

Entwicklungsgeschichte der orthotropen Fahrbahnplatte

Prof. Dr.-Ing. G. Albrecht,
Lehrstuhl für Stahlbau,
TU München

1. Vorwort

Wie das Wort "orthotrop" entstanden ist, wer es erfunden hat etc. könnten nur die Zeitzeugen der 50er Jahre im letzten Jahrhundert beantworten...

Auf jeden Fall ist es eine Verballhornung bzw. eine Abkürzung von "orthogonal – anisotrop" – gemeint ist also nichts anderes als "rechtwinklig zueinander unterschiedliche Steifigkeiten".

Es ist jedoch ein faszinierendes Wort, das den konstruktiv vertiefenden Studenten in seinen Bann zieht – vor allem, wenn er zudem noch Stahlbau-Vertiefer ist. Dieses Wort "orthotrop" riecht förmlich nach einem großen Geheimnis. Liest man dann noch die berühmte Differentialgleichung von [Huber] und meint noch sie einigermaßen verstanden zu haben, dann spürt man untrüglich: das ist der Gipfel der Stahlbau - Wissenschaft.

Mit so genannten anerkannten Berechnungsverfahren [Pelikan / Eßlinger], [Giencke] konnte man nun "genau" – z. B. auf die 3. Stelle nach dem Komma – die Spannungen für ein exakt definiertes Lastbild und exakt definierte Randbedingungen in einer orthotropen Platte bestimmen.

Die stählerne Fahrbahnplatte war geboren – welche Behörde, welcher Prüferingenieur hätte es gewagt, sie in Frage zu stellen, zumal nicht nur die Wissenschaft sondern auch die geballte Stahlbauindustrie hinter ihr stand...

2. Historie

Der Sinn von Brücken ist die Verbindung von zwei oder mehr Punkten, die Menschen sonst nur unter größeren Anstrengungen oder gar nicht erreichen können. Wie wichtig Brücken sind, erkannte man besonders im alten Rom, wo der Oberbrückenbauer, der Pontifex Maximus [Trajan], höchste Ehren genoss.

Alte und neue Brücken haben grundsätzlich eine Gemeinsamkeit:

- Man benötigt eine Fahrbahn für Fußgänger, Reiter, Pferdefuhrwerke, Autos, Lastkraftwagen, Eisenbahnen u.v.a.m., auch für militärisches Gerät. Gerade letzteres war - nicht nur in Rom - Antriebsfeder für Innovationen.
- Man benötigt ein Tragsystem, das die Fahrbahn unterstützt.

Dieses Tragsystem entwickelte sich nach den Bedürfnissen, z. B. Fahrbahnbreite, Gehwegbreite, zu überbrückende Längen bzw. Stützweiten usw.

Grundsätzlich wurden die einzelnen Teile aufgrund von Erfahrungen konstruiert oder später nach entwickelten Bemessungsregeln dimensioniert.

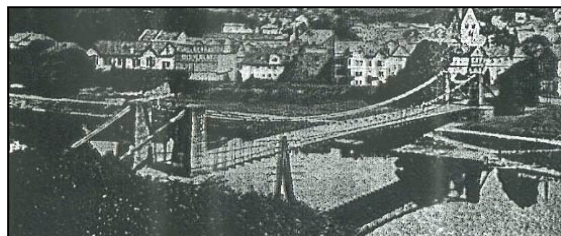


Bild 1: Kettenbrücke Nassau / Lahn 1830

Das Grundsatzprinzip lautete:

Jedes Bauteil übernimmt die zugewiesene Last und gibt sie dem nächsten, unterstützenden Bauteil weiter...bis zum Lager, Pfeiler und Baugrund (s. Bild 1 und 2).

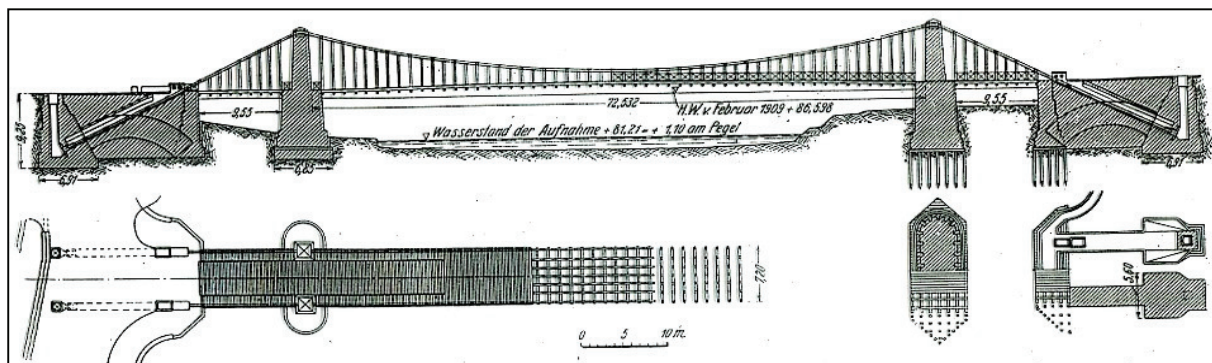


Bild 2: Längsschnitt und Grundriss

Ein planmäßiges Zusammenwirken einzelner Bauteile bzw. deren Mehrfachfunktion im Gesamtbauwerk war nicht vorgesehen. Dies galt für Fahrbahnplatten aus Stahlbeton, die planmäßig als "schlaff bewehrte" Platten konzipiert wurden, aber nicht planmäßig mit den darunter liegenden genieteten Stahlträgern verdübelt wurden. Um ein unkontrolliertes Reißen des Stahlbetons infolge Mitwirkung im Haupttragssystem weitgehendst zu vermeiden, wurden Querfugen im Abstand von ca. 15 bis 25 m angeordnet.

Die ungewollte Verdübelung durch vorhandene Nietköpfe führte zu den bekannten Schäden und wegen des Versagens der Fugenabdichtungen und des Tausalzangriffes zu z. T. irreparablen Strukturschäden – hierfür gibt es viele Beispiele. In den bereits oben zitierten 50er Jahren mit den enormen Wiederaufbau-Aufgaben nach den Zerstörungen des 2. Weltkrieges flossen neue Ideen in die Bauingenieur-Landschaft.

Mit der Idee einer planmäßigen Mitwirkung der Stahlbeton-Fahrbahnplatte durch so genannte Schubverbände beim Wiederaufbau der Hängebrücke Köln – Rodenkirchen wurde **[Homburg]** der Wettbewerb gewonnen.

Die planmäßige Mitwirkung einer Stahlbeton-fahrbahnplatte mit stählernen Trägern über Dübel fiel ebenfalls in diese Zeit **[Sattler]**, **[Fritz und Wippel]**.

Mehrfachwirkung von Teil - Tragsystemen im Gesamtsystem kam "in Mode" – sei es aus dem Flugzeugbau oder aus dem Schiffsbau **[Wulstflachstähle]**.

Auf jeden Fall wurde mit dem MAN-Forschungsbericht 1957 **[Pelikan / Eßlinger]**

ein Meilenstein zur Entwicklung der orthotropen Platte gelegt.

3. Zur Anwendung

3.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Teile einer orthotropen Platte und deren Funktion im Gesamtsystem dargestellt. Hierfür betrachtet man zunächst den Aufbau einer stählernen Deckbrücke z. B. als zweistegigen Plattenbalken (s. Bild 3):

- Das Deckblech oder Fahrbahnblech wird mit einem rutschfesten Belag – z. B. Asphalt – versehen, der auch zur Lastverteilung konzentrierter Radlasten dient. Eine möglichst regelmäßige Unterstützung dieses Deckbleches muss zwingend erfolgen, da so genannte dünnwandige Bauteile vorliegen.
- Diese Unterstützung durch – in der Regel – längsorientierte Rippen muss durch Querträger wiederum unterstützt werden. Der Querträgerabstand ist eine Funktion der Rippenform:

Offene torsionsweiche Rippen benötigen eine Unterstützung von ca. 1,5 bis 2,5 m, d.h. Querträgerabstand und dazu gehörend Quersteifen für die Stege bzw. Querschotte für Hohlkästen – sind auf o. g. Abstände begrenzt. Aus Kostengründen wurde überlegt, wie diese Abstände zu vergrößern sind. Die Lösung war die Entwicklung einer torsionssteifen Fahrbahnrippe, die Querträgerabstände von 3 bis 5 m ermöglichte.

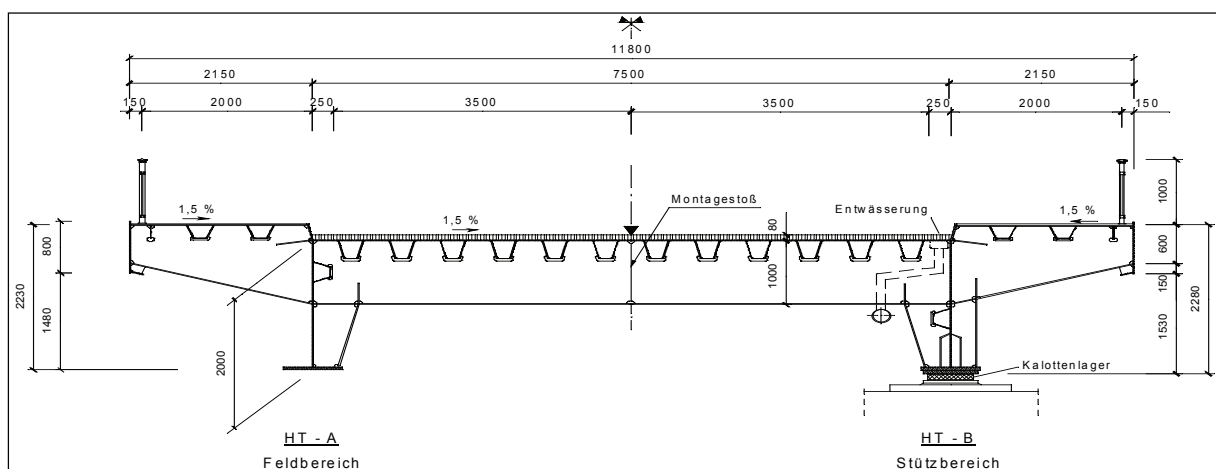


Bild 3: Beispiel Stahlbrücke mit orthotroper Platte

3.2 Patente kontra Entwicklung

Die Trapezsteife, die aus einem abgekanteten Blech [6 bis 10 mm] besteht, hat folgende Vorteile:

- sie benötigt nur zwei Schweißnähte zur Verbindung mit dem Deckblech und
- sie ermöglichte Querträgerabstände bis zu 5 m [**Donaubrücke Schalding**].

Leider gab es hierfür eine Patentschrift, die jeden Brückenbauchef reizte, mit abweichenden Lösungen dieses Patent zu umgehen. So wurden U- Profile, Sektkelchprofile, V- Profile und andere – im Prinzip schlechtere Lösungen kreiert. Ein besonders einprägsames Beispiel zeigt die längste Stahlbrücke Deutschlands, nämlich die 1,8 km lange Ruhrtalbrücke Mintard im Zuge der BAB A52 zwischen Essen und Düsseldorf [**1963 bis 1965**]:

- Ein Sektkelchprofil hat vier Schweißnähte pro Querschnitt, also zwei mehr als ein Trapezprofil.
- Bei knapp 40 Fahrbahnrippen in der Fahrbahntafel der Brücke bedeutet dies $2 \times 40 \times 1,8 \text{ km} = \text{ca. } 150 \text{ km}$ Schweißnaht zu viel.

Ggf. wäre die geringe Patentgebühr (?) in der Summe preiswerter gewesen...

O. g. Donaubrücke Schalding im Zuge der BAB A3 wurde nach Ablauf des Patentes als

erste neue Stahlbrücke mit Trapezprofilen Anfang der 70er Jahre erbaut und ist nach Wissen des Verfassers trotz einer gewissen "Vibrationsempfindlichkeit" bis heute ohne gravierende Mängel.

3.3 Hinweise zur Berechnung und Konstruktion

Ein Berechnungsverfahren hatte sich bereits in den 60er Jahren aus Gründen der Übersichtlichkeit durchgesetzt – man bedenke hierbei die damaligen EDV-Möglichkeiten – nämlich die Aufteilung des komplexen Brückenquerschnittes in Teilsysteme, wobei die Reaktionskräfte jeweils von einem zum nächsten System übertragen werden:

- das Deckblech: starr gestützt durch die Rippen
- das Deckblech als Obergurt der Rippen [**orthotrope Platte**]; starr gestützt durch die Querträger
- Trägerrost Rippen und Querträger: starr gestützt durch die Hauptträger
- Hauptträgerberechnung usw.

Stillschweigend setzt man "Kompatibilität der Systeme" voraus. Man erkennt hier sehr leicht die Mehrfachwirkung des Deckbleches, aber auch die Mitwirkung der Rippen im Haupttragssystem usw. (s. Bild 4).

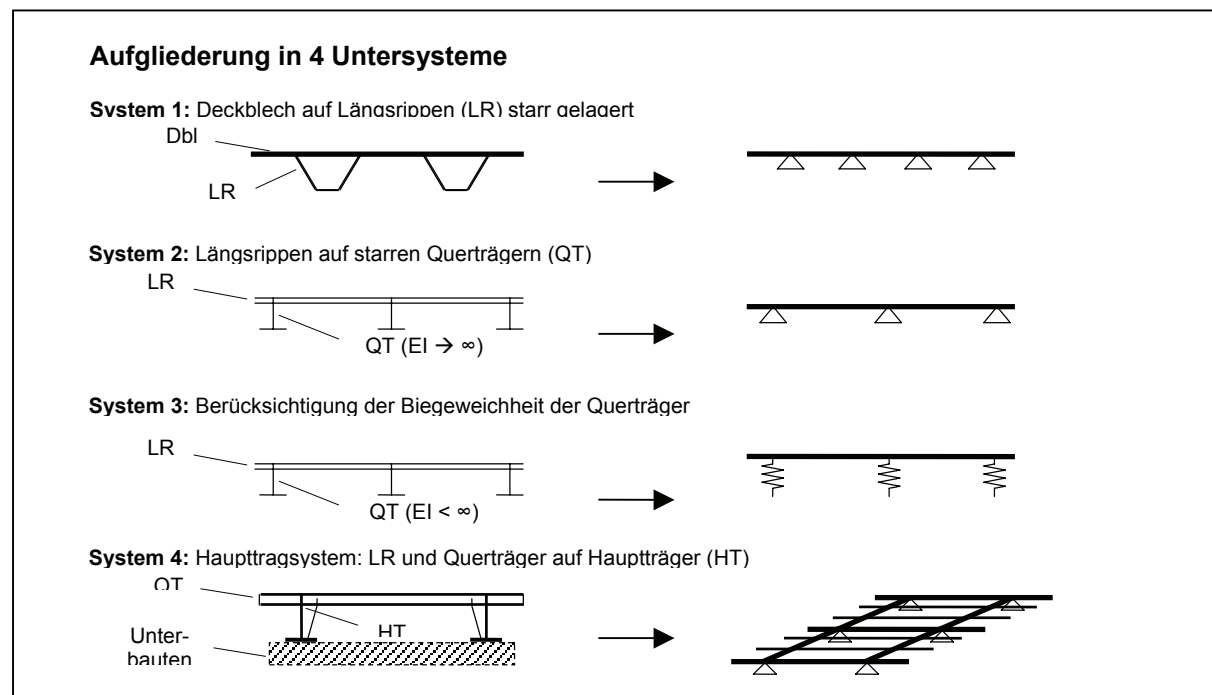


Bild 4: Berechnungsverfahren

O. g. Auflistung ist nicht vollständig, weil bei komplexeren Systemen, z. B. Schrägeilbrücken im Bereich von Seileinleitungen weitere Trägeroste und Scheibenfaltwerke betrachtet werden müssen [Roik, Albrecht, Weyer].

Leider ergab sich nach div. Jahren bei ständig wachsendem Verkehr unter immer schwerer werdenden Lasten eine gewisse Häufung typischer Schäden. Diese konnten mit o. g. vereinfachten Berechnungsverfahren nicht erfasst werden:

- Risse in den Schweißnähten zwischen Rippensteg und Deckblech sowie
- Risse in den Durchdringungen Rippen – Querträgerstege.

Eine Expertenrunde erarbeitete 1998 Regeln für eine ermüdungssichere Konstruktion von orthotropen Platten [BMVBW]. Erfreulicherweise wurden diese Regeln nahezu 1:1 im Eurocode 3 aufgenommen [DIN Fachbericht 103; 03/2003].

Für einige Regeln sollen nachfolgend Erläuterungen gegeben werden.

- **Schweißnaht zwischen Rippensteg und Deckblech:**

Bei den üblichen Berechnungsverfahren ergaben sich Halskehlnähte von 3,5 bis 4 mm Dicke.

Infolge Deckblechbiegung durch die hohen Radlasten werden auch Biegemomente in die Rippenstege durch Rahmenwirkung übertragen und zwar entsprechend den Steifigkeiten – Deckblech 12 mm; Rippe 6 mm (s. Bild 5).

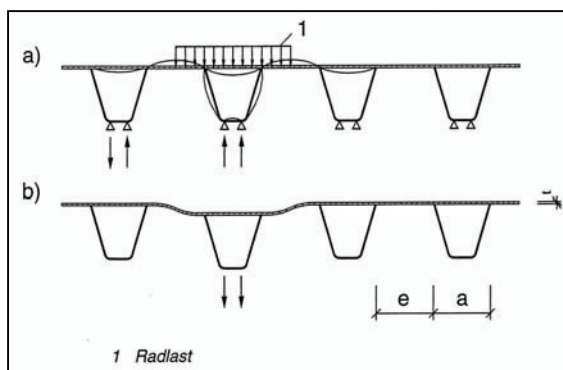


Bild 5: Biegung des Fahrbahnblechs aus Radlasten a) und infolge von Durchbiegungsunterschieden zwischen einzelnen Rippen b) (DIN FB 103 3/2003)

Es ist einleuchtend, dass eine Verbindungsnaht von 3,5 bis 4 mm ein wesentlich kleineres Widerstandsmoment als die

Rippendicke von z. B. 6 mm hat. Hinzu kommt die Beanspruchungsart, die in Kerbgruppe 36 einzuordnen ist.

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Nahtdicke gleich der Rippenblechdicke auszuführen – auch bei Reparaturen.

- **Durchdringung Rippe – Querträger:**

Aus Durchbiegung der Rippen ergibt sich eine Verdrehung dieses Kreuzungspunktes, die zu Zwängungsspannungen führt (s. Bild 6 links).

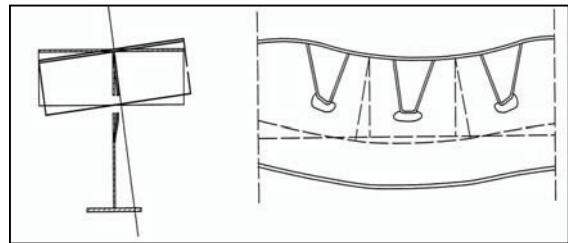


Bild 6: Rippen- und Stegbeanspruchungen des Querträgers an der Rippen – Stegblech – Verbindung (DIN FB 103, 03/2003)

Diese Zwängungsspannungen sind umso größer, je dicker das Querträgerstegblech ist.

Die Querträger – Stegdicke wird wesentlich durch die so genannten Zahnspannungen bestimmt.

Diese hängen vom Schub [Cousinen-Formel] zwischen Deckblech und Querträgersteg sowie dem Versatzmoment zwischen Deckblech und "Querträger-Auskämmung" bzw. "Freischnitt" ab.

Wendet man für o. g. Cousinen-Formel die normgemäße mittragende Breite für das Deckblech als Funktion der Querträgerstützwerte an, erhält man ein viel zu großes Statisches Moment, was schnell zu Querträger- Stegdicken von 25 bis über 30 mm führen kann. Entsprechende Zwängungen folgen analog. Richtiger und besser ist die genauere Ermittlung der mittragenden Breite, nämlich die Berücksichtigung der Einschnürung unter örtlicher Lasteinleitung. Hier ergeben sich Blechdicken von ca. 15 bis 20 mm (s. Bild 7 bis 9).

- **Einfluss der Querträger – Bauhöhe:**

Bauhöhen größer 800 mm sollten angestrebt werden – besser 900 bis 1000 mm. Bei diesen Höhen ist der Einfluss von Verzerrungen aus Vierendeel – Wirkungen vernachlässigbar (s. Bild 6 rechts).

Zu beachten ist im anderen Fall, dass der Einfluss von Schubweichheiten berücksichtigt werden muss, was nicht jedes Programm leistet.

- **Der Rippen – Fensterstoß:**

Diese Verbindung wird beim Übergang von einem Montageschuss zum nächsten erforderlich (s. Bild 10).

Auch hier sind einige konstruktive Regeln zu beachten.

Zwingend erforderlich ist die volle Verschweißung der Rippe mit dem Fenster teil, was durch ein innen liegendes Blechteil zur Badsicherung erreicht wird. Der Luftspalt zwischen Rippe und Fenster sollte gleich der Rippenblechdicke – also z. B. 6 mm – sein.

Die Heftnähte zwischen Rippe und Badsicherung sind in den Schweißspalt zu legen, damit die Heftungen beim vollen Verschweißen wieder aufgeschmolzen werden.

Bei der Verschweißung insgesamt ist die Schweißreihenfolge so zu wählen, dass möglichst geringe Eigenspannungen entstehen.

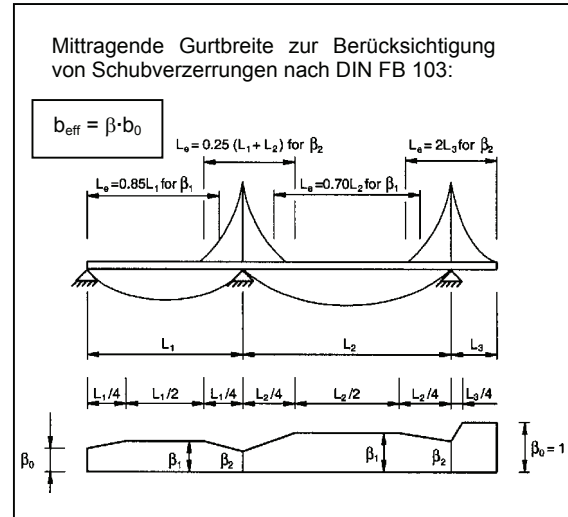


Bild 7: Effektive Länge L_e und Verlauf der mitragenden Breite

4. Zusammenfassung

Trapezprofile haben sich als die günstigste Rippenform bei orthotropen Platten erwiesen. Sie werden auch als Beulsteifen für Stege und Untergurte bei stählernen Hohlkastenbrücken und bei Verbundbrücken eingesetzt.

Der Leitgedanke war das automatische Verschweißen der Rippen mit dem Deckblech, was zur Längsorientierung und zu Schusslängen von 20 m und mehr führte. Aus diesem Grund musste der Querträger "ausgekämmt" und anschließend mit Rippen und Deckblech verschweißt werden. Man begrenzt heute den Querträgerabstand auf maximal 4,5 m. Bei der Donaubrücke Schalding mit 5 m Querträgerabstand wurden spezielle Maßnahmen zur Dauerhaftigkeit des Asphaltes getroffen.

Der Einsatz stählerner orthotroper Platten ist in der Regel aus Kostengründen auf exponierte Bauwerke begrenzt.

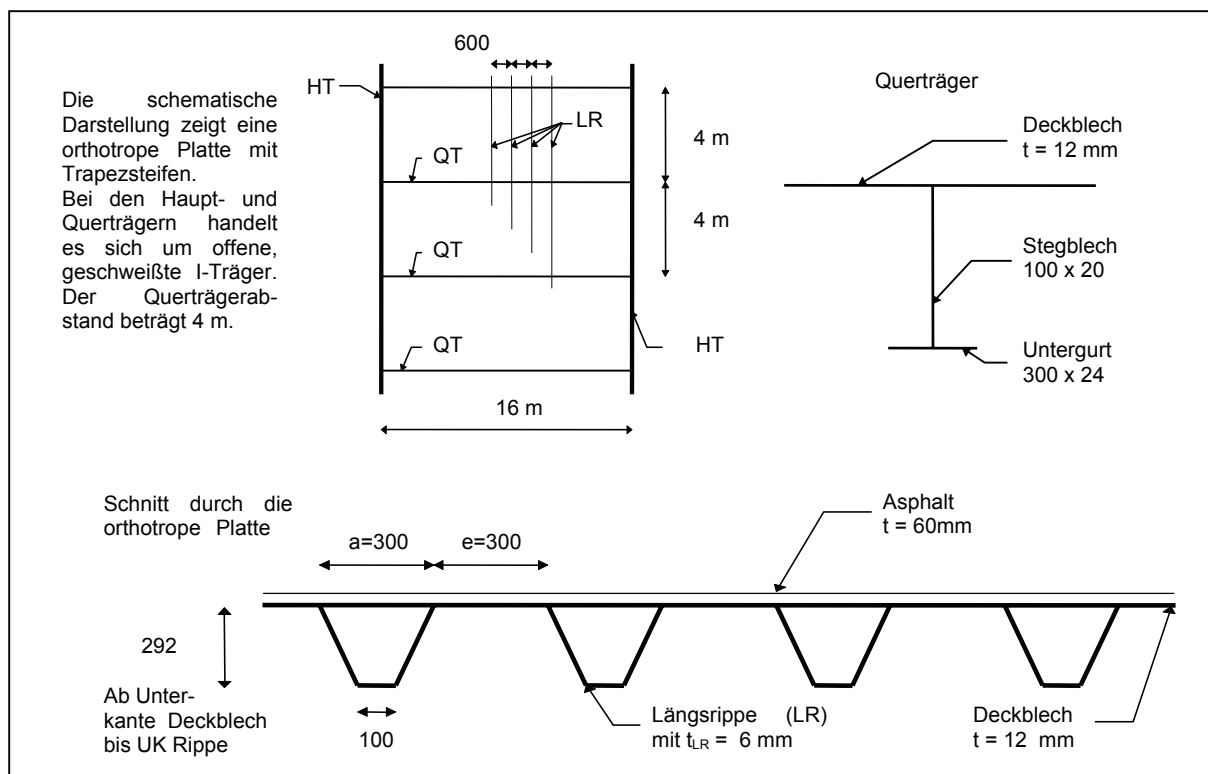


Bild 8: Beispiel zur Berechnung orthotroper Platten

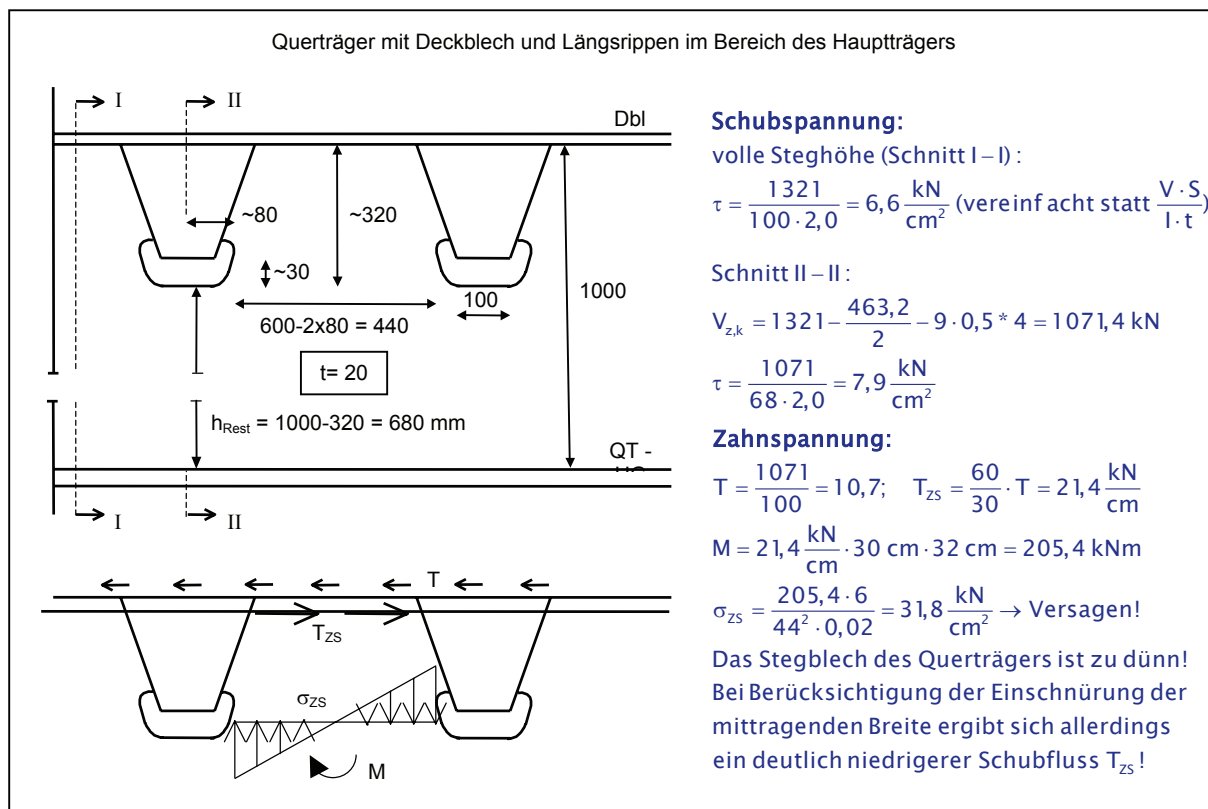


Bild 9: Querträgerechnung (Zahnspannungen)

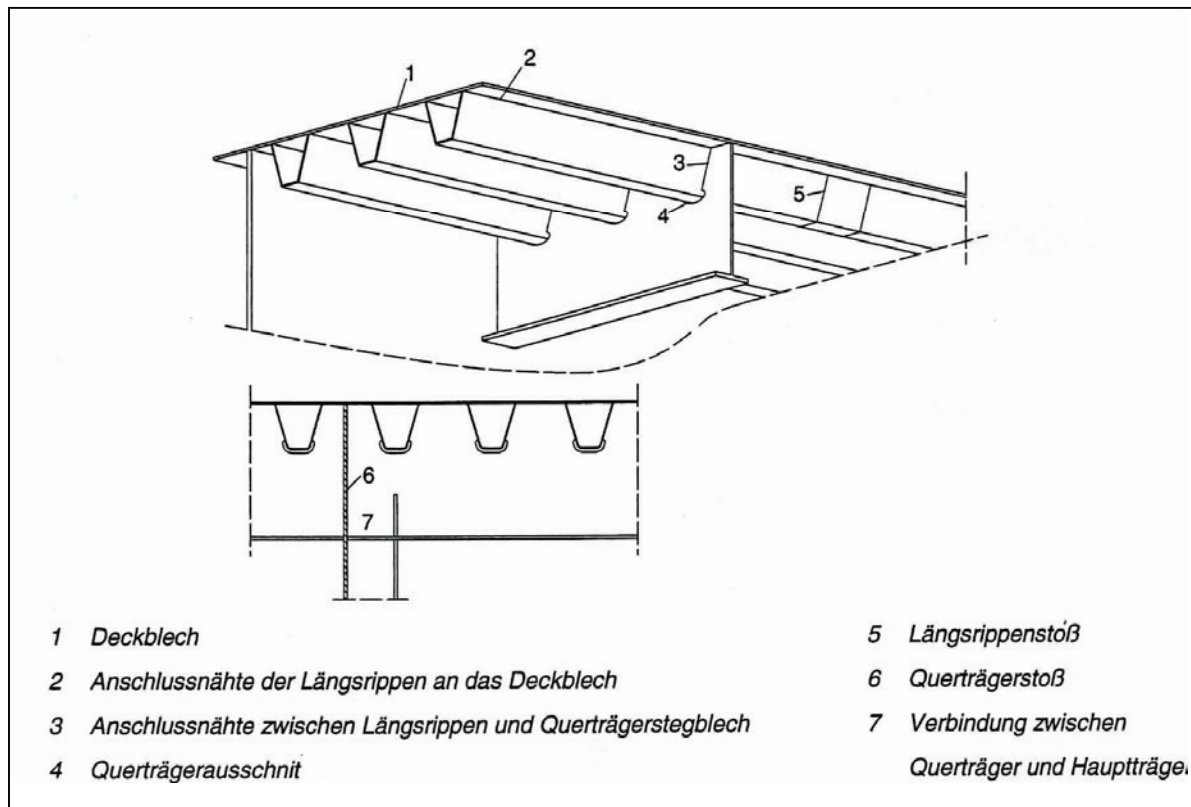


Bild 10 Bauliche Durchbildung in der Regelausführung der Stahlfahrbahn (DIN FB 103 3/2003)