

Nürnberg, 05.11.2012

Vergleich von FLL-Schotterrasenfläche und TTE-Grünfläche bezüglich Lastverteilung und Befahrbarkeit durch Verkehr.

Um den Wasserhaushalt unserer Landschaften zu verbessern und die schnelle Ableitung von Niederschlagswasser in die Kanalisation aufgrund von versiegelten Verkehrsflächen zu vermeiden, sind die sogenannten „offenen“ Bauweisen als wasserdurchlässige Verkehrsflächen (Parkflächen) anzustreben. Dem gegenüber steht der klassische Straßenaufbau, welcher wasserundurchlässige Oberflächen und hohe Anforderungen an die Tragfähigkeit des Untergrunds (E_{v2} min. 45 MN/m^2) und der Tragschicht (E_{v2} min. 100 MN/m^2 , D_{pr} bis 105%) vorsieht.

Schotterrasen

Der Schotterrasen versucht das Kunststück, eine gute Standfestigkeit und dauerhafte Gebrauchstauglichkeit bei gleichzeitiger Wasserdurchlässigkeit und Vegetationsfähigkeit zu erbringen. Dieser ist entsprechend der FLL*-Richtlinie für die Planung, Ausführung und Unterhaltung von begrünbaren Flächenbefestigungen herzustellen. Hierzu ist der Aufbau nach Belastungsklassen vorzunehmen. Es wird entsprechend der Häufigkeit der Nutzung und der maximalen Achslasten in drei Regelbauweisen unterschieden. Die Anforderungen an den Baugrund sind gegenüber dem Straßenbau auf E_{v2} von min. 25 MN/m^2 reduziert, für die Tragschicht auf $45 \text{ MN/m}^2 \leq E_{v2} \leq 60 \text{ MN/m}^2$. Außerdem wird eine geringere Verdichtung $D_{pr} = 93\% - 97\%$ vorgeschrieben.

TTE-System

Einen anderen Ansatz zur Befestigung wasserdurchlässiger 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. 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. Laut Herstellerangaben sind TTE-Bauweisen bereits auf einem Baugrund mit einer Tragfähigkeit ab E_{v2} von 10 MN/m^2 anwendbar.

* Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.

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 von Schotterrassen und TTE-Flächen 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- und Busverkehr geeignet ist. Der Schotterrassen wurde nach den Vorgaben der FLL als Regelbauweise SR2 ausgeführt, die TTE-Fläche nach Vorgabe von HÜBNER-LEE als TTE-Bauweise Grün2. Auf dem Planum (zwischen Planum und Vegetationstragschicht) wurden Druckmessdosen eingebaut, die Aufschluss über die Druckverhältnisse unterhalb des jeweiligen Aufbaus geben sollen.

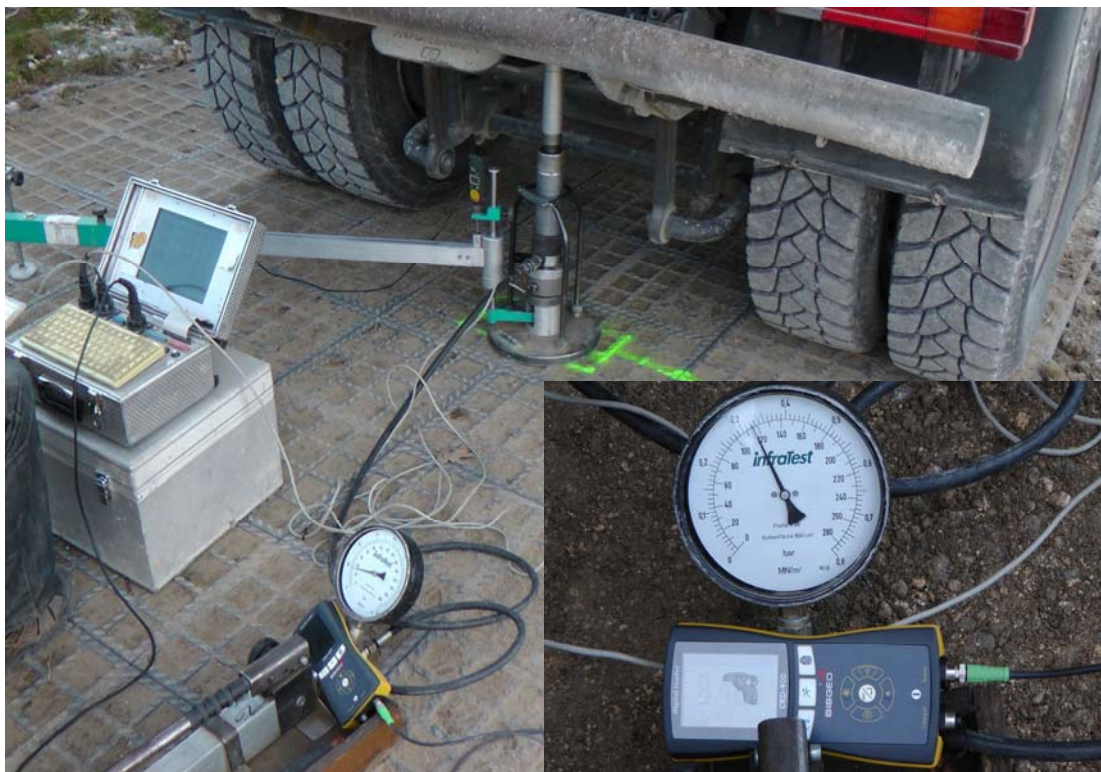


Bild 1: Durchführung Lastplattendruckversuch mit Messung der reduzierten Belastung am Bodenplanum

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.

Der Untergrund der Testfläche hatte einen E_{v2} -Wert von ca. 10 MN/m². Gemäß der FLL Richtlinie für Bauweise 2 wurde der Untergrund des Schotterrassen-Testfeldes auf einen E_{v2} Wert von ≥ 25 MN/m² durch Bodenaustausch verbessert. Im Bereich des TTE-Feldes verzichtete man darauf. Die Aufbauten sind in Tabelle 1 beschrieben.

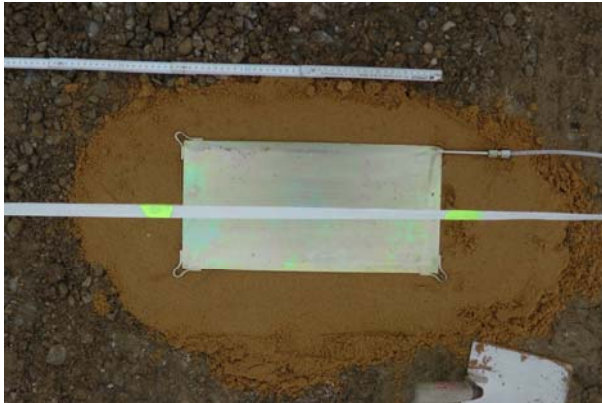


Bild 2: Messdose auf verbessertem Bodenplanum, vor Einbau der Vegetationstragschicht

	Schotterrasen nach FLL	TTE®-Grünfläche
Bauweise:	FLL Regelbauweise SR 2	TTE®-Bauweise Grün 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. 4x4m	ca. 4x4m
Bodenaustausch Planum:	Bauvlies GRK4, 30cm Kies G,s,u'-u $E_{v2} \geq 25\text{MN/m}^2$	kein Bodenaustausch
Messdose	ölgefülltes Hydraulikkissen 20x40cm mit elektrischem Druckgeber, Typ SISGEO, Messbereich 500 KPa Lage: auf verbessertem Baugrund ca. 30cm unter Oberkante (OK)	ölgefülltes Hydraulikkissen 20x40cm mit elektrischem Druckgeber, Typ SISGEO, Messbereich 500 KPa Lage: direkt auf Baugrund ca. 30cm unter Oberkante (OK)
Tragschicht	30cm Vegetationstragschicht 0-45mm	20cm Vegetationstragschicht 0-45mm
Ausgleichsschicht	---	Splitt-Oberboden-Mix 0-8mm, Dicke 2-4cm
Deckschicht	---	TTE®-MultiDrain PLUS 80x40x6 cm aus Recycling-Mischkunststoff Verlegung im Verband, befüllt mit Kiessand-Oberboden-Mix 0-8mm
Gesamthöhe Aufbau inkl. Bodenaustausch	ca. 60cm	ca. 30cm

Tabelle 1: Beschreibung der Testflächen

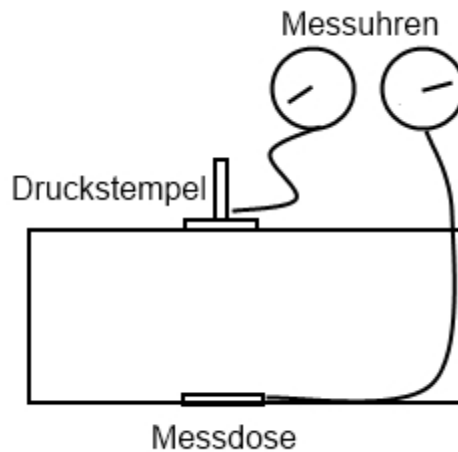


Bild 3: Schemaskizze des Versuchsaufbaus eines Testfelds

Zusammenfassung wichtiger Erkenntnisse aus den Versuchen:

Lasteintrag / Lastverteilung:

Obwohl der Schotterrasen einen höheren E_{v2} -Wert erzielt, wirkt er kaum lastverteilend sondern gibt 72% des Lasteintrags an den verbesserten Untergrund weiter (Tabellen 2+3). D.h. der Lastverteilungseffekt beträgt lediglich 28%.

Aufbau	Ort Lastplatten- druck-Versuch	E_{v1} [MN/m ²]	E_{v2} [MN/m ²]	E_{v2}/E_{v1} OK Aufbau
FLL-Schotterrasen SR2	Feld 3 190	32,2	74,6*	2,32
TTE-Grün 2	Feld 4 193	11,1	17,6	1,59

Tabelle 2: Ergebnisse der Plattendruckversuche

Im Vergleich dazu erzielt das TTE-System einen geringeren E_{v2} -Wert, der teilweise auf die schlechteren Baugrundverhältnisse und die reduzierte Stärke der Tragschicht zurückzuführen ist.

Trotz dieses geringen Tragfähigkeitswerts verteilt der TTE-Aufbau den Druck wesentlich besser und gibt nur ca. 22% an den Untergrund weiter. Der Lastverteilungseffekt beträgt demnach ca. 78%.

* Die Vegetationstragschicht der Schotterrasenfläche wurde im Testaufbau unbeabsichtigt auf einen E_{v2} -Wert von ca. 75MN/m² verdichtet (Vorgabe der FLL: max. 60 MN/m²). Dies zeigt, wie schwierig es ist, ein ideales Verdichtungsmaß zu erzielen, um die geforderten Werte nicht zu überschreiten und somit die angestrebte Wasserspeicher- und Vegetationsfähigkeit der Fläche nicht schon von vornherein zu verschlechtern.

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	Lastverteilungs- effekt
FLL-Schotterrasen SR2	Feld 3 190	0,506	0,366	ca. 72%	ca. 28%
TTE-Grün 2	Feld 4 193	0,497	0,109	ca. 22%	ca. 78%

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

Das TTE-System ist somit mindestens um das 3-fache wirksamer als der Aufbau des Schotterrasens.

Betrachtet man die gesamte Lastkurve der durchgeführten Druckversuche, zeigt sich ebenfalls eine deutlich bessere Lastverteilung beim TTE-Feld auch bereits bei geringerer Lasteinwirkung (Diagramm 1+2).

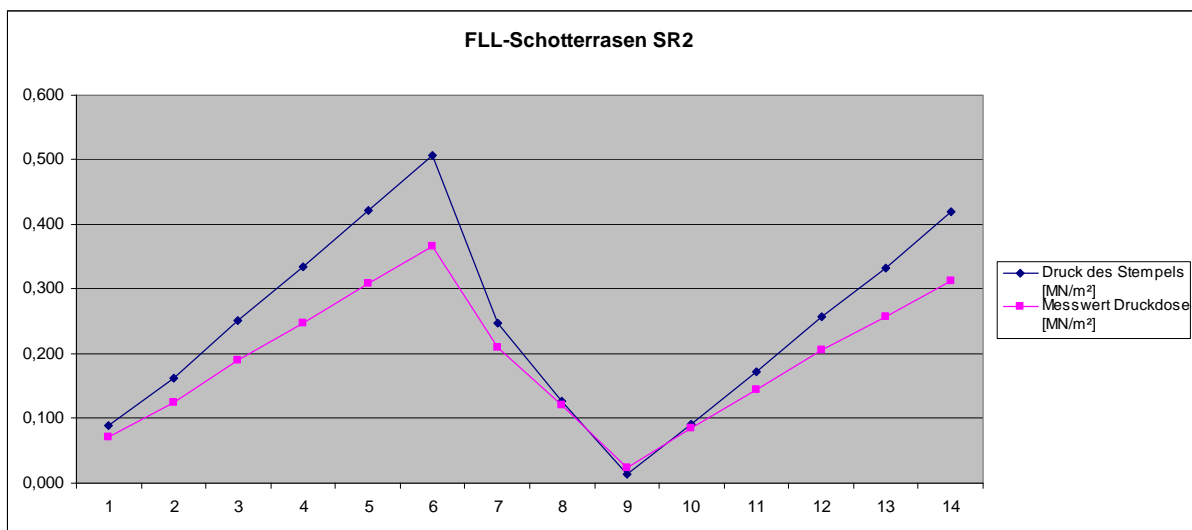


Diagramm 1: FLL-SR2 Testfeld - Kurvenverlauf von ausgeübtem Druck an Oberseite des Aufbaus (blau) und dem am Planum ankommenden Druck (rosa)

Der Kurvenverlauf der Messdose im Testfeld Schotterrasen (rosa) verläuft wesentlich näher an der Kurve der Lasteinwirkung (blau), als im TTE-Testfeld. Dies bedeutet, dass die an der Messdose ankommende Flächenpressung im Testfeld Schotterrasen durch den Aufbau nur wenig abgeschwächt wird.

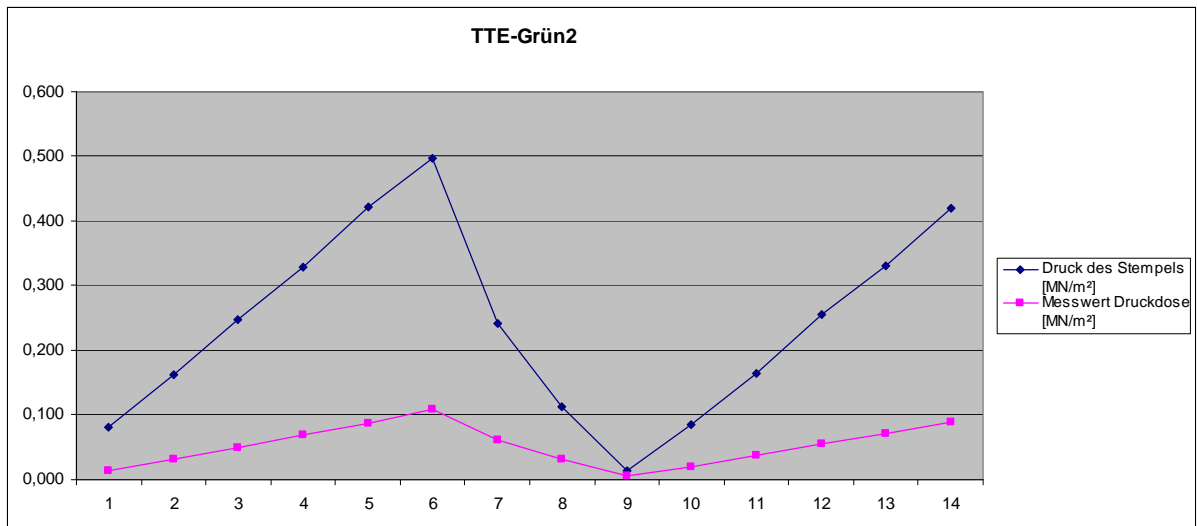


Diagramm 2: TTE-Grün2 Testfeld - Kurvenverlauf von ausgeübtem Druck an Oberseite des Aufbaus (blau) und dem am Planum ankommenden Druck (rosa)

Dem gegenüber verläuft die Kurve der Messdose im TTE-Testfeld, bei gleicher Lasteinwirkung an der Oberfläche, relativ flach. Die Druckverhältnisse im TTE-Testfeld sind somit deutlich niedriger, was für einen hohen Lastabbau durch den TTE-Aufbau spricht.

Überfahrversuche

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

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

Beim Schotterrasen waren nach der Überfahrt jedoch deutliche Reifenspuren erkennbar, was angesichts der nur gelegentlich vorgesehenen Nutzung durch LKW nicht verwundert. Das ungebundene Material wurde durch den LKW-Reifen verdrängt, während die TTE-Gitterelemente das Material armieren und an Ort und Stelle halten. Auch bei der TTE-Fläche führte das Überfahren zu einer leichten Oberflächenverformung, die aber nach der Überfahrt wieder verschwand.



Bild 4: LKW-Überfahrt SchotterrasenTestfeld



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.

Nach der Erstbelastung (Plattendruckversuch) 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 besser abzuleiten, als es der Schotterrasen kann.

Was bedeutet dies für die Praxis:

Das TTE-System wirkt wie eine dauerelastische Matte, welche durch die hohe Eigensteifigkeit und Druckstabilität wie ein Schneeschuh die Last auf eine große Fläche überträgt. Dies zeigt sich auch in den auffallend guten Verhältniswerten E_{v2}/E_{v1} von ca. 1,6 (Tabelle 2).

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. Trotz geringer E_{v2} -Werte an der Oberfläche kann der TTE-Aufbau die Spannungen aus der Verkehrslast deutlich stärker reduzieren und gleichmäßiger verteilen, als es beim Schotterrasen möglich ist. Es zeigt sich, dass die von der FLL vorgeschriebenen E_{v2} -Werte auf TTE-Flächen nicht erreicht werden müssen, um eine ausreichende Tragfähigkeit herzustellen.


Daraus folgt, dass durch die geringere tatsächliche Belastung, eine geringere Nachverdichtung und fast keine bleibenden Verformungen zu erwarten sind. Fahrspuren und Pfützenbildung werden durch den Bewehrungseffekt des Gittersystems vermieden. Der Boden kann lockerer, wasserdurchlässiger und vegetationsfähiger bleiben und die Oberfläche ist trotzdem standfest. Entscheidend für die Gebrauchstauglichkeit, ist neben der lastverteilenden Wirkung auch, dass TTE-Elemente stark belastbar, druckstabil, elastisch und verschleißarm sind.

Die Anforderungen an den Baugrund können gegenüber Schotterrasen noch weiter reduziert werden, um möglichst optimale Bedingungen für die Versickerung und Vegetation zu schaffen.

Durch den Einsatz des TTE-Systems wird der scheinbare Widerspruch zwischen einer ausreichenden Tragfähigkeit und einer guten Wasserspeicher- und Wasserableitfähigkeit, sowie Begrünbarkeit überwunden.

Das TTE-System ist der „bessere Schotterrasen“ und insbesondere bei gering tragfähigem Untergrund auch wesentlich wirtschaftlicher.

Nürnberg, den 05.11.2012



Ralf Ziegler Dipl.Ing. (FH)