

Spezielle Probleme bei Brückenbauwerken in den neuen Bundesländern

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 5

bast

Spezielle Probleme bei Brückenbauwerken in den neuen Bundesländern

**Teil 1:
Nachrechnung von
Gewölbebrücken**

**Teil 2:
Schubsicherung bei
Fertigteilträgern BT 70 und BT 50**

von

Heinz Haser
Rolf Kaschner

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 5

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht Ergebnisse aus ihrer Arbeit, vor allem Forschungsvorhaben, in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

- A – Allgemeines
- B – Brücken- und Ingenieurbau
- F – Fahrzeugtechnik
- M – Mensch und Sicherheit
- S – Straßenbau
- V – Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Am Alten Hafen 113–115, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 4 60 93–95, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 92710:

„Nachrechnung von Gewölbebrücken“ und „Zur Sicherheitslage von Brücken aus Fertigteilträgern BT 70 und BT 50 unter Schub- und Torsionsbeanspruchung“

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43-0
Telefax (0 22 04) 43-8 32

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 4 60 93–95
Telefax (04 71) 4 27 65

ISSN 0943-9293

ISBN 3-89429-432-9

Bergisch Gladbach, Februar 1994

Kurzfassung · Abstract · Résumé

Spezielle Probleme bei Brückenbauwerken in den neuen Bundesländern

Teil1: Nachberechnung von Gewölbebrücken

Gewölbebrücken stellen mit einer Anzahl von etwa 32 Prozent und einer Brückennutzfläche von 19 Prozent einen beachtlichen Anteil des Straßenbrückenbestandes der neuen Bundesländer dar. Für diese bestehenden Brücken sind Tragfähigkeitseinstufungen nach DIN 1072 erforderlich.

Zielstellung der vorliegenden Untersuchung ist es, Besonderheiten der Nachrechnung bestehender Gewölbebrücken Anforderungen einer Neuplanung gegenüberzustellen. Hieraus sollen Vereinfachungen in der Nachweisführung abgeleitet werden.

Im einzelnen werden die für die Nachrechnung maßgebenden Regelungen der Technischen Güte- und Lieferbedingungen (TGL) mit den entsprechenden jetzt gültigen DIN-Vorschriften verglichen. Weitere Betrachtungen gelten der Verteilung der Verkehrslasten sowie der mitwirkenden Gewölbebreite, zu denen Regelungen in den DIN-Vorschriften fehlen.

Es wird nachgewiesen, daß sich unterschiedliche Annahmen der Lastverteilung und Mitwirkung nur unwesentlich auf die für die Nachweisführung des Gewölbestreifens maßgebende Lastintensität auswirken.

Weitere Angaben zur Nachrechnung behandeln:

- Hinweise zur statischen Modellierung
- mögliche Nachweisvereinfachungen
- vorhandene Hilfsmittel (Tabellenwerke, Rechenprogramme) und ihren rationellen Einsatz sowie
- einzuhaltende Grundsätze und Bedingungen.

Teil:2 Schubsicherung bei Fertigteilbrücken BT 70 und BT 50

In den letzten 30 Jahren wurde in den neuen Bundesländern eine Vielzahl von Fertigteilbrücken errichtet. Zwischenzeitliche Vorschriftenänderungen sind somit bei den Fertigteilträgern der Serien BT 70 und BT 50, die zwischen 1966 und 1979 verwendet wurden, nicht berücksichtigt worden.

Es wurden Untersuchungen zur Schubsicherung an repräsentativ ausgewählten Fertigteilbauwerken vorgenommen. Weitergehende Betrachtungen

dienten dazu, Tragreserven zu erschließen und damit auch die Anforderungen nach DIN 4227 zu erfüllen.

Aufgrund der Ergebnisse wird vorgeschlagen, die Tragfähigkeitsangaben für die Fertigteilträger BT 70 und BT 50 entsprechend den vorliegenden Typenkatalogen und der BMV-Richtlinie zur Tragfähigkeitseinstufung beizubehalten, ohne daß ein Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen erbracht werden muß.

Voraussetzung dafür ist, daß bauwerksseitig alle angegebenen Bedingungen eingehalten sind und keine Nutzungserweiterung durch Erhöhung der ständigen Lasten oder der Verkehrslasten vorgesehen ist.

Special Problems Relating to Bridge Structures in Germany's New Federal States

Part 1: Recalculation of Stone Arch Bridges

A total of 32 % of all highway bridges are of the stone arch type in Germany's new federal states. Their roadway area amounts to 19 % of that of all bridges. For these bridges, calculations were required in order to rate their load bearing strength based on the load classes specified in DIN 1072.

The study aimed at comparing the results of the bearing capacity calculations for the existing stone arch bridges with the requirements for bridges designed to current standards. At the same time, a simplification of the calculation process was to be derived.

For this purpose, the specifications of the Technical Quality Requirements and Delivery Terms (TGL) used in the calculation had to be compared with the specifications of the now applicable DIN standards. In addition, distributions of traffic loads and the arch width as load carrying factor were considered since the latter does not play a role in DIN.

It could be confirmed that different design load distributions are only of minor effect on calculating the load intensity depending on the width of the stone arch.

The information on the calculation process further includes:

- pointers to static models
- possible calculation simplifications

- available aids (tables, calculation programs) and their rational use; and
- the principles and conditions to be observed.

Part 2: Maintaining the shear strength of prefab bridges, BT 70 and BT 50

During the past 30 years, a large number of pre-fab bridges were built in Germany's new federal states. Revisions of standards, undertaken in the intervening years, have therefore not been considered as regards the prefab girders (series BT 70 and BT 50) used between 1966 and 1979.

The shear strength of a representative selection of such prefab structures has been investigated. Further studies focused on the utilization of possible load carrying reserves in order to satisfy the requirements of DIN 4227.

Based on the research findings, it is recommended to retain the load carrying data on the prefab girders BT 70 and BT 50 in accordance with the available type catalogues and the load carrying guidelines issued by the Federal Ministry of Transport without having to furnish proof of diagonal tensions.

This, however, requires that all structural requirements be satisfied and no additional loads be placed on these bridges by increasing dead or live loads.

Problèmes spéciaux concernant des ouvrages d'art dans les nouveaux Länder de la République Fédérale d'Allemagne

Partie I: Nouveau calcul des ponts-voûte

Dans les nouveaux Länder de l'Allemagne, les ponts-voûte constituent une part considérable de l'ensemble des ponts routiers, à savoir environ 32 pourcent du nombre total et 19 pourcent de la surface en service des ponts. Ces ponts-voûte existants requièrent des calculs d'évaluation de leur portance conformément à la norme DIN 1072.

L'objectif de la présente étude était de comparer les résultats du calcul de la portance de ponts existants aux exigences vis-à-vis de ponts construits suivant les normes actuellement en vigueur. En même temps, on visait en déduire des simplifications du processus de calcul.

En particulier, les directives des Conditions Techniques de Qualité et de Livraison qui étaient à la base du nouveau calcul ont été comparées aux prescriptions DIN correspondantes et actuelle-

ment en vigueur. En plus, l'étude a porté sur la répartition des charges du trafic ainsi que la largeur de la voûte en tant que facteur de portance, ne faisant pas l'objet de prescriptions DIN.

Il a été prouvé que des hypothèses différentes relatives à la répartition des charges n'ont qu'une influence très faible sur le calcul de l'intensité de la charge en fonction de la largeur du pont-voûte.

L'étude traite aussi les points suivants relatifs au nouveau calcul:

- informations relatives aux modèles statiques,
- possibles simplification du calcul,
- moyens disponibles (tableaux, programmes de calcul) et leur utilisation rationnelle, et
- des principes et conditions à respecter.

Partie II: Assurer l'effort de cisaillement des ponts préfabriqués, BT 70 et BT 50

Au cours des dernières trois décennies, un grand nombre de ponts préfabriqués fut construit dans les nouveaux Länder. Des révisions de spécifications faites pendant de temps, ne furent donc pas prises en compte pour la fabrication des poutres préfabriquées des séries BT 70 et BT 50, qui furent mises en place entre 1966 et 1979.

L'effort de cisaillement d'un nombre représentatif de ponts préfabriqués a fait l'objet d'une étude. Des études approfondies avaient pour but de déterminer les possibles réserves en matière de portance afin de pouvoir répondre aux exigences de la norme DIN 4227.

Sur la base des résultats obtenus, il est proposé de maintenir les spécifications sur la portance des poutres préfabriquées BT 70 et BT 50, conformes aux présents catalogues de types et à la directive relative à la capacité portante issues du Ministère fédéral des Transports, sans qu'une vérification de la contrainte diagonale soit exigée.

Ceci exige que toutes les conditions structurales soient remplies et qu'il ne soit pas prévu d'augmenter les charges permanentes ou les charges du trafic.

Inhalt

Teil 1: Nachrechnung von Gewölbebrücken

1	Vorbemerkungen	9
2	Gewölbebrücken	9
2.1	Allgemeines	9
2.2	Vorschriftenvergleich TGL – DIN. . .	10
2.3	Nachrechnung	10
2.4	Verteilung der Lasten	12
3	Berechnung	14
3.1	Statische Modellierung	14
3.2	Nachweisvereinfachungen.	14
3.3	Hilfsmittel	14
4	Schlußfolgerungen, Festlegungen . .	16
5	Literatur	16

Teil 2: Schubsicherung bei Fertigteilträgern BT 70 und BT 50

1	Veranlassung	21
2	Problembeschreibung	21
3	Untersuchungen.	21
3.1	Allgemeines	21
3.2	Vorhandene Nachweissituation . . .	22
3.2.1	Brücke mit Fertigteilträger BT 70. . .	25
3.2.2	Brücke mit Fertigteilträger BT 50. . .	25
3.3	Sicherheitsbetrachtungen	25
3.3.1	Allgemeines	25
3.3.2	Erschließung von Modellreserven . .	26
3.3.3	Ergebnisse	26
3.3.3.1	BT 70.	26
3.3.3.2	BT 50.	27
4	Schlußfolgerungen	36
5	Literatur	37

Anlage 1

Nachweis der begrenzt wirkenden Querbiegesteifigkeit	39
----------------------------------------------------------------	----

Teil 1

Nachrechnung von Gewölbebrücken

Heinz Haser

1 Vorbemerkungen

Die Tragfähigkeitseinstufung bestehender Straßenbrücken der neuen Bundesländer in Lastklassen nach DIN 1072, Ausgabe Dezember 1985, ist für die Straßenbauverwaltungen eine dringliche Aufgabe. Mit [1] ist dazu vom BMV eine Richtlinie herausgegeben worden, mit der diese Aufgabe erleichtert, die Vorgehensweise nach Möglichkeit vereinheitlicht und bei der Vielzahl der zu betrachtenden Brückenbauwerke der erforderliche Aufwand gesenkt werden soll. Mit den darin enthaltenen Hilfsmitteln (Anlagen 5.0 bis 5.7) konnten nur Schwerpunkte behandelt werden, für die nach Dringlichkeit Ergänzungen vorgesehen sind.

Die Gewölbebrücken stellen nach der Anzahl mit ~32 % und nach der Brückennutzfläche mit ~19 % einen beachtlichen Anteil des Brückenbestandes der neuen Bundesländer dar. Bei einer mittleren Brückennutzfläche von ~100 m²/Bauwerk weisen sie in der Mehrzahl geringe Stützweiten auf. Aus diesem Grunde wurden für die Tragfähigkeitseinstufung Betrachtungen zur möglichen Vereinfachung der Nachweisführung, zum Einsatz von Rechenprogrammen und anderer Hilfsmittel ange stellt und daraus entsprechende Empfehlungen abgeleitet. Entsprechende Hinweise aus der zwischenzeitlich vom BMV herausgegebenen Beispielsammlung [2] wurden dabei berücksichtigt.

Gewölbebrücken stellen im Brückenbau eine der ältesten Ausbildungsformen dar. Es ist daher nur natürlich, daß ausführliche Angaben zur Konstruktion und Berechnung der Literatur entnommen werden können. Insbesondere sei auf Angaben zu Grundlagen der Theorie und der Berechnung von Gewölben in der Literatur [3], [4] und [5] verwiesen. Dagegen sind Fragen der Querverteilung, insbesondere der Verkehrslasten und damit die mitwirkende Gewölbebreite mit der anzusetzenden Lastintensität, weit weniger und nicht einheitlich behandelt.

Zielstellung der folgenden Untersuchungen war es, die Besonderheiten der Nachrechnung bestehender Gewölbebrücken im Rahmen der erforderlichen Neueinstufung der Tragfähigkeit zu betrachten und daraus mögliche Vereinfachungen in der Nachweisführung abzuleiten.

2 Gewölbebrücken

2.1 Allgemeines

Als Gewölbebrücken werden im folgenden überschüttete Tragwerke mit im Aufriß gekrümmter Tragwerksachse betrachtet, die geometrisch aufgrund ihrer geringen Querschnittshöhe zur großen Querschnittsbreite ein Flächengebilde darstellen und sich damit gegenüber den stabförmig aufzufassenden Bogenbrücken abgrenzen.

Diese Gewölbebrücken sind in einer Vielzahl von Ausbildungsvarianten vorhanden, so hinsichtlich des Baustoffes als Gewölbe aus

- Mauerwerk
- unbewehrtem Beton
- Stahlbeton

und hinsichtlich der Überschüttung bzw. des Aufbaues

- aus ungebundenem Schüttmaterial (Lockergestein)
- mit längsgegliederten Aufbauten in Form von Stirn- und Zwischenlängswänden
- mit vollständigen oder auf den Zwickelbereich zum Kämpfer sich erstreckenden Aufbetonierungen oder Aufmauerungen
- mit Hohlräumen im Aufbau zur Gewichtseinsparung.

Abhängig von der vorhandenen Gewölbeform und der Lastfunktion aus ständiger Last ergeben sich unterschiedliche Abweichungen zwischen Stützlinie und Gewölbeachse, die im Idealfall zu Null werden (Stützliniengewölbe). Die auftretenden Beanspruchungen werden zum überwiegenden Teil durch die ständigen Lasten bestimmt; der Verkehrslastanteil tritt demgegenüber zurück. Dadurch wirken sich Vereinfachungen in der Erfassung des Verkehrslastanteiles nur in geringerem Maße auf die Gesamtbeanspruchungen aus.

Da die ständigen Lasten den Gewölbequerschnitt in der Regel über die ganze Breite gleichmäßig beanspruchen, erlaubt der oben genannte Umstand, daß auch relativ breite Gewölbe tragwerke in statischer Hinsicht, zurückgeführt auf einen „Gewölbestreifen“, nach der Stabtheorie behandelt werden dürfen.

Die Ermittlung der Beanspruchungen von Gewölbebrücken wurde bisher allgemein unter Vernach-

lässigung der Mitwirkung der Aufbauten vorge-
nommen. Diese Annahme entsprach dem früher
üblichen Konstruktionsaufbau dieser Brücken, bei
dem mit Ausnahme der Stirnwände und des Zwik-
kelmauerwerkes für die Aufbauten Material gerin-
gerer Festigkeit ohne Verbund zum eigentlichen
Gewölbe eingesetzt wurde, wodurch sich diese
Teile der Tragwirkung weitgehend entzogen. Spä-
ter wurden die Aufbauten aus höherwertigem Mate-
rial gebaut, um einer in Fahrbahnnähe liegenden
Dichtungsschicht als feste Unterlage zu dienen.

Auch bei Anordnung von Sparöffnungen zur Ge-
wichtersparnis war dies zur Lastabtragung von
der Fahrbahn zum Gewölbe erforderlich. Jedoch
wurden in der Regel auch diese Aufbauten in der
statischen Modellierung nicht berücksichtigt. Vor-
genommene Bauwerks- und Modellmessungen [6]
zeigen, daß volle und längsgegliederte Aufbauten
bei genügender Materialfestigkeit und ausreichen-
dem Verbund zum Gewölbe sich weitgehend an der
Lastaufnahme beteiligen, so daß in diesen Fällen
die Beschränkung auf die statische Wirkung des ei-
gentlichen Gewölbes nur eine idealisierte untere
Schranke der Tragfähigkeit ergibt.

2.2 Vorschriftenvergleich TGL – DIN

Die Tragfähigkeitseinstufung von Brücken der neu-
en Bundesländer stützt sich – soweit vorhanden –
weitgehend auf die Dokumentationsunterlagen
(Brückenbücher) der Bauwerke. Grundlage der dar-
in enthaltenen Ergebnisse sind die dafür in der ehe-
maligen DDR gültigen Vorschriften. Für Nachrech-
nungen bestehender Straßenbrücken waren dafür
folgende Vorschriften mit ermäßigten Anforderun-
gen gegenüber Neuplanungen maßgebend:

TGL 12 999 (03/1977):

„Nachrechnung bestehender Straßenbrücken“
gültig bis 08/1989

SBA-Vorschrift 169/89 (09/1989):

„Brücken im Verkehrsbau – Nachrechnungen von
Straßenbrücken aus Beton und Mauerwerk“
gültig bis 1990

Aus den Gültigkeitszeiten ist zu ersehen, daß den
Dokumentationsunterlagen weitgehend die Be-
stimmungen nach TGL 12 999 zugrunde liegen.

Im Gegensatz zu der Regelung nach TGL sind in
den entsprechenden DIN-Vorschriften keine unter-
schiedlichen Anforderungen für Neuplanung und
Nachrechnung von bestehenden Bauwerken ent-
halten. Im folgenden soll daher – bezogen auf Ge-
wölbebrücken – eine Gegenüberstellung TGL – DIN

erfolgen, wobei nur auf die für die Nachrechnung
bestehender Tragwerke maßgeblichen Anforde-
rungen eingegangen wird.

2.3 Nachrechnung

Bei der Neuplanung von Gewölbebrücken sind Un-
tersuchungen zur zweckmäßigen Wahl der Bogen-
achse von besonderer Bedeutung. Wenn keine an-
deren Zwänge oder Vorgaben vorliegen, wird man
diese weitgehend der Mittelkraftlinie (Stützzlinie) aus
ständiger Last annähern. Da die Bogenachse erst
gefunden werden soll, erfordert das ein iteratives
Vorgehen.

Dagegen kann bei der Nachrechnung von beste-
henden Bauwerken auf solche Untersuchungen
verzichtet werden und von den vorhandenen

- geometrischen Abmessungen
- konstruktiven Ausbildungsformen
- Materialfestigkeiten

sowie dem aktuellen Erhaltungszustand ausgegan-
gen werden. Diese Angaben können

- a) den Dokumentationsunterlagen des Bauwerkes
(Brückenbuch, Planungsunterlagen) entnom-
men,
- b) bei fehlenden Unterlagen vor Ort am Bauwerk
durch Aufmaß (entsprechend [1], Anlage 4) und
durch Prüfung (entsprechend [1], Anlage 3) fest-
gestellt

werden. Auch bei Übernahme gemäß a) sollten die
Bogenachse sowie die Gewölbedecken zumindest
im Scheitel, dem Viertelpunkt und im Kämpfer
durch Aufmaß kontrolliert werden. Der aktuellen Er-
fassung des Erhaltungszustandes kommt beson-
dere Bedeutung zu. Durch einen intakten Zustand
oder durch entsprechende Mängel, wie zum Bei-
spiel

- ausgewitterten Fugenmörtel
- Mauerwerksausbrüche
- Ribbildung im Gewölbe
- Abreißen oder Verformungen der Stirnmauern
- Öffnung der Scheitelfuge
- freiliegende Bewehrung bei Stahlbetongewöl-
ben
- Gewölbeverformungen usw.

können Rückschlüsse auf die Tragwirkung und da-

Parameter	Nachrechnung		Neuplanung/Nachrechnung
	TGL 12 999	SBA 169/89	DIN 1075
Geometrie, System		<ul style="list-style-type: none"> – Systemeinbindung eingespannter Gewölbe um $1,5 \cdot d_k$ 	<ul style="list-style-type: none"> – Überschüttete Tragwerke mit Stützlinie aus ständiger Last und Mittel aus aktivem Erddruck und Erdruhedruck. – Pfeilerhöhe $f \geq L/3$ – Scheitelüberdeckung ≥ 1 m – Systemeinbindung eingespannter Bögen in Widerlager um d_k
Berechnungsmodell	<ul style="list-style-type: none"> – Elastizitätstheorie – Vereinfacht nach Stützlinien, wenn <ul style="list-style-type: none"> • $f \geq L/7$ • $L \leq 25$ m • Vorschriftung für d/L • Exzentrizität im Querschnitt $e \leq 0,25 \cdot d$ mit Ausnahme bei zulässiger Zugspannung • Überschüttungshöhe beliebig • Nachweis der Wirkung aus Schwinden, Kriechen, Temperatur entfällt 	<ul style="list-style-type: none"> – Elastizitätstheorie – Vereinfacht nach Stützlinienverfahren, wenn <ul style="list-style-type: none"> • $f \geq L/7$ • $L \leq 25$ m • $B \geq L/4$ • $d \geq 0,025 \cdot L$ für $L \geq 10$ m • $d \geq 0,01 \cdot L + 0,15$ m für $L < 10$ m • $e \leq 0,25 \cdot d$ • Bei $L < 15$ m reicht halbseitige Verkehrslast (ohne Berücksichtigung der Lastscheide) • keine Schäden infolge Verformung vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> – Elastizitätstheorie – Temperatur- und Schwindwirkung vernachlässigbar – Nachweis der Knicksicherheit kann entfallen
Lastverteilung	<ul style="list-style-type: none"> – Querrichtung <ul style="list-style-type: none"> • Regellasten einspurig <ul style="list-style-type: none"> $b_m = 4$ m $b_m = 0,25 \cdot L$ größter Wert maßgebend • Militärlasten, Räderfahrzeug <ol style="list-style-type: none"> einspurig <ul style="list-style-type: none"> $b_m = B + 1,0$ m $b_m = 0,25 \cdot L$ zweispurig <ul style="list-style-type: none"> $b_m = 2 \cdot B + 1,0$ m $b_m = 0,40 \cdot L$ größte Werte maßgebend • Militärlasten Kettenfahrzeug einspurig <ul style="list-style-type: none"> $b_m = B + 2,0$ m + $2 \cdot s_{\min}$ mit $B =$ Fahrzeugbreite • Einschränkung der Querverteilung bei Ringrissen und Längsfugen 	<ul style="list-style-type: none"> – Querrichtung <ul style="list-style-type: none"> • Verteilung der Radlasten unter 45° bis Gewölbemittelfläche im Scheitel, mindestens einspurig <ul style="list-style-type: none"> $b_m = 4$ m $b_m = 0,25 \cdot L$ größter Wert maßgebend zweispurig <ul style="list-style-type: none"> $b_m = 7,0$ m 	– keine Angaben
	<ul style="list-style-type: none"> – Längsrichtung <ul style="list-style-type: none"> • unter 45° bis OK Gewölbe unter Lastpunkt 	<ul style="list-style-type: none"> – Längsrichtung <ul style="list-style-type: none"> • unter 45° bis zur Gewölbemittelfläche 	– keine Angaben
Nachweisform	– generell über zulässige Spannungen mit Exzentrizitätsbeschränkung	<ul style="list-style-type: none"> – über Teilsicherheitsberechnung oder – über zulässige Spannungen mit Exzentrizitätsbeschränkung 	<ul style="list-style-type: none"> – Beton und Stahlbeton <ul style="list-style-type: none"> • erf $\gamma = 3 - 1,3 \cdot \text{ges } \mu_0 \geq 2,1$ – Mauerwerk <ul style="list-style-type: none"> • über zulässige Spannungen mit Exzentrizitätsbeschränkungen

Tabelle 1

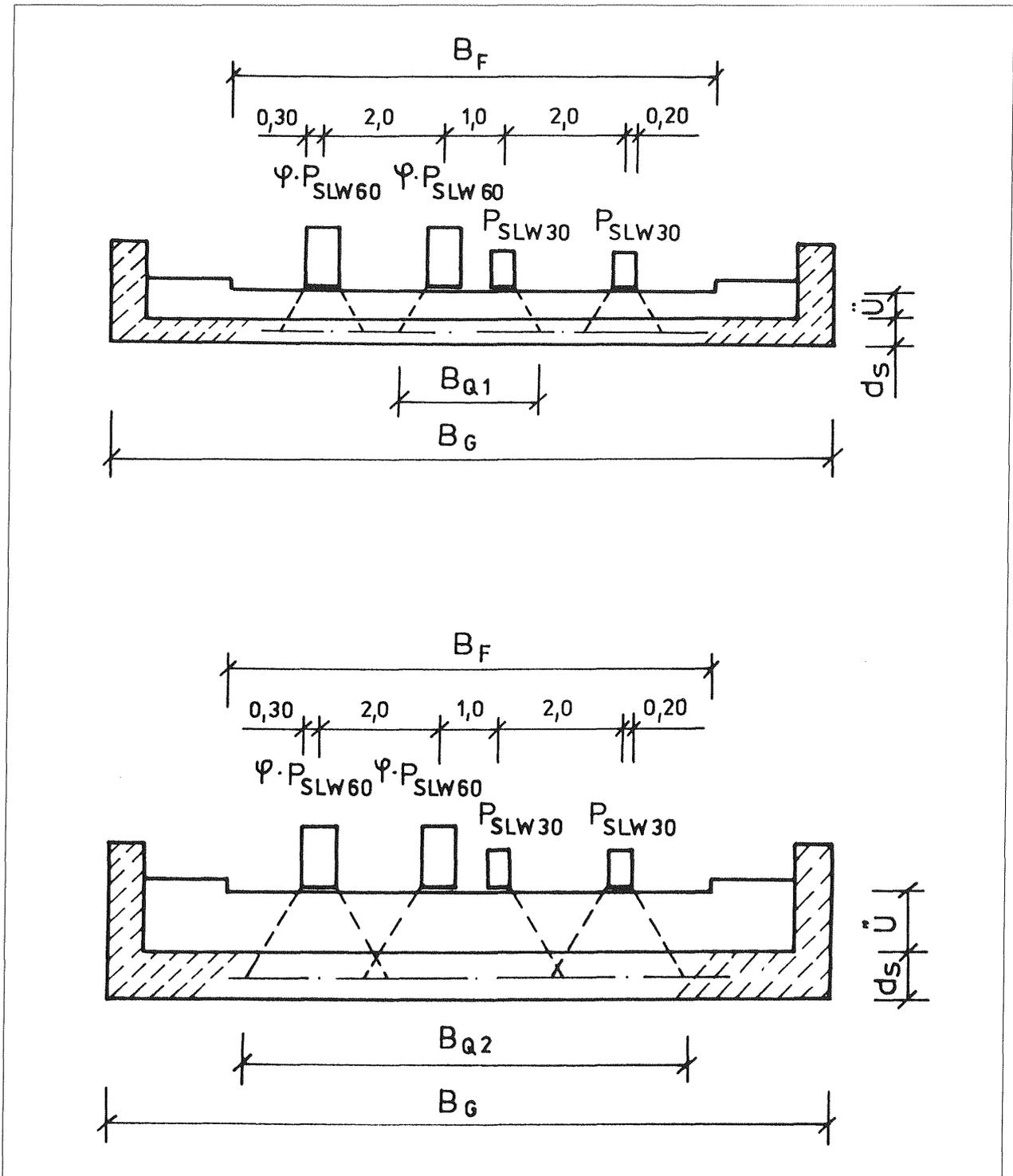


Bild 1

mit auf Gebrauchsfähigkeit und Dauerhaftigkeit gezogen werden. Auch die der Nachrechnung zugrunde zu legende statische Modellierung (Lastverteilungsbreite, Mitwirkung der Aufbauten) muß unter Beachtung dieser Erscheinungsformen vorgenommen werden.

Die Kenntnis der Geometrie, Konstruktionsform, Materialfestigkeiten und des Erhaltungszustandes

macht weitgehende Vereinfachungen im Nachrechnungsprozeß am Einzelbauwerk gegenüber den Anforderungen bei der Neuplanung möglich.

2.4 Verteilung der Lasten

Die ständigen Lasten aus Gewölbequerschnitt, Aufbauten und Fahrbahn beanspruchen in der Regel das Gewölbe über seine Breite gleichmäßig.

Geometrie	Lastverteilungsbreite/Mitwirkende Gewölbebreite	
	nach [2], Beispiel 1	nach 2.2, SBA 169/89
1. Kleiner Stützweitenbereich nach [2], Beispiel 1 L = 6,85 m ds = 0,45 m Ü = 0,45 m BG = 9,40 m BF = 6,10 m $\varphi = 1,4 - 0,008 \cdot 6,85 - 0,1 \cdot 0,45 = 1,3$	$B_{Q1} = (0,6 + 0,5 + 0,4) + 2 \cdot (0,45 + 0,225) \cdot \text{tg } 30^\circ \text{ } ^1)$ $= 2,3 < 3,0 \text{ m}$ $B_M = B_Q + L/5 = 2,3 + 6,85/5 = 3,65 \text{ m}$ Bedingung: $B_M \leq (B_G + B_F)/4 = (9,4 + 6,1)/4 = 3,88 \text{ m}$ maßgebend $B_M = 3,65 \text{ m}$ Lastintensität (Achse) für Brückenklasse 60/30 auf einen Gewölbestreifen von 1 m Breite: $\varphi \cdot P_{60/30} = (1,3 \cdot 100 + 50)/3,65 = 49,4 \text{ kN}$	$B_M = (0,3 + 2,0 + 1,0 + 2,0 + 0,2) + 2 \cdot (0,45 + 0,225) \cdot \text{tg } 30^\circ \text{ } ^1)$ $= 6,28 \text{ m}$ Bedingung: $B_M \geq 7,0 \text{ m}$ maßgebend: $B_M = 7,00 \text{ m}$ $\varphi \cdot P = (1,3 \cdot 200 + 1,00)/7,0 = 51,4 \text{ kN}$
2. größerer Stützweitenbereich L = 34,61 m ds = 1,30 m Ü = 1,00 m BG = 17,30 m BF = 12,00 m $\varphi = 1,4 - 0,008 \cdot 31,65 - 0,1 \cdot 1,0 = 1,05$	$B_{Q1} = 1,5 + 2 \cdot (1,0 + 0,65) \cdot \text{tg } 30^\circ \text{ } ^1)$ $= 3,4 \text{ m} > 3,0$ $B_{Q2} = 5,5 + 2 \cdot (1,0 + 0,65) \cdot \text{tg } 30^\circ \text{ } ^1)$ $= 7,41 \text{ m}$ $B_M = 7,41 + 34,61/5 = 14,33 \text{ m}$ Bedingung: $B_M \leq (17,30 + 12,00)/4 = 7,33 \text{ m}$ maßgebend $B_M = 7,33 \text{ m}$ Lastintensität (Achse) für Brückenklasse 60/30 auf einen Gewölbestreifen von 1 m Breite: $\varphi \cdot P = (1,05 \cdot 200 + 100)/7,33 = 42,3 \text{ kN}$	$B_M = 5,5 + 2 \cdot (1,0 + 0,65) \cdot \text{tg } 30^\circ \text{ } ^1)$ $= 7,41 \text{ m}$ Bedingung: $B_M \geq 7,0 \text{ m}$ maßgebend: $B_M = 7,41 \text{ m}$ $\varphi \cdot P = (1,05 \cdot 200 + 1,00)/7,41 = 41,8 \text{ kN}$

¹⁾ Ansatz von 30° zum Vergleich

Tabelle 2

Diese Aussage wird nur bei Sonderkonstruktionen, zum Beispiel bei großen Auskragungen mit einer ganz oder teilweise außerhalb der Gewölbebreite liegenden Fahrspur oder bei über die Querrichtung diskontinuierlicher Eintragung der Lasten in das Gewölbe usw. eingeschränkt.

Generell wird der überwiegende Anteil der Gesamtbeanspruchungen durch die ständige Last hervorgerufen. Aus diesem Grunde wirken sich voneinander abweichende Festlegungen über die Lastverteilung der Verkehrslasten auf die Gesamtbeanspruchung nur in geringem Maße aus. Da die DIN 1075 dazu keine konkreten Angaben vorschreibt, sind im Rahmen der nach [1] vorzunehmenden Nachrechnungen zum Zwecke der Tragfähigkeitseinstufung Festlegungen vorrangig für eine einheitliche Verfahrensweise zweckmäßig. Einen Überblick auf die Auswirkung unterschiedlicher Annah-

men zur Lastverteilung in Querrichtung sowie zur mitwirkenden Gewölbebreite soll die Tabelle 2 am Beispiel der Brückenklasse 60/30 für kleinere und größere Stützweitenbereiche geben. Damit wird belegt, daß die für die Beanspruchung aus der Verkehrslast maßgebende Lastintensität auf den für die Berechnung reduzierten Gewölbestreifen von 1 m Breite von den unterschiedlichen Lastverteilungsansätzen nur unmaßgeblich beeinflusst wird. Als Bezug gilt Bild 1.

Gegenüber der Neuplanung können jedoch bei der Nachrechnung bestehender Gewölbebrücken die aus dem konstruktiven Aufbau und dem Erhaltungszustand resultierenden Bedingungen berücksichtigt werden und ggf. zu Einschränkungen führen.

So sind unterschiedliche Lastausbreitungswinkel gegen die Senkrechte bei

- ungebundener Auffüllung von 30°
- Aufmauerung bzw. Aufbetonierung von 45°

vertretbar, wirken sich jedoch nur bei größeren Überbauungshöhen merklich aus.

Dagegen können durch einen schlechten Erhaltungszustand mit durchgehenden Ringrissen in Gewölbelängsrichtung und damit wesentlich eingeschränkter Lastausbreitung erhöhte Lastintensitäten aus Verkehrslast eingetragen und die Gesamtbeanspruchung deutlich beeinflusst werden.

3 Berechnung

3.1 Statische Modellierung

In Brückenlängsrichtung ist das zu wählende statische System der Wirkungsweise des vorhandenen Bauwerkes weitgehend anzupassen. Insbesondere aus dem Erhaltungszustand können dabei Änderungen gegenüber dem ursprünglichen Berechnungsmodell in Betracht gezogen werden, zum Beispiel bei vorliegender Fugenöffnung im Scheitel und/oder im Kämpferbereich eines als eingespannt geltenden Gewölbes.

In Brückenquerrichtung darf das Tragverhalten des Gesamtquerschnittes, auf einen „Gewölbestreifen“ zurückgeführt, untersucht werden. Die Berechtigung dazu folgt aus der durch die ständigen Lasten hervorgerufenen gleichmäßigen Beanspruchung des Gewölbequerschnittes über die Brückenbreite, was nach [6] im Regelfall auch weitgehend für den Verkehrslastanteil gilt.

Bei der Nachrechnung im Rahmen von [1] ist grundsätzlich nur der eigentliche Gewölbequerschnitt als tragende Konstruktion zu betrachten. In Fällen, in denen die Aufbauten (Stim- und Längswände, teilweise oder vollständiger Aufbeton oder Übermauerung) in Verbund zum Gewölbe stehen, ist das dabei erhaltene Ergebnis nur als unterer Grenzwert der Tragfähigkeit zu betrachten, der die Tragwirkung der Gewölbebrücke nur unvollkommen repräsentiert.

Im Sonderfall können – insbesondere wenn die erforderliche Tragfähigkeit nicht erreicht wird – weitergehende Untersuchungen notwendig sein, bei denen die Mitwirkung der Aufbauten teilweise oder vollständig berücksichtigt wird. Dies kann in der Regel nur iterativ geschehen, da in diesem Fall die Bereiche auftretender größerer Zugspannungen im statischen Modell von der Mitwirkung schrittweise

zu eliminieren sind. Dies betrifft allgemein die weit von der theoretischen Gewölbeachse entfernten oberen Bereiche der Aufbauten.

3.2 Nachweisvereinfachungen

Bei der Nachrechnung zum Zwecke der Tragfähigkeitseinstufung nach [1] darf unter Beachtung des Erhaltungszustandes des Gewölbes in der Regel von folgenden Vereinfachungen Gebrauch gemacht werden:

- Die Nachweise dürfen auf die Gewölbequerschnitte im Scheitel, Viertelspunkt und Kämpfer beschränkt werden. Jedoch sind für diese Querschnitte die Einflußlinien der Schnittgrößen bereitzustellen.
- Bei Gewölben mit maximal 15 m Stützweite darf für die entsprechenden Lastfälle mit halbseitiger Belastung bis zum Gewölbescheitel ohne Beachtung der Lastscheide (Nullstelle der Einflußlinie) gerechnet werden.
- Erddrucklasten in Richtung der Bogenachse dürfen außer Ansatz bleiben.
- Bei Gewölben aus unbewehrtem Beton oder Mauerwerk dürfen Schnittgrößen aus Temperaturänderung unberücksichtigt bleiben.
- Die Querschnittswerte von Stahlbetongewölben dürfen unter Vernachlässigung der Bewehrung und unter Annahme einer ungerissenen Zugzone ermittelt werden. In unbewehrten Gewölben ist in Abhängigkeit vom Erhaltungszustand der Einfluß der Rißbildung auf die Schnittgrößenermittlung zu beachten.
- Bei Gewölbereihen dürfen die Schnittgrößen im Tragwerk für jedes Feld einzeln ermittelt werden, wenn die Nachgiebigkeit der begrenzenden Kämpfer sowie der Einfluß aus der Beanspruchung der Nachbarfelder und der zugehörigen Unterbauten überschläglich erfaßt wird.
- Ein Ermüdungsfestigkeitsnachweis ist nicht erforderlich.

3.3 Hilfsmittel

In der Literatur sind die Berechnungsgrundlagen für Gewölbebrücken weitgehend aufbereitet, zum Beispiel [3], [4], [5]. Soweit das Aufmaß eine analytisch zu bestimmende Mittellinie des Gewölbes (Parabel, Kreis, Kettenlinie) ergibt, sind darüber hinaus geschlossene Lösungen für die Gleichungen der Einflußlinien sowie die statisch überzähligen Schnitt-

größen für die erforderlichen Lastfälle, zum Beispiel nach [5] verfügbar. Bei voll überschütteten bzw. überbauten eingespannten Gewölbebrücken wird die Stützlinie aus ständiger Last bei symmetrischer Gewölbeform in guter Näherung durch eine symmetrische Kettenlinie beschrieben, die durch die Stützweite, den Gewölbestich sowie die Belastungsintensitäten im Scheitel (g_s) und Kämpfer (g_k) bestimmt ist.

Zur rationellen Nachweisführung stehen darüber hinaus weitere Rechenhilfsmittel zur Verfügung:

– Tabellenwerke

Insbesondere für die Nachweisführung am eingespannten Bogen sind eine Reihe von Tabellenwerken, zum Beispiel [7], [8], aufgestellt worden. Damit können vorteilhaft

- die Einflußlinie der Bogenkraft H
- die Einflußlinien der Biegemomente im Scheitel, Viertelpunkt und Kämpfer
- die maximalen und minimalen Biegemomente einschließlich der zugehörigen Horizontalkräfte H unter gleichmäßig verteilter Last

entnommen werden. Durch Überlagerung können auch von der Stützlinie abweichende Bogenformen erfaßt werden. Nähere Angaben zur Nachweisführung unter Anwendung von [7] können [2], Beispiel 1, entnommen werden.

– Rechenprogramme

Zur Berechnung des eigentlichen Gewölbes stehen eine größere Anzahl von Stabwerksprogrammen, zum Beispiel mit finiten Stabelementen, zur Verfügung, mit denen das Gewölbe als Stabpolygon berechnet werden kann. Durch Variation der Randbedingungen (statisches System, Einspanngrad, Stützlinienlage, Steifigkeiten usw.) ist das Berechnungsmodell leicht an das vorhandene Bauwerk oder die aus dem vorhandenen Erhaltungszustand resultierenden Bedingungen anzupassen. Generell ergibt sich folgender Arbeitsablauf:

- Diskretisierung der Gewölbeform durch Unterteilung in Stababschnitte.
- Beschreibung der Geometrie und Steifigkeiten der Einzelstäbe.
- Stabweise Erfassung der Einzellasten.
- Erzeugung der Einflußlinien zur Ermittlung der ungünstigsten Verkehrslaststellungen.

- Anordnung und stabweise Erfassung der Verkehrslasten (lastfallweise).
- Lastfallkombinationen.

Die Lasteintragung in den tragenden Querschnitt erfolgt dabei idealisiert in den Knotenpunkten in Querschnittsachse. Als Ergebnis können so die Schnittgrößen bzw. Spannungen in allen Stabzugknoten sowie die Einflußlinien erhalten werden.

Bei weitergehenden Untersuchungen, insbesondere wenn die Mitwirkung von im Verbund mit dem Gewölbe stehenden Aufbetonierungen oder Aufmauerungen berücksichtigt werden sollen, führt die Diskretisierung mittels finiter Stabelemente in Verbindung mit der damit festgelegten Stabachse sowie der Lasteintragung in der Stabachse zu Schwierigkeiten. Hier ist es zweckmäßig, die Gewölbeberechnung als ebenes Problem zu modellieren und dafür geeignete finite Elemente (Scheiben-, Schalenelemente) einzusetzen. Generell kann im Rahmen der Nachrechnung nach [1] von der Gültigkeit der Elastizitätstheorie und damit einer über den Querschnitt linearen Dehnungsverteilung ausgegangen werden.

Die Anwendung nichtlinearer Untersuchungsmethoden sowie die Untersuchung am räumlichen Tragmodell stellen ausgesprochene Ausnahmefälle dar und haben insbesondere dort Berechtigung, wo die Ergebnisse mit Meßwerten am Modell oder Bauwerk verglichen werden sollen. Bei der Vernetzung des als ebenes Problem modellierten Tragsystems ist zweckmäßig, wie folgt vorzugehen:

- Vernetzung nur des eigentlich tragenden Längsschnittes (Gewölbe und Aufbetonierung oder Aufmauerung). Die ständigen Lasten des Tragwerkes werden über die Netzgeometrie automatisch erfaßt, die der Überschüttung, Fahrbahn sowie der Verkehrslasten sind gesondert zu ermitteln und als äußere Lasten in den Netzknoten in OK-tragenden Querschnitt einzutragen.
- Eine weitere Möglichkeit der Vernetzung des gesamten Tragwerkslängsschnittes einschließlich Überschüttung und Fahrbahnbefestigung, bei der die Mitwirkung der nicht zum eigentlichen Tragwerk gehörenden Netzbereiche (Überschüttung, Fahrbahn) durch Ansatz eines sehr geringen Elastizitätsmoduls ausgeschlossen wird, ist ungünstiger zu beurteilen. Die Eigengewichtslasten werden über die Netzgeometrie automatisch erfaßt, die Verkehrslasten in OK-Fahrbahn eingetragen. Vergleichsrechnungen dazu haben jedoch gezeigt, daß durch den Ansatz eines sehr

geringen Elastizitätsmoduls im nicht mittragenden Teil sehr große fiktive Verformungen ausgewiesen werden, die zu numerischen Schwierigkeiten führen können.

4 Schlußfolgerungen, Festlegungen

Unter Beachtung der vorgenannten Punkte sind Nachrechnungen von Gewölben zum Zweck der Tragfähigkeitseinstufung nach [1] unter Berücksichtigung folgender Grundsätze aufzustellen:

- Gewölbe sind nach DIN 1075 grundsätzlich nach der Elastizitätstheorie zu berechnen.
- Die Berechnung darf vereinfacht nach den Stützlinienverfahren bei Einhaltung folgender Bedingungen vorgenommen werden, wenn
 - am Bauwerk keine Schäden aus Verformungen vorhanden sind,
 - die Breite $b \geq 0,25 \cdot L$ ist,
 - das Pfeilverhältnis $f/L \geq 1/7$ ist,
 - die Stützweite $L \leq 25$ m ist,
 - die Gewölbedicke d für
 - $L \geq 10$ m $\rightarrow d \geq 0,025 \cdot L$
 - $L < 10$ m $\rightarrow d \geq 0,01 \cdot L + 0,15$ m ist,
 - als Tragwerk nur das Gewölbe ohne Aufbauten betrachtet wird,
 - die Exzentrizität ideell angeordneter Gelenke in Scheitel und Kämpfer mit $e \leq 0,25 \cdot d$ begrenzt wird.
- Zur Aufnahme der Verkehrslast der am stärksten belasteten Spur bzw. Spuren darf bei der Berechnung nach einem idealisierten Stabwerksmodell ein Gewölbestreifen als mitwirkend angesetzt werden, dessen Breite durch die Verteilung der Rad- bzw. Kettenlasten bis zur Mittelfläche des Gewölbes im Scheitel bestimmt wird. Der Lastausbreitungswinkel gegen die Senkrechte ist bei
 - ungebundener Überschüttung mit 30°
 - Aufmauerung oder Aufbetonierung mit 45°
 zu berücksichtigen.

Unabhängig von der Lastverteilung gelten jedoch folgende Mindestbreiten für die mitwirkende Gewölbebreite:

Regellasten:

$$\begin{array}{ll} \text{einspurig} & B_M = 4 \text{ m} \\ & B_M = 0,25 \cdot L \end{array}$$

$$\text{zweispurig} \quad B_M = 7 \text{ m}$$

Militärlasten:

$$\begin{array}{ll} \text{einspurig} & B_M = B + 1,0 \text{ m} \\ & B_M = 0,25 \cdot L \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{zweispurig} & B_M = 2 \cdot B + 1,0 \text{ m} \\ & B_M = 0,40 \cdot L \end{array}$$

Es sind jeweils die größten Mindestwerte maßgebend (B = Fahrzeugbreite; L = Gewölbestützweite).

Alle über den mitwirkenden Gewölbestreifen stehenden Verkehrslasten sind als mittige Belastung des Gewölbestreifens anzusetzen.

Bei durchgehenden Längsfugen oder auftretenden Ringrissen ist die mitwirkende Gewölbebreite nach der Bauwerksgeometrie bzw. dem vorhandenen Erhaltungszustand einzuschränken.

- In Längsrichtung dürfen Einzellasten unter Einbeziehung der Überschüttungshöhe zuzüglich der Aufstandslänge bis zur Gewölbemittelfläche unter den vorgenannten Lastausbreitungswinkeln verteilt werden.
- Bei unbewehrten Beton- oder Mauerwerksgewölben ist auch die Beanspruchung auf Durchstanzen unter Radlast im Scheitelquerschnitt zu betrachten. Dies ist insbesondere bei geringer Überschüttungshöhe und bei vorhandener Rißbildung im Scheitelpbereich des Gewölbes von Bedeutung.

5 Literatur

- [1] Der Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau: Richtlinie zur Tragfähigkeitseinstufung bestehender Straßenbrücken der neuen Bundesländer in Lastklassen nach DIN 1072, Ausgabe Dezember 1985. Ausgabe April 1992
- [2] Der Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau: Beispielsammlung für die Nachrechnung bestehender Straßenbrücken zur Einstufung in die Brückenklassen der DIN 1072, Ausgabe Dezember 1985, und STANAG 2021. Ausgabe Dezember 1991

-
- [3] MÖRSCH, E.: Statik der Gewölbe und Rahmen, Teil A und B, Verlag Wittmer, Stuttgart, 1947
 - [4] DISCHINGER, F.: Massivbau, Taschenbuch für Bauingenieure, Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1949
 - [5] BEYER, K.: Die Statik im Stahlbetonbau, Springer-Verlag Berlin, 1948
 - [6] BRAUNE, W.: Über die Tragwirkung von Gewölbebrücken mit längsgegliederten massiven Aufbauten. Die Bautechnik 57(1980), 2 und 3, S. 37–45 und 93–100.
 - [7] STRASSNER, A.: Neuere Methoden zur Statik der Rahmentragwerke und der elastischen Bogenträger, 2. Band. Der Bogen und das Brückengewölbe, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin, 1927 (3. Auflage)
 - [8] KÖGLER, F.: Gewölbetabellen, Vereinfachungen für Entwurf und Berechnung statisch bestimmter und unbestimmter Gewölbe, 1928 (2. Auflage)

Teil 2

Schubsicherung bei Fertigteilträgern BT 70 und BT 50

Heinz Haser
Rolf Kaschner

1 Veranlassung

In den neuen Bundesländern ist derzeit eine Tragfähigkeitseinstufung bestehender Straßenbrücken in Lastklassen nach DIN 1072 vorzunehmen. Vom BMV ist dazu eine Richtlinie [1] erlassen worden, mit der bei der Vielzahl der zu behandelnden Brückenbauwerke eine einheitliche und vereinfachte Nachweisführung angestrebt wird. Darin sind für die in einer Vielzahl vorhandenen Fertigteilbrücken der Serien BT 50, BT 70, BT 500 und BT 700 tabellarisch Abgrenzungen angegeben, für welche Fertigteilträgertypen bei gutem Erhaltungszustand und Einhaltung des Geltungsbereiches die alten Tragfähigkeitseinstufungen für die Brückenklassen 60 bzw. 45 übernommen werden können und für welche weitere Nachweisführungen erforderlich sind.

Insbesondere bei den Serien BT 50 und BT 70 sind bei solchen Untersuchungen, die allerdings eine Nutzungserweiterung (Streckenüberführung im Hocheinbau, Verkehrslasterhöhung auf Brückenklasse 60/30) vorsahen und damit außerhalb des Geltungsbereiches von [1] liegen, eine nicht ausreichende Schubsicherung festgestellt worden. Aufgrund dieser Anfragen hat das BMV die BAST mit Schreiben vom 25. 10. 1993 aufgefordert, zu dieser Problematik Stellung zu nehmen.

2 Problèmbeschreibung

Anfang der 70er Jahre wurden international neben anderen Nachweisverschärfungen insbesondere die Nachweise der Schubsicherung strenger gefaßt (DIN 1045, Ausgabe 01/1972). In der ehemaligen DDR wurden diese Regelungen für den Neubau mit TGL O-1045 ab 1. 1. 1974 verbindlich eingeführt. Für typisierte Serienbauteile wurde für die Überarbeitung der entsprechenden Typenbauelementekataloge eine Übergangszeit von 5 Jahren gewährt. Diese verschärften Nachweisregelungen wurden nicht auf den vorhandenen Bauwerksbestand ausgedehnt, soweit nicht eine Nutzungserweiterung (Umbau, Verkehrslasterhöhung) vorlag.

Die hier zu betrachtenden Fertigteilbauwerke, die in unterschiedlichen Varianten über einen Zeitraum von rund 30 Jahren gefertigt und eingebaut wurden, sind daher – wie auch alle anderen Brücken – nach in diesen Zeiten unterschiedlich geltenden Vorschriften bemessen worden, und zwar

- BT 50, BT 70 bis 1979 ohne,
- BT 500, BT 700 ab 1979 mit

Beachtung der Nachweisverschärfungen. Unabhängig davon wurde jedoch bei Überarbeitungen oder Ergänzungen der Typenkataloge die Schubbewehrung verstärkt, zum Beispiel bei den im Zeitraum von 1970–1975 eingesetzten im Spannbett mit sofortigem Verbund gefertigten BT 50 NSp.

Generell muß man davon ausgehen, daß durch eine Vorschriftenveränderung der bis dahin für eine Nutzungszeit von 80 bis 100 Jahren errichtete Brückenbestand nicht in Frage gestellt werden kann, soweit keine schubspannungsbedingten Schädigungen festgestellt werden und keine Nutzungserweiterung vorgesehen ist.

Da es sich jedoch bei den genannten Fertigteilträgerbrücken um Bauwerke mit typisierten Serienbauteilen handelt, die in einer Vielzahl vorhanden sind, sollen nähere Betrachtungen zur Sicherheitslage – ausgehend vom heutigen Vorschriftenstand – angeschlossen werden.

3 Untersuchungen

3.1 Allgemeines

Im Rahmen der durchzuführenden Beurteilung der Bauwerkssicherheit war es nicht möglich, das gesamte Fertigteilträgersortiment zu erfassen. Die Untersuchungen erstreckten sich daher auf je ein als repräsentativ ausgewähltes Bauwerk mit Fertigteilträgern BT 70 und BT 50 und wurden auf den für den Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen maßgebenden Übergangsquerschnitt zwischen Voll- und Hohlquerschnitt beschränkt.

Für die Schnittgrößenermittlung wurde das Bauwerk als Platte mit orthotroper Steifigkeitsverteilung modelliert. Grundlage der Schnittgrößenberechnung ist die einfache KIRCHHOFFSche Plattentheorie mit den bekannten Annahmen:

- linear elastisches Materialverhalten (HOOKEsches Gesetz)
- Ebenbleiben der Querschnitte (Dicke \ll Breite, Länge)
- unverzerrte Mittelebene (Verformung \ll Dicke).

Die Tragfähigkeit beider untersuchter Bauwerke ist nach den dafür geltenden Typenkatalogen [2], [3] sowie nach [1] mit Brückenklasse 60 ausgewiesen.

Im folgenden sollen die Nachweise am Übergangsquerschnitt für die Brückenklassen 60 und 30/30 auf der Grundlage heute geltender Vorschriftenregelungen geführt werden. Dabei werden die Laststellungen nach den Einflußflächen für folgende Schnittgrößenkombinationen bestimmt:

- LF 1: max. MT, zugeh. Q, zugeh. M für Brückenkategorie 60
- LF 2: max. MT, zugeh. Q, zugeh. M für Brückenkategorie 30/30
- LF 3: max. Q, zugeh. MT, zugeh. M für Brückenkategorie 60
- LF 4: max. Q, zugeh. MT, zugeh. M für Brückenkategorie 30/30

3.2 Vorhandene Nachweissituation

3.2.1 Brücke mit Fertigteilträgern BT 70

Als repräsentativ wurde aus dem Stützweitenbereich von 10,2–21,2 m ein Bauwerk von 16,2 m Stützweite und einer Breite von 10,0 m ausgewählt. Die Träger BT 70 sind im Zeitraum 1966–1979 eingesetzt worden.

Der Querschnitt (Abb. 1) setzt sich aus

9 Spannbetonfertigteilen (Normalträger)
BT 70 N 17.5

2 Spannbetonfertigteilen (Randträger)
BT 70 R 17.6 b

zusammen. Als Baustoffe wurden verwendet:

Beton: B 600 ~ B 45

Schlaffe Bewehrung: St-A I nach TGL 12 530

Spannstahl: St 140/160

Die Ergebnisse vom Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen für den Normalträger BT 70 N sind für die Lastfälle 1 bis 4 in Tabelle 1 sowohl im Gebrauchszustand als auch im Bruchzustand zusammengestellt. Da im Übergangsquerschnitt im ganzen Querschnitt Druckspannungen herrschen, treten die maximalen schiefen Hauptspannungswerte in der Schwerachse des Querschnittes auf.

Für die Lastfälle 2 bis 4 werden die zulässigen Hauptzugspannungswerte im Gebrauchszustand sowie ohne Nachweis der Schubbewehrung im Bruchzustand auch nach heutigen Vorschriften eingehalten. Für den Lastfall 1 (max. MT, zugeh. Q, zugeh. M) ergibt sich für diesen Nachweis folgende Situation:

Hauptspannung σ_1 in (N/mm ²) aus	Gebrauchszustand		σ_1 vorh.
	zul. σ_1 nach TGL 0-4227 (08/1963)	zul. σ_1 nach DIN 4227 (07/1988)	
M + Q	2,4	2,6	0,25
M + T	2,0	2,6	0,83
M + Q + T	3,0	2,6	1,26
	Bruchzustand		
M + Q	2,4	2,0	0,82
M + T	2,0	1,2	1,33
M + Q + T	3,0	2,0	3,18

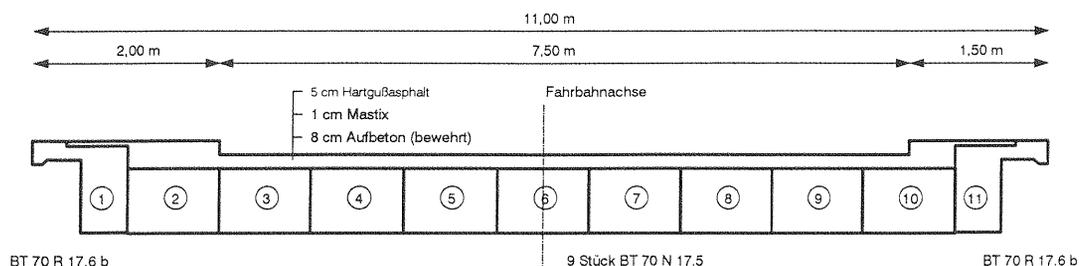
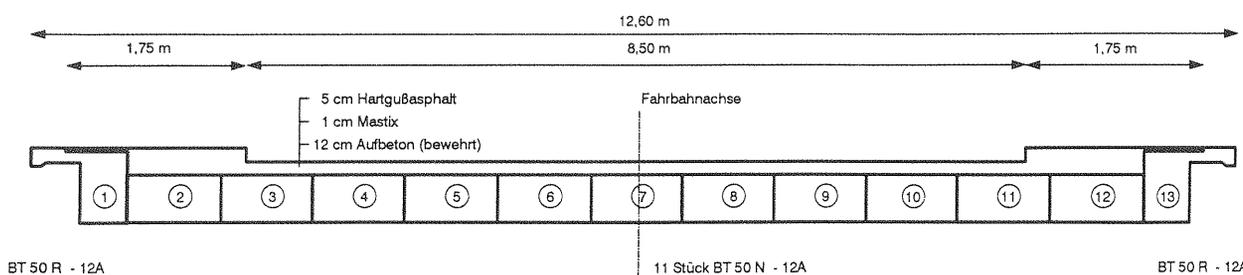


Abb.1: Querschnitt BT 70-Bauwerk



BT 50 R - 12A

11 Stück BT 50 N - 12A

BT 50 R - 12A

Abb.2: Querschnitt BT 50-Bauwerk

Übergangsquerschnitt			LF1: max MT für Brkl.60	LF2: max MT für Brkl.30/30	LF3: max Q für Brkl.60	LF4: max Q für Brkl.30/30
Gebrauchszustand						
M_g2		kNm	53,5	53,5	53,5	53,5
M_g3		kNm	19,6	19,6	19,6	19,6
M_p		kNm	68,0	54,0	119,0	97,0
M_T,p		kNm	186,0	108,0	12,0	9,0
Q_g1		kN	72,6	72,6	72,6	72,6
Q_g2		kN	43,0	43,0	43,0	43,0
Q_g3		kN	17,0	17,0	17,0	17,0
Q_v+s+k		kN	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7
Q_p		kN	67,0	42,0	129,0	92,0
M_g2+g3+p		kNm	141,1	127,1	192,1	170,1
Q		kN	156,9	131,9	218,9	181,9
W_T		cm ³	110084	110084	110084	110084
sigma_b,g1+v+s+k	oben	N/cm ²	-41	-41	-41	-41
sigma_b,g1+v+s+k	unten	N/cm ²	-992	-992	-992	-992
k_z = 1/Wo	oben	m ⁻³	-1,562E-05	-1,562E-05	-1,562E-05	-1,562E-05
k_z = 1/Wu	unten	m ⁻³	1,472E-05	1,472E-05	1,472E-05	1,472E-05
sigma_b	oben	N/cm ²	-261,4	-239,5	-341,1	-306,7
sigma_b	unten	N/cm ²	-784,3	-804,9	-709,2	-741,6
h_i		mm	360	360	360	360
sigma_b,i		N/cm ²	-515,4	-514,1	-519,9	-517,9
tau_Q=1,i		N/cm ²	0,733	0,733	0,733	0,733
tau_Q,i		N/cm ²	115,0	96,7	160,5	133,3
tau_T		N/cm ²	169,0	98,1	10,9	8,2
tau_Q,i+T		N/cm ²	284,0	194,8	171,4	141,5
sigma_I-Q		N/cm ²	24,5	17,6	45,5	32,3
sigma_I-T		N/cm ²	50,5	18,1	0,2	0,1
sigma_I-T+Q		N/cm ²	125,8	65,5	51,4	36,1
Ausgangswerte im Gebrauchszustand						
sigma_b,v+s+k	oben	N/cm ²	114	114	114	114
sigma_b,v+s+k	unten	N/cm ²	-1135	-1135	-1135	-1135
sigma_b,g1	oben	N/cm ²	-155	-155	-155	-155
sigma_b,g1	unten	N/cm ²	143	143	143	143
sigma_b,g2+g3+p	oben	N/cm ²	-220,4	-198,5	-300,1	-265,7
sigma_b,g2+g3+p	unten	N/cm ²	207,7	187,1	282,8	250,4
Bruchzustand						
gamma			1,75	1,75	1,75	1,75
sigma_b	oben	N/cm ²	-542,9	-504,7	-682,4	-622,2
sigma_b	unten	N/cm ²	-521,3	-557,3	-389,9	-446,6
h_i		mm	360	360	360	360
sigma_b,i		N/cm ²	-532,4	-530,3	-540,3	-536,9
Q		kN	306,6	262,9	415,1	350,4
tau_Q,i		N/cm ²	224,7	192,7	304,3	256,8
tau_T		N/cm ²	295,7	171,7	19,1	14,3
tau_Q,i+T		N/cm ²	520,4	364,4	323,3	271,1
sigma_I-Q		N/cm ²	82,2	62,6	136,7	103,1
sigma_I-T		N/cm ²	131,7	50,7	0,7	0,4
sigma_I-T+Q		N/cm ²	318,3	185,5	151,2	113,1

Tabelle 1: Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen für BT 70 N – Übergangsquerschnitt

Übergangsquerschnitt			LF1: max MT für Brkl.60	LF2: max MT für Brkl.30/30	LF3: max Q für Brkl.60	LF4: max Q für Brkl.30/30
Gebrauchszustand						
M_g2		kNm	29,5	29,5	29,5	29,5
M_g3		kNm	12,8	12,8	12,8	12,8
M_p		kNm	65,7	43,3	107,3	85,7
M_T,p		kNm	142,3	90,5	1,5	11,1
Q_g1		kN	37,7	37,7	37,7	37,7
Q_g2		kN	20,7	20,7	20,7	20,7
Q_g3		kN	10,3	10,3	10,3	10,3
Q_v+s+k		kN	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3
Q_p		kN	59,6	33,4	106,1	74,6
M_g2+g3+p		kNm	108,0	85,6	149,6	128,0
Q		kN	1,0	-25,2	47,5	16,0
W_T		cm ³	69454	69454	69454	69454
sigma_b,g1+v+s+k	oben	N/cm ²	-169	-169	-169	-169
sigma_b,g1+v+s+k	unten	N/cm ²	-938	-938	-938	-938
k_z = 1/Wo	oben	m ⁻³	-2,855E-05	-2,855E-05	-2,855E-05	-2,855E-05
k_z = 1/Wu	unten	m ⁻³	2,654E-05	2,654E-05	2,654E-05	2,654E-05
sigma_b	oben	N/cm ²	-477,3	-413,4	-596,1	-534,4
sigma_b	unten	N/cm ²	-651,4	-710,8	-541,0	-598,3
h_i		mm	240	240	240	240
sigma_b,i		N/cm ²	-567,8	-568,1	-567,4	-567,6
tau_Q=1,i		N/cm ²	0,733	0,733	0,733	0,733
tau_Q,i		N/cm ²	0,7	-18,5	34,8	11,7
tau_T		N/cm ²	204,9	130,3	2,2	16,0
tau_Q,i+T		N/cm ²	205,6	111,8	37,0	27,7
sigma_I-Q		N/cm ²	0,0	0,6	2,1	0,2
sigma_I-T		N/cm ²	66,2	28,5	0,0	0,4
sigma_I-T+Q		N/cm ²	66,6	21,2	2,4	1,3
Ausgangswerte im Gebrauchszustand						
sigma_b,v+s+k	oben	N/cm ²	-8	-8	-8	-8
sigma_b,v+s+k	unten	N/cm ²	-1088	-1088	-1088	-1088
sigma_b,g1	oben	N/cm ²	-161	-161	-161	-161
sigma_b,g1	unten	N/cm ²	150	150	150	150
sigma_b,g2+g3+p	oben	N/cm ²	-308,3	-244,4	-427,1	-365,4
sigma_b,g2+g3+p	unten	N/cm ²	286,6	227,2	397,0	339,7
Bruchzustand						
gamma			1,75	1,75	1,75	1,75
sigma_b	oben	N/cm ²	-829,3	-717,4	-1037,2	-929,3
sigma_b	unten	N/cm ²	-323,9	-427,9	-130,7	-231,0
h_i		mm	240	240	240	240
sigma_b,i		N/cm ²	-566,5	-566,9	-565,8	-566,2
Q		kN	97,2	51,4	178,6	123,5
tau_Q,i		N/cm ²	71,3	37,7	130,9	90,5
tau_T		N/cm ²	358,5	228,0	3,8	28,0
tau_Q,i+T		N/cm ²	429,8	265,7	134,7	118,5
sigma_I-Q		N/cm ²	8,8	2,5	28,8	14,1
sigma_I-T		N/cm ²	173,7	80,3	0,0	1,4
sigma_I-T+Q		N/cm ²	231,5	105,1	30,4	23,8

Tabelle 2: Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen für BT 50 N – Übergangsquerschnitt

Es ist zu ersehen, daß die zulässigen Werte für die Bemessung ohne Nachweis der Schubbewehrung unter Beachtung des damaligen Sicherheitsfaktors 1,7 gegenüber jetzt 1,75 bei der Neuplanung eingehalten wurden. Daraus folgt, daß die Schub- und Torsionsbewehrung damals mit Bügeln St A-I, \varnothing 6 mm, $t = 10$ cm konstruktiv festgelegt wurde und nach heutigen Maßstäben sehr gering ist. Die schiefen Hauptdruckspannungen unterschreiten die zulässigen Werte deutlich.

Ein nach den jetzt zulässigen Spannungswerten erforderlicher Nachweis der Bewehrung hat folgendes Ergebnis:

- Für den Nachweis der Stegzugspannungen unter Schub wird nach [4], S. 213 ff., davon Gebrauch gemacht, daß der Druckgurt einen Teil der Querkräfte übernimmt, die Druckstreben flacher als 45° verlaufen und somit die Stegzugspannungen vermindert werden. Maßgebend wird die Mindestbewehrung, die durch die vorliegende Bewehrung eingehalten ist.
- Die erforderliche Bügelbewehrung aus Torsion wird bei weitem nicht abgedeckt, während die dafür erforderliche Längsbewehrung vorhanden ist.

3.2.2 Brücke mit Fertigteilträgern BT 50

Als repräsentativ wurde aus dem Stützweitenbereich von 6,5 bis 13,5 m ein Bauwerk von 11,50 m Stützweite ausgewählt. Die Träger BT 50 wurden im Zeitraum von 1966–1979 eingesetzt.

Die im Zeitraum von 1970–1975 angewendeten, im Spannbett hergestellten Träger BT 50 NSp werden in diesem Zusammenhang nicht betrachtet, da sie im Bereich des Übergangsquerschnittes eine erheblich stärkere Bügelbewehrung (ST A-III, \varnothing 8 mm, $t = 8$ cm) erhalten haben.

Der Querschnitt (Abb. 2) setzt sich aus

- 11 Spannbetonfertigteilen (Normalträger)
BT 50 N – 12 A
- 2 Spannbetonfertigteilen (Randträger)
BT 50 R – 12 A

zusammen. Angaben zu den Baustoffen wie bei BT 70 unter 3.2.1.

Die Ergebnisse vom Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen für den Normalträger BT 50 N sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Für den Lastfall 1 (max MT, zugeh. Q, zugeh. M) ergibt sich folgende Situation:

Hauptspannung σ_1 in N/mm ² aus	Gebrauchszustand		σ_1 vorh.
	zul. σ_1 nach TGL 0-4227 (85/1963)	zul. σ_1 nach DIN 4227 (07/1988)	
M + Q	2,4	2,6	~ 0
M + T	2,0	2,6	0,76
M + Q + T	3,0	2,6	0,76
Bruchzustand			
M + Q	2,4	2,0	0,11
M + T	2,0	1,2	2,93
M + Q + T	3,0	2,0	2,93

Hinsichtlich der Einhaltung der Bemessungswerte bei der Neuplanung gelten die zu den Fertigteilträgern BT 70 gemachten Ausführungen analog. Die Bügelbewehrung ist dabei mehrfach verändert worden. Die schiefen Hauptdruckspannungen unterschreiten die zulässigen Werte deutlich.

Ein nach den jetzt zulässigen Spannungswerten erforderlicher Nachweis der Bewehrung hat folgendes Ergebnis:

- Für den Nachweis der Schubbewehrung wird infolge sehr geringer resultierender Querkräfte die Mindestbewehrung maßgebend. Diese wird mit der konstruktiv angeordneten Bügelbewehrung eingehalten.
- Die erforderliche Bügelbewehrung aus Torsion wird bei weitem nicht abgedeckt, während die dafür erforderliche Längsbewehrung vorhanden ist.

3.3 Sicherheitsbetrachtungen

3.3.1 Allgemeines

Ausgehend davon, daß durch eine Vorschriftenänderung der vorher für eine Nutzungszeit von 80–100 Jahren errichtete Brückenbestand nicht in Frage gestellt werden kann, soweit nicht Schubspannungsbedingte Schädigungen festgestellt werden, sollen im folgenden Betrachtungen angestellt werden, mit denen durch Erschließen von Modellreserven die ehemals geplante Tragfähigkeit für Brückenklasse 60, auch nach neuen Vorschriften, gesichert werden kann. Dies ist besonders deshalb von Bedeutung, da davon eine ganze Serie von Fertigteilträgern betroffen ist. Die Betrachtungen beschränken sich auf den für die schiefen Hauptzugspannungen maßgebenden Übergangsquerschnitt zwischen Voll- und Hohlquerschnitt.

Als Ausgangspunkt der Betrachtungen sind folgende Punkte festzuhalten:

- Für den Gebrauchslastenzustand sind alle zulässigen Werte eingehalten.
- Im Bruchzustand ist für die Schubbewehrung unter Querkraft der Nachweis erfüllt; maßgebend ist die Mindestschubbewehrung.
- Eine ausreichende Bewehrung für Torsion kann nicht nachgewiesen werden.

Im Übergangsquerschnitt treten nur Druckspannungen auf, so daß Schubrisse aus Torsion nur im Bereich der größten auftretenden schiefen Hauptzugspannungen auftreten und durch die Vorspannung begrenzt werden (siehe [4]). Ein Ausgehen einer Rißbildung von Biegerissen wie beim Vorhandensein von Biegerandzugspannungen ist hier nicht möglich.

- Überschreitungen der zulässigen Spannungswerte treten nur für Brückenklasse 60 im Lastfall 1 (max. M_T , zug. M, zug. Q) auf. Für LF 3 (max. Q, zug. M_T , zug. M) sowie generell für Brückenklasse 30/30 (LF 2 und 4) sind die Werte ohne Nachweis der Schubbewehrung eingehalten.

3.3.2 Erschließung von Modellreserven

Zur Sicherheitsbetrachtung sollen folgende Nachweise herangezogen werden:

- a) Betrachtung der Sicherheitsfaktoren im Übergangsquerschnitt über die Brückenbreite, das heißt aller Fertigteilträger im Bereich der Fahrbahn unter einer relevanten Laststellung für Brückenklasse 60. Damit ist eine Aussage über die Gesamtsicherheit im Übergangsquerschnitt des vorhandenen Flächentragwerkes abzuleiten.
- b) Das vorhandene Flächentragwerk wirkt als orthotrope Platte. Sowohl die isotrope Platte mit voller Querbiegesteifigkeit sowie das Balkenreihenmodell ohne Querbiegesteifigkeit stellen Grenzfälle zur Vereinfachung des Rechenmodells dar, die dem wirklichen Tragverhalten des Bauwerkes nicht entsprechen. Insbesondere ist eine freie Verdrehbarkeit der einzelnen Balken um ideale Gelenke nicht gegeben, so daß die den Nachweis im Übergangsquerschnitt wesentlich beeinflussenden Torsionsmomente infolge Verdrehungsbehinderung nicht in der ausgewiesenen Größenordnung im Tragwerk auftreten können. Es ist daher vertretbar, aus den unter Verkehrslasten auftretenden Querdurchbiegungen und den damit über eine begrenzte Höhe in den Fugen vorhandenen Querdruck-

spannungen eine begrenzte Querbiegesteifigkeit abzuleiten, die in eine erneute Schnittgrößenermittlung eingeführt wird.

- c) Bei der Schnittgrößenermittlung im Flächentragwerk soll eine Minderung der Drillsteifigkeit im Trägerendbereich der durch Torsion am stärksten beanspruchten Fertigteilträger und damit die dadurch bedingte Schnittgrößenumlagerung erfaßt werden.

Die Anordnung der schlaffen Bewehrung bei der Neuplanung erfolgte konstruktiv, da die zulässigen Spannungsgrenzen ohne Nachweis der Schubbewehrung nach damaligen Vorschriften eingehalten waren. Zielstellung der nunmehr vorgenommenen Untersuchungen war es, durch eine dem wirklichen Tragverhalten besser entsprechende statische Modellierung Tragreserven zu erschließen und damit die ohne Nachweis der Schubbewehrung zulässigen Spannungswerte auch nach der heute gültigen Vorschriftenlage (DIN 1072) zu gewährleisten.

3.3.3 Ergebnisse

3.3.3.1 BT 70

zu 3.3.2 unter a)

Ausgehend von der am Normalträger 6 unter Brückenklasse 60 in Tabelle 1 ausgewiesenen Überschreitung der schiefen Hauptzugspannungen ohne Nachweis der Schubbewehrung werden für alle Normalträger die bei Einhaltung der Spannungsgrenze von $2,0 \text{ N/mm}^2$ gleichzeitig auftretenden Sicherheiten (γ) unter LF 1 (max. M_T , zug. M, zug. Q) ermittelt. Dafür sind in Tabelle 3 die Schnittgrößen im Übergangsquerschnitt über die Brückenbreite für die BT 70 N zusammengestellt und in Tabelle 4 und 5 die Nachweise der schiefen Hauptzugspannungen im Gebrauchszustand bzw. Bruchzustand einschließlich der vorhandenen Sicherheiten erbracht. Die unterschrittenen zulässigen Sicherheiten sind dabei fett ausgedruckt.

Im Übergangsquerschnitt ergibt sich eine über die Brückenbreite gerechnete summarische Sicherheit

$$\gamma = 1,88 > 1,75$$

zu 3.3.2 unter b und c)

Es wurde eine erneute Schnittgrößenermittlung mit veränderten Eingangsgrößen für LF 1 durchgeführt. Aus den genannten Gründen wird die im Tragwerk wirkende Querbiegesteifigkeit mit rd. 10 % der Längsbiegesteifigkeit berücksichtigt. Die Berechnung

gung dieser Annahme ist in Anlage 1 nachgewiesen. Die Drillsteifigkeit der Träger 5 und 6 wird im Endbereich um 6 bzw. 12 % reduziert.

In Tabelle 6 sind dafür die Schnittgrößen im Übergangsquerschnitt zusammengestellt.

Die in den Tabellen 7 und 8 dokumentierten Nachweise der schiefen Hauptzugspannungen zeigen, daß in allen Trägern unter Einhaltung bzw. Überschreitung der erforderlichen Sicherheiten die zulässigen Spannungswerte ohne Nachweis der Schubbewehrung eingehalten werden. Als summarische Sicherheit im Übergangsquerschnitt ergibt sich

$$\gamma = 2,07 > 1,75$$

3.3.3.2 BT 50

zu 3.3.2 unter a)

Analog zu dem Fertigteiltragwerk aus BT 70 werden auch hier die im Übergangsquerschnitt über die gesamte Breite auftretenden Sicherheiten in den einzelnen Trägern sowie im Gesamtquerschnitt ermittelt. Dafür sind in Tabelle 9 die Schnittgrößen im Übergangsquerschnitt über die Brückenbreite für die BT 50 N zusammengestellt und in Tabellen 10 und 11 die Nachweise der schiefen Hauptzugspannungen im Gebrauchszustand bzw. Bruchzustand

einschließlich der vorhandenen Sicherheiten erbracht.

Im Übergangsquerschnitt ergibt sich eine summarische Sicherheit von

$$\gamma = 2,82 > 1,75$$

zu 3.3.2 unter b) und c)

Der Nachweis an der reinen Balkenreihe in den Tabellen 10 und 11 zeigt, daß die Ergebnisse günstiger als am Bauwerk aus BT 70 sind. Bezogen auf die ohne Nachweis der Schubbewehrung einzuhaltenen Spannungswerte wird die erforderliche Sicherheit von 1,75 lediglich am Fertigteilträger 7 mit 1,62 leicht unterschritten, wobei die benachbarten Träger deutlich höhere Werte und der Gesamtquerschnitt die o.a. summarische Sicherheit von 2,82 aufweisen.

Auf eine weitere Berechnung unter Ansatz einer begrenzten Querbiegesteifigkeit sowie einer abgeminderten Drillsteifigkeit im Endbereich des Trägers 7 wie bei dem Bauwerk aus BT 70 kann daher hier verzichtet werden. Die konstruktive Ausbildung der BT 50 bietet dafür auch weniger Möglichkeiten, da die Fugenvermörtelung im Gegensatz zu den BT 70 hier nur auf eine relativ geringe Höhe vorhanden ist.

BT 70 N	Plattenschnittgrößen						Bemessungswerte			
	Träger	mx	mxy	qx1	qx2	qx3	qx4	M	MT	Q
Nr.:	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm]	[kNm]	[kN]
2	28,98	26,51						29,0	53,0	13,0
3	34,39	38,50	14,99	16,53	14,47	15,96	34,4	77,0	15,5	
4	42,44	54,68	16,53	20,67	15,96	20,04	42,4	109,4	18,3	
5	53,61	74,95	20,67	33,95	20,04	33,12	53,6	149,9	26,9	
6	68,07	93,03	33,95	100,40	33,12	98,97	68,1	186,1	66,6	
7	82,14	57,16	100,40	111,87	98,97	109,70	82,1	114,3	105,2	
8	87,79	18,19	111,87	113,09	109,70	110,85	87,8	36,4	111,4	
9	87,87	-19,60	113,09	110,28	110,85	108,26	87,9	-39,2	110,6	
10	80,25	-57,83					80,3	-115,7	77,6	

Bemerkung:

Die Querkraftwerte für die Träger 2 und 10 müssen wegen des daneben liegenden Randträgers direkt über die Differenzgleichung $Q = q_x \cdot b = \Delta m_x / (2 \cdot \lambda_x) + \Delta m_{xy} / (2 \cdot \lambda_y)$ ermittelt werden.

Tabelle 3: Schnittgrößen am Balkenreihenmodell für BT 70 N-Träger – Übergangsquerschnitt –

Lastfall: max MT für Brückenklasse 60

Übergangsquerschnitt			Träger 2	Träger 3	Träger 4	Träger 5	Träger 6	Träger 7	Träger 8	Träger 9	Träger 10
Gebrauchszustand											
M_g2		kNm	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5
M_g3		kNm	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
M_p		kNm	29,0	34,4	42,4	53,6	68,1	82,1	87,8	87,9	80,3
M_T,p		kNm	53,0	77,0	109,4	149,9	186,1	114,3	36,4	39,2	115,7
Q_g1		kN	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6
Q_g2		kN	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0
Q_g3		kN	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Q_v+s+k		kN	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7
Q_p		kN	13,0	15,5	18,3	26,9	66,6	105,3	111,4	110,6	77,6
M_g2+g3+p		kNm	102,1	107,5	115,5	126,7	141,2	155,2	160,9	161,0	153,4
Q		kN	102,9	105,4	108,2	116,8	156,5	195,2	201,3	200,5	167,5
W_T		cm ³	110084	110084	110084	110084	110084	110084	110084	110084	110084
sigma_b,g1+v+s+k	oben	N/cm ²	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41
sigma_b,g1+v+s+k	unten	N/cm ²	-992	-992	-992	-992	-992	-992	-992	-992	-992
k_z = 1/W_o	oben	m ⁻³	-1,562E-05								
k_z = 1/W_u	unten	m ⁻³	1,472E-05								
sigma_b	oben	N/cm ²	-200,5	-208,9	-221,4	-238,9	-261,6	-283,4	-292,3	-292,5	-280,6
sigma_b	unten	N/cm ²	-841,7	-833,8	-822,0	-805,5	-784,2	-763,5	-755,2	-755,0	-766,2
h_i		mm	360	360	360	360	360	360	360	360	360
sigma_b,i		N/cm ²	-511,9	-512,4	-513,1	-514,1	-515,4	-516,6	-517,1	-517,1	-516,5
tau_Q=1,i		N/cm ²	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
tau_Q,i		N/cm ²	75,4	77,3	79,3	85,6	114,7	143,1	147,6	147,0	122,8
tau_T		N/cm ²	48,1	69,9	99,4	136,2	169,1	103,8	33,1	35,6	105,1
tau_Q,i+T		N/cm ²	123,6	147,2	178,7	221,8	283,8	246,9	180,6	182,6	227,9
sigma_l-Q		N/cm ²	10,9	11,4	12,0	13,9	24,4	37,0	39,1	38,9	27,7
sigma_l-T		N/cm ²	4,5	9,4	18,6	33,8	50,5	20,1	2,1	2,4	20,6
sigma_l-T+Q		N/cm ²	28,3	39,3	56,1	82,5	125,6	99,0	56,8	58,0	86,2

Tabelle 4: Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen für BT 70 N-Träger im Gebrauchszustand

Lastfall: max MT für Brückenkategorie 60

Übergangsquerschnitt			Träger 2	Träger 3	Träger 4	Träger 5	Träger 6	Träger 7	Träger 8	Träger 9	Träger 10	
Ausgangswerte im Gebrauchszustand												
sigma_b,v+s+k	oben	N/cm ²	114	114	114	114	114	114	114	114	114	
sigma_b,v+s+k	unten	N/cm ²	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	
sigma_b,g1	oben	N/cm ²	-155	-155	-155	-155	-155	-155	-155	-155	-155	
sigma_b,g1	unten	N/cm ²	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
sigma_b,g2+g3+p	oben	N/cm ²	-159,5	-167,9	-180,4	-197,9	-220,6	-242,4	-251,3	-251,5	-239,6	
sigma_b,g2+g3+p	unten	N/cm ²	150,3	158,2	170,0	186,5	207,8	228,5	236,8	237,0	225,8	
Bruchzustand												summ.Sicherheit
gamma			2,69	2,32	1,97	1,63	1,30	1,48	1,96	1,94	1,59	1,88
sigma_b	oben	N/cm ²	-732,0	-635,2	-546,8	-461,2	-374,2	-474,2	-682,4	-674,6	-513,4	
sigma_b	unten	N/cm ²	-346,0	-436,1	-518,4	-597,9	-678,9	-585,2	-390,5	-397,8	-548,6	
h_i		mm	360	360	360	360	360	360	360	360	360	
sigma_b,i		N/cm ²	-544,5	-538,5	-533,0	-527,6	-522,2	-528,1	-540,6	-540,1	-530,5	
Q		kN	349,0	300,9	254,6	217,3	216,3	309,4	435,5	429,1	291,5	
tau_Q,i		N/cm ²	255,8	220,6	186,6	159,3	158,5	226,8	319,3	314,6	213,7	
tau_T		N/cm ²	129,5	162,3	195,8	222,0	219,8	153,7	64,8	69,1	167,1	
tau_Q,i+T		N/cm ²	385,3	382,8	382,4	381,2	378,3	380,5	384,1	383,6	380,8	
sigma_I-Q		N/cm ²	101,3	78,8	58,8	44,3	44,4	84,0	148,0	144,5	75,4	
sigma_I-T		N/cm ²	29,2	45,1	64,2	81,0	80,2	41,5	7,7	8,7	48,3	
sigma_I-T+Q		N/cm ²	199,5	198,8	199,6	199,8	198,5	199,0	199,3	199,1	198,8	

Tabelle 5: Nachweis der in allen BT 70 N-Trägern im Bruchzustand gleichzeitig vorhandenen Sicherheit, bezogen auf die ohne Nachweis der Schubsicherung zulässigen Werte der schiefen Hauptzugspannungen

Lastfall: max MT für Brückenklasse 60

BT 70 N	Plattenschnittgrößen						Bemessungswerte		
Träger	mx	mxy	qx1	qx2	qx3	qx4	M	MT	Q
Nr.:	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm]	[kNm]	[kN]
2	30,68	35,90					30,7	71,8	16,9
3	37,00	42,54	22,25	26,55	21,55	25,64	37,0	85,1	24,0
4	45,26	51,07	26,55	39,16	25,64	37,69	45,3	102,1	32,3
5	55,92	55,17	39,16	57,19	37,69	55,58	55,9	110,3	47,4
6	67,59	51,06	57,19	70,38	55,58	70,03	67,6	102,1	63,3
7	75,64	41,95	70,38	90,76	70,03	89,43	75,6	83,9	80,2
8	83,33	19,26	90,76	92,44	89,43	90,86	83,3	38,5	90,9
9	81,34	-2,76	92,44	84,47	90,86	83,20	81,3	-5,5	87,7
10	79,98	-18,39					80,0	-36,8	73,5

Bemerkung:

Die Querkraftwerte für die Träger 2 und 10 müssen wegen des daneben liegenden Randträgers direkt über die Differenzgleichung $Q = q_x \cdot b = \Delta m_x / (2 \cdot \lambda_x) + \Delta m_{xy} / (2 \cdot \lambda_y)$ ermittelt werden.

Tabelle 6: Schnittgrößen unter Ansatz veränderter Steifigkeitsverteilung

Lastfall: max MT für Brückenklasse 60

Übergangsquerschnitt			Träger 2	Träger 3	Träger 4	Träger 5	Träger 6	Träger 7	Träger 8	Träger 9	Träger 10
Gebrauchszustand											
M_g2		kNm	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5	53,5
M_g3		kNm	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6	19,6
M_p		kNm	30,7	37,0	45,3	55,9	67,6	75,6	83,3	81,3	80,0
M_T,p		kNm	71,8	85,1	102,1	110,3	102,1	83,9	38,5	5,5	36,8
Q_g1		kN	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6	72,6
Q_g2		kN	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0
Q_g3		kN	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0	17,0
Q_v+s+k		kN	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7	-42,7
Q_p		kN	16,9	24,0	32,3	47,4	63,3	80,2	90,9	87,7	73,5
M_g2+g3+p		kNm	103,8	110,1	118,4	129,0	140,7	148,7	156,4	154,4	153,1
Q		kN	106,8	113,9	122,2	137,3	153,2	170,1	180,8	177,6	163,4
W_T		cm ³	110084	110084	110084	110084	110084	110084	110084	110084	110084
sigma_b,g1+v+s+k	oben	N/cm ²	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41	-41
sigma_b,g1+v+s+k	unten	N/cm ²	-992	-992	-992	-992	-992	-992	-992	-992	-992
k_z = 1/Wo	oben	m ⁻³	-1,562E-05								
k_z = 1/Wu	unten	m ⁻³	1,472E-05								
sigma_b	oben	N/cm ²	-203,1	-213,0	-225,9	-242,5	-260,8	-273,3	-285,3	-282,2	-280,1
sigma_b	unten	N/cm ²	-839,2	-829,9	-817,7	-802,1	-784,9	-773,1	-761,8	-764,7	-766,6
h_i		mm	360	360	360	360	360	360	360	360	360
sigma_b,i		N/cm ²	-512,1	-512,6	-513,4	-514,3	-515,3	-516,1	-516,7	-516,6	-516,4
tau_Q=1,i		N/cm ²	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
tau_Q,i		N/cm ²	78,3	83,5	89,6	100,6	112,3	124,7	132,5	130,2	119,8
tau_T		N/cm ²	65,2	77,3	92,7	100,2	92,7	76,2	35,0	5,0	33,4
tau_Q,i+T		N/cm ²	143,5	160,8	182,3	200,8	205,0	200,9	167,5	135,2	153,2
sigma_I-Q		N/cm ²	11,7	13,3	15,2	19,0	23,4	28,5	32,0	31,0	26,4
sigma_I-T		N/cm ²	8,2	11,4	16,2	18,8	16,2	11,0	2,4	0,0	2,2
sigma_I-T+Q		N/cm ²	37,5	46,3	58,2	69,1	71,6	69,0	49,5	33,2	42,0

Tabelle 7: Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen für BT 70 N-Träger im Gebrauchszustand unter Ansatz einer Querbiegesteifigkeit $K_y = 0,092 \cdot K_x$ und verminderter Drillsteifigkeit der NT 5 und 6

Lastfall: max MT für Brückenklasse 60

Übergangsquerschnitt			Träger 2	Träger 3	Träger 4	Träger 5	Träger 6	Träger 7	Träger 8	Träger 9	Träger 10	
Ausgangswerte im Gebrauchszustand												
sigma_b,v+s+k	oben	N/cm ²	114	114	114	114	114	114	114	114	114	
sigma_b,v+s+k	unten	N/cm ²	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	-1135	
sigma_b,g1	oben	N/cm ²	-155	-155	-155	-155	-155	-155	-155	-155	-155	
sigma_b,g1	unten	N/cm ²	143	143	143	143	143	143	143	143	143	
sigma_b,g2+g3+p	oben	N/cm ²	-162,1	-172,0	-184,9	-201,5	-219,8	-232,3	-244,3	-241,2	-239,1	
sigma_b,g2+g3+p	unten	N/cm ²	152,8	162,1	174,3	189,9	207,1	218,9	230,2	227,3	225,4	
Bruchzustand												summ.Sicherheit
gamma			2,37	2,16	1,93	1,78	1,75	1,78	2,09	2,51	2,26	2,07
sigma_b	oben	N/cm ²	-637,6	-592,3	-542,1	-520,6	-541,9	-575,3	-720,5	-880,4	-776,8	
sigma_b	unten	N/cm ²	-434,0	-476,1	-522,6	-542,5	-522,3	-490,8	-355,0	-205,6	-302,5	
h_i		mm	360	360	360	360	360	360	360	360	360	
sigma_b,i		N/cm ²	-538,7	-535,8	-532,6	-531,2	-532,4	-534,3	-543,0	-552,6	-546,4	
Q		kN	311,6	295,6	275,6	277,7	300,1	336,1	424,4	510,3	423,1	
tau_Q,i		N/cm ²	228,4	216,6	202,0	203,6	220,0	246,3	311,1	374,0	310,1	
tau_T		N/cm ²	154,6	167,0	179,0	178,3	162,3	135,7	73,1	12,5	75,5	
tau_Q,i+T		N/cm ²	383,0	383,6	381,0	381,9	382,3	382,0	384,2	386,6	385,7	
sigma_I-Q		N/cm ²	83,8	76,6	67,9	69,0	79,1	96,2	141,4	188,7	140,1	
sigma_I-T		N/cm ²	41,2	47,8	54,6	54,3	45,6	32,5	9,7	0,3	10,3	
sigma_I-T+Q		N/cm ²	198,9	200,0	198,5	199,6	199,7	199,0	198,9	198,8	199,4	

Tabelle 8: Nachweis der in allen BT 70 N-Trägern im Bruchzustand gleichzeitig vorhandenen Sicherheit, bezogen auf die ohne Nachweis der Schubsicherung zulässigen Werte der schiefen Hauptzugspannungen unter Ansatz einer Querbiegesteifigkeit $K_y = 0,092 \cdot K_x$ und verminderter Drillsteifigkeit der NT 5 und 6

Lastfall: max MT für Brückenklasse 60

BT 50 N	Plattenschnittgrößen						Bemessungswerte		
Träger	m _x	m _{xy}	q _{x1}	q _{x2}	q _{x3}	q _{x4}	M	MT	Q
Nr.:	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kNm]	[kNm]	[kN]
2	15,55	13,81					15,6	27,6	18,2
3	19,89	20,50	6,72	8,95	6,22	8,25	19,9	41,0	7,5
4	26,28	29,02	8,95	11,97	8,25	11,04	26,3	58,0	10,1
5	35,46	40,40	11,97	16,27	11,04	15,17	35,5	80,8	13,6
6	48,39	55,95	16,27	28,67	15,17	27,81	48,4	111,9	22,0
7	65,71	71,13	28,67	90,53	27,81	91,42	65,7	142,3	59,6
8	83,12	39,23	90,53	99,43	91,42	100,93	83,1	78,5	95,6
9	86,49	6,51	99,43	100,03	100,93	101,46	86,5	13,0	100,5
10	86,30	-25,65	100,03	94,16	101,46	94,56	86,3	-51,3	97,6
11	72,57	-57,52	94,16	36,61	94,56	34,63	72,6	-115,0	65,0
12	58,52	-44,07					58,5	-88,1	32,3

Bemerkung:

Die Querkraftwerte für die Träger 2 und 12 müssen wegen des daneben liegenden Randträgers direkt über die Differenzgleichung $Q = q_x \cdot b = \Delta m_x / (2 \cdot \lambda_x) + \Delta m_{xy} / (2 \cdot \lambda_y)$ ermittelt werden.

Tabelle 9: Schnittgrößen am Balkenreihenmodell für BT 50 N-Träger – Übergangsquerschnitt –

Lastfall: max MT für Brückengruppe 60

Übergangsquerschnitt			Träger 2	Träger 3	Träger 4	Träger 5	Träger 6	Träger 7	Träger 8	Träger 9	Träger 10	Träger 11	Träger 12
Gebrauchszustand													
M _{g2}		kNm	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5
M _{g3}		kNm	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
M _p		kNm	15,6	19,9	26,3	35,5	48,4	65,7	83,1	86,5	86,3	72,6	58,5
M _{T,p}		kNm	27,6	41,0	58,0	80,8	111,9	142,3	78,5	13,0	51,3	115,0	88,1
Q _{g1}		kN	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7	37,7
Q _{g2}		kN	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7
Q _{g3}		kN	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3
Q _{v+s+k}		kN	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3	-127,3
Q _p		kN	18,2	7,5	10,1	13,6	22,0	59,6	95,6	100,5	97,6	65,0	32,3
M _{g2+g3+p}		kNm	57,9	62,2	68,6	77,8	90,7	108,0	125,4	128,8	128,6	114,9	100,8
Q		kN	-40,4	-51,1	-48,5	-45,0	-36,6	1,0	37,0	41,9	39,0	6,4	-26,3
W _T		cm ³	69454	69454	69454	69454	69454	69454	69454	69454	69454	69454	69454
sigma _{b,g1+v+s+k}	oben	N/cm ²	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169	-169
sigma _{b,g1+v+s+k}	unten	N/cm ²	-938	-938	-938	-938	-938	-938	-938	-938	-938	-938	-938
k _z = 1/W _o	oben	m ⁻³	-2,855E-5										
k _z = 1/W _u	unten	m ⁻³	2,654E-5										
sigma _b	oben	N/cm ²	-334,3	-346,6	-364,9	-391,1	-427,9	-477,3	-527,0	-536,7	-536,2	-497,0	-456,8
sigma _b	unten	N/cm ²	-784,3	-772,9	-755,9	-731,5	-697,3	-651,4	-605,2	-596,2	-596,7	-633,1	-670,5
h _i		mm	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
sigma _{b,i}		N/cm ²	-568,3	-568,3	-568,2	-568,1	-568,0	-567,8	-567,7	-567,6	-567,6	-567,8	-567,9
tau _{Q=1,i}		N/cm ²	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
tau _{Q,i}		N/cm ²	29,6	37,5	35,6	33,0	26,8	0,7	27,1	30,7	28,6	4,7	19,3
tau _T		N/cm ²	39,7	59,0	83,5	116,3	161,1	204,9	113,0	18,7	73,9	165,6	126,8
tau _{Q,i+T}		N/cm ²	69,4	96,5	119,1	149,3	187,9	205,6	140,1	49,4	102,4	170,3	146,1
sigma _{I-Q}		N/cm ²	1,5	2,5	2,2	1,9	1,3	0,0	1,3	1,7	1,4	0,0	0,7
sigma _{I-T}		N/cm ²	2,8	6,1	12,0	22,9	42,5	66,2	21,7	0,6	9,5	44,8	27,0
sigma _{I-T+Q}		N/cm ²	8,3	15,9	23,9	36,9	56,6	66,6	32,7	4,3	17,9	47,1	35,4

Tabelle 10: Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen für BT 50 N-Träger im Gebrauchszustand

Lastfall: max MT für Brückenklasse 60

Übergangsquerschnitt			Träger 2	Träger 3	Träger 4	Träger 5	Träger 6	Träger 7	Träger 8	Träger 9	Träger 10	Träger 11	Träger 12	
Ausgangswerte im Gebrauchszustand														
sigma_b,v + s + k	oben	N/cm ²	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8	-8
sigma_b,v + s + k	unten	N/cm ²	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088	-1088
sigma_b,g1	oben	N/cm ²	-161	-161	-161	-161	-161	-161	-161	-161	-161	-161	-161	-161
sigma_b,g1	unten	N/cm ²	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
sigma_b,g2 + g3 + p	oben	N/cm ²	-165,3	-177,6	-195,9	-222,1	-258,9	-308,3	-358,0	-367,7	-367,2	-328,0	-287,8	
sigma_b,g2 + g3 + p	unten	N/cm ²	153,7	165,1	182,1	206,5	240,7	286,6	332,8	341,8	341,3	304,9	267,5	
Bruchzustand														summ.Sicherheit
gamma			4,68	4,21	3,42	2,74	2,13	1,62	2,07	3,39	2,47	1,83	2,41	2,82
sigma_b	oben	N/cm ²	-1535,1	-1433,4	-1228,4	-1057,7	-902,5	-768,3	-1082,4	-1800,4	-1312,5	-902,9	-1089,6	
sigma_b	unten	N/cm ²	333,2	238,5	47,7	-111,2	-255,8	-380,7	-88,6	579,3	125,5	-255,5	-81,8	
h i		mm	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240	
sigma_b,i		N/cm ²	-563,6	-564,0	-564,9	-565,6	-566,2	-566,7	-565,6	-562,9	-564,7	-566,2	-565,5	
Q		kN	279	194	142	98	66	80,5	213	446	283	117	116	
tau_Q,i		N/cm ²	204,8	141,8	104,2	72,0	48,3	59,0	156,0	327,1	207,8	86,0	85,1	
tau_T		N/cm ²	186,0	248,5	285,6	318,8	343,2	331,9	234,0	63,5	182,4	303,0	305,7	
tau_Q,i + T		N/cm ²	390,8	390,4	389,8	390,7	391,5	391,0	389,9	390,6	390,2	389,0	390,8	
sigma_I-Q		N/cm ²	66,6	33,7	18,6	9,0	4,1	6,1	40,2	150,1	68,2	12,8	12,5	
sigma_I-T		N/cm ²	55,8	93,9	119,2	143,3	161,8	153,1	84,2	7,1	53,8	131,6	133,7	
sigma_I-T + Q		N/cm ²	200,0	199,6	199,0	199,6	200,0	199,5	198,9	200,0	199,3	198,0	199,6	

Tabelle 11: Nachweis der in allen BT 50 N-Trägern im Bruchzustand gleichzeitig vorhandenen Sicherheit, bezogen auf die ohne Nachweis der Schubsicherung zulässigen Werte der schiefen Hauptzugspannungen

4 Schlußfolgerungen

Die vorliegenden Untersuchungen befaßten sich mit dem zwischen 1966 und 1979 nach [2] und [3] in den neuen Bundesländern eingebauten Fertigteil-Trägersortiment BT 50 und BT 70.

Dabei war die Frage zu klären, in welchem Umfang die in den 70er Jahren erfolgte Vorschriftenverschärfung insbesondere bei der Schubbemessung, die im genannten Trägersortiment noch nicht berücksichtigt ist, Abstriche an der Tragfähigkeit der Bauwerke erforderlich macht.

Die Untersuchungen wurden in der zur Verfügung stehenden Zeit stellvertretend für das jeweilige Trägersortiment an je einem als repräsentativ ausgewählten Bauwerk aus BT 70 und BT 50 geführt und erstreckten sich auf den für die schiefen Hauptzugspannungen maßgebenden Übergang von Hohl- und Vollquerschnitt. Dabei wurden die möglichen Kombinationen der Schnittgrößen (max. MT, zug. Q, zug. M und max. Q, zug. MT, zug. M) für die Lastklassen 60 und 30/30 betrachtet.

Als Ergebnis ist festzustellen:

- Die Bemessung der Fertigteilträger entsprach den bei der Neuplanung geltenden Vorschriften (TGL 0-4227 [08/1963]).
- Auch nach heutiger Vorschriftenlage sind die Anforderungen im Gebrauchszustand generell und im Bruchzustand für die Lastfallkombination max. Q für die Brückenklassen 60 und 30/30 sowie für max. MT für die Brückenklasse 30/30 eingehalten.
- Da die zulässigen Werte für die schiefen Hauptzugspannungen nach jetzt gültigen Vorschriften deutlich herabgesetzt sind und nunmehr für die Schnittgrößenkombination max. MT für Brückenklasse 60 ein Nachweis der Schubbewehrung erforderlich ist, genügt die bei der Neuplanung konstruktiv angeordnete schlaffe Schubbewehrung, insbesondere infolge Torsionsbeanspruchung, den heutigen Anforderungen nach DIN 4227 nicht.

Da von diesen Ergebnissen eine Vielzahl von Bauwerken betroffen sind, die vor Vorschriftenverschärfung für eine Nutzungszeit von rd. 80 Jahren errichtet worden und für die bisher keine spannungsbedingten Schädigungen bekannt sind, wurden weitergehende Betrachtungen angestellt. Dabei war insbesondere die Nachweise wesentlich bestimmende Torsionsmoment näher zu betrachten.

Die Ausführungen unter 3.3 zeigen, daß in dieser Hinsicht das der Neuplanung zugrunde gelegte statische Modell der Balkenreihe verbessert und mit dem Tragverhalten der Bauwerke besser in Übereinstimmung gebracht werden kann. Im Ergebnis davon werden die ohne Nachweis der Schubbewehrung zulässigen Werte der schiefen Hauptzugspannungen unterschritten und damit die Anforderungen der heutigen Vorschriftenlage nach DIN 4227 erfüllt.

Bei den angeführten Nachweisen und Ergebnissen sind günstig wirkende Einflüsse auf das Tragverhalten unter Kurzzeitlasten, wie sie an BT 70-Brücken in einem umfangreichen Meßprogramm festgestellt und in [5] niedergelegt sind, nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend wird als Entscheidungsgrundlage vorgeschlagen:

„Für die Fertigteilträger BT 70 und BT 50 gelten die in [2], [3] sowie in [1] angegebenen Tragfähigkeits-einstufungen, ohne daß ein Nachweis der schiefen Hauptzugspannungen erbracht werden muß, unter folgenden Voraussetzungen:

- Die in [2], [3] sowie in [1] angegebenen Bedingungen sind bauwerksseitig erfüllt.
- Es ist keine Nutzungserweiterung durch Erhöhung der ständigen Lasten bzw. Verkehrslasten vorgesehen.“

Die den in Punkt 3 mitgeteilten Ergebnissen zugrunde liegenden Berechnungen sind nicht Bestandteil der Stellungnahme. Sie verbleiben wegen ihres Umfangs bei der BAST, Außenstelle Berlin.

5 Literatur

- [1] Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau: „Richtlinie zur Tragfähigkeitseinstufung bestehender Straßenbrücken der neuen Bundesländer in Lastklassen nach DIN 1072, Ausg. Dez. 1985“, Ausgabe April 1992.
- [2] Sw 4/66 – Typenbauelementekatalog „Fertigteilträger für Straßenbrücken BT 50“, Informationskatalog/Projektierungskatalog.
- [3] Sw 7/66 – Typenelementekatalog für Straßenbrücken BT 70, Informationskatalog.
- [4] LEONHARDT, F.: Vorlesungen über Massivbau. Fünfter Teil. Spannbetonbau. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1980.
- [5] Schriftenreihe der Bundesanstalt für Straßenwesen. Reihe Brücken- und Ingenieurbau, Heft B 2, 1993.

Anlage 1

Nachweis für den Ansatz einer begrenzten Querbiegesteifigkeit

1 Allgemeines

Die in den Katalogunterlagen für die Fertigteilträger der Reihe BT 50 und BT 70 angegebenen Schnittgrößenwerte infolge Verkehrsbelastung basieren auf dem statischen Modell der randverstärkten Balkenreihe. Charakteristisch hierfür sind die zwischen den einzelnen Trägern angeordneten ideellen Gelenke, die eine Querkraftübertragung zwischen den Trägern erlauben, jedoch eine Biegemomentenübertragung ausschließen.

Zur Schnittgrößenermittlung infolge Verkehrsbelastung wurde im Rahmen der Katalogbearbeitung ein spezielles Balkenreihenprogramm [1] entwickelt. Später stand dieses Programm nicht mehr zur Verfügung, so daß für Berechnungen die Balkenreihe als orthotrope Platte modelliert wurde, bei der in Querrichtung die Biegesteifigkeit Null gesetzt wird.

Als Rechenprogramm kam hierfür das Programm OPVS „Orthotrope Platte mit beliebig veränderlicher Steifigkeitsverteilung“ [2], [3] zum Einsatz. Zahlreiche Nach- und Vergleichsrechnungen belegen unter Berücksichtigung der zugrunde gelegten Rechenannahmen die Kompatibilität beider Verfahren.

Ziel der nachfolgenden Untersuchung ist es, eine quantitative Einschätzung für die Größe der in Querrichtung wirkenden Biegesteifigkeit gemäß Pkt. 3.3.3.1 des vorliegenden Berichtes zu geben.

Dazu wird ein idealisiertes Balkenreihensystem gewählt, das sowohl nach der Theorie der orthotropen Platte mit und ohne Querbiegesteifigkeit als auch als dreidimensionales Flächentragwerk mit und ohne Verdrehbehinderung der Fertigteilträger unter Verwendung eines FEM-Programms berechnet wird. Im einzelnen sind danach folgende Systeme zu unterscheiden:

- System A: Orthotrope Platte ohne Querbiegesteifigkeit
- System B: Orthotrope Platte mit Querbiegesteifigkeit
- System C: Dreidimensionales Balkenreihenmodell ohne Verdrehbehinderung der Träger

System D: Dreidimensionales Balkenreihenmodell mit Verdrehbehinderung der Träger

Die Auswirkungen der angesetzten Querbiegesteifigkeit werden an signifikanten Schnitt- und Verformungsgrößen ermittelt und gegenübergestellt und aus dem Vergleich Schlußfolgerungen abgeleitet.

2 Wahl des Balkenreihensystems

Für die verschiedenen Modellberechnungen dürfen Vereinfachungen und Idealisierungen hinsichtlich der Geometrie und der Belastung vorgenommen werden, da im Ergebnis der Untersuchungen nur relative Beziehungen von Interesse sind.

Als Balkenreihe wird daher ein System, bestehend aus 10 BT 70 N-Trägern mit der Stützweite 16,20 m, ohne verstärkende Randbalken gewählt. Die Träger sind für die dreidimensionale FEM-Berechnung in Längsrichtung (z-Richtung) 8fach und im Querschnitt jeweils 2fach in horizontaler und vertikaler Richtung unterteilt. Die vorhandene Systemgeometrie ist in Abb. 1 dargestellt.

Die gewählte Verkehrslaststellung für Brückenklasse 60 (Abb. 2) erzeugt für den mittleren Normalträger die maximale Torsionsbeanspruchung. Vereinfachend wird die SLW-Belastung unter Berücksichtigung der gewählten Elementteilung näherungsweise auf die Fahrzeuggrundrißfläche gleichmäßig verteilt. Damit ergeben sich folgende Belastungswerte:

$$\begin{aligned} \text{SLW 60:} \quad \rho_{\text{SLW}} &= \varphi \cdot 600 / (3 \cdot 2,025 \cdot 6 \cdot 0,5) \\ &= 41,81 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Schwingbeiwert: } \varphi = 1,27$$

$$\text{Hauptspur: } \rho_{\text{HS}} = 1,27 \cdot 5 = 6,35 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Nebenspur: } \rho_{\text{NS}} = 3 \text{ kN/m}^2$$

2.1 Berechnung als orthotrope Platte

Grundlage für das verwendete Rechenverfahren ist die einfache KIRCHHOFFsche Plattentheorie. Die partielle Plattendifferentialgleichung 4. Ordnung wird nach dem Differenzenverfahren gelöst. Dazu ist der Plattengrundriß mit einem äquidistanten Rasternetz überzogen, das im Gegensatz zu Abb. 1 in Querrichtung nur halb so fein geteilt ist. In den Rasterknoten werden die Biege- und Drillsteifigkeiten der BT 70 N-Träger benötigt, die mit folgenden Werten berücksichtigt werden:

$$\text{Trägheitsmoment des Hohlquerschnittes in Längsrichtung} \quad I_L = 0,0244 \text{ m}^4$$

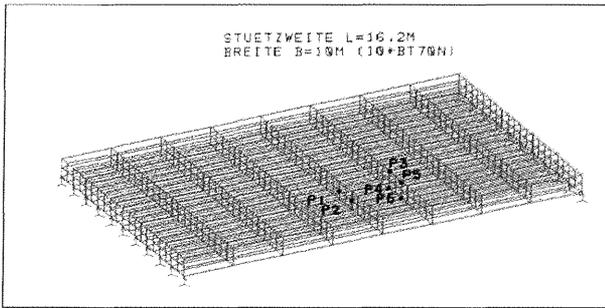


Abb. 1: Systemgeometrie

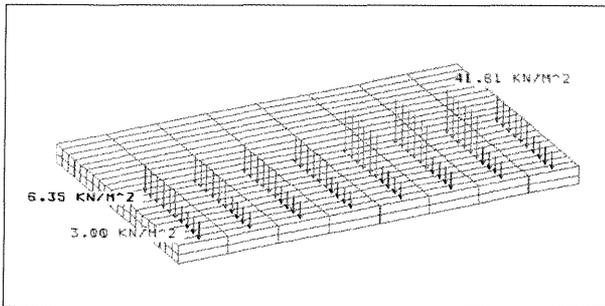


Abb. 2: Belastungsgeometrie

Torsionsträgheitsmoment des Hohlquerschnittes $I_T = 0,0400 \text{ m}^4$

Biegesteifigkeit in Längsrichtung $K_L \quad E * I_L = 903 * 10^3 \text{ kNm}$
mit $E = 37 * 10^6 \text{ kN/m}^2$ (B 600 \approx B 45)

Drillsteifigkeit:
 $C = E * I_T / (8 * b_o * [1 + \mu]) = 185 \text{ kNm}$
mit $b_o = 1 \text{ m}$ und Querdehnzahl $\mu = 0$.

Der Steifigkeitssprung am Trägerende infolge des vorhandenen Vollquerschnittes wird vernachlässigt.

Biegesteifigkeit: 1. $K_Q = 0$ (System A)
in Querrichtung 2. $K_Q = 0,1 * K_L$ (System B)

Eine Abschätzung für die Größe der begrenzt wirkenden Querbiegesteifigkeit erhält man aus folgender Überlegung:

Die infolge Verdrehbehinderung der einzelnen Träger bereichsweise entstehende Biegedruckspannung in Querrichtung wirkt bei Annahme der idealen Gelenke in der Schwerachse der Träger jeweils näherungsweise über die halbe Querschnittshöhe. Ermittelt man das Eigentragheitsmoment I_Q dieser Fläche, erhält man

$$I_Q = 0,092 * I_L,$$

also etwa 10 % des Gesamtträgheitsmomentes.

Überprüft wird diese Abschätzung durch die anschließende FEM-Berechnung mit einer entsprechenden dreidimensionalen Modellbildung.

2.2 Dreidimensionale FEM-Berechnung

Zur Reduzierung des Berechnungsaufwandes wird das Modell des gewählten Balkenreihensystems dahingehend vereinfacht, daß der Hohlquerschnitt des BT 70 N-Trägers durch einen Rechteckvollquerschnitt mit gleichen äußeren Abmessungen und gleicher Biege- und Torsionssteifigkeit ersetzt wird. Dies gelingt, indem jeweils ein ideeller Elastizitäts- und Schubmodul eingeführt wird.

Die Modellierung der freien Verdrehbarkeit der Fertigteilträger im System C erfolgt dadurch, daß nur die Knoten in der Schwerachse der benachbarten Träger gekoppelt werden, während die Eckknoten an der Trägerober- und -unterseite sich frei verschieben können.

Im Balkenreihenmodell mit Verdrehbehinderung (System D) werden zusätzlich bestimmte Eckknoten miteinander verbunden, und zwar im Bereich der äußeren Belastung (Abb. 2) die an der Oberseite und im unbelasteten Bereich die an der Unterseite der Balken entsprechend der Querbiegeform. Die Trägerfugen können sich somit jeweils über die halbe Höhe des Querschnittes öffnen.

Die FEM-Berechnungen wurden mit dem Programmsystem COSMOS/M [4] durchgeführt.

2.3 Ergebnisse der FEM-Berechnung

Die Längsbiegespannungen sind in Abb. 3 (System C) und Abb. 4 (System D) dargestellt. Erwartungsgemäß treten durchgehend an der Oberseite Druckspannungen und an der Unterseite Zugspannungen auf. Die jeweiligen Extremwerte sind dem Betrag nach nahezu gleich (\approx Biegespannungen). Die Verdrehbehinderung im Modell D führt zu einer Spannungsreduzierung und -umlagerung in Querrichtung, deutlich durch die größere dunkelblaue Fläche der maximalen Druckspannungen in Abb. 4 erkennbar.

Die Abb. 5 zeigt, daß im System C infolge der freien Verdrehbarkeit keine nennenswerten Spannungen in Querrichtung vorhanden sind. Es tritt im Rechenmodell ein praktisch nicht möglicher Verformungszustand ein, bei dem sich die einzelnen Fertigteilträger im Druckbereich überlappen.

Der Einfluß der Verdrehbehinderung im System D mit dem Auftreten von deutlichen Querbiegespannungen ist in den Abb. 6 und 7 für die Trägerober- und -unterseiten dargestellt. Die Bereiche der Druckspannungen entsprechen dabei – wie angenommen – genau denen der belasteten und unbelasteten Flächen der Balkenreihe. Die höchsten

Druckspannungen ergeben sich an den Stellen der größten Belastung.

Die Abb. 8 zeigt den Verlauf der Querbiegespannungen im verformten Querschnitt der größten Beanspruchung. Der Druckspannungsbereich umfaßt etwa 0,4 * Trägerhöhe und stellt sich damit näherungsweise so ein wie im Modell D angenommen. Die ausgewiesenen Zugspannungen sind im Betrag deutlich kleiner als die Druckspannungen. Sie werden infolge der sich öffnenden Trägerfugen im Querschnitt nach außen abgebaut.

Insgesamt kann nach Betrachtung der Ergebnisse der FEM-Berechnungen festgestellt werden, daß die Annahmen zum System D – Balkenreihe mit Verdrehbehinderung – recht zutreffend sind und daß damit das Tragverhalten der Balkenreihe richtiger erfaßt wird.

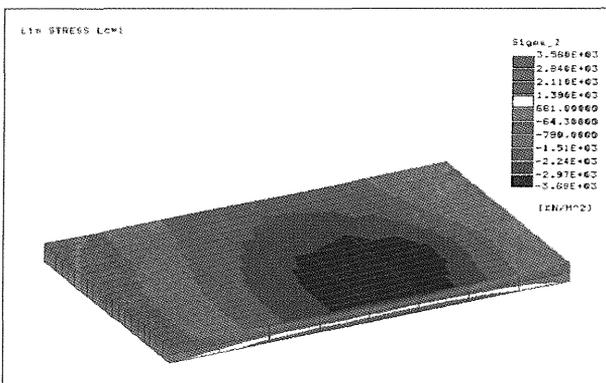


Abb. 3: System C – Spannungen Sigma Z

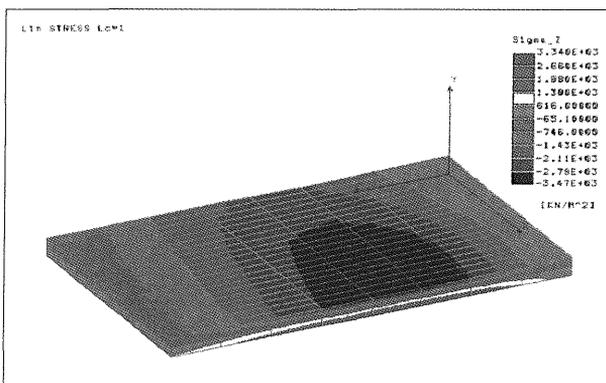


Abb. 4: System D – Spannungen Sigma Z

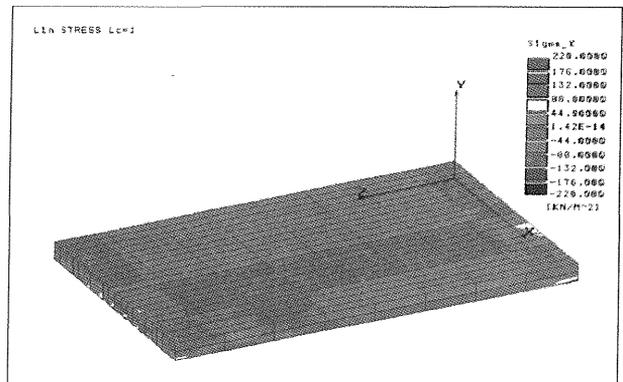


Abb. 5: System C – Spannungen Sigma X

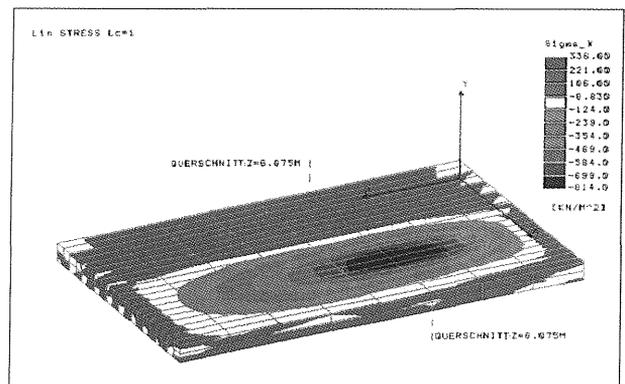


Abb. 6: System D – Spannungen Sigma X (oben)

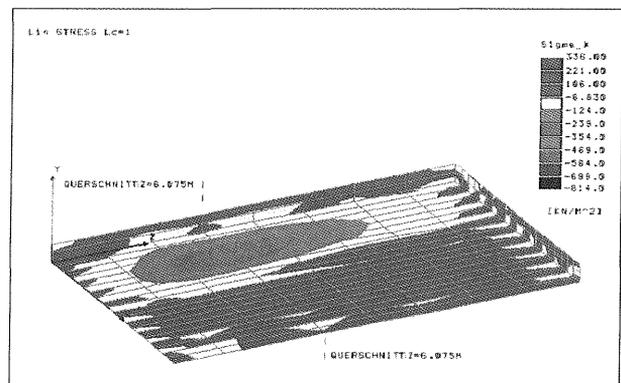


Abb. 7: System D – Spannungen Sigma X (unten)

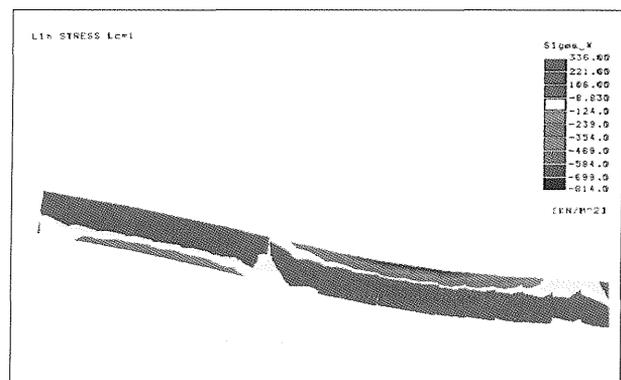


Abb. 8: System D – Spannungen Sigma X im Querschnitt Z = 6.075 m

3 Vergleich der Ergebnisse

Zur Erfassung der Auswirkung der angesetzten Querbiegesteifigkeit werden die Ergebnisse jeweils der FEM- und der orthotropen Plattenberechnungen an maßgebenden Punkten (Abb. 1) gegenübergestellt. So ist es möglich, verfahrensbedingte Einflüsse der Rechenprogramme zu eliminieren. Als signifikante Größen werden für die nachfolgende Betrachtung die Durchbiegung w (entspricht der Verschiebung u_y) sowie das Trägerlängsbiegemoment ausgewählt. Dazu sind die Spannungen aus der FEM-Berechnung über den Querschnitt zu integrieren und auf die tatsächlich vorhandenen Trägheitsmomentenverhältnisse anzupassen.

Es ergeben sich folgende Werte:

Verfahren	Punkt	w, u_y (cm) σ (kN/m ²) M (kN/m)	Berechnung		Veränderung Δ %
			ohne	mit	
			Querbiegesteifigkeit		
OPVS	1	w	0,9288	0,8593	7,5
FEM	1	u_y	0,8284	0,7759	6,3
OPVS	2	w	0,9372	0,8862	5,4
FEM	2	u_y	0,8334	0,7923	4,9
OPVS	3/4	M	336	316	6,0
FEM	3	σ	-4285	-3980	
	4	σ	4172	3840	
	3/4	M	345	319	7,5
OPVS	5/6	M	335	321	4,2
FEM	5	σ	-4300	-4054	
	6	σ	4129	3905	
	5/6	M	344	325	5,5

Die prozentualen Veränderungen sowohl der Verformungen als auch der Momente stimmen in der Tendenz und der Größe gut überein. Betrachtet man die absoluten Werte, so sind die Differenzen bei den Momenten mit weniger als 3 % sehr klein und bei den Verformungen erwartungsgemäß mit rund 10 % verfahrensbedingt etwas größer.

Die Kontrolle des Summenmomentes, über die gesamte Breite des Tragwerkes ermittelt, stimmt bei allen Rechnungen exakt mit dem vergleichbaren Balkenmoment überein.

Damit ist belegt, daß der Ansatz einer begrenzt wirkenden Querbiegesteifigkeit gerechtfertigt ist und daß mit der angenommenen Größe von rund 10 % der in Längsrichtung vorhandenen Steifigkeit bei BT 70-Bauwerken gerechnet werden darf.

4 Zusammenfassend

Für ein idealisiertes Balkenreihentragwerk werden Berechnungen mit und ohne Querbiegesteifigkeiten sowohl nach der Theorie der orthotropen Platte als auch unter Verwendung einer dreidimensionalen Modellbildung durchgeführt.

Die Annahmen zur Mitwirkung eines Teiles des Tragwerkquerschnitts in Querrichtung konnte im Rahmen einer dreidimensionalen Berechnung durch den ermittelten Druckspannungsverlauf weitestgehend bestätigt werden. Die daraus resultierenden Spannungs- bzw. Schnittgrößen- und Verformungsumlagerungen werden qualitativ und punktuell auch quantitativ erfaßt und dargestellt.

Diese Umlagerungen treten in gleicher Tendenz und Größe bei den Modellberechnungen nach der Theorie der orthotropen Platte auf, wobei die Bestimmung der mitwirkenden Querbiegesteifigkeit auf anderem Wege erfolgte. Die berechneten Verformungs- und Momentengrößen an maßgebenden Punkten stimmen untereinander im Rahmen der Rechenannahme gut überein.

Damit gilt als nachgewiesen, daß bei BT 70-Balkenreihen eine begrenzte Mitwirkung des Tragwerkquerschnittes in Querrichtung vorhanden ist und daß die Größe mit etwa 10 % der Trägerlängssteifigkeit eingeschätzt werden darf.

5 Literatur

- [1] SPÄTHER, G.: Ein Beitrag zur Berechnung von Brückentragwerken aus Balkenreihen, Diss. TU Dresden, 1964
- [2] SCHLEICHER, C.: Zur praktischen Berechnung unregelmäßiger Platten mit beliebiger orthotroper Steifigkeitsverteilung, Bauplanung – Bautechnik 23 (1969), H. 5, S. 230-233
- [3] KASCHNER, R.: Überblick über ein Programmpaket zur Berechnung von Platten und plattenartigen Tragwerken, Die Straße 21 (1981), 7, S. 238-241
- [4] ... COSMOS/M, Version 1.70, Finite Element Programm, Structural Research and Analysis Corporation, Santa Monica, California, USA

