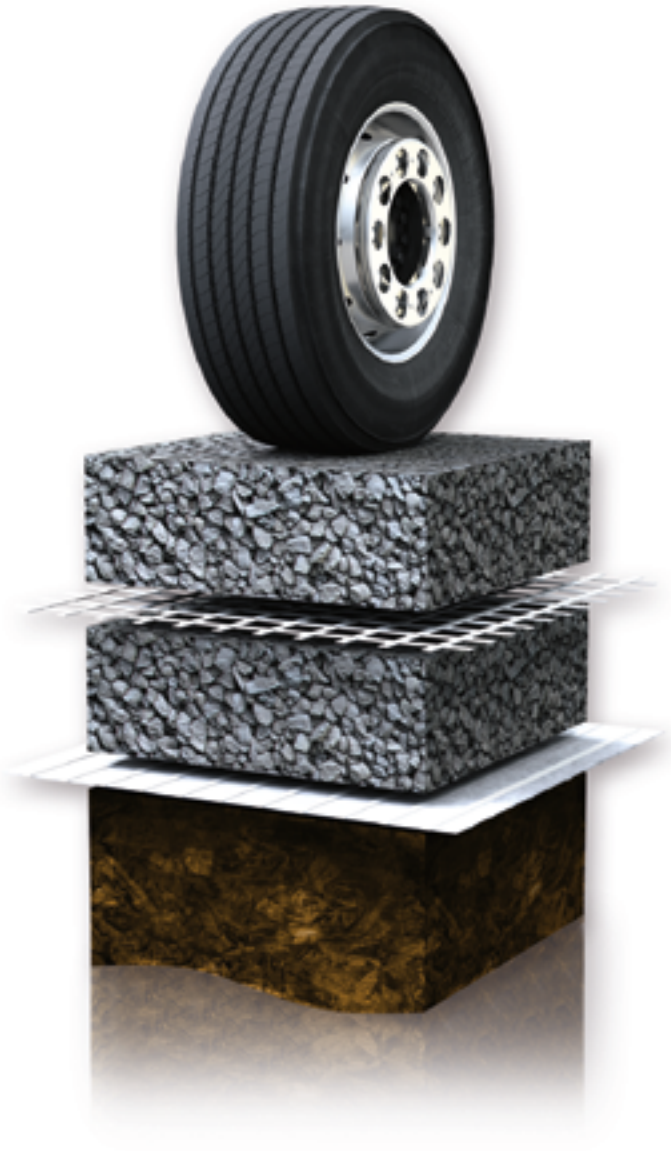
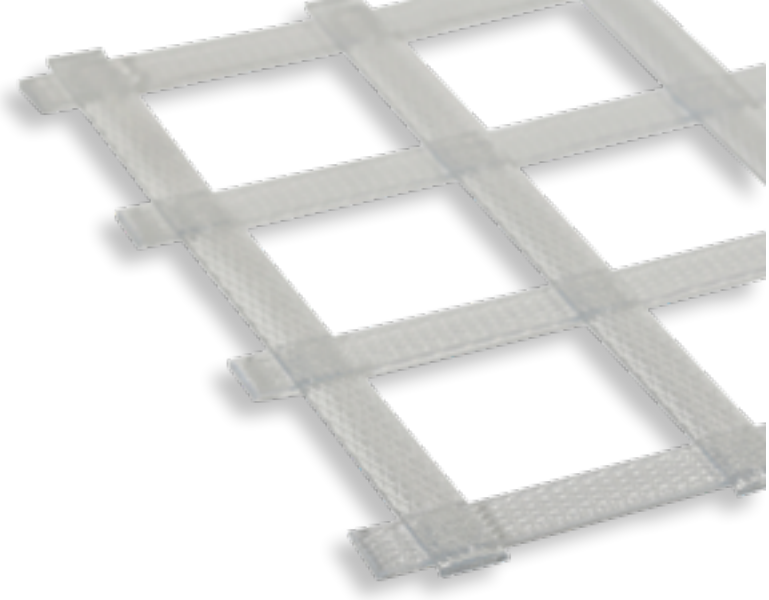
Stabilisieren und Bewehren von Tragschichten

Naue



naue.com

Building on sustainable ground.



Secugrid® sind Geogitter, hergestellt in einem einzigartigen Herstellungsprozess. Die strukturierten monolithischen Bewehrungsstäbe mit einer durchgehend orientierten Molekülstruktur bestehen aus hochzugfestem, monolithisch gerecktem Polypropylen oder Polyester. Somit erreichen sie außerordentlich hohe Festigkeiten bei niedrigen Dehnungen. Die Längs- und Querbewehrungsstäbe werden in einem bewährten Schweißverfahren fest miteinander verbunden, sodass ein knotenfestes, eigensteifes Geogitter für Anwendungen in der Bodenbewehrung entsteht. Typische Einsatzbereiche für Secugrid® Geogitter sind: Stabilisierung und Bewehrung von Tragschichten, bewehrte Böschungen, bewehrte Stützkonstruktionen, Böschungssicherungen, Gründungen von Erddämmen, Sicherungen über Erdfallgebieten oder die Überbauung von weichen Untergründen. Biaxiale Secugrid® Q Geogittertypen werden bevorzugt zur Stabilisierung und Bewehrung von Tragschichten eingesetzt, während einaxiale Secugrid® R Geogittertypen meist in anderen Anwendungen zum Einsatz kommen.

Combigrid® ist die Kombination aus einem Secugrid® Geogitter und einem Secutex® Vliesstoff in einem Produkt, das sich modernste Fertigungstechniken zunutze macht. Combigrid® liefert Stabilisierung, Bewehrung, Filtration, Trennung und Dränage in einem einzigen Verbundstoff. Diese Geogitter-Vliesstoff-Kombination wird hauptsächlich auf weichen Böden mit geringen Tragfähigkeiten verwendet, wo eine Bodenstabilisierung/-bewehrung kombiniert mit Filter und Trennung benötigt wird, wie z. B. bei ungebundenen, dynamisch beanspruchten Schichten.

Inhalt

Wirkungsweise von Geogittern 4

Verzahnung und Reibung 6

Zugfestigkeit 8

Dehnsteifigkeit 10

Radiale Wirkung 12

Konstruktionsdehnung 14

Torsionssteifigkeit 16

Robustheit 18

Verbindungseffizienz 20

Aufbaudimensionierung nach Tragfähigkeit (E_{V2}-Methode) 22

Aufbaudimensionierung nach Gebrauchstauglichkeit (Spurrinnenmethode) 24

Aus Erfahrung lernen 26

Erhöhung des Reibungswiderstandes 28

Referenzen 30

Wirkungsweise von Geogittern

Geogitter stabilisieren und bewehren mineralische Schichten

Grundinformation

- Analog zu einer Stahlbewehrung im Beton nimmt ein Geogitter die in eine mineralische Schicht (z. B. Tragschicht) eingetragenen Lasten über Verzahnung und Reibung auf (Interaktion mit dem Schüttmaterial, siehe Seite 6).
- Diese Lastabtragung wird besonders durch eine offene Gitterstruktur ermöglicht.
- Dadurch wird die Lastausbreitung in der mineralischen Schicht vergrößert und die Lasteintragung auf den Untergrund reduziert.
- Durch den Einsatz einer Geogitterbewehrung in der mineralischen Tragschicht wird eine Setzungsvergleichmäßigung erzielt.

Der Einsatz von Secugrid® und Combigrid® Geogittern bewirkt:

- Setzungsreduzierung/-vergleichmäßigung
- Reduzierung der Tragschichtdicke, verbunden mit Kosteneinsparungen
- Reduzierung von Spurrinnenbildung
- Seitliche Stützung des Korngerüsts (Stabilisierung)
- Aussteifung des Aufbaus (Steifemodul)
- Überbrückung lokaler Schwachstellen (Inhomogenität des Untergrundes)
- Erhöhung der Gebrauchstauglichkeit und Nutzungsdauer
- Geringerer Bedarf an Tragschichtmaterial und weniger Materialtransporte durch reduzierte Tragschichtdicken

Die positive Wirkungsweise/Effizienz von Geogittern wird durch verschiedene technische Parameter ermöglicht, die in den nachfolgenden Themenblättern beschrieben werden.

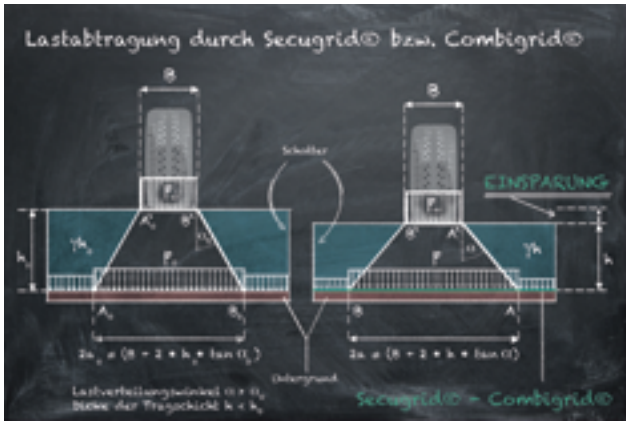


Abbildung 1: Einsparung von Bodenmaterial in der Tragschicht durch den Einsatz von Secugrid® bzw. Combigrid® Geogittern

Abbildung 2: Mit Secugrid® Geogitter bewehrte Schotterauflager tragen den fast 2 Tonnen schweren Transporter in einem Live-Versuch (s. nachfolgender QR-Code)

Verzahnung und Reibung

Interaktion von Geogitter und Boden

Grundinformation

- Ein optimales Zusammenspiel aus Verzahnung und Reibung zwischen Geogitterstruktur und Schüttmaterial ist der ausschlaggebende Faktor für die bestmögliche bewehrende Wirkung.
- Verzahnung ist die Stabilisierung des Korngerüsts in den Geogitteröffnungen (Interlocking).
- Reibung ist eine Interaktion des Kornes mit der Oberfläche des Geogitters.

Auswirkungen

- Verzahnung und Reibung zwischen Geogitterstruktur und Schüttmaterial bewirken eine Lasteintragung in die Bewehrung und führen zur erforderlichen Kraftübertragung/Lastverteilung.
- Der Einsatz von Geogittern in einer Tragschicht bewirkt einen Formschluss zwischen Gesteinskörnung und Gitteröffnung, der ein seitliches Ausweichen des Schüttmaterials verhindert.
- Verbunden mit einer hohen Torsionssteifigkeit (siehe Seite 16) der Geogitterstruktur wird ein effizienter Verzahnungseffekt ermöglicht.
- Im Vergleich zu Produkten ohne Oberflächenstruktur bieten die strukturierten Stäbe von Secugrid® selbst bei kleinsten Verschiebungen einen besseren Reibungsverbund mit dem Boden.
- Indikator für die Wirksamkeit ist der Reibungsbeiwert (Kombination aus Verzahnung und Reibung) eines Bewehrungsproduktes mit dem Schüttmaterial.

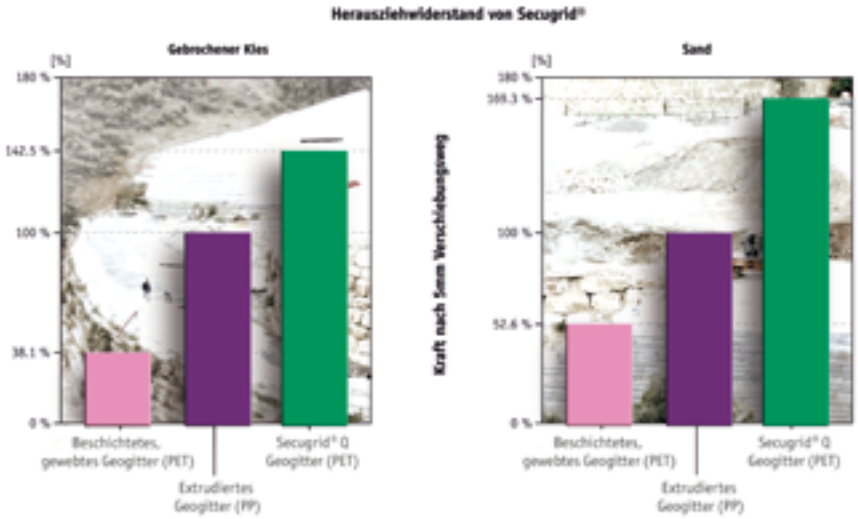


Abbildung 3: Vergleich des Herausziehverhaltens von Geogittern in Schotter und Sand

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- Aufgrund der Gittergeometrie und Staboberfläche von Secugrid®/Combigrid® wird ein effizientes Zusammenspiel von Verzahnung und Reibung erreicht.
- Die Kombination aus steifer Grundstruktur (Seite 10, 14 und 16) und hoher Oberflächenrauigkeit erlaubt einen sehr guten Verbund zu verschiedensten Schüttmaterialien unterschiedlicher Kornverteilungen (siehe Abbildung 3).
- Aufgrund der sehr hohen Torsionssteifigkeit (Seite 16) können die Kräfte und Spannungen aus dem Schüttmaterial bei kleinen Verformungen effizient an die Gitterstruktur weitergegeben werden, sodass Scherverformungen im Schüttmaterial reduziert werden.
- Die Bewehrungsstäbe von Secugrid®/Combigrid® besitzen eine beidseitige Prägung, deren Struktur einen höheren Reibungswiderstand aktiviert und damit die Kraftübertragung zwischen Geogitter und Boden verbessert.
- Bei Secugrid®/Combigrid® Geogittern wird der Erdwiderstand, der von den Stäben aufgenommen wird, effizient über die Verbindungsfestigkeit (Seite 20) der Stäbe übertragen.

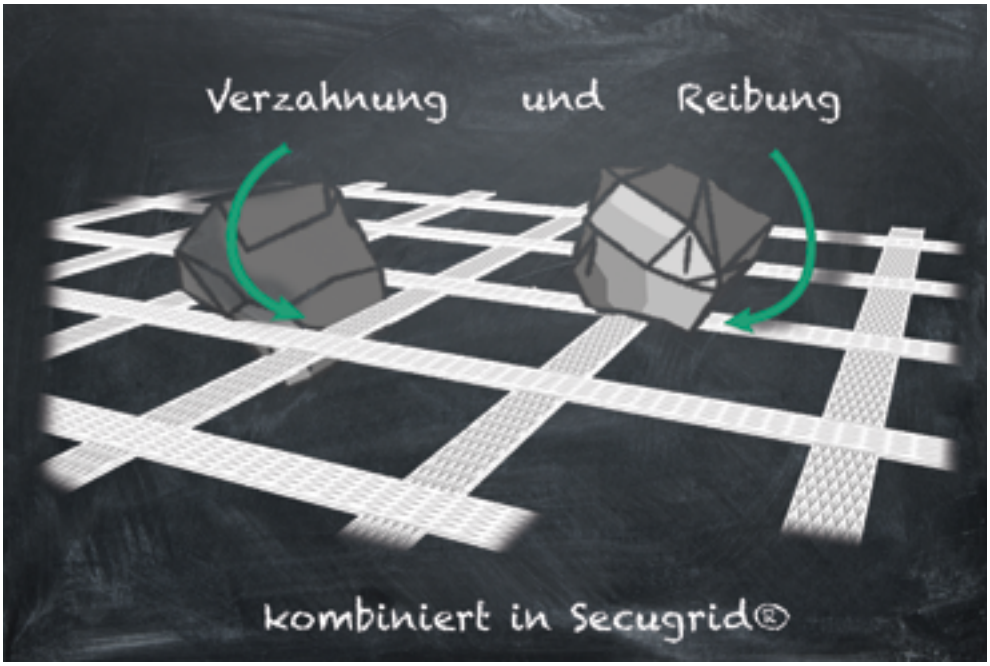


Abbildung 4: Schematische Darstellung von Verzahnung (Korn zwischen den Stäben) und Reibung (Korn auf dem Stab)

Zugfestigkeit

Schnelle Kraftaufnahme für eine sichere Konstruktion

Grundinformation

- Mineralische Schichten können keine Zugkräfte aufnehmen.
- Lasten, die über Verzahnung und Reibung in die Geogitterstruktur eingetragen werden, werden über die Zugelemente und Verbindungspunkte in der Bewehrung verteilt.
- Das Geogitter muss die maximale Beanspruchung, die sich aus den Lasten ergibt, durch eine ausreichende Zugfestigkeit aufnehmen (meist in kN/m angegeben).
- Analog zur Stahlbewehrung einer Sohlplatte ist die Zugfestigkeit der Bewehrung bei abnehmender Tragfähigkeit von Untergründen und der auftretenden Belastung entsprechend höher auszuwählen.
- Für die Wirkungsweise ist die resultierende Dehnung bei der jeweiligen Zugfestigkeit (vgl. Dehnsteifigkeit, siehe Seite 10) auf Anwendbarkeit zu prüfen.

Auswirkungen

- Eingetragene Zugkräfte werden über die Geogitterbewehrung aufgenommen und abgetragen. Sie verhindern damit eine Überbeanspruchung des Schüttmaterials und des Untergrundes (Grundbruch/Geländebruch).
- Durch eine höhere Zugkraftaufnahme im kleinen Dehnungsbereich (0 % bis 2 %) werden Verformungen in der Tragschicht noch besser begrenzt bzw. deutlich reduziert (vgl. Dehnsteifigkeit, siehe Seite 10).
- Die Bewehrung muss die Zugkraft beim Einsatz in Tragschichten in alle Richtungen (multiaxial) mobilisieren, um die eingetragenen Lasten verteilen zu können (vgl. radiale Wirkung, siehe Seite 12).

Abbildung 5: Großflächiger Einbau eines Secugrid® Geogitters zur Tragschichtbewehrung

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- Geogitter mit unterschiedlich hohen Zugfestigkeiten, die auf die Randbedingungen des Bauvorhabens effizient abgestimmt werden können
- Hohe Zugfestigkeiten bei geringer Dehnung
- Niedrige Verformungen durch vergleichsweise hohe Zugfestigkeit bei Dehnungen im Gebrauchslastbereich (0 % - 2 %)

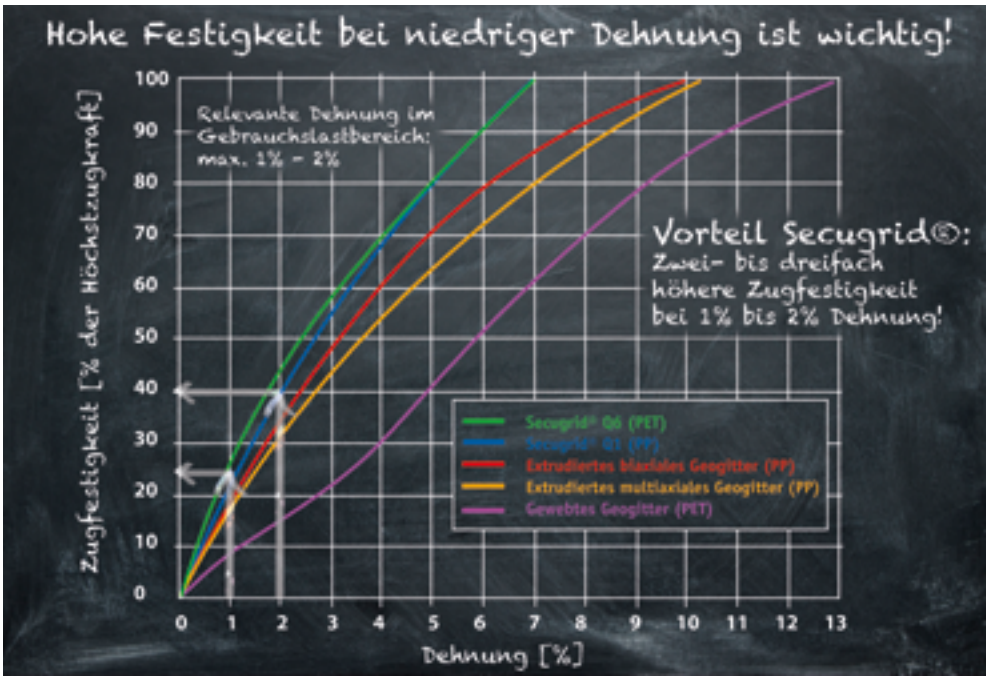


Abbildung 6: Exemplarisches Kraft-Dehnungs-Diagramm für Secugrid® bzw. Combigrid® und andere Geogitter

Dehnsteifigkeit

Effektive Bewehrungswirkung durch große Kraftaufnahme bei geringer Dehnung

Grundinformation

- Die Dehnsteifigkeit einer Geokunststoffbewehrung kann als Maß für das Zugkraft-Dehnungs-Verhalten einer Bewehrung als Sekantenmodul (J) angegeben werden. Die Kurzzeit-Dehnsteifigkeit wird auf Basis des Prüfverfahrens nach DIN EN ISO 10319 und der repräsentativen Zugkraft-Dehnungs-Linie ermittelt:

$$J_{a\text{-}b,k0} = \frac{F_b - F_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a}$$

mit:

$J_{a\text{-}b,k0}$ charakteristische Kurzzeit-Dehnsteifigkeit für den Bereich von ε_a bis ε_b [kN/m],

F Kraft bei einer vorgegebenen Dehnung ε [kN/m],

ε vorgegebene Dehnung [–].

- Ausdruck der guten Effektivität eines Bewehrungsproduktes ist ein steiler Verlauf der Zugkraft-Dehnungs-Linie (hohe Zugkräfte bei geringen Dehnungen in den relevanten Gebrauchszuständen, meist 0 % bis 2 %).
- Wichtig: Eine hohe Dehnsteifigkeit der Bewehrung muss in alle Richtungen gegeben sein, da sich Lasten radial in einer Tragschicht ausbreiten können (vgl. radiale Wirkung der Bewehrung, siehe Seite 12)

Abbildung 7: Beschüttung eines verlegten Secugrid® Geogitters in einer Tragschicht

Auswirkungen

- Eine Überbelastung einer Tragschicht (z. B. starke Spurrinnenbildung in einer Baustraße) zerstört den tragenden Verbund im Schüttmaterial (mineralische Schichten können keine Zugkräfte aufnehmen).

- Der Gebrauchslastbereich der Bewehrung einer mineralischen Tragschicht liegt in der Regel bei max. 2 % Dehnung, um ein optimales Zusammenspiel zwischen den Eigenschaften des Schüttmaterials und der Bewehrung erzeugen zu können. Hier muss die Bewehrung einen möglichst hohen Anteil ihrer Lastaufnahme mobilisieren (Bewehrungswirkung).
- Produkte mit geringerer Dehnsteifigkeit haben bei gleicher Kraftaufnahme höhere Dehnungen als Produkte mit hohen Dehnsteifigkeiten. Dies verursacht größere Verformungen und bedeutet, dass eine höhere Höchstzugkraft bei der Produktauswahl erforderlich ist, wenn Verformungen vergleichbar sein sollen.
- Hohe Dehnsteifigkeiten bei geringen Dehnungen bewirken, dass der bewehrende Effekt des Geogitters bereits bei minimalen Verformungen aktiviert wird und dadurch die Last abgetragen und Verformungen deutlich begrenzt werden.
- Eine Erhöhung der Gebrauchstauglichkeit durch Reduzierung der Verformungen wird mit einer hohen Dehnsteifigkeit erzielt.

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- ✓ Höhere Dehnsteifigkeiten (insbesondere bei kleinen Dehnungen) im Vergleich zu z. B. flexiblen Geogittern oder Geweben mit vergleichbaren Rohstoffen.
- ✓ Hohe Kraftaufnahme bei geringer Dehnung durch Vorrecken der Bewehrungsstäbe.
- ✓ Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks durch bessere Lastverteilung.
- ✓ Vergleichmäßigung von Setzungsdifferenzen durch ideale Ausnutzung der Dehnsteifigkeit in der Secugrid®/Combigrid® Geogitterstruktur.

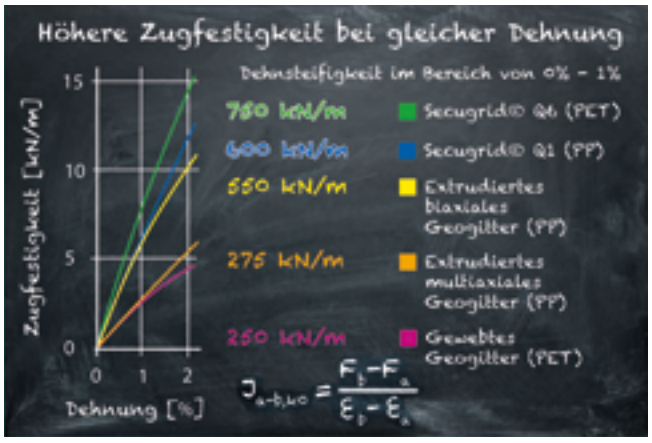


Abbildung 8: Exemplarisches Kraft-Dehnungs-Diagramm für Secugrid® bzw. Combigrid® und andere Geogitter im Dehnungsbereich von 0 % bis 2 % bei vergleichbarer Höchstzugfestigkeit

Radiale Wirkung

Lastabtragung in alle Richtungen (360°-Wirkung)

Grundinformation

- Die Lastausbreitung innerhalb eines Tragschichtaufbaus kann kreisförmig (radial) erfolgen.
- Die radiale Wirkungsweise eines Geogitters ist die Fähigkeit, die eingetragenen Kräfte (z. B. Radlasten) aus allen Richtungen aufzunehmen und effektiv in alle Richtungen abzuleiten.
- Geogitter müssen Spannungsspitzen in allen Richtungen aufnehmen und zusätzlich genügend Sicherheit als Kraftreserve in axialer Richtung bieten.
- Indikator für die radiale Wirkungsweise ist die radiale Dehnsteifigkeit (vgl. Dehnsteifigkeit, siehe Seite 10).

Auswirkungen

- Die Geogitterstruktur muss insbesondere im Gebrauchslastbereich (geringe Dehnungen 0 % bis 2 %) die eingetragenen Lasten radial aufnehmen können.
- Die durch z. B. Spurverkehr eingetragenen Lasten sind dynamisch in Richtung und Intensität, wodurch das Korngerüst des Tragschichtaufbaus potenziell aufgelockert und destabilisiert wird.
- Radial wirksame Geogitter mit hoher Dehnsteifigkeit im Gebrauchslastbereich (vgl. Seite 10) tragen die Lasten sicher ab.
- Zur Aufnahme von Lasten sind die Absolutwerte der Dehnsteifigkeit wesentlich, nicht die Verhältniswerte. Secugrid® bzw. Combigrid® Geogitter weisen nach Abbildung 10 hohe Mindestwerte und hohe Reserven in den Hauptzugrichtungen (0° - 180°; 90° - 270°) auf.
- Eine hohe radiale Dehnsteifigkeit sorgt für einen hohen Verformungswiderstand und erhöht die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion.

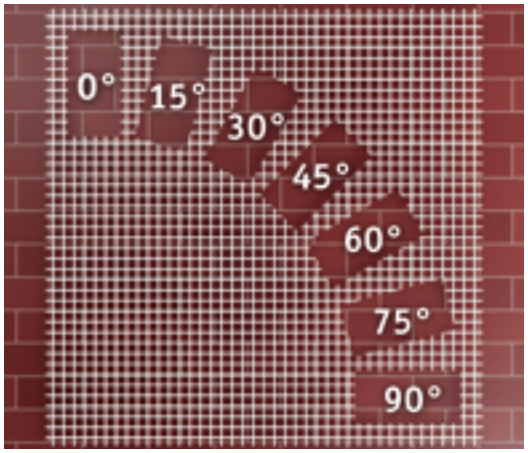


Abbildung 9: Im Winkel ausgestanzte Secugrid® Proben für die Bestimmung der radialen Dehnsteifigkeit

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- Überdurchschnittlich hohe radiale Dehnsteifigkeiten im Gebrauchslastbereich verglichen mit anderen Bewehrungsprodukten (Abbildung 10).
- Eine zusätzlich hohe Kraftreserve (Sicherheit) in axialer Richtung (längs/quer) im Vergleich zu anderen multiaxialen Geogittern.
- Secugrid®/Combigrid® Q Geogittertypen stabilisieren und bewehren.
- Reduzierung von Tragschichtaufbauten durch hohe radiale Wirksamkeit.

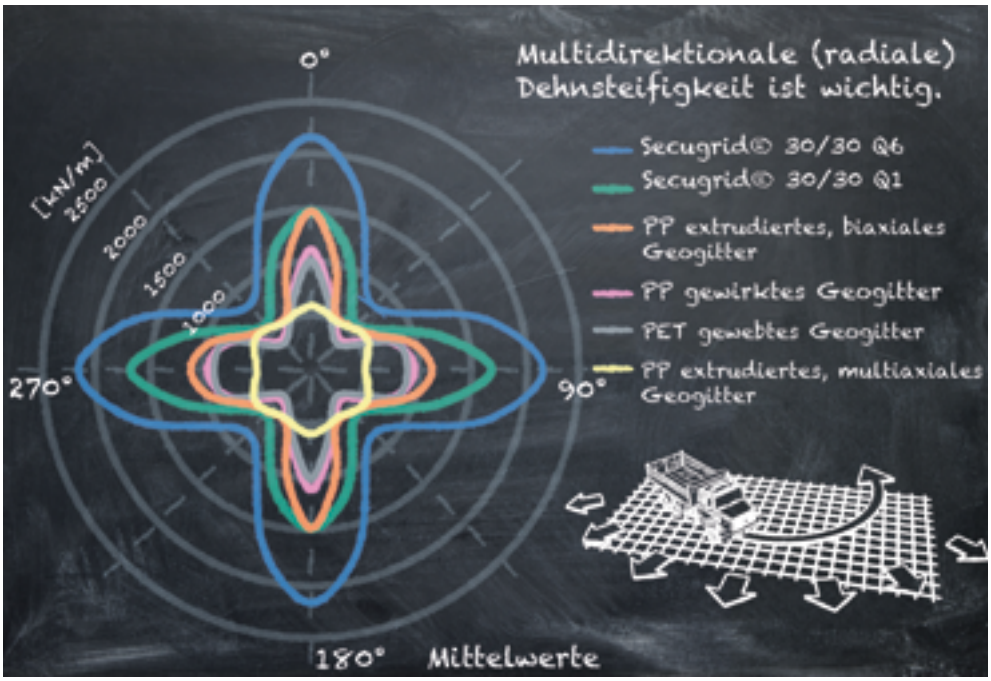


Abbildung 10: Radiale (polare) Sekantenmodule von Secugrid® bzw. Combigrid® und anderen Geogittern bis 0,5 % Dehnung bei vergleichbarer Höchstzugkraft

Konstruktionsdehnung

0 % Konstruktionsdehnung: Sicheres und effektives Bauen

Grundinformation

- Konstruktionsdehnung ist die Anfangsdehnung eines Produktes, die direkt nach der Verlegung vorhanden ist, bevor die Zugfestigkeit des Produktes aktiviert werden kann (infolge einer produktionsbedingten wellenartigen Struktur im Produkt, siehe Abbildung 12).
- Hat ein Bewehrungsprodukt eine Konstruktionsdehnung, wirkt das bewehrende Produkt erst nach Überwindung dieser zusätzlichen Dehnung.
- Der genormte Zugversuch nach DIN EN ISO 10319 beinhaltet eine Vorspannung des jeweiligen Produktes, um die ggf. vorhandene Konstruktionsdehnung nicht in das Zugkraft-Dehnungs-Verhalten einfließen zu lassen (z. B. Gewebe, gewebte Geogitter etc.).
- Üblicherweise weist ein Datenblattwert die Parameter der Zugkraft in kN/m auf, nachdem die Konstruktionsdehnung abgebaut wurde.
- Die Konstruktionsdehnung ist abhängig von der Herstellungsart des Bewehrungsproduktes:
    - Flexible, gewebte Produkte weisen in der Regel eine Konstruktionsdehnung auf.
    - Steife Produkte ermöglichen eine sofortige Kraftaufnahme.

Abbildung 11: Verlegung von Secugrid® (keine Vorspannung nötig)

Auswirkungen

- Bewehrungsprodukte, die eine Konstruktionsdehnung aufweisen, erfahren zunächst Verformungen ohne wesentliche Kraftaufnahme. Erst nach Abbau dieser zusätzlichen Dehnung kann das Bewehrungsprodukt Kräfte aufnehmen (siehe Abbildung 12).
- Ein Bewehrungselement ohne Konstruktionsdehnung aktiviert sofort die Kräfte und weist keine verzögerte Wirkungsweise auf.
- Produkte, die eine Konstruktionsdehnung aufweisen, sollten analog des Zugversuchs (nach DIN EN ISO 10319) auf der Baustelle vorgespannt werden.
- Keine Konstruktionsdehnung bedeutet eine höhere Effektivität der Bewehrung.

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- ✓ Hohe Effektivität in der Bewehrungswirkung durch 0 % Konstruktionsdehnung.
- ✓ Sofortige Kraftaufnahme ohne Konstruktionsdehnung im Bewehrungsprodukt.
- ✓ Schnelle und sichere Verlegung der Bewehrung und dadurch eine sehr gute wirtschaftliche und sichere Ausführung.
- ✓ Höheres Sicherheitsniveau und weniger Verformungen für das Bauwerk.

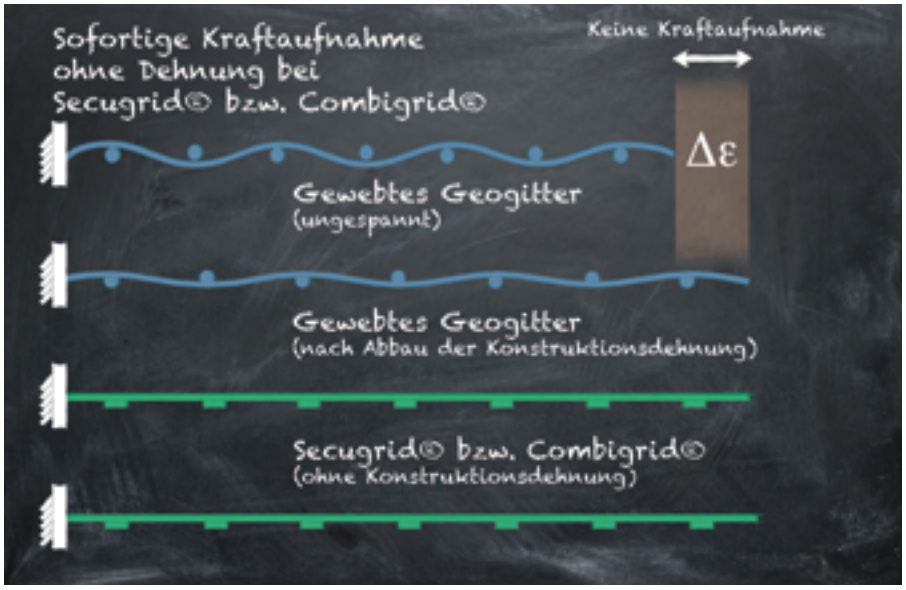


Abbildung 12: Secugrid®/Combigrid® Produkte ohne Konstruktionsdehnung übertragen im eingebauten Zustand auftretende Kräfte sofort

Torsionssteifigkeit

Steife Geogitterstruktur stützt die Kornstruktur

Grundinformation

- Überfahrten über eine Tragschicht erzeugen Scherbeanspruchungen, die unterschiedlich in ihrer Intensität und Richtung auftreten.
- Die Torsionssteifigkeit dokumentiert den Widerstand der Geogitterstruktur gegen Verdrehen.
- Tests in den USA haben schon in den 90er Jahren einen Bezug zwischen der Wirkungsweise eines Geogitters und der Torsionssteifigkeit der Geogitterstruktur gezeigt [vgl. Kinney & Xiaolin, 1995].

Auswirkungen

- Durch den Einsatz eines Geogitters mit hoher Torsionssteifigkeit wird das Korngerüst der Tragschicht effizient gestützt und radiale Scherbeanspruchungen werden absorbiert.
- Eine hohe Torsionssteifigkeit sorgt dafür, dass die Bewegung im Korngerüst minimiert wird und somit Verformungen reduziert werden.
- Eine höhere Torsionssteifigkeit bewirkt eine bessere Lasteintragung in die Geogitterstruktur.

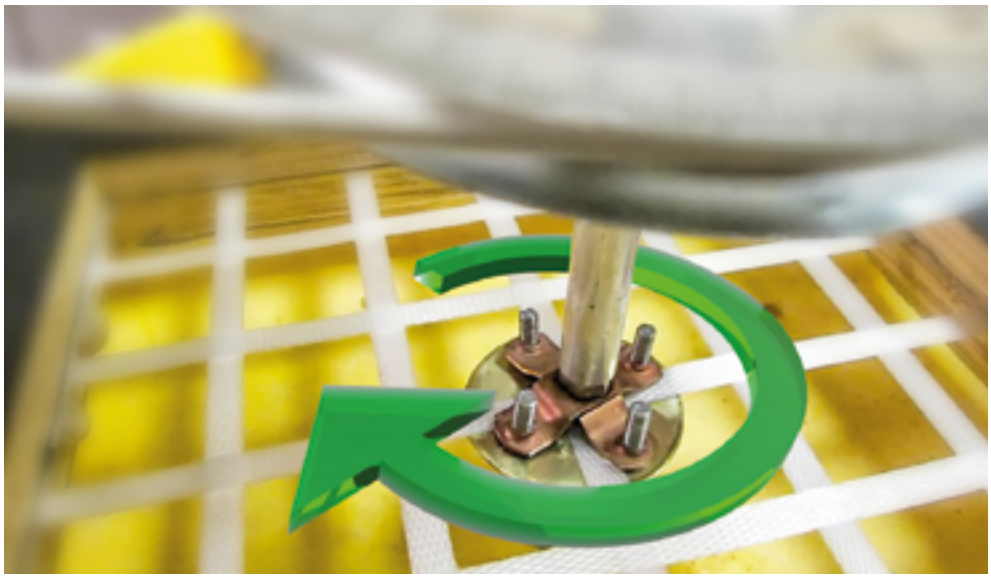


Abbildung 13: Torsionsbeanspruchung von Secugrid® im Prüfgerät

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- Eigensteife Bewehrung des Aufbaus durch hohe Torsionssteifigkeiten in der Secugrid®/Combigrid® Gitterstruktur.
- Hohe Widerstandsfähigkeit des Tragsystems gegenüber Lasteintrag durch Spurverkehr und dynamische Lasten.
- Sehr gute Stützung des Tragschichtmaterials durch eine hohe Torsionssteifigkeit der Secugrid®/Combigrid® Geogitterstruktur.
- Hohe Sicherheit für die Stabilität des Gesamtsystems bzw. Bauwerks.

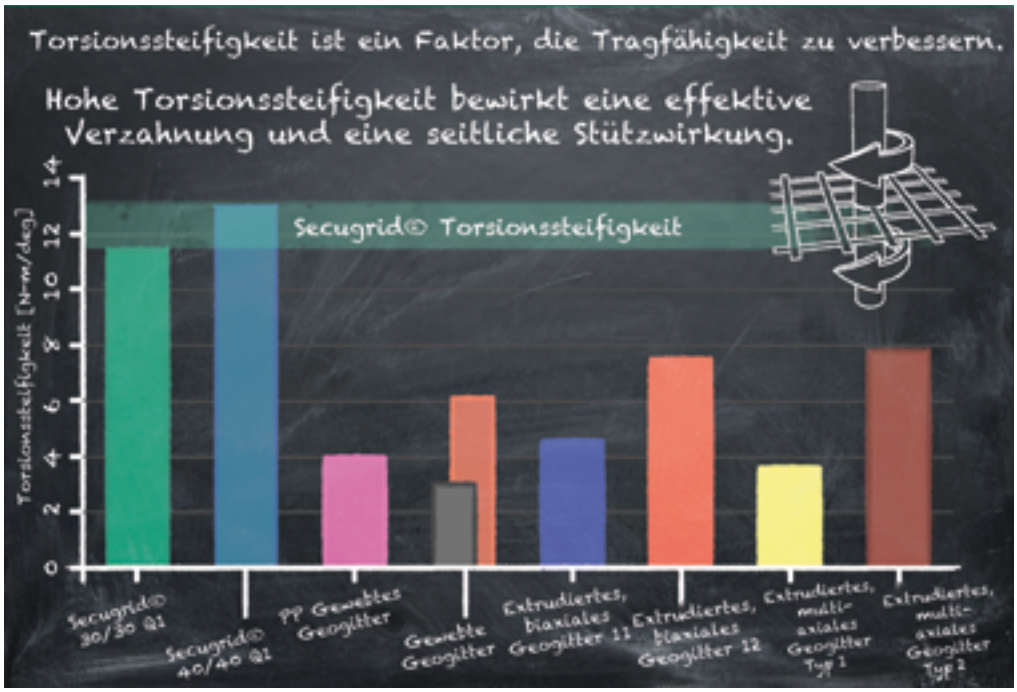


Abbildung 14: Torsionssteifigkeit von verschiedenen Geogittertypen

Robustheit

Auswirkung des Einbaus und der Umgebung auf die Geogitterqualität

Grundinformation

- Projektspezifische Randbedingungen, wie Art des Schüttmaterials, pH-Wert im Boden und dynamische Belastungen, haben Einfluss auf die Zugkraft eines Geokunststoffes und damit auf dessen Effektivität.
- Die Robustheit ist der Widerstand des Geogitters gegenüber der Beanspruchung, z. B. aus Transport, Einbau und Verdichtung sowie gegenüber UV- und chemischer Belastung.
- Die Robustheit gegenüber einzelnen Einflüssen wird in Labor- bzw. Baustellenversuchen ermittelt.

Auswirkungen

- Höhere Langzeitfestigkeit (Langzeitdehnsteifigkeit) durch höhere Robustheit.
- Produkte aus Mono- und Multifilamenten sind beschädigungsanfälliger gegen scharfkantige Partikel (z. B. Brechsand). Dadurch wird die verfügbare Langzeitfestigkeit der Bewehrung teilweise deutlich herabgesetzt [Newsletter Nr. 18, Institut für textile Bau- und Umwelttechnik, tBU, Greven].
- Längere Lebensdauer, höherer Wirkungsgrad und höheres Sicherheitsniveau der Gesamtkonstruktion durch die richtige Wahl eines entsprechend dimensionierten und ausreichend robusten Geogitters.
- Nach allgemeinen Erfahrungen und Nachweisen gibt es je nach Herstellungsart und Rohstoff deutliche Unterschiede in der Robustheit von Geokunststoffen (gestreckte, gelegte, gewebte Geogitter oder Gewebe) [vgl. Bauen mit Geokunststoffen, Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender, Schweizerischer Verband für Geokunststoffe SVG].

Abbildung 15: Bestimmung der Einbaubeschädigungen („A2-Faktor“) im Feldversuch in einem Steinbruch

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- Die vorgereckten, monolithischen Geogitterstäbe von Secugrid® bzw. Combigrid® zeigen sich besonders robust gegenüber Einbaubeschädigungen auch unter härteren Bedingungen.
- Vergleichende Untersuchungen zur Einbaubeanspruchung bestätigen die hohe Robustheit von Secugrid®/Combigrid® Gittern (siehe Abbildung 16).
- Durch die höhere Robustheit und damit verbundene höhere Langzeitfestigkeit ergeben sich eine längere Lebensdauer und ein höheres Sicherheitsniveau des Bauwerks.

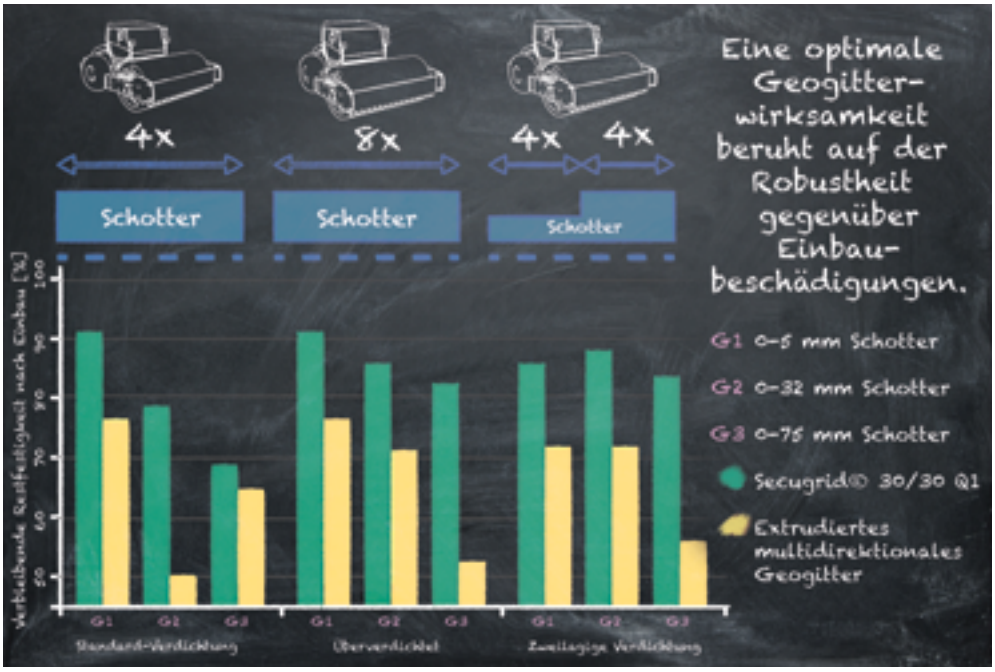


Abbildung 16: Maximale Abminderungsfaktoren für die Einbaubeschädigung (A2) aus Untersuchungen, die von BTTG/UK an Proben nach Einbauversuchen von ERA durchgeführt wurden

Verbindungseffizienz

Gute Verbindungen sorgen für optimale Lastverteilung in der Geogitterstruktur

Grundinformation

- Bei Geogittern unterscheidet man die folgenden drei wesentlichen Produktionstechnologien:
  Extrudiert und gestreckt (knotensteif): Für diese Produkte ist eine sehr hohe Knotenfestigkeit erforderlich, da alle Kräfte, die vom Produkt aufgenommen werden, über den Knotenpunkt übertragen werden müssen (längs und quer).
  Gewebt oder gewirkt (knotenweich): Bei diesen Produkten wird die Verbindungsfestigkeit hauptsächlich über die Polymerschutzummantelung erzielt. Die Verbindungen sind entsprechend weich und können nur geringe Kräfte von z. B. Querrichtung in Längsrichtung übertragen.
  Gelegt und geschweißt (knotenfest): Bei diesen Produkten, zu denen auch Secugrid® bzw. Combigrid® Geogitter gehören, stellen die monolithischen Stäbe eine axiale Kraftübertragung im Verbindungsbereich sicher. Die geschweißten Verbindungspunkte werden einzig zur Übertragung von Querkräften beansprucht und tragen diese sicher ab.
- In verschiedenen Forschungsprojekten ist die Wirkungsweise von Geogittern untersucht worden, wobei auch immer wieder die Knotenfestigkeit thematisiert wurde.
- Laut Christopher (2007) ist eine ausreichende Knoten-/Verbindungsfestigkeit fast ausschließlich für den Gebrauchslastbereich von 0 % - 2 % Dehnung erforderlich. In diesem Dehnungsbereich, in dem das Geogitter üblicherweise maximal belastet wird, verhalten sich extrudierte und geschweißte Geogitter quasi identisch.
- Diese Aussage wird auch durch das Forschungsprojekt Montana II (Cuelho, et al, 2014) bestätigt, denn hier werden die Parameter beschrieben, die für die Wirkungsweise von Geogittern von Bedeutung sind. Die Verbindungsfestigkeit wird dort als ein wichtiger Parameter im Stadium geringer Verformungen (Spurrinnenausbildung) beschrieben. Sie tritt bei größeren Verformungen gegenüber anderen Parametern (z. B. Zugfestigkeit, Dehnsteifigkeit etc.) in den Hintergrund.

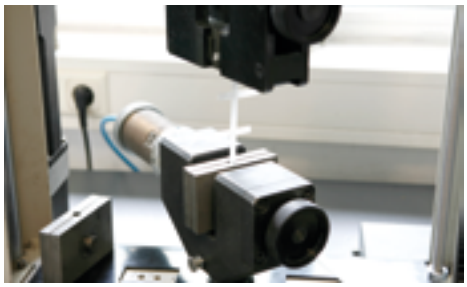


Abbildung 17: Knotenfestigkeitsprüfung durchgeführt an einem Secugrid® Muster

Auswirkungen

- Die Belastung einer Tragschicht, z. B. durch Fahrverkehr, bewirkt Spannungen im Korngerüst. Durch die Verzahnung der Körner mit der Öffnung des Geogitters wird ein seitliches Ausweichen unterbunden und das Tragschichtmaterial „stabilisiert“.
- Mitentscheidend für die Verzahnungswirkung und dem damit einhergehenden Stabilisierungseffekt ist die Torsionssteifigkeit der Öffnung, die durch die Verbindungseffizienz beeinflusst wird.

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- ☑ Die Verbindungseffizienz im relevanten Gebrauchslastbereich bei 0 % - 2 % Dehnung ist äußerst hoch. Selbst bei harten Beanspruchungen (Montana I, 2009 und Montana II, 2014) sind deutliche Vorteile gegenüber knotensteifen (extrudierten) Produkten dokumentiert worden.
- ☑ Die durch die Verbindungseffizienz vorhandene hohe Torsionssteifigkeit (Seite 16) bewirkt eine effiziente Stabilisierung des Tragschichtmaterials.
- ☑ Sehr gute Stützung des Tragschichtmaterials durch eine optimale Torsionssteifigkeit der Secugrid®/Combigrid® Geogitterstruktur.
- ☑ Hohe Sicherheit für die Stabilität des Gesamtsystems bzw. Bauwerks.

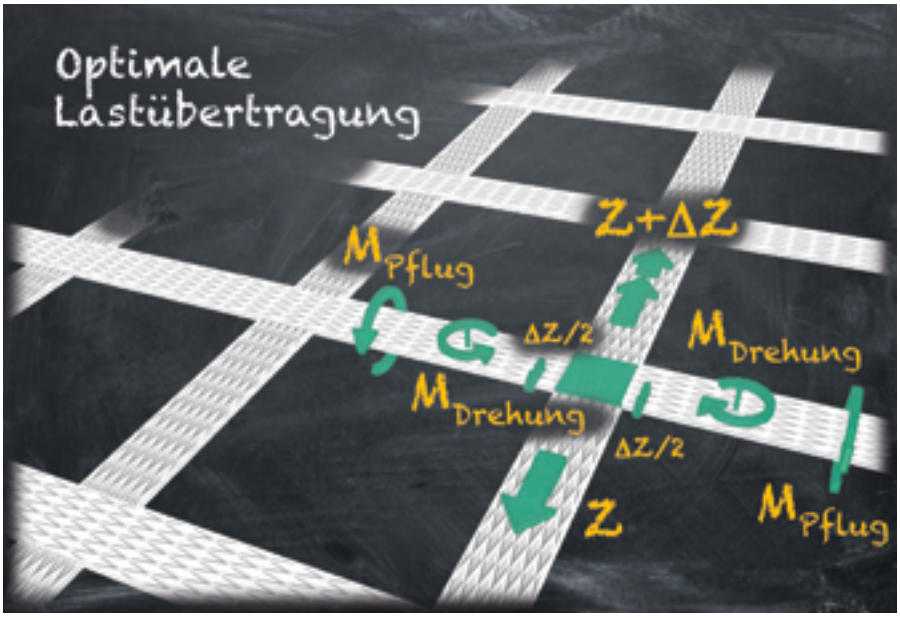


Abbildung 18: Wirkungsweise der Kräfte im Verbindungsbereich

Aufbaudimensionierung nach Tragfähigkeit

Die E_{V2}-Methode

Grundinformation

- Die E_{V2}-Methode dient zur Dimensionierung von Aufbaustärken, um einen vorgegebenen E_{V2}-Wert auf der Oberkante einer Schicht (z. B. Tragschicht oder Frostschutzschicht) zu erreichen.
- Die Ermittlung des E_{V2}-Wertes erfolgt durch den Lastplattendruckversuch, der zur Bestimmung der Tragfähigkeit und Verdichtungsqualität von mineralischen Schichten (DIN 18134) genutzt wird.
- Bei der E_{V2}-Methode wird produktspezifisch die Schichtstärke ermittelt, die erforderlich ist, um in Abhängigkeit von der Untergrundtragfähigkeit eine definierte Tragfähigkeit auf der Oberkante der mineralischen Schicht ($E_{V2,\ oben}$) zu erreichen.
- Geforderte Endtragfähigkeiten können z. B. mit 45, 80, 100, 120 oder 150 MN/m^2 definiert werden.

Auswirkungen

- Transparente Dimensionierungsmethode (optional Qualitätssicherung durch Lastplattendruckversuch).
- Durch die E_{V2}-Methode können Aufbaustärken ohne Bewehrung (z. B. RStO-Aufbauten) einem Aufbau mit Geogitterbewehrungen gegenübergestellt werden.
- Es sind wirtschaftliche Gesamtkonstruktionen durch geringere Aufbaustärken möglich.
- Durch geringere Aufbaustärken wird weniger Tragschichtmaterial benötigt, wodurch sich auch der Materialtransport verringert.

Abbildung 19: Lastplattendruckversuch nach DIN 18134 mit einer 300 mm runden Lastplatte

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- Mit sicheren und einfachen auf Secugrid® und Combigrid® abgestimmten Bemessungstools wie

  - SecuCalc Bemessungsdiagramm
  - SecuCalc Bemessungsscheibe
  - SecuCalc Kalkulationssoftware

  lassen sich die Tragschichtdicken schnell bemessen.

- Nach Auswertung zahlreicher Probefelder und durchgeführter Bauvorhaben ist eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu konventionellen Methoden und zu Bauweisen mit anderen Bewehrungsprodukten möglich.

- Secugrid® bzw. Combigrid® Bewehrungsbauweisen ermöglichen im Vergleich zu unbewehrten Bauweisen geringere Tragschichtdicken und damit einen geringeren Materialeinsatz.

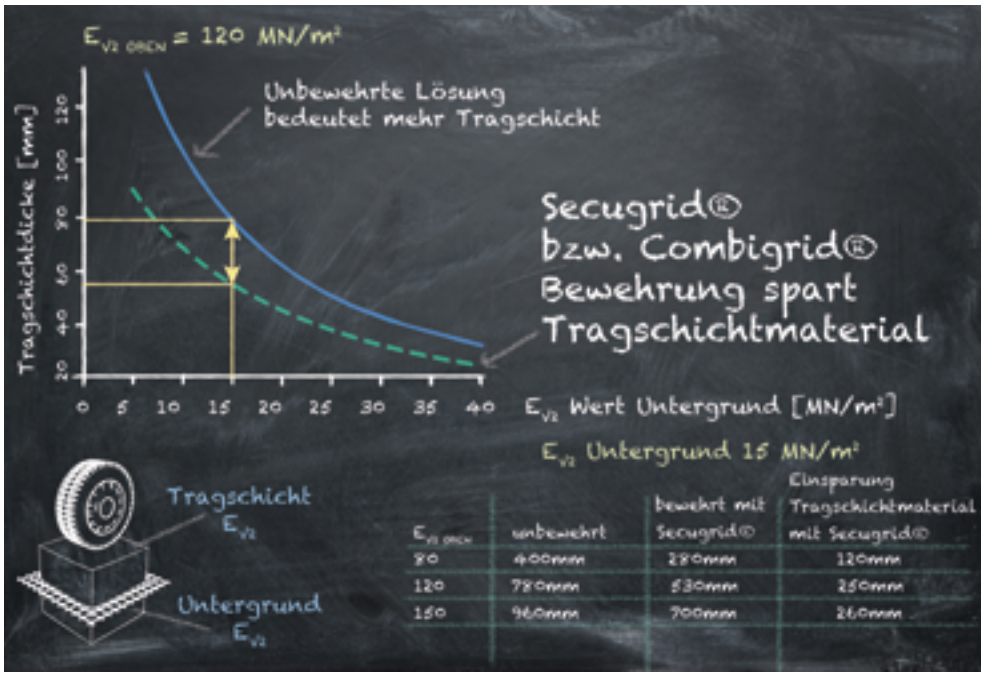


Abbildung 20: Vergleich zwischen unbewehrten und mit Secugrid® bzw. Combigrid® bewehrten Schotter- bzw. Kiestragschichten

Aufbaudimensionierung nach Gebrauchstauglichkeit

Die Baustraßenmethode - wirtschaftliche Optimierung des Aufbaus für Baustraßen

Grundinformation

- Um eine ausreichende Gebrauchstauglichkeit einer Tragschicht zu erzielen, wird zunächst mit der max. zulässigen Spurrinnentiefe ein Verformungskriterium definiert.
- Im nächsten Schritt wird die Tragschicht unter Berücksichtigung der geplanten Verkehrsbelastung (Anzahl an Lastübergängen) über die Lebensdauer der Konstruktion dimensioniert.
- Nach Erreichen der Lebensdauer soll somit maximal die vorher definierte Spurrinnentiefe durch die Verkehrsbelastung eintreten.
- Eingangswerte für den Untergrund sind dessen Tragfähigkeit oder die undrainierte Scherfestigkeit des Untergrundes.
- Eine für alle Geogitterprodukte anwendbare Methode findet man in den Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO) der DGGT.

Abbildung 21: Geringe Spurrinnentiefe im Secugrid® geogitterbewehrten Feld (vorne) im Vergleich zum unbewehrten Feld (hinten)

Auswirkungen

- Potenzielle Erhöhung der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur E_{V2}-Methode, um die tatsächlichen Grenzen der Gebrauchstauglichkeit zu berücksichtigen.
- Basis bilden hier die tatsächlich zu erwartenden Baustellenbedingungen (Untergrund, Überfahrten, Lasten usw.).
- Bemessungen unter Berücksichtigung produktspezifischer Kennwerte bieten ggf. deutlich wirtschaftlichere Ergebnisse als Bemessungen nach EBGEO.

Vorteile mit Secugrid®/Combigrid®

- ✓ Signifikant wirtschaftlichere Bemessungen sind unter Einbeziehung der produktspezifischen Eigenschaften von Secugrid® oder Combigrid® möglich.
- ✓ Das Einsparpotenzial kann gegenüber anderen Bewehrungsmaterialien mit großmaßstäblichen Feldversuchen nachgewiesen werden.

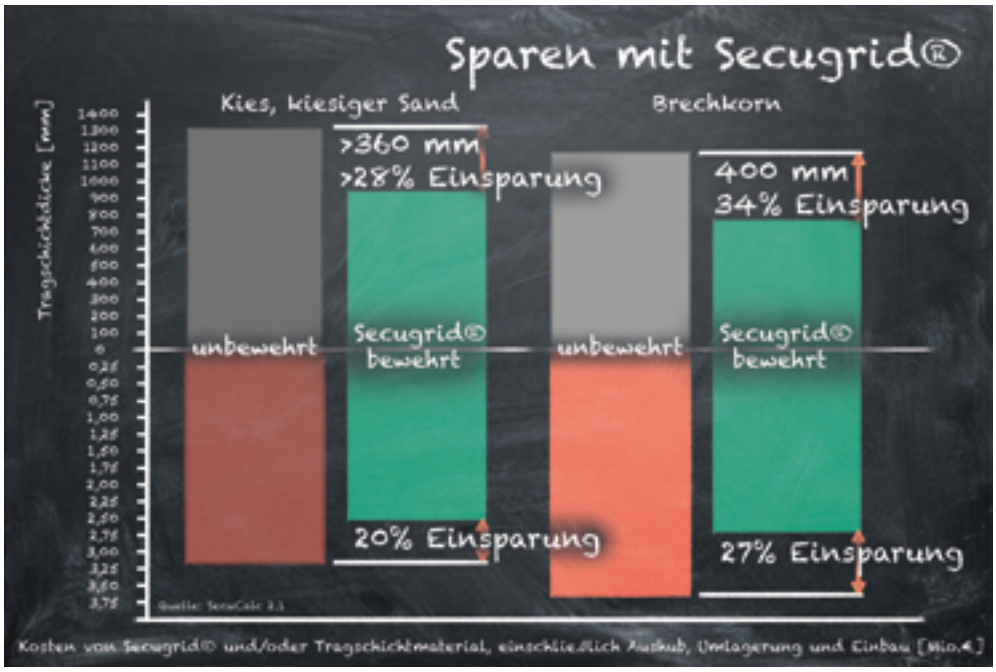


Abbildung 22: Exemplarischer ($E_{V2,\ oben}$ = 120 MN/m²; $E_{V2,\ unten}$ = 7,5 MN/m²) Vergleich zwischen unbewehrten und mit Secugrid® bewehrten Schotter- bzw. Kiestragschichten einschließlich einer Kostenbetrachtung

Aus Erfahrung lernen

Großmaßstäblicher Feldversuch

Um realistische Belastungssituationen für geogitterstabilisierte und -bewehrte Tragschichten in Infrastrukturanwendungen zu beschreiben, werden bevorzugt Feldversuche mit bewegten Radlasten durchgeführt. Im Vergleich zu Simulationen von Radlasten im Labor mittels zyklischer Plattendruckversuche können in einem Feldversuch die dreidimensionale Wirkung der Kornpartikelrotation sowie dynamische Einflüsse unter Radlasten realistisch simuliert werden. Im Jahr 2016 wurde ein großmaßstäblicher Feldversuch in der Gemeinde Tostedt in Norddeutschland durchgeführt.

Insgesamt wurden 8 Testfelder mit dem Ziel gebaut, den Einfluss der Geogittersteifigkeit, der Anzahl der Bewehrungslagen und der Tragschichtdicke auf die Leistungsfähigkeit der Testfelder über einem weichen Ton (1,7 % CBR-Zielwert, entspricht E_{V2}-Wert von ca. 7 MN/m^2) zu ermitteln. In allen Testfeldern wurde eine Geogitter-Vliesstoff-Kombination Combigrid® an der Basis zwischen Untergrund und Tragschicht eingebaut. Ausnahme war das Kontrollfeld. Hier wurde ausschließlich eine geotextile Trennlage eingebaut. In den Feldern 1.1 und 1.2 (Abb. 24 und Abb. 25) wurde zusätzlich ein Secugrid® Geogitter als Zwischenlage verwendet. Von links nach rechts (Feld 1.1 bis 1.7) nimmt die Gesamt-Dehnsteifigkeit des Geogitters bei 2 % Dehnung ($J_{2\%}$) ab. Das Feld 1.8 hatte die gleiche Steifigkeit wie die Felder 1.1 bis 1.3, wurde aber absichtlich in der Dicke unterdimensioniert. Die Oberflächenverformung in jedem Abschnitt wurde als relative Spurrinnentiefe (Spurrinnentiefe z_n vs. Tragschichtdicke h_0) in Abhängigkeit von der Anzahl an 10t-Achsüberfahrten bewertet.

Versuchsergebnisse

Abbildung 24 zeigt die Zunahme der Spurrinnen (dimensionsloser Faktor für die Spurrinnenzunahme infolge von Achsübergängen) vs. Tragschichtdicke für Abschnitte mit gleicher Dehnsteifigkeit ($J_{2\%}$). Die Verteilung der gleichen Dehnsteifigkeit eines Geogitters auf zwei Geogitterlagen (Feld 1.3 vs. 1.2) verbessert die Leistungsfähigkeit aufgrund des duktileren Verhaltens der Tragschicht. Das Verhalten des dünnsten Testfeldes 1.8 zeigt die Notwendigkeit einer Mindesttragschichtdicke unabhängig von der Dehnsteifigkeit des Geogitters. Dies ist von wesentlicher Bedeutung, um die aufgebrachte Verkehrslast auf ein akzeptables Maß für die vorhandene Untergrundtragfähigkeit zu reduzieren. Abbildung 25 zeigt den deutlichen Vorteil der Geogitter-Dehnsteifigkeit $J_{2\%}$ zur Reduzierung der Spurrinnenverformung für alle Testfelder mit gleicher Tragschichtdicke.

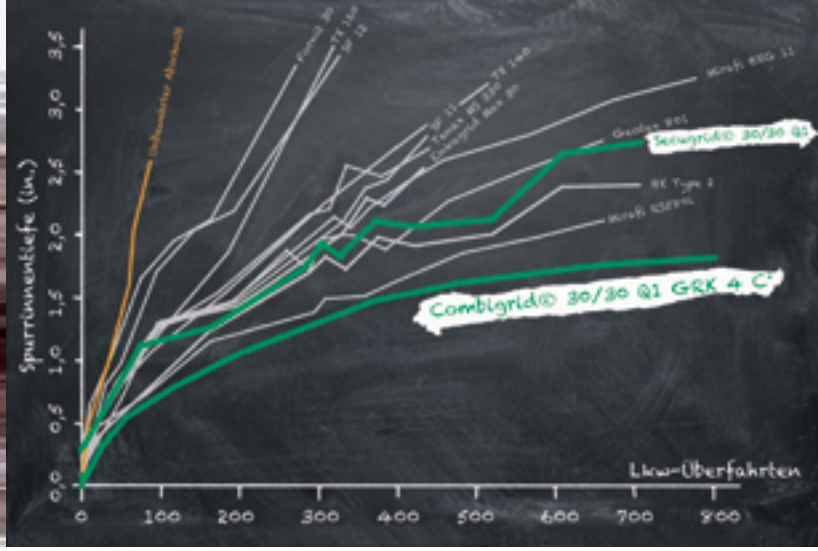


Abbildung 23: Vergleich der Montana-Versuchsergebnisse (Phase II, 2014) mit den Ergebnissen von Combigrid® in einem deutschen Feldversuch (2016)

Vergleich der deutschen Ergebnisse mit dem Feldversuch in Montana (USA)

Im Jahr 2013 wurde in Montana, USA, ein vergleichbarer Feldversuch wie in Deutschland durchgeführt. Es wurden 12 Testfelder mit einer 300 mm dicken Tragschicht über einem weichen Untergrund (1,7 % CBR) gebaut. Hier wurden verschiedene geosynthetische Produkte verwendet, wie z. B. biaxiale Gewebe, gewirkte, extrudierte & gelegte Geogitter, extrudierte multiaxiale Geogitter, ein gewebtes Geotextil und ein Vliesstoff. Die Kennwerte jedes Testfeldes (Spurrinnentiefe vs. Lkw-Achsüberfahrten) wurden mit einem Kontrollfeld verglichen, in dem kein Geokunststoff eingebaut war, der aber die gleiche Dicke und Untergrundtragfähigkeit aufwies. Eines der getesteten Geogitterprodukte war unser gelegtes und verschweißtes biaxiales Geogitter Secugrid® 30/30 Q1. Keines der getesteten Geogitter hatte eine geotextile Trennlage, sodass nur der Stabilisierungs- und Bewehrungseffekt untersucht wurde. Da die Trennwirkung eines Geotextils (wie z. B. bei der Geogitter-Vliesstoff-Kombination Combigrid®) wesentlich zur Stabilität der ertüchtigten Tragschicht beiträgt, wurden die Ergebnisse aus dem deutschen Feldversuch (2016) mit Combigrid® 30/30 Q1 GRK 4 C (Feld 1.5) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Tragschichtdicken und Achslasten sowie unter Verwendung des im deutschen Forschungsprojekt ermittelten Verbesserungsfaktors von Combigrid® 30/30 Q1 GRK 4 C auf das Forschungsprojekt Montana umgerechnet und übertragen. Fügt man nun die neue Leistungskurve zu den Kurven der anderen getesteten Produkte aus dem US-Feldversuch hinzu (Abbildung 23), so zeigt sich ein klarer Vorteil für das Produkt Combigrid® 30/30 Q1 GRK 4 C und dessen einzigartigen multifunktionalen Nutzen: Stabilisieren, Bewehren, Trennen und Filtern in einem Produkt!

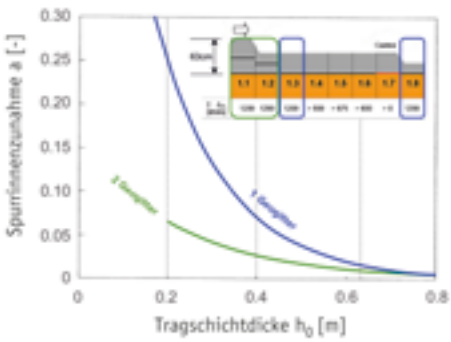


Abbildung 24: Zunahme von Spurrinnen vs. Tragschichtdicke h_0 für Testfelder mit gleicher Geogitter-Dehnsteifigkeit $J_{2\%}$

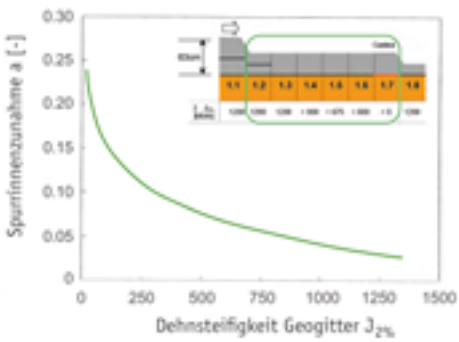


Abbildung 25: Zunahme der Spurrinnen vs. Dehnsteifigkeit der Geogitter $J_{2\%}$ für Testfelder mit gleicher Tragschichtdicke

Erhöhung des Reibungswiderstandes

Interaktion Boden/Geogitter

Die Wechselwirkung zwischen Boden und Verbundstoffen wie Combigrid® ist ein sehr komplexes Thema, da sie von den strukturellen, geometrischen und mechanischen Eigenschaften des Geokunststoffs sowie von den mechanischen Eigenschaften des Bodens beeinflusst wird. Für die Geogitterkomponente können drei verschiedene Interaktionsmechanismen angenommen werden:

- die Reibung zwischen dem Boden und der festen Geokunststoffoberfläche (Abbildung 27, Bereich A)
- der passive Widerstand, der gegen die Tragglieder/Stäbe mobilisiert wird (Abbildung 27, Bereich B), auch bekannt als seitliche Stützwirkung oder Stabilisierung
- die Reibung zwischen den in den Öffnungen des Geogitters eingeschlossenen Bodenteilchen und den umgebenden Bodenteilchen (innerer Scherwiderstand des Bodens)

Zur Optimierung der Reibung zwischen Boden und dem festen Anteil der Bewehrung (Reibungsfläche) ist die Geogitterkomponente von Combigrid® auf beiden Seiten mit einer aufgerauten, strukturierten Oberfläche versehen. Insbesondere bei feinkörnigen Untergründen, wie z. B. Schluffen oder Tonen, erhöht die „Oberflächenrauigkeit“ der Geogitterstäbe den Scherwiderstand gegenüber dem anstehenden Untergrund und bietet erhöhten Widerstand gegen horizontale Verformungen des Bodens. Gleichzeitig wird der Scherwiderstand zwischen den kleineren Partikeln des Tragschichtmaterials und der Geogitteroberfläche erhöht.

Das Bild oben rechts auf der nächsten Seite zeigt einen Abdruck der strukturierten Staboberfläche der Geogitterkomponente von Combigrid® auf einem bindigen, feinkörnigen Untergrund (Geschiebelehm) nach dem Entfernen der Tragschicht zusammen mit dem Combigrid® Verbundstoff. Der Abdruck der Geogitterstruktur in den weichen Boden zeigt den optimierten Reibungsverbund.

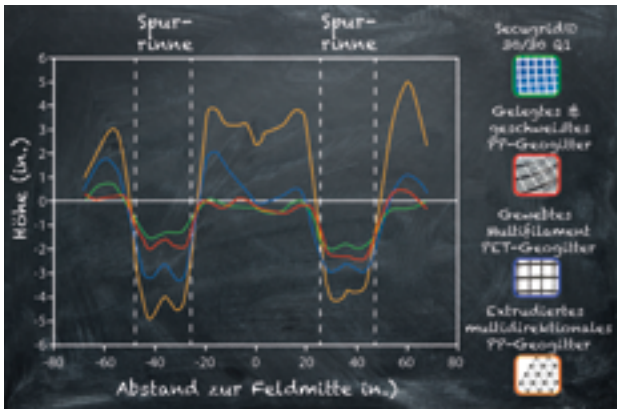


Abbildung 26: Vergleich der Spurrinnentiefe bei 300 Lkw-Überfahrten, Feldversuch in Montana, USA (Phase II, 2014)

Je schlechter die Qualität des Tragschichtmaterials, d. h. je feiner die Körnung, desto wichtiger wird die Reibungswirkung zum Geokunststoff, da der Verzahnungseffekt in den Hintergrund tritt. Mit ihren strukturierten Oberflächen erweitern Secugrid® & Combigrid® Stabilisierungs- und Bewehrungsprodukte die Bandbreite der einsetzbaren Tragschicht-Gesteinskörnungen.

Versuchsergebnisse

Abbildung 26 zeigt das Spurrinnenverhalten von 4 mit Geogittern stabilisierten und bewehrten Tragschichten (Dicke: ca. 300 mm), die in einem groß angelegten Feldversuch, der 2014 in Montana, USA, durchgeführt wurde, über einem weichen Lehmboden (CBR: ca. 1,7 %) eingebaut wurden. Das Spurrinnenverhalten wird für jedes der abgebildeten Geogitter bei 300 Lkw-Überfahrten (Gesamtgewicht eines 3-Achs-Kipplasters: ca. 20,6 t) angegeben. Anhand der repräsentativen Zugkraft-Dehnungs-Kurven für die 4 geprüften Geogitter (Abbildung 26) lässt sich ein direkter Zusammenhang zwischen der Dehnsteifigkeit und der Leistungsfähigkeit der geogitterstabilisierten und -bewehrten Tragschicht herstellen. Das Geogitter mit der höchsten Dehnsteifigkeit (Secugrid® 30/30 Q1) reduziert Spurrinnenverformungen am effizientesten. Das Geogitter mit der niedrigsten Dehnsteifigkeit (extrudiertes multiaxiales PP-Geogitter) zeigt das geringste Verbesserungspotential. Das gelegte und verschweißte PP-Geogitter ist hinsichtlich seiner Steifigkeitseigenschaften im Vergleich zum gelegten und geschweißten Secugrid® 30/30 Q1 nahezu identisch.

Der Hauptunterschied zwischen den beiden Produkten liegt in der Oberflächenstruktur. Während Secugrid® seine typische rautenförmige Oberflächenprägung aufweist, ist das gelegte und verschweißte PP-Geogitter an der Oberfläche seiner starren Stäbe völlig glatt. Die größere „Oberflächenrauigkeit“ als Reibungsmerkmal von Secugrid® 30/30 Q1 macht hier den Unterschied aus. Das Gleiten der feinkörnigeren Anteile des Tragschichtmaterials oberhalb der Geogitterstäbe wird durch einen erhöhten Scherwiderstand reduziert. Neben der seitlichen Stützwirkung, die hauptsächlich durch die Verzahnung der gröberen Gesteinskörner mit den steifen Geogitteröffnungen entsteht, trägt natürlich auch die Reibungsinteraktion zwischen der Geogitteroberfläche und der umgebenden Schüttung zur Gesamtleistung von Secugrid® und Combigrid® Geogittern bei.

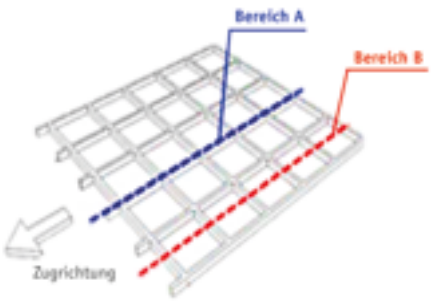


Abbildung 27: Interaktionsmechanismen von Geogittern

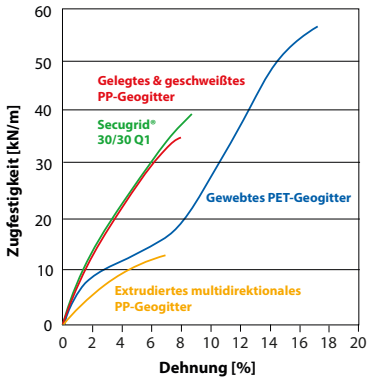


Abbildung 28: Zugkraft-Dehnungs-Kurven von 4 im Feldversuch in Montana getesteten Geogittern (Phase II, 2014)

Referenzen

BTTG Testing and Certification Ltd. (2008), „Tensile tests on installation damaged materials“, BTTG Test Report No. 10/13308, UK, Nov. 2008.

Christopher, B. (2007), „Junction-strength requirements for roadway design, construction“, Geosynthetics, Industrial Fabrics Association International, Roseville, MN, Feb/Mar 2007.

DIN 18134 (2014), „Baugrund - Versuche und Versuchsgeräte - Plattendruckversuch“, Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 10319 (2008), „Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen“, Beuth Verlag GmbH.

EBGEO (2010), „Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen - EBGEO“, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT).

Kinney, T.C. and Xiaolin, Y. (1995), „Geogrid Aperture Rigidity by In-Plane Rotation“. Proceedings of Geosynthetics ’95. Industrial Fabrics Association International, St. Paul.

Montana I: Cuelho, E. and Perkins, S. (2009), „Field Investigation of Geosynthetics Used for Subgrade Stabilization“, Final report to the Montana Department of Transportation, FHWA/MT-09-003/8 193, 140 pp.

Montana II: Cuelho, E., Perkins, S.W., Morris, Z. (2014), „Relative Operational Performance of Geosynthetics Used for Subgrade Stabilization”, Final Report, May 2014.

Institut für textile Bau- und Umwelttechnik, Greven (2009), „Beschädigung von Geotextilien beim Einbau“, Newsletter Nr. 18, September 2009.

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2012), „RStO Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen, Ausgabe 2012“.

SVG Schweizerischer Verband für Geokunststoffe (2003), „Bauen mit Geokunststoffen - Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender“.

Naue®, N® (Bildmarke), Combigrid®, Secugrid® und Secutex® sind eingetragene Warenzeichen der Naue GmbH & Co. KG in verschiedenen Ländern.
Der Inhalt dieses Flyers bezieht sich auf Naue Produkte und berücksichtigt den Stand der Technik bei Redaktionsschluss. Jegliche Haftung ist ausgeschlossen.
© 2026 Naue GmbH & Co. KG, Espelkamp · Alle Rechte vorbehalten. · Nr. 00793 · Status 19.10.2026

naue.com