. 8: Wagramer Straße, Wien [26]**



Die österreichische Regelbaukonstruktion mit Betondecke im städtischen Bereich wird mit einer Dicke von 25 cm ausgeführt. Wie bei den hochrangigen Straßen ist die Betondecke auch hier nicht bewehrt. Sie enthält Dübel in den Quertugen und Anker in den Längstugen. In den meisten Fällen wird ein Straßenbeton mit Fließmittel verwendet, der eine schnelle Verkehrsfreigabe erlaubt. Der Beton wird normalerweise zweischichtig mit Ober- und Unterbeton eingebaut. In seltenen Fällen (Reparatur, Platzverhältnisse) wird er einschichtig eingebaut [4]. Bei Straßenbetonen werden Baustoffe mit hohem Reflexionsvermögen und höherem Albedo bevorzugt. Durch die Anwendung von hellen Belägen wird die Oberflächentemperatur und die Temperatur des Umfelds reduziert [4].

### 2.1.2.3 Ländlicher Wegebau

Die Anwendung von Betonfahrbahnen ist sinnvoll und wirtschaftlich für schwach belastete Straßen des ländlichen Raumes. Ihr großer Vorteil liegt in ihrer langen Lebensdauer und in den geringen Erhaltungskosten. Die Bedeutung des ländlichen Wegebaus wird durch die hohe Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit wiedererlangt. Ein anderer Vorteil ländlicher Betonspurwege ist seine ökologische Verträglichkeit. Die Betonspurwege werden im ländlichen Bereich bei Straßen mit geringer Verkehrsbedeutung eingesetzt. Diese Bauweise hat folgende Vorteile – Wirtschaftlichkeit mit niedrigen Erhaltungskosten, ökologische Verträglichkeit, fahrzeugschonende Befahrbarkeit und erosionsschützende Bauweise [4].



Abb. 9: Betonspurwege in ländlicher Bereich [4]

Laut RVS 03.03.81 [10] werden zwei Spuren mit ähnlicher Breite eingebaut (Abb. 9). Die Breite variiert abhängig von der Verkehrsbelastung und der erwartenden Fahrzeugtypen zwischen 80 cm und 110 cm [4]. Die beiden Spuren können mit einem Fertiger oder händisch mit verlegter Schalung eingebaut werden und sind einschichtig. Die Mittelstreife und das Bankett werden mit begrünbarem Schüttmaterial eingebaut. Die Quertugen werden als Scheinfugen im Abstand von 3-5 m hergestellt. Die Entwässerung wird durch Querentwässerungsrinnen erreicht.

### 2.1.2.4 Kreisverkehrsanlagen

Kreisverkehr werden als Anbindung (Abb. 10) an das hochrangige Netz ausgeführt. Die Kreisverkehrsanlagen werden aufgrund der hohen Verkehrslasten als Lastklasse LK18 mit einer Mindestdicke von 22 cm Betondecke dimensioniert [6]. Die Fugenteilung spielt hier eine große Rolle, weil die Plattenräder hohen Belastungen ausgesetzt sind. Die Asphaltzwischenenschicht ist bemessungstechnisch nicht relevant und dient zum Fixieren der Schalung bei händischer Einbau oder als befahrbare Sauberkeitsschicht beim Einbau mit Fertiger. Wie bei den anderen Verkehrsflächen wird auch hier die Betondecke nicht bewehrt ausgeführt. Die Quertugen bei Kreisverkehr werden verdübelt und die Längstugen werden verankert. Die Ein- und Ausfahrtbereiche werden mit Brems- und Beschleunigungskräfte, durch den Schwerverkehr stark belastet. Es wird eine Zwischenzone vor der Kreisverkehrsanlage mit Länge von 50 m (Länge von zwei LKW-Zügen) abgesondert [4]. Die Betonanforderungen sind wie bei jedem Straßenbeton laut Regelwerk – Frost-Tausalz Beständigkeit, Witterungsbeständigkeit, Spaltzugfestigkeit, Verwendung von

verschleißfester/polierresistenter Körnungen, Konsistenz entsprechend die Einbaumethode [4]. Die Verkehrsfreigabe hängt von der Zusammensetzung ab.



Abb. 10: Kreisverkehrsanlage [27]

### 2.1.3 Betonherstellung und Einbauweisen

Die Planung und die Organisation des Einbaus beeinflussen stark die Herstellung einer Betonstraße. Die Auswahl der Betonherstellungsweise hängt von der Größe der Baustelle und dem Transportwegen ab. Bei großen Baustellen wird eine Mobilmischanlage benutzt. Bei kleineren Baulosen werden existierende Transportwerke verwendet [4]. Die Betonherstellung erfolgt nach RVS 08.17.02 und ÖNORM B 4710-1. Der Einbau von Betondecken ist ein kontinuierlicher Vorgang. Ein wesentlicher Teil dieses Prozesses ist die Lagerung von Betonausgangsstoffen. Die Ausgangsstoffe müssen so gelagert werden, dass ihre Eigenschaften nicht unter der Wirkung von Klima und Entmischung verändert werden. Die Gesteinskörnungen sind so zu lagern, dass das Oberflächenwasser abfließen kann, damit sich ihren Eigenschaften und Feuchtigkeitsgrad nicht ändern. Das Oberflächenwasser darf nicht bei dem Mischungsprozess vorhanden sein. Der Zement muss von den klimatischen Einwirkungen bewahrt werden und muss im trockenen Platz gelagert werden.

Vor der Betonherstellung werden die Ausgangsstoffe für die Betonzusammensetzung geprüft. Die Erstprüfungen definieren die Zusammensetzung des Betons und die Eigenschaften der Ausgangsstoffe. Die Rezeptur der Betonmischung hängt von den Anforderungen der Fahrbahn ab. Die Betonherstellung wird in einer Mischanlage (Abb. 11) realisiert. Zu den wichtigsten Bestandteilen einer Anlage gehören Lagerflächen und Aufgabeeinrichtungen für die Gesteinskörnung, die Zementlagersilos, der Lagerraum und die Tanks für die Zusatzmittel, die Wiege- und die Dosiereinrichtungen für die Ausgangsstoffe und die Mischer [4]. Um die Qualität der Mischung zu erreichen, ist die Überwachung der Anlage in regelmäßigen Abständen nötig. Die Baustoffe werden während des ganzen Mischvorgangs kontrolliert. Der Transport des Mischgutes wird durch ÖNORM 4710-1 definiert [8]. Der Beton darf keinen Kontakt mit Aluminiumflächen haben, weil zwischen dem Aluminium und dem Bindemittel eine chemische Reaktion



erfolgen kann. Diese kann zur Bildung von Wasserstoffgas führen. [4]. Der Transport des Betons mit Fließmittel erfolgt nur mit Fahrmischern. Der Fahrmischer hat eine rotierende Trommel mit Mischwerkzeuge. Die Transportzeit des Betons bis zur Baustelle darf nicht länger als 90 Minuten sein und der Transportweg darf nicht weiter als 20 km sein.



**Abb. 11: Betonmischanlage [28]**

Die Betondecken können ein- oder zweischichtig eingebaut werden. Bei zweischichtige Decken wird die obere Schicht als Straßenoberbeton und die untere Schicht als Straßenunterbeton bezeichnet. Der Unterbeton kann mit Recyclinggesteinskörnung hergestellt werden. Die einschichtige Decken sind typisch für Städte, bei händischem Einbau oder wenn eine kleine Fläche eingebaut wird. Eine gute Tragfähigkeit wird von der Unterlage der Fahrbahn vorausgesetzt. Es kann auch eine ungebundene Tragschicht oder eine zementstabilisierte Tragschicht sein. Es wird eine bituminöse Tragschicht bei den Lastklassen LK21 bis LK135 erreicht. Bei den Lastklassen LK0,075 bis LK0,6 wird es eine bituminöse Oberflächenbehandlung oder ein Vlies vergütet. Die Unterlage ist ein wesentliches Teil der Betonfahrbahnen. Die Risse werden von dem schlechten Einbau der Unterlage an die Oberfläche kommen. Eine Überprüfung der Gleichmäßigkeit, der Höhenanlage und des Wasserabflusses sind notwendig vor dem Betondeckeneinbau. Bei hoch liegenden Unterlagen kann durch Heißmischgut die Sollhöhe erreicht werden. Die Unterlage muss breiter als die Betondecke sein und so breit, dass der Betonfertiger Platz finden. Es werde Entwässerungsdrains angeordnet um Wasserstau zu vermeiden. Vor dem Einbau muss die Unterlage gereinigt werden.

Der Beton zur Herstellung von Straßenoberflächen wird mit Gleitschalungsfertigern ausgeführt. Zur Steuerung und Festlegung der Höhenlage wird ein Leitdraht oder Nivellierung verwendet. Die geforderten Höhen und Seitlängen werden durch die Führung der Einbaugeräte eingehalten und durch die Anforderungen an Ebenflächigkeit erfüllt. Die Führung der Fertiger erfolgt durch einen Leitdraht. Die Ent-

wicklung neuer Technologien erlaubt eine Steuerung des Fertigeres durch GPS oder Totalstationen. Die Dicke der Betondecken wird anhand von Querprofilen in regelmäßige Abstände kontrolliert. Eine lage- und höhenmäßig ausgerichtete Schalung ist bei händischem Einbau von Straßenbeton erforderlich. Es werden Stahl- und Holzschalungen benutzt, die mit einem geeigneten Trennmittel bearbeitet werden damit der Beton nicht anhaftet [4].

Vor der Verdichtung werden Dübel und Anker zwischen den davor eingeteilten einzelnen Felder verteilt. Die Länge der Platten wird durch Quertugen und die Breite durch Längsfugen begrenzt. Um die Verschiebung der Platten zu vermeiden, werden Dübel in Quertugen und Anker in Längsfugen eingebaut. Die Dübel werden in der Mitte der Plattendicke verlegt. Bei Raumbfugen liegen die Dübel in Hülsen, die einen größeren Dehnungsraum gewährleisten. Drei Anker pro Längsfuge werden in der Feldmitte und seitlich in einem Abstand von 1,5 m verlegt. Die Dübel oder Anker werden bei Einbau mit Gleitschalungsfertiger mit Dübelsetzgeräten in den Unterbeton eingerüttelt. Bei händischem Einbau werden Dübel- oder Ankerkörbe verwendet, weil die Anwendung von Einsetzgeräten nicht möglich ist. Wenn die Betondecke in mehreren Streifen oder Arbeitsschritten ausgeführt ist, werden Schraub- oder Klebeanker verwendet. Bei der Verwendung von Schraubankern wird eine Ankerhälfte eingerüttelt. Bei händischem Einbau werden L-förmig gebogene Bewehrungsstrahlen entlang der Längsschalung verwendet [4].

Bei der Verwendung von Straßenober- und unterbeton wird es zweischichtig eingebaut und das Einbringen des Betons erfolgt getrennt. Zwei Schichten mit gleichmäßigen Höhen werden über die gesamte Breite eingebaut. Unter- und Oberbeton werden bei zweischichtigem, maschinellem Einbau mit zwei unmittelbar fahrenden Geräten eingebracht. Diese Geräte heißen Gleitschalungsfertiger. Sie vereinen allen Einbautätigkeiten in einem Gerät – das Fördern, das Verteilen und Versetzen, das Setzen von Dübel und Anker, das Glätten und die Nachbehandlung. In der Regel werden zwei unabhängige Geräte für Einbau des Unter- und Oberbetons eingesetzt, die auf Raupenfahrwerken fahren. Bei modernen Geräten können die Fahrbahnbreite und -höhe durch hydraulisch Hubzylinder verstellt werden. Es ist zu beachten, dass während des Einbaus die Fertigerbreite nicht kontinuierlich verstellt werden kann. Es gibt zwei Verfahren bei der Betondeckenherstellung mit Gleitschalungsfertiger – Offset- und Insetverfahren. Beim Inset-Verfahren wird der Beton mit Kippmulden stirnseitig vor dem Fertiger entladen und mit einem Bagger grob verteilt. Danach wird das Mischgut durch den Fertiger mit einer Verteilerschnecke oder mit einem Schwerverteiler gleichmäßig aufbereitet, von der Gleitschalung aufgenommen und in Form gebracht. [4].

Das Verdichten des Betons erfolgt durch auf den Gleitschalungsfertiger horizontal montierte Flaschenrüttler. Die gleichmäßige Verdichtungswirkung wird durch aufeinander über die gesamte Betondeckenbreite abgestimmt. Der Beton darf ausreichend verdichtet. Es ist auch die Lage der Dübel und der Anker in der Betondecke zu achten. Das Glätten der Oberfläche erfolgt durch eine schwere Querglattbohle und einen Längsglatte. Die Querglattbohle wird von einem Exzenter senkrecht zur Fahrtrichtung bewegt und glättet die Oberfläche. Abschließend wird die Betonoberfläche durch die Längsglattbohle mit Hilfe einer kombinierten Längs- und Querbewegung vollständig verschlossen [4].

Die oben beschriebene Ausrüstung ist ungeeignet für zweilagige Betondecken. Eine zweischichtige Betondecke (Abb. 12) wird durch einen anderen Fertiger hergestellt. Ergänzend wird der angelieferte Straßenoberbeton in einem Aufnahmetrichter gefüllt und mit einem Förderband bis zum zweiten Gleitschalungsfertiger für Oberbeton transportiert. Anstatt des Glattevorganges wird zunächst der Oberbeton nach dem Versetzen der Dübel auf den Unterbeton eingebracht und verdichtet. Der Glattevorgang erfolgt durch Quer- und Längsglatte nach dem Einbringen der Oberbeton [4]. Bei der Verdichtung des Straßenoberbetons dürfen keinesfalls Rüttelgassen entstehen. Zur Erzielung einer gleichmäßigen Betonoberfläche ist ein kontinuierlicher Transport und Einbau sicherzustellen. Ein wichtiger Schritt ist die Nachbehandlung der fertig hergestellten Betondecke. Bei maschinellem Einbau erfolgt sie mit einem Gleitschalungsfertiger mit einem gesonderten Gerät (Arbeitsbühne). Bei händischem Einbau wird Straßenbeton mit



Fließmittel eingebracht. Nach dem Einbau und der Verdichtung wird die Oberfläche mit einer Latte abgezogen [4].

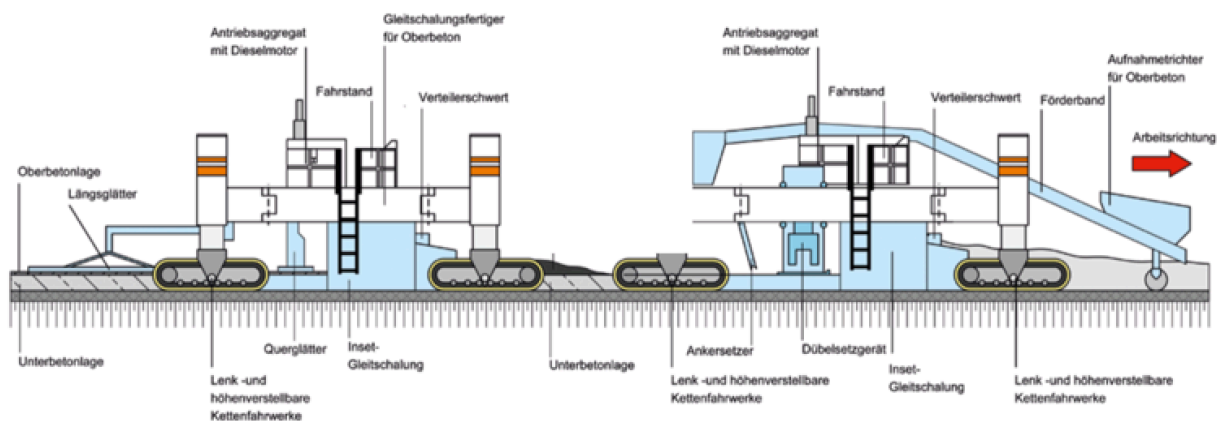


Abb. 12: Anlauf des Einbauprozesses bei zweischichtiger Betondecke [4]

### 2.1.4 Fugenausbildung

Wie schon erwähnt wurde, wird die Betondecke durch Fugen in Felder unterteilt, um eine unkontrollierte Rissbildung bei bewehrten und unbewehrten Betondecken zu vermeiden. Die Fugen sind so herzustellen, dass die Ebenheit der Fahrbahn in Längs- und Querrichtung gewahrt bleibt und der Beton an den Fugenkanten nicht beschädigt wird. Folgende Fugenarten sind zu unterscheiden – Scheinfugen, Pressfugen, An- und Abschlussfugen, Raumfugen, Trennfugen. Laut der österreichischen Regelbauweise mit unbewehrten Decke wird die Fahrbahn in Quer- und Längsscheinfugen gegliedert und raumfugenlos hergestellt. Bereiche mit unterschiedlicher Unterlage werden durch Raumfugen getrennt. Bei Betonfahrbahnen mit geringem Verkehr werden die Querscheinfugen verdübelt und die Längsscheinfugen verankert [4].

#### 2.1.4.1 Scheinfugen

Scheinfugen sind Sollbruchstellen, die ein kontrolliertes Reißen des Betons mittig über den eingebauten Dübeln bei Querscheinfugen und über den eingebauten Anker bei Längsscheinfugen sicherstellen sollen. Bei der Herstellung von Scheinfugen wird die junge Betondecke nicht auf die gesamte Dicke durchtrennt, sondern in den oberen Zentimetern durch Einschneiden angekerbt. Wenn die am Tag hergestellte Betondecke in der Nacht abkühlt, reißt die Betondecke schon nach wenigen Stunden unterhalb der Kerbe auf die volle Plattendicke durch. Längs- und Querscheinfugen werden 6 bis 24 h nach der Herstellung durch Einschneiden eines oberen Fugenspaltes mittels Diamantsägen hergestellt. Der richtige Zeitpunkt des Schnitts hängt von verschiedenen Faktoren ab: Frischbetontemperatur, Umgebungstemperatur, Windverhältnisse, Umweltbedingungen u.a. Der Zeitpunkt muss so gewählt werden, dass der Beton erhärtet ist, dass kein Ausbrechen der Kanten während des Schneidens auftritt, und auch die Fugen vor dem Beginn der Rissbildung eingeschnitten werden. Die Breite des Schnittes ist zwischen 2 und 3,5 mm. Die Tiefe ist abhängig von der Betondicke. Bei Querfugen beträgt sie zwischen 1/4 bis 1/3 und bei Längsfugen 1/3 der Deckendicke. Auf diese Weise wird in jeder Querscheinfuge ein zuverlässiges Reißen gewährleistet und eine zu starke Umlenkung der Druckspannungstrajektorien bei Erwärmung der Betondecke im Sommer mit einer erhöhten Gefahr von blow-up Schäden vermieden. Der tiefere Fugenschnitt bei Längsscheinfugen ist notwendig, weil sie nicht in der Mitte der Fertigerbahn (Abb. 13) liegt und, um die Gefahr der Ausbildung von wilden Längsrissen zu verringern. Bei Fahrbahnen mit geringer Lastklasse sind zur Herstellung einer entsprechenden Fugenkammer im oberen Bereich mittels Stufenschnitt aufzu-

schneiden und zu verschließen. Scheinfugen dürfen bei den Lastklassen LK0,075 bis LK6,5 unverschlossen bleiben [4].

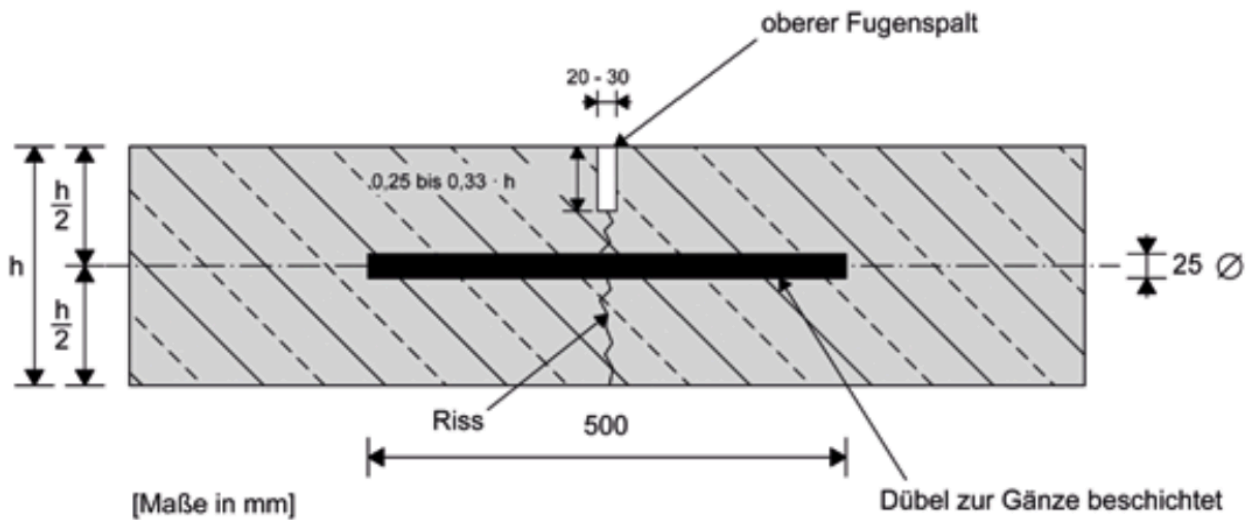


Abb. 13: Unverschlossene verdübelte Scheinfuge [4]

Die Scheinfugen sollen regelmäßig gerissen sein, bevor der Schnitt hergestellt wird und der Stufenschnitt muss über dem Scheinfugenschnitt (Abb. 14) liegen. Die Schnittbreite ist ca. 8 mm und die Schnitttiefe hängt von der Art der Verfüllung ab. Bei ausgeweiteten Querfugen ist die Kante zur Fahrbahnoberfläche mittels geeigneten Geräts abzufasen. Das ist eine Schutzmaßnahme gegen mechanische Beanspruchung. Bei hochrangigen Straßen erfolgt die Verlegung von Profilen bei Querfugen und Heißverguss bei Längsfugen. Das erlaubt bei einer späteren Instandsetzung der stark beanspruchten Querfugen eine einfache Ausführung. Der Fugenschnitt wird über die Tiefe mit bituminösem Verguss eingefüllt. Bei Längsfugen beträgt die Tiefe des Schnittes 20 mm, während die Tiefe bei Querfugen 30 mm ist. Um die Haftung des Vergusses zu erhöhen, können die Fugenflanken getrocknet und gereinigt werden. Um ein Eindringen der Vergussmasse in den Spalt zu verhindern und gleichmäßige Verfüllung zu gewährleisten, ist vor dem Vergießen eine Unterfüllung mittels hitzebeständiger, unverrottbarer Fugeneinlage einzubringen. Die bituminöse Masse verschließt die Fuge. Der Verguss muss so gemacht werden, dass es bei sommerlichen Temperaturen nicht über die Betonoberfläche zeigt [4].

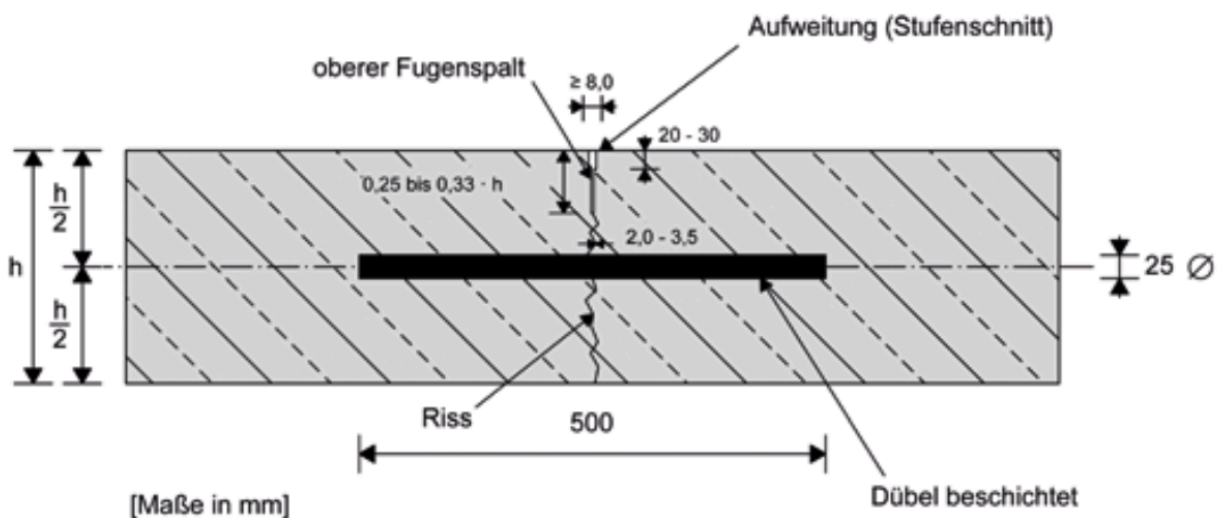


Abb. 14: Verdübelte Scheinfuge mit Stufenschnitt [4]

### 2.1.4.2 Pressfugen

Wenn an bestehende Deckenfelder anbetoniert wird, entstehen Pressfugen. Längspressfugen werden in der Regel verankert, während Querpressfugen zur Sicherstellung der Querkraftübertragung an das bestehende Deckenfeld verdübelt werden. Anker oder Dübel müssen horizontal im Bestand eingebunden werden. Nach Herstellung des neuen Deckenfeldes wird im oberen Teil der Pressfuge ein Fugenspalt mit einer Breite von 8 mm und einer Tiefe von 20 mm eingeschnitten, abgefasst und mittels Vergussmasse verschlossen (Abb. 15). Entlang von Längspressfugen können Stufenbildungen entstehen, die aus Gründen der Wasserabteilung zu vermeiden sind. Sie können durch Zurückschneiden in den erhärteten Beton vor dem Anbetonieren vermieden werden [4].

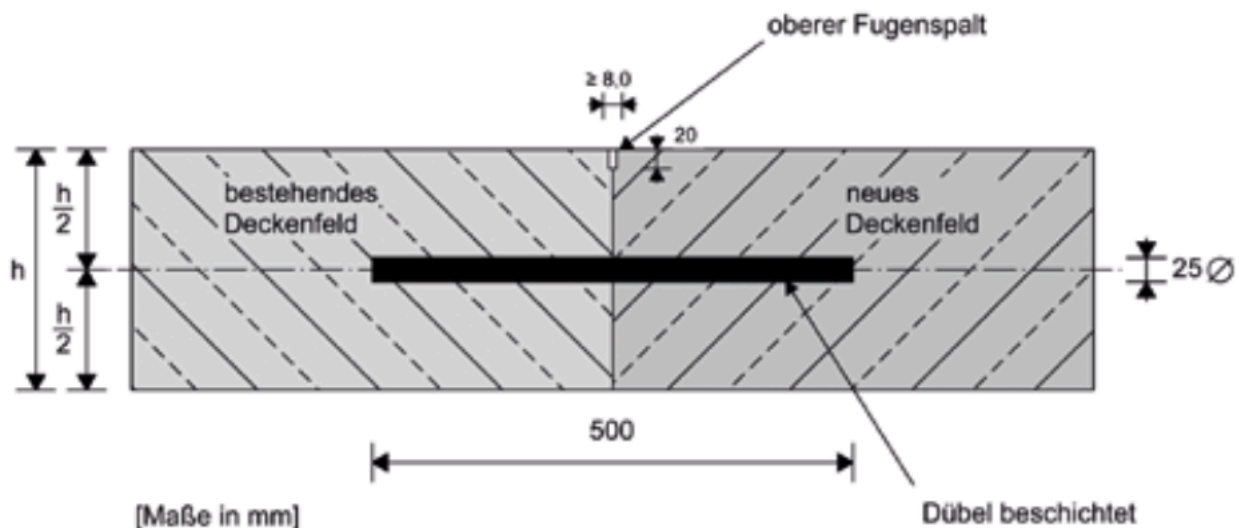


Abb. 15: Verdübelte Pressfuge [4]

### 2.1.4.3 Abschluss- und Anschlussfugen

Abschlussfugen sind Querfugen, die im Zuge des Betoniervorgangs am Ende jeder Tagesleistung sowie durch Freilassen von Deckenfeldern entstehen. Die Betondecke wird bei Fertigereinbau ausgefahren und nach Erhärtung bis zum ungestörten Beton unter Berücksichtigung der Fugenteilung zurückgeschnitten. Die Abschlussfugen werden wie Pressfugen ausgeführt. Die bestehenden Tagesendfelder sind vor Fortsetzung der Betonierarbeiten entlang der Querfuge mit Dübeln auszustatten. Die Dübel wird vor dem Weiterbetonieren eingebohrt oder auch Dübelhülsen eingerüttelt. Allenfalls müssen verbogene oder schräg stehende Dübel vor dem Anbetonieren unbedingt entfernt oder durch gerade ersetzt werden [4].

Ein Übergang zwischen einer Betondecke und einer Asphaltdecke wird mit einer Anschlussfuge gebildet. Sie stellen einen Sonderfall der Pressfugen dar. Anschlussfugen können nicht verankert oder verdübelt werden und sind als ein freier Plattenrand zu betrachten. Die Tragfähigkeit eines freien Plattenrandes verringert sich im Vergleich eines verdübelten Plattenrands um rund 50 %. Zur Sicherstellung einer ausreichenden Tragfähigkeit sollte der freie Betondeckenrand im Anschlussbereich um mindestens 3 cm verstärkt werden. Endfelder sollten stets quadratisch ausgeführt werden, weil dies die einfachste und günstigste Methode ist, um die Tragfähigkeit zu erhöhen. Nach Herstellung der beiden Deckschichten ist in die bituminöse Schicht ein Fugenspalt zu schneiden, welcher zu reinigen und mit bituminöser Fugenvergussmasse zu verfüllen ist. Alternativ kann der Anschluss mittels Bitumenfugenschmelzband hergestellt werden [4].

### 2.1.4.4 Raumfugen

Der Betonquerschnitt wird durch die Raumfugen getrennt. Sie ermöglichen eine schadlose Dehnung der Decke. Bei starker Erwärmung tritt eine Verschiebung der Betondecke auf, die zu veränderten Auflagerbedingungen und zu höheren Biegezugspannungen führt. Das ist ein Nachteil der Bauweise mit

Raumfugen. Bei unbewehrten Betonfahrbahnen ist die Anordnung von Raumfugen nicht empfohlen und ist erforderlich nur bei Änderung der Deckendicke, vor und nach Objekten mit Übergangskonstruktionen, Anschlussbereichen, engen Radien. Eine durchgehende zusammendrückbare Fugeneinlage wird angeordnet, um dauerhaft die Ausdehnung der Felder zu gewährleisten. Der obere Fugenspalt ist genau über der Fugeneinlage in mindestens gleicher Breite wie die Fugeneinlage 20 mm tief und jedenfalls bis in die Fugeneinlage einzuschneiden, abzufassen und zu verschließen. Die ausgeführten Raumfugen sind in der Regel verdübelte Querfugen. Am Ende des Dübels wird eine Hülse aus festem Material, mit einem Dehnungsraum von 20 mm freigelassen, aufgesteckt, um die Funktionstüchtigkeit der Dübel und die Querkraftübertragung an den Raumfugen zu gewährleisten (Abb. 16). Beim Betonieren dürfen die Hülzen nicht zusammengedrückt werden. Unverdübelte Raumfugen stellen einen freien Plattenrand mit verminderter Tragfähigkeit dar und sind wie Abschlussfugen zu behandeln [4].

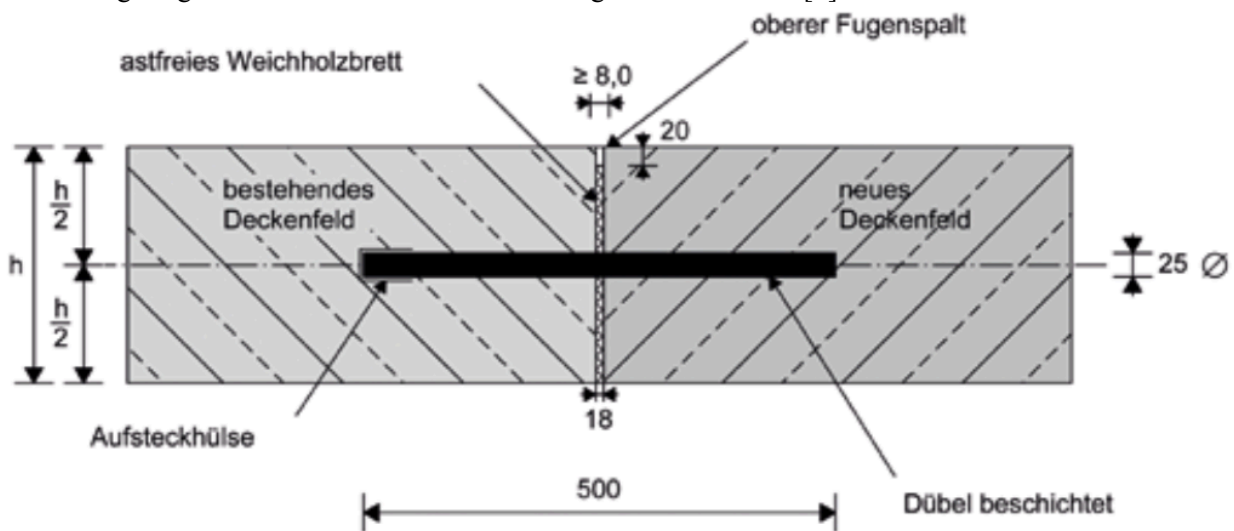


Abb. 16: Verdübelte Raumfuge [4]

#### 2.1.4.5 Trennfugen

Die Trennfugen sind unverdübelte bzw. unverankerte Raumfugen, die im Anschluss an Randeinfassungen (Abb. 17) oder Einbauten auszuführen sind. In ihrem unteren Teil wird eine durchgehende, zusammendrückbare Einlage angeordnet und darüber ein oberer Fugenspalt ausgebildet, der mit Fugenvergussmasse verschlossen wird [4].

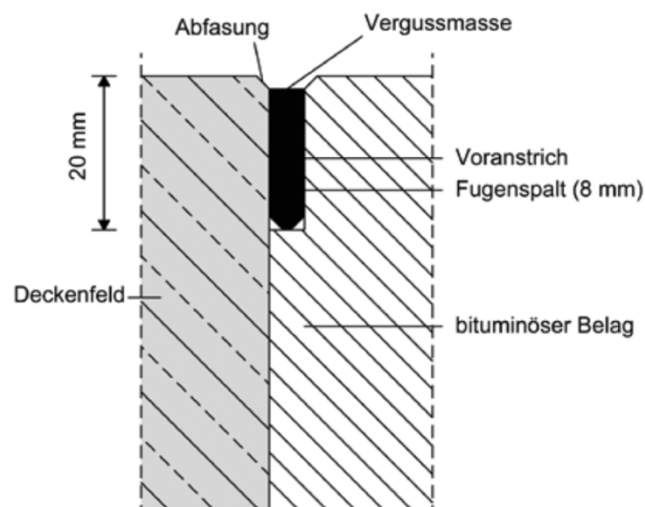


Abb. 17: Trennfuge zwischen Randeinfassung und Betondecke [4]

### 2.1.5 Vorteile und Nachteile gegenüber Asphaltstraßen

Betonfahrbahnen und die Asphaltstraßen haben viele Unterschiede. Ihre Vor- und Nachteile werden im Folgendem gegenübergestellt.

Viele Planer stehen vor der Entscheidung des richtigen Baustoffs (Asphalt oder Beton) und Bauweisen auszuwählen. Die beiden Materialien haben ihre Vorteile und Nachteile. Die richtige Auswahl des passenden Baustoffes hängt vom einzelnen Projekt ab, da für jedes Projekt verschiedene technische und wirtschaftliche Anforderungen erfüllt sein müssen. Die Kriterien, wie zu erwartende Verkehrslasten, Kosten, Verkehrsfreigabe, Verkehrssicherheitsanforderungen, Lage der Fahrbahn, zukünftige Erhaltungskosten, Nachhaltigkeit und Dauer der Bauarbeiten werden bei der Auswahl der richtigen Bauweise berücksichtigt

Betonstraßen sind starre Konstruktionen mit Zement als Hauptbestandteil. Der Beton ist bezogen auf die Einbaustärke stärker belastbar als Asphalt. Diese Fahrbahnen charakterisieren sich hauptsächlich mit höheren Festigkeiten, günstigerer Lastverteilung, längerer Lebensdauer und höherer Dauerhaftigkeit als die flexiblen Aufbauten. Die Betonstraßen eignen sich für alle Typen von Verkehrsflächen – von stark belasteten Autobahnen und Schnellstraßen bis niedrigbelasteten ländlichen Wege. Andererseits ist der Einbau von Beton komplizierter, zeitaufwendiger und die erforderlichen Lichträume rechts und links der Fahrbahn sind vergleichsweise größer [2, 18]. Die Betonfahrbahnen zeichnen sich mit helleren Oberflächen aus, die die Sicht und die Verkehrssicherheit verbessern.

Ein anderer wichtiger Aspekt ist die Sanierung, die beim Asphalt schneller, kostengünstiger und vor allem punktuell möglich ist. Die Fugen bei Betondecken sind schadensempfindliche und wartungsanfällige Stellen, deren Sanierung schwierig und zeitaufwendig ist und gleichzeitig sich stark auf die Lebensdauer der Konstruktion auswirkt [4, 18]. Hingegen sind die meist auftretenden Schadensbilder beim Asphalt die Spurrinnen, die aufgrund hohen Lasten und der höheren Temperaturempfindlichkeit des Asphalts auftreten.

In Bezug auf die Kosten, ist die Anfangsinvestition bei Betondecken höher als beim Asphalt. Die Lebensdauer des Betons ist allerdings deutlich länger, was die Betonfahrbahnen doch kostengünstiger macht. Beim Asphalt sind die Errichtungskosten niedriger, aber über die Gesamtlebensdauer fordern Sanierungsmaßnahmen mehrfach Kosten ein [18].

## 2.2 Instandsetzung von Asphaltstraßen durch eine zusätzliche Aufbetonschicht – Whitetopping

Die Whitetopping-Bauweise ist eine Form der Instandsetzung von beschädigten Asphaltstraßen. Dabei wird Beton als oberste Schicht auf weiteren gebundenen Schichten angewandt. Das Auftreten von Rissen und Spurrinnenbildung an Asphaltsschichten unter starker Verkehrsbelastung ist die Hauptursache für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen. Dabei ist der Austausch von beschädigten Asphaltdecken mit dünnen bituminösen Schichten aufgrund der höheren Belastungen unwirtschaftlich und auch keine dauerhafte Lösung. Anstatt einer Kompletterneuerung der Fahrbahndecke wird eine Verstärkung der existierenden Decke mit einer dünnen Betonschicht aufgebracht. Wie in der Abbildung 18, gezeigt ist, wird dabei der vorhandene Aufbau als Tragschicht verwendet (Abb. 18). Die Whitetopping-Bauweise eignet sich für nachhaltige Sanierung von fast jeder Verkehrsfläche. Die einzige Voraussetzung ist, dass der Unterbau ausreichend tragfähig ist [12, 13].

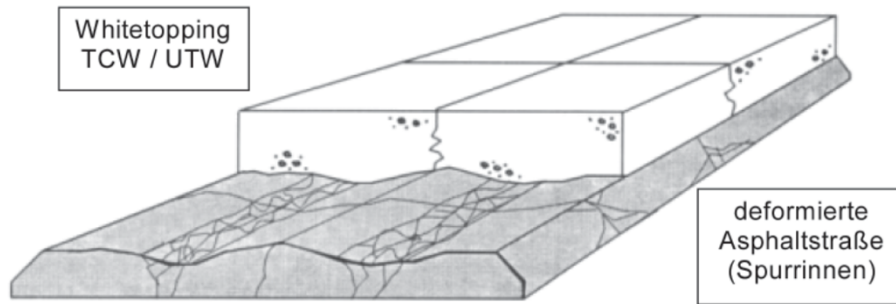


Abb. 18: Whitetopping-Konstruktion [3]

### 2.2.1 Technische Eigenschaften und Anforderungen

Das Überbauen einer beschädigten Asphaltdecke mit Betondecken ist eine Instandsetzungsmöglichkeit seit mehr als 80 Jahren. Diese Bauweise wurde von der Industrie geprägt und ist weit verbreitet bei der Instandsetzung von Asphaltstraßen, Flugbetriebsflächen, urbanen Verkehrsfläche u.a. um die Leistung, die Dauerhaftigkeit und den Fahrkomfort der beschädigten Asphaltstraßen zu verbessern. Whitetopping kann abhängig von der Dicke der Betonplatte und der Verbundeigenschaften in drei verschiedenen Varianten (siehe Tabelle 1: Whitetopping-BauweiseTabelle 1), (Abb. 19) ausgeführt werden.

Tabelle 1: Whitetopping-Bauweise

Bauweise	Dicke der Betonplatte [mm]	Verbund zwischen der Betonplatte und der unteren Schicht
Konventionelles Whitetopping	$\geq 200$	Ohne Verbund
Dünnes Whitetopping (Thin Whitetopping)	$>100 - 200$	Ohne Verbund
Ultra-Dünnes Whitetopping (Ultra-Thin Whitetopping)	$\leq 100$	Mit Verbund

Bei der Planung von Whitetopping-Konstruktionen müssen technische und wirtschaftliche Anforderungen berücksichtigt werden. In [14] wurden Kriterien anhand praktischer Erfahrungen festgelegt. Diese Kriterien sind mit der Bewertung des Projekts, der Auswahl der Art der Instandsetzung, den spezifischen Anforderungen der beschädigten Fahrbahn und mit der Einbauweise und der Verkehrsorganisation durch den Erneuerungsprozess verbunden. Die Errichtungskosten bei Instandsetzung mit Whitetopping sind höher als bei der Instandsetzung mit Asphaltüberbauung.

Der erste Schritt in jedem Instandsetzungsprojekt ist die Beurteilung von bestehenden Straßen und Fahrbahnzustände. Die Tragfähigkeit der Oberbaukonstruktion kann mit dem Falling Weight Deflectometer (FWD) gemessen werden. Abhängig von der gemessenen Tragfähigkeit und visueller Zustandserfassung des bestehenden Asphaltoberbaus wird bestimmt, ob eine Instandsetzung in Whitetopping-Bauweise geeignet ist. Die minimale Dicke der bestehenden Asphaltdecke nach dem Fräsen ist 8 cm. Ihre Eigenschaften werden außerdem experimentell untersucht, um sicherzustellen, dass der Unterbau intakt ist.

Die Klimabedingungen, die Verkehrsbelastung und die Lage und Bedeutung der Straße sind wichtige Faktoren, die bei der Planung einer Instandsetzung berücksichtigt sein müssen [14]. Die Art der Whitetopping-Decke – mit oder ohne Verbund – wird abhängig von dem Zustand der bestehenden Fahrbahn und der erwartenden Verkehrslast ausgewählt. Die Eigenschaften der existierenden Asphaltstraßen sind wichtig, um den Zustand der Grundlage zu beurteilen und die nötigen Reparaturen zu planen.



Eine klassische Whitetopping-Decke braucht keine spezifische Straßenkonstruktion. Diese besteht in der Regel aus Unterbau, ungebundener Tragschicht, bituminöser Tragschicht und einer dünnen White-topping-Schicht.

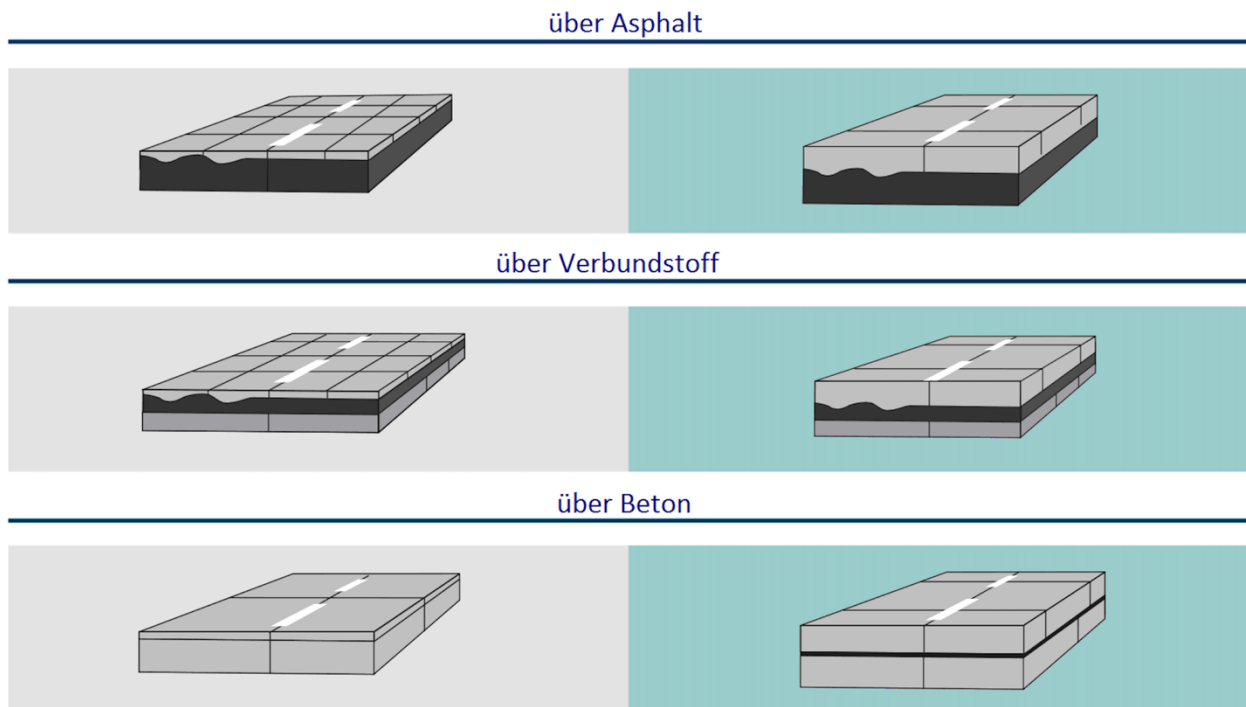


Abb. 19: Whitetopping-Konstruktionen [14]

Bei Whitetopping ohne Verbund wird ein Geotextil bzw. Membrane angeordnet, das eine trennende Funktion aufweist. Diese sichert eine ausreichende Tragfähigkeit der Asphaltbefestigung und verhindert die Erosionswirkung des Wassers unter der Betondecke. Mit einer ausreichenden Dimensionierung der Dicke der neuen Betonschicht wird gesichert, dass die Betonschicht selbst Lasten aufnimmt. Die alte Asphaltdecke bietet eine stabile Unterlage. Es gibt Randspannungen in der Grenzzone zwischen beiden Schichten.

Wenn die Whitetopping-Decke mit Verbund mit der darunterliegenden Asphaltdecke ausgeführt ist, dann tragen beide Schichten Lasten ab. Der Verbund zwischen Asphaltdecke und Betonschicht verbessert das Verhalten der ganzen Oberschicht und der Oberbau wirkt als Verbundquerschnitt. Im Vergleich zu Whitetopping ohne Verbund entstehen hier keine Randspannungen in der Grenzzone und die Zugspannungen sind fast 75 % niedriger (Abb. 20). Der Verbund hat Einfluss auf die Dicke der Schicht. Wenn die existierende Asphaltdecke in gutem Zustand mit befriedigende Eigenschaften ist, kann eine Ultra-Dünne Whitetopping-Schicht angewandt werden [17].

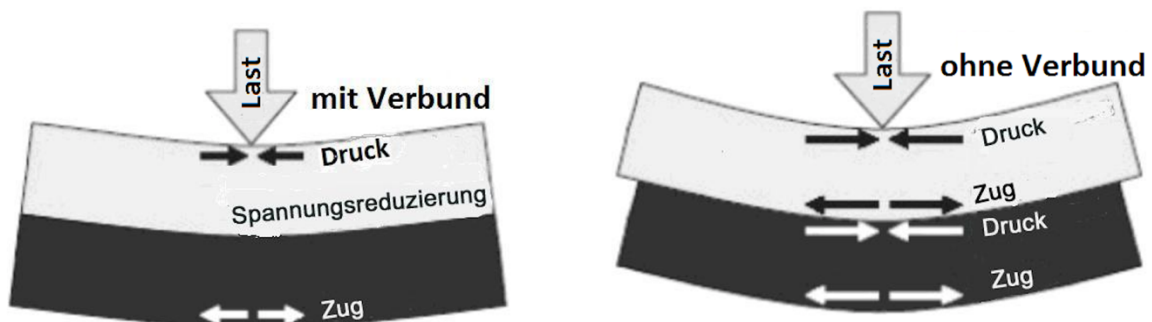


Abb. 20: Whitetopping mit Verbund und ohne Verbund [14]

Die Whitetopping-Schichten haben fast dieselben Eigenschaften wie die herkömmlichen Betonfahrbahnen. Diese Eigenschaften werden durch die Betonzusammensetzung bestimmt. Der Beton besteht aus Zuschlag, Zement, Zusätzen und Fasern. Der Betonzuschlag ist die größte Einheit in der PCC Mischung und hat Einfluss auf das Gesamtverhalten der Betonschicht. Das Verhalten der ganzen Mischung kann durch den Zuschlag bestimmt werden, einschließlich der Wärmeausdehnung. Die Ausdehnung ist ein Faktor für die Spannungsbildung und die Fahrbahnen mit niedriger Wärmeausdehnung zeigen ein besseres Verhalten als jene mit hoher Ausdehnung. Die Wärme kann Fugenschäden und hohe Spannungen in der Platte verursachen. Der Größtkorn darf nicht größer als ein Drittel der Plattendicke sein. Die Zuschlagform hat Einfluss auf die Festigkeit, die Dauerhaftigkeit, den Fugenabstand, die Oberflächeneigenschaften. Die Zementeigenschaften sind eine Funktion der Zeit, besonders während der ersten 28 Tage. Abhängig von den Anforderungen – Verkehrsbelastung, Lage der Straße, werden verschiedene Typen von Zement bei der Herstellung von Whitetopping-Schichten benutzt. Die mechanischen Eigenschaften wie Kriechen und Schrumpfungen werden durch den W/B-Wert bestimmt. Der Wassergehalt in der Mischung hat Einfluss auf die Dauerhaftigkeit und auf die Festigkeit der Fahrbahn. Die Eigenschaften des Betons können mit verschiedenen Zusätzen verbessert werden. In den meisten Fällen hat die Nutzung von Zusatzstoffen Einfluss auf die Verarbeitbarkeits- und Erstarrungszeit durch das Verzögern der Hydratation des Zements. Fasern haben Einfluss auf die Oberflächenfestigkeit – vermeiden Risse, Oberflächenspannungen, verbessern die Tragfähigkeit. Fasern werden bei Ultra-Dünn Whitetopping-Schichten sowie bei manchen dünnen Whitetopping-Schichten benutzt. Die Verwendung von Fasern ist bevorzugt bei Straßen mit hoher Verkehrslast und bei Industriefahrbahnen [15].

### 2.2.2 Anwendungsbereiche

Die Whitetopping-Bauweise ist eine Alternative zu der klassischen Instandsetzung mit einer neuen Asphaltdecke von beschädigten Asphaltstraßen. Sie ist besonders geeignet, wenn die alte Straßenkonstruktion hohen statischen und dynamischen Verkehrslasten nicht mehr genügt. Zum Beispiel sind die Spurrinnen bei Asphaltdecken typische Verformungen infolge Überlastung.

Die ersten Anwendungen der Whitetopping-Bauweise stammen aus der USA und das erste bekannte Whitetopping-Projekt wurde im Jahr 1918 in Indiana gebaut. Diese Fahrbahn war eine bewehrte Betondecke mit Fugen und wurde händisch eingebaut. Es gibt eine Steigerung bei der Anwendung von Whitetopping in den letzten 25 Jahren und es werden gegenwärtig mehr Projekte gemacht als in den 1970er Jahren. Die Entwicklung von Whitetopping beginnt in der Mitte der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts in den USA. Die erste Strecke in Europa sind in Belgien und in Schweden eingebaut. Es gibt nicht so viele Beispiele für die Anwendung der Whitetopping-Bauweise in Europa, nur verschiedene städtische Verkehrsflächen. In den USA geht die Entwicklung von Whitetopping weiter. Die neue Fast-Track-Methode erlaubt einen schnellen Einbau mit Verkehrsabgabe maximal bis 12 Stunden. Bei dieser Methode wird die Erhärtungsphase der Beton durch verschiedenen Zuschläge beschleunigt [15].

Mit Whitetopping können auch Betondecken überbaut werden. Dadurch werden Probleme wie mangelnde Griffbarkeit, Ebenheit oder Lärminderung beseitigt. Voraussetzung für die Whitetopping-Bauweise ist ein ausreichend tragfähiger und intakter Untergrund. Whitetopping ist geeignet für Erhaltungsmaßnahmen an bestehenden Beton-, Verbund- oder Asphaltbefestigungen und besonders an

- Autobahnen, Bundes-, Landes- und Stadtstraßen,
- Ampel- und Kreuzungsbereiche,
- Busspuren, Bushaltestelle und Busbahnhöfe,
- Flugbetriebs-, Industrie- und Parkflächen
- Logistik- und Abstellflächen
- Gleis- und Hafenanlagen



Der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit ist die Instandsetzung von beschädigten Asphaltstraßen und deswegen werden die anderen zwei Fahrbahntypen nicht beschrieben [14].

### 2.2.3 Einbauweisen

Die Einbauweisen bei der Whitetopping-Bauweise sind ähnlich wie bei den herkömmlichen Betonstraßen. Hauptsächlich wird zwischen Betondecken mit und Betondecken ohne Verbund zur darunterliegenden Asphaltdecke unterschieden. Bei beiden Varianten erfolgt die Überbauung nach dem Vorbereiten bzw. Instandsetzen des Untergrundes [14].

#### 2.2.3.1 Einbau der Betondecken mit Verbund

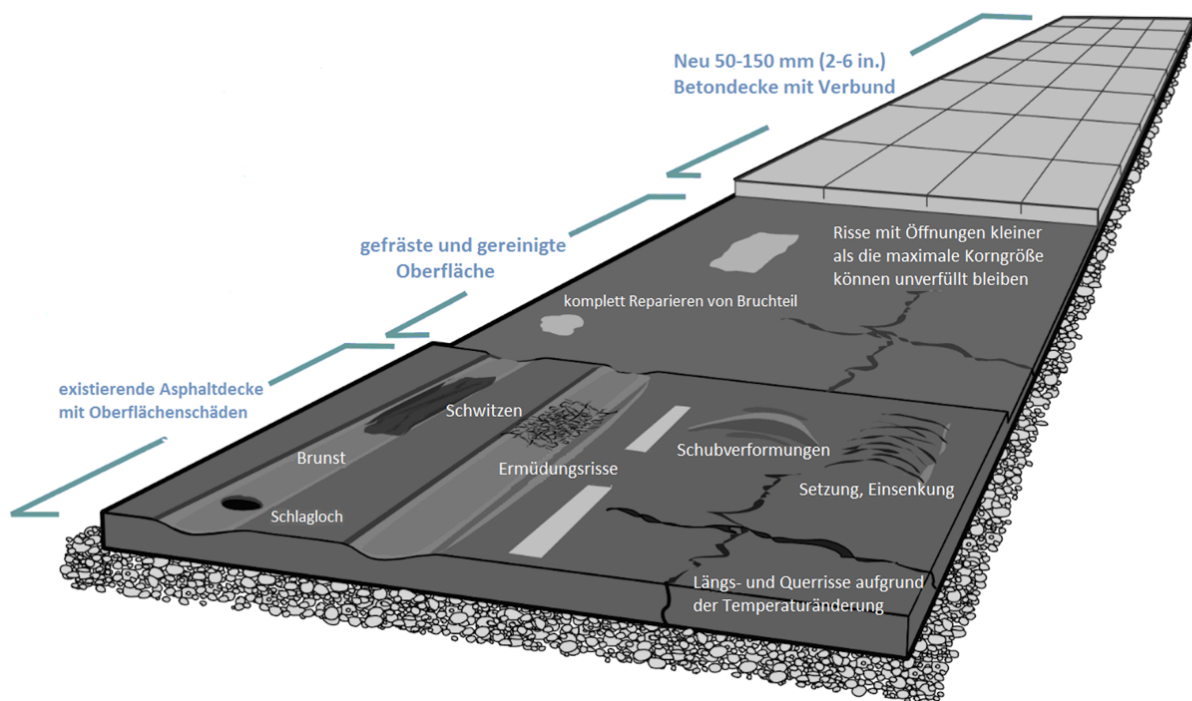


Abb. 21: Einbau vom Whitetopping mit Verbund [14]

Vor dem Einbau der Whitetopping-Decke mit Verbund (Abb. 21) ist es wichtig den Zustand der existierenden Fahrbahn zu erfassen und auszuwerten. Das ist der erste Schritt vor dem Fräsen und der anderen Einbautätigkeiten. Die Evaluierung des Bestandes umfasst visuelle Untersuchungen, Bohrkernentnahmen und andere Materialprüfungen. Lokale Schäden wie Schlaglöcher, Ausbrüche, Risse und Verlust an Untergrundtragfähigkeit werden erfasst und beseitigt. Der Zustand der unteren Tragschichten ist wesentlich um gute Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit der neuen Decke zu gewährleisten.

Nach den Reparaturarbeiten erfolgt das Fräsen mit einer minimalen Frästiefe, da die Bereiche mit ausreichender Tragfähigkeit zu günstiger Lastverteilung infolge von Verkehrsbelastung und zu besserem Verhalten der neuen Betondecke führen. Die ganze Asphaltdecke zu fräsen, ist keine Anforderung für den Verbund zwischen Asphalt und Betondecke. Das Fräsen hat drei wesentlichen Aufgaben [14]:

- die beschädigten Teile, die Einfluss auf der Tragfähigkeit haben, wegzunehmen;
- Instandsetzen von Schlaglöcher, um die Dicke der Platte zu optimieren;
- die Nivellierhöhe in Kurven und Übergangsbogen zu gleichen. Die Nivellierhöhe bestimmt in meisten Fällen die Tiefe des Fräsens.

Laut [14] muss eine Mindestdicke der Asphaltdecke von 3 inch (75 mm) nach dem Fräsen vorhanden sein, um einen guten Verbund und ausreichende Tragfähigkeit zu sichern. Mit dem Fräsen können

alle Oberflächenschäden beseitigt werden. Da die Asphaltdecke auch eine tragende Funktion hat, ist ihr guter Zustand nach dem Fräsen von großer Bedeutung. Die gefräste Oberfläche muss noch einmal für Einzelschlaglöcher überprüft werden. Vorhandene Risse müssen mit bituminöser Vergussmasse verfüllt werden. Das ist eine Voraussetzung für zukünftige Probleme, wenn die Rissöffnung größer als den Durchmesser der Zuschlagkörnungen ist.

Nach dem Fräsen erfolgt eine gründliche Oberflächenreinigung, um Staub und lose Partikel aus dem Fräsvorgang zu entfernen. Das ist notwendig, damit der Verbund zwischen der Asphaltdecke und der Betonüberdecke gewährleistet werden kann. Ein guter Verbund ist wichtig für das Verhalten der neuen zweischichtigen Decke. Die Reinigung erfolgt durch Kehren oder durch Druckluft.

Der letzte Schritt ist die Herstellung der neuen Decke. Die Oberflächentemperatur der Asphaltdecke muss unter 49°C sein. Wenn diese Temperatur höher ist, wird die bituminöse Schicht mit Wasser gekühlt, wodurch das Risiko von großen Rissen am Beginn der Erhärtungsphase vermeiden kann. Die Decke kann durch fertige Schalungsformen hergestellt werden. Die Trocknung ist wichtig bei dünnen Whitetopping-Decken. Die Fugenherstellung beginnt, wenn der Beton ausreichend fest ist. Die Quertfugen müssen eine Tiefe von ein Drittel der Plattenhöhe haben. Die Längsfugen haben dieselbe Tiefe. Alle Fugen müssen mit heißer bituminöser Vergussmasse verfüllt werden [14].

### 2.2.3.2 Einbau der Betondecken ohne Verbund

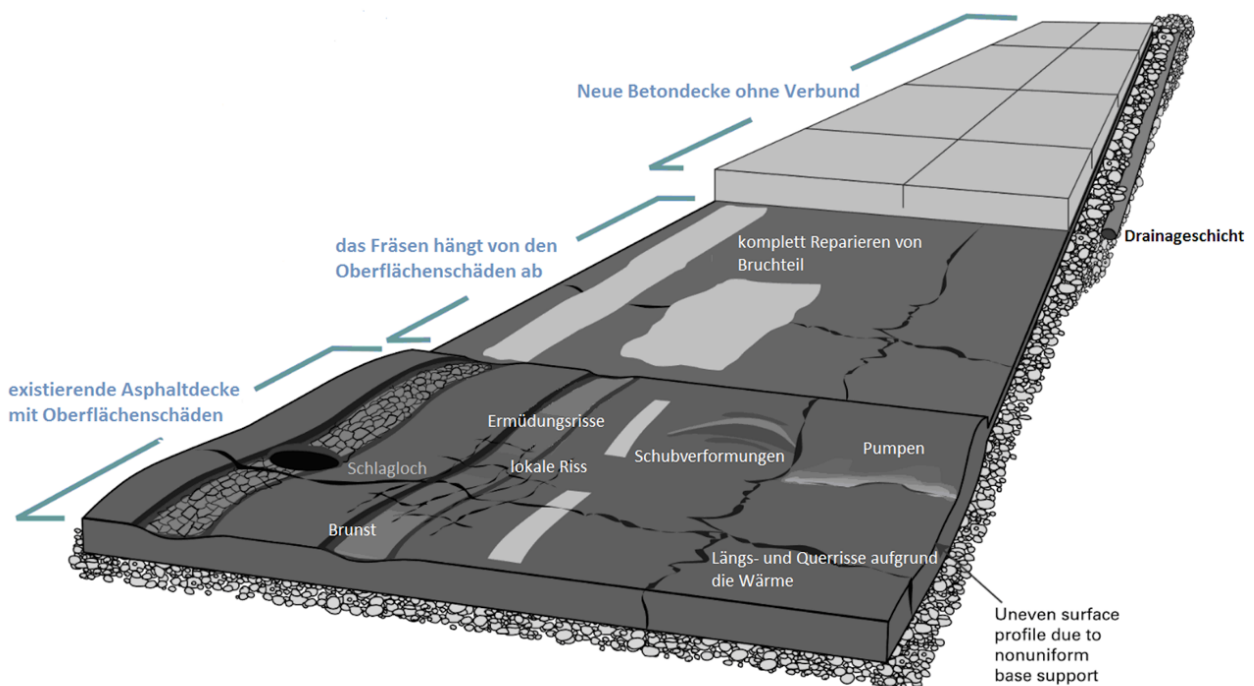


Abb. 22: Einbau von Whitetopping ohne Verbund [14]

Der Einbau bei Decken ohne Verbund (Abb. 22) ist fast derselbe wie der Einbau mit Verbund. Die Whitetopping-Decke kann direkt auf der existierenden Asphaltdecke gelegt werden. Das direkte Setzen der Betonschicht ist empfohlen bei Fahrbahnen in gutem Zustand, wenn die Spurrinnen in der existierenden Schicht nicht tiefer als 50 mm sind. Falls das direkte Setzen nicht möglich ist, muss die existierende Asphaltdecke von Reparaturarbeiten instandgesetzt werden. Die Decken ohne Verbund erfordern weniger und spezifische Einbauvorbereitung. Das Fräsen ist erforderlich bei Spurrinnen tiefer als 50 mm und ist nötig um Schlaglöcher zu vermeiden und um fehlerhafte Teile in der Asphaltdecke abzutragen. Es ist nicht nötig die ganze Asphaltdecke zu fräsen, sondern nur die Teile, wo Schäden in die neue Betondecke auftreten können. Die Mindestdicke des Asphalts ist 3 inch (75 mm) um die Tragfä-

higkeit zu sichern. Die Bruchteile in der bituminösen Schicht müssen mit Geokunststoffen isoliert sein. Vor der Herstellung der Whitetopping-Decke ist keine spezielle Oberflächenreinigung erforderlich. Der Grund wird gekehrt. Bei der Herstellung der Betondecke muss die Oberflächentemperatur unter 49°C sein. Wenn die Temperatur höher ist, wird die Asphaltsschicht mit Wasser benässt, wodurch die Temperatur und das Risiko von großen Rissen am Beginn der Erhärtungsphasen vermieden wird. Der Trocknungsprozess beginnt gleich nach der Herstellung. Verschiedene Trocknungszusätze können benutzt werden, um Risse zu vermeiden. Die Fugenherstellung beginnt, wenn der Beton ausreichend fest ist. Die Fugen müssen eine Tiefe von einem Drittel von der Plattenhöhe haben. Die Fugen müssen mit Vergussmasse verfüllt werden [14].

#### 2.2.4 Fugenausbildung

Die Whitetopping-Beläge werden durch kurzen Fugenabstände (längs und quer) charakterisiert. Der kurze Abstand zwischen den Fugen kann wesentlich die Spannungen während des Erhärtungsprozess reduzieren. Auch der gute Verbund zwischen der Betonüberdecke und der Asphaltsschicht und der kleinere Fugenabstand können Biegespannungen verringern. Die Fugenabstände bzw. die Plattengrößen hängen von der Dicke der Platte ab. Die 12- bis 15-fache Platendicke ergibt die Plattenlänge. Bei Whitetopping-Schichten ohne Verbund die 21-fache Dicke der Platte ergibt den Fugenabstand. Im letzten Fall erfolgt die Querkraftübertragung durch die Kornverzahnung [15].

Die Längsfugen dürfen nicht in der Rollspur liegen. Wenn die Fugen zwischen den Rollspuren liegen, dann entstehen Randspannungen. Es ist empfehlenswert, dass die Rollspuren zwischen zwei Längsfugen liegen (Abb. 23). Die Fugen bei Whitetopping-Schichten werden weder verdübelt noch verankert. Das ist nur bei Fahrbahnen mit höher Verkehrslast – hochrangige Straßen oder industriellen Verkehrsflächen - notwendig. Der Fugenschnitt wird mit herkömmlichen Geräten erzeugt und muss frühzeitig hergestellt werden, damit keine Entspannungsrissen auftreten. Das Verfüllen der Fugen mit Vergussmasse bei kurzen Fugenabstände (bzw. UTW-Schichten) ist nicht obligatorisch. Wenn die Fugen verdübelt oder verankert sind, dann ist die Verfüllung notwendig [15].

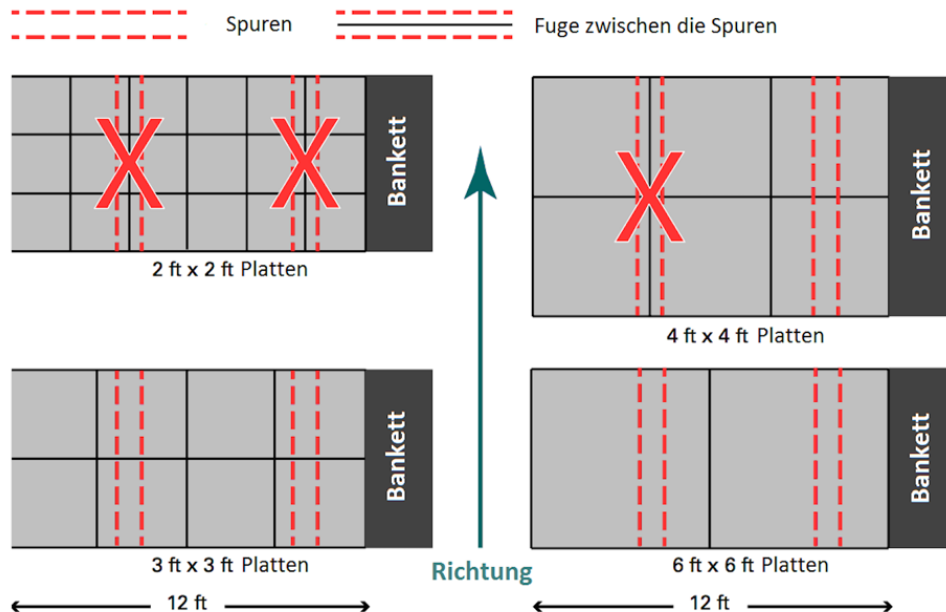
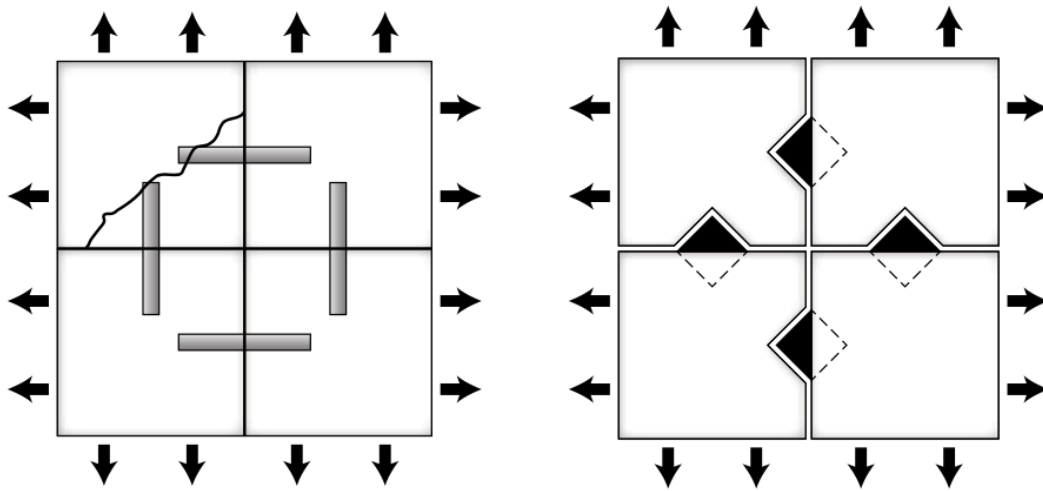


Abb. 23: Spurenverteilung bei Längsfugen [14]

Statt den runden Dübeln, können bei Whitetopping-Decken Plattendübel verwendet werden. Sie haben ein besseres Verhalten als die runden Dübeln und erlauben die normale Bewegung der Platten ohne Beschränkungen. Diese können auch die Dreh- und die Randspannungen vermindern. Das Schwinden

wird durch die spitz zulaufende Form des Dübels vermieden (Abb. 24). Die Schnitttiefe ist normalerweise ein Drittel bis ein Viertel von der Plattendicke [14].



**Abb. 24: Einfluss von Form der Dübeln auf Schwinden [14]**



### 3 Fahrbahnen aus Walzbeton (RCC)

Der Walzbeton bekommt seinen Namen aus der Einbaumethode – der Beton wird mit Straßenfertigern eingebaut und durch starke Vibrationswalzen und Gummiradwalzen zu seinem Endzustand verdichtet. Der Beton hat fast dieselben Eigenschaften und enthält dieselben Stoffe wie der herkömmliche Straßenbeton – Betonzuschlag, Zement, Wasser und chemische Zusätze, um das Verhalten und die Eigenschaften zu verbessern. Der Unterschied besteht im Mischungsverhältnis und im höheren Gehalt an feinen Kornteilen. Die Fahrbahnen aus Walzbeton werden mit herkömmlichen Asphaltfertigern eingebaut und mit Walzen – Vibrationswalzen und Gummiradwalzen – verdichtet. Diese Fahrbahnen werden ohne Schaltungen, Dübel, Anker konstruiert. Der Fugenschnitt ist nicht erforderlich. Diese Besonderheiten machen die Fahrbahnen aus Walzbeton zu einer guten Alternative für Parkplätze, industrielle und städtische Verkehrsflächen und militärische Infrastruktur [1].

#### 3.1 Betonzusammensetzung

Der Walzbeton (Abb. 25) hat dieselben Bestandteile wie der herkömmliche Beton – Zement, Wasser, Gesteine – feine und grobe, chemische Zusatzstoffe. Dieser Punkt enthält eine Beschreibung der Bestandteile des Walzbetons – die Unterschiede zwischen dem herkömmlichen Straßenbeton und dem Walzbeton und der Einfluss des Betons auf die technischen, wirtschaftlichen und betrieblichen Eigenschaften [1].



Abb. 25: Walzbetonmischung im Fertiger [29]

### 3.1.1 Zement

Die Walzbetonmischung kann von jeder Zementart hergestellt werden – hydraulische, Mischung von verschiedenen Arten von Zement oder eine Kombination zwischen hydraulischem Zement und Puzzolanzement. Wie bei dem herkömmlichen Straßenbeton muss jede Mischung die Anforderungen an den Umweltschutz und die Betriebseigenschaften erfüllen. Von der Art des Zements hängen verschiedene Betoneigenschaften wie der W/B-Wert und die Festigkeitsausbildung, die Festigkeitsgewinn in der Zeit nach der Herstellung des Betons ab. Normalerweise werden Zemente vom Typ CEM I – Portlandzemente und CEM II – Portlandkompositzemente bei Fahrbahnen aus Walzbeton verwendet. Wenn eine frühzeitige Festigkeit erforderlich ist, können CEM III – Hochofenzemente verwendet werden. Bei spezifischen Anforderungen an den Untergrund ist die Anwendung von CEM V – Kompositzemente möglich. Die Anwendung von zusätzlichen Zementstoffen erlaubt die Zugabe von feinen Gesteinen und verbessert die Verdichtung. Die Zementzusatzstoffe müssen alle Betonanforderungen erfüllen und nicht die Mischungseigenschaften beeinträchtigen. Die Zusatzstoffe wie Kieselerde oder kalkreiche Flugasche verbessern die Frosttaubeständigkeit und die Festigkeitsgewinnung in kalten Gebieten. Die Einheit von Zusatzstoffen hängt von der Betonrezeptur ab [1].

### 3.1.2 Gesteine

Die Gesteine spielen die wesentlichste Rolle in der Walzbetonmischung. Sie machen fast 85% der ganzen Mischung aus und haben Einfluss auf die Betriebseigenschaften, den Verdichtungsgrad, die Festigkeit, die thermischen Eigenschaften, die Lebensdauer und die Dauerhaftigkeit. Die Gesteinsart ist ähnlich wie bei dem herkömmlichen Straßenbeton. Der Unterschied besteht in der Größe infolge der Einbauweise – die Mischung wird mit Asphaltfertigern hergestellt und dann mit Vibrations- und Gummiradwalzen verdichtet. Bei der Auswahl von Gesteinskörnungen müssen das Verhalten, die Verdichtung und die Oberflächentextur berücksichtigt werden. Die Gesteinselektion hat Einfluss auf die Gewinnung von Festigkeit und die Dauerhaftigkeit ab. Die Wassermenge in der Mischung hängt von der Gesteinsfeuchtigkeit und hat auch Einfluss auf den W/B-Wert, und entsprechend auf die Zementmenge. Die Form spielt eine wesentliche Rolle für die Dauerhaftigkeit, wirtschaftliche und technische Eigenschaften – länglich-splittige und plattige Körner müssen vermieden werden. Die Sieblinie ist ähnlich wie bei den herkömmlichen Asphaltmischungen. Die Gesteine unterteilen sich in grobe - mit einer Größe bis 19 mm und feine - mit einer Größe unter 0,075 mm (75  $\mu$ m) [1].

Die groben Gesteine haben normalerweise eine Größe bis 19 mm, um die Abtrennung zu verhindern. Größere Gesteine bis 38 mm können mit adäquater Mischung von feinen Gesteinen angewendet werden und bei Flächen, an welchen die Oberflächentextur nicht wesentlich ist. Die Gesteinskörnung, die kleiner als 19 mm ist, (maximal bis 13 mm) kann die Oberflächeneigenschaften verbessern und dichte Oberfläche liefern. Die kleineren Korndurchmesser haben Einfluss auf die anderen Stoffe in der Mischung – der Zementgehalt steigt und vermindert die Fahrbahnfestigkeit [1].

Die feinen Gesteine tragen zur Verdichtung bei und verbessern den Verdichtungsgrad. Die Zementmenge kann durch den Anteil an feinen Körnungen verringert werden. Im Vergleich zu den herkömmlichen Asphaltstraßen ist die Rolle der feinen Gesteine nicht wesentlich für das zukünftige Verhalten der Fahrbahn. Aber die richtige Auswahl ist für die Straßenleistung einschneidend und bestimmt die Verdichtung, die Wassermenge, die Oberflächentextur, die Dauerhaftigkeit. Ein Beispiel für feines Gestein ist der Flusssand. Stoffe wie Ton oder Schlamm müssen vermieden werden, weil sie die Festigkeit verringern und das Schwinden erhöhen. Der Anteil an feinen Gesteinskörnungen variiert zwischen 2 und 8 Prozent der Gesteinsmenge [1].

### 3.1.3 Wasser

Es gibt keine speziellen Anforderungen an das zugesetzte Mischwasser. Der Gehalt von chemischen Elementen in den Wasserquellen muss vorher bekannt sein [1].

### 3.1.4 Chemische Zusatzstoffe

Die Auswahl der chemischen Zusatzstoffe hängt von dem Anwendungsziel ab. Die Arten und die Funktionen sind dieselben wie bei dem herkömmlichen Straßenbeton – Wasserreduktionsmittel, Beschleuniger, Retarder, verschiedene Plastifizierungsmittel. Die Zugabe von chemischen Zusatzstoffen erfolgt bei Mehlfähigkeiten. Der Anteil an chemischen Zusatzstoffen beim Walzbeton ist höher als beim herkömmlichen Beton. Die Einflüsse der Chemie auf die Walzbetonmischung und Eigenschaften müssen im Voraus bekannt sein [1].

Die Wasserreduktionsmittel und Retarder tragen zur Verdichtung bei und verlängern die Einbauzeit. Sie werden bei heißem Wetter, bei längerem Spureinbau oder bei der Herstellung von dünnen Schichten eingesetzt. Eine Alternative der Anwendung von Wasserreduktionsmittel ist die Erhöhung der Zementmenge in der Mischung wobei dies andererseits zu Steigerung des Schwindens führt. Retarder verlängern die Einbauzeit und erlauben eine Verlängerung der Verdichtungszeit und verbessern den Verbund zwischen der Walzbetonspur und Unterlage. Plastifizierungsmittel reduzieren die Mischungszeit in der Betonmischanlage und verbessern die Betriebseigenschaften. Die Anwendung von Beschleunigungsmittel ist erforderlich, wenn die Verkehrsfreigabe notwendig ist [1].

## 3.2 Technische Eigenschaften und Anforderungen

In ihrem Wesen kombinieren die Fahrbahnen aus Walzbeton einige Besonderheiten der herkömmlichen Betonstraßen und der Asphaltstraßen. Sie haben eine ähnliche Zuschlagsgröße und sind nach derselben Art verdichtet wie die bituminösen Fahrbahnen. Die Baustoffe und die technischen Eigenschaften sind ähnlich wie bei den herkömmlichen Betonstraßen.

### 3.2.1 Festigkeit

Die Betonfestigkeit hängt von der Zementmenge, vom W/B-Wert, von der Kornzusammensetzung und vom Verdichtungsgrad ab. Die Fahrbahnen aus Walzbeton haben Druckfestigkeits- und Biegefestigkeitseigenschaften, die mit den herkömmlichen Betonstraßen vergleichbar sind. Die Druckfestigkeit nach 28 Tage liegt zwischen 28 MPa und 41 MPa und hängt von der Auswahl der Stoffe und der Mischungsmatrix ab. Es gibt Beispiele, wo die Festigkeit bis 48 MPa reicht. Durch die praktische Erfahrung wird die Dicke der Fahrbahn durch die Anwendung von verschiedenen Betonklassen verändert. Die Druckfestigkeit wird von den Betonzuschlägen erreicht. Der typisch für Walzbetone niedrige W/B-Wert ruft niedrigere Porosität der Zement-Matrix hervor. Jede Mischung hat eigenen Feuchtigkeitsgrad, bei der die optimale Dichte erreicht wird. Die Dichte ist ein Festigkeitsfaktor. Der Verdichtungsgrad der Mischung hat auch einen Einfluss auf die Biegezugfestigkeit. Normalerweise sind in den richtig eingebauten Fahrbahnen die Zuschläge gut verdichtet, was die Rissbildung durch Ermüdung verhindert. Die Biegezugfestigkeit bei Walzbetone liegt zwischen 3,5 MPa und 7 MPa. Alle Daten wurden durch praktische Erfahrung und Teststrecken erhoben [1].

### 3.2.2 Ermüdung

Die Ermüdungsrisse werden durch konstant wiederholte Lasten verursacht. Die Spannungen, die bei einzelnen Lasten auftreten, sind nicht größer als die Stofffestigkeit. Die Ermüdung ist ein Faktor für die Bemessung der Fahrbahndicke. Das Ermüdungsverhalten von Fahrbahnen aus Walzbeton ist durch

praktische Erfahrung belegt. Die Ergebnisse zeigen, dass das Ermüdungsverhalten dasselbe wie bei herkömmlichen Betonstraßen ist [1].

### 3.2.3 Frostbeständigkeit

Der Frost kann zwei wesentliche Schäden bei den Fahrbahnen aus Walzbeton verursachen – internes Risse und Oberflächenschäden. Die Fahrbahnbeschädigungen werden von der Feuchtigkeit verursacht. Wenn die Fahrbahn nass ist, tritt das interne Risse auf. Diese Risse reduzieren den dynamische Elastizitätsmodul und erzeugen eine Ausdehnung. Die Oberflächenschäden tritt ein, wenn die Fahrbahn externem Einfluss von Feuchtigkeit ausgesetzt ist. Das ist im Winter nachteilig, wenn die Straßen mit Salzen und chemischen Zusatzstoffen in Kontakt kommen [1].

Die Frostbeständigkeit ist eine wichtige Eigenschaft der Fahrbahnen in nordischem Klimagebieten und ein Faktor für die Dauerhaftigkeit der Oberfläche. Bei der Planung von Verkehrsflächen aus Walzbeton in kalten Gebieten müssen einige Anforderungen erfüllt werden:

- Die Auswahl der Stoffe ist dieselbe wie bei den herkömmlichen Betonstraßen. Der mineralische Gehalt in den Gesteinen muss für Frostbeständigkeit geeignet sein. Die Gesteine müssen dauerhaft frostbeständig sein. In der amerikanischen Praxis sollen die Betonzuschläge den Anforderungen der Normen ASTM C-33 entsprechen. Dies entspricht zu europäischen Normen - ÖNORM EN 12620 und ÖNORM EN 1367-1. Das sind dieselben Anforderungen, die bei den herkömmlichen Betonstraßen in den USA gelten [1].
- Die Frostsicherheit kann durch die Auswahl von dichten und gut abgestuften Materialien mit einer zufriedenstellenden Verteilung von Grob- und Feinkorn gewährleistet werden. Die Sieblinie bestimmt den Verdichtungsgrad und den Zementgehalt im Beton. Eine gute Dichtheit sichert eine ausreichende Festigkeit mit minimalem Zementgehalt und reduziert die Wasserdurchlässigkeit.
- Die Auswahl des Zementbindemittels hat Einfluss auf die Qualität der Fahrbahn. Auch der Zementgehalt spielt eine wesentliche Rolle, um eine ausreichende Festigkeit zu erreichen. Der W/B-Wert ist bei Walzbeton kleiner als 0,40, um die notwendige Festigkeit zu erzielen und die Durchlässigkeit zu verringern. Die bisherigen Untersuchungen haben die ausreichende Anwendung von mineralischen Zusätzen bewiesen wie zum Beispiel Kieselerde. Ihre Anwendung verbessert die mechanischen Eigenschaften des Straßenwalzbetons und beschleunigt die Entwicklung der Festigkeit. Es können andere Zusätze benutzt werden, wenn ihre Anwendung und ihr vorteilhafter Einfluss auf die Fahrbahn bewiesen ist.
- Beim Einbau empfiehlt es sich, den größtmöglichen Verdichtungsgrad zu erreichen. Das ist wichtig für das Erreichen von maximaler Festigkeit und niedriger Durchlässigkeit. Das sind die zwei Hauptfaktoren, die die Frostbeständigkeit ausmachen.
- Die Trocknung bzw. die Aushärtung des Betons haben eine wesentliche Rolle für die Frostbeständigkeit auf der Fahrbahnoberfläche. Während der Einbauphase müssen verschiedene Maßnahmen ergriffen werden, um den Wasserverlust zu reduzieren. Der Verlust kann die Frostbeständigkeit verringern und ist eine Ursache für die Rissbildung und für die Reduzierung der Festigkeit.

### 3.2.4 Schwinden und Permeabilität

Die Volumenänderung wird vom Schwinden verursacht. Der niedrige Wassergehalt in der Betonmischung bedingt die kleineren Schwindspannungen als bei den Betonfahrbahnen. Auch treten weniger Risse in der Platte durch den Zementgehalt in der Mischung auf. Die Wärmeausdehnung ist dieselbe wie bei herkömmlichen Betonfahrbahnen. Die Permeabilität hängt von der Porosität der Mischungs-



matrix, dem Stoffverhältnis, der Einbaumethode und dem Verdichtungsgrad ab. Die Permeabilität bei Fahrbahnen aus Walzbeton ist mit den herkömmlichen Betonstraßen vergleichbar [1].

### 3.3 Anwendungsbereiche

Die Fahrbahnen aus Walzbeton finden fast dieselbe Anwendung wie die herkömmlichen Betonstraßen und Asphaltstraßen. Aufgrund ihrer technischen Eigenschaften sind sie eine dauerhafte und wirtschaftliche Lösung für die Instandsetzung von beschädigten Verkehrsflächen. Auch infolge der Dauerhaftigkeit, der Wirtschaftlichkeit und der Tragfähigkeit sind Walzbetonstraßen eine Alternative für industrielle Verkehrsflächen, urbane Fahrbahnen mit niedriger Verkehrslast, Bankette und Übergangstreifen von hochrangigen Straßen. Der Walzbeton ist bei dem Einbau von Talsperren weit verbreitet. Die ersten Daten über die Anwendung von Walzbeton bei Fahrbahnen in den 30er Jahren stammen aus Schweden. Die erste Verkehrsfläche aus Walzbeton in den USA war eine Rollbahn auf dem Flughafen in Yakima, Washington in den 40er Jahren. Die weite Verbreitung der Anwendung von Walzbeton beim Einbau von Verkehrsflächen begann in den 80er Jahren. Der Beginn war in Canada in den 70er Jahren, wo die Fahrbahnen aus Walzbeton eine Alternative für Verkehrsflächen in der Holzgewinnungsindustrie waren. Mit Beginn der 80er Jahre haben die US Army Corps of Engineers eine Untersuchung der Anwendung von Walzbeton beim Einbau von Straßen, Verkehrs- und Industrieflächen begonnen. Ende des vorigen Jahrzehnts war der Einsatz von Walzbeton in Hafen- und Industrietransportflächen weit verbreitet. Seit Beginn des 21. Jahrhunderts bis jetzt wird dieser Fahrbahntyp weitgehend erforscht. Es gibt viele Beispiele für die Anwendung beim Einbau von Transportflächen in den USA und Kanada (Abb. 26). Eigenschaften wie Dauerhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit machen aus den Walzbetonstraßen eine sehr gute Alternative für Gebiete mit niedriger Verkehrslast, Landstraßen und urbane Verkehrsflächen [1].

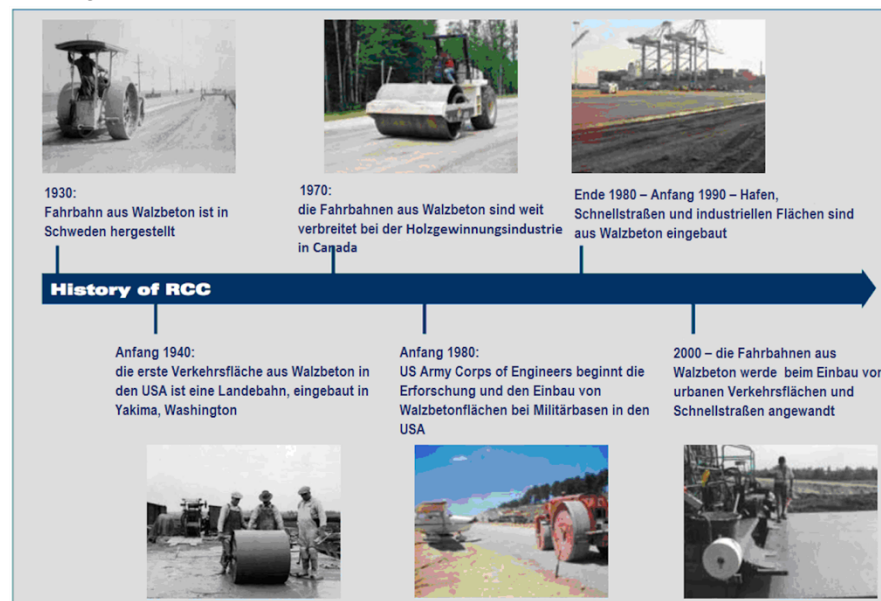


Abb. 26: Die Entwicklung des Straßenwalzbetons [1]

#### 3.3.1 Industrielle Verkehrsfläche

Als industrielle Verkehrsflächen werden Häfen, intermodale Anlagen und industrielle Zonen bezeichnet. Das sind große Flächen, die hohen Verkehrslasten und ständigen Lasten ausgesetzt sind und schnellen Einbau und Instandsetzung brauchen (Abb. 27). Das sind Bedingungen, welche Walzbetonflächen erfüllen. Die Fahrbahndicke ist normalerweise größer als 25 cm und darf auf zwei Schichten eingebaut werden. Die Rissbildung wird durch die Fugen kontrolliert. Bei großen Verteilungslasten sind Scheinfugen erforderlich und die Austeilung und die Schnitttiefe hängen von der Plattendicke ab [1].



**Abb. 27: Einbau von Hafen in Houston, USA [1]**

Es gibt einen anderen Typ von industriellen Zonen – die so genannte leichte industrielle Zone. Diese leichten Zonen können sich in urbanen Gebieten befinden und auch Zufahrtstraßen aus Walzbeton umfassen. Die geplante Geschwindigkeit liegt bei maximal 40 km/h und der meiste Verkehr wird von LKWs generiert. Für die Fugenherstellung gelten dieselben Bedingungen wie bei den anderen Industrieflächen [1].

### 3.3.2 Urbane Verkehrsfläche

Der Walzbeton ist eine Instandsetzungsmöglichkeit für urbane Verkehrsflächen. Die Sanierung von Straßen kann den Prinzipien von Whitetopping folgen. Eine dünne Walzbetonschicht wird durch Asphaltfertigern eingebaut. Die städtischen Straßen unterteilen sich in Haupt- und Nebenstraßen. Die Verkehrsfreigabe bei den Hauptstraßen ist immer ein wichtiger Schwerpunkt bei der Instandsetzung. Die Walzbetontechnologie erlaubt schnelle Einbau. Wegen seiner technischen Eigenschaften erlaubt der Beton eine Verlängerung der Lebensdauer und Verbesserung der Oberflächenbedingungen. Die Instandhaltungskosten sind geringer (Abb. 28).



**Abb. 28: Hauptstraße, eingebaut mit Walzbeton, in Bel Aire, Kansas [25]**

Für die Nebenstraßen (Abb. 29) gelten dieselben Bedingungen wie für die Hauptstraßen. Schwerpunkte sind die Dauerhaftigkeit, die Wirtschaftlichkeit, die Einbaumethode und die Verkehrsfreigabe. Die Fahrbahnen aus Walzbeton werden bei niedrigen Verkehrslasten bevorzugt eingesetzt. Bei Nebenstraßen gehen die Lasten von Autobussen und PKWs aus. Bei einer Geschwindigkeit von mehr als 40 km/h kann eine dünne obere Asphalttschicht eingebaut werden. Die Längsfugen dürfen nicht in der Rollspur liegen, damit keinen Randspannungen entstehen können. Die Fugenherstellung hängt von den Lasten, der Geschwindigkeit und der Plattendicke ab. Sie sind erforderlich bei einer Dicke von mehr als 20 cm und bei einer Geschwindigkeit höher als 40 km/h [1].



Abb. 29: Nebenstraße in Whiteland, Indiana [25]

### 3.3.3 Hochrangiger Straßenbau

Die Anwendung von Walzbeton beim Einbau von hochrangigen Straßen ist, im Gegensatz zu herkömmlichen Betonstraßen oder Asphaltstraßen, nicht weit verbreitet. Die Technologie vom Straßenwalzbeton ist noch nicht komplett erforscht und seine Anwendung bei Autobahnen und Schnellstraßen begrenzt. Die hochrangigen Straßen sind von hohen Verkehrslasten und intensivem LKW-Verkehr bedingt. Eine ganze Fahrbahn kann noch nicht komplett aus Walzbeton gebaut werden, aber verschiedene Teile von den hochrangigen Straßen – Bankette, Verbreitungen – können eingebaut werden. Der Walzbeton ist wegen seiner Eigenschaften bevorzugt – große Festigkeit, schneller Einbau – bei Verbreitung von Fahrbahnen, wo der Unterbau und der Baugrund nicht stabil sind. Der Walzbeton ist auch bei den Banketten bevorzugt (Abb. 30). Er ist für die Instandsetzung von beschädigten Asphaltteilen gut geeignet. Die existierende Schicht wird gefräst und eine Walzbetonschicht eingebaut. Der Verkehr ist der gleiche wie bei den Autobahnen und die Dicke liegt zwischen 15 und 20 cm. Es werden keine Fugen geschnitten, nur Scheinfugen an denselben Stellen wie bei der Hauptfahrbahn [1].





Abb. 30: Verbreiterung von I-285 GDOT in Atlanta, Georgia, USA [25]

### 3.3.4 Multi-Layer Pavement Systems for High-Speed Uses

Der Walzbeton kann in Mehrschichtenfahrbahnssystemen angewandt werden. Diese Systeme sind für stark belastete Straßen geeignet, wo der Walzbeton als Tragschicht unter der oberen Asphaltdeckschicht oder der Betonschicht angeordnet wird. Das erlaubt die Herstellung einer dünneren Deckschicht. Beide Schichten müssen getrennt sein, damit sie sich getrennt bewegen können. Dabei erfolgt eine Spannungsentlastung und Verhinderung der Rissbildung infolge Tragfähigkeitsverlust im Untergrund [1].

Diese Systeme sind für Flugbetriebsflächen, Autobahnen, Schnellstraßen, schwer belastete urbane Verkehrsflächen geeignet. Eine Walzbetonschicht als Tragschicht verlängert die Lebensdauer bei großen Verkehrslasten, weil diese Schicht die ganze Straßenkonstruktion verstärkt. Die starken Tragschichten ermöglichen die Reduzierung der Dicke der Oberflächenschicht. Der Fugenschnitt ist nicht erforderlich, wenn der Walzbeton als Tragschicht hergestellt wird. Andernfalls gelten dieselben Fugenregeln wie bei den herkömmlichen Betonstraßen [1].

## 3.4 Einbauweisen

Der Einbau einer Walzbetonschicht unterscheidet sich wesentlich vom Einbau einer herkömmlichen Betonschicht, da dieselben Technologien wie beim Einbau von Asphaltstraßen verwendet werden. Die Walzbetonschicht wird von Asphaltfertigern hergestellt (Abb. 31) und von Vibrations- und Gummiradwalzen verdichtet. Die Herstellung einer Walzbetonstraße beinhaltet die Betonherstellung, die Untergrundvorbereitung und -einbau, die Walzbetonstellung, die Verdichtung, die Fugenherstellung und die Maßnahmen gegen Austrocknung und Verlust von Festigkeit [1].



**Abb. 31: Einbau von Walzbetonfahrbahn [29]**

Bei der Herstellung der Fahrbahn aus Walzbeton sind die Vorbereitung und der Zustand der Untergrundoberfläche (Abb. 32) wichtig für das zukünftige Verhalten der Straße. Der Unterbau, die Drainageschicht und die ungebundenen Tragschichten müssen ausreichend fest sein. Die vorbereitete Oberfläche muss geformt und mindestens zu 95% von der maximalen Dichte verdichtet werden. Alle Baustoffe im Unterbau müssen den Baunormen für Unterbau entsprechen. Die ungebundene Tragschicht funktioniert auch als eine Drainageschicht und leitet das Wasser unter der Fahrbahn weg, um die Frostprozesse zu verhindern. Vor der Herstellung des Walzbetons muss die Oberfläche von Wasser und Stoffen, welche nicht mit dem Einbau in Verbindung stehen, gereinigt werden. Bei der Betonherstellung muss der Untergrund feucht sein, damit das Wasser vom Walzbeton nicht weggezogen wird [1].



**Abb. 32: Vorbereitung von der Grundoberfläche [1]**

Der Walzbeton wird in Betonanlagen hergestellt. Der Transport von der Anlage bis zur Baustelle wird mit herkömmlichen Muldenkippern durchgeführt. Der Beton muss abgedeckt sein, um den Feuchtigkeitsverlust zu vermeiden. Vor der Betonherstellung muss die Oberfläche gut gereinigt und das überschüssige Wasser entfernt werden. Der Einbau wird bei trockenem Wetter und bei Temperaturen über 5°C durchgeführt. Es ist verboten, bei starkem Regen oder bei stehendem Wasser zu arbeiten. Die Walzbetonstraße wird von herkömmlichem Fertiger eingebaut. Die Plattendicke ist ca. 25 cm und wird auf zwei Schichten durchgeführt. Die ganze Dicke der Platte kann mit einem Hochleistungsfertiger erfüllt werden. Beim Verlegen von zwei Schichten muss die obere Schicht 60 Minuten nach dem Einbau der unteren Schicht eingebaut werden. Das ist für das zukünftige Verhalten der Fahrbahn und für den Verbund zwischen den Schichten notwendig, da sonst Verbundverlust auftreten und die Eigenschaften des Walzbetons verschlechtert werden können. Bei mehrspurigen Straßen wird jeder Streifen von einigem Fertiger eingebaut, um denselben Verdichtungsgrad zu erreichen. Die fertige Fahrbahn muss bis zu Erstarrungsbeginn feucht sein. Die Bordschwelle und die Entwässerungsanlagen können vor oder nach dem Einbau hergestellt werden [1].

Nach der Herstellungsphase des Walzbetons folgt die Verdichtung. Das ist der wichtigste Teil beim Einbau, weil die Verdichtung alle wichtigen technischen Eigenschaften – die Festigkeit, der Dauerhaftigkeit, die Griffigkeit – der Walzbetonstraße bestimmt. Der Walzbeton wird von Tandemwalzen gleich nach dem Einbau verdichtet (Abb. 33). Der letzte Durchgang der Walze kann mit einer Gummiradwalze durchgeführt werden. Bei engen Zonen empfiehlt sich die Verdichtung durch Vibrationsplatten oder Handverdichtern. Der Verdichtungsbeginn ist gleich nach dem Einbau des Walzbetons oder maximal bis 15 Minuten danach. Bei heißem Wetter kann es zum Wasserverlust in der Mischung kommen und der Erdbau muss adäquate Maßnahmen treffen. Die gewünschte Verdichtung wird mit sechs bis acht Walzdurchgängen erreicht. Die Erfahrung des Maschinebedieners ist ausschlaggebend, damit eine Überverdichtung bzw. eventuell durch Verdichtung auftretende Schäden vermieden werden. Die schlechte Verdichtung um die Ecken und bei engen Zonen kann zu Absenkungen im Straßenprofil und somit zu vermindertem Fahrkomfort führen. Es gibt keine Formel für die Bestimmung der notwendigen Walzdurchgänge. Alles hängt von der Mischung und ihren Besonderheiten ab – Zementgehalt, Betonzuschlag, die erwartenden Lasten, die Nutzung von chemischen Zusatzstoffen. Es gibt auch verschiedene Möglichkeiten bei der Anwendung von Tandem-, Vibrations- und Gummiradwalzen. Bei statischer Verdichtung ohne Vibrationen sind mehrere Durchgänge nötig. Die Anwendung von Gummiradwalzen be-



stimmt die Oberflächentextur und das Straßenprofil. Die genaue Verdichtungstechnologie kann mit Hilfe einer Teststrecke bestimmt werden [16].



**Abb. 33: Verdichtung von Walzbeton [29]**

Die Fugenherstellung beginnt, wenn der Beton ausreichend fest ist. Die Fugen gliedern sich in Quer- und Längsfugen. Die Querfugen müssen die Rissbildung vermeiden und zur Lastverteilung beitragen. Die Längsfugen sind bei mehrspurigen Straßen oder bei schwer belasteten Verkehrsflächen hergestellt. In Gebieten mit großen Temperaturunterschiede Dehnungsfugen erforderlich, um eine Rissbildung aufgrund der Wärme zu vermeiden. Die Fugen sind mit Vergussmasse wie bei den herkömmlichen Betonstraßen zu füllen.

Nach dem letzten Verdichtungsdurchgang beginnt der Trocknungsprozess des Walzbetons. Die Trocknung spielt eine wesentliche Rolle für das Erreichen der Festigkeit und der technischen Eigenschaften. Der Walzbeton enthält keine große Wassermenge und der Feuchtigkeitsverlust beginnt sofort nach dem Verlegen. Die effektiven Maßnahmen gegen das Verdampfen sollen gleich nach dem letzten Walzdurchgang beginnen. Die Oberfläche muss feucht sein, wenn der Beton zu erstarren beginnt (Abb. 34). Es ist möglich die Verwendung von Wasserverteilungsmaschinen, um die Fahrbahn durch die ernste Festigkeitsgewinn feucht zu halten. Aber durch große Wassermenge ist diese Methode nicht wirtschaftlich und umweltfreundlich. Eine andere Lösung ist die Anwendung von chemischen Zusatzstoffen, die das Eindampfen und den Wasserverlust vermeiden. Die Verkehrsfreigabe bei Fahrbahnen aus Walzbeton hängt von der Festigkeitsgewinnung, dem Erreichen der technischen Eigenschaften, den zu erwartenden Verkehrslasten und den Umweltbedingungen ab [1].



Abb. 34: Maßnahmen gegen Feuchtigkeitsverlust nach der Herstellung [29]

### 3.5 Vor- und Nachteile gegenüber herkömmlichen Betonstraßen

Die Fahrbahnen aus Walzbeton und die Technologie des Walzbetons sind noch nicht ausreichend erforscht wie der herkömmliche Straßenbeton. Die Ähnlichkeiten zwischen den Fahrbahnen aus Walzbeton und die herkömmlichen Betonstraßen sind ihre Hauptbestandteile – Zement, Mineralstoffen und Wasser und die wesentlichen Festbetoneigenschaften. Der wesentliche Unterschied zwischen beiden Betonarten ist der Wassergehalt, der auch den verschiedenen Wasserzementwert bestimmt (Abb. 35). Die Zusammensetzung des Walzbetons erfolgt nach den bodenmechanischen Regeln, damit eine höchstmöglichen Verdichtungsgrad erreicht wird. Abhängig von diesem Parameter werden die Einbautechnologie und Nachbehandlungsmethode gewählt [1].

Der Hauptvorteil des Walzbetons ist sein niedriger Wasserbindemittelwert, der aufgrund der geringeren Schwindspannungen die Rissbildung im jungen Beton verhindert. Außerdem erlaubt seine Konsistenz eine einfache Einbautechnologie, die einlagig erfolgt und die nebeneinander Fertigungsbahnen ermöglicht. Aus diesen Gründen eignet sich die Walzbetonbauweise besonders für den Ausbau und die Verstärkung bestehender Verkehrsflächen, wenn eine schnelle Verkehrsfreigabe verlangt wird oder eine Verkehrsumlenkung während der Bauzeit nicht möglich ist. Die Walzbetonfahrbahnen werden nicht verübelt oder verankert und die Fugenabstände sind der Regel größer. Weitere Vorteile sind, dass die erforderliche Gerätetechnik zum Einbau von Walzbeton in den meisten Straßenunternehmen vorhanden ist und dass der Baufortschritt schneller ist, was den Walzbeton auch wirtschaftlicher macht [30].





**Abb. 35: Walzbetonoberfläche und herkömmlichen Betonstraße [1]**

Als nachteilig bei Walzbetonen wird der sehr hohe Koordinationsbedarf zwischen Transportbetonwerke und Bauausführung, damit ein kontinuierlicher Einbau gesichert werden kann, betrachtet. Die Walzbetonbauweise ist aufgrund des zusätzlichen Einsatzes schwerer Walzen geräteintensiver als die übliche Betoneinbauweise. Die Oberflächeneigenschaften zählen zu den großen Nachteilen des Walzbetons. Wenn das Baustoffgemisch zu trocken ist, kann er nicht gut verdichtet werden, was zu einer schuppigen und rauhen Oberfläche führt. Beim zu feuchtem Gemisch kann die Fertigerbohle einsinken und Unebenheiten erzeugen. Wie in Abb. 35 dargestellt ist, sieht die Walzbetonoberfläche viel offener als die herkömmliche Straßenbetonoberfläche aus. Das kann zur niedrigen Griffbarkeit bei Nässe und zur Reduktion der Verkehrssicherheit bei hohen Geschwindigkeiten führen. Eine dichtere und geschlossene Walzbetonoberfläche kann durch Grinden oder durch die Herstellung dünner Deckschicht hergestellt werden [1].

## 4 Fugenausteilung bei Fahrbahnen aus Walzbeton

Wie die herkömmlichen Betondecken wird auch bei Fahrbahnen aus Walzbeton die fertige Oberfläche in Felder durch Fugen unterteilt. Die Einbaumethode bestimmt, dass die Fugen nicht verdübelt oder verankert sind. In dem folgenden Kapitel werden alle Besonderheiten, technische Eigenschaften und Funktionen von den Fugen bei Fahrbahnen aus Walzbeton dargestellt [22].

### 4.1 Arten von Fugen und Besonderheiten

Die Fugen bei Fahrbahnen aus Walzbeton sind noch nicht vertieft erforscht. Das sind nicht die typischen Fugen wie bei den herkömmlichen Betonfahrbahnen. Die Fugen sind nicht verdübelt oder verankert. Einige Ausdrücke – wie frische oder kalte Fugen – kommen aus den Asphaltterminologie und weisen auf die Herstellungsbedingungen der Fugen hin. Die frisch hergestellten Fugen sind eine Verbindung zwischen zwei Spuren, die gleichzeitig eingebaut und verdichtet sind. Die kalt hergestellten Fugen sind die konstruktive Verbindung zwischen zwei Spuren, die innerhalb einer Stunde eingebaut wird. Die Fugen tragen zur Rissbildungskontrolle bei. Es gibt keine speziellen Arten von Fugen. Sie sind wieder Längsfugen, Querfugen und Ab- und Anschlussfugen [1], [19].

#### 4.1.1 Längsfugen

Die Längsfugen tragen zur Trocknungsberuhigung und den Krümmungsspannungen bei den Fahrbahnen aus Walzbeton bei. Diese Spannungen sind niedriger beim Walzbeton als beim herkömmlichen Beton aufgrund der niedrigen Menge Zementpaste und des kleineren Wassergehalts. Bei zweispurigen Fahrbahnen ist die Mittellinie als eine kalte Längsfuge hergestellt. Es existiert eine Verzahnung zwischen den Gesteinen, die die Querkraftübertragung sichert. Die Spannungen entlasten in Fugenbereichen. Die Fugen betrachtet als eine Schwachstelle. Der Fugenabstand wird in Abhängigkeit von der Plattendicke bestimmt. Bei einer Dicke, die kleiner als 20 cm ist, beträgt der Fugenabstand 4,5 m bis 6 m breit. Bei Platten, die dicker als 20 cm sind, ist der Abstand kalkuliert – 0,75 Mal der Plattendicke. Für große industrielle Flächen aus Walzbeton wird empfohlen, den Abstand 0,75 Mal der Plattendicke zu kalkulieren [1].

Die Längsfugen sind bei mehrspurigen Straßen erforderlich. Sie werden zwischen den Spuren in Einbaurichtung hergestellt. Die Längsfugen können als frische oder kalte Fugen hergestellt sein. Die frische Herstellung ist möglich, wenn der Einbau von den beiden Spuren innerhalb einer Stunde erfolgt und die Spuren gleichzeitig verdichtet werden, um eine monolithische Fuge zu erzeugen. Bei dem Einbau wird die Kante an der eine Längsfuge angeordnet wird, nicht verdichtet gelassen. Diese schmale Leiste dient als Führungslinie für den Einbau der Nachbarspur. Nach der Herstellung der zweiten Spur werden die Kanten von beiden Spure gleichzeitig verdichtet. Dabei sind mehrere Walzendurchgänge erforderlich als bei den Flächen innerhalb der Fahrspur, damit die Fuge gut verdichtet und glatt wird [1].

Beim Einbau sind die kalten Längsfugen mehr als eine Stunde nach der Herstellung der Straße geschnitten. In den meisten Fällen sind die kalten Fugen vorgeplant und die ganze Oberfläche ist verdichtet. Dann werden Längsfugen hergestellt, wenn die Schmalseite eingeschnitten und aus der Fahrbahn weggenommen ist [1].

#### 4.1.2 Querfugen

Die Querfugen tragen zur Rissbildungskontrolle bei Fahrbahnen aus Walzbeton bei. Die Lastübertragung erfolgt durch die Verzahnung zwischen den Gesteinen. Eine sorgfältige Auswahl von Kornzusammensetzung bewirkt eine gute Fugenwirksamkeit. In der Literatur sind keine festgelegten Methoden

für die Bestimmung des Fugenabstands zu finden. Die Einbauweise bestimmt, dass bei den Walzbetonstraßen keine Dübel oder Anker verwendet werden [1].

In [22] werden die Querfugen auch als vertikale Fugen bezeichnet. Dieser Name stammt aus der Herstellungsart - sie sind vertikal der Spur eingeschnitten. Laut dieser Studie [22] müssen auch bei Fahrbahnen aus Walzbeton Dübel eingesetzt werden, damit eine gute Verbindung zwischen den Platten erreicht und die Plattenbewegung vermieden wird [22]. Aber das steht im Widerspruch zum Einbauprinzip von Walzbetonstraßen, dass die Fugen nicht verdübelt oder verankert werden. Die Fugenwirksamkeit ist ein Kernpunkt für die Querfugen in Walzbetonfahrbahnen und muss bei der Bestimmung der Plattendicke berücksichtigt werden. In einigen Studien [20] wurden Faktoren für eine ausreichende Fugenwirksamkeit bestimmt – die Verkehrslasten, der kleine Gehalt an groben Gesteinen, die Umwelttemperatur und die Rissbildung. Wenn die Kornverzahnung in den Fugen kritisch ist, dann darf der Fugenschnitt nicht tiefer als ein Viertel der Plattendicke sein. Bei einer Dicke, die kleiner als 20 cm ist, ist der Fugenabstand zwischen 4,5 m und 6 m. Bei Platten, die dicker als 20 cm sind, ist der Abstand kalkuliert – 0,9 bis 1,2 Mal der Plattendicke in Abhängigkeit von den Lasten und den Umweltbedingungen [1].

Die Querfugen sind kalt hergestellte Fugen, die senkrecht in Richtung des Einbaus eingeschnitten sind. Die Fugen werden vertikal mit Schneideapparaten geschnitten. Die Oberfläche muss gut gereinigt sein. Der Schnitt wird später durchgeführt, normalerweise nach der Erstarrungsphase [1]. Die Herstellung von frischen Querfugen ist bei den Fahrbahnen aus Walzbeton nicht verbreitet.

### 4.1.3 Ab- und Anschluss Fugen

Diese Gruppe von Fugen besteht aus Isolierungsfugen und Dehnungsfugen. Aufgrund ihrer Eigenschaften und Funktionen sind diese Fugen nicht die gleichen wie bei den herkömmlichen Betonstraßen. Die Isolierungsfugen haben die Eigenschaften von Ab- und Anschlussfugen bei dem herkömmlichen Straßenbeton. Diese Fugen trennen die Walzbetonfahrbahnen von anderen Konstruktionen – z.B. Mannloch oder zwischen der Straße und den Bordkanten - ohne beiden zu schaden. Sie müssen dieselben Anforderungen wie der herkömmliche Beton erfüllen [1].

Die Dehnungsfugen bei Fahrbahnen aus Walzbeton werden in kalten klimatischen Gebieten hergestellt. Sie sind erforderlich, wenn der Einbau in kalten Regionen stattfindet, wo die zu erwartende Dehnung eine Ursache für zukünftige Schäden infolge der Temperaturdehnung sein kann. Ihrem Wesen nach sind die Dehnungsfugen Querfugen, die in regelmäßigen Abständen geschnitten sind. Sie erfüllen dieselben Bedingungen wie die Dehnungsfugen bei den herkömmlichen Betonstraßen und sind mit Fugenvergussmasse gefüllt [1].

## 4.2 Einflussfaktoren auf die Fugenwirksamkeit

Die Fugenwirksamkeit bei Walzbetonstraßen beschreibt die maximale Einsenkung des vertikal belasteten Fugenrandes dividiert durch die maximale Einsenkung des unbelasteten Fugenrandes. Das Ergebnis wird in Prozent angegeben. In anderen Studien [1] wurde schlussgefolgert, dass die Fugenwirksamkeit vom Walzbeton zwischen 22 und 89 Prozent liegt. Die Wirksamkeit wird von der Verzahnung zwischen den Gesteinen oder der Reibung in der Fuge zwischen zwei Platten erreicht, weil die Fahrbahnen aus Walzbeton keine Dübel und Anker enthalten. Das ist eine wichtige Eigenschaft der Fugen, weil sie das Fugenverhalten bei der Übertragung von Querlasten von der belasteten Platte auf die Nachbarplatte zeigt. Viele Faktoren haben Einfluss auf die Fugenwirksamkeit – die Fugenbreite, die Plattendicke, der Fugenabstand, die Oberflächentemperatur, die Sieblinie von den Gesteinen, die Lastwiederholung, der Typ von der Fuge. In diesem Kapitel werden diese Einflussfaktoren erläutert. Ihre Bestimmung erfolgte durch Felduntersuchungen wie von David Pittman und US Army Corps Of Engineers in den USA in den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts [19, 20, 21]. Alle Daten wurden mit der Hilfe von FWD (Falling Weight

Deflectometer) und HWD (Heavy Weight Deflectometer) bestimmt. FWD und HWD sind hydraulische Geräte, ausgestattet mit einer Last mit Masse von 6,7 kN bis 120 kN für FWD und von 29 kN bis 240 kN für HWD [20].

#### 4.2.1 Fugenart

Die folgende Tabelle (Tabelle 2) gibt eine Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse von Pittman [20] wieder. Die Fugenwirksamkeit, Abstand zwischen den Rissen und Rissbreite sind für verschiedenen Fugen- bzw. Rissarten dargestellt.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse über die Fugenwirksamkeit [20]

Fugenarten	Statistik	Temperatur (in Grad °C)	Fugenwirksamkeit	Fugen/Risse Abstand (m)	Rissbreite (mm)
Längsrisse	MEAN	24.0	60%	3.18	1.666
	CV	10%	37%	7%	90%
	N	12	13	13	8
Kalte Längsfugen	MEAN	20.3	42%	4.26	0.787
	CV	19%	52%	14%	37%
	N	23	23	23	5
Halbkalte Längsfugen	MEAN	27.8	69%	4.57	1.222
	CV	17%	33%	16%	90%
	N	226	287	289	104
Kalte Längsfugen zw. PCC und RCC	MEAN	25.0	22%	3.20	-
	CV	0%	52%	14%	-
	N	1	1	1	-
Querrisse	MEAN	25.2	66%	13.00	2.620
	CV	31%	38%	62%	101%
	N	650	930	930	509
Kalte Querfugen	MEAN	27.3	61%	12.34	5.476
	CV	28%	46%	39%	75%
	N	23	24	24	8
Kalte Querfugen zw. PCC und RCC	MEAN	20.5	72%	5.55	5.330
	CV	35%	24%	46%	0%
	N	6	6	6	1
Querfugen - geschnitten	MEAN	16.0	74%	13.40	-
	CV	11%	22%	27%	-
	N	81	106	106	-

Mit MEAN wird der Mittelwert des entsprechenden gemessenen Parameters bezeichnet. CV ist die Variationskoeffizient und ist ein Hinweis auf die Homogenität der Stichprobe. N bezeichnet die Anzahl der Versuche. Die dargestellten Fugen haben eine ähnliche Leistung. Auch der Abstand zwischen den Fugen in jeder Gruppe ist gleich – die Querfugen haben einen größeren Abstand als die Längsfugen. Die Risse haben eine bessere Wirksamkeit als die kalt hergestellten Fugen, jedoch ist die Variationszahl größer als 30% und das ist ein Hinweis für die große Streuung der Werte. Die Geometrie ist fast dieselbe für jede Gruppe. Laut der Studie [20] hängt die Ergebnisse von der Übergangsfläche ab. Fugen mit grober Schnittstelle wie Längsrisse, Querrisse, halbkalte Längsfugen haben größer Leistung als die Fugen mit glatter Schnittstelle wie kalte Längsfugen, kalte Querfugen.

#### 4.2.2 Rissbreite und Temperatur

Zwischen der Rissbreite und der Fugenwirksamkeit besteht eine gegenseitige Abhängigkeit – die Wirksamkeit wird verringert, wenn sich die Rissbreite verbreitert. Die Temperatur ist ein anderer Einflussfaktor aufgrund der temperaturbedingten Volumenänderungen der Betonplatte, und ist von der Breite unabhängig. Während der Untersuchung bei heißen Nachmittagstemperaturen geht die Biegung herunter und die Druckspannungen steigern sich am Oberflächenriss. Das hat einen Einfluss auf die Rissbreite-

verminderung und auf die Fugenleistungszunahme. Bei kalten morgendlichen Temperaturen schließen sich die Platten aufwärts und die Druckspannungen sind in der unteren Mitte des Risses. Die Rissbreite auf der Oberfläche ist größer als bei heißem Wetter. Das führt zu niedrigeren Druckspannungen als bei warmem Wetter und vermindert die Fugenleistung bei niedrigen Temperaturen [20].

### 4.2.3 Fugenabstand

Der Einfluss des Fugenabstands auf die Fugenwirksamkeit ist bei den Querrissen wesentlich ausgeprägter als bei den anderen Arten von Fugen und Rissen. Bei Längs- und Querrissen ist die Temperatureinwirkung maßgebender. Bei tiefen Temperaturen ist die Fugenwirksamkeit niedriger als bei hohen Temperaturen. Die Variation der Fugenwirksamkeit ist durch den Effekt auf die Fugenbreite bestimmt – großer Fugenabstand beträgt zu den großen Rissöffnungen bei tiefen Temperaturen. Bei warmem Wetter ist die Rissbreite dieselbe bei fast allen Arten von Rissen und Fugen [20].

### 4.2.4 Verkehrslast

Der Einfluss der Verkehrslast auf die Fugenwirksamkeit kann mit HWD-Versuchen untersucht werden. Auf jeder Fuge werden dynamische Lasten von 110 kN und 220 kN nacheinander beiliegend eingesetzt. Auf dieser Weise ist die Bestimmung der Fugenwirksamkeit infolge der dynamischen Last am genauesten, weil der Zeitunterschied zwischen den Lasten minimal ist und die Umweltbedingungen, wie Oberflächentemperatur und Rissbreite, konstant sind und keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

Grundsätzlich wäre zu erwarten, dass es einen wesentlichen Unterschied in der ermittelten Wirksamkeit bei kleinen Lasten und großen Lasten gibt. In einigen Fällen weisen die Querrisse bessere Wirksamkeit bei hoher Last, was für die Inkonsistenz der Ergebnisse spricht. In den meisten Fällen ist die Fugenwirksamkeit bei niedrigen Lasten besser als bei hohen [20].

### 4.2.5 Andere Faktoren

In der Literatur sind keine Studien zu finden, die den Einfluss der Plattendicke, der Sieblinie und des Alters der untersuchten Oberfläche auf die Fugenwirksamkeit untersuchen. Diese Faktoren haben einen wesentlichen Einfluss auf die technischen Eigenschaften und die Oberflächeneigenschaften der Fahrbahn. Laut Pittman [20] hat die Sieblinie bzw. die maximale Korngröße einen großen Einfluss auf die Kornverzahnung und somit auch auf die Querkraftübertragung und Fugenwirksamkeit.

In den Untersuchungen von Pittman wurde die Auswirkung der Schiefstellung bzw. schiefer Ausbildung von Fugen analysiert. Infolge einer Schiefstellung können ein Biegemoment und Torsionselemente im Fugenbereich entstehen, die die Belastungssituation im Zusammenhang mit der Verkehrslast verändern. Die Ergebnisse aus den durchgeführten Prüfungen (HWD) zeigen jedoch, dass eine Schiefstellung der Fuge keinen wesentlichen Einfluss auf die Fugenleistung hat [20].

## 4.3 Planung und Ausbildung

Bei den ersten ausgeführten Lagerflächen aus Walzbeton in den USA wurden keine Fugen vorgesehen, um die Herstellungskosten zu reduzieren und um die Ebenheit zu sichern. Dies führte zur unkontrollierten Rissbildung infolge Verkürzung des Betons nach der Herstellung, Verringerung der Lebensdauer der Konstruktion und somit auch zu höheren Erhaltungskosten [21]. Diese Unwirtschaftlichkeit und die steigende Anwendung von Walzbeton in verschiedenen Bereichen – auf schweren Industrieflächen bis urbanen Verkehrsflächen, in den 80er Jahren beeinflusste die konstruktive Weiterentwicklung von den Fahrbahnen aus Walzbeton und förderte somit die Fugenausbildung. Die Fugen auf Walzbetonstraßen sind in der Regel nicht verdübelt oder verankert wie beim herkömmlichen Straßenbeton. Der normale Abstand zwischen den Fugen bei herkömmlichem Beton ist zwischen 4 und 8 m. Das ist zu konservativ

für den Walzbeton. Durch den niedrigen Wassergehalt im Walzbeton bilden sich natürliche Risse, abhängig von der Schichtstärke und anderen Einflüsse, in einem Abstand zwischen 9 und 30 m. Der im Vergleich zum Straßenbeton kleinere W/B-Wert bedingt das kleinere Schwindmaß und die größere Zugfestigkeit. Die Anordnung von engen Fugenabständen führt zu höheren Einrichtungs- und Erhaltungskosten und macht die Verkehrsflächen aus Walzbeton unwirtschaftlich.

Im folgenden Unterkapitel werden zwei Methoden für Berechnung des Fugenabstands bei Fahrbahnen aus Walzbeton dargestellt. Die erste ist das theoretische Rissmodell von David Pittman [21] aus den 90er Jahren. Er hat einen Algorithmus für die Ermittlung des Fugenabstandes entwickelt. Die andere Methode ist mit Hilfe der Software „Streetpave“ dargestellt. Das ist ein Programm von ACPA (American Concrete Pavement Association) und dient zur Bemessung von allen Typen von Betonstraßen und Betonüberdeckungen, darunter auch Walzbetonstraßen und urbane Verkehrsflächen [21].

#### 4.3.1 Theoretische Model von Pittman

In diesem Punkt wird das theoretische Modell von Pittman beschrieben. Das Model wendet die eindimensionale Analyse an und berechnet die Spannungen und die Verschiebungen nur in der Längsrichtung. Die Konstruktion ist einfach – die Platte aus Walzbeton liegt auf einem Untergrund. Die Spannungen, die Verschiebungen und die Kräfte treten infolge des Schwindens, der Temperaturdehnungen und der Reibung zwischen der Betonplatte und dem Untergrund auf (Abb. 36) [21].

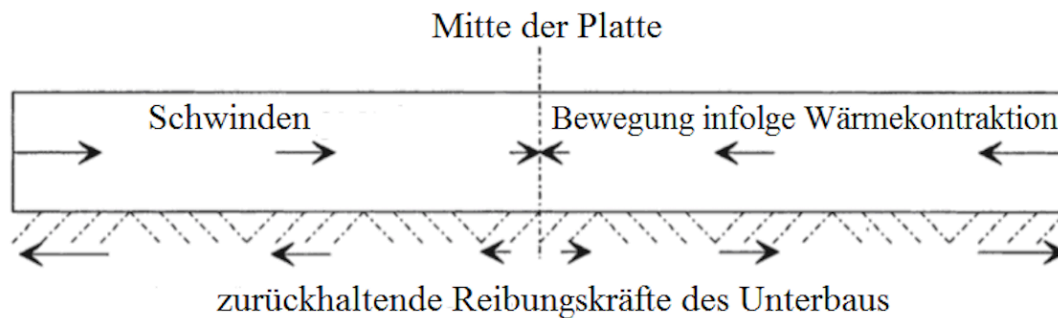


Abb. 36: Schema der Platte [21]

Pittman [21] machte folgenden Annahmen:

- das Verhalten des Walzbetons ist homogen, isotrop und linear-elastisch;
- die auftretende Temperaturänderung ist über die ganze Länge und Höhe der Platte gleich;
- Ein voller Verbund herrscht zwischen am Interface zwischen der ganzen Platte und Untergrund. Die temperaturbedingten Spannungen werden nicht berücksichtigt
- die Verschiebungskurven infolge Reibungskräfte sind elastisch;
- die Spannungen, Kräfte und Verschiebungen infolge volumetrischer Schrumpfung und Dehnung sind symmetrisch um die Mitte der Platte;

4.3.1.1 Verschiebung der Platte

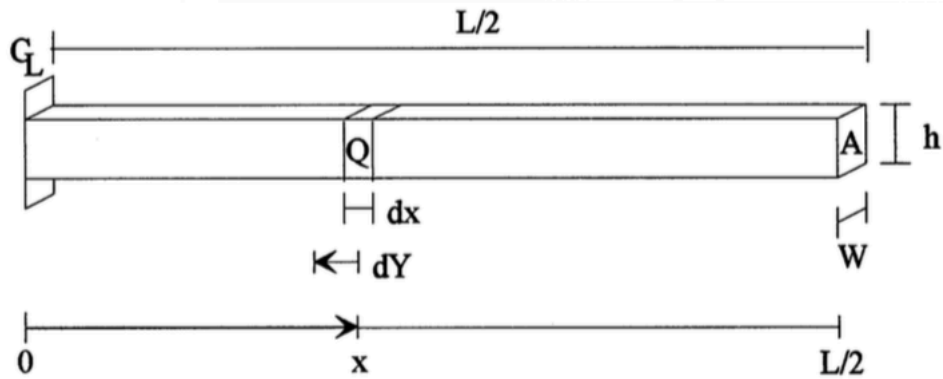


Abb. 37: Entwicklung die Verschiebung in die halbe Platte [21]

Abbildung 37 zeigt die Entwicklung der Verschiebungen in y-Richtung in der Plattenhälfte. Der Nullpunkt ist die Mittellinie, wo es keine Verzerrungen gibt. Die Platte hat die Breite W und die Höhe h und die Querschnittsfläche ist  $A = W \times h$ . Die Hälfte der Plattenlänge wird berücksichtigt, deshalb ist die theoretische Länge mit  $L/2$  bezeichnet.

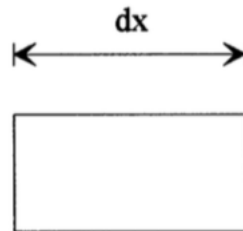


Abb. 38: nicht deformierte Element [21]

Für die Ziele der Untersuchung wurde ein Teil mit Breite  $dx$  angenommen (Abb. 38).

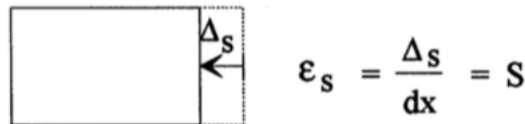


Abb. 39: Schwinddeformation [21]

Normalerweise wird das Volumen der Platte durch das Schwinden reduziert (Abb. 39). Die Deformation durch Schwinden  $\epsilon_s$  ist gleich der Verschiebung infolge des Schwindens  $\Delta_s$  dividiert durch die Breite  $dx$  und ist gleich dem Schwindkoeffizienten  $S$ .

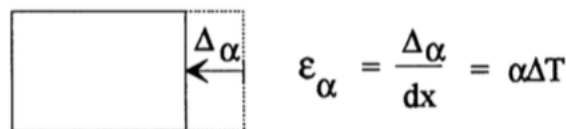


Abb. 40: Verschiebung durch Temperatureinfluss [21]

Wenn die Walzbetontemperatur niedriger als die Umgebungstemperatur während der Herstellung ist, ist die thermische Deformation  $\epsilon_\alpha$  durch den Temperaturunterschied  $\Delta_t$  gleich dem Quotienten aus der Verschiebung  $\Delta_\alpha$  auf die Breite  $dx$ . Das ist auch gleich dem Produkt aus der Wärmeausdehnungskoeffizient  $\alpha$  und dem Temperaturunterschied  $\Delta T$  (Abb. 40).

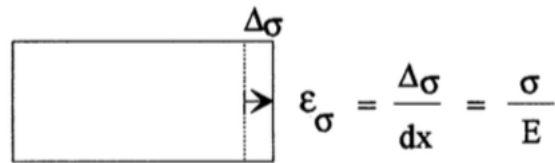


Abb. 41: elastische Deformation (Hook'sche Gesetz) [21]

Die elastische Verformung  $\epsilon_\sigma$  infolge der Reibungskraft ist gleich der Verschiebung  $\Delta\sigma$  dividiert durch die Länge  $dx$ . Das ist das Hook'sche Gesetz, wo die Deformation  $\epsilon$  gleich der Spannung  $\sigma$  durch die  $E_c$  ist, wo  $E_c$  dem Elastizitätsmodul des Betons entspricht. Die elastische Deformation verläuft in gegengesetzter Richtung der volumetrischen Deformationen, weil die volumetrische Verschiebung Zugspannungen erzeugt und eine Verlängerung auftritt (Abb. 41).

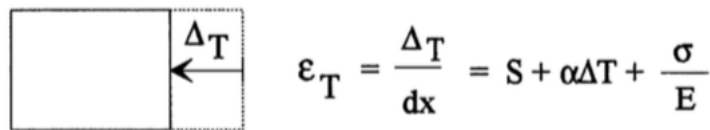


Abb. 42: Deformation infolge aller Einflussfaktoren [21]

Die ganze Deformation  $\epsilon_T$  des Elements ist gleich der Summe von den Deformationen  $\epsilon_\sigma$ ,  $\epsilon_s$ ,  $\epsilon_\alpha$  (Abb. 42). Die Differenzialverschiebung  $dY$  des Elements  $dx$  kann dargestellt werden als

$$dY = \epsilon_T dx \quad (1)$$

Die ganze Verschiebung  $dY$  des Elements  $dx$  auf der Länge  $x$  kann durch die Integration der Gleichung (1) in Bezug auf die Länge  $x$  dargestellt werden

$$Y = \int_0^x \epsilon_T dx + c \quad (2)$$

Die Verschiebung  $Y$  ist gleich 0 bei  $x = 0$ , weil das die Mitte der Platte ist. Das bedeutet, dass die Integrationskonstante  $c$  gleich 0 ist. Die maximale Verschiebung  $Y_{max}$  tritt auf den beiden Seiten der Platten ( $x = L/2$ ) auf. Die Verschiebung ist symmetrisch um die Mitte, deshalb kann die Rissöffnung (CKW) dargestellt werden als:

$$CKW = 2 x Y_{max} \quad (3)$$

#### 4.3.1.2 Spannungen

Die Reibungsrückhaltekräfte  $f$  wirken auf das Differenzialelement  $dx$  und auf die resultierende Differenzialkraft  $dF$  in der Betonplatte (Abb. 43).

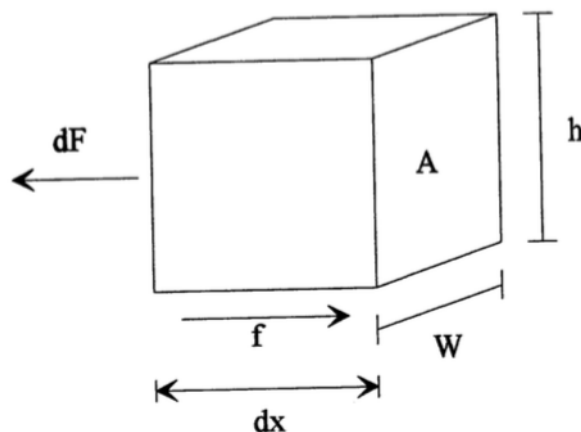


Abb. 43: wirkenden Kräfte auf dem Element [21]



Die Reibungskraft  $f$  ist eine Funktion der Sammelverschiebung  $Y$  und kann durch die Kraft-Verschiebungsdiagramme, die das Verhalten von Betonplatten auf verschiedenen Untergründen beschreiben, abgeleitet werden. Das statische Gleichgewicht ( $\Sigma F_x = 0$ ), der auf dem  $dx$ - Element einwirkenden Kräfte ist in Gleichung (4) dargestellt :

$$dF = f dx \quad (4)$$

Die Resultierende  $F$  kann in jedem Punkt  $x$  des Betons durch die Integration der Gleichung (4) berechnet werden.

$$F_x = - \int_0^x f dx + c \quad (5)$$

Die maximale Resultierende wirkt wieder auf den beiden Seiten. Die Kraft  $F = 0$  ist bei  $x = L/2$ :

$$k = \int_0^{L/2} f dx = F_{max} \quad (6)$$

Die Gleichung (4) kann dann in Gleichung (7) umgewandelt werden:

$$F_x = F_{max} - \int_0^x f dx \quad (7)$$

Die kumulative Zugspannung  $\sigma_x$  kann in jedem Punkt der Platte von dem Verhältnis zwischen der kumulativen Kraft  $S$   $F$  gegen die Querfläche  $A$  berechnet werden:

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A} = \frac{F_{max}}{A} - \frac{1}{A} \int_0^x f dx \quad (8)$$

Wenn die maximale Zugspannung überschritten wird, dann treten Risse auf. Diese Spannung entspricht der Betonzugfestigkeit. Die Verschiebungen und die Spannungen sind eine Funktion des Schwindens, der Temperaturverformungen und der Reibungskräfte am Interface zwischen der Betonschicht und dem Untergrund. Die Lösung der Gleichungen erfolgt iterativ.

#### 4.3.1.3 Verschiebungen und Spannungen in Bezug auf die Zeit

Die oben genannten Verschiebungen, Spannungen und Kräfte ändern sich mit der Zeit, weil die zeitabhängigen Prozesse des Schwindens und der Temperaturbelastung sich auch ändern. Nachdem die Betonfestigkeit und der Elastizitätsmodul auch Funktionen der Zeit sind, können abhängig von der Plattenlänge Risse in der Betondecke entstehen. Jedes Mal, wenn ein Riss entsteht, bilden sich zwei neue Platten mit gleicher Länge (Abb. 44). In den kürzeren Platten können sich wieder Risse bilden, bis die maximale Zugfestigkeit erreicht wird. Dieser Ablauf ist in Abbildung 44 gezeugt.

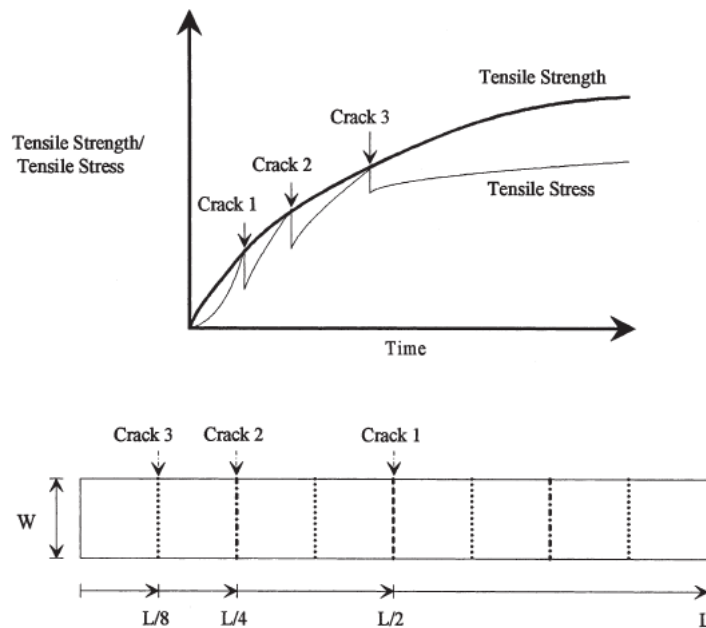


Abb. 44: Konzeptionelle Darstellung der Rissbildung in Betondecken in Bezug auf die Zeit [21]

#### 4.3.1.4 Rissmodell

Pittman [21] entwickelte ein Rissmodell zur Berechnung des Abstandes zwischen den Rissen, der Rissbreite und der maximalen Zugspannung. Dieses Modell wurde anhand von den Gleichungen (2) bis (8) als Computerprogramm für iterative Berechnungen umgesetzt. In Abbildung 45 ist der Algorithmus dargestellt. Das Programm berücksichtigt die wichtigsten Parameter für die Rissbildung im jungen Beton (Dicke der Platte, Länge, Reibungsbeiwerte, Schwinden, Wärmeausdehnung, Festigkeit, E-Modul und zeitabhängige Prozesse).

Um die Variation der Temperatur, der Festigkeit und des Schwindens durch Trocknung in Bezug auf die Zeit zu berücksichtigen, beginnt die Analyse 12 Stunden nach der Herstellung und Verdichtung, wenn sich eine Zugfestigkeit entwickelt hat. Der Berechnungsschritt ist 0,1 Tage und der ganze Prozess beträgt 2,5 Tage. Es wird zwischen Betoneinbau während des Tages und während der Nacht unterschieden. Abhängig von der Zeit wird die Temperatur sinusförmig zwischen der maximalen und minimalen Tagestemperatur variiert. Als Ergebnis von im Programm durchgeführten Iterationen ergeben sich die Spannungen und die Dehnungen [21].

Der Autor weist darauf hin, dass die Ergebnisse von der Berechnung des Abstandes zwischen den Rissen teilweise der Realität entsprechen. Ein möglicher Grund dafür ist, dass die Wölbspennungen und die Spannungen infolge Verkehrsbelastung, die zur Ermüdung führen, nicht im Modell berücksichtigt werden. Die Unterschiede zwischen dem prognostizierten und berechneten Rissabstand können auch aufgrund der angenommenen Modellvereinfachungen oder eines Regressionsfehlers entstehen. Das Modell liefert jedoch gute Ergebnisse und kann leicht weiterentwickelt werden.

Der aus dem Modell ermittelte Mikrorissabstand im jungen Beton kann als Basiswert für die Bestimmung des Fugenabstandes in Betondecken verwendet werden. Wenn der Fugen- oder Rissabstand bekannt ist, dann ist die Berechnung der Risstiefe bei bestimmten Strukturen und Umweltbedingungen möglich.

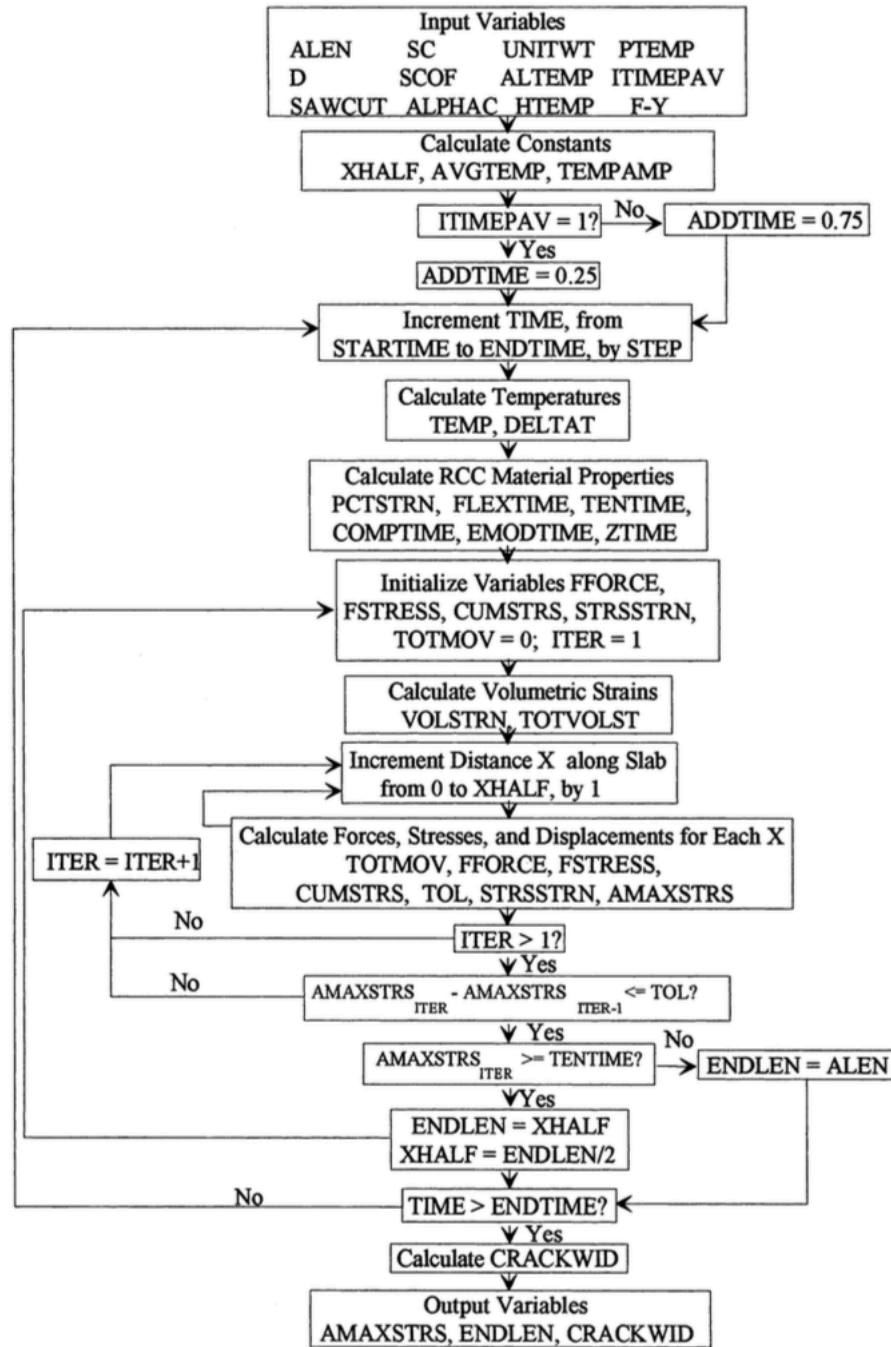


Abb. 45: Algorithmus des Modells [21]

### 4.3.2 Fugenausstellung mit StreetPave 12

StreetPave ist eine Software für die Bemessung von Walzbetonoberflächen und herkömmlichen Betondecken. Das Programm ist von ACPA (American Concrete Pavement Association) entwickelt worden. Die Bemessung erfolgt nach der amerikanischen PCA-Methode (Portland Concrete Association). Dieser Methoden liegt ein Ermüdungsnachweis zu Grunde. Das Programm wendet auch Ermüdungskurven an, die für herkömmliche Betondecken gültig sind. Die Software erlaubt die Bemessung von Walzbetonflächen für urbane Verkehrsflächen mit niedrigen Verkehrsbelastungen. Das Programm ist für stark beanspruchte Flächen wie Hafen und industrielle Verkehrsflächen nicht geeignet. Auf der Basis der PCA-Methode ist die Software RCC-Pave entwickelt worden, deren Funktionen in Streetpave übertragen wur-

den. RCC-Pave erlaubt auch die Bemessung von allen Typen von Walzbetonverkehrsflächen einschließlich Häfen und industrielle Flächen.

Die PCA-Methode basiert auf dem Westgaard-Verfahren für die Spannungsermittlung bei elastischer Verformung von Betonplatten. Der Straßenaufbau mit Walzbeton wird als ein monolithisches Mehrschichtsystem betrachtet in dem ein guter Verbund zwischen den Schichten vorhanden ist. Die Methode ist konservativ und anwendet die Ermüdungskurven. Im Unterschied zur Methode von Pittman, nimmt das Programm die Festigkeit infolge der Zeit und die Änderung der technischen Eigenschaften [1].

Das Programm dient zur Bemessung von herkömmlichen Betondecken und Whitetopping-Belägen. Als Ergebnis ergeben sich die Plattendicke und der Fugenabstand. Die Inputparameter umfassen allgemein die E-Modulen und Dicken der einzelnen Schichten, die Verkehrsbelastung (LKW pro Tag) und die Temperaturbelastung (Temperaturgradient). Man kann auch ein Zuverlässigkeitsniveau der Einwirkung der Verkehrsbelastung auswählen.

In diesem Kapitel wird eine Parameterstudie mit Hilfe dieser Software durchgeführt, damit der Einfluss verschiedener Parameter auf die Bemessung untersucht werden kann. Zu diesem Zweck wird ein Straßenaufbau bestehend aus neuer Whitetopping-Decke, einer bestehenden Asphalttschicht, ungebundener Tragschicht und Untergrund betrachtet. Die Berechnungen werden in zwei Hauptfälle unterteilt: (1) wenn kein Verbund zwischen der Asphalttschicht und der Betondecke vorhanden ist, (2) wenn beide Schichten miteinander verbunden sind. Im zweiten Fall wird nur die Plattendicke berechnet während der Fugenabstand angenommen wurde. Da das Programm auf den Untersuchungen „Guide to Concrete Overlays“ [14] basiert, ist der maximale Fugenabstand mit 6ft (1828,8 mm) festgelegt. Es wird der Fall mit maximaler Fugenabstand von 1828,8 mm berechnet. Die Auswahl von größeren Fugenabstände ist nicht möglich, was zu den Nachteilen der Software gezählt wird.

In allen Modellen wird eine vierspurige Straße betrachtet. Die Verkehrsbelastung wird abhängig von der Anzahl an Spuren im Programm verteilt. In den berechneten Modellen ist diese Verteilung 85% und bedeutet einen vierspurigen Weg. Das Ziel ist die Berechnung der Plattendicke und Fugenausbildung sowie die Bestimmung des Einflusses von verschiedenen Parametern. In Tabelle 3 sind die Inputparameter, die für alle Modelle gleich sind, dargestellt.

Tabelle 3: Eingangsparameter

Parameter	Einheit	Wert
Last pro Achse	kN	115,7
LKWs pro Tag mit 2% Jahreszuwachs		500
E-Modul des Untergrundes	kN	70
Obere ungebunden Schicht		
E-Modul	kN	239
Dicke	mm	200
Untere ungebunden Schicht		
E-Modul	kN	196
Dicke	mm	300
Theoretische Lebensdauer	Jahre	20

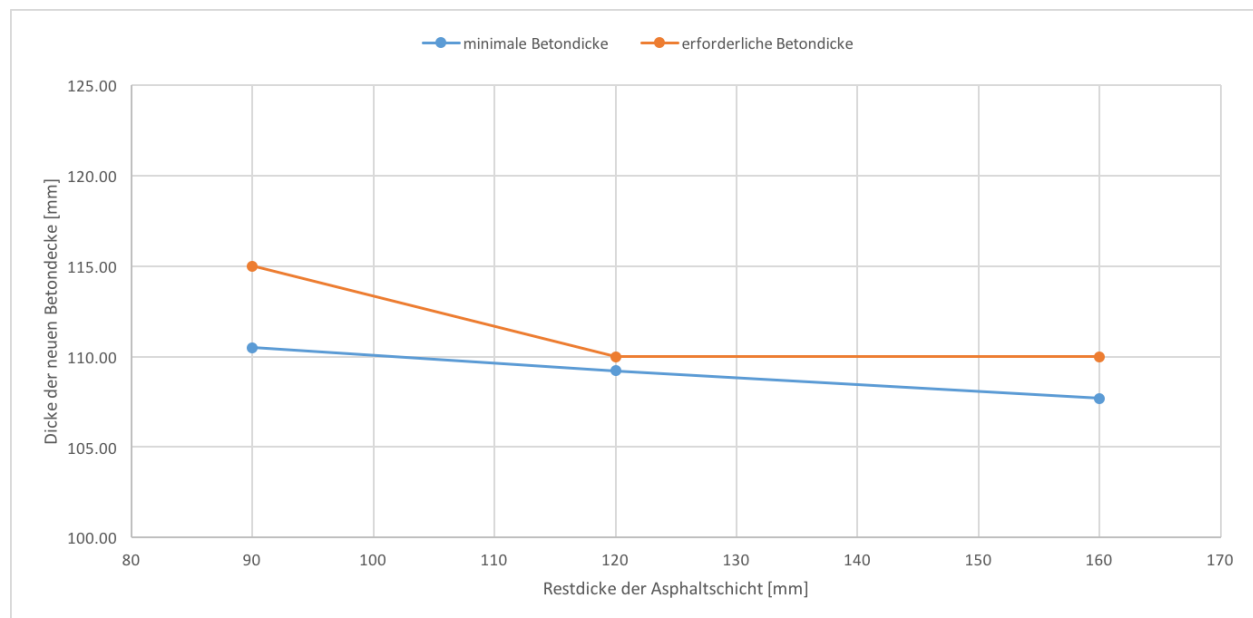
Die Parameter-E-Modul des Betons, Biegezugfestigkeit des Betons, restliche Asphalttsdicke werden in den zwei Fällen variiert, um ihren Einfluss auf die Plattendicke und den Fugenabstand zu untersuchen.

Im Fall 2, wenn die Betondecke und die Asphaltenschicht verbunden sind, ist es möglich den Einfluss der Oberflächenbehandlung vor der Herstellung des Betons zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird zwischen zwei Vorbehandlungsmethoden unterschieden. Diese sind Reinigung der Asphaltoberfläche oder Reinigung und Fräsvorgang. Die Oberflächenbehandlung hat kein Einfluss auf die Dicke und die Fugen, weil Verschiedene Proberechnungen haben gezeigt, dass die Oberflächenbehandlung einen Hinweis für die Verbindung zwischen der existierenden Asphaltenschicht und der neuen Betondecke ist. Das Programm nimmt nicht unter Berücksichtigung den existierenden Oberflächenzustand und die Schäden. Die existierende Decke wird als gereinigt und gefräst annehmen.

#### 4.3.2.1 Ergebnisse aus der Bemessung beim Einbau mit Walzbeton ohne Verbund

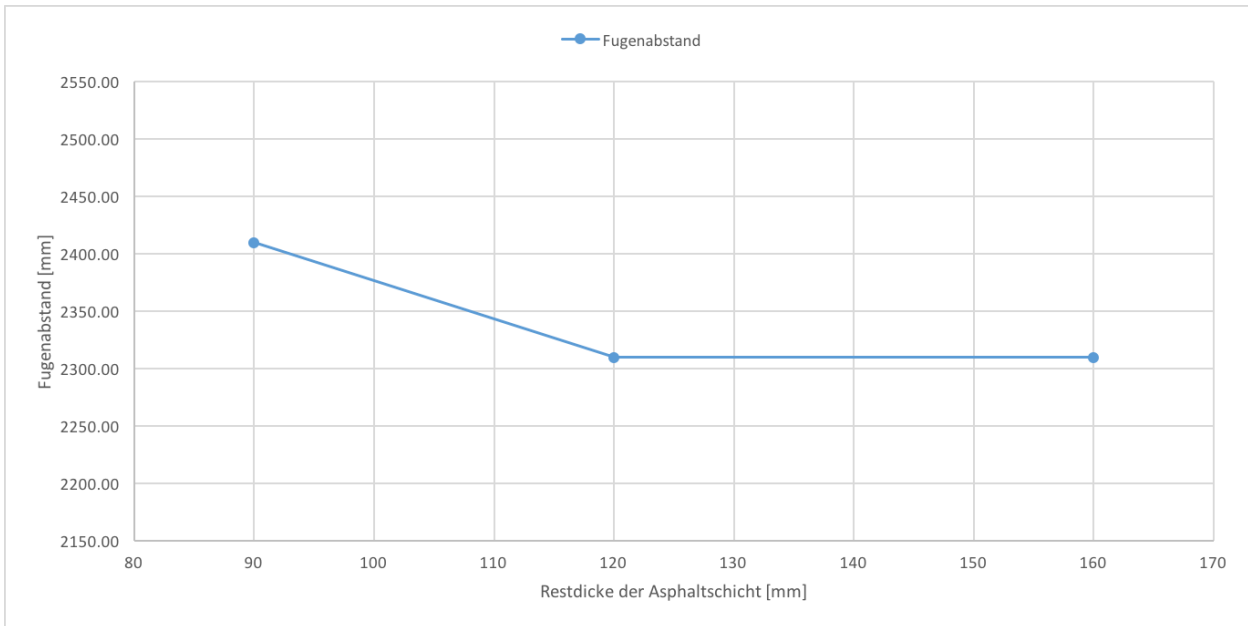
In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse aus der Bemessung der Plattendicke und des Fugenabstandes beim Einbau mit Walzbeton ohne Verbund vorgestellt. Wie schon erwähnt wurde, werden die Restdicke der Asphaltenschicht, die Biegezugfestigkeit des Betons und der E-Modul des Asphalts in einem Straßenaufbau (siehe Tabelle 3) variiert, um ihren Einfluss auf mit der Software ermittelten Dicken der neuen Betondecke und Fugenabstand zu untersuchen.

In Abbildung 46 ist der Zusammenhang zwischen der Restdicke des Asphalts und der resultierenden Dicke der neuen Betondecke dargestellt. Die Berechnungen wurden für drei verschiedene Restdicken der Asphaltenschicht – 90, 120 und 160 mm durchgeführt. Dabei sind der Elastizitätsmodul des Asphalts konstant mit 3500 MPa und die Biegezugfestigkeit des Betons mit 5,5 MPa festgelegt. Die blaue Linie bezeichnet die minimale Plattendicke, während die orangene Linie die erforderliche Dicke repräsentiert. Die erforderliche Plattendicke ist einen Hinweis zu dem Einbau und stellt die minimale Einbaudicke dar. Die minimale Dicke ist die mindesten theoretische Dicke. Es fällt auf, dass mit der Erhöhung der Restdicke des Asphalts, die minimale Plattendicke kleiner wird. Gleichzeitig nimmt bei 120 mm Restdicke des Asphalts ist die minimale Dicke 109,5 mm an. Die neue Decke nimmt eine erforderliche Dicke von 110 mm.



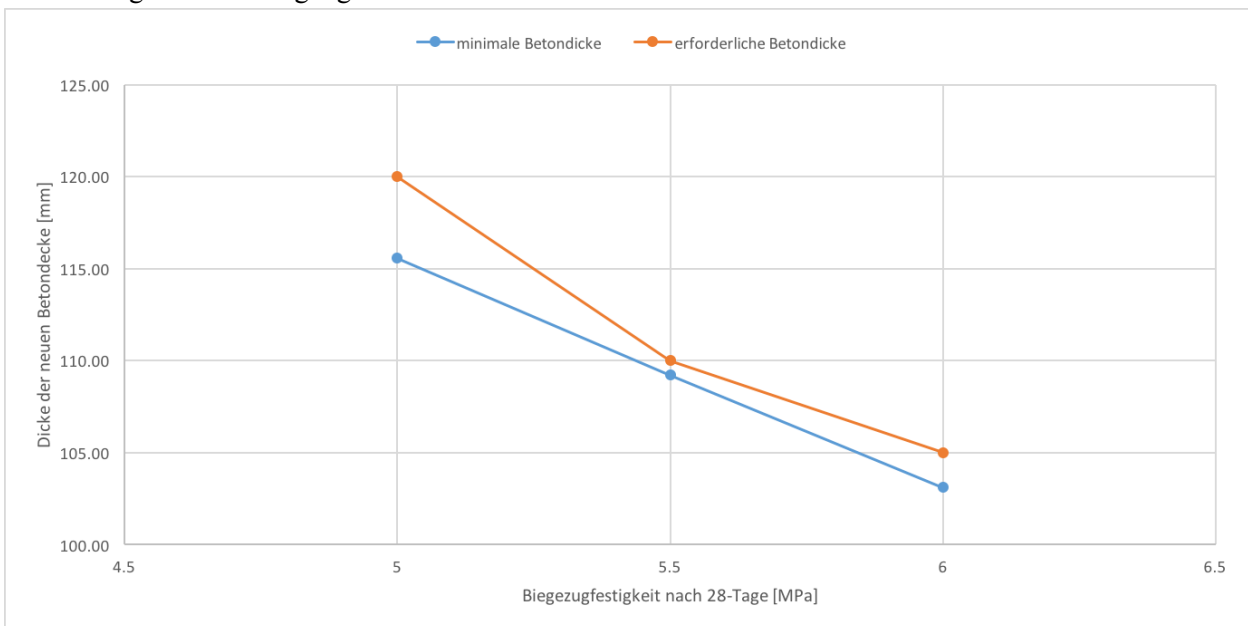
**Abb. 46: Einfluss der Restdicke der Asphaltenschicht auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau ohne Verbund**

Aus der Abbildung 47 ist zu sehen, wie sich der Fugenabstand abhängig von der Restdicke der Asphaltenschicht ändert. Das Diagramm schaut ähnlich wie Abbildung 46 aus. Bei Restdicken des Asphalts von 120 und 160 mm ergibt sich der gleiche Fugenabstand von 2310 mm. Daraus kann schlussgefolgert werden, dass der Fugenabstand in direkten Zusammenhang mit der erforderlicher Betonplattendicke steht und, dass dickere Betonplatten höheren Fugenabstände ergeben.



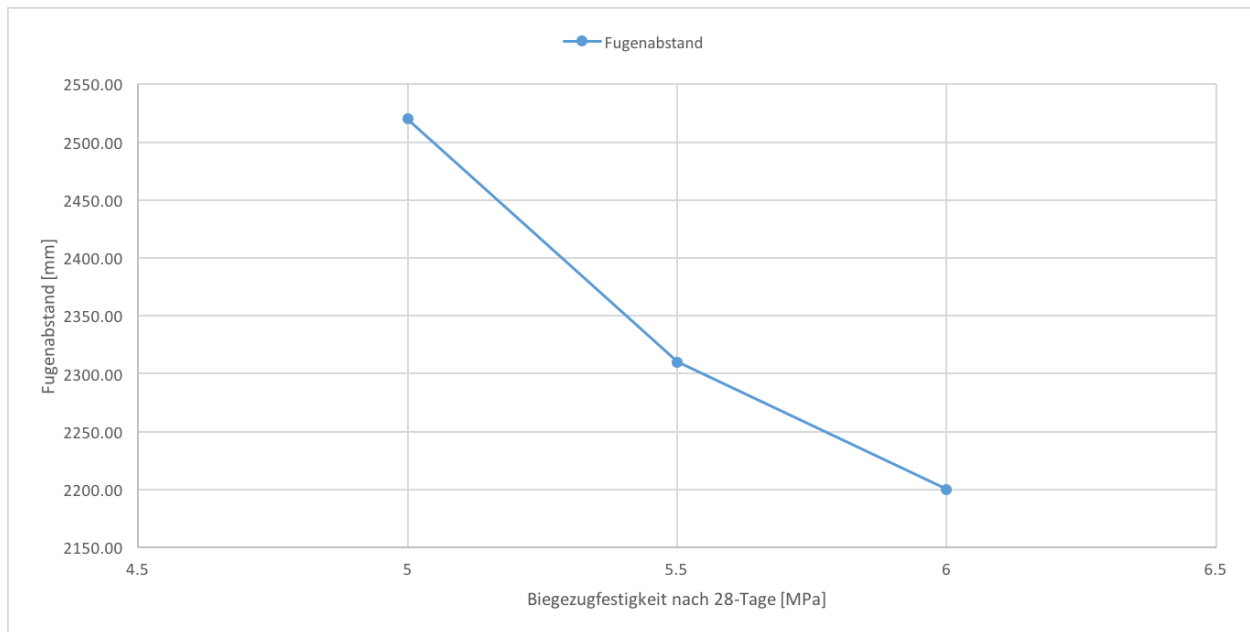
**Abb. 47: Einfluss der Restdicke der Asphalttschicht auf den Fugenabstand beim Einbau ohne Verbund**

Der nächste untersuchte Parameter ist die Biegezugfestigkeit des Betons. Im StreetPave wird auch der E-Modul des Betons in Abhängigkeit von der Biegezugfestigkeit bestimmt. In diesem Fall wird mit konstanter Restdicke der Asphalttschicht von 120 mm und E-Modul des Asphalts von 3500 MPa gerechnet. Aus der Abbildung 48 ist abzulesen, dass, je höher die Biegezugfestigkeit ist, desto kleiner die minimale und erforderliche Plattendicke wird. Das Ergebnis weist auf den großen Einfluss der Betonzusammensetzung und der Ausgangsmaterialien auf die Dicke der neuen Betondecke hin.



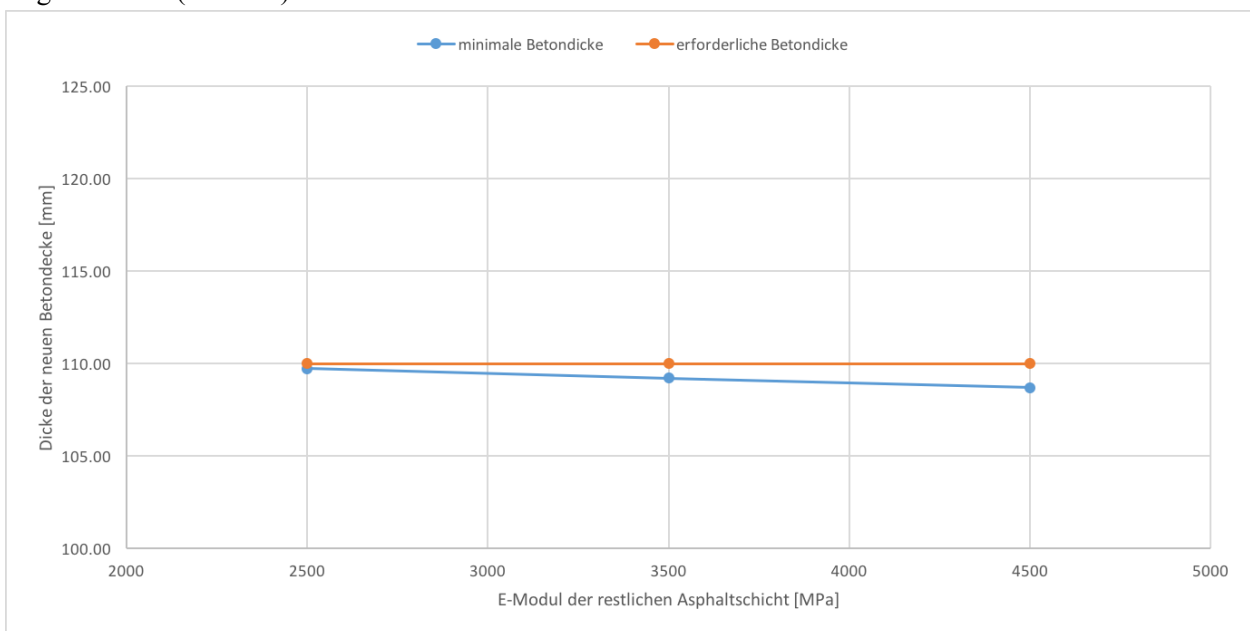
**Abb. 48: Einfluss der Biegezugfestigkeit auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau ohne Verbund**

Die gleiche Tendenz ist auch in Abbildung 49 zu sehen. Bei hohen Biegezugfestigkeiten ergeben sich niedrigere Plattendicken und dementsprechend kleinere Fugenabstände.

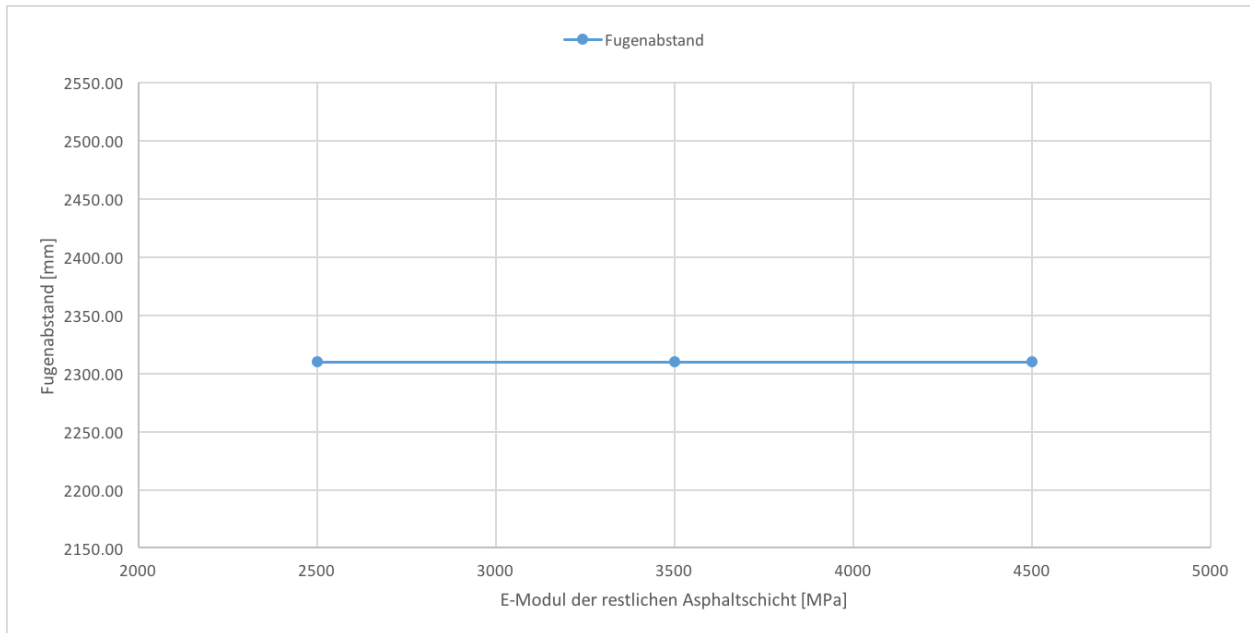


**Abb. 49: Einfluss der Biegezugfestigkeit auf den Fugenabstand bei Einbau ohne Verbund**

Der Einfluss des E-Modul des Asphalts auf die Dicke der Betonplatte ist in Abbildung 50 dargestellt. Hier wird von einer konstanten Biegezugfestigkeit von 5,5 MPa und einer Restdicke des Asphalts von 120 mm ausgegangen. Aus der Abbildung ist abzulesen, dass der E-Modul des Asphalts sich gering nur auf die minimale Plattendicke auswirkt, während die erforderliche Dicke der Betonschicht sowie der Fugenabstand (Abb. 51) nicht beeinflusst werden.



**Abb. 50: Einfluss des E-Moduls der restlichen Asphalttschicht auf die Dicke der neuen Decke beim Einbau ohne Verbund**



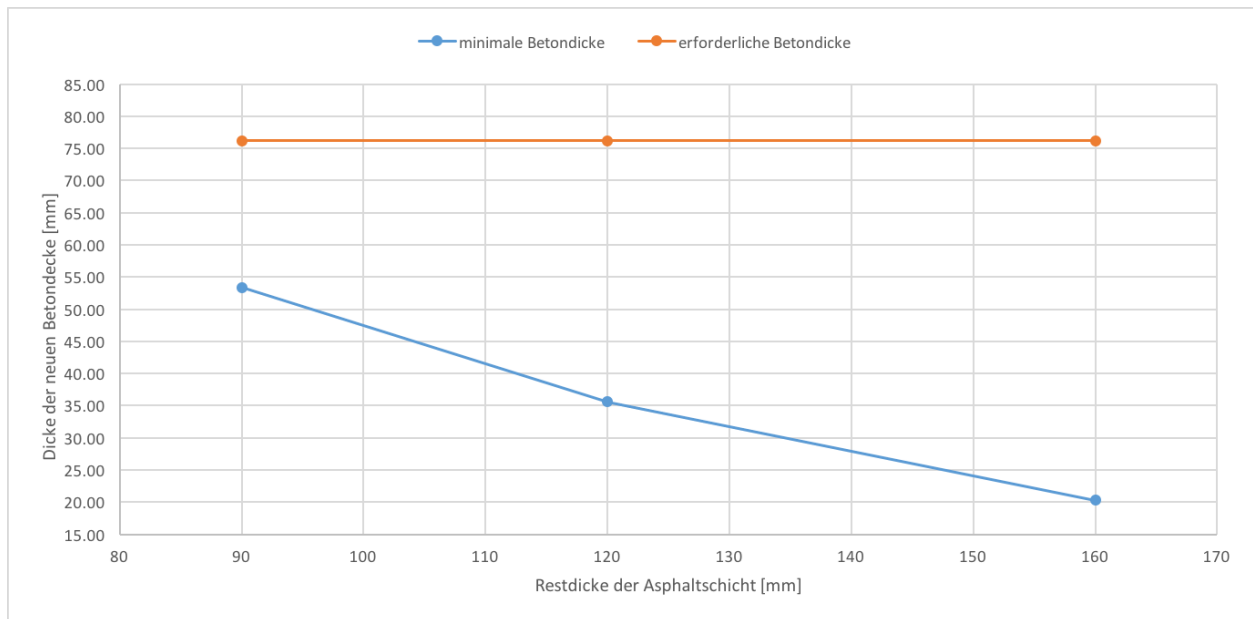
**Abb. 51: Einfluss des E-Moduls der restlichen Asphalttschicht auf den Fugenabstand beim Einbau ohne Verbund**

#### 4.3.2.2 Ergebnisse aus der Bemessung beim Einbau mit Walzbeton mit Verbund

Wie bei dem Einbau ohne Verbund, werden auch hier die Eingangsparameter für die einzelnen Schichten und Belastungen von Tabelle 3 entnommen. Der Unterschied hier liegt in dem Fugenabstand. Das Programm fordert die Angabe von Fugenabstand für den Fall, wenn die Betonschicht und der Asphalttschicht verbunden sind. Dieser ist jeweils mit einem Maximalwert 1828,8 mm festgelegt und dieser Wert wird auch für die Ziele dieser Parameterstudie verwendet. Es wird auch angenommen, dass die Asphalttschicht vor dem Einbau der neuen Schicht gereinigt und gefräst ist. Ähnlich wie im Kapitel 4.3.2.1 wird auch hier der Einfluss der Restdicke der Asphalttschicht, der Biegezugfestigkeit des Betons und des E-Moduls des Asphalts auf die Dicke der neuen Betondecke dargestellt.

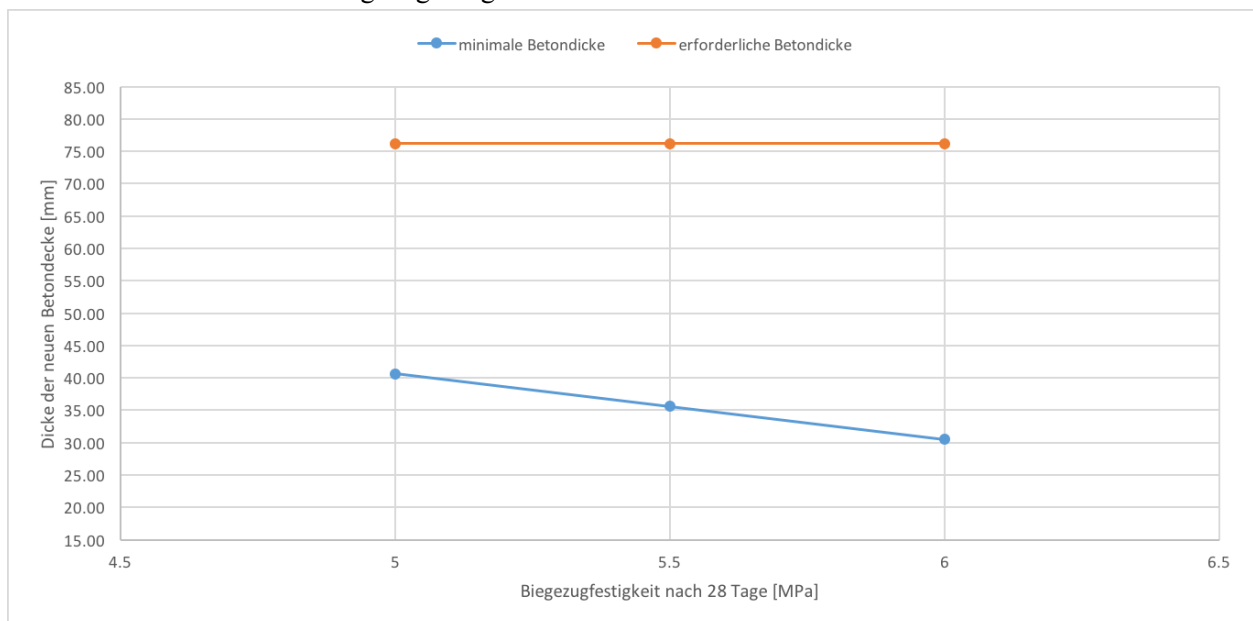
Aus der Abbildung 52 ist zu sehen, dass die minimale Dicke der Betonplatte stark von der Restdicke der Asphalttschicht abhängt. Das erklärt sich mit der mittragenden Wirkung zwischen der neuen Betondecke und der alten Asphalttschicht. Beide Schichten werden als eine ganze Schicht betrachtet. Die Berechnungen hier wurden für eine Biegezugfestigkeit des Betons von 5,5 MPa und E-Modul des Asphalts von 3500 MPa durchgeführt. Wie noch aus der Abbildung 52 abzulesen ist, ändert sich die erforderliche Dicke der neuen Betondecken in den einzelnen Fall jedoch nicht. Wahrscheinlich wird im Programm eine minimale erforderliche Betondecke aus konstruktiven Gründen festgelegt.





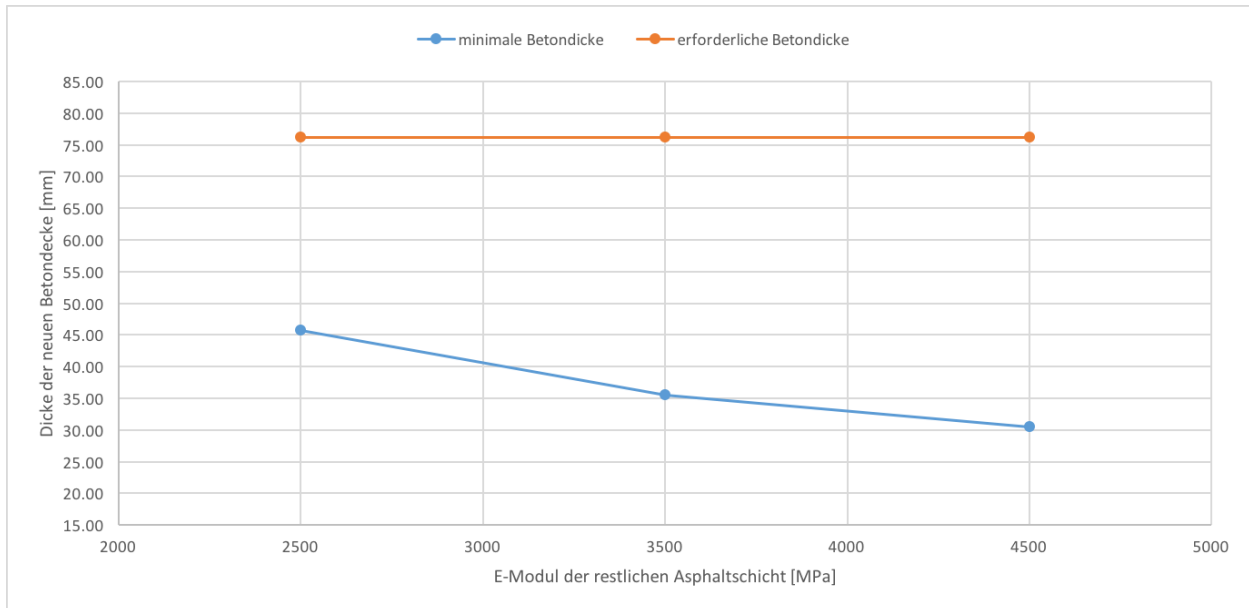
**Abb. 52: Einfluss der Restdicke der Asphalttschicht auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau mit Verbund**

Der Einfluss der Biegezugfestigkeit des Betons nach 28 Tagen auf die Dicke der neuen Decke ist in Abbildung 53 gezeigt. Dabei wird mit einem E-Modul des Asphalts von 3500 MPa und einer Restdicke des Asphalts von 120 mm gerechnet. Wie bei dem Einbau ohne Verbund ergeben sich auch hier niedrige Plattendicken bei höheren Biegezugfestigkeiten.



**Abb. 53: Einfluss der Biegezugfestigkeit auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau mit Verbund**

In der letzten Abbildung (Abb. 54) ist der Zusammenhang zwischen dem E-Modul des Asphalts und der Plattendicke abgebildet. Dabei wird mit 5,5 MPa Biegezugfestigkeit des Betons und 120 mm dicke Asphalttschicht gerechnet. Die Ergebnisse sind dieselben wie bei den Beispielen mit verschiedenen Asphalttschichten. Es lässt sich deutlich erkennen, dass mit der Steigerung des E-Moduls des Asphalts die minimale Dicke der neuen Betondecke abnimmt. Daraus kann man schließen, dass der Zustand der bestehenden Asphalttschicht der wichtigste Einflussparameter auf die Dicke der Betonplatte und somit auch auf den Fugenabstand ist.



**Abb. 54: Einfluss des E-Moduls der restlichen Asphalttschicht auf auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau mit Verbund**

#### 4.3.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen den Einfluss von verschiedenen Parametern auf die Bemessung der Dicke der Betonplatte aus Walzbeton und des Fugenabstandes. Bei den Betondecken ohne Verbund ist die Biegezugfestigkeit der wichtigste Parameter. Bei einer Biegezugfestigkeit von 6 MPa ergibt sich der geringsten Wert der minimalen Plattendicke. Da bei Betondecken ohne Verbund die existierende Asphalttschicht nur als eine zusätzliche Tragschicht betrachtet wird, ist auch der Einfluss der Restdicke und des E-Moduls des Asphalts auf die Dicke der neuen Betonplatte sehr gering.

Die umgekehrte Tendenz ist bei Betondecken, die mit der bestehenden Asphalttschicht verbunden sind, zu sehen. Hier spielen die Restdicke und der E-Modul des Asphalts eine große Rolle auf die Bemessung der Plattendicke. Beide Schichten werden in diesem Fall als eine ganze Schicht angenommen, die effektive Belastungen in den Untergrund leitet. Je größer der E-Modul und die Restdicke der Asphalttschicht sind, desto dünner kann die neue Betonplatte sein.

Zusammenfassend kann die verwendete Software (StreetPave) noch in Bezug auf die Eingangsparameter weiterentwickelt werden kann. Die Software setzt gewisse Begrenzungen bei der Eingabe der charakteristischen Parameter der ungebundenen Tragschichten und der Geometrie bzw. Fugenabstand voraus. Der zulässige maximale Fugenabstand beim Einbau mit Verbund ist mit 1829 mm festgelegt. Es wäre gut, wenn in den nächsten Versionen der Software größere Plattenabmessungen berücksichtigt werden können, so dass die typische Spurbreite von 3,5 bzw. 3,75 m abgedeckt werden kann.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Das Hauptziel dieser Arbeit war Erkenntnisse aus der vorhandenen Literatur über die Betonfahrbahnen aus Walzbeton und besonders über die Fugenausteilung zu gewinnen. Der Walzbeton eignet sich zur Sanierung von beschädigten Asphaltfahrbahnen in der sogenannten Whitetopping-Bauweise. Im Hinblick darauf wurde zuerst der Stand der Technik bei den herkömmlichen Betonfahrbahnen und bei den Whitetopping-Konstruktionen erfasst. Nach einem Überblick über ihre technischen Eigenschaften und Anforderungen, Anwendungsbereiche, Einbauweisen und Fugenausbildung wurden ihre Vor- und Nachteile erläutert. Die Betonfahrbahnen charakterisieren sich hauptsächlich mit höheren Festigkeiten, günstigerer Lastverteilung, längerer Lebensdauer, höherer Dauerhaftigkeit und niedriger Erhaltungskosten als flexible Aufbauten. Andererseits ist der Einbau des Betons komplizierter, zeitaufwendiger und braucht viel Platz. Die Betonfahrbahnen zeichnen sich mit helleren Oberflächen aus, die die Sicht und die Verkehrssicherheit verbessern. In Bezug auf die Kosten, ist die Anfangsinvestition bei Betondecken höher als beim Asphalt. Die Lebensdauer des Betons ist allerdings deutlich länger, was die Betonfahrbahnen doch kostengünstiger macht.

Basierend auf einer ausführlichen Literaturrecherche wurden die Betonzusammensetzung, die technischen Eigenschaften und Anforderungen, die Anwendungsbereiche und die Einbauweisen des Walzbetons identifiziert und zusammengefasst. Die in dieser Arbeit verwendete Literatur stammt überwiegend aus den USA, da die Fahrbahnen aus Walzbeton dort sehr verbreitet sind. Heutzutage stellt der Walzbeton eine dauerhafte Möglichkeit zur Instandsetzung beschädigter Asphaltstraßen dar. Der Walzbeton wird bei hohen Belastungen auf urbanen oder industriellen Flächen als Deck- oder Tragschichten aufgrund seiner Tragfähigkeit und Stabilität eingesetzt. Seine Anwendung bei der Sanierung von hochrangigen Straßen ist noch nicht entwickelt worden. Grundsätzlich hat der Walzbeton dieselben Festbetoneigenschaften wie herkömmliche Straßenbetonen.

Der Einbau des Walzbetons erfolgt mit einem Straßenfertiger wie bei der Herstellung von Asphaltsschichten. Der Straßenfertiger ist mit einer Hochleistungsverdichtungsbohle und Nivellierautomatik ausgerüstet, wobei je höher die bereits mit dem Fertiger erzielte Verdichtung ist, desto besser fällt die Oberflächenebenheit aus. Die fertige Walzbetondecke wird in einem nächsten Schritt von Vibrations- und Gummiradwalzen weiter verdichtet. Die Anwendung von Walzbeton ist besonders vorteilhaft, weil die mit Walzbeton befestigten Wege gleich nach dem Einbau befahrbar sind. Die Einbautechnologie trägt zu einer schnellen Herstellung bei und ist somit wirtschaftlicher. Der wichtigste Vorteil des Walzbetons ist, dass er weniger als gerüttelter Beton schwindet, was zu geringeren Schwindspannungen und Rissbildung führt [30].

Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Fugenausteilung bei Fahrbahnen aus Walzbeton. Die Tragdeckschichten werden durch Schein-, Raum- und Pressfugen unterteilt, die in der Regel nicht verdübelt oder verankert ausgeführt werden. In der Literatur bzw. in den Richtlinien gibt es wenige Informationen und Empfehlungen über die Fugenabstände bei Fahrbahnen aus Walzbeton. Pittman entwickelte jedoch einen Algorithmus zur Bestimmung der Fugenabstände, der als Bewertungshintergrund die Fugenwirksamkeit verwendet. Diese Methode, sowie die Einflussfaktoren auf die Fugenwirksamkeit wurden im letzten Kapitel dieser Arbeit beschrieben.

Anschließend wurde eine Parameterstudie mit Hilfe der Software StreetPave [23] durchgeführt, in der zwei Fälle bzw. Einbauvarianten zur Instandsetzung beschädigter Asphaltstraßen betrachtet wurden. Dabei wurde der Einfluss der Restdicke der Asphaltsschicht, des E-Moduls des Asphalts und der Biegezugfestigkeit des Betons auf das Bemessungsergebnis untersucht. Im ersten Fall wird angenommen, dass die neue Betondecke aus Walzbeton ohne Verbund zu der alten Asphaltsschicht hergestellt wird. Als Output von den Berechnungen wurden die Dicke der neuen Walzbetonschicht und der Fugenabstand ermittelt. Aus den Ergebnissen ergibt sich, dass Restdicke und E-Modul des Asphaltes sich gering auf die Di-

cke der neuen Betondecke auswirken. Eine Erhöhung der Biegezugfestigkeit des Betons hingegen verursacht eine Reduzierung der Dicke der neuen Betonplatte. Es wurde herausgefunden, dass die aus dem Programm resultierenden Fugenabständen in einem direkten Zusammenhang mit der Plattendicke sind.

Im zweiten Fall wird angenommen, dass die Betondecke aus Walzbeton mit Verbund zu der bestehenden Asphaltenschicht hergestellt wird. Im Gegensatz zum ersten Fall, wird als Ergebnis von den Berechnungen nur die Dicke der Betonschicht ermittelt, da der Fugenabstand vordefiniert sein muss. Die Ergebnisse zeigen, dass die Restdicke und der E-Modul der Asphalt den größten Einfluss auf die Dicke der neuen Betonplatten aufweisen.

Die vorliegende Arbeit kann als eine gute Grundlage für zukünftige Forschungsarbeiten über die Dimensionierung und Optimierung der Einbaumethode bei Fahrbahnen aus Walzbeton dienen. Weitere Punkte mit Entwicklungspotential sind die Verbesserung der Betonrezeptur, so dass zufriedenstellende Oberflächeneigenschaften erzielt werden können.

## 6 Anhang

### 6.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Zustandsverteilung der österreichischen Landesstraßen [4] .....	9
Abb. 2: Entwicklung der Anwendung von Walzbeton [1] .....	10
Abb. 3: Whitetopping auf Asphalt [3] .....	10
Abb. 4: Whitetopping auf Beton [3] .....	11
Abb. 5: Lastübertragung in dem Untergrund von Betondecke und Asphaltkonstruktion [4] .....	13
Abb. 6: Betonautobahn [24] .....	15
Abb. 7: Straßenkonstruktion mit Betondecke [4] .....	16
Abb. 8: Wagramer Straße, Wien [26] .....	16
Abb. 9: Betonspurwege in ländlicher Bereich [4] .....	17
Abb. 10: Kreisverkehrsanlage [27] .....	18
Abb. 11: Betonmischanlage [28] .....	19
Abb. 12: Anlauf des Einbauprozesses bei zweischichtiger Betondecke [4] .....	21
Abb. 13: Unverschlossene verdübelte Scheinfuge [4] .....	22
Abb. 14: Verdübelte Scheinfuge mit Stufenschnitt [4] .....	22
Abb. 15: Verdübelte Pressfuge [4] .....	23
Abb. 16: Verdübelte Raumfuge [4] .....	24
Abb. 17: Trennfuge zwischen Randeinfassung und Betondecke [4] .....	24
Abb. 18: Whitetopping-Konstruktion [3] .....	26
Abb. 19: Whitetopping-Konstruktionen [14] .....	27
Abb. 20: Whitetopping mit Verbund und ohne Verbund [14] .....	27
Abb. 21: Einbau vom Whitetopping mit Verbund [14] .....	29
Abb. 22: Einbau von Whitetopping ohne Verbund [14] .....	30
Abb. 23: Spurenverteilung bei Längsfugen [14] .....	31
Abb. 24: Einfluss von Form der Dübeln auf Schwinden [14] .....	32
Abb. 25: Walzbetonmischung im Fertiger [29] .....	33
Abb. 26: Die Entwicklung des Straßenwalzbetons [1] .....	37
Abb. 27: Einbau von Hafen in Houston, USA [1] .....	38
Abb. 28: Hauptstraße, eingebaut mit Walzbeton, in Bel Aire, Kansas [25] .....	38
Abb. 29: Nebenstraße in Whiteland, Indiana [25] .....	39
Abb. 30: Verbreiterung von I-285 GDOT in Atlanta, Georgia, USA [25] .....	40
Abb. 31: Einbau von Walzbetonfahrbahn [29] .....	41
Abb. 32: Vorbereitung von der Grundoberfläche [1] .....	42

Abb. 33: Verdichtung von Walzbeton [29] .....	43
Abb. 34: Maßnahmen gegen Feuchtigkeitsverlust nach der Herstellung [29] .....	44
Abb. 35: Walzbetonoberfläche und herkömmlichen Betonstraße [1] .....	45
Abb. 36: Schema der Platte [21] .....	50
Abb. 37: Entwicklung die Verschiebung in die halbe Platte [21] .....	51
Abb. 38: nicht deformierte Element [21] .....	51
Abb. 39: Schwinddeformation [21] .....	51
Abb. 40: Verschiebung durch Temperatureinfluss [21] .....	51
Abb. 41: elastische Deformation (Hook'sche Gesetz) [21] .....	52
Abb. 42: Deformation infolge alle Einflussfaktoren [21] .....	52
Abb. 43: wirkenden Kräfte auf dem Element [21] .....	52
Abb. 44: Konzeptionelle Darstellung der Rissbildung in Betondecken in Bezug auf die Zeit [21] .....	54
Abb. 45: Algorithmus des Models [21] .....	55
Abb. 46: Einfluss der Restdicke der Asphaltsschicht auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau ohne Verbund .....	57
Abb. 47: Einfluss der Restdicke der Asphaltsschicht auf den Fugenabstand beim Einbau ohne Ver- bund .....	58
Abb. 48: Einfluss der Biegezugfestigkeit auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau ohne Verbund .....	58
Abb. 49: Einfluss der Biegezugfestigkeit auf den Fugenabstand bei Einbau ohne Verbund .....	59
Abb. 50: Einfluss des E-Moduls der restlichen Asphaltsschicht auf die Dicke der neuen Decke beim Einbau ohne Verbund .....	59
Abb. 51: Einfluss des E-Moduls der restlichen Asphaltsschicht auf den Fugenabstand beim Einbau ohne Verbund .....	60
Abb. 52: Einfluss der Restdicke der Asphaltsschicht auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau mit Verbund .....	61
Abb. 53: Einfluss der Biegezugfestigkeit auf die Dicke der neuen Betondecke beim Einbau mit Verbund .....	61
Abb. 54: Einfluss des E-Moduls der restlichen Asphaltsschicht auf auf die Dicke der neuen Beton- decke beim Einbau mit Verbund .....	62

## 6.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Whitetopping-Bauweise .....	26
Tabelle 2: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse über die Fugenwirksamkeit [20] ....	48
Tabelle 3: Eingangsparameter .....	56



### 6.3 Literaturverzeichnis

- [1] Dale Harrington, P.E., Snyder and Associates Inc.; Fares Abdo, P.E., Portland Cement Association; Wayne Adaska, P.E., Portland Cement Association; Chetan Hazarec - Guide for Roller-Compacted Concrete Pavements – Iowa State University; August 2010
- [2] Проф. д-р. инж. Н. Михайлов - Строителство на автомобилни пътища – издателство “Галини - Н”, 2012. / Prof. Dr. Eng. N. Mihaylov – Road Engineering – publishing house “Galini - N”, 2012;
- [3] Artikel aus Heidelberger Beton GmbH – Whitetopping Die schnelle Instandsetzungbauweise, Ausgabe 2013
- [4] Ronald Blab, Markus Hoffmann/TU Wien, Martin Langer/Heilit+Woerner, Stefan Marchtrenker, Peter Nischer, Martin Peyrerl, Johannes Steigenberger/VÖZfi – Betostrassen –Das Handbuch, Leitfaden für die Praxis – Zement + Beton Handels- u. Werbeges.m.b.H, 2012;
- [5] Litzka J.: Dimensionierung von Betondecken – Bemessungssicherheit und Life-Cycle-Costs, Betonstraßen 2003, Zement und Beton, Mai 2003;
- [6] FSV – Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien: RVS 03.08.63 (2016): Straßenplanung, bautechnische Details, Oberbaubemessung.
- [7] FSV – Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien: RVS 08.17.02 (2011): Technische Vertragsbestimmungen – Betondecken – Deckenherstellung.
- [8] ON – Österreichisches Normungsinstitut, Wien: ÖNORM B 4710-1 (2007): Beton, Teil 1: Festlegung, Herstellung, Verwendung und Konformitätsnachweis.
- [9] Josef Eisenmann, Günther Leykauf – Betonfahrbahnen – 2. Auflage; 2003 Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technischen Wissenschaften GmbH und Co. KG, Berlin
- [10] FSV – Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr, Wien: RVS 03.03.81 (2011): Ländliche Straßen und Güterwege.
- [11] Peter Grübl, Sieghart Karl, Helmut Weigler – Beton: Arten, Herstellung und Eigenschaften – 2. Auflage; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technischen Wissenschaften GmbH und Co. KG, Berlin 2001
- [12] DI Siegfried Riffel, HeidelbergCement AG, Talheim, Deutschland – Whitetopping – eine unkonventionelle Sanierungsmethode für Asphaltstraßen – BetonZement, Article, Österreichische Betonstraßentagung, 2005
- [13] DI Dr. Johannes Steigenberger, Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie, Wien – White Topping in Österreich – Stand der Entwicklungen – Article, Österreichische Betonstraßentagung, 2007
- [14] Dale Harrington and Gary Fick – Guide to Concrete Overlays: Sustainable Solutions for Resurfacing and Rehabilitating Existing Pavements (3<sup>rd</sup> Edition) – National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University; May 2014
- [15] National Cooperative Highway Research Program – NCHRP Synthesis 338, Thin and Ultra-Thin Whitetopping – A Synthesis of Highway Practice – Transportation Research Board, Washington D.C., 2004
- [16] European Ready Mixed Concrete Organization (ERMCO) – ERMCO Guide to Roller-Compacted Concrete for Pavements – August 2014

[17] Arthi.S, Narasimha.V.L., Pandurangan.K – Finite Element Analysis of Thin Whitetopping Pavements – International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIR-SET) – Vol. 4, Issue 7, July 2015

[18] DI Andreas Tiemann – Asphalt oder Beton? – Fachbeitrag – online Artikel aus <http://baunetzwerk.biz/asphalt-oder-beton/150/1985/81461>, 2014

[19] David Pittman – Load Transfer Characteristics of Roller-Compacted Concrete Pavement Joints and Cracks – Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board – Jan. 1996, Volume 1525, pp. 1-9

[20] David Pittman – Factors Affecting Joint Efficiency of Roller-Compacted Concrete Pavement Joints and Cracks – Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board – Jan. 1996, Volume 1525, pp. 10-20

[21] David Pittman, B. McCullough – Development of a Roller-compacted Concrete Pavement Crack and Joint Spacing Model – Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board – Jan. 1997, Volume 1568, pp. 52-64;

[22] Ebrahim. Khalilzadeh Vahidi, Maryam. Mokhtari Malekabadi – Joints in Roller Compacted Concrete Pavements – International Conference of Transport, Environment and Civil Engineering (IC-TECE'2012), August 25-26, 2012 Kuala Lumpur (Malaysia)

[23] ACPA Streetpave 12 - <http://www.acpa.org/streetpave/>, 16.02.2017

[24] Online Photo aus Artikel - <http://www.passco.de/aktuelles/details/die-wand-muss-weg-tut-beton-not/?cHash=9fed985018>, 21.04.2017

[25] Online Fotos aus <http://rccpavementcouncil.org>, 23.04.2017

[26][http://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/presse/Wohnbau\\_Wagramer\\_Strasse\\_Wien\\_c\\_Bruno\\_Klomfar.jpg](http://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/presse/Wohnbau_Wagramer_Strasse_Wien_c_Bruno_Klomfar.jpg) – online Foto, 22.04.2017

[27] [https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Objekte/k/Kreisel\\_Werneck\\_1.jpg](https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Objekte/k/Kreisel_Werneck_1.jpg) - online Foto, 22.04.2017

[28][http://www.vde8.de/mediathek/file/2649/dToFyLnkH0Bu24dvcJU-Usm1JTIviZHj\\_qXh0g8Yh7s/vde82\\_oster\\_06.jpg](http://www.vde8.de/mediathek/file/2649/dToFyLnkH0Bu24dvcJU-Usm1JTIviZHj_qXh0g8Yh7s/vde82_oster_06.jpg) - online Foto, 22.04.2017

[29] Einbau von Verkehrsfläche mit Walzbeton – Fotos von Dipl.-Ing. Bruno Beck, 2016

[30] Bauberatung Zement – Walzbeton für Tragschichten und Tragdeckschichten – Zement-Merkblatt Straßen – S.6 BB Wiesbaden, Dipl.-Ing. O. Hersel, 09.2001