



innovativbauen
Straßen- und Tiefbau
Geokunststoffanwendungen
Stütz- und Gabionenbauwerke

Ingenieurbüro Ralf Ziegler

Würzburger Straße 515b
90768 Fürth
Tel: 0911/78 06 87 00
info@innovativbauen-ziegler.de

Nürnberg, 05.11.2012

Vergleich von RStO Aufbau BKL V und TTE-Pflasterfläche bezüglich Lastverteilung und Befahrbarkeit durch Verkehr.

Aufgabenstellung

Es soll eine vergleichende Gegenüberstellung eines RStO-Aufbaus zu einem Aufbau mit TTE-System bezüglich der Wirkungsweise und der Gebrauchstauglichkeit erstellt werden.

RStO Aufbau

Die Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO-01) beschreiben den Aufbau von Fahrbahnen und sonstigen Verkehrsflächen unter Berücksichtigung der Verkehrsbeanspruchung. Hierzu ist der Aufbau nach Belastungsklassen vorzunehmen. Es wird entsprechend der Häufigkeit der Nutzung und der maximalen LKW-Achslasten in unterschiedliche Belastungsklassen unterschieden. Für die einzelnen Schichten eines Aufbaus sind Material, sowie Mindestschichtstärken und Verdichtungsvorgaben (E_{v2} -Werte) vorgeschrieben, um eine gleichbleibende Qualität zu sichern.

TTE-System

Einen anderen Ansatz zur Befestigung von Verkehrsflächen verfolgt das TTE-System. Auch hier wird der Aufbau entsprechend der Belastungsklassen unterschieden, die Tragfähigkeit der Fläche wird jedoch weitestgehend über massive, lastverteilende Gitterelemente mit formschlüssigem Verbund aus Recycling-Kunststoff erzeugt. Deshalb kann die Tragschicht deutlich geringer ausfallen als bei herkömmlich gebauten Flächen. Das TTE-System bewirkt mit den steifen Einzelementen einen Lastverteilungseffekt, wodurch mineralisches Tragschichtmaterial eingespart werden soll. Die Gitterelemente sollen dabei die Oberfläche vor Verformungen schützen und für eine dauerhafte Ebenheit sorgen. Die TTE-Elemente werden mit passenden Pflastersteinen befüllt und bilden einen wasserdurchlässigen Oberbelag. Laut Herstellerangaben sind TTE-Bauweisen bereits auf einem Baugrund mit einer Tragfähigkeit ab E_{v2} von 10 MN/m² anwendbar.

Vergleichstest

Im Rahmen von Großversuchen durch das Ingenieurbüro Ralf Ziegler Nürnberg, in Zusammenarbeit mit dem Baugrundinstitut Kling Consult Krumbach, wurde im Auftrag der Firma Hübner-Lee GmbH & Co. KG das Verhalten eines RStO-Aufbaus und einer TTE-Pflasterfläche bezüglich der Lastverteilung und des Lasteintrags, sowie der Belastung durch den Verkehr, geprüft. Dazu wurden Probefelder mit einer Größe von ca. 4m x 4m aufgebaut. Für beide Baukonzepte wurde je ein Aufbau gewählt, der für PKW-Belastung als auch für gelegentlichen LKW-Verkehr geeignet ist.

Der RStO-Aufbau wurde gemäß Bauklasse V ausgeführt, die TTE-Fläche nach Vorgabe von HÜBNER-LEE als TTE-Bauweise Pflaster 2. Auf dem Planum (zwischen Planum und Tragschicht) wurden Druckmessgeber eingebaut, die Aufschluss über die Druckverhältnisse unterhalb des jeweiligen Aufbaus geben sollen.



Bild 1: Durchführung Lastplattendruckversuch mit Messung der reduzierten Belastung am Bodenplanum

An der Oberkante jedes Aufbaus wurden Lastplattendruckversuche nach DIN 18134 durchgeführt, wobei der Druckstempel exakt oberhalb der jeweiligen Druckmessdose platziert wurde. So konnte die Lastreduktion durch den jeweiligen Aufbau bei unterschiedlich starker Lasteinwirkung gemessen werden. Die gemessenen Druckverhältnissen am Planum (unter der Tragschicht) lassen einen Rückschluss auf die Lastreduktion durch den Versuchsaufbau zu.

Zusätzlich wurden die Flächen mit einem beladenen LKW (2 Achsen, 18t Gesamtgewicht) überfahren und das Verhalten der Oberfläche beschrieben.

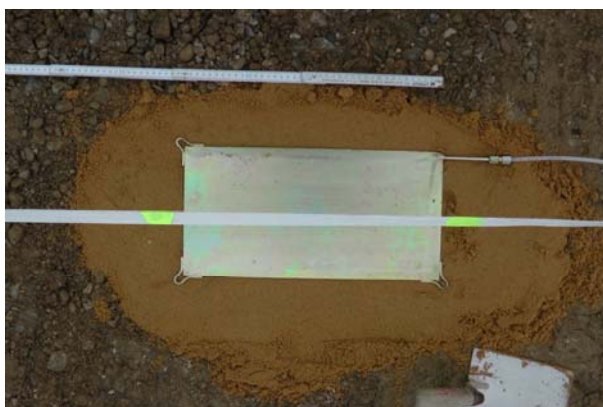


Bild 2: Messdose auf verbessertem Bodenplanum, vor Einbau der Tragschicht.

Der Untergrund der Testflächen hatte einen E_{v2} -Wert von ca. 10 MN/m^2 . Gemäß der Vorgabe für Bauklasse V wurde der Untergrund des RStO-Felds auf einen E_{v2} Wert von $\geq 45 \text{ MN/m}^2$ durch Bodenaustausch verbessert. Beim TTE-Feld wurde auf einen Bodenaustausch verzichtet. Die Aufbauten sind in Tabelle 1 beschrieben.

Da die Aufbauten aus mehreren Schichten bestehen, wurde auf jeder eingebauten Schicht Plattendruckversuche durchgeführt, um die nach RStO geforderten Spannungsmodule nachzuweisen. Gleichzeitig wurden dabei die Messwerte der Druckmessdosen dokumentiert und ausgewertet.

	RStO-Fläche	TTE-Pflasterfläche
Bauweise:	Bauweise mit Pflasterdecke Bauklasse V	TTE-Bauweise Pflaster 2
Belastungsklasse:	PKW-Verkehr mit geringem LKW-Anteil	PKW-Verkehr mit geringem LKW-Anteil
Baugrund:	bindig U,s E_{v2} ca. 10 MN/m^2	bindig, U,s E_{v2} ca. 10 MN/m^2
Feldgröße:	ca. $4 \times 4 \text{ m}$	ca. $4 \times 4 \text{ m}$
Bodenaustausch Planum:	Bauvlies GRK4, 55cm Kies G,s,u'-u $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$	kein Bodenaustausch
Messdose	ölgefülltes Hydraulikkissen $20 \times 40 \text{ cm}$ mit elektrischem Druckgeber, Typ SISGEO, Messbereich 500 kPa Lage: auf verbessertem Baugrund ca. 50 cm unter Oberkante (OK)	ölgefülltes Hydraulikkissen $20 \times 40 \text{ cm}$ mit elektrischem Druckgeber, Typ SISGEO, Messbereich 500 kPa Lage: direkt auf Baugrund ca. 30 cm unter Oberkante (OK)
Tragschicht	26 cm Frostschuttschicht Kies $0-32 \text{ mm}$ 15 cm Tragschicht Schotter $0-45 \text{ mm}$	20 cm Tragschicht Schotter $0-45 \text{ mm}$
Ausgleichsschicht	Splitt $2-5 \text{ mm}$, Dicke $2-4 \text{ cm}$	Splitt $2-5 \text{ mm}$, Dicke $2-4 \text{ cm}$
Deckschicht	Rechteckpflasterstein aus Beton $20 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$	TTE-MultiDrainPLUS $80 \times 40 \times 6 \text{ cm}$ aus Recycling-Mischkunststoff, befüllt mit TTE-Pflastersteinen aus Beton $7,4 \text{ cm} \times 7,4 \text{ cm} \times 4,8 \text{ cm}$
Gesamthöhe Aufbau inkl. Bodenaustausch	ca. 100 cm	ca. 30 cm

Tabelle 1: Beschreibung der Testflächen

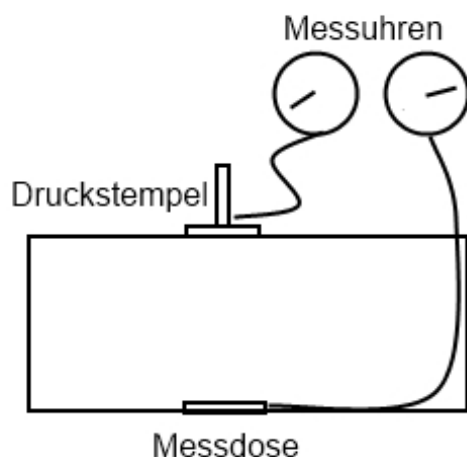


Bild 3: Schemaskizze des Versuchsaufbaus eines Testfelds

Zusammenfassung wichtiger Erkenntnisse aus den Versuchen:

Lasteintrag / Lastverteilung:

Die Entwicklung der Druckspannungen und die lastverteilende Wirkung der Kies-Schotterschicht lassen sich gut am Verhältnis der aufgetragenen Druckspannungen zu den tatsächlich am Planum gemessenen Spannungen am Beispiel des RStO-Aufbaus zeigen. Dabei hat das Verdichtungsverhältnis E_{v2}/E_{v1} einen entscheidenden Einfluss.

Man erkennt, dass durch die Nachverdichtung der Kiestragschicht, der absolute Wert, aber auch der prozentuale Druckspannungsanteil auf dem Planum, verringert wird.

Eine optimale Druckspannungsverteilung auf dem Planum wird, bei den Aufbaustärken von etwa 40–50 cm kornabgestuftem, klassifiziertem Tragschichtmaterial erreicht.

Beim Vergleich zwischen dem ungebundenen Aufbau und dem Aufbau mit Plattenbelag, werden weder der absolute Wert, noch der prozentuale Druckspannungsanteil, auf dem Planum nennenswert weiter verringert, obwohl die Spannungsmodule (E_{v1} , E_{v2}) erwartungsgemäß erheblich ansteigen.

Aufbau	Messung auf Oberkante (OK)	E_{v1} [MN/m ²]	E_{v2} [MN/m ²]	E_{v2}/E_{v1}	Druckanteil am Planum	Ort Versuch
RStO Bkl. V: 45 MN/m ² E_{v2} auf Planum	26cm Kies OK	26,8	86,6	3,23	43%	Feld 1 183
	26cm Kies OK nachverdichtet	40,5	120,2	2,97	32%	Feld 1 184
	26cm Kies + 15cm Schotter OK	56,1	141,3	2,52	25%	Feld 1 187
	26cm Kies + 15cm Schotter + Pflasterbelag OK	146,2	228,5	1,56	24%	Feld 1 191
TTE-Pflaster 2: 10 MN/m ² E_{v2} auf Planum	20cm Schotter OK	11,9	23,0	1,93	52%	Feld 5 186
	20cm Schotter + TTE-Pflaster OK	18,5	30,6	1,65	24%	Feld 5 194

Tabelle 2: Ergebnisse der Plattendruckversuche

Aufbau	Ort Lastplatten-druck-Versuch	max. ausgeübter Druck auf OK [MN/m ²]	max. gemessener Druck unter Tragschicht [MN/m ²]	ankommende Spannung am Planum	Lastverteilung s-effekt
RStO Bkl. V	Feld 1 191	0,500	0,118	ca. 24%	ca. 76%
TTE-Pflaster 2	Feld 5 194	0,498	0,120	ca. 24%	ca. 76%

Tabelle 3: Ergebnisse der Plattendruckversuche in Kombination mit Messungen der Druckmessdosen

RStO-Aufbau Bkl. V

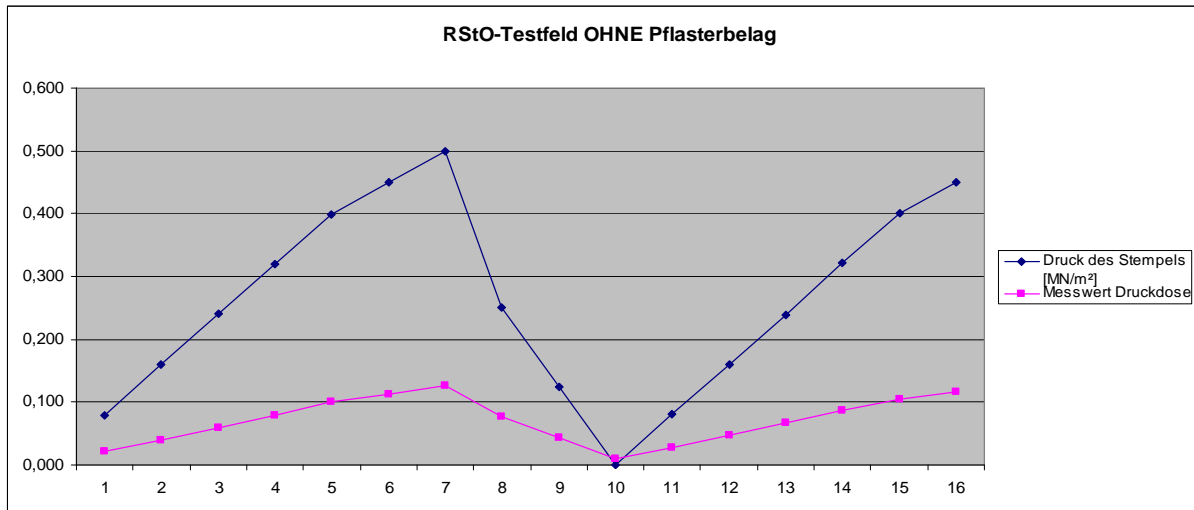


Diagramm 1: RStO Testfeld OHNE Pflasterbelag - Kurvenverlauf von ausgeübtem Druck an Oberseite des Aufbaus (blau) und dem am Planum ankommenden Druck (rosa)

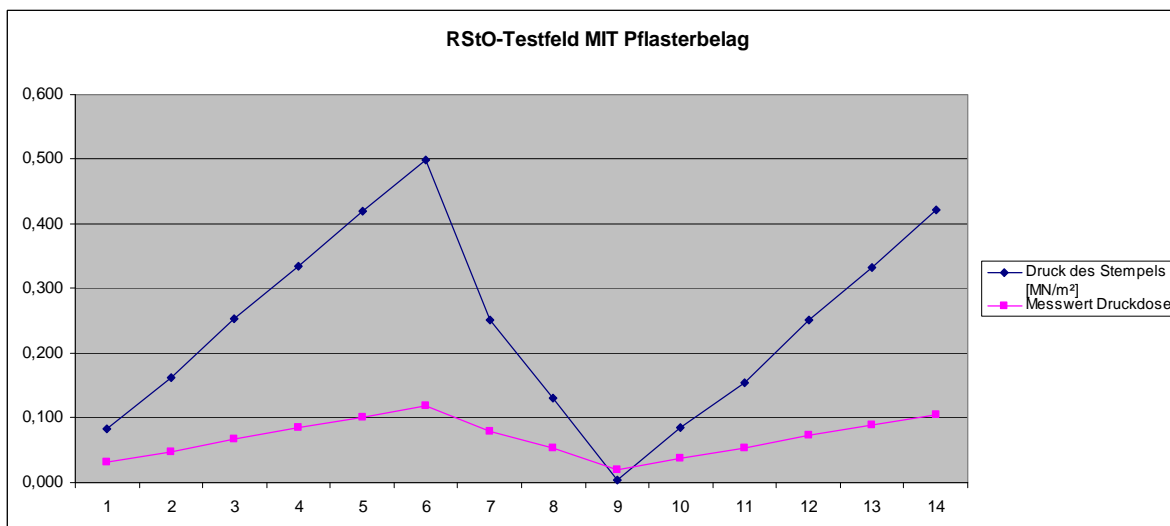


Diagramm 2: RStO Testfeld MIT Pflasterbelag - Kurvenverlauf von ausgeübtem Druck an Oberseite des Aufbaus (blau) und dem am Planum ankommenden Druck (rosa)

Zusammenfassend kann man für den RStO-Aufbau feststellen, dass mit einem ungebundenen Oberbau aus klassifiziertem Frostschutz- und Tragschichtmaterial (43cm) auf einem ausreichend tragfähigem Untergrund (45 MN/m²) eine so gute Lastverteilung erreicht wird, dass der noch steifere Betonplattenbelag (siehe E_{v2}/E_{v1}) diesbezüglich keine wesentliche Verbesserung mehr bringt.

Aufbau mit TTE-Pflaster 2:

Die sehr günstigen Verhältniswerte von E_{v2}/E_{v1} meist bei 1,3 -1,7 beweisen die hohe Verformungsstabilität der Oberfläche und das elastische Verhalten der TTE-Elemente.

Die besondere Wirkungsweise des TTE-Systems wird deutlich, wenn die Untergrundverbesserung minimiert wird. Im TTE-Testfeld wurden lediglich 20cm Schottertragschichtmaterial eingebaut. Mit dieser geringen Tragschicht ohne TTE-Belag wurden 52% Druckspannungsanteil unter der Last am Planum festgestellt. Durch den

Aufbau von einer 3cm Schicht aus Splitt und den TTE-Elementen (6cm) wurde die Lastverteilung so verbessert, dass am Planum nur noch 24% Druckspannungsanteil zu messen waren. Das Auflegen des TTE-Belags hat die lastverteilende Wirkung des Aufbaus demnach mehr als verdoppelt.

TTE-Pflaster 2

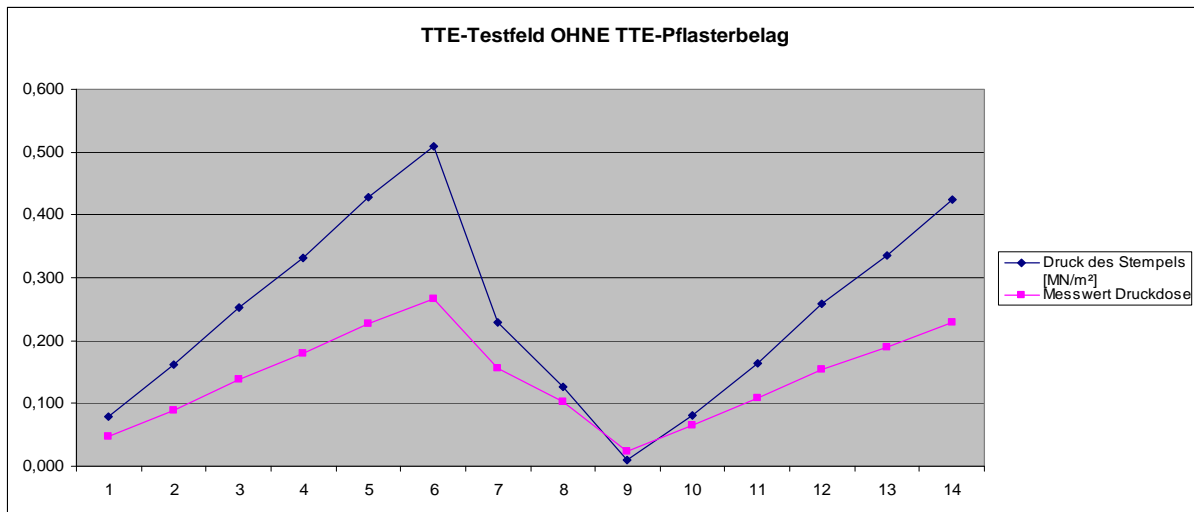


Diagramm 3: TTE-Pflaster Testfeld - Kurvenverlauf von ausgeübtem Druck an Oberseite des Aufbaus (blau) und dem am Planum ankommenden Druck (rosa)

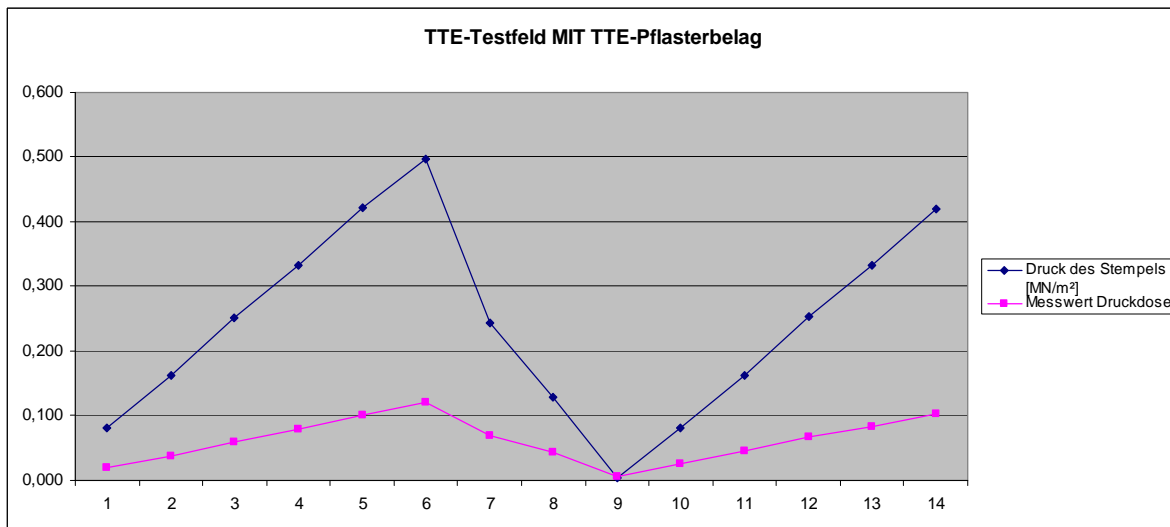


Diagramm 4: TTE-Pflaster Testfeld - Kurvenverlauf von ausgeübtem Druck an Oberseite des Aufbaus (blau) und dem am Planum ankommenden Druck (rosa)

Der Kurvenverlauf des TTE-Testfelds mit Pflasterfüllsteinen ist nahezu identisch mit dem Kurvenverlauf des RStO-Testfelds. Dies ist bemerkenswert, weil der nur ca. 30cm dicke TTE-Aufbau rund 40% schlanker ist als der ca. 50cm starke RStO-Aufbau, d.h. die Druckdose im TTE-Testfeld befindet sich ca. 20cm näher an der Oberfläche. Trotzdem liegen in beiden Aufbauten in etwa gleiche Druckspannungen am jeweiligen Planum an.

Überfahrversuche

Ergänzend zu den Druckmessungen per Plattendruckversuch wurden die Flächen mit einem beladenen LKW (2 Achsen, 18t Gesamtgewicht) überfahren.

Beide Testfelder haben dieser Belastung problemlos standgehalten (Bild 4+5).

Auf der RStO-Fläche war keine Verformung der Oberfläche erkennbar.

Bei der TTE-Fläche führte das Überfahren zu einer leichten Oberflächenverformung, die aber nach der Überfahrt wieder verschwand.



Bild 4: LKW-Überfahrt RStO-Testfeld



Bild 5: LKW-Überfahrt TTE-Testfeld

Dieses dauerelastische Verhalten der TTE-Fläche kann auch auf bereits älteren Praxisflächen beobachtet werden und erklärt die guten E_{v2}/E_{v1} Verhältniswerte von ca. 1,6 (Tabelle 2). Nach der Erstbelastung des Plattendruckversuchs geht der Kunststoffbelag wieder nahezu in seine Ausgangslage zurück, so dass auch bei der Zweitbelastung eine entsprechende Verformung stattfindet.

Diese reversible Verformbarkeit der Oberfläche bedingt andererseits auch, dass hohe E_{v2} -Werte auf dem TTE-Belag nicht erwartet werden können. Aufgrund dieser Tatsache sind E_{v2} -Werte nicht geeignet, die Befahrbarkeit und Gebrauchstauglichkeit der TTE-Fläche zu beschreiben. Wie sich gezeigt hat, ist der Aufbau trotz geringer E_{v2} -Werte in der Lage die auftretenden Kräfte auf ähnlichem Niveau zu verteilen, wie es der deutlich dickere RStO-Aufbau kann.

Was bedeutet dies für die Praxis:

Der klassifizierte RStO-Aufbau hat die Aufgabe, den Spannungsabbau der Verkehrslasten über ein Stützkorngerüst (Korngrößenverteilung, Unförmigkeitsgrad) auf zulässigen Spannungen schadlos an den Untergrund, der mit einer Mindestqualität von E_{v2} von 45 MN/m² anstehen muss, abzugeben. Im Vergleich zeigt das TTE-System bezüglich der Spannungsverteilung einen ähnlichen Verlauf. Hierbei ist der Kurvenverlauf der Funktionen, unabhängig von ihren Werten, nahezu identisch.

E_{v2} -Werte, wie sie üblicherweise zur Beschreibung der Tragfähigkeit konventionell gebauter Flächen verwendet werden, fallen auf einer TTE-Fläche, aufgrund des dauerelastischen Verhaltens, verhältnismäßig niedrig aus. Dies ist im Falle einer TTE-Fläche jedoch nicht gleichbedeutend mit einer geringeren Gebrauchstauglichkeit. Es zeigt vielmehr, dass die

nach RStO vorgeschriebenen E_{v2} -Werte auf TTE-Flächen nicht erreicht werden müssen, um eine ausreichende Tragfähigkeit herzustellen.

Aufgrund des flächigen, dauerelastischen Verhaltens, zusammen mit der hohen Druckstabilität und Abriebfestigkeit der Elemente erweist sich das TTE-System als ein, bezogen auf die Tragfähigkeit und die Lastverteilung, der RStO BKL V, technisch gleichwertiger Aufbau mit einer hohen, dauerhaften Gebrauchstauglichkeit. Zudem kann das anfallende Oberflächenwasser versickert werden, weil die eingesetzten Pflastersteine die Gitterkammern nicht abdichten. Über Fugen zwischen Pflasterstein und Kunststoffelement wird für eine Ableitung von Oberflächenwasser in die darunterliegende, wasserdurchlässige Tragschicht gesorgt.

Das TTE-System kann für Siedlungsstraßen, verkehrsberuhigte Zonen, Parkflächen und Feuerwehrzufahrten mit gelegentlichem LKW-Verkehr eingesetzt werden. Dabei kann der ungebundene Oberbau, je nach Frostempfindlichkeit des Untergrundes und Nutzung der Verkehrsfläche, aufgrund der Spannungsverteilung gegebenenfalls reduziert werden. Bei unzureichenden Tragfähigkeiten auf dem Planum, kann eventuell sogar auf eine Untergrundverbesserung verzichtet werden.

Nürnberg, den 5.11.2012



Ralf Ziegler Dipl.Ing. (FH)