

## Erfahrungen aus den Niederlanden

Dipl.-Ing. J. S. Leendertz,  
Dipl.-Ing. F. B. P. de Jong,  
Bouwdienst Rijkswaterstaat,  
Niederlande

## Aspekte zur Ermüdung von orthotropen Fahrbahnplatten in den Niederlanden

Dipl.-Ing. J. S. Leendertz,  
Bouwdienst Rijkswaterstaat,  
Niederlande

### 1. Allgemeines

Rijkswaterstaat wurde vor etwa 200 Jahren vom Bruder des französischen Kaisers Napoleon gegründet und ist in den Niederlanden der "Eigner" aller Autobahnen, Flüsse, Kanäle, Deiche und Wehre sofern sie von nationaler Bedeutung sind.

In der Vergangenheit hat Rijkswaterstaat die Bauwerksplanung selbst übernommen, jetzt erfolgt die Planung meist über sogenannte „Design and Build“ Kontrakte.

### 2. Lastübertragung

Die Lastübertragung von den Rädern auf die orthotrope Fahrbahnplatte erfolgt bei Brücken mit dickeren Belägen ( $>50\text{mm}$ ) über die Asphalt-schicht oder bei Brücken mit dünneren Belägen ( $<10\text{mm}$ ) über eine Epoxidharz-Schicht. Bei den dickeren Belägen entsteht eine Art von mittragender Wirkung zwischen Belag und Deckblech, abhängig von den vorhandenen Rissen.

Bild 1 zeigt die in EN 1991-2 (Lit. 1) vorgegebenen Radtypen auf einer orthotropen Platte mit dickem Belag.

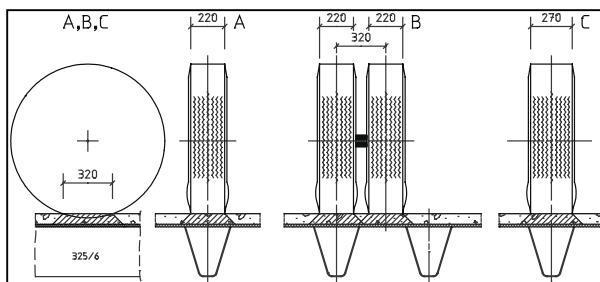


Bild 1: Räder auf orthotroper Platte mit Trapezsteifen

Die Belastungen aus den Rädern werden auf die Trapezsteifen übertragen und von denen auf die Querträger weitergeleitet.

Bei dünnen Belägen wird die Belastung effektiv von weniger, bei dicken Belägen von mehr Steifen getragen ( etwa 3 – 6 ). In der Nähe von den Hauptträgern verhalten sich die Querträger als starre, zwischen den Hauptträgern als flexible Stützpunkte für das Deck. Dies beeinflusst die Lastübertragung zwischen Steifen und Querträger, was man an den Einflusslinien erkennt.

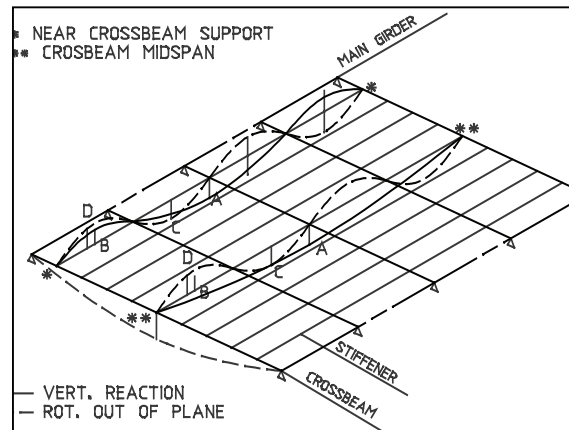


Bild 2: Einflusslinien von Auflagerkräften und Verdrehungen von den Steifen bei dem Mittelquerträger

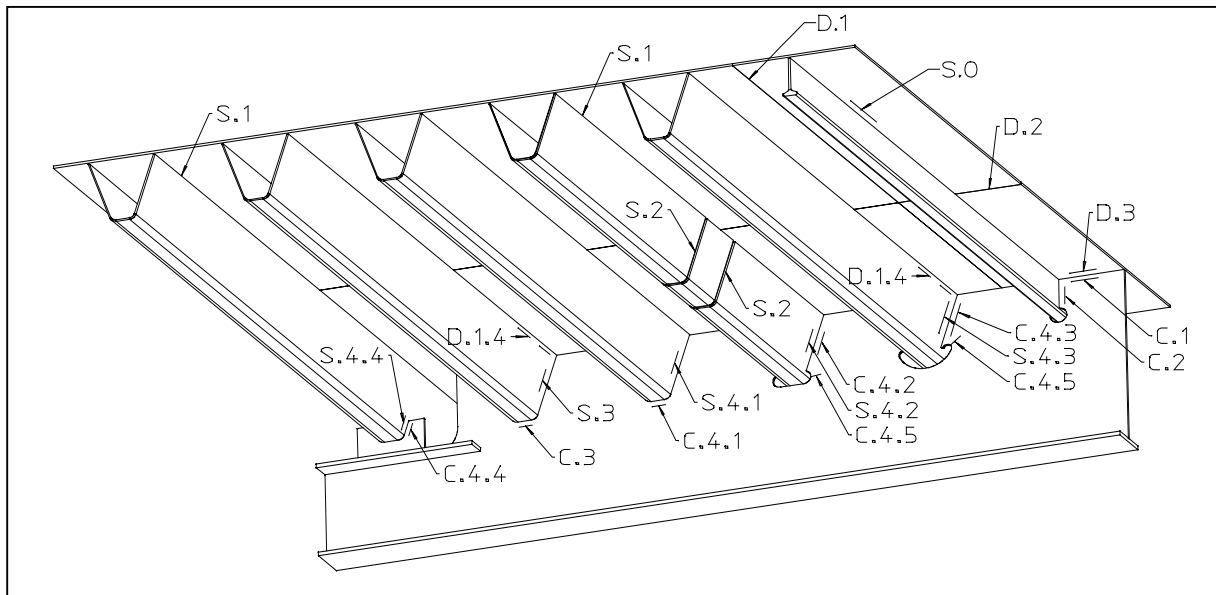
### 3. Übersicht ermüdungsempfindliche Details

Bild 3 zeigt eine Übersicht der ermüdungsempfindlichen Details. Das heißt nicht, dass bei allen Details schon Schäden aufgetreten sind.

Auch in der Vergangenheit (Lit. 2) hat man sich schon um die Ermüdung gekümmert. Aber damals wurden Versuche mit 70 kN Radlasten über 2 Millionen Zyklen als ausreichend betrachtet (Lit. 5). Heutzutage gibt es in Europa Brücken die 800 Lastfahrzeuge am Tag pro Fahrtrichtung tragen; für verschiedene Details ergeben sich daraus bis zu 8 Millionen Lastwechsel pro Jahr, oder umgerechnet in Achslasten mit 140 kN (mit S-N Neigung  $m=3$ , ohne „Cut-off Limit“) sind das 1.4 Millionen Achslasten pro Jahr.

Als Schlussfolgerung kann festgestellt werden, dass die Bedingungen von vor 30 Jahren heutzutage häufig nicht mehr gültig sind.

Die am häufigsten festgestellten Risse werden in den folgende Kapiteln 4, 5, 6 und 7 behandelt.



**Bild 3:** Übersicht der ermüdungsempfindlichen Details

**Tab. 1:** Übersicht von Schadenstypen (P=Praxis, T=Versuch)

	Observation	Location
<b>Deck plate</b>		
Longitudinal weld	No cracks	D.1
Transverse weld	No cracks	D.2
Deck plate to crossbeam	No cracks	D.3
Continuous closed stiffener to deck plate	Cracks, predominantly in bridges with a thin wearing course and in some heavily trafficked bridges with a thick wearing course (P),(T)	D.1.4
<b>Open stiffener</b>		
Stiffener to deck plate weld	No cracks	S.0
<b>Closed stiffener</b>		
Stiffener to deck plate weld	Numerous cracks in heavily trafficked bridges (P),(T) Cracks in various bridges (P),(T)	S.1
Stiffener splice	Cracks in various bridges (P),(T)	S.2
Closed stiffener fitted between crossbeams		S.3
Continuous stiffener at crossbeam connection:	Cracks in test specimens (T)	
1) Welded around	Cracks in test specimens (T)	S.4.1
2) With oval cope hole	Cracks in test specimens (T)	S.4.2
3) With Haibach cope hole	Cracks in test specimens (T)	S.4.3
4) On plate support	Cracks in test specimens (T)	S.4.4
<b>Crossbeam</b>		
Crossbeam web to deck plate weld	No cracks	C.1
Crossbeam to open stiffener	Cracks in crossbeam web near stiffener (P)	C.2
Crossbeam to closed stiffener between crossbeams	Cracks from stiffener and weld into crossbeam (P), (T)	C.3
Crossbeam to continuous closed stiffener:		
1) Welded around	Cracks in test specimens (T)	
2) With cope hole	Cracks in web near stiffener and at cope hole edge (P), (T)	C.4.1
		C.4.2
3) With Haibach cope hole	Cracks in test specimens (T)	
4) With plate support	No cracks	C.4.3
Cross beam web, free edge of cope hole	Cracks in real crossbeams (P) and test specimens (T)	C.4.4
		C.4.5

#### 4. Deckblechriss

Allgemeine Aspekte bezüglich Deckblechriss und Instandsetzungsmaßnahmen sind in dem anschließenden Beitrag „Analysen und Lösungen für Instandsetzung Orthotroper Stahlbrücken in den Niederlanden (Deckblech-Riss-Problematik)“ von P.D. Boersma, N.B.P. de Jong und J.S. Leendertz enthalten und weitere Details zu den Analysen und Maßnahmen werden ausführlich im darauf folgenden Beitrag „Instandsetzung mit hochfestem, bewehrtem Stahlfaserbeton“ von N.B.P. de Jong erläutert.

#### 5. Risse in den Verbindungen zwischen den Steifen

Analysen (Lit. 3) zeigten, dass die geschweißte Verbindung mit der Schweißbadsicherung eine sehr niedrige Ermüdungsfestigkeit hatte. In manchen Fällen wurde die Verbindung mit Zwang zu Stande gebracht; das führte zu einer Schweißnaht mit einer sehr kleinen Basis, die keinen Schrumpf erlaubte. Inzwischen existieren bessere Vorgaben für die Schweißnahtvorbereitung und es wird ein genügend hoher Ermüdungswiderstand erreicht. Bild 4 zeigt dieses Detail.

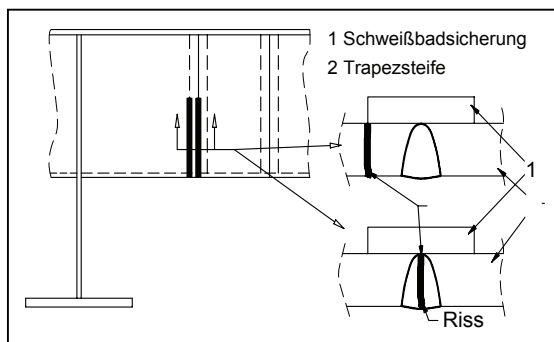


Bild 4: Verbindung zwischen den Trapezsteifen

#### 6. Verbindungen von durchgehenden nicht geschlossenen Steifen mit Querträgern

Bei zwei Brücken wurden Risse gefunden (Bild 5). Eine Analyse zeigte, dass nicht die direkte Lastübertragung, aber die Kombination von Querträger-Biegung und Verdrehung von der Steife unter Fahrzeugbelastung die Hauptursache war. Die Aussparung wurde etwas erhöht und seitdem wurden keine Schäden mehr festgestellt.

#### 7. Steifen zwischen den Querträgern

Die Verbindungen von Trapezsteifen zwischen den Querträgern (Bild 6) haben eine sehr niedrige Ermüdungsfestigkeit, obwohl voll geschweißte Verbindungen besser sind als Ecknähte.

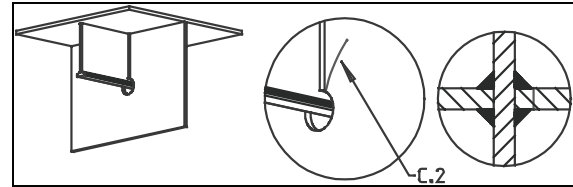


Bild 5: Verbindung einer offenen Steife mit dem Querträger

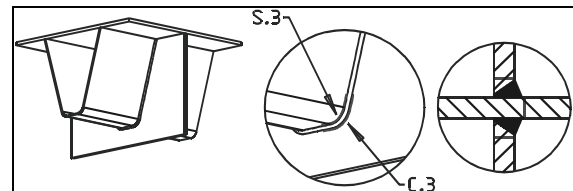


Bild 6: Trapezsteifen zwischen den Querträgern

#### 8. Andere Verbindungen

Bei den anderen Verbindungen wurden bis jetzt nur in Ausnahmefällen Risse festgestellt. Ausführlicher werden die Details auch in Lit. 4, 7 – 10 abgehandelt.

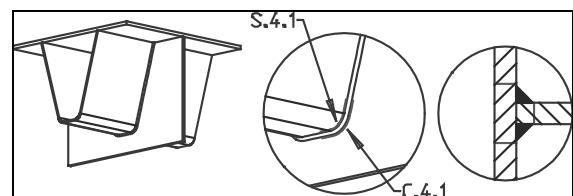


Bild 7: Durchgehende Trapezsteife rundum geschweißt

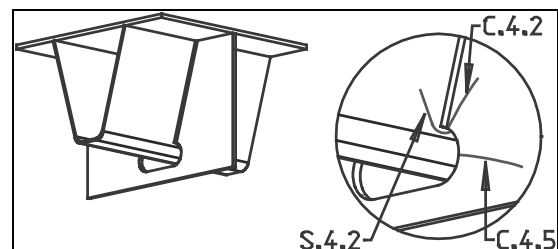
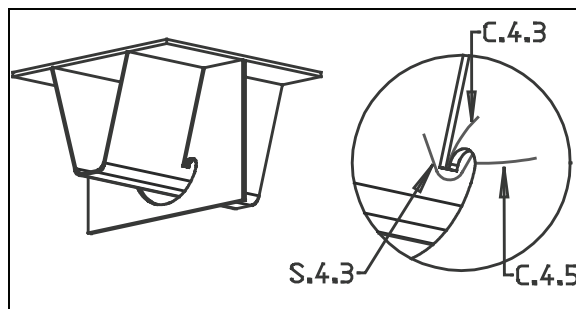
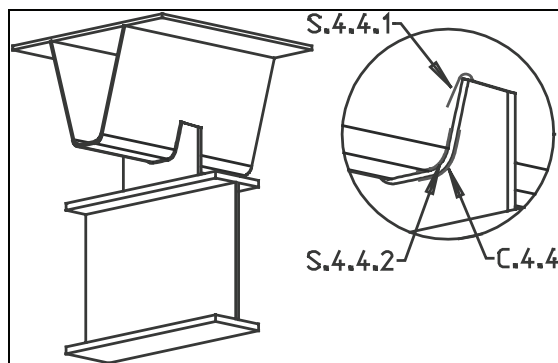


Bild 8: Durchgehende Trapezsteife mit ovaler Aussparung



**Bild 9:** Durchgehende Trapezsteife mit Haibach Aussparung



**Bild 10:** Durchgehende Trapezsteife über Stütze (Schwebende Decke)

## 9. Schlussfolgerungen

Als Schlussfolgerungen können folgende Punkte festgehalten werden:

Die Ermüdung wurde schon früh als Risiko betrachtet.

Die am meisten gefährdeten Stellen liegen in der Nähe der Straßenoberfläche.

Die früheren Randbedingungen für Versuche sind bisweilen überholt.

Herstellung und Bauweise sollten bereits beim Entwurf berücksichtigt werden.

## 10. Literatur

Eine Auswahl von Literatur (ausgenommen Deckblechprobleme):

1. prEN 1991-2 Eurocode 1 :2002 – Actions on structures – Part 2 : Traffic loads on bridges
2. Fisher, J.W. (1977), *Bridge Fatigue Guide*, Design and Details, American Institute of Steel Construction Inc., New York, United States of America
3. Kolstein, M.H., Back, J.de, (1989), *Measurement and Interpretation of Dynamic*

*Loads on Bridges, Phase 3, Fatigue Strength of Orthotropic Steel Decks, Part 2, Trough to Cross Beam connections*, Research sponsored by the European Community of Steel and Coal, Delft University of technology, faculty of civil Engineering, The Netherlands

4. Bruls, A., Caramelli, S., Cuninghame, J.R., Jacob, B., Kolstein, M.H., Lehrke, H.P. Pautremat, E. Le, (1997), *Measurement and Interpretation of Dynamic Loads on Bridges, Phase 4, Fatigue Strength of Orthotropic Steel Decks, Part 2, Trough to Cross Beam connections*, Research sponsored by the European Community of Steel and Coal, Delft University of technology, faculty of civil Engineering, The Netherlands
5. Instituut TNO voor Bouwmaterialen en Bouwconstructies (1976)“Onderzoek naar het gevaar voor het ontstaan van vermoeiingsscheuren in de langslas tussen het dek en de verstijvingsrib in een orthotrope plaatbrug” Rapport B-76-39
6. Drost, T., (1965), Vermoeiingsscheuren aan verbindingen tussen langsliggers en dwarsdragers bij orthotrope plaatvloeren, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, The Netherlands, Scriptie 6-65-8
7. Falke, J. (1983), *Zum Tragverhalten und zur Berechnung von Querträgern orthotroper Platten*, Dissertation, technische Universität Carolo\_Wilhelmina, Braunschweig, Germany
8. Haibach, E., Plasil,I., (1983), *Untersuchungen zur Betriebsfestigkeit von Stahlleichtfahrbahnen mit Trapezhohlsteifen in Eisenbrückenbau*, Der Stahlbau, Wilhelm Ernst und Sohn.
9. Leendertz, J.S., Kolstein, M.H., Wardenier, J., (1995), *The Behaviour of Trough Stiffener to Cross beam Connections in Orthotropic Steel Bridge Decks*, Heron Volume 40, Delft University, The Netherlands
- 10.Ypeij, E. (1972), *New Developments in Dutch Steel Bridge Building*, IABSE Congress, Amsterdam, The Netherlands

## Analysen und Lösungen für Instandsetzung orthotroper Fahrbahnplatten in den Niederlanden (Deckblech-Riss-Problematik)

Dipl.-Ing. P. D. Boersma,  
Dipl.-Ing. F. B. P. de Jong,  
Dipl.-Ing. J. S. Leendertz,  
Bouwdienst Rijkswaterstaat,  
Niederlande

### 1. Einführung

Im Jahr 1996 wurden am beweglichen Teil von der Brienoordbrücke in der Autobahn A16 bei Rotterdam Risse im Deckblech festgestellt. Bild 1 zeigt einen Riss und Fig. 2 zeigt die Brücke beim Öffnen für die Schifffahrt.

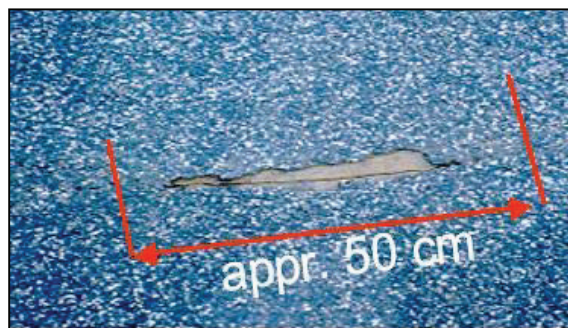


Bild 1: Riss



Bild 2: Beweglicher Teil der Brienoordbrücke

Die folgenden Aktivitäten wurden ausgeführt:

- 1) Analyse der Verkehrsbelastung (Fahrzeugtypen, Lasten, Anzahl)
- 2) Inspektionsergebnisse vom Belag bei anderen Brücken

Schließlich wurde das PSR-Projekt gestartet:

**Problematiek – Stalen – Rijdekken**

**Problematik – Stählerne – Fahrbahn Tafel**

### 2. PSR Ziele

Da sich in der niederländischen Infrastruktur etwa 80 feste und bewegliche Brücken von nationaler Bedeutung befinden, wurden die folgenden Ziele gesetzt:

- 1) Analyse, welche Phänomene die Risse verursachen und wie diese in den Griff zu kriegen sind.
- 2) Koordination von verschiedenen Parallelinitiativen.
- 3) Entwicklung von praktikablen, aber nicht zu teuren Lösungen.
- 4) Primär wird das Deckblech betrachtet.

Die folgenden Einflüsse mussten berücksichtigt werden:

- Die Verkehrsbelastungen sind größer geworden und die Anzahl von Fahrzeugen hat in den letzten 20 Jahren zugenommen.
- Die Ermüdungsbelastungen wurden früher wohl berücksichtigt aber nicht genügend im Hinblick auf den heutigen Verkehr.
- Hohe lokale Spannungen treten insbesondere im Deckblech auf.

### 3. Aufteilung des Projekts

Die folgenden Aspekte werden untersucht:

- 1) Inspektion
  - TOFD (Time of Flight Diffraction)
  - Crack Pec: Inspektion durch 5 cm Belag
  - US unter der Fahrbahn Tafel
  - Andere Inspektionsmethoden
  - Probabilistische Analysen als Unterstützung von Inspektion und Unterhaltung
- 2) Ermüdungsanalysen
- 3) Instandsetzungsmaßnahmen
- 4) Lebensdauer verlängernde Maßnahmen
  - Calandbrücke als Pilotprojekt (Andere Projekte folgen)
- 5) Entwurfsregeln
- 6) Neue konstruktive Konzepte



Tab. 1: Beispiele:

Brücke, Belagsstärke (cm)	Jahr	Ermüdungsberechnung	Erste gefundene Risse
Ketel Bridge, beweglich (1 cm)	1968	2002	1998
Scharsterriijn, beweglich (1 cm)	1972	2004	2002
Van Brienoord, beweglich (1 cm)	1990	1996	1997
Caland Bridge, beweglich (1 cm)	1969	1991	1998
Caland Bridge, fest (5 cm)	1969	2003	2002
Bridge Hagestein, fest (5 – 6 cm)	1980	2006	2002
Galecopper Bridge, fest (5 – 6 cm)	1971	1996	2002
Juliana Bridge, beweglich (1 cm)	1966	1997	2001
Bridge Ewijk, fest (5 – 6 cm)	1972	2001	Noch nicht
Muider Bridge, fest (5 – 6 cm)	1971	2006	Noch nicht

### Instandsetzung mit hochfestem, bewehrtem Stahlfaserbeton

Dipl.-Ing. F. B. P. de Jong,  
Bouwdienst Rijkswaterstaat,  
Niederlande

Auch in den Niederlanden sind die orthotropen Fahrbahnplatten von dem Ermüdungsphänomen betroffen; verschiedene Details weisen Risse auf.

Sehr bekannt sind zum Beispiel die Ermüdungsrisse, die im beweglichen Teil der Brienoordbrücke bei Rotterdam im Sommer 1997 gefunden wurden. Von den verschiedenen ermüdungsgefährdeten Details sind zwei Arten von Rissen besonders hervorzuheben: Die Deckblechrisse und die Risse in der Längsnaht zwischen Deckblech und Trogsteife.

Um diese Ermüdungsprobleme zu lösen, ist eine neue Art von Instandsetzungsphilosophie entwickelt worden. Folgende Bereiche werden unterschieden:

- Ermüdungs- bzw. Dauerfestigkeitsberechnungen,
- Instandsetzungsmethoden für die ganze Fahrbahntafel und
- Inspektionstechniken.

Es wurden Instandsetzungsmethoden für bewegliche und feste Stahlbrücken entwickelt.

Eine sehr effektive Lösung für feste Stahlbrücken besteht darin, den in den Niederlanden üblicherweise 50 mm dicken Gussasphalt

durch eine 50 mm dicke Schicht aus hochfestem, bewehrtem Stahlfaserbeton zu ersetzen.

Diese Instandsetzungsmethode wurde auf einem Teil der Calandbrücke im Hafengebiet von Rotterdam im Jahr 2003 ausgeführt. An dem Bauwerk wurden Spannungsmessungen sowohl vor als auch nach dem Ersetzen des Asphalts durch den Stahlfaserbeton durchgeführt. Die lokalen Biegespannungen im Deckblech haben sich infolge der Instandsetzungsmaßnahme um etwa 70% bis 80% verringert. Mit dieser starken Verringerung konnten die Ermüdungsprobleme bewältigt werden.

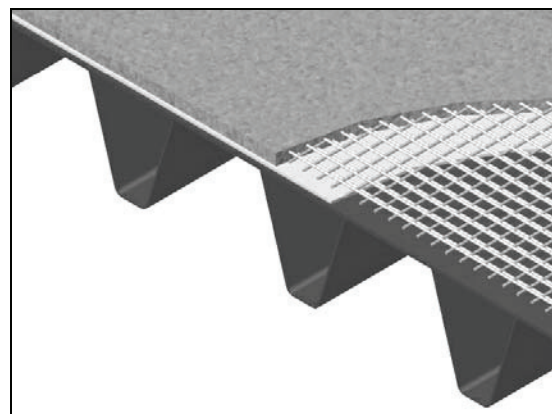


Bild 1: Prinzipskizze