

Konzeption hoch belasteter Verkehrsflächen mit Pflasterstein- oder Pflasterplattendecken – Planung und Dimensionierung

Univ.Prof. DI Dr.techn. Ronald BLAB
 Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, Technische Universität Wien

1. Einleitung

Pflasterstein- und Pflasterplattendecken aus Natur- oder Betonstein sind aufgrund der großen Variabilität hinsichtlich Farbgebung, Form, Oberflächenstruktur und Verlegemuster bevorzugte Bauelemente für Verkehrsflächenbefestigungen im kommunalen Bereich, bei denen eine Vielfalt von Gestaltungsmöglichkeiten erwünscht ist. Neben der Gestaltungsvielfalt ist allerdings die Wirtschaftlichkeit bzw. Lebensdauer der Bauelemente sehr wesentlich. Sowohl neue als auch gebrauchte Einfassungen, Borde und Rinnen sowie Pflastersteine und Pflasterplatten sollen für eine jahrzehntelange technische Lebensdauer ausgelegt sein.

Da der Straßenoberbau beispielsweise in Fußgängerzonen infolge Schwerverkehr (Lieferverkehr) oder bei Bushaltestellen durch hohe Horizontalkräfte (Bremsen und Anfahren) einer beträchtlichen Beanspruchung ausgesetzt ist, kommt es infolge nicht ausreichender Tragfähigkeit bzw. Konzeption des Oberbaus speziell bei Pflasterbefestigungen immer wieder zu Schäden, die im Anschluss sehr kostenintensiv saniert werden müssen. Um derartige Schadensfälle zu vermeiden, sind Oberbaukonstruktionen mit Pflasterstein- und Pflasterplattendecken aus

Naturstein oder Beton mit geringer bis mittlerer Belastung nach dem bestehenden Bemessungskatalog gem. RVS 03.08.63 [1] zu dimensionieren. Für hoch beanspruchte Verkehrsflächen sind individuelle Bemessungen durchzuführen.

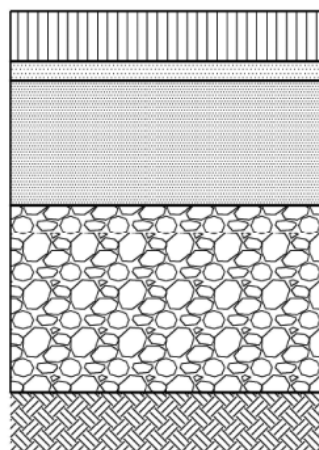
2. Bauweisen

Eine Pflasterbefestigung besteht aus mehreren Schichten, die jede für sich verschiedene Aufgaben zu erfüllen hat. Grundsätzlich haben Pflasterbefestigungen folgenden Schichtaufbau:

- Pflaster (Steine oder Platten)
- Fugenfüllung
- Bettung
- Obere Tragschicht
- Untere Tragschicht
- Unterbau bzw. Untergrund

In Abhängigkeit von der Ausbildung der oberen Tragschicht werden nachfolgend nach [1] zwei verschiedene Regelbauweisen für Pflasterbefestigungen unterschieden. Der Ausdruck ungebundene und gebundene Bauweise wird des Öfteren auch im Zusammenhang mit Fugenfüllung und Bettung verwendet.

Abbildung 1: Oberbau mit ungebundener oberer Tragschicht [2]



- Pflaster und Fugenfüllung = Pflasterdecke
- Bettung
- Obere ungebundene Tragschicht
- Untere ungebundene Tragschicht
- Unterbauplanum

2.1 Bauweise mit ungebundener oberer Tragschicht

Bei der ungebundenen Bauweise besteht die obere Tragschicht aus ungebundenen Rundkörnungen oder Gemischen aus Rund- und Kantkorn. Die Verwendung von Kantkörnungen oder Zentralgemischten Kantkörnungen (ZGKK) ist ebenfalls möglich und führt zu einem etwas besseren Tragverhalten der Schicht. Die ungebundene Bauweise ist traditionsgemäß die "klassische" Bauweise für Pflasterbefestigungen. Ihre Vorteile bestehen einerseits in der einfachen Herstellung und andererseits darin, dass eindringendes Wasser ungehindert versickern kann. Ungebundene Tragschichten sind zumeist preiswerter als gebundene, jedoch hat die Qualität der Tragschicht einen großen Einfluss auf das Langzeitverhalten der Pflasterbefestigung. Nachteilig sind bei der ungebundenen Bauweise im Vergleich zu den anderen Bauweisen geringere Tragfähigkeit der Konstruktion und die großen Tragschichtdicken. Die Bauweise mit ungebundener oberer ist mit ihrem Schichtenaufbau in Abbildung 1 dargestellt.

2.1 Bauweise mit Drainbeton

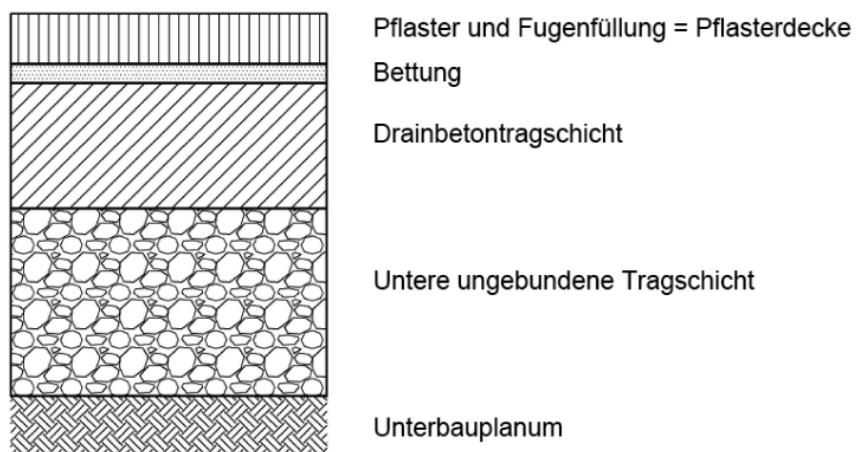
In Abstimmung mit dem Arbeitsausschuss "Pflasterdecken" wurde als Alternative auch eine Bauweise mit einer Drainbetontragschicht in den Bemessungskatalog der neuen RVS 03.08.63 eingeführt. Bei der Drainbeton-Bauweise besteht die obere Tragschicht aus Drainbeton. Als Drainbeton wird ein Beton der Festigkeitsklasse C 16/20 mit einem Größtkorn GK 16 und einem geringen

Zementgehalt von etwa 200 kg/m³ eingesetzt. Diese neue Bauweise hat den Vorteil, dass eindringendes Wasser aufgrund des relativ hohen Hohlraumgehaltes gut versickern kann. Der geringe Zementgehalt und der hohe Hohlraumgehalt bewirken, dass die übliche Rissbildung durch die bei der Hydratation entstehenden Schwindspannungen nur in sehr beschränktem Umfang auftritt. Der Drainbeton gibt durch seine hohe Steifigkeit der Konstruktion selbst bei relativ geringen Konstruktionsstärken sehr hohe Tragfähigkeit. Die geringen Erfahrungswerte mit dieser Bauweise und der derzeit noch nicht optimierte maschinelle Einbau müssen an dieser Stelle sicher noch als nachteilig angeführt werden. Die Bauweise mit Drainbeton als obere Tragschicht ist mit ihrem Schichtenaufbau in Abbildung 2 dargestellt.

2. Konzeption von Pflastersteindecken

Zur Erstellung des Bemessungskataloges – analog zu jenem, wie er bereits für Asphalt- und Betonoberbaukonstruktionen in der RVS 03.08.63 besteht – wurde vorab ein analytisches Oberbaumodell definiert, das einerseits die Einwirkungen (Achslasten) und andererseits die Steifigkeitsverhältnisse in den Schichten und im Untergrund (Elastizitätsmodule) berücksichtigt. Mit diesem analytischen Modell wurden verschiedene Pflasteraufbauten durchgerechnet und die erforderlichen Schichtdicken ermittelt. Auf die Bemessungsgrundlagen wird im Folgenden kurz eingegangen.

Abbildung 2: Oberbau in Drainbeton Bauweise [1]



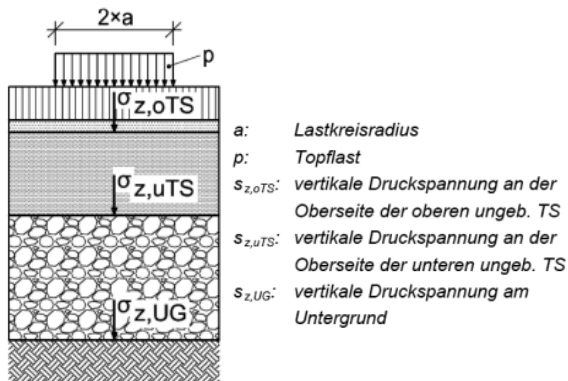


Abbildung 3: Maßgebende Spannungen bei Bauweise mit ungebundener Tragschichte [1]

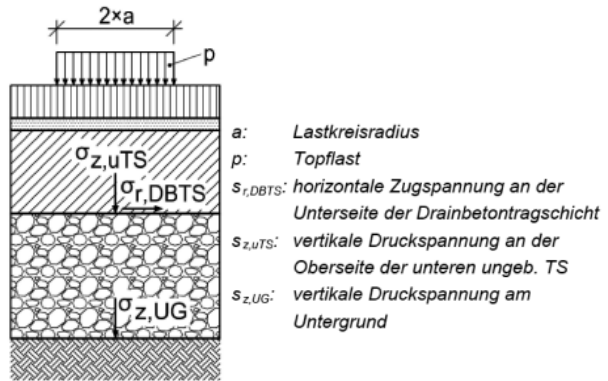


Abbildung 4: Maßgebende Spannungen bei Bauweise mit Drainbeton-Tragschichte [1]

2.1 Maßgebende Beanspruchungen

Die Verkehrsbelastung erzeugt an der Oberfläche von Pflasterbefestigungen eine Einsenkmulde, die in den darunter liegenden Schichten Zug- und Druckspannungen verursacht. Bei der Belastung eines Schichtpaketes entstehen an der Unterseite von gebundenen Schichten Zugspannungen, wie im Falle von Pflasterbefestigungen, in der Drainbetontragschicht. Ungebundene Schichten werden gestaucht und erleiden eine vertikale Druckbeanspruchung. Die für die Dimensionierung maßgebenden Beanspruchungen (Spannungen und Dehnungen) treten also bei gebundenen Schichten an der Unterseite in horizontaler Richtung (σ_r) und bei ungebundenen Schichten an der Oberseite in vertikaler Richtung (σ_z) auf (Abbildung 3 und Abbildung 4). Die jeweiligen Beanspruchungsgrößen unter Verkehrslast können in der Regel mit ausreichender Zuverlässigkeit aus bekannten analytischen Lösungen (linear elastische Mehrschichtentheorie) abgeschätzt werden, bei welchen der Oberbau als elastisch gebettetes System linear elastischer Schichten abgebildet wird.

2.2 Einflussgrößen auf das Tragverhalten

Das Tragverhalten von Pflasterdecken hängt nach Shackel [3] von folgenden Parametern ab:

- Form und Größe der Pflastersteine
- Dicke der Pflastersteine
- Verband oder Verlegemuster
- Festigkeit der einzelnen Pflastersteine

Für die Bemessung werden üblicherweise Pflasterdecken mit den Steindicken zwischen 6 und 12 cm herangezogen. Es handelt sich hierbei um die für Natur- und Betonsteine handelsüblichen Steindicken. In Abhängigkeit von der Steinform (Abbildung 5), dem Verband gemäß RVS 08.18.01 und der Steindicke können drei Verbundklassen definiert werden (siehe Tabelle 1) wobei je Verbundklasse unterschiedliche E-Module anzusetzen sind, um das Tragverhalten der Decke in der Berechnung möglichst realitätsnah zu beschreiben.

Tabelle 1: Annahmen für die Bemessung: Verbundklassen in Abhängigkeit von der Steindicke, der Steinform und dem Verband

Verbundklasse	Steindicken [cm]	Steinformen [Kategorie]	Verbände
I	6 bis 12	A	Fischgrätverband
II	6 bis 12	A, B, C	alle Verbände
III	18,5	C	alle Verbände

2.3 Ermüdungskriterien

Das Versagen einer Straßenkonstruktion ist stets auf deren Ermüdungsverhalten zurückzuführen. Unter Ermüdung versteht man die Abnahme der Festigkeit einer Schicht infolge wiederholter Beanspruchung durch Verkehrslast. Um die Ermüdung der einzelnen Schichten in realitätsnaher Form beschreiben zu können, ist es notwendig geeignete Ermüdungskriterien

Kategorie A	A (1)	B (1)	C (1)	D (1)	E (1)	F (1)
Kategorie B	G (2)	H (2)	I (2)	J (2)	K (2)	L (2)
	M (2)	N (2)	O (2)	P (2)	Q (2)	R (1)
Kategorie C	S (2)	T (2)	U (2)	V (2)		
Bemerkungen	(1) geeignet für viele Verbände einschließlich Fischgrät		(2) nur für Läuferverband geeignet		Steine, für die bekannte Untersuchungen zur Lastverteilung oder unter Verkehr durchgeführt wurden	

Abbildung 5: Klassifikation der Pflastersteinformen nach [2]

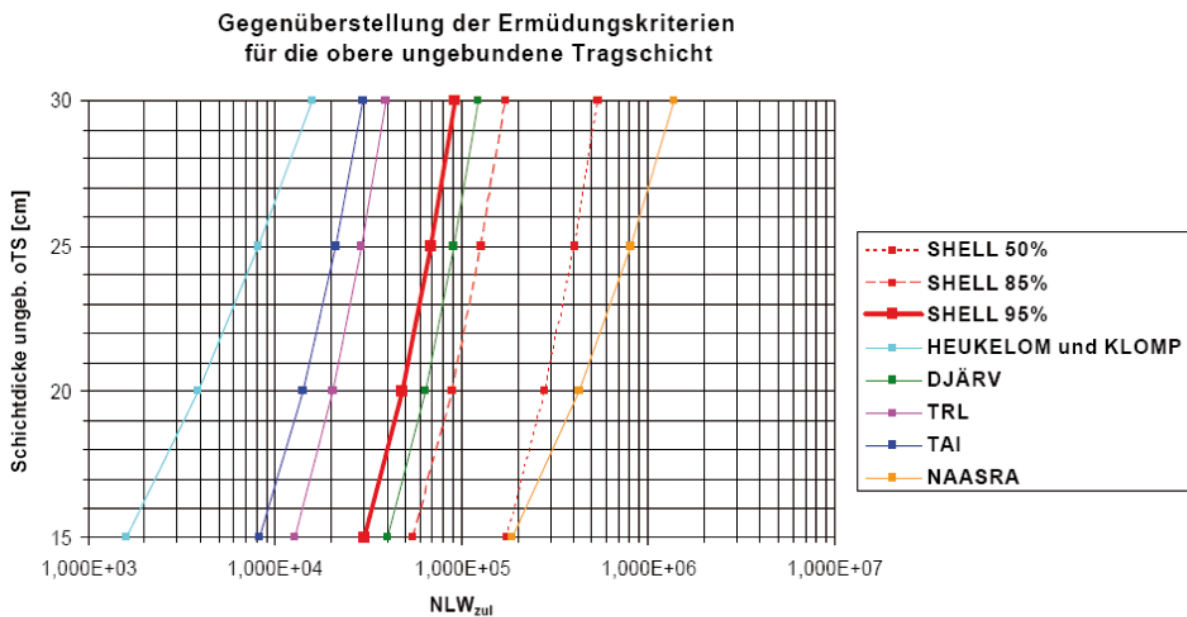


Abbildung 6: Gegenüberstellung verschiedener Ermüdungskriterien für die ungebundene obere Tragschicht eines Oberbaus mit Pflastersteindecke aus [1]

aufzustellen, welche zumeist aus Versuchen abgeleitet werden. Dabei müssen unterschiedliche Ermüdungskriterien für Untergrund, die ungebundene Tragschichten und Drainbetontragschichten herangezogen werden. Eingangsgröße ist dabei immer die unter der Verkehrsbelastung (Normachslast) resultierende Spannung bzw.

Dehnung (maßgebliche Beanspruchung) in der jeweils betrachteten Schicht.

Im Zuge der Bemessung werden zunächst für alle beschriebenen Ermüdungskriterien die zulässigen Bemessungsnormlastwechsel errechnet. Die Abbildung 6 zeigt beispielhaft die Gegenüberstellung verschiedener Ermüdungskriterien für

die obere ungebundene Tragschichte unter der Normachlast. Anschließend ist jene Schichte mit der geringsten Ermüdungsfestigkeit für die Lebensdauerberechnungen maßgebend.

Nachfolgend kann für jede Bauweise eine Bemessungstabelle in Abhängigkeit von Lastklasse und der Verbundklasse (I bis III) festgelegt werden.

Bei der Erstellung der Bemessungstabellen ist darauf zu achten, dass sich einerseits sinnvolle Abstufungen zwischen den einzelnen Last- und Verbundklassen ergeben und andererseits gewährleistet wird praxismgerechte Konstruktionsdicken anzugeben.

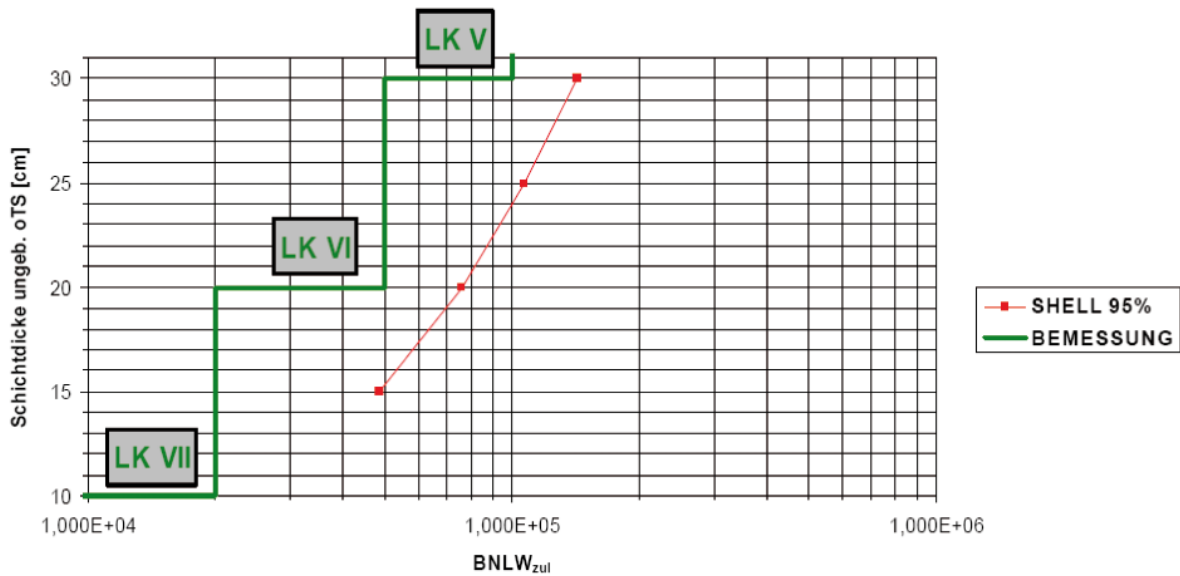


Abbildung 7: Bemessungsdiagramm zur Dickenfestlegung der ungebundenen oberen Tragschichte für eine Pflastersteindecke der Verbundklasse II mit einer Steindicke von 10 cm nach [1]

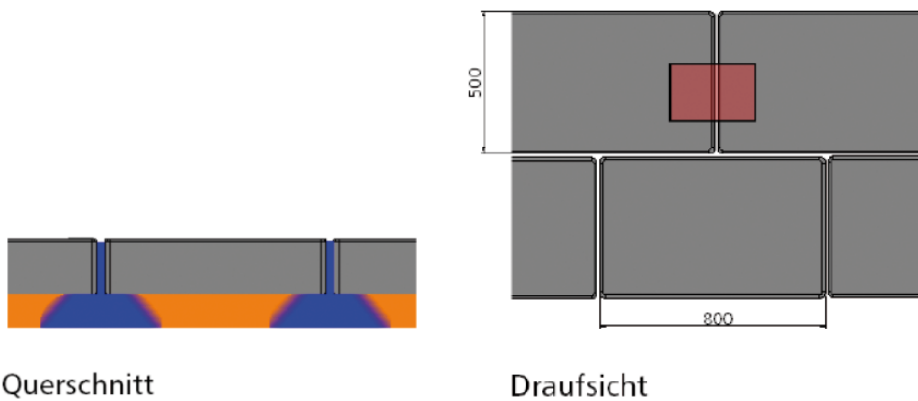


Abbildung 8: Unterschiedliche Durchfeuchtung und Belastung von Pflasterplatten nach [4]

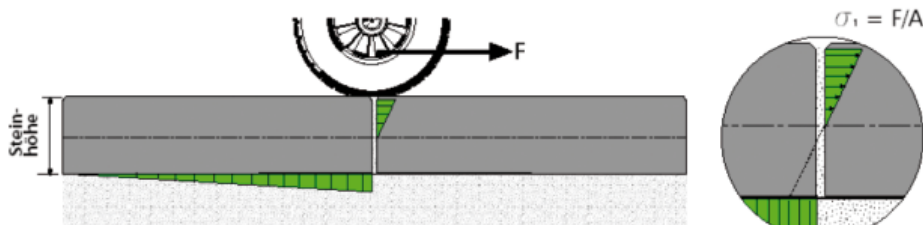


Abbildung 9: Unterschiedliche Lastabtragung im Bereich der Stoßfuge bei einer Platte mit ausreichender Steinhöhe [3]

3. Bemessungsmethoden für Pflasterplattendecken

Bei Platten aus Naturstein und Beton ist es aufgrund der größeren Fläche und der hohen punktuellen Belastung durch den Fahrzeugreifen notwendig, zuerst die Tragfähigkeit der Einzelplatte (Biegebeanspruchung) zu überprüfen, bevor der gesamte Oberbau bemessen werden kann.

3.1 Einflussgrößen auf das Tragverhalten

Der wesentliche Unterschied zwischen Pflastersteinen und Platten bei der Befestigung von Verkehrsflächen liegt im jeweiligen Tragverhalten. Während Steine großteils auf Druck beansprucht werden, tragen die Platten die Last hauptsächlich über Biegung ab. Plattenbeläge besitzen im Gegensatz zum Pflaster aufgrund der größeren Abmessungen wesentlich geringere Fugenlängen, bzw. Fugenflächen je Quadratmeter Oberfläche.

Dies führt im Falle von Niederschlag zu einer ungleichmäßigen Durchfeuchtung der Bettung. Während im Bereich der Fugen die Unterlage relativ stark durchfeuchtet wird, bleibt die Bettung in der Steinmitte trocken. Die punktuelle Durchfeuchtung der Unterlage, wie Sie bei Plattenbelägen auftreten kann (siehe Abbildung 8), kann bei ungünstiger Belastung dazu führen, dass die Platten über die mittige feste Auflagerung kippen. Die Praxis zeigt, dass Platten, die beim Überfahren schaukeln, relativ rasch zerstört werden.

Bei Platten erfolgt die Lastabtragung zudem in der Regel über zwei Plattenelemente, während beim

herkömmlichen Pflaster meistens vier Steine belastet werden. Dies erweist sich deshalb als sehr günstig, da immer ein oder zwei Steine vollflächig belastet werden und so die Stoßfuge der übrigen Steine gegen Kippen entlastet.

Aus den angeführten Betrachtungen wird ersichtlich, dass Platten in befahrenen Bereichen ein anderes Verhalten aufweisen als Pflastersteine. Für die Lagestabilität der Platten ist es erforderlich, mit größeren Produkthöhen zu arbeiten, damit über die Fugen eine bessere Lastabtragung erfolgt (siehe Abbildung 9). Bei einer Platte mit geringer Produkthöhe entstehen bei der Lastabtragung hohe Kantenpressungen in der Bettung und im oberen Kantenbereich der Platte. Eine solche Befestigung wird schnell uneben und führt zu Brüchen in den Platten.

3.2 Bemessungsmethoden

Zur Bemessung der Pflasterplatten können analytische und numerische Methoden herangezogen werden. Zu den analytischen Lösungen zählen folgende Verfahren

- Bemessung nach EISENMANN [5]
- Bemessung nach DNV (Deutscher Naturstein-Verband) [6]
- Bemessung nach ÖNORM B 3118 [7]

Alle drei Bemessungsmethoden haben ihre Vor- und Nachteile sowie sehr unterschiedliche Anwendungsgrenzen. Wie die Abbildung 10 zeigt, ergeben sich im konkreten Vergleich teilweise sehr unterschiedliche Bemessungsergebnisse.

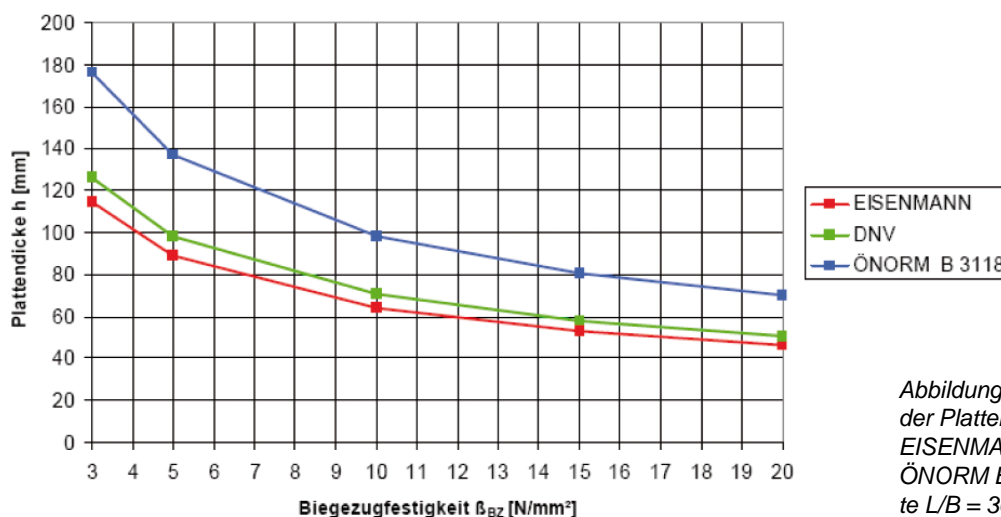


Abbildung 10: Ergebnisse der Plattenbemessung nach EISENMANN, DNV und ÖNORM B 3118 für eine Platte L/B = 360/240 mm [1]

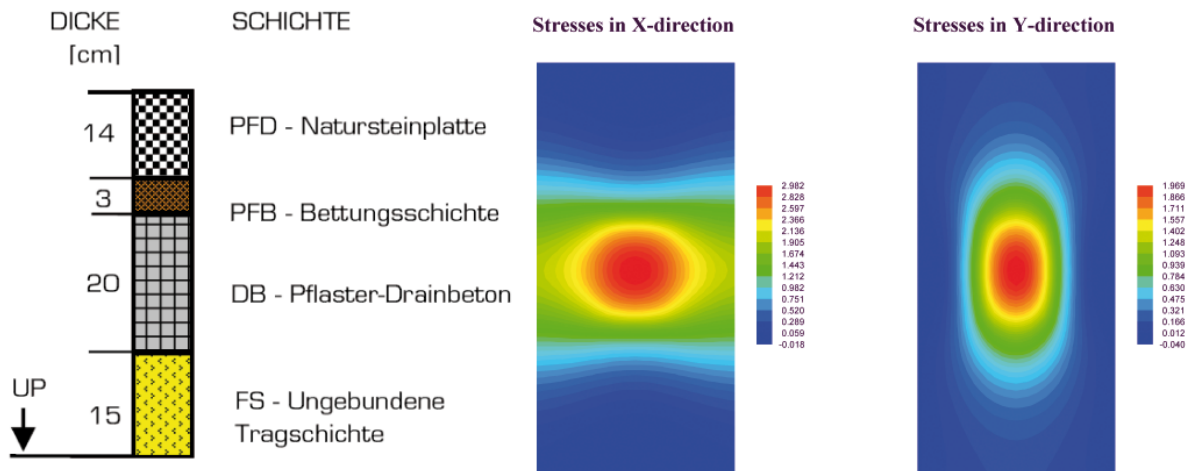


Abbildung 11 Grafische Darstellung des numerisch ermittelten Spannungsverlaufes an der Plattenunterseite einer Natursteinplatte $L/B = 1336/664$ mm bei 57,5 kN Radlast und 120 mm Plattendicke in einem Oberbau mit Drainbeton-tragschichte, $\Delta t = 0,09$ K/mm [7]

Bei der Nachweisführung zur Dimensionierung des Oberbaus auf Grundlage numerischer Methoden mittels Finiter Elemente (FE) kann im Gegensatz zur den analytischen Lösungen der gesamte Oberbau als Tragsystem nachgebildet werden. Zudem lassen sich maßgebliche mechanogene, also durch Verkehrslast induzierte, und thermische Beanspruchungen simulieren (Abbildung 11).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Beanspruchungssituationen für das Versagen maßgeblich werden können [vgl. 8]. Als Ergebnis der Berechnungen werden daher sowohl die unter Extrembeanspruchung, d. h. die bei hohen Achs- und Radlasten und großem positiven Temperaturgradienten, auftretenden Spannungsverhältnisse berechnet (Grenzzustand der Tragfähigkeit – GZT), als auch die zufolge der Dauerbeanspruchung unter Verkehr auftretende Materialermüdung und damit die theoretische strukturelle Lebensdauer der Pflasterdeckenkonstruktion (Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit – GZG) ermittelt. Auf Grundlage der individuellen Bemessung mittel FE Modellen des Oberbaus und der vorgesehenen Plattengeometrien lassen sich für hoch belastete Verkehrsflächen mit Pflasterplattendecken zuverlässige Empfehlungen für deren konstruktive Ausführung geben.

4. Zusammenfassung

In Zusammenwirken mit einer sorgfältigen Planung und der fachgerechten baulichen Ausführung und Erhaltung ist die ausreichend konstruktive Ausbildung von Oberbauten mit Pflasterstein- und Pflasterplattendecken ein wesentlicher Baustein für die Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit über die gewünschte technische Lebensdauer. Bei der Dimensionierung sind die verschiedenen Bauweisen für Pflaster- und Plattenbefestigungen zu berücksichtigen, die unterschiedliche Methoden für die Bemessung erfordern.

Zu den Grundlagen der Dimensionierung zählen dabei die Festlegung der Lasteintragung und die Definition der maßgebenden Beanspruchungen in der Oberbaukonstruktion. Für die Dimensionierung von Oberbauten mit geringer und mittel hoher Beanspruchung kann der standardisierte Bemessungskatalog in der gültigen RVS 03.08.63 herangezogen werden, in dem für unterschiedliche Lastklassen verschiedene technisch gleichwertige Oberbautypen angeführt werden. Für hoch beanspruchte Pflasterstein- und Pflasterplattenbefestigungen empfiehlt sich aber jedenfalls eine individuelle Bemessung mit Hilfe moderner numerischer Verfahren.

Literatur

- [1] Richtlinien und Vorschriften für den Straßenbau (RVS). RVS 03.08.63: Straßenplanung – Bautechnische Details – Oberbaubemessung; Wien, 2008.
- [2] Janda G.: Erarbeitung eines Bemessungsvorschlages für Pflaster- und Plattenbefestigungen. Diplomarbeit am Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen, Wien, 2004.
- [3] Shackl, B.: Experimentelle Untersuchung über den Einfluss von Bettung und Fugen auf das Verhalten von Decken aus Betonpflastersteinen, Betonwerk + Fertigteil - Technik, Heft 1, Wiesbaden, 1984.
- [4] SF-KOOPERATION: Studie Großpflasterelemente, Bremen, 2001.
- [5] Eisenmann, J.: Beanspruchung, Konstruktion und Bemessung von Belägen, München, 1999.
- [6] DNV – DEUTSCHER NATURWERKSTEIN-VERBAND: Bautechnische Information Naturwerkstein, Würzburg, 1984.
- [7] ONI: Österreichisches Normungsinstitut, Wien. ÖNORM B 3118. Natürliche Gesteine; Einfassungssteine, Pflastersteine und Pflasterplatten, Entwurf 2003.
- [8] Blab R. und K. Kappl: Erneuerungsprojekt Fußgängerzone Kärntnerstraße-Stephansplatz-Graben. Analytische Bemessung des Oberbaus mit Pflasterplattendecke. Untersuchungen der Ausführung mit Naturpflastersteinen und Kombinationsplatten. Im Auftrag der MA 28 - Straßenverwaltung und Straßenbau. Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung der TU Wien, 2008.