

BIEGEDRILLKNICKEN

- Einflüsse der Systemidealisation auf die Rechenergebnisse, Stand der Normen

Marc Quint

Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, Reutlingen

SOFiSTiK

9. Anwender-Seminar

21. und 22. Juni 1996

Berlin

BIEGEDRILLKNICKEN

- Einflüsse der Systemidealisation auf die Rechenergebnisse, Stand der Normen

Marc Quint

Ingenieurbüro für Tragwerksplanung, Reutlingen

ZUSAMMENFASSUNG: Durch die Entwicklung moderner computerorientierter Berechnungsverfahren ist es möglich geworden, das Stabilitätsverhalten unter Biegung mit und ohne Normalkraft an komplexen Systemen zu untersuchen.

Die wirtschaftlichen oder architektonischen Anforderungen an die Konstruktionen erfordern immer häufiger die Untersuchung des Biegedrillknickens als Verzweigungs- oder Spannungsproblem nach Theorie II. Ordnung.

Häufig wird bei komplexen Systemen mit wölbbehinderten Querschnitten, Auseinanderfallen von Schubmittelpunkt und Schwerpunkt, exzentrischer und elastischer Lagerung bzw. Halterung und außermittigem Lastangriff der Gültigkeitsbereich der Normen und der Programme verlassen, ohne daß sich der Benutzer dessen bewußt ist.

Anhand von zwei ausgewählten, bebilderten Beispielen wird gezeigt wie die Berechnung unter Bezug auf die Normen erfolgt. Diese Ergebnisse werden mit Berechnungen durch ASE (Hallenbinder) und STAR2 bzw. BDK (Stahlsteg) verglichen.

An den Beispielen wird gezeigt, wie durch die Modellbildung (System, Querschnitte, Lagerung, Lastangriff) die Ergebnisse beeinflußt werden.

Durch das Verständnis für das Tragverhalten sowohl des Teilquerschnitts sowie der Gesamtstruktur wird gezeigt wie man mit den zur Verfügung stehenden Mitteln und der geeigneten Wahl von Idealisationen und Ersatzsystemen die reale Struktur im mathematisch-mechanischen Modell hinreichend genau und zuverlässig erfassen kann.

1. ÜBERBLICK ÜBER DIE THEORETISCHEN GRUNDLAGEN

Stabförmige Konstruktionen welche maßgeblich durch Biegespannungen beansprucht werden unterscheidet man im allgemeinen in solche mit planmäßig ebenen Spannungszuständen und solche die aufgrund ihrer äußeren Beanspruchung oder ihrer Geometrie aus ihrer Ursprungslage ausweichen.

Erhöht man die äußeren Einwirkungen (Lasten) eines Systems mit ebenem Spannungszustand steigen im Rahmen der linearisierten Stabstatik nach Theorie I. Ordnung (kleine Verformungen) die Verformungen und Spannungen im gleichen Verhältnis an. Ein Stabilitätsversagen (Verzweigungsproblem) tritt ein, wenn das entsprechende Indifferenzkriterium erfüllt wird. Die derart ermittelte "kritische" Last (Eigenwert) führt zu einem Ausweichen des Systems aus der planmäßigen Lage. Die Größe der Verformungen (Eigenwerte) kann nur qualitativ angegeben werden, da in diesem Zustand in jeder Nachbarlage labiles Gleichgewicht herrscht. Im allgemeinen verfügt ein System nicht nur über einen Eigenwert sondern es existieren mehrere solcher Verzweigungslasten.

Im Rahmen einer statischen Analyse interessiert im allgemeinen nur der niedrigste Eigenwert, da er die betragsmäßig kleinste Last darstellt bei der die Verformungen gegen unendlich streben. Die Spannungen für diese Last werden unter Berücksichtigung des Hookeschen-Gesetzes (Proportionalität der Dehnungen und Spannungen) und der Bernoulli-Hypothese (Ebenbleiben der Querschnitte) ermittelt.

Dieses Verfahren geht von Voraussetzungen aus, welche beim Bau realer Konstruktionen nicht eingehalten werden können und haben für die praktische Anwendung im wesentlichen nur Bedeutung als Grenz Betrachtung.

Bei einer derartigen Berechnung wird eine Kontrolle der durch das Material aufnehmbaren Spannungen nicht geführt und muß gesondert betrachtet werden.

Durch die Berücksichtigung der Spannungen der Grundzustandes (Theorie I. Ordnung) bzw. durch Ansatz von spannungslosen Vorverformungen ist es im Rahmen der Spannungstheorie II. Ordnung möglich die Schnittgrößen eines Systems im verformten Zustand zu ermitteln. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, daß die Vorverformung nur ausreichend große Anteile der maßgeblichen Versagensform beinhalten muß um bei der Berechnung des Grenzzustandes der Systemtragfähigkeit in die richtige Verformungsfigur überzugehen (siehe Abschnitt 3).

Im wesentlichen unterscheidet man Verfahren nach Gesamtschritt- und iterativen Verfahren welche je nach Aufgabenstellung Vor- oder Nachteile besitzen. Durch Einführen von nichtlinearen Materialgesetzen, plastischen aufnehmbaren Schnittgrößen und anderen nichtlinearen Effekten ist es möglich dem tatsächlichen Trag- und Verformungsverhalten einer Konstruktion immer näher zu kommen.

Hierin liegen jedoch ebenfalls die Schwierigkeiten für die praktische Anwendung begründet. Die allgemein zugängliche Literatur zu diesem Thema ist unermesslich umfangreich und stellt mehrere Materialgesetze, wirksame Querschnitte, Plastizierung- und Entlastungstheorien, Ansätze über Vorverformungen und ähnliche Parameter zur Auswahl.

Die Vielzahl der Möglichkeiten macht es dem Ingenieur nicht leicht, die auf seine Aufgabenstellung anzuwendenden bzw. günstigsten Systemannahmen auszuwählen.

Die Vielzahl der Einflußgrößen macht es sowohl den Normungsausschüssen sowie den Software-Herstellern schwer Richtlinien, Möglichkeiten und Einschränkungen für die Umsetzung all dieser Einflüsse im konkreten Anwendungsfall zu definieren bzw. zur Verfügung zu stellen.

2. BEHANDLUNG IN DEN NORMEN UND DEREN GRUNDLAGEN

Im allgemeinen versucht die Normung das Tragverhalten der zu untersuchenden Struktur anhand von Einzelnachweisen zu beurteilen. Vielfach geschieht dies an aus der Gesamtstruktur herausgelösten Teilsystemen (Ersatzstabverfahren). Die Summe der an diesen Teilstrukturen nachgewiesenen Tragfähigkeiten soll in der Summe die Tragfähigkeit der Gesamtstruktur erfüllen. Genauere Nachweise unter Berücksichtigung des Standes der Technik sind naturgemäß nicht berücksichtigt, jedoch vielfach empfohlen.

2.1 Holzbau DIN 1052, T1, 04/1988

Für biegebeanspruchte Bauteile im Holzbau gibt die DIN 1052 (T1,1988) in Abschnitt 8.6.1 eine Näherungsformel (" k_B -Formel") an. Die Herleitung der Formel geht auf die Betrachtung eines beidseitig gabelgelagerten Einfeldträgers unter konstanter Momentenbelastung zurück:

$$(M/W) / (k_B \cdot 1.1 \cdot \text{zul.}\sigma_B) \leq 1 \quad (47)$$

$$k_B = 1.0 \quad \text{für} \quad \lambda_B \leq 0.75 \quad (48)$$

$$k_B = 1.56 - 0.75 \cdot \lambda_B \quad \text{für} \quad 0.75 \leq \lambda_B \leq 1.4 \quad (49)$$

$$k_B = 1 / \lambda_B^2 \quad \text{für} \quad \lambda_B > 1.4 \quad (50)$$

$$\lambda_B = \sqrt{(s \cdot h \cdot \gamma_1 \cdot \text{zul.}\sigma_B) / (\pi \cdot b^2 \cdot \sqrt{(E \cdot G_T)})} \quad (51)$$

Untersuchungen eines Einfeldträgers unter Gleichstreckenlast mit n äquidistanten seitlichen Abstützungen des Obergurtes unter Berechnung gemäß Theorie II. Ordnung nach Abschnitt 8.6.2 führte zu guter Übereinstimmung der Ergebnisse. Selbst unter Berücksichtigung der Spannungserhöhung im Eckpunkt um 10% ergeben sich jedoch zum Teil Bemessungen auf der "unsicheren" Seite mit Hilfe der " k_B -Formel" (vgl. Bild 1).

Abschnitt 8.6.2 gibt die Vorverformung für einen geraden Biegeträger als sinus- oder parabelförmige Vorkrümmung durch die seitliche Kippaussteifungen verlaufend mit Stiche gemäß Gleichung (73) an. Vorverdrehungen oder Verläufe entsprechend einer Eigenwertermittlung werden nicht berücksichtigt. Genauso bleibt offen, was mit Systemen die

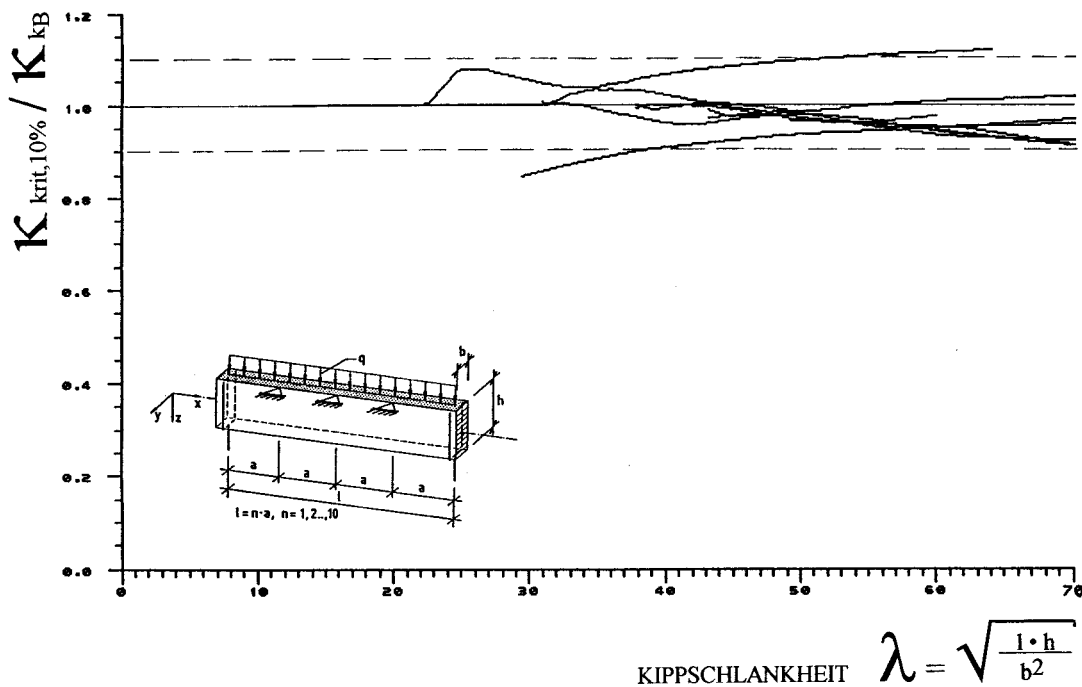


Bild 1 Vergleich der Tragfähigkeiten nach Theorie II. Ordnung und "k_B-Formel" am Beispiel q=konst. am Obergurt, h/b = 8/1, n = 1 .. 10, BSH II

zwar im Grundriß planmäßig gerade welche aber im Aufriß z.B. geknickt sind zu erfolgen hat.

2.2 Stahlbau DIN 18800, T2, 11/1990

Die Nachweise der DIN 18800 für das Stabilitätsversagen unter ein- oder zweiachsiger Biegung mit und ohne Normalkraft erfordern als Regelfall eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung.

Die Vorschriften für Stahlbauten berücksichtigen eine Vielzahl von Einflüssen und durch die Einfügung von Anmerkungen über die Grundlagen werden dem Benutzer Hinweise für die Anwendung gegeben. Es werden sowohl Ersatzimperfektionen sowie Ersatzlasten zur Berechnung zugelassen und in ihrer Größenordnung und Anordnung definiert.

Durch den Hinweis auf die niedrigste Eigenform als Grundlage der Ersatzimperfektionen wird auf die Abhängigkeit von dieser Größe hingewiesen und zeigt somit selbst für komplizierte Tragwerke einen Lösungsweg auf.

Bei der Definition der Vorkrümmungen und Vorverdrehungen ist eine Vorverformung um die Stablängsachse ϑ nicht enthalten und kann nur aus Analogiebetrachtungen abgeleitet werden. Für Systeme mit deutlich außermittigem Lastangriffspunkt lateraler

Lasten (vgl. Abschnitt 4) kann ein solcher Einfluß jedoch zur Veränderung der Schnittgrößen im verformten Zustand beitragen, da sich hieraus "Abtriebslasten" ergeben können, die gerade bei Systemen mit geringen Steifigkeiten bzgl. ihrer schwachen Achse oder einer Torsionsbeanspruchung wesentlichen Einfluß haben.

Der Einflüsse von z.B. exzentrischer Lagerung, gebundener Kippung und anderen ungünstigen Einflüssen werden nur die zugehörige Knickspannungslinie und durch die Schnittkraftverläufe M_y und M_z berücksichtigt. Diese können jedoch einen gleichen Verlauf bei durchaus unterschiedlicher Belastung haben. Selbst in der Norm wird hier auf die Literatur verwiesen.

Auf die Formeln und ihre Anwendung kann hier wegen des Umfangs nicht eingegangen werden. Es wird auf die einschlägige Literatur mit Kommentaren und Beispielen verwiesen.

Für die Berechnung von Systemen gemäß der vollständigen Spannungstheorie II. Ordnung und unter etwaiger Berücksichtigung der Plastizitätstheorie (Traglastverfahren) wird nicht hingewiesen. Die Möglichkeit nach Einführen des plastisch-plastischen Nachweisverfahrens in der Norm nun die Vorgehensweise in der Stabilitätsberechnung zu erfassen kann der wissenschaftlichen Literatur entnommen werden.

3. BEISPIEL EINES HALLENBINDERS AUS BRETTSCHICHTHOLZ

Der in Bild 2 dargestellte Brettschichtholzbinder einer Schwimmhalle wird im folgenden auf sein Stabilitätsverhalten hin untersucht. Im Rahmen einer Stabwerksberechnung mit dem Programm STAN3D wurde sowohl das Verzweigungs- als auch das Spannungsproblem berechnet. Vergleichend wird nun die geometrisch-nichtlineare Berechnung an der Struktur aus QUAD-Elementen mit dem Programm ASE dargestellt.

Die Beanspruchung unter Eigengewicht und Schneelast wird wie folgt vorgegeben:
 $Q_1 = 8.145 \text{ kN/m}$, $Q_2 = 9.469 \text{ kN/m}$, $Q_3 = 9.206 \text{ kN/m}$ als Randlast am Obergurt
 $G_1 = 4.363 \text{ kN}$, $G_2 = 1.621 \text{ kN}$, $G_3 = 2.595 \text{ kN}$ als Einzellast in Trägern.

Die Gabellagerung links wird durch eine Festhaltung PP im untersten und PZ in den verbleibenden Knoten der Lagerachse berücksichtigt. Die horizontale Verschieblichkeit des rechten Lagers wird durch Lagerung PYPZ im untersten und PZ in den restlichen Knoten erzielt (vgl. Bild 3).

Zur Kippaussteifung werden drei seitliche Halterungen mit einer Dehnsteifigkeit $c_w = 50.000 \text{ kN/m}$ jeweils 35cm unterhalb der Trägersoberkante angeordnet.

Die Schnittkraftverteilung der einachsigen Biegung dieses statisch bestimmten Systems kann den Bildern 4 und 5 entnommen werden. Biegemomente sind voraussetzungsgemäß nicht vorhanden.

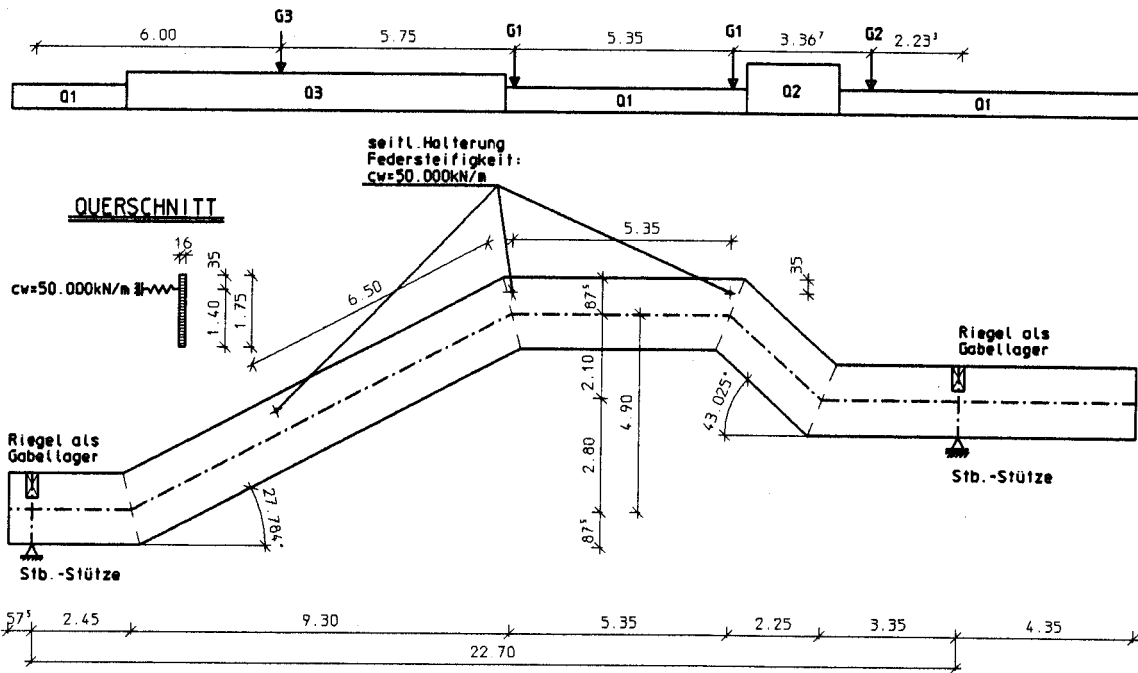


Bild 2 Brettschichtholzbinder (BSH GK I)

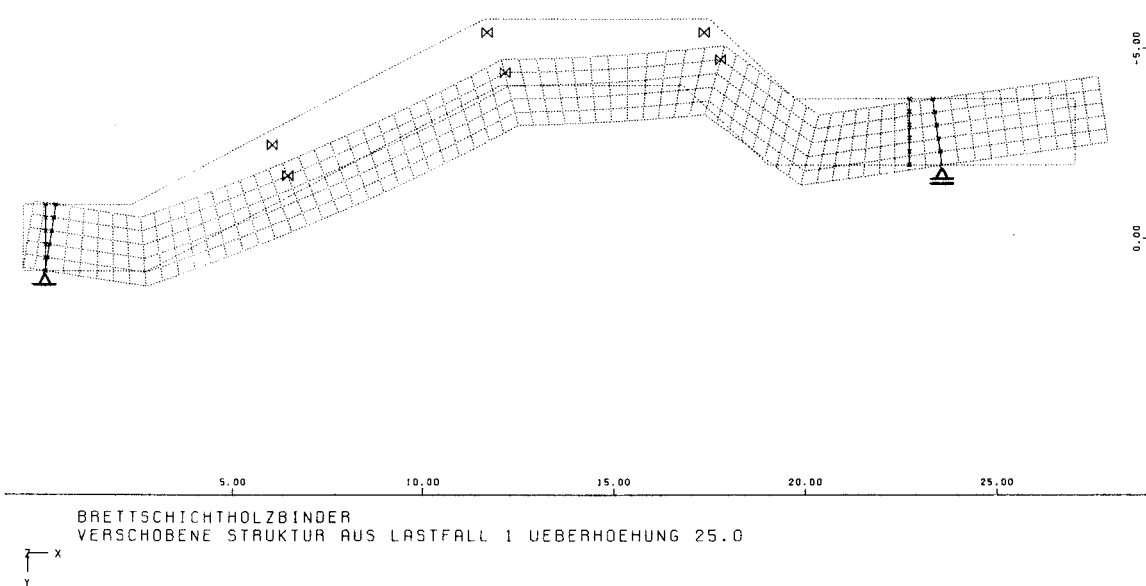


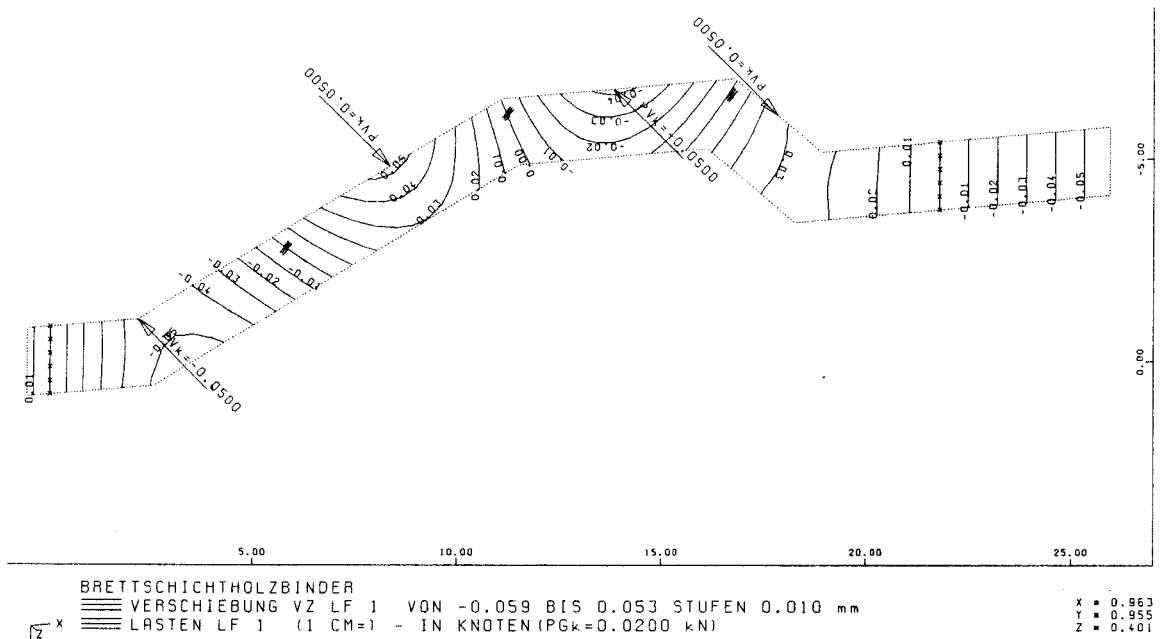
Bild 3 Verschobene Struktur unter Gebrauchslasten

Auf dieses System werden horizontale Störlasten von jeweils 0.05 kN am Obergurt angebracht. Um eine möglichst gute Approximation der Eigenform zu erhalten, werden diese Einzellasten jeweils am Obergurt mittig zwischen die Federn und mit alternierender Wirkungsrichtung angesetzt (vgl. Bild 6).

Mit dem Modul ASE wird nun eine iterative Berechnung zur Traglastermittlung gestartet welche bei Vorgabe geeigneter Parameter zu einem Laststeigerungsfaktor von $\gamma = 7.766$ (Eigenwert) und der in Bild 7 dargestellten Verformungsfigur (Eigenform) führt.

Die Stabilität des Ergebnisses kann auch daran gemessen werden, daß sich selbst bei gleichgerichteten Störlasten und somit deutlich unterschiedlicher Vorverformung (vgl. Bild 8) ein Wert von $\gamma = 7.794$ und ein affines Verformungsbild zu der Erstberechnung bei Erreichen der Grenzlast ergibt (vgl. Bild 9). Dies bestätigt, daß nur ausreichend große Anteile der Störung an der Eigenform vorhanden sein müssen um zu einer Ermittlung der Eigenform zu führen.

Selbst Variationen der Federsteifigkeit auf $c_w = 5.000 \text{ kN/m}$ bzw. der Störlasten auf $F_z = 0.50 \text{ kN}$ führte zu Laststeigerungsfaktoren von $\gamma = 7.680$ bzw. $\gamma = 7.688$.



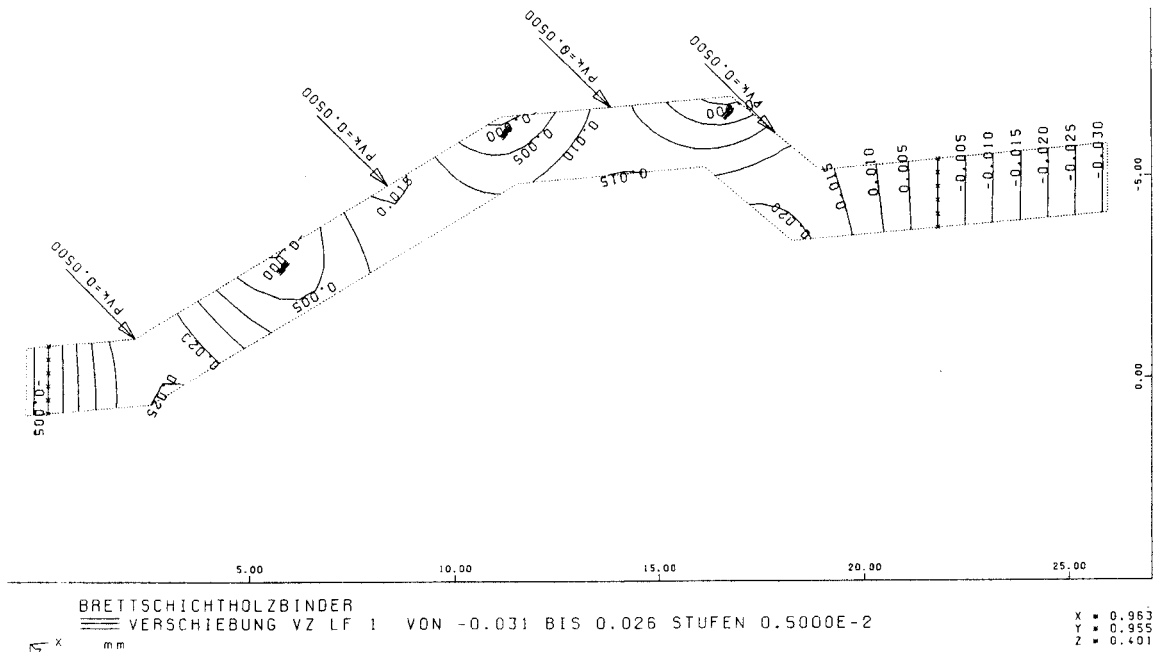


Bild 8 Gleichgerichtete Störlasten und Verformungen in Z-Richtung

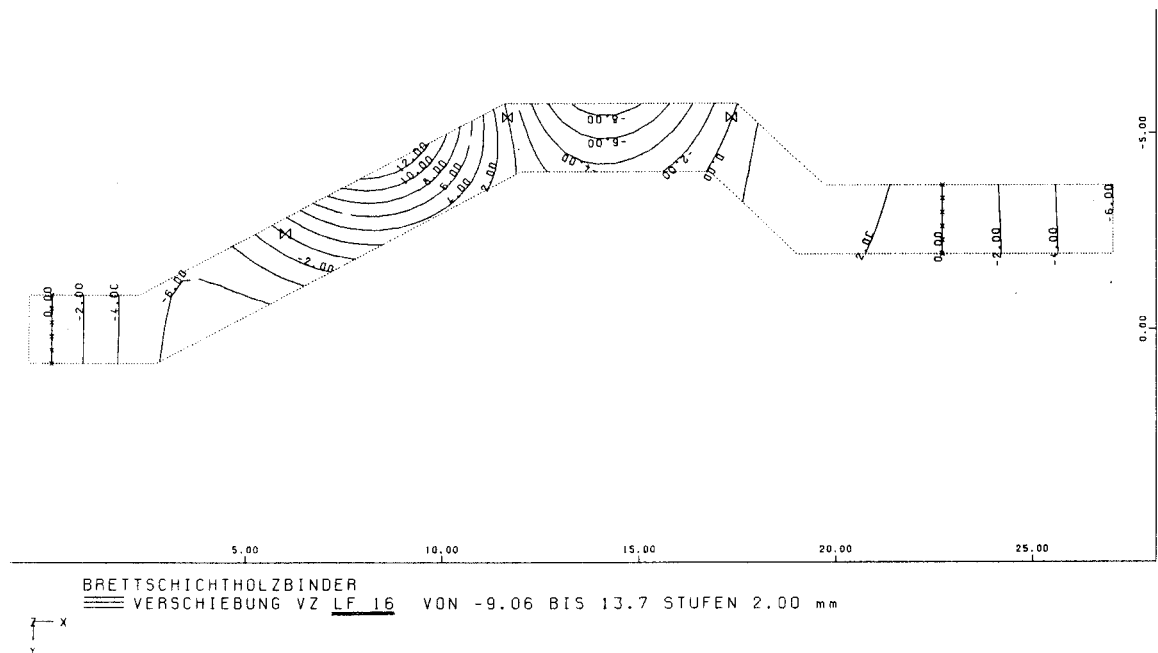


Bild 9 Verformung bei Grenztragfähigkeit für gleichgerichtete Störlasten

Im Sinne einer Bemessung nach DIN 1052 kann die zuvor ermittelte Eigenform als Vorverformung unter γ -fachen Lasten angesetzt werden. Hierzu wird als maßgebender Abstand der Kippaussteifung (eigentlich Wendepunkte der Eigenform) in Vergleich mit dem Auftreten der maximalen Lateralverschiebung (vgl. Bild 7) die schräge Länge von $s = 6.50$ m angenommen. Das Stichmaß der Vorverformung beträgt bei $f = s / 300 = 21.66$ mm und wird durch eine Normierung der Eigenform mit Faktor $f / f_{\max} = 21.66 / 76.85 = 0.28195$ als sogenannter spannungsloser Primärlastfall ohne Störlasten aufgebracht.

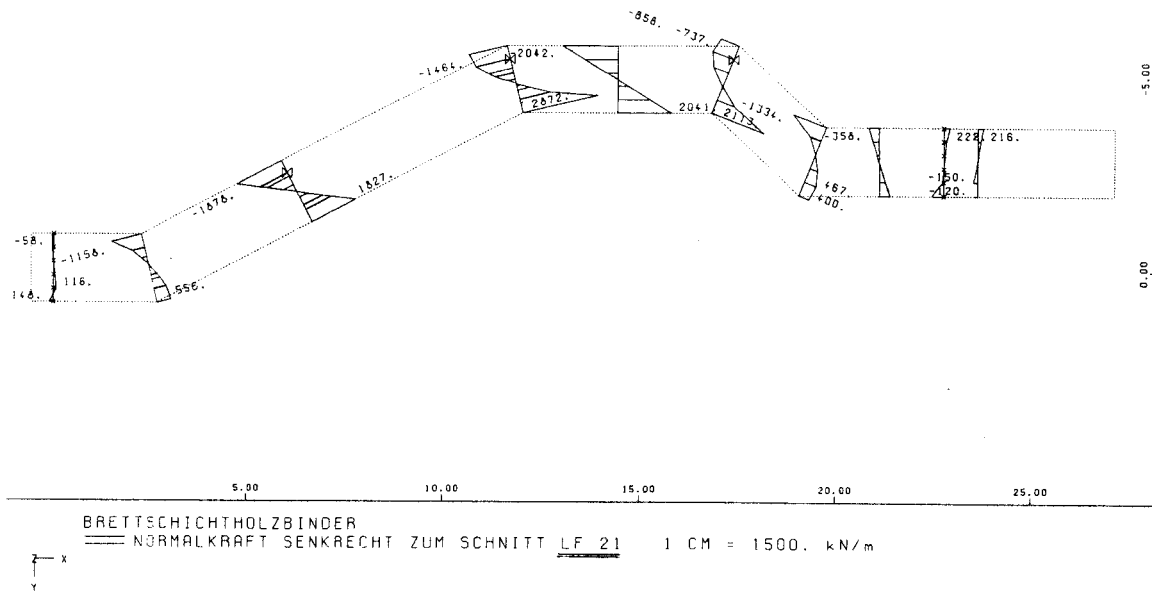


Bild 10 Längskräfte an ausgewählten Schnitten unter γ -fachen Lasten

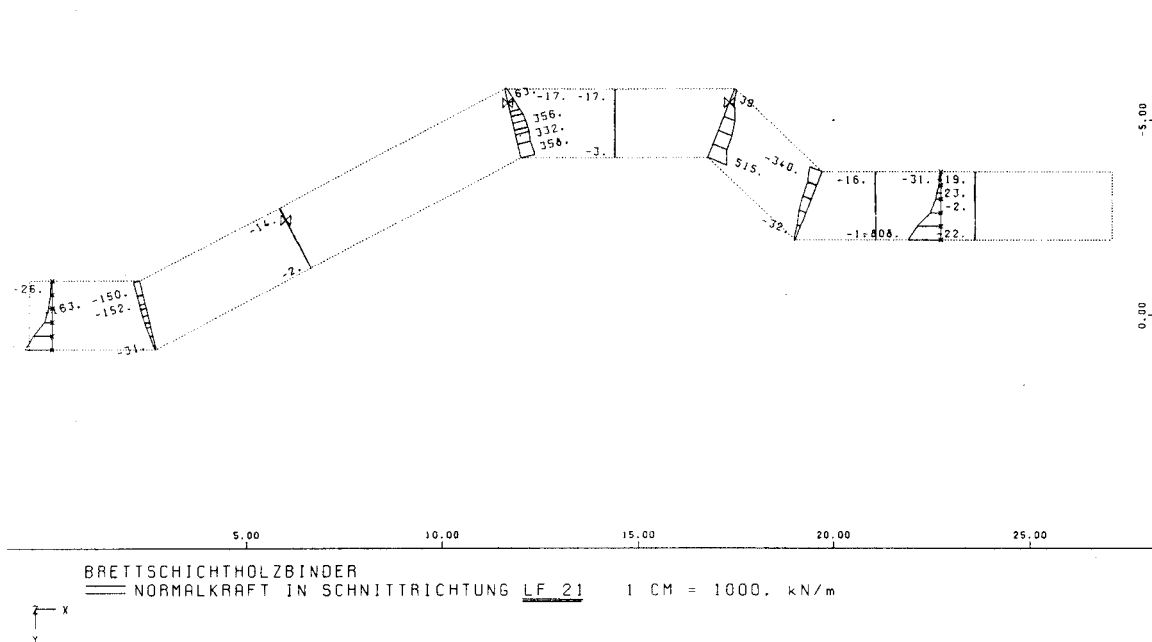


Bild 11 Normalkräfte in Schnittrichtung ausgewählter Schnitte unter γ -fachen Lasten

An diesem System werden erneut mit einer geometrisch-nichtlinearen ASE-Berechnung die Schnittkräfte ermittelt (vgl. Bilder 10 bis 13). Es ergeben sich durch die eintretende Querbiegung nun auch Biegemomente die für die Bemessung, insbesondere der Eckspannungen, berücksichtigt werden müssen. Im Rahmen dieser Untersuchung wird auf Spannungsnachweise verzichtet. Es sollte jedoch angemerkt werden, daß besonders für die Bemessung der Eckverbindungen als Keilzinkenstöße die vorliegende Bemessung interessante Aufschlüsse gibt, da nicht nur aus M_y , M_z und N und Parametern zur Berücksichtigung des Knickwinkels sondern auch durch die Angabe der Querspannungen in den Ecken Aussagen zur Tragfähigkeit unter Berücksichtigung der Spannungs-

theorie II. Ordnung gemacht werden können. Auf Besonderheiten bei der Berechnung des eigentlich isotropen Materials Holz wird hier nur hingewiesen. Grundsätzlich ist eine Berücksichtigung in ASE durch Definition der Orthotropie möglich, erfordert jedoch einen umfangreichen Ein- und Ausgabeaufwand.

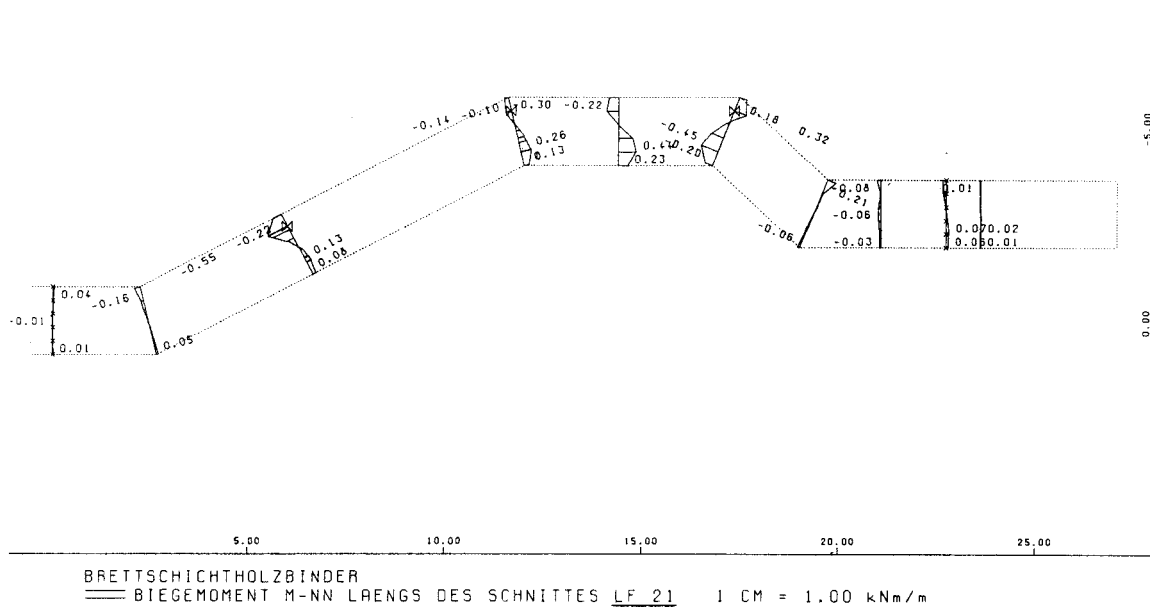


Bild 12 Biegemomente längs ausgewählter Schnitte unter γ -fachen Lasten

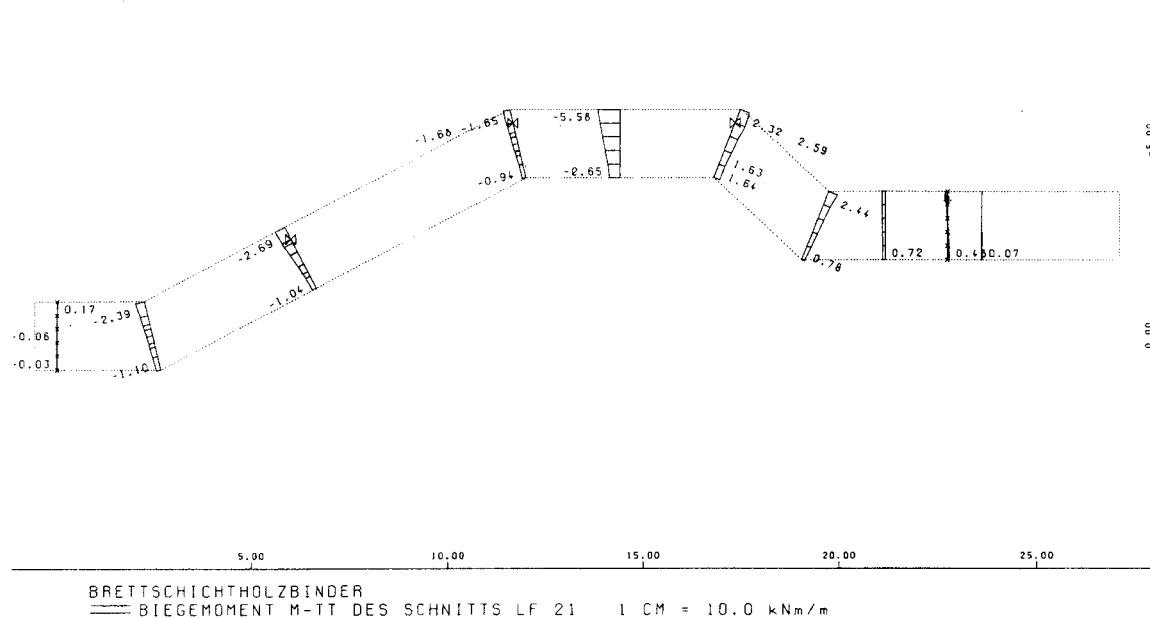
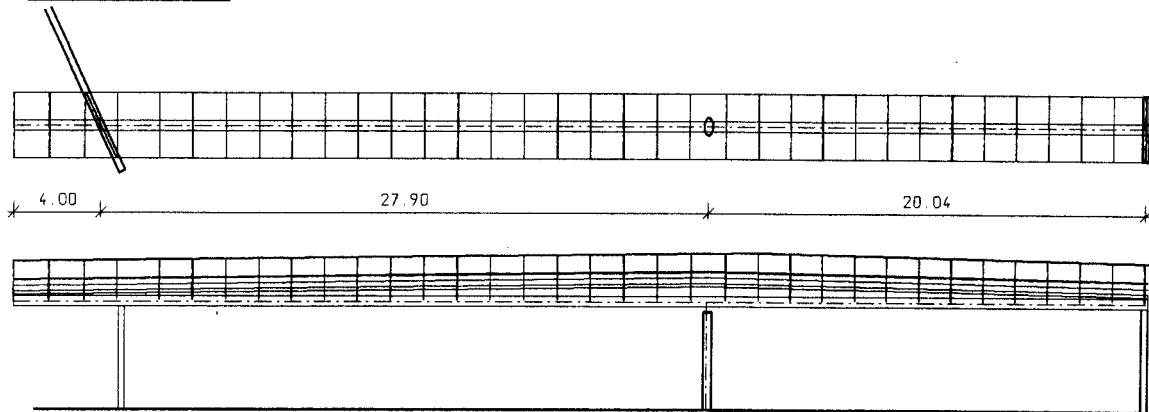


Bild 13 Biegemomente quer zu ausgewählten Schnitten unter γ -fachen Lasten

4. BEISPIEL EINES STAHLSTEGES

Der in Bild 14 dargestellte Fußgängersteg besteht im Querschnitt unten aus einem geraden Rundrohr worauf sich ein senkrechter Steg veränderlicher Höhe befindet. Auf dessen oberem Ende ein geschweisstes U-Profil, welches als Regenrinne dient, aufgebracht ist.

DRAUFSICHT



SEITENANSICHT

Bild 14 Seitenansicht des Stahlsteges

QUERSCHNITT: STEG -Mittelauflager

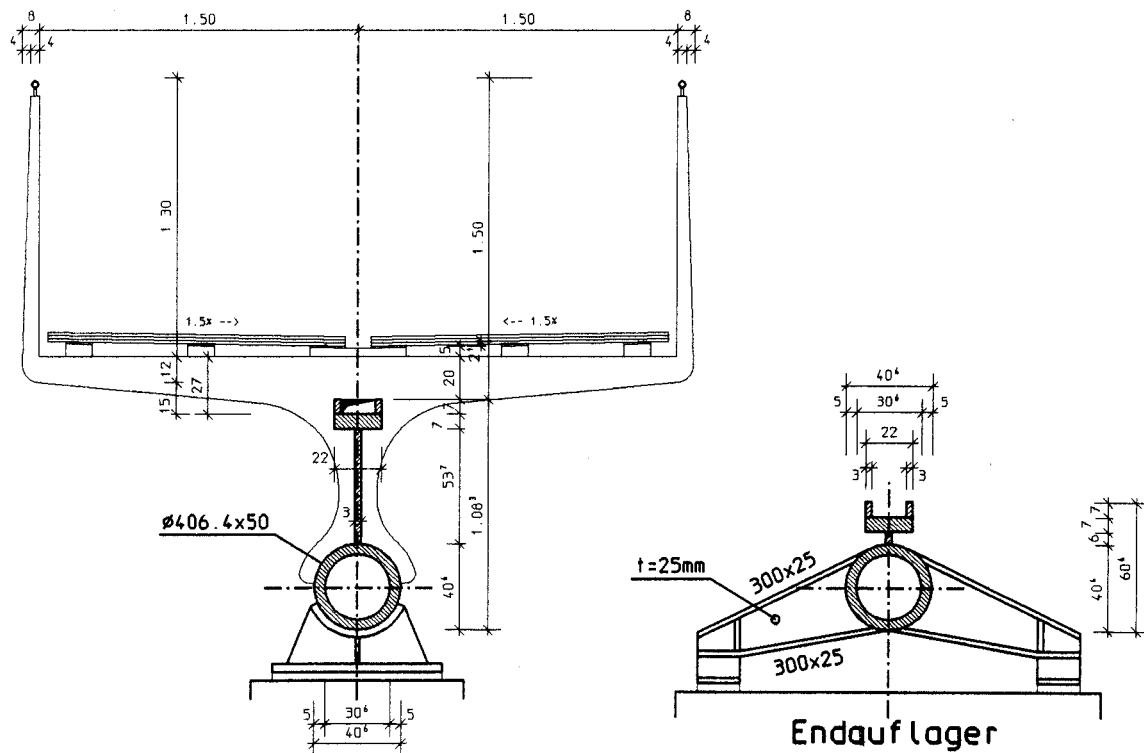


Bild 15 Querschnitte des Steges am End- und Mittelauflager

Um dem Tragverhalten so wirklichkeitsnah wie möglich zu kommen wird versucht

für die Berechnung mit dem Modul STAR2 allen Einflußgrößen, insbesondere veränderlicher Querschnittsform, Höhe des Lastangriffspunktes und exzentrischer Lagerung Rechnung zu tragen.

Die Höhe des Steges nimmt von den Endauflagern zum Mittelaufleger hin zu. Das Rundrohr verläuft gerade, jedoch von links nach rechts leicht ansteigend. Mit dem Modul AQUA werden für vier Abschnitte die Querschnittswerte ermittelt (vgl. Bild 16).

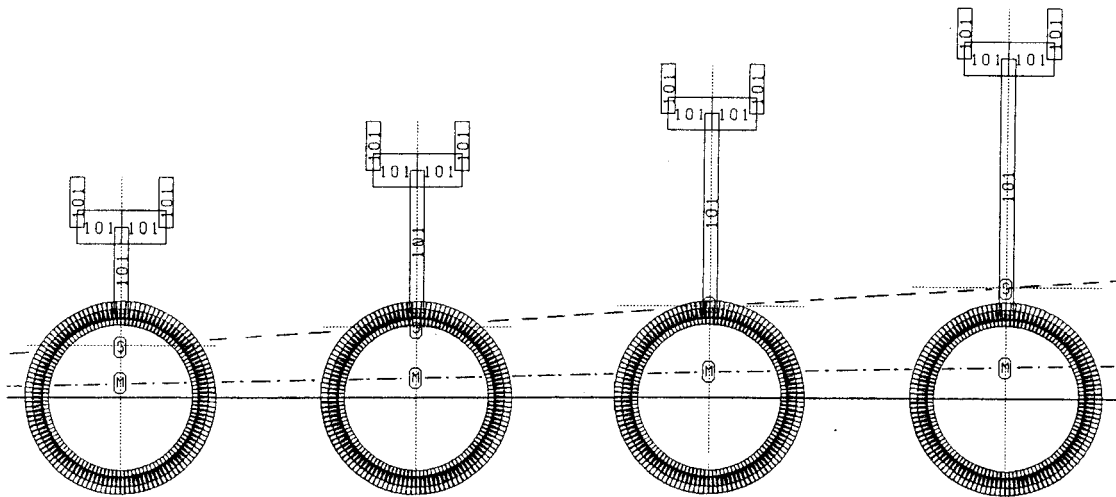


Bild 16 Querschnitte nach AQUA mit Angabe der Schwerachse und des Schubmittelpunktes

Für die Berechnung mit GENF werden die Knotenkoordinaten bzgl. der veränderlichen Schwereachse ermittelt. Die Lagerung erfolgt in den Endauflagern als in alle Richtungen unverschieblich und eingespannt bzgl. der Längsachse (Gabellagerung). Das Mittelaufleger wird im Schwerpunkt als in Stabquerrichtung unverschieblich berücksichtigt.

Die untersuchte Lastkonfiguration besteht aus einer vertikalen, konstanten Streckenlast mit Anteilen des Eigengewichtes, des Ausbaugewichtes und der Verkehrslast aus Betrieb als Fuß- und Radweg. Zusätzlich wird eine horizontale Belastung aus Wind aufgebracht welche durch die veränderliche Höhe nicht konstant ist. Für beide Lastgruppen werden die nicht in die Schwereachse fallenden Lastangriffspunkte berücksichtigt. Die Vertikallast wird in Stegmitte an der Oberkante des Belages angenommen, die Horizontallast in der halben Höhe der Seitenansichtsfläche. Beide Angriffslinien liegen oberhalb des jeweiligen Schwerpunktes (ca. 51 bis 96 cm für q_z bzw. ca. 70 bis 88 cm für q_y).

Die Verformungen und Schnittkräfte dieses Systems werden mit STAR2 nach Theorie I. Ordnung berechnet. Es ergeben sich die in Bild 18 dargestellten Verformungen bzgl. der z-Achse. Die Verschiebungen in y-Richtung sind affin und ungefähr von halbem Betrag.

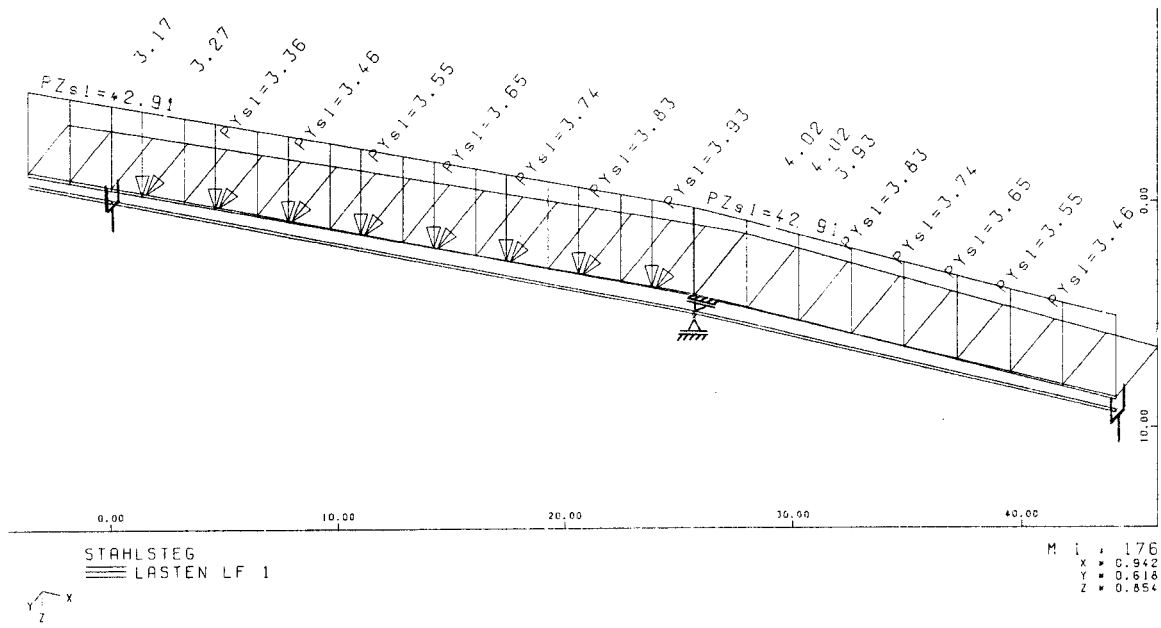


Bild 17 Exzentrische (z-Richtung) Lateralbelastung des Steges

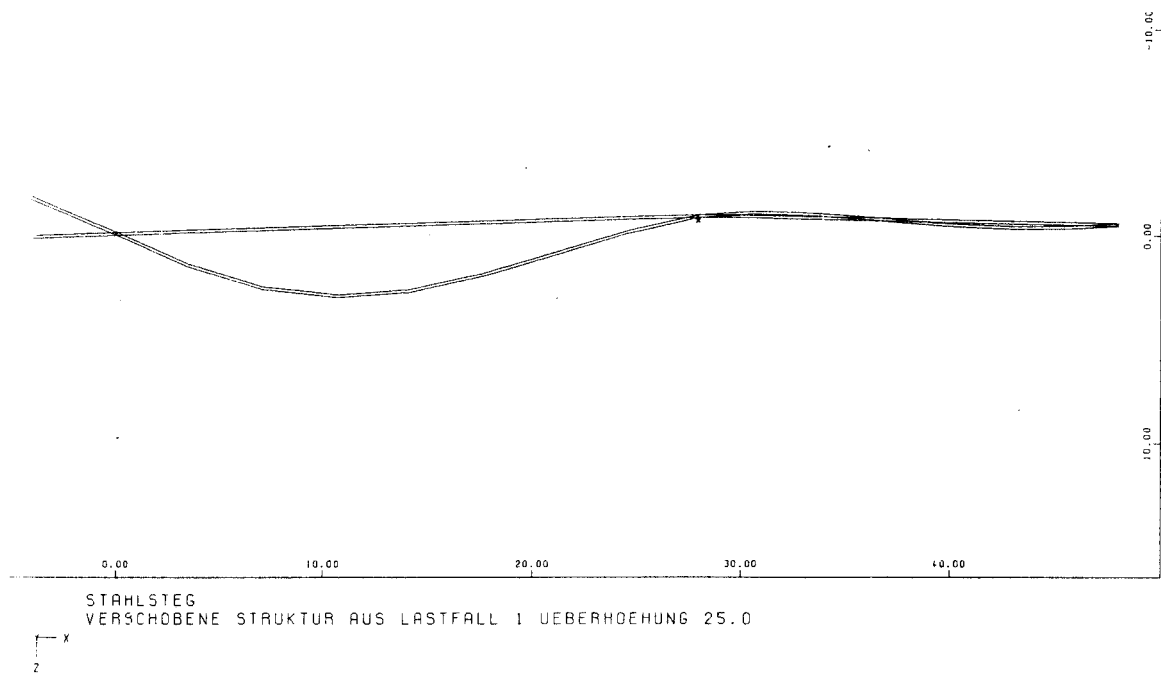


Bild 18 Verformungen in vertikaler Richtung

Die Schnittkraftverläufe stellen für die Hauptbiegung bzgl. y- und z-Achse einen normalen Verlauf für Durchlaufträger dar (vgl. Bilder 19 bis 22). Betrachtet man den Torsionsmomentenverlauf (Bild 23) stellt man einen Sprung am Mittelaufleger fest. Obwohl die Verdrehung nicht durch die Anordnung einer Einspannung bzgl. der Stablängsachse bedindert wurde, ergibt sich durch Auseinanderfallen des Querschnittsschwerpunktes und des Schubmittelpunktes eine Teileinspannung, da die Festhaltung in y-Richtung mit ihrem Hebelarm zum Punkt M einen Widerstand bzgl. der Verdrehung um die Längsachse darstellt.

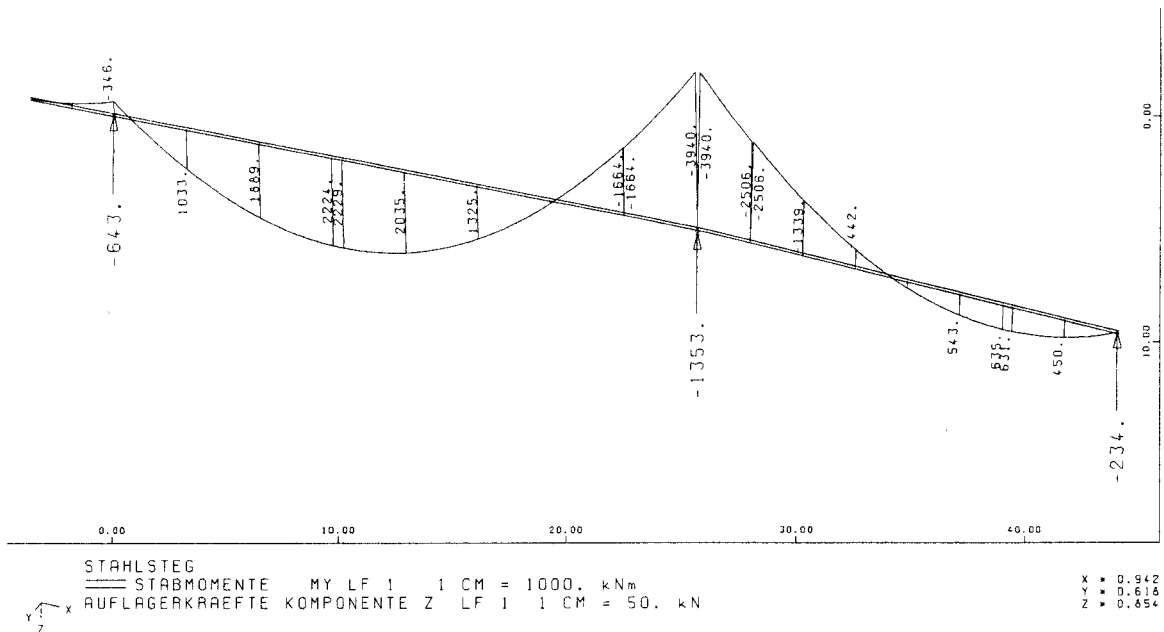


Bild 19 Biegemomente My und Auflagerkräfte Pz

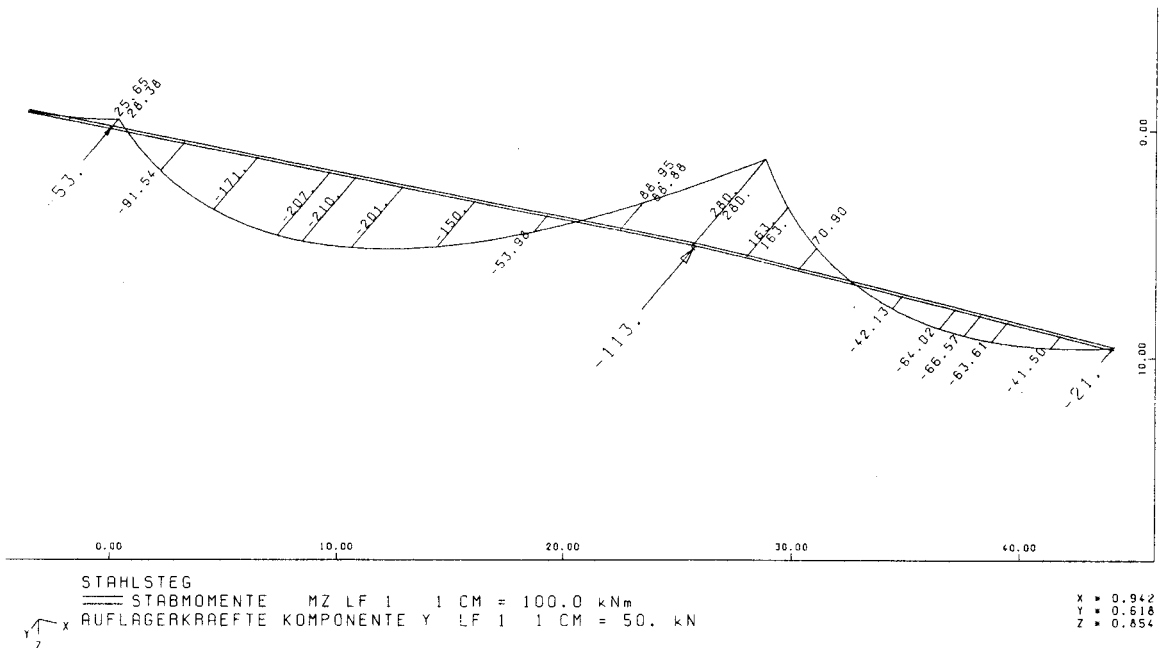


Bild 20 Biegemomente Mz und Auflagerkräfte Py

Darüberhinaus stellt man bei genauer Betrachtung der Lagerung des Mittelaufagers fest (Bild 15), daß sich durch die längsverschiebliche Lagerung des Rundrohres in der Zylinderschale eine Zwangsdrillachse im Mittelpunkt des Rundrohres ergibt. Zur Berücksichtigung in der STAR2-Berechnung wird ein exzentrischer Knoten 22.3 cm unterhalb der Stabachse (Schwereachse) angeordnet, in y- und z-Richtung festgehalten und mit dem darüberliegenden Knoten starr gekoppelt.

Betrachtet man den hieraus resultierenden Torsionsmomentenverlauf (Bild 24) glättet sich dieser im Auflagerbereich deutlich. Dies ist auf die Nachgiebigkeit des Systems zurückzuführen. Die Verformungen in diesem Punkt ergeben sich für die Verdrehung um

die Längsachse zu $\phi_y = 6.357\text{‰}$ und die seitliche Verschiebung zu $v_y = 1.420\text{ mm}$.

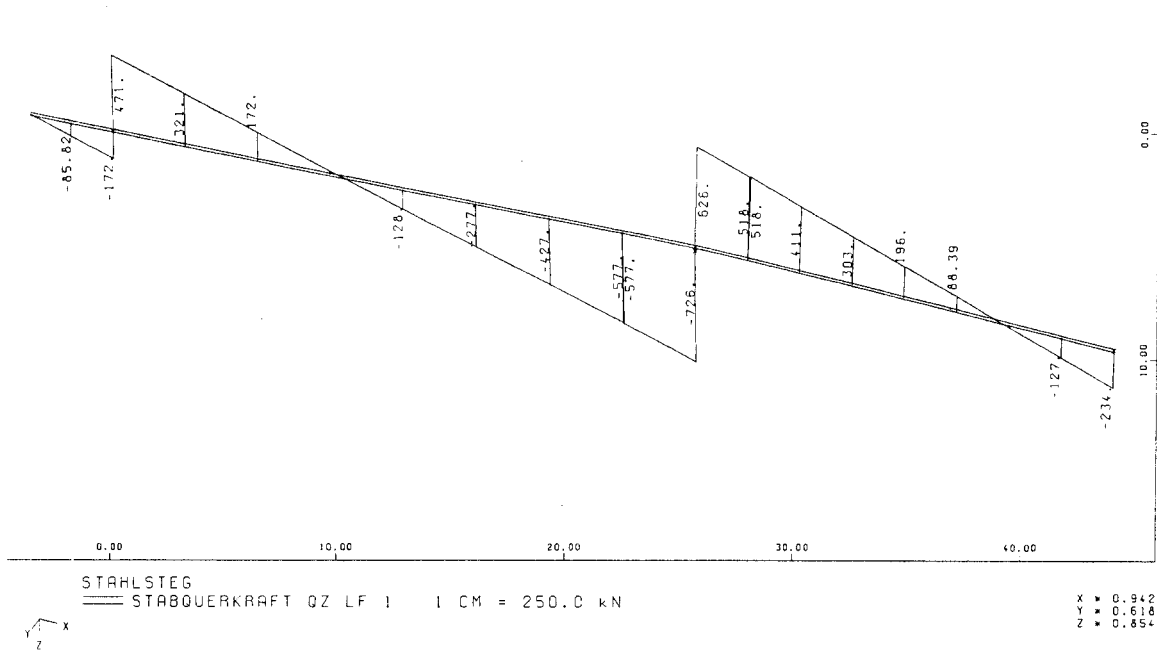


Bild 21 Querkräfte Qz

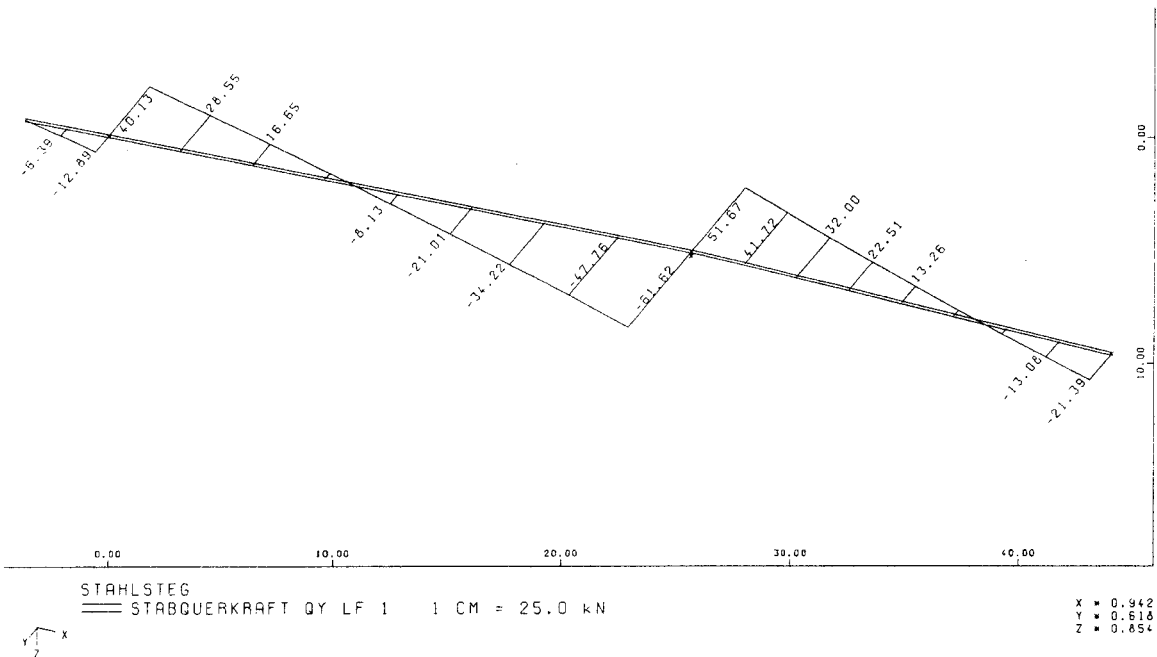


Bild 22 Querkräfte Qy

Da das Modul STAR2 im Rahmen der Spannungstheorie II. Ordnung nur die Einflüsse aus Normalkräften des Grundzustandes berücksichtigt ergeben sich durch eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung keine Änderungen der Schnittkräfte.

Nach der vollständigen Spannungstheorie II. Ordnung haben aber auch die exzentrischen Lasten sowie die Schnittgrößen M_y , M_z und das in STAR2 nicht berücksichtigte Wölbmoment Anteile an der geometrischen Steifigkeitsmatrix und somit am Ergebnis.

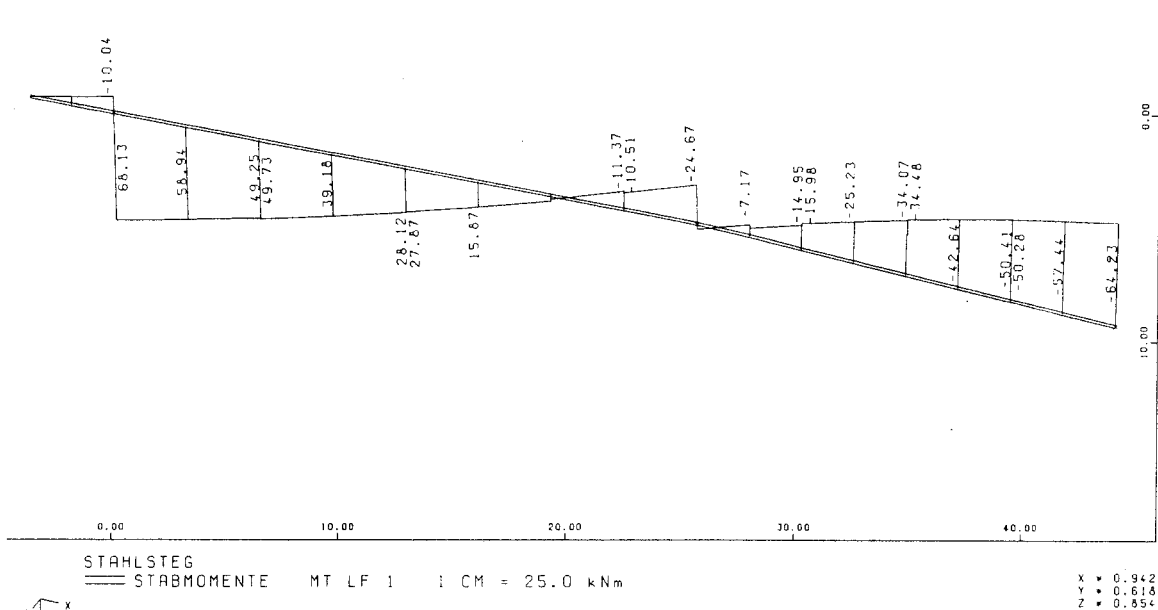


Bild 23 Torsionsmoment bei direkter Lagerung im Mittelaufleger

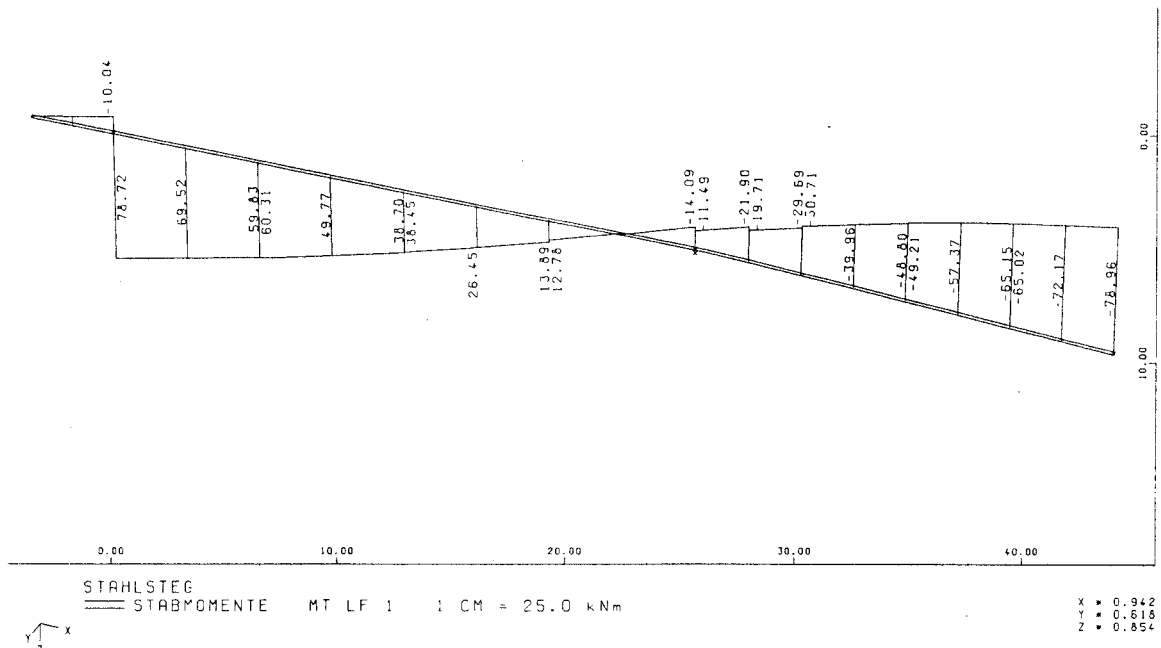


Bild 24 Torsionsmoment bei indirekter Lagerung über gekoppelten Knoten

Betrachtet man allein die Außerzentrizität der Vertikallast die im Mittelaufleger bereits $v_y = 1.42 + 6.357 \cdot 0.965 = 7.56$ mm beträgt, so resultiert eine zusätzliche horizontale Abtriebslast in diesem Punkt von $dH_y = 49.81 \cdot 0.006357 = 0.317$ kN/m welches ca. 7.9 % der äußeren Horizontallast infolge Wind ausmacht. Im Feldbereich sind die Einflüsse auf die Torsionsbelastung ebenfalls deutlich. Die horizontale Auslenkung beträgt bis zu 72.4 mm und führt zu einem Zuwachs des Streckentorsionsmomentes von $dM_x = 49.81 \cdot 0.0724 = 3.61$ kNm/m welches sogar ca 100% der Ursprungsbelastung ausmacht.

Aufgrund dieser Betrachtung ist die Beurteilung des Systems durch das Modul BDK

bzgl. der Biegedrillknicksicherheit nach DIN 18800 in Frage zu stellen. Dies liegt nicht an dem Modul selbst, sondern ist in der Norm begründet, welche die oben genannten Effekte nur teilweise berücksichtigt. Der Einfluß der Torsionsmomente findet nur bedingt Eingang und die durch BDK durchgeführte Eigenwertermittlung ist bzgl. der o.g. Einflüsse auch nicht vollständig. Die Kopplung der Verschiebungsfreiheitsgrade im Mittelaufleger kann nur bedingt durch Einzelfedern abgebildet werden.

Die Berechnung mit BDK liefert einen Wert von $BDK = 0.575$ für das linke Feld und $BDK = 0.545$ für das rechte Feld und wären damit ausreichend biegedrillknickgesichert. Die Werte waren sowohl für die Parameter BDK und KIPP in Eingabesatz EIGE sowie für die unterschiedlichen Torsionsmomentenverläufe konstant.

Zusammenfassend kann keine exakte Aussage über das Stabilitätsverhalten gemacht werden. Sollte jedoch die untersuchte Lastkombination die maßgebende sein, stellt ein Wert von $BDK = 0.575$ ingenieurmäßig betrachtet einen recht großen Abstand zur Grenze von 1.0 dar. Aufgrund des nichtlinearen Tragverhaltens wäre es jedoch vermessen eine sichere Aussage machen zu wollen.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die Aufgabe dieses Beitrages kann und soll es nicht sein ein Patentrezept für die Behandlung des Stabilitätsproblems des Biegedrillknickens anzugeben. Er soll vielmehr das Bewußtsein schärfen, daß selbst bei Kenntnis der wesentlichen Einflüsse auf das Tragverhalten ein vorsichtiger Umgang angeraten ist. Nachrechnungen bestehender Konstruktionen und die Schadensfälle der Vergangenheit sind Anlaß genug sich mit diesem Thema auseinanderzusetzen.

Es sollte Aufgabe gerade der Hersteller und Vertreiber kommerzieller Software in diesem Bereich sein die wissenschaftlichen Ergebnisse und Möglichkeiten auszunutzen. Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung und der Nichtnachvollziehbarkeit der exakten Grundlagen heutiger EDV-Programme kann man nicht erwarten, daß der Anwender über alle Kenntnisse verfügt die Ergebnisse vollständig zu beurteilen, wenn selbst hochrangige Wissenschaftler sich nicht in allen Punkten einig sind.

Schulungen im Rahmen des Erwerbs solcher Software und neue Technologien wie z.B. adaptive Verfahren, Methoden der Fuzzy-Logic sowie Fehler- und Warnmeldungen bieten Möglichkeiten zur Unterstützung des Anwenders.

Ebenfalls sollte der interaktive Umgang mit dem Computer verbessert werden, da durch visuelle Ein- und Ausgabehilfen ein anschaulicheres Hilfsmittel zur Verfügung steht (vgl. Bild 23), als das Auffinden von einzelnen Werten in Zahlenkolonnen.

Grafische Darstellungen unterstützen heutzutage den Lernvorgang des Ingenieurs, der vormals durch das Anfertigen gleichartiger Berechnungen zur "Berufserfahrung" führte und leider dem "unpersönlichen" Umgang mit dem Computer gewichen ist.

Hat früher ein Ingenieur durch das wiederholte Berechnen eines Systems ein Gefühl für Proportionen und Tragverhalten gewonnen, so geht diese Empfindung heutzutage in der Vielzahl der automatisierten Computerberechnungen unter.

6. LITERATUR

DIN 1052 "Holzbauwerke", Teil 1, Ausgabe 04/1988

DIN 4114 T1/07.52xx, T2/02.53 x

DIN 18800 Ausgabe 11/1990

Handbücher der SOFiSTiK GmbH, Oberschleißheim zu Moduln AQUA, GENF, ASE, STAR2 und BDK, Stand 06/1996

Beverungen, G.: *STANAS - Programmbausteine für den Stabilitätsnachweis räumlich belasteter Stäbe, Theoretische Grundlagen*, CAD-Berichte des Kernforschungszentrum Karlsruhe KfK-CAD 122, 3/1979

Beverungen, G., Schrödter, V.: *STANAS - Programmbausteine für den Stabilitätsnachweis räumlich belasteter Stäbe, Benutzerhandbuch und Beispiele*, CAD-Berichte des Kernforschungszentrum Karlsruhe KfK-CAD 123, 3/1979

Friemann, H.: *Schub und Torsion in geraden Stäben*, 1. Aufl., Düsseldorf: Werner, 1983

Höss, P., Heil, W., Vogel, U.: *Traglasten für drehgebetete Träger aus U-Profilen*, STAHLBAU 61 (1992), H.3, S.85-92

KALTPROFILE, Hrsg. Beratungsstelle für Stahlverwendung, 3. Auflage, 1982, Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf

Kreutz, J.-St.: *Fragen zum Begriff der "Geometrischen Ersatzimperfektionen" für verschiebliche Systeme in DIN 18800 Teil 2*, STAHLBAU 58 (1989), H.4, S.111-117

Lindner, J.: *Zum Biegedrillknicken ("Kippen") im Holzbau*, Beiträge zur Bautechnik, Hrsg. Bauer, J., Scheer, C., Cziesielski, E., Berlin, München: Ernst & Sohn 1980

Quint, M.: *"KIPPEN" von Brettschichtholzbindern*, Diplomarbeit am Lehrstuhl für Baukonstruktionen mit Ingenieurholzbau und Konstrukt. Bauphysik der Ruhr-Universität Bochum, 1990

Roik, K., Kindmann, R.: *Berechnung stabilitätsgefährdeter Stabwerke mit Berücksichtigung von Entlastungsbereichen*, DER STAHLBAU, S.310-318, 10/1982

Wunderlich, W.: Vorlesungsskriptum und Mitschriften im Fach Torsions- und Stabilitätstheorie des Lehrstuhl IV am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum, WS1988/89 und SS1989