

**Friedrich-Karl Röder**

**PROGRAMMBESCHREIBUNG  
UND  
BENUTZERANLEITUNG  
ZUM  
RECHENPROGRAMM QUERWERT**

Berechnung vom Grenzzustand der Tragfähigkeit  
und vom Verformungszustand,  
sowie wirklichkeitsnahen Querschnittswerten und Steifigkeiten  
für polygonartig begrenzte Querschnitte  
aus Stahlbeton oder Spannbeton  
unter ein- oder zweiachsiger Biegebeanspruchung  
mit oder ohne Normalkraft

unter Berücksichtigung von DIN EN 1992-1-1:2011-01  
mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01  
und mit DAfStb Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1“  
sowie von DIN 1045-1:2008-08  
mit DAfStb Heft 525 „Erläuterungen zu DIN 1045-1“  
und von DIN 1045:1988 bzw. DIN 4227:1988

(PC-Version 13.x für WINDOWS Betriebssysteme)



**PROGRAMMBESCHREIBUNG  
UND  
BENUTZERANLEITUNG  
  
ZUM  
  
RECHENPROGRAMM QUERWERT**

Berechnung vom Grenzzustand der Tragfähigkeit  
und vom Verformungszustand,  
sowie wirklichkeitsnahen Querschnittswerten und Steifigkeiten  
für polygonartig begrenzte Querschnitte  
aus Stahlbeton oder Spannbeton  
unter ein- oder zweiachsiger Biegebeanspruchung  
mit oder ohne Normalkraft

unter Berücksichtigung von DIN EN 1992-1-1:2011-01  
mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01  
und mit DAfStb Heft 600 „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1“  
sowie von DIN1045-1:2008-08  
mit DAfStb Heft 525 „Erläuterungen zu DIN1045-1“  
und von DIN 1045:1988 bzw. DIN 4227:1988

(PC-Version 13.x für WINDOWS Betriebssysteme)

### *Herausgeber*

Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Fehling  
Leiter des Fachgebiets Massivbau  
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau  
Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen  
Universität Kassel  
Kurt-Wolters-Straße 3  
34125 Kassel  
Telefon 0561/8042656 - Fax 0561/8042803  
bauing.massivbau@uni-kassel.de  
[www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/institut-fuer-konstruktiven-ingenieurbau-iki/massivbau](http://www.uni-kassel.de/fb14bau/institute/institut-fuer-konstruktiven-ingenieurbau-iki/massivbau)

### *Verlag*

Fachgebiet Massivbau - Institut für Konstruktiven Ingenieurbau  
Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen  
Universität Kassel

### *Verfasser*

Dr.-Ing Friedrich-Karl Röder  
Akademischer Oberrat i.R.  
Fachgebiet Massivbau - Institut für Konstruktiven Ingenieurbau  
Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen  
Kurt-Wolters-Straße 3  
34125 Kassel  
Telefon 0561/8042656 - Fax 0561/8042803

©2024 Fachgebiet Massivbau  
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau  
Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen  
Universität Kassel  
Kurt-Wolters-Straße 3  
34125 Kassel

Diese Veröffentlichung ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, besonders das der Übersetzung in fremde Sprachen und das der Vervielfältigung, liegen beim Herausgeber und Verfasser.

Diese Programmbeschreibung und Benutzeranleitung sowie die zugehörigen Programme sind nach bestem Wissen und Gewissen erstellt worden. Der Verfasser übernimmt jedoch keine Gewähr für die Fehlerfreiheit dieses Handbuchs und der Programme. Fehler und Unzulänglichkeiten werden nach ihrem Bekanntwerden umgehend beseitigt.

Die Verantwortung für die Anwendung der Programme liegt einzig und allein beim Benutzer. Er sollte die Richtigkeit seiner Berechnungen durch Stichproben überprüfen.

## Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen .....	Seite	2
Installationsanleitung des Programms QUERWERT mit dem Zip-File .....	Seite	3
1. Programmaufbau .....	Seite	5
1.1 Anpassen des Programms an benutzerspezifische Vorgaben .....	Seite	5
2. Allgemeines zum Programm QUERWERT .....	Seite	6
3. Allgemeines zum Berechnungsablauf .....	Seite	7
4. Ablauf des Rechenprogramms QUERWERT .....	Seite	9
5. Ergebnisausgabe des Rechenprogramms .....	Seite	14
6. Beispiele .....	Seite	15
6.1 Vorgespannter Stahlbeton -I- Querschnitt .....	Seite	17
6.2 Stahlbeton -T- Querschnitt .....	Seite	31
6.3 Hohlkasten- Querschnitt .....	Seite	36
6.4 Beispiele für die Eingabe einer Torsionsbewehrung .....	Seite	38
6.5 Beispiele für die Eingabe der Daten eines Sonderbetons .....	Seite	42
6.6 Beispiel für ein Betonverhalten mit Kriecheinfluss .....	Seite	44
6.7 Vorgespannter Stahlbeton -I- Querschnitt Q3 – Torsionswerte .....	Seite	45
6.8 Darstellung von Betondruckzone, Schwerpunkt und Schubmittelpunkt anhand von Berechnungsergebnissen der Beispielquerschnitte .....	Seite	50

## Vorbemerkung

Das Programm QUERWERT ist seinem Ursprung nach eine Ausgliederung aus dem Programm KIPPEN, welches im Rahmen meiner Dissertation „Berechnung von Stahlbeton- und Spannbetonträgern nach Theorie II. Ordnung“ (<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29882.06083>) entstanden ist. Das Programm KIPPEN berechnet, anders ausgedrückt, also die Kippstabilität von Stahlbeton- und Spannbetonträgern. QUERWERT enthält den Programmteil, in dem alle erforderlichen Querschnittswerte und Steifigkeiten eines Stahlbeton- oder Spannbetonquerschnitts unter Beachtung wirklichkeitsnaher Werkstoffbeziehungen für eine vorgegebene Belastung iterativ ermittelt werden.

Der Entstehungsprozess des Programms QUERWERT ist der meist sehr aufwendigen Fehlersuche und Fehlerbehebung im Programm KIPPEN geschuldet. Im Programm KIPPEN sind mehrere ineinander verschachtelte Iterationsprozesse vorhanden. Wenn in einem dieser Abläufe ein Fehler – dieser kann sowohl programmiertechnischer als auch berechnungstechnischer Art sein – meist bei der Querschnittsanalyse auftritt, so ist eine Korrektur sehr aufwendig, wenn die gesamten Iterationsprozesse immer wieder durchlaufen werden müssen, um an die Fehlerstelle zu gelangen. Das Programm KIPPEN ist daher so aufgebaut, dass bei möglichen Fehlern eine präzise Ausgabe der Fehlerstelle im Programm mit allen relevanten Daten der Fehlerursache besteht. Mit diesen Angaben kann dann mit QUERWERT gezielt an der georteten Fehlerstelle an einer Behebung des aufgetretenen Fehlers gearbeitet werden.

Im Laufe der Zeit ist dann aus QUERWERT ein eigenständiges Programm für eine umfangreiche Analyse von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten geworden.

Inzwischen ist auch ein Näherungsverfahren zur Berechnung des Kippverhaltens von Stahlbeton- und Spannbetonträgern mit einem entsprechenden Rechenprogramm KIPNT2 entwickelt worden. Auch in KIPNT2 wird die Querschnittsanalyse mit QUERWERT durchgeführt.

In den früheren Benutzeranleitungen zu den Programmen KIPNT2 und QUERWERT bis zum Jahre 2023 sind zu Beginn in jeweils eigenen Kapiteln Angaben zu den im Programm verwendeten Werkstoffbeziehungen, zu den Berechnungsmethoden für die angesetzten Querschnittswerte und zu den notwendigen Eingabewerten für einen ordnungsgemäßen Ablauf der Programme beschrieben. Diese Passagen sind jetzt in überarbeiteter Form in einer neuen eigenen **Benutzeranleitung**

### **„Allgemeine Angaben und Beschreibung der Eingabedaten für die Rechenprogramme KIPNT2 und QUERWERT“**

zu finden, die für beide Programme gilt.

**Hinweise auf diese neue Zusammenstellung sind hier in der Benutzeranleitung für QUERWERT in einer geschweiften Klammer { } angezeigt.**

Die beiden früheren Programme NT2EIN und QUWEIN zur Erstellung einer Datei für die entsprechenden Eingabedaten sind ebenfalls zu einem einzigen **Programm EIN\_NT2QUW** zusammengefasst worden.

Neben einigen formalen Änderungen nach dem Start des Programms können nun auch hochfeste Betonwerkstoffe gemäß DIN EN 1992-1-1:2011-01 mit DAfStb-Richtlinie Ultrahochfester Beton, Version 22.12.2022, berücksichtigt werden.

## **Installation des Programms QUERWERT mit dem Zip-File**

Die Programme QUERWERT und EIN\_NT2QUW sind in der Programmiersprache FORTRAN geschrieben. Das setzt voraus, dass für deren Betrieb auf dem PC auch entsprechende Fortran-Software vorhanden ist. Deshalb wird zusammen mit den Programmen die notwendige Fremdsoftware als Runtime-Version mitgeliefert. Lizenzierungsprobleme gibt es dabei keine, da diese Runtime-Programme durch die vom Fachgebiet erworbene Lizenz frei benutzt werden dürfen.

Die Entwicklung der Programme hat bereits unter den Betriebssystemen Windows 2000 und Windows XP mittels einer Fortran-Software von COMPAQ begonnen. Die aktuellen Programmversionen sind mit dem FTN95-Fortran von Silverfrost überarbeitet worden und laufen unter allen Windows-Betriebssystemen ab XP.

Die Fenstergrößen des I/O-Fensters rechts und des Grafikfensters links werden beim Programmstart der Bildschirmgröße so angepasst, dass die Fenster nebeneinander liegen und dabei nicht überlappen. Eine optimale Darstellung der beiden Fenster ohne eine Nachjustierung ist mit SXGA-, WSXGA- und WUXGA-Bildschirmen bei Standard-Auflösungen (Pixeln) von 1280x1024, 1650x1080, 1920x1200 und 1366x768 oder 1920x1080 (Notebooks) überprüft worden. Es ist darauf zu achten, dass bei der Bildschirm-Anzeige eine Skalierung von 100% eingestellt ist.

Die für eine Installation notwendigen Programmteile sind in einem Zip-File gespeichert:

- Fortran-Rechenprogramme, FTN95-Fortran, Programm-Icon:
  - QUERWERT.EXE (Hauptprogramm)
  - EIN\_NT2QUW.EXE (Hilfsprogramm zum Erstellen einer Datendatei für QUERWERT)
  - salflibc.dll (Runtime-Version von Silverfrost FTN95-Fortran)
  - salflibc64.dll (Runtime-Version von Silverfrost FTN95-Fortran, Erweiterung 64 bit)
  - Querwert32.ico (Symboldatei für QUERWERT)
  - EIN\_NT2QUW.ico (Symboldatei für EIN\_NT2QUW)
- \Beispiele:
  - jeweils mit Unterordner \QUW für Eingabe-Files der Beispiele (xxx.QUW) und
  - Unterordner \ERG für Ergebnisausgabe der Beispiele (xxx.ERG):

Das Zip-File wird vom Datenträger oder von der Homepage in einen frei wählbaren Festplattenbereich (z.B. D:) kopiert und dann extrahiert. Die vorstehend aufgeführten Programme werden dann standardmäßig in den gewählten Bereich (z.B. D:\QUERWERT) installiert. Die Eingabedateien der Muster-Beispiele sind wegen der besseren Übersichtlichkeit in einem Unterordner "... \Beispiele\QUW" des Installationsordners zu finden. Die zugehörigen Ausgabedateien stehen im Unterordner "... \Beispiele\ERG". Die Ergebnisdateien der Muster-Beispiele stehen in einem eigenen Unterordner, da sie sonst bei einem Test-Programmlauf überschrieben werden könnten und dann als Vergleichsergebnis nicht mehr zur Verfügung stehen.

Das Programm arbeitet normalerweise in dem Ordner, wo es installiert worden ist. Dort müssen dann alle erforderlichen Eingabedateien stehen. Über eine Windows-Verknüpfung ist der Aufruf des Programms aber auch von jedem anderen Ordner aus möglich. In dem Arbeitsordner steht dann nur noch die Verknüpfungsanweisung. Dort wird unter „Ziel“ der Installationsort des Programms (z.B. D:\QUERWERT\QUERWERT.EXE) und unter „Ausführen in“ der Name des Arbeitsordners eingetragen. Damit braucht das Programm nur einmal auf den PC kopiert zu werden. Ein Beispiel für eine Verknüpfung bei einer Standard-Installation auf D: ist bei den QUW-Dateien angegeben.

Wenn eine Verknüpfung auf dem Desktop erstellt wird (z.B. durch Kopieren der Verknüpfung im Ordner QUW auf den Desktop), kann dieser Verknüpfung über ihre Einstellungen in den „Eigenschaften“ das entsprechende mitgelieferte Symbol-Icon zugewiesen werden.

Die entsprechenden Unterordner in „...\\Beispiele\\“ enthalten die folgenden Dateien:

\\QUW Dateien\\

HK.QUW	Q1_C45_NTOB=1.QUW
HK_kr16.QUW	Q1_C45_NTOB=2.QUW
Q1_B55.QUW	Q1_C45_NTOB=2a.QUW
Q1_C45_1045.QUW	Q1_C45_R.QUW
Q1_C45_EN.QUW	Q2_C35.QUW
Q1_C45_kri.QUW	Q2_Cneg_VS=0.QUW
Q1_C45_KS.QUW	Q2_Cneg_VS=1.QUW
	Q3_LTO=3.QUW

\\ERG Dateien\\

HK.ERG	Q1_C45_NTOB=1.ERG
HK_kr16.ERG	Q1_C45_NTOB=2.ERG
Q1_B55.ERG	Q1_C45_NTOB=2a.ERG
Q1_C45_1045.ERG	Q1_C45_R.ERG
Q1_C45_EN.ERG	Q2_C35.ERG
Q1_C45_kri.ERG	Q2_Cneg_VS=0.ERG
Q1_C45_KS.ERG	Q2_Cneg_VS=1.QUW
	Q3_LTO=3.ERG

## 1. Programmaufbau

Das Rechenprogramm ab Version 13 benötigt zum formalen Ablauf nur noch eine Datendatei mit den erforderlichen Daten für die Berechnung. Diese Datei muss vorher erstellt worden sein. Der Name der Datei mit den Berechnungsdaten ist frei wählbar, er muss aber die Extension .QUW besitzen. Die Datei kann mit einem Editor anhand der **Benutzeranleitung „Allgemeine Angaben und Beschreibung der Eingabedaten für die Rechenprogramme KIPNT2 und QUERWERT“** erstellt werden. Zur Erleichterung der Erstellung dieser Eingabedatei steht aber auch das **Programm EIN\_NT2QUW** zur Verfügung, welches über eine Bildschirmeingabe die notwendigen Angaben erfragt und abspeichert.

Nach dem Start des Programms können zuerst über den Bildschirm einige formale Steuergrößen geändert werden. Die eigentliche Bildschirm-Eingabe beschränkt sich zunächst auf den Namen der Datendatei. Der eigentliche Berechnungsvorgang läuft dann ohne weitere Dateneingabe ab.

Zur Visualisierung werden in einem eigenen Fenster zuerst der betrachtete Querschnitt, daran anschließend die verwendeten Beton-Werkstoffbeziehungen und als Ergebnis die zum angegebenen Lastfall gehörende Betondruckzone dargestellt.

Ab der Version 11 können nach Abarbeitung der Daten in der Eingabedatei noch weitere Lastfälle über den Bildschirm eingegeben werden.

Steuergrößen für den Ablauf des Programms, wie die Nummern der logischen Ein- und Ausgabe-Units, die Anzahl der Ausgabezeilen pro Seite und das aktuelle Datum werden standardmäßig gesetzt. Nach dem Start des Programms können über eine Bildschirmeingabe einige formale Steuergrößen, wie die Anzahl der Ausgabezeilen pro Seite (– wichtig für den Seitenumbruch bei einer Druckausgabe –), die gewünschte Seitennummerierung und evtl. das Datum, geändert werden.

Folgende Standardwerte sind programmintern voreingestellt:

```
Nummer der log. Eingabe-Unit der Datendatei NDE = 1  
Nummer der log. Ausgabe-Unit (Ergebnisdatei)NWR = 4  
log. Kanalnummer des Konsol- I/O-Fensters KRW = 5  
Anzahl Druckzeilen/Seite bis Seitenumbruch KSGR = 66
```

### 1.1 Anpassen des Programms an benutzerspezifische Vorgaben

Zur Änderung des vorgegebenen Seitenkopfes besteht die Möglichkeit eine Textdatei mit dem Namen "SEITENKOPF.TXT" zu erstellen und in den Programmordner zu kopieren. Diese Textdatei besteht aus drei Zeilen und hat folgenden Aufbau:

```
Eingabe von 2 Kopfzeilen mit max. 56 Zeichen/Zeile <<<<  
Hier können ihre eigenen Daten wie Name und Anschrift ,  
Beschreibungen zum Projekt, Sachbearbeiter etc. stehen
```

Die erste Zeile wird überlesen. Die letzten beiden Zeilen gehören zum Seitenkopf und werden zusammen mit den Angaben zum Programm auf jeder Ausgabeseite ausgedruckt.

Nach dem Programmstart wird zuerst überprüft, ob eine Datei mit dem Namen "SEITENKOPF.TXT" vorhanden ist. Wenn dies der Fall ist, werden deren Daten als Seitenkopf genommen. Existiert diese Datei nicht, so werden die folgenden beiden Kopfzeilen verwendet:

```
Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder
```

## 2. Allgemeines zum Programm QUERWERT

Das vorliegende Rechenprogramm ermittelt für beliebig polygonartig begrenzte Stahlbeton- und Spannbeton-Querschnitte (auch Hohlkastenquerschnitte), die durch ein- oder zweiachsige Biegung mit oder ohne Normalkraft beansprucht sein können,

- die Querschnittswerte und Steifigkeiten des reinen Betonquerschnitts sowie die ideellen Querschnittswerte und Steifigkeiten für den unbelasteten Zustand,
- den zur Beanspruchung gehörenden rechnerischen Grenz Zustand der Tragfähigkeit des Querschnitts
  - mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 mit DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 oder
  - mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm nach DIN 1045-1:2008-08 oder
  - mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm nach DIN 1045:1988-07, bzw. DIN 4227:1988-07,
- den zur Beanspruchung gehörenden Verzerrungszustand (Verformungszustand) des Querschnitts
  - nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 mit den dort angegebenen Werkstoffbeziehungen oder
  - nach DIN 1045-1:2008-08 mit den dort angegebenen Werkstoffbeziehungen oder
  - nach DIN 1045:1988-07, bzw. DIN 4227:1988-07 mit einem wirklichkeitsnahen Betonwerkstoffgesetz gemäß der Dissertation *Grasser*, 1968, TU München,
- die zum Verformungszustand gehörenden wirklichkeitsnahen belastungsabhängigen Querschnittswerte und Steifigkeiten mit dem gewählten Werkstoffverhalten.

Das Programm führt bezüglich der Werkstoffansätze und des Sicherheitskonzepts folgende Berechnungen durch:

- nach DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01,
  - Abschnitt 5.8.6 (2) und (3), wobei die Grenztragfähigkeit mit Bemessungswerten der Baustoffkennwerte und die Formänderungen mit Mittelwerten der Baustoffkennwerte bestimmt werden, und Teilsicherheitsbeiwerten für die Werkstoffe oder
  - Abschnitt 5.7, wobei für Grenztragfähigkeit und Formänderungen mit rechnerischen Mittelwerten der Baustofffestigkeiten und einem einheitlichen Sicherheitsbeiwert  $\gamma_R$  gerechnet wird,
- nach DIN 1045-1:2008-08,
  - Abschnitt 8.6.1 (7), wobei die Grenztragfähigkeit mit Bemessungswerten der Baustoffkennwerte und die Formänderungen mit Mittelwerten der Baustoffkennwerte bestimmt werden, und Teilsicherheitsbeiwerten für die Werkstoffe oder
  - Abschnitt 8.5.1, wobei für Grenztragfähigkeit und Formänderungen mit rechnerischen Mittelwerten der Baustofffestigkeiten und einem einheitlichen Sicherheitsbeiwert  $\gamma_R$  gerechnet wird,
- nach DIN 1045:1988-07, bzw. DIN 4227:1988-07, wobei die Grenztragfähigkeit mit Bemessungswerten der Baustoffkennwerte und die Formänderungen mit Mittelwerten der Baustofffestigkeiten bestimmt werden.

Durch die Angabe der Betonfestigkeitsklasse und der Sicherheitsbeiwerte werden die unterschiedlichen Möglichkeiten der Berechnung gesteuert. {s. Eingabebeschreibung Kap. 3} und Beispiele Kap. 6.

Alle im Programm verwendeten Werkstoffbeziehungen sind im {Kap. 1} beschrieben.

Die Grundlagen der hier behandelten Berechnungsverfahren für die Querschnittswerte für Biegung und Torsion sind im {Kap. 2} zusammengestellt. Die Berechnung für die Torsionswerte ist wegen rechentechnischen Gründen auf **Viereck**-, **T**- und **I**-Querschnitte begrenzt.

### 3. Allgemeines zum Berechnungsablauf

Im Gegensatz zur einachsigen Biegung verläuft bei zweiachsiger Biegung die Verzerrungsnulllinie nicht mehr parallel zur Richtung des Momentenvektors. Die Lage der Verzerrungsnulllinie beeinflusst jedoch sehr stark die Richtung des resultierenden inneren Momentenvektors. Bei einer Ermittlung des zu einer gegebenen äußeren Belastung gehörenden inneren Gleichgewichtszustandes eines Querschnitts muss deshalb zusätzlich zum Kräftegleichgewicht auch für eine Übereinstimmung der Richtungen der resultierenden inneren und äußeren Momentenvektoren gesorgt werden. Diese Berechnungen erfolgen auf iterativem Wege durch Variation der Randverzerrungen auf der Zug- und Druckseite und durch Variation des Neigungswinkels der Verzerrungsnulllinie.

Bei den erforderlichen Iterationen wird zuerst immer das Kräftegleichgewicht durch Variation der Verzerrungen erfüllt. Für diesen Gleichgewichtszustand wird anschließend ein zugehöriges inneres Moment nach Größe und Richtung ermittelt. Die Lage dieses resultierenden inneren Momentenvektors wird mit der des äußeren Momentenvektors verglichen und durch Drehung der Verzerrungsnulllinie solange verändert, bis eine Übereinstimmung der Richtung der Momentenvektoren innerhalb einer vorzugebenden Iterationsschranke erreicht ist (siehe hierzu Kap. 8., Bild 22, S. 73).

Zum besseren Verständnis des gesamten Ablaufs werden die Einzelschritte im Folgenden näher beschrieben, wobei diese Vorgehensweise sowohl DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01 als auch DIN 1045-1:2008-08 und DIN 1045:1988-07, bzw. DIN 4227:1988-07 entspricht.

- Ausgangspunkt sind die einzugebenden Lastschnittgrößen in Form der Biegemomente  $M_{Ed,y}$  und  $M_{Ed,z}$  und der Normalkraft  $N_{Ed}$ , die unter Beachtung der Sicherheitsbeiwerte für den betrachteten Querschnitt aus Eigenlast, ständiger Last und veränderlicher Last vorab zu ermitteln sind. Die Richtung der Vektoren der Biegemomente bezieht sich dabei auf die gewählten Richtungen der Eingabeachsen. Eine Normalkraft ist als Zugkraft positiv. (s. Kap. 6; Punkt 12.)
- Mit diesen vorgegebenen Biegemomenten  $M_{y,Ed}$  und  $M_{z,Ed}$  und den durch eine möglicherweise exzentrisch angreifende Normalkraft hervorgerufenen Versatzmomenten  $\Delta M_{Ed,y}$  und  $\Delta M_{Ed,z}$  wird im Programm ein resultierendes Biegemoment  $M_{Ed,res}$  ermittelt, das unter dem Winkel  $\alpha$  zur y-Achse geneigt ist :

$$M_{Ed,res} = \sqrt{(M_{Ed,y} + \Delta M_{Ed,y})^2 + (M_{Ed,z} + \Delta M_{Ed,z})^2}$$

$$\alpha = \arctan \frac{(M_{Ed,z} + \Delta M_{Ed,z})}{(M_{Ed,y} + \Delta M_{Ed,y})}$$

- a.) Ermittlung des rechnerischen Grenzzustandes der Tragfähigkeit (GZT) für zweiachsige Biegung, wobei ein Teilsicherheitsfaktor bei der Einwirkung der Vorspannung berücksichtigt werden kann :

Für die gewählten Werkstoffe wird zuerst das rechnerische Grenzmoment  $M_{Rd}$  iteriert. Für die Bestimmung von  $M_{Rd}$  werden die charakteristischen Werkstoffkenngrößen und das Parabel-Rechteck-Diagramm zugrunde gelegt, wobei die entsprechenden Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt werden:

$$M_{Rd} = f \left( \frac{f_{ck} \text{ oder } \beta_R}{\gamma_C (\gamma'_C)} ; \frac{f_{yk}, f_{tk} \text{ oder } \beta_s, \beta_u}{\gamma_s} ; \frac{f_{p0,1k}, f_{pk} \text{ oder } \beta_s, \beta_u}{\gamma_s} \right)$$

Beim rechnerischen Grenzzustand der Tragfähigkeit stimmt nur die Lage des inneren und äußeren Momentenvektors überein. Dieses Moment  $M_{Rd}$  muss also ebenfalls unter dem Winkel  $\alpha$  zur y-Achse geneigt sein. Außerdem wird eine der beiden maximal zulässigen Randverzerrungen entweder auf der Zug- oder auf der Druckseite des Querschnitts erreicht (siehe Bild 22, S. 73).

Aus dem Verhältnis von äußerem Lastmoment  $M_{Ed,res}$  zum inneren Tragmoment  $M_{Rd}$  wird ein

Verhältniswert  $\gamma_u$  ermittelt :

$$\gamma_u = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed,res}} \geq 1 .$$

Dieser Wert  $\gamma_u$  gibt eine zu den vorgegebenen Sicherheitsbeiwerten zusätzlich vorhandene Sicherheit an. Für eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen muss dieser Faktor mindestens Eins sein.

- b.) Berechnung des zur Beanspruchung gehörenden Verzerrungszustands (Verformungszustand) des Querschnitts und der zugehörigen Steifigkeiten:

Mit den gewählten Werkstoffen wird anschließend ein zugehöriges inneres Moment  $M_R$  iteriert, wobei die Mittelwerte der Werkstoffkenngrößen und wirklichkeitsnahe Werkstoffkennlinien zugrunde gelegt und die entsprechenden Sicherheitsbeiwerte berücksichtigt werden :

$$M_R = f \left( \frac{f_{cm} \text{ oder } \beta_{wm}}{\gamma_C (\gamma'_C)} ; \frac{f_y, f_t \text{ oder } \beta_s, \beta_u}{\gamma_s} ; \frac{f_{p0,1}, f_p \text{ oder } \beta_s, \beta_u}{\gamma_s} \right)$$

Beim Verformungszustand stimmen Lage (Winkel  $\alpha$ ) und Größe ( $M_R = M_{Ed, res}$ ) des inneren und äußeren Momentenvektors überein (siehe Bild 22, S. 73). Es stellt sich dabei ein den Gleichgewichtserfordernissen zugehöriger beliebiger Verzerrungszustand am Querschnitt ein.

Für diesen Zustand werden dann alle Steifigkeiten und Querschnittswerte ermittelt

DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Abschnitt 5.7, bzw. DIN 1045-1:2008-08, Abschnitt 8.5.1, erlauben für nicht-lineare Verfahren auch eine Berechnung mit rechnerischen Mittelwerten der Baustofffestigkeiten und einem einheitlichen Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_R = 1,3$ . Der bereits beschriebene Ablauf bleibt unverändert, jedoch mit anderen Werkstoffwerten:

- a1.) Rechnerischer Grenz Zustand für zweiachsige Biegung

Für die gewählten Werkstoffe wird ebenfalls zuerst das rechnerische Grenzmoment  $M_{Rd}$  iteriert, wobei die Lage des inneren und äußeren Momentenvektors (Neigungswinkel  $\alpha$  zur y-Achse) übereinstimmen muss und außerdem eine der beiden maximal zulässigen Randverzerrung entweder auf der Zug- oder auf der Druckseite des Querschnitts erreicht wird.

Die Bestimmung von  $M_{Rd}$  erfolgt hier jedoch mit rechnerischen Mittelwerten der Werkstoffkenngrößen nach DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Abschnitt 5.7 bzw. DIN 1045-1:2008-08, Abschnitt 8.5.1 (4) und wirklichkeitsnahen Werkstoffkennlinien 9.1.5 (62):

$$M_{Rd} = f(f_{cR} ; f_{yR}, f_{tR} ; f_{p0,1R}, f_{pR})$$

Aus dem Verhältnis von äußerem Lastmoment  $M_{Ed, res}$  zum innerem Grenzmoment  $M_{Rd}$  wird ein Verhältniswert  $\gamma_u$  ermittelt, wobei hier der Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_R$  einzuhalten ist :

$$\gamma_u = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed, res}} \geq (\gamma_R = 1,3)$$

Dieser Wert  $\gamma_u$  muss für eine ausreichende Sicherheit gegen Versagen also mindestens  $\gamma_R$  sein. Eine zusätzlich zu den vorgegebenen Sicherheitsbeiwerten vorhandene Sicherheit ergibt sich aus dem Faktor  $\gamma_u/\gamma_R > 1$ .

- b1.) Berechnung des zur Beanspruchung gehörenden Verzerrungszustands (Verformungszustand) des Querschnitts und der zugehörigen Steifigkeiten :

Mit denselben rechnerischen Mittelwerten der Werkstoffkenngrößen nach 8.5.1 (4) und wirklichkeitsnahen Werkstoffkennlinien 9.1.5 (62) wie bei a1.) wird das zugehörige innere Moment  $M_R$  iteriert, wobei keine Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt werden:

$$M_R = f(f_{cR} ; f_{yR}, f_{tR} ; f_{p0,1R}, f_{pR})$$

Auch hier stimmen Lage (Winkel  $\alpha$ ) und Größe ( $M_R = M_{Ed, res}$ ) des inneren und äußeren Momentenvektors überein, und es stellt sich dabei ein den Gleichgewichtserfordernissen zugehöriger beliebiger Verzerrungszustand am Querschnitt ein.

Für diesen Zustand werden alle Steifigkeiten und Querschnittswerte ermittelt.

#### 4. Ablauf des Rechenprogramms QUERWERT

Nach dem Start des Programms wird zuerst überprüft, ob eine Textdatei für den Seitenkopf (s. Kap. 1.1) vorhanden ist.

Anschließend folgt die Eingabe einiger Steuerparameter im Dialog über den Bildschirm, und es wird der Name der Datendatei über den Bildschirm erfragt. Diese Eingabedatei muss die Extension ".QUW" besitzen. Wenn keine Datei mit dem angegebenen Namen gefunden wird, so erfolgt ein entsprechender Kommentar auf dem Bildschirm, und es wird ein neuer Name verlangt.

Nachfolgend wird der auf dem Bildschirm erscheinende Text mit Erläuterungen zu den jeweiligen Fragen angegeben, wobei die Bildschirmzeilen zur besseren Unterscheidung mit einem §-Zeichen beginnen:

```
§
§ aktuelles Directory : Hier wird der entsprechende Name angegeben.
§
Die folgende Zeile erscheint nur, wenn die Datei SEITENKOPF.TXT vorhanden ist.
§ ***> Kopfzeilen von Eingabedatei SEITENKOPF.TXT gelesen
§
§           GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT UND QUERSCHNITTSWERTE
§           FÜR BELIEBIG POLYGONARTIG BEGRENZTE QUERSCHNITTE
§ Uni Kassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 230830 (Freeware) <<<
§ =====
§
§ Soll die vollständige Ergebnisausgabe am Bildschirm erfolgen ?
§ Für eine BILDSCHIRM-AUSGABE B oder b eingeben!
§ Bei jedem anderen Zeichen oder nur <RETURN>
§ erfolgt eine Ausgabe in einer ERGEBNISDATEI. EINGABE:>
§
§ Folgende Standard-Einstellungen werden verwendet:
§ --> Ergebnisausgabe in eine Datei
§ --> Seitennummerierung beginnt mit 1
§ --> Seitenvorschub erfolgt nach 66 Zeilen
§ --> aktuelles Datum aus dem Rechner
§ Sollen diese Einstellungen geändert werden ?
§ Drücken der RETURN-Taste heißt NEIN ! >
§
Wird an dieser Stelle ein beliebiges Zeichen eingegeben, so können folgende Punkte geändert werden:
§
§ Datum mit max 10. Zeichen z.B. 01.09.1988 oder 01-Sept-88 eingeben
§ Bei <RETURN> wird das aktuelle Datum aus dem Rechner genommen
§ DATUM :>
§
§ Nummer der Anfangsseite eingeben !
§ - Bei <RETURN> ohne Eingabe wird mit SEITE 1 angefangen,
§ - jede andere positive Zahl heißt fortlaufende Seitennummer,
§ - bei Eingabe einer negativen Zahl werden keine Seitenzahlen geschrieben :>
§
§ Anzahl der Zeilen pro Seite = 66
§ Bei <RETURN> ohne Eingabe wird diese Zahl beibehalten.
§ Jede andere positive Zahl ist die neue Zeilenanzahl :>
§
§
§ Die DATEN werden von einer DATENDATEI der Form xxxxxxxx.QUW eingelesen.
§ Die Extension .QUW darf nicht mit angegeben werden. Die ERGEBNISSE werden
§ in einer Datei mit gleichem Namen xxxxxx und der Extension .ERG ausgegeben.
§ Bei Drücken der RETURN-Taste oder bei Eingabe von >ENDE <
§ wird das Programm beendet.
§
§ NAME DER EINGABEDATEI >
§
```

„Grenz Zustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Nach Eingabe des Dateinamens werden die Daten von der angegebenen Eingabedatei gelesen und die ersten Berechnungen durchgeführt. Es erscheint im rechten Fenster die folgende Angabe, wobei parallel zur Textausgabe im linken Fenster der Querschnitt gezeichnet wird:

```
$
$ *****>> Eingabedatei   xxxxx.QUW auf log. Kanalnr. 1
$
$ *****>> Ausgabedatei   xxxxx.ERG auf log. Kanalnr. 4
$
$
$ Pause zum Anschauen des Querschnitts, weiter mit RETURN
$
$
$ Pause zum Anschauen der Bilder, weiter mit RETURN
$
```

Hier erscheint im linken Fenster ein Bild des Querschnitts siehe Darstellung Bild 1, S. 11

Hier erscheinen im linken Fenster zwei Bilder des Betonwerkstoffverhaltens siehe Darstellung Bild 2, S. 12

Nach Drücken der RETURN-Taste erscheint im rechten Fenster eine Kurzausgabe des Berechnungsergebnisses, im linken Fenster wird der Querschnitt mit dem sich ergebenden Betondruckkörper gezeigt:

```
$
$ Lastfall 0 mit folgender Belastung:
$ MOMENTE My = xxxxx.xxx kNm      Mz = xxx.xxx kNm
Wenn eine Normalkraft als Belastung angegeben ist, so erscheint hier noch folgender Text:
$ Die NORMALKRAFT N = xxx.xxx kN mit vorgegebenem
$ ANGRIFFSPUNKT yn = x.xxxx m zn = x.xxxx m wird in
$ den geom. Schwerpunkt (ys = x.xxxx m zs = x.xxxx m) verschoben.
$ Die RESULTIERENE MOMENTENBELASTUNG beträgt dann:
$ RMy = xxxxx.xxx kNm      RMz = xxxxx.xxx kNm
$ Resultierendes Moment M_Ed = xxxxx.xxx kNm, Neigungswinkel = x.xxx ( xx.xgrad)
$ GZT:
$ M_Rd = xxxxx.xxx kNm, Neigungswinkel der Nulllinie = x.xxx ( xx.xgrad)
$ Dehnungen: Druckseite -x.xxxE-03 ; Zugseite x.xxxE-03
```

Für einen vorgespannten Querschnitt wird der Einwirkungsfaktor  $\gamma_{p,fav}$  angegeben:

```
$>>> Einwirkungsfaktor für Vorspannung gamma_p,fav = x.xxx <<<
$ Verformungszustand:
$ M_R,grenz = xxxxx.xxx kNm, Neigungswinkel der Nulllinie = x.xxx ( xx.xgrad)
$ Dehnungen: Druckseite -x.xxxE-03 ; Zugseite x.xxxE-03
$ M_iteriert = xxxxx.xxx kNm, Neigungswinkel der Nulllinie = x.xxx ( xx.xgrad)
$ Dehnungen: Druckseite -x.xxxE-03 ; Zugseite x.xxxE-03
$ Für diesen Zustand ergibt sich der nebenstehende Betondruckkörper.
$
$ Weiter mit RETURN
$
$
```

Hier erscheint im linken Fenster ein Bild des Querschnitts mit Angabe des berechneten Betondruckkörpers siehe Darstellung Bild 3, S. 13

Dieser Vorgang wiederholt sich so lange bis keine Belastungsdaten in der Eingabedatei mehr vorliegen. Es erscheint die folgende Frage:

```
$
$ Soll noch ein Lastfall hier am Bildschirm eingegeben werden?
$ Nur <RETURN> = NEIN, jedes andere Zeichen = JA --:>
$
```

Hier können dann bedarfsweise noch weitere Lastfälle über den Bildschirm gemäß den Eingabe-Beschreibungen {Kap. 3, Nr. Q10-Q12}, eingegeben werden. Die Berechnungen enden mit der Zeile

```
$
$ ENDE der Berechnungen für Datendatei : xxxxx.QUW
$
```

Das Programm geht dann an den Anfang zurück.

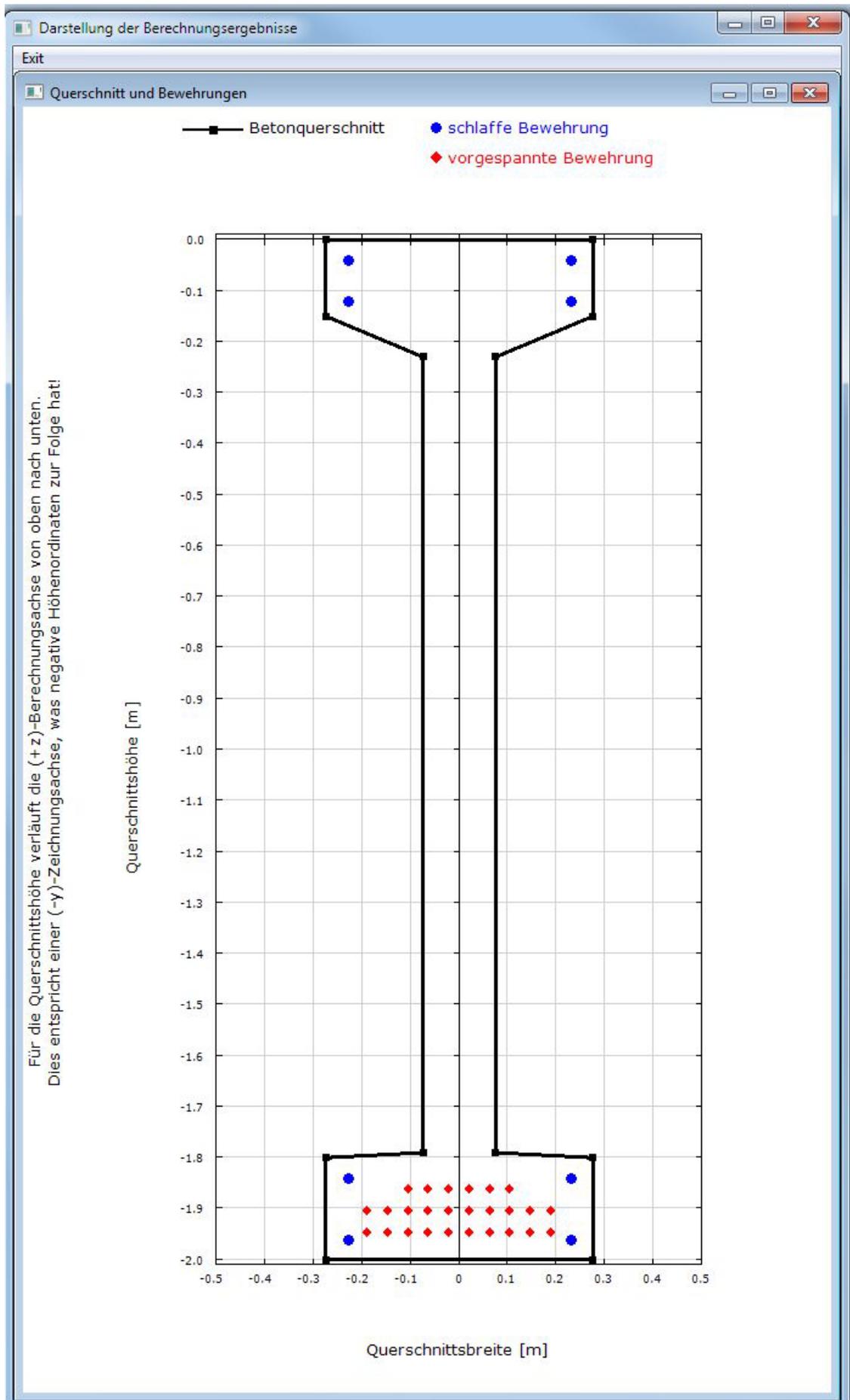


Bild 1 : Darstellung des betrachteten Querschnitts (hier Beispiel Q1)

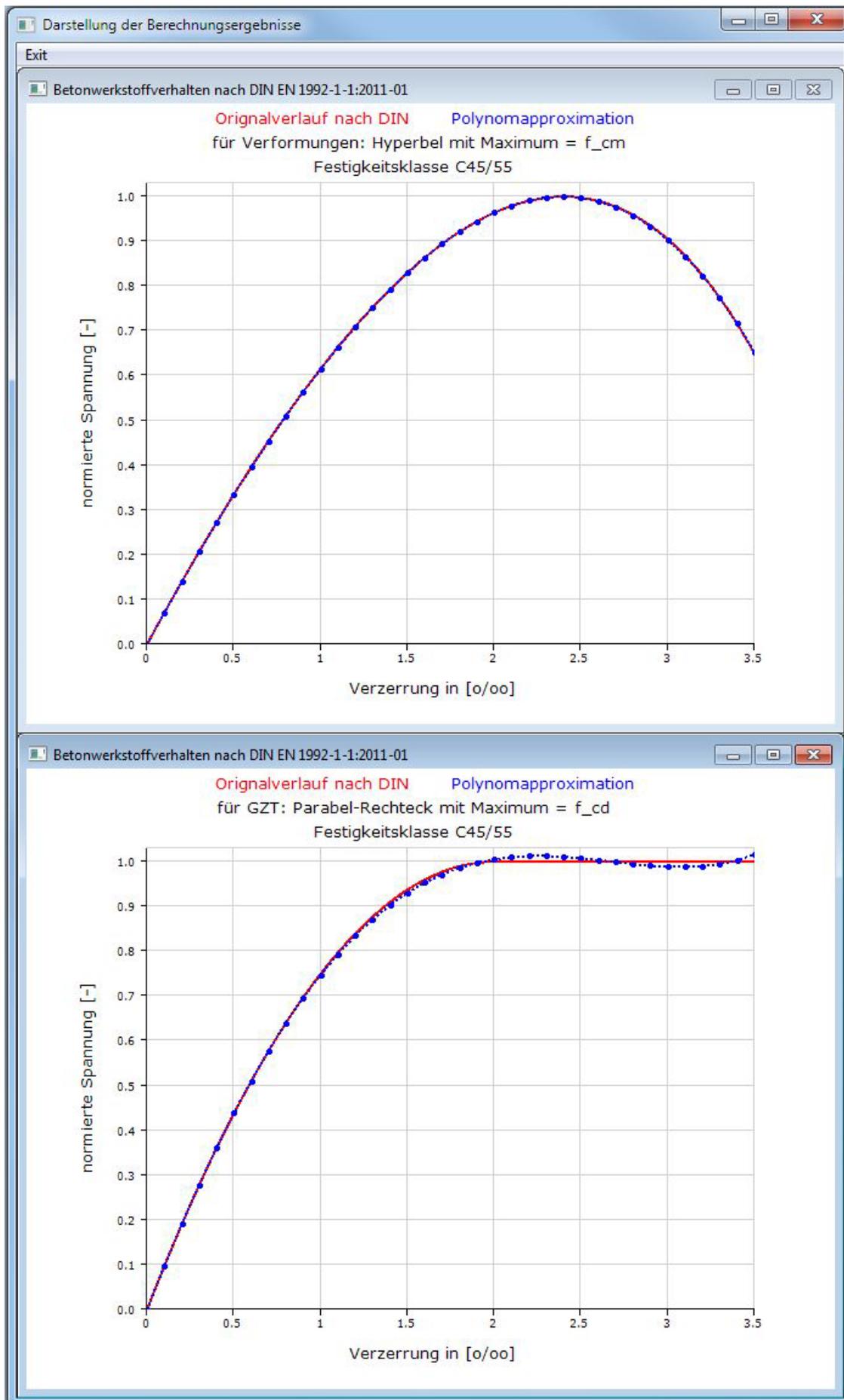


Bild 2 : Darstellung des verwendeten Betonwerkstoffverhaltens (hier Beispiel Q1)

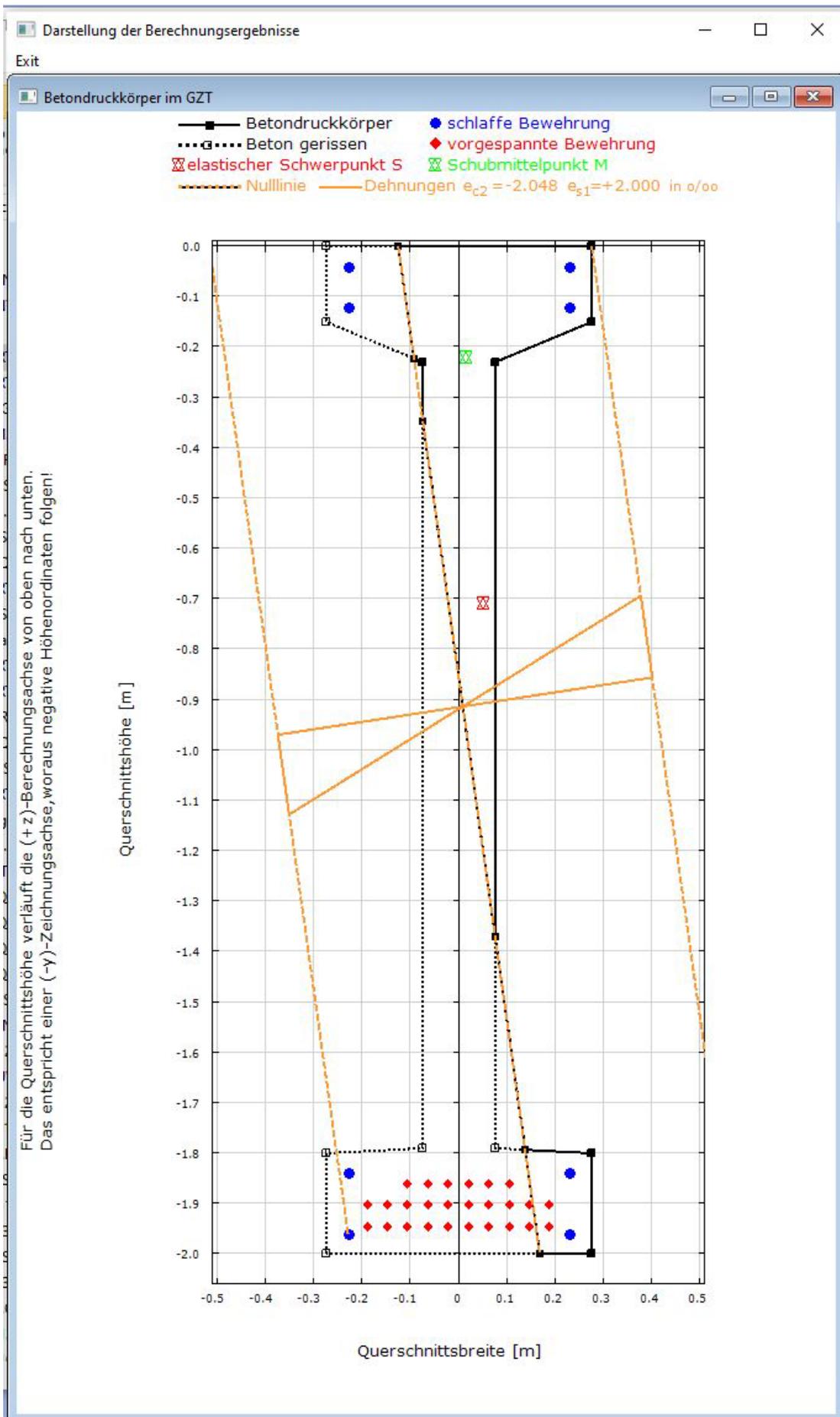


Bild 3 : Querschnitt mit berechnetem Betondruckkörper (hier Beispiel Q1, Lastfall 2)  
 Ab Version 13.x werden auch die Nulllinie und die Dehnungen dargestellt

### 5. Ergebnisausgabe des Rechenprogramms

Die Ausgabe der Ergebnisse kann wahlweise direkt auf dem Bildschirm oder in einer Ergebnisdatei erfolgen. Die Ergebnisdatei hat denselben Namen wie die Eingabedatei jedoch mit der ".ERG" . Diese Ergebnisdatei kann je nach Bedarf dann ausgedruckt werden.

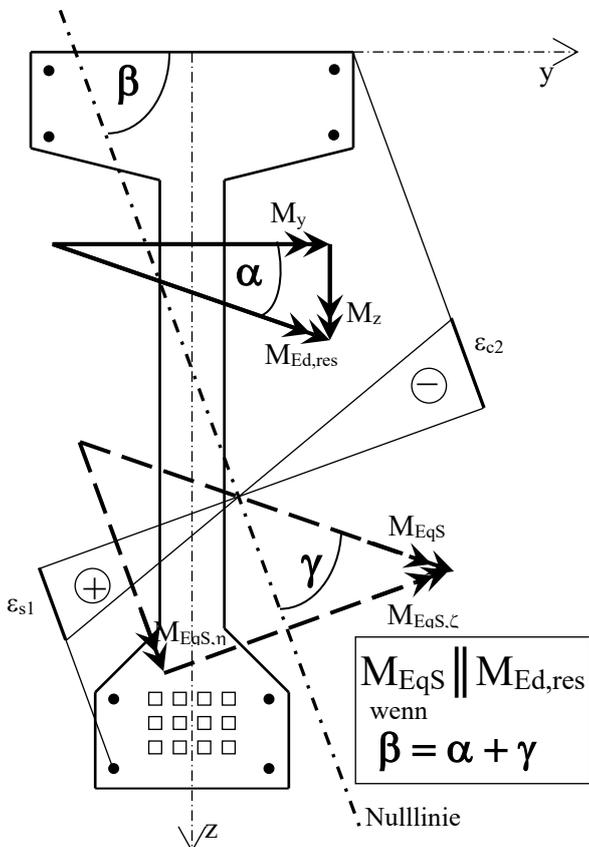
Der Ergebnisausdruck des Programms enthält auf jeder Seite sieben Kopfzeilen, worin Angaben zum jeweiligen Benutzer und zum Programm selbst, sowie eine Seitennummerierung, das Datum und die Zeit enthalten sind. Diese Angaben können wahlweise von einer besonderen Steuerdatei SEITENKOPF.TXT (s. Kap 1.1) gelesen werden, die vorher vom Benutzer erstellt worden sein muss. Als sechste Kopfzeile wird immer die erste Zeile der verwendeten Datendatei, die einen Text zur Kennzeichnung des behandelten Berechnungsfalles enthalten sollte, ausgegeben.

Der Standardfall ist die Berechnung eines Querschnitts für gegebene Biegemomente  $M_y$  und  $M_z$  , sowie eine Normalkraft  $N$ . Die Programmausgabe beginnt mit der Protokollierung aller Eingabewerte.

Daran schließen sich die Ergebnisse der Berechnungen an:

- die Querschnittswerte und Steifigkeiten des reinen Betonquerschnitts, sowie die ideellen Querschnittswerte und Steifigkeiten für den unbelasteten Zustand
- der zur Beanspruchung gehörende rechnerische Grenzzustand der Tragfähigkeit des Querschnitts mit dem Parabel-Rechteck-Diagramm des Betons (Maximum  $f_{cd}$ ) nach der gewählten DIN-Norm und mit dem Hyperbel-Verlauf Betons (Maximum  $f_{cm}$ ) nach der gewählten DIN-Norm,
- der zur Beanspruchung gehörende Verzerrungszustand (Verformungszustand) des Querschnitts mit dem Hyperbel-Verlauf Betons (Maximum  $f_{cm}$ ) nach der gewählten DIN-Norm
- die zum Verformungszustand gehörenden wirklichkeitsnahen Querschnittswerte und Steifigkeiten mit dem gewählten Werkstoffverhalten.

Die Ergebnisausgabe kann mit der Steuerzahl LU {s. Kap. 6, Nr. Q11} beeinflusst werden.



Auf eine mehr in Einzelheiten gehende Erläuterung der Ergebnisse für eine Biegebeanspruchung kann an dieser Stelle verzichtet werden, da die im Programmausdruck gewählten Bezeichnungen der berechneten Werte mit den verwendeten üblichen Bezeichnungen in den Normen im Einklang stehen.

Das nebenstehende Bild 4 erläutert die bei den Berechnungen für die Biegebeanspruchung angegebenen Größen.

Bei der Angabe des Torsionswiderstandes werden zwei Werte TWS und TWM angegeben. TWS gibt den Wert des Torsionswiderstands an, wenn der Bezugspunkt für die Berechnung der Schwerpunkt ist. Bei dem Wert TWM ist der Bezugspunkt der Schubmittelpunkt. Diese Doppelberechnung dient der Kontrolle des Ergebnisses, da der Torsionswiderstand ein von der Lage des Berechnungskoordinatensystems unabhängiger Wert ist. Deshalb müssen beide Ergebnisse TWS und TWM unter Beachtung üblicher, kleinerer numerischer Ungenauigkeiten gleich sein. Ist der Unterschied zwischen TWS und TWM zu gross, wird programmintern durch Änderungen am betrachteten Querschnitt (z.B. Abschneiden zu spitzer Ecken) versucht, das meist nur numerische Problem zu lösen.

Bild 4: Definition der Neigungswinkel und Stelle der Randverzerrungen bei den Tragfähigkeitsnachweisen

## 6. Beispiele

Es werden drei Beispiele behandelt, und zwar ein vorgespannter Stahlbeton-**I**-Querschnitt Q1 (Bild 5), ein Stahlbeton-**T**-Querschnitt Q2 (Bild 6) und ein Hohlkasten-Querschnitt HK (Bild 7).

Alle drei Beispiele werden mit den bereits in Kap. 2 und 3 angegebenen Möglichkeiten berechnet, wobei die Werkstoffvorgaben nach DIN EN 1992-1-1:2011-01, DIN 1045-1:2008-08 oder DIN 1045:1988 angesetzt werden. Damit sind folgende Berechnungsvarianten möglich:

- DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, bzw. DIN 1045-1:2008-08 mit Heft 525, DAfStb
  1. nach Abschnitt 5.8.6, bzw. 8.6.1 (7), (Grenztragfähigkeit mit Bemessungswerten der Baustoffkennwerte, Formänderungen mit Mittelwerten der Baustoffkennwerte) (Dateikennung `_Cxx` bzw. `_Cxx_1045`) oder
  2. nach Abschnitt 5.7, bzw. 8.5.1, (Formänderungen und Grenztragfähigkeit mit rechnerischen Mittelwerten der Baustofffestigkeiten und einem einheitlichen Sicherheitsbeiwert  $\gamma_R$ ) (Dateikennung `_Cxx_R` bzw. `_Cxx_1045_R`)
- DIN 1045:1988 und DIN 4227:1988
  3. (Grenztragfähigkeit mit Bemessungswerten der Baustoffkennwerte, Formänderungen mit Mittelwerten der Baustoffkennwerte) (Dateikennung `_Bxx`)

Die Querschnitte mit den erforderlichen Daten sind in den Bildern 5 bis 7 dargestellt. Mit diesen Daten sind die Eingabefiles erstellt und in den folgenden Unterkapiteln zusammengestellt worden. Als Krafteinheit ist in den Beispielen Q1 und Q2 „kN“ und im Beispiel HK „MN“ gewählt worden. Alle Ergebnisausgaben werden bei der Programm-Installation im Verzeichnis `.....\Beispiele\ERG` abgelegt, können von dort mit jedem Text-Editor angesehen und bei Bedarf auch ausgedruckt werden. Die Eingabedateien `xxxx.QUW` sind im Unterordner `.....\Beispiele\QUW` zu finden.

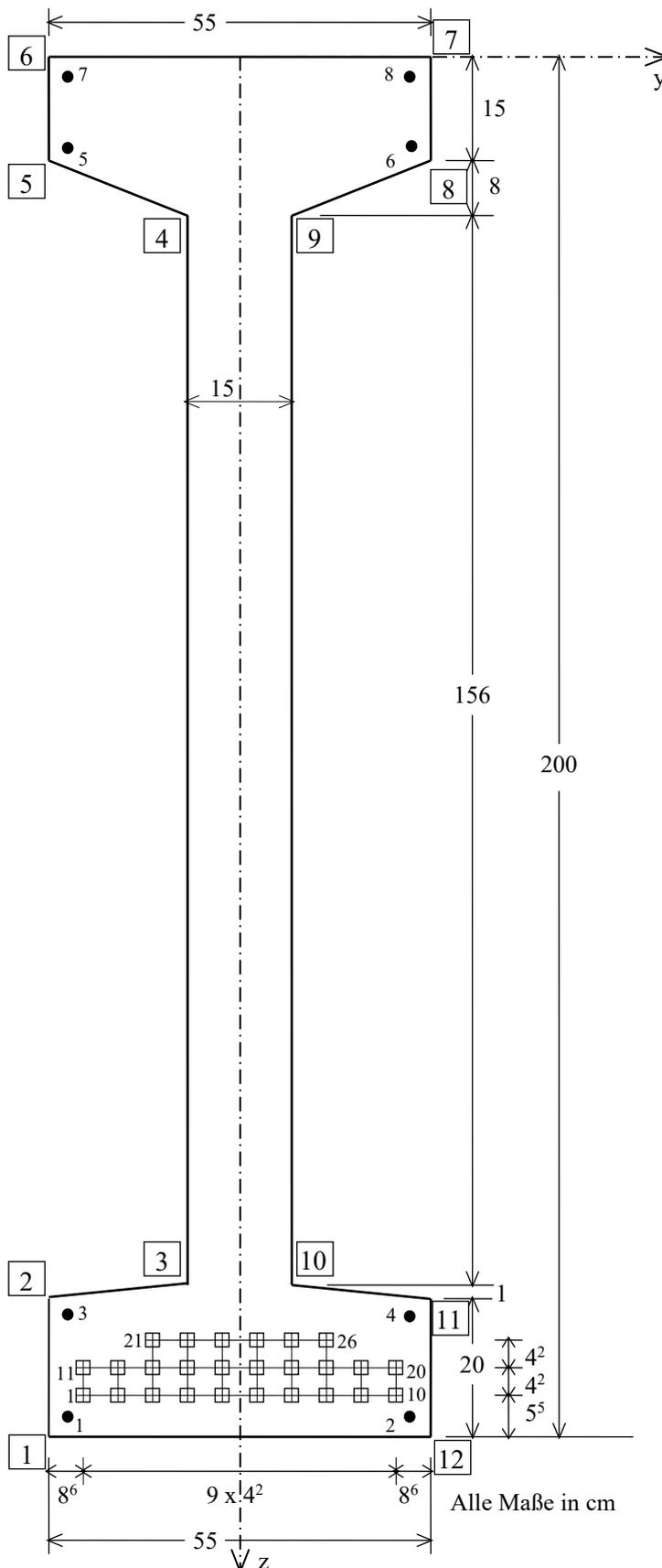
Einige Ergebnisausgaben werden im Folgenden bei einigen Beispiel dazu verwendet, die Ergebnisausgabe zu erläutern.

### **Hinweis:**

Über die Homepage des Fachgebiets (s. Impressum) kann unter „EDV-Programme“ das Programm KIPNT2 für eine Berechnung der Kippstabilität heruntergeladen werden. Weitere Informationen stehen auf der Homepage.

Die Eingabe-Datendateien für das Programm QUERWERT und für das Programm KIPNT2 sind außer der letzten drei Datenzeilen, in denen die Belastungsangaben und einige Steuergrößen stehen, und der Dateikennung (QUW, bzw. NT2) identisch. Sie können daher mit entsprechenden, nur kleinen Korrekturen für beide Programme verwendet werden.

Das Programm EIN\_NT2QUW bietet die Möglichkeit QUW-Dateien in NT2-Dateien oder NT2-Dateien in QUW-Dateien bei gleichem Namen umzusetzen, wobei nur die besagten drei letzten Datenzeilen neu einzugeben sind. Alle Querschnittsdaten bleiben dabei erhalten.



Querschnittshöhe :  $h = 200$  cm

Beton C45/55

Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_C = 1,5$

Langzeiteinfluss :  $\alpha_{cc} = 0,85$

$f_{cd} = 0,85 \cdot 45 / 1,5 = 25,5$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{cm} / \gamma_C = (45+8) / 1,5 = 35,3$  N/mm<sup>2</sup>

Betonstahl B500

im Obergurt 4 Ø 20

im Untergurt 4 Ø 14

$E_s = 200000$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{yk} = 500$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{tk,cal} = 525$  N/mm<sup>2</sup>

Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_S = 1,15$

Spannstahl St 1570/1770

$A_p = 93$  mm<sup>2</sup>/Litze

$E_p = 195000$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{p0,1k} = 1522$  N/mm<sup>2</sup>

$f_{pk} = 1770$  N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_{p0,1k} = 7,8$  ‰

26 Litzen im Untergurt

$\sigma_p^{(0)} = 980$  N/mm<sup>2</sup>

$\epsilon_p^{(0)} = 5,03$  ‰

$\Delta\sigma_{p,c+s+tr} = 0,14 \cdot \sigma_p^{(0)}$

Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_S = 1,15$

Biegemomente

Lastfall 0:

$M_{y,Ed} = 3937,3$  kNm ;  $M_{z,Ed} = 0$

Lastfall 1:

$M_{y,Ed} = 3937,3$  kNm ;  $M_{z,Ed} = 196,9$  kNm

Lastfall 2:

$M_{y,Ed} = 3937,3$  kNm ;  $M_{z,Ed} = 393,7$  kNm

Einwirkung aus Vorspannung beim GZT bleibt

unberücksichtigt .  $\gamma_{p,fav} = 1$ .

Bild 5: Vorgespannter Stahlbetonquerschnitt Q1

## 6.1 Vorgespannter Stahlbeton-I-Querschnitt Q1

Der Querschnitt mit allen erforderlichen Angaben ist im Bild 5 dargestellt. Die Datendatei hat den Namen Q1\_C45\_EN.QUW und ist im Unterordner ...\Beispiele\QUW zu finden.

Die Nummerierung der Eckpunkte des Querschnitts erfolgt fortlaufend im Uhrzeigersinn, beginnend an der linken unteren Ecke mit Punkt 1. Die Bewehrungen sind von links nach rechts und von unten nach oben durchnummeriert. Wegen der besseren Übersichtlichkeit sind bei der Spannbewehrung nur die Nummern der Ecklitzen angegeben.

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937kNm DIN2011

	12	8	26	0	2	0	
-0.275	2.0	-0.275	1.80	-0.075	1.79	-0.075	0.23
-0.275	0.15	-0.275	0.	0.275	0.	0.275	0.15
0.075	0.23	0.075	1.79	0.275	1.80	0.275	2.0
4555.	1						

-0.23	1.96	14.	0.23	1.96	14.
-0.23	1.84	14.	0.23	1.84	14.
-0.23	0.12	20.	0.23	0.12	20.
-0.23	0.04	20.	0.23	0.04	20.

2.	E8	5.	E5	5.25	e5				
-0.189	1.945	0.93	78.4	-0.147	1.945	0.93	78.4		
-0.105	1.945	0.93	78.4	-0.063	1.945	0.93	78.4		
-0.021	1.945	0.93	78.4	0.021	1.945	0.93	78.4		
0.063	1.945	0.93	78.4	0.105	1.945	0.93	78.4		
0.147	1.945	0.93	78.4	0.189	1.945	0.93	78.4		
-0.189	1.903	0.93	78.4	-0.147	1.903	0.93	78.4		
-0.105	1.903	0.93	78.4	-0.063	1.903	0.93	78.4		
-0.021	1.903	0.93	78.4	0.021	1.903	0.93	78.4		
0.063	1.903	0.93	78.4	0.105	1.903	0.93	78.4		
0.147	1.903	0.93	78.4	0.189	1.903	0.93	78.4		
-0.105	1.861	0.93	78.4	-0.063	1.861	0.93	78.4		
-0.021	1.861	0.93	78.4	0.021	1.861	0.93	78.4		
0.063	1.861	0.93	78.4	0.105	1.861	0.93	78.4		

1.95	E8	1.522	E6	1.77	e6
0.00175,	0.001,				
0,0,0,					
3937.3,					
-1,0,0,					
3937.3,196.9,					
-1,0,0,					
3937.3,393.7,					

Die im Unterordner ERG-Dateien gespeicherte Ergebnisdatei Q1\_C45\_EN.ERG enthält die folgende Ausgabe:

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 1  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

\* PROTOKOLL DER EINGABEWERTE \*  
\*\*\*\*\*

Anzahl der Eckpunkte des Betonquerschnitts NB = 12  
Anzahl der nicht vorgesp. Bewehrungsstäbe NF = 8  
Anzahl der vorgespannten Bewehrungsstäbe NV = 26

KOORDINATEN DES BETONQUERSCHNITTS

=====

Punkt	yc (I) [m]	zc (I) [m]
1	-0.2750	2.0000
2	-0.2750	1.8000
3	-0.0750	1.7900
4	-0.0750	0.2300
5	-0.2750	0.1500
6	-0.2750	0.0000
7	0.2750	0.0000
8	0.2750	0.1500
9	0.0750	0.2300
10	0.0750	1.7900
11	0.2750	1.8000
12	0.2750	2.0000

\*\*\*\*\* Werkstoffverhalten nach DIN EN 1992-1-1:2011-01 \*\*\*\*\*

BETON-WERKSTOFFVERHALTEN FÜR C 45/ 55  
mit Formelwert  $E_{cm}=36.283 \cdot 10^3$  N/mm<sup>2</sup> nach Tabelle 3.1

Sicherheitsbeiwert  $\gamma_{c}$  für Grenzzustand der Tragfähigkeit = 1.50  
für Schnittgrößen und Verformungen = 1.50

alpha für fcd = 0.85 alpha für fcm und Ecm = 1.00

Beiwert für Gesteinskörnung  $\alpha_{E}$  = 1.00

Grenzzustand der Tragfähigkeit  $f_{cd} = 0.85 \cdot -45000. / 1.50 = -25500.$  kN/m<sup>2</sup>

Schnittgrößen und Verformungen  $f_{cm} = 1.00 \cdot -53000. / 1.50 = -35333.$  kN/m<sup>2</sup>

Elastizitätsmodul  $E_{cm} = 1.00 \cdot 36.28E+06 / 1.50 = 24.19E+06$  kN/m<sup>2</sup>

für Zustand I: E-Modul  $E_{co} = 24.19E+06$  G-Modul  $G_{co} = 10.08E+06$  kN/m<sup>2</sup>

Querdehnungszahl = 0.20

Faktor	Eps	Eps^2	Eps^3	Eps^4	
Sigma,d	= 2.546E+07	5.913E+09	-7.632E+11	-2.797E+14	(Parabel-Rechteck, fcd)
Sigma,m	= 2.542E+07	3.430E+09	-1.430E+11	1.185E+14	(Hyperbel mit Ecm, ^fcm)

Zulässige Randverzerrungen für Grenzzustand	für Verformungen
Druckseite $ec_{2u} = -3.50E-03$	$ec_{1u} = -3.50E-03$
Zugseite $es_u = 2.50E-02$	$eu_k = 2.50E-02$
Maximum Druck $ec_2 = -2.00E-03$	$ec_1 = -2.40E-03$
Beton auf Zug	$ect = 0.00E+00$

„Grenzzustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 2  
 Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
 G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
 UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

KOORDINATEN UND QUERSCHNITTE DER NICHT VORGESPANNTEN BEWEHRUNG

=====

Punkt	ys (I) [m]	zs (I) [m]	ds (I) [mm]	As (I) [cm**2]
1	-0.2300	1.9600	14.0	1.54
2	0.2300	1.9600	14.0	1.54
3	-0.2300	1.8400	14.0	1.54
4	0.2300	1.8400	14.0	1.54
5	-0.2300	0.1200	20.0	3.14
6	0.2300	0.1200	20.0	3.14
7	-0.2300	0.0400	20.0	3.14
8	0.2300	0.0400	20.0	3.14

1 - 8 E-Modul = 2.000E+08, fyk = 5.000E+05, ftk = 5.250E+05 [kN/m\*\*2]

Sicherheitsbeiwert gamma,s für Grenzzustand der Tragfähigkeit = 1.15  
 für Schnittgrößen und Verformungen = 1.15

1 - 8 : Der E-Modul bleibt unverändert

fyd = 5.000E+05 / 1.15 = 4.348E+05 kN/m\*\*2, Fliegsdehnung = 2.17 o/oo

KOORDINATEN, QUERSCHNITTE UND VORSPANNKRÄFTE DER SPANNBEWEHRUNG

=====

Punkt	yp (I) [m]	zp (I) [m]	Ap (I) [cm**2]	P (I) [kN]
1	-0.1890	1.9450	0.930	78.400
2	-0.1470	1.9450	0.930	78.400
3	-0.1050	1.9450	0.930	78.400
4	-0.0630	1.9450	0.930	78.400
5	-0.0210	1.9450	0.930	78.400
6	0.0210	1.9450	0.930	78.400
7	0.0630	1.9450	0.930	78.400
8	0.1050	1.9450	0.930	78.400
9	0.1470	1.9450	0.930	78.400
10	0.1890	1.9450	0.930	78.400
11	-0.1890	1.9030	0.930	78.400
12	-0.1470	1.9030	0.930	78.400
13	-0.1050	1.9030	0.930	78.400
14	-0.0630	1.9030	0.930	78.400
15	-0.0210	1.9030	0.930	78.400
16	0.0210	1.9030	0.930	78.400
17	0.0630	1.9030	0.930	78.400
18	0.1050	1.9030	0.930	78.400
19	0.1470	1.9030	0.930	78.400
20	0.1890	1.9030	0.930	78.400
21	-0.1050	1.8610	0.930	78.400
22	-0.0630	1.8610	0.930	78.400
23	-0.0210	1.8610	0.930	78.400
24	0.0210	1.8610	0.930	78.400
25	0.0630	1.8610	0.930	78.400
26	0.1050	1.8610	0.930	78.400

„Grenzzustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 3  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
UniKassel FB14 Massivbau -->> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

1 - 26 E-Modul = 1.950E+08, fp0,1k = 1.522E+06, fpk = 1.770E+06 [kN/m\*\*2]

Sicherheitsbeiwert gamma,s für Grenzzustand der Tragfähigkeit = 1.15  
für Schnittgrößen und Verformungen = 1.15

1 - 26 : Der E-Modul bleibt unverändert  
fp0,1d = 1.522E+06 / 1.15 = 1.323E+06 kN/m\*\*2, Fliegsdehnung = 6.79 o/oo

ITERATIONSSCHRANKEN  
=====

Maximale Winkelabweichung  
zwischen innerem und äusserem Momentenvektor = 0.001750 ( 0.100 Grad )  
Maximale bezogene Differenz  
beim Gleichgewicht der Kräfte in x-Richtung = 0.001000

\* ERGEBNISAUSGABE DER BERECHNUNGEN \*  
\*\*\*\*\*

Ende des Protokolls der Eingabedaten  
Beginn der Ergebnisausgabe für  
Steuergröße LU = 0 oder 2 oder -2

QUERSCHNITTSWERTE DES BETONS OHNE BEWEHRUNG ( Dimensionen [m] )  
=====

- BEZOGEN AUF EINGABEACHSEN

BETON - FLÄCHE Ac = 4.58000E-01  
STATISCHE MOMENTE Sy = 4.62920E-01 Sz = -7.69893E-11  
TRÄGHEITSMOMENTE Iy = 6.96478E-01 Iz = 5.71792E-03  
Iyz = 4.98630E-10  
BETON - SCHWERPUNKT ys,c = 0.0000 zs,c = 1.0107

- BEZOGEN AUF SCHWERPUNKT UND RICHTUNG DER EINGABEACHSEN

TRÄGHEITSMOMENTE Iy = 2.28585E-01 Iz = 5.71792E-03  
Iyz = 5.76447E-10

- BEZOGEN AUF HAUPTACHSEN ( WINKEL PHI = 0.000 = 0.0 GRAD )

HAUPTTRÄGHEITSMOMENTE Iy,c = 2.28585E-01 Iz,c = 5.71792E-03

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 4  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

IDEELLE QUERSCHNITTSWERTE ( Dimensionen [m] )

=====

BETON - E-MODUL  $E_c = 2.41888E+07$  kN/m<sup>2</sup>

BETONSTAHL- E-MODUL  $E_s = 2.00000E+08$  kN/m<sup>2</sup>  $E_s/E_c-1 = 7.27$

SPANNSTAHL- E-MODUL  $E_p = 1.95000E+08$  kN/m<sup>2</sup>  $E_p/E_c-1 = 7.06$

- BEZOGEN AUF EINGABEACHSEN (Angabe der Bewehrungsanteile OHNE Faktor (n-1))

BETONSTAHL : FLÄCHE  $A_s = 1.87239E-03$

STAT. MOMENTE  $S_y = 1.27046E-03$   $S_z = -1.59961E-12$

SPANNSTAHL : FLÄCHE  $A_p = 2.41800E-03$

STAT. MOMENTE  $S_y = 4.61708E-03$   $S_z = 1.31680E-13$

IDEELLE - FLÄCHE  $A_i = 4.88684E-01$

STATISCHE MOMENTE  $S_{y,i} = 5.04758E-01$   $S_{z,i} = -8.76859E-11$

IDEELLER SCHWERPUNKT  $y_{s,i} = 0.0000$   $z_{s,i} = 1.0329$

- BEZOGEN AUF IDEELLEN SCHWERPUNKT UND RICHTUNG DER EINGABEACHSEN  
(Angabe der Bewehrungsanteile OHNE Faktor (n-1))

BETONSTAHL :

TRÄGHEITSMOMENTE  $I_{y,s} = 1.60823E-03$   $I_{z,s} = 9.90494E-05$

$I_{yz,s} = 3.45067E-12$

SPANNSTAHL :

TRÄGHEITSMOMENTE  $I_{y,p} = 1.86045E-03$   $I_{z,p} = 2.99395E-05$

$I_{yz,p} = 1.36716E-12$

IDEELLER QUERSCHNITT :

TRÄGHEITSMOMENTE  $I_{y,i} = 2.53636E-01$   $I_{z,i} = 6.64926E-03$

$I_{yz,i} = 6.11066E-10$

- BEZOGEN AUF HAUPTACHSEN ( WINKEL PHI = 0.000 = 0.0 GRAD )

HAUPTTRÄGHEITSMOMENTE  $I_{y,i} = 2.53636E-01$   $I_{z,i} = 6.64926E-03$

Torsionssteifigkeiten und Schubmittelpunkt des Betondruckkörpers  
bereichsweise linear-elastische Berechnung MIT SEKANTENMODULN

----- (Dimensionen kN und m) -----

++++ Koordinaten des Schubmittelpunktes +++++

Eingabesystem Biege-HA-System

$y_M = 0.00000$   $0.00000$

$z_M = 1.06399$   $0.03110$

nur Beton:

ST. VENANT'SCHE TORSIONSSTEIFIGKEIT  $GID = 4.19475E+04$

+++++

Obergurt Steg Untergurt

$GID1 = 1.29311E+04$   $GID2 = 1.66161E+04$   $GID3 = 1.24002E+04$

Torsionswiderstand

$TW1 = 1.28302E-03$   $TW2 = 1.64865E-03$   $TW3 = 1.23035E-03$

SEKANTEN - E-Moduln UND G-Moduln

$E_{sek1} = 2.41888E+07$   $E_{sek2} = 2.41888E+07$   $E_{sek3} = 2.41888E+07$

$G_{sek1} = 1.00787E+07$   $G_{sek2} = 1.00787E+07$   $G_{sek3} = 1.00787E+07$

Verzerrungen für Berechnung der Elastizitätsmoduln

$RO1 = 0.000E+00$   $RO2 = 0.000E+00$   $RO3 = 0.000E+00$

$RU1 = 0.000E+00$   $RU2 = 0.000E+00$   $RU3 = 0.000E+00$

„Grenzzustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 5  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

Erweiterte Torsionssteifigkeit mit Anteil der Spannbewehrung  
-----  
INTEGRAL SIGMA, p\*(y^2+z^2)\*dAp = 3.45067E-12  
TANGENTEN-Steifigkeit GID\* = 4.40766E+04  
SEKANTEN-Steifigkeit GID\* = 4.19475E+04

Wenn die Steuergröße LU = -2 gesetzt wird, endet die Berechnung hier!

BERECHNUNG BELASTUNGSABHÄNGIGER WERTE  
=====

Beginn der Ergebnisausgabe für  
Steuergröße LU = 1 oder -1

+++ ERLÄUTERUNGEN ZUR ERGEBNISAUSGABE (Winkel positiv im Uhrzeigersinn) +++  
ALFA = Winkel zwischen der y-Achse und  
dem resultierenden äusseren Momentenvektor M\_Ed,res  
BETA = Neigungswinkel der Nulllinie bezogen auf die y-Achse  
GAMMA = Winkel zwischen der Nulllinie und  
dem resultierenden inneren Momentenvektor M\_Rd  
Tragmomente M\_Rd,y und M\_Rd,z sind auf um BETA gedrehte Achsen bezogen.

ÄUSSERE BELASTUNG My,Mz,N - Lastfall 0  
=====

MOMENTE My = 3937.300 kNm Mz = 0.000 kNm

Die NORMALKRAFT N = 0.000 kN mit vorgegebenem  
ANGRIFFSPUNKT yn = 0.0000 m zn = 1.0107 m wird in  
den geom. Schwerpunkt (ys = 0.0000 m , zs = 1.0107 m) verschoben.

Die RESULTIERENDE MOMENTENBELASTUNG beträgt dann:  
My,res = 3937.300 kNm Mz,res = 0.000 kNm  
Das resultierende Moment beträgt M\_Ed,res = 3937.300 kNm  
mit einem Neigungswinkel zur y-Achse ALFA = 0.000000( 0.0grad)

GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT MIT PARABEL-RECHTECK-DIAGRAMM und Fcd

>>> Einwirkungsfaktor für Vorspannung gamma\_p,fav = 1.000 <<<

>>> Das Verhältnis M\_Rd/M\_Ed,res muss mindestens 1.00 betragen <<<

=====

M_Ed,res =	3937.300 kNm	M_Rd =	6669.821 kNm	M_Rd/M_Ed,res =	1.694
N =	0.000 kN				

nach 18 Iterationen:

VERZERRUNGEN eps_c2 =	-3.5000E-03	eps_s1 =	1.3650E-02	eps_ct =	0.0000E+00
BETONRANDSPANNUNG	=	-25929. kN/m^2			
KRÄFTE .....	Fc =	-3174.975 kN	Fs =	3175.792 kN	
TRAGMOMENTE M_Rd,y =	6669.821 kNm	M_Rd,z =	0.000 kNm		

Winkel nach 0 Änderungen in Bogenmass und Grad :  
BETA = 0.000000( 0.0) GAMMA = 0.000000( 0.0)

Wenn die Steuergröße LU = 1 oder 2 gesetzt wird, endet die Berechnung hier !

„Grenzzustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 6  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT MIT HYPERBEL-VERLAUF und MAXIMUM = Fcm  
>>> Einwirkungsfaktor für Vorspannung gamma\_p,fav = 1.000 <<<  
>>> Das Verhältnis M\_gr/M\_Ed,res muss mindestens 1.00 betragen <<<

=====  
M\_Ed,res = 3937.300 kNm M\_gr = 7079.145 kNm M\_gr/M\_Ed,res = 1.798  
N = 0.000 kN

nach 13 Iterationen:

VERZERRUNGEN eps\_c2 = -3.5000E-03 eps\_s1 = 2.1600E-02 eps\_ct = 0.0000E+00  
BETONRANDSPANNUNG = -23024. kN/m^2  
KRÄFTE ..... Fc = -3386.402 kN Fs = 3386.251 kN  
TRAGMOMENTE M\_gr,y = 7079.145 kNm M\_gr,z = 0.000 kNm

Winkel nach 0 Änderungen in Bogenmass und Grad :  
BETA = 0.000000( 0.0) GAMMA = 0.000000( 0.0)

ERGEBNISSE FÜR VERFORMUNGSZUSTAND MIT HYPERBEL-VERLAUF und MAXIMUM = Fcm  
>>> Einwirkungsfaktor für Vorspannung gamma\_p,fav = 1.000 <<<  
>>> Das Verhältnis M\_it/M\_Ed,res sollte genau 1.00 betragen <<<

=====  
M\_Ed,res = 3937.300 kNm M\_it = 3936.496 kNm M\_it/M\_Ed,res = 1.000  
N = 0.000 kN

nach 265 Iterationen:

VERZERRUNGEN eps\_c2 = -6.240E-04 eps\_s1 = 5.350E-04 eps\_ct = 0.000E+00  
BETONRANDSPANNUNG = -14472. kN/m^2  
KRÄFTE ..... Fc = -2190.977 kN Fs = 2193.144 kN  
TRAGMOMENTE M\_it,y = 3936.496 kNm M\_it,z = 0.000 kNm

Winkel nach 0 Änderungen in Bogenmass und Grad :  
BETA = 0.000000( 0.0) GAMMA = 0.000000( 0.0)

„Grenz Zustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 7  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

QUERSCHNITTSWERTE MIT HYPERBEL-VERLAUF und MAXIMUM = Fcm  
=====

+++++ BERECHNUNG MIT TANGENTENMODUL (Dimensionen kN und m) +++++  
- BEZOGEN AUF EINGABEACHSEN  
ELASTISCHE FLÄCHE EA = 6.13582E+06  
ELAST.STATISCHE MOMENTE E<sub>Sy</sub> = 3.31188E+06 ES<sub>z</sub> = -6.33387E-03  
BIEGESTEIFIGKEITEN EI<sub>y</sub> = 3.61637E+06 EI<sub>z</sub> = 8.34504E+04  
EI<sub>yz</sub> = 1.48484E-03  
ELASTISCHER SCHWERPUNKT Y<sub>S</sub> = 0.0000 Z<sub>S</sub> = 0.5398  
  
- BEZOGEN AUF HAUPTACHSEN (WINKEL PHI = 0.000 = 0.0 GRAD)  
HAUPTBIEGESTEIFIGKEITEN EI<sub>y</sub> = 1.82874E+06 EI<sub>z</sub> = 8.34504E+04  
INTEGRAL SIGMA\*(y<sup>2</sup>+z<sup>2</sup>)\*dA = 4.02979E+03  
ANTEILE Ac = -3.51862E+02 As = 7.92537E+01 Ap = 4.30240E+03

+++++ BERECHNUNG MIT SEKANTENMODUL (Dimensionen kN und m) +++++  
- BEZOGEN AUF EINGABEACHSEN  
ELASTISCHE FLÄCHE EA = 6.47431E+06  
ELAST.STATISCHE MOMENTE E<sub>Sy</sub> = 3.38855E+06 ES<sub>z</sub> = -7.31043E-03  
BIEGESTEIFIGKEITEN EI<sub>y</sub> = 3.65061E+06 EI<sub>z</sub> = 8.88608E+04  
EI<sub>yz</sub> = 1.48484E-03  
ELASTISCHER SCHWERPUNKT Y<sub>S</sub> = 0.0000 Z<sub>S</sub> = 0.5234  
  
- BEZOGEN AUF HAUPTACHSEN (WINKEL PHI = 0.000 = 0.0 GRAD)  
HAUPTBIEGESTEIFIGKEITEN EI<sub>y</sub> = 1.87710E+06 EI<sub>z</sub> = 8.88609E+04  
INTEGRAL SIGMA\*(y<sup>2</sup>+z<sup>2</sup>)\*dA = 4.15871E+03  
ANTEILE Ac = -3.30632E+02 As = 8.41718E+01 Ap = 4.40517E+03

SEKANTENMODUL DES BETONS E<sub>sec</sub> = 2.31916E+07 kN/m<sup>2</sup>  
( z.B. zur Bestimmung der Torsionssteifigkeiten )

\* Tangentensteifigkeiten bezogen auf Hauptachsen mit Sekantenmodul \*  
Biegesteifigkeiten EI<sub>y,t</sub> = 1.83039E+06 EI<sub>z,t</sub> = 8.34504E+04

„Grenzzustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 8  
Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 15:21:33  
UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011

Torsionssteifigkeiten und Schubmittelpunkt des Betondruckkörpers  
bereichsweise linear-elastische Berechnung MIT TANGENTENMODULN  
----- (Dimensionen kN und m) -----

```
+++++ Koordinaten des Schubmittelpunktes +++++
                Eingabesystem  Biege-HA-System
                yM =      0.00000      0.00000
                zM =      0.16799     -0.37178

nur Beton:
  ST. VENANT'SCHE TORSIONSSTEIFIGKEIT  GID = 1.95364E+04
  ++++++
  Obergurt                Steg                Untergurt
GID1 = 1.14309E+04      GID2 = 8.10546E+03      GID3 = 0.00000E+00

Torsionswiderstand
TW1 = 1.28302E-03      TW2 = 8.22057E-04      TW3 = 0.00000E+00

TANGENTEN - E-Moduln  und  G-Moduln
Etan1 = 2.13824E+07   Etan2 = 2.36640E+07   Etan3 = 0.00000E+00
Gtan1 = 8.90935E+06   Gtan2 = 9.85998E+06   Gtan3 = 0.00000E+00

Verzerrungen für Berechnung der Elastizitätsmoduln
RO1 = -6.240E-04      RO2 = -4.880E-04      RO3 = 0.000E+00
RU1 = -4.880E-04      RU2 = 0.000E+00      RU3 = 5.587E-04
```

Torsionssteifigkeiten und Schubmittelpunkt des Betondruckkörpers  
bereichsweise linear-elastische Berechnung MIT SEKANTENMODULN  
----- (Dimensionen kN und m) -----

```
+++++ Koordinaten des Schubmittelpunktes +++++
                Eingabesystem  Biege-HA-System
                yM =      0.00000      0.00000
                zM =      0.16557     -0.35781

nur Beton:
  ST. VENANT'SCHE TORSIONSSTEIFIGKEIT  GID = 2.09434E+04
  ++++++
  Obergurt                Steg                Untergurt
GID1 = 1.25325E+04      GID2 = 8.41088E+03      GID3 = 0.00000E+00

Torsionswiderstand
TW1 = 1.28302E-03      TW2 = 8.22057E-04      TW3 = 0.00000E+00

SEKANTEN - E-Moduln  und  G-Moduln
Esek1 = 2.34432E+07   Esek2 = 2.45556E+07   Esek3 = 0.00000E+00
Gsek1 = 9.76799E+06   Gsek2 = 1.02315E+07   Gsek3 = 0.00000E+00

Verzerrungen für Berechnung der Elastizitätsmoduln
RO1 = -6.240E-04      RO2 = -4.880E-04      RO3 = 0.000E+00
RU1 = -4.880E-04      RU2 = 0.000E+00      RU3 = 5.587E-04
```

Erweiterte Torsionssteifigkeit mit Anteil der Spannbewehrung  
-----

```
INTEGRAL SIGMA,p*(y^2+z^2)*dAp = 4.40517E+03
TANGENTEN-Steifigkeit  GID* = 2.39415E+04
SEKANTEN-Steifigkeit  GID* = 2.53486E+04
```

Wenn die Steuergröße LU = 0 oder -1 gesetzt wird, endet die Berechnung für den ersten Lastfall hier!  
Für weitere Lastfälle wiederholen sich die formal gleichen Ausdrücke der Seiten 5 bis 8.  
Die beiden weiteren Lastfälle können in der Ausgabedatei Q1\_C45\_EN.ERG eingesehen werden.

„Grenz Zustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Der hier behandelte Querschnitt Q1 ist der Mittelquerschnitt des Spannbeton-Satteldachträgers B1, der im Programm KIPNT2 verwendet wird. Um auch den kritischen Schnitt eines Satteldachträgers problemlos berechnen zu können, wird für die geometrischen Daten und die Werkstoffdaten die Eingabedatei des Kippprogramms verwendet. Der kritische Schnitt wird von QUERWERT aufgrund der Geometrie dann berechnet {s. Kap. 3, Nr. 2}. Die Lastmomente können mit den Formeln im {Kap. 3, Nr. Q12.}, aus den Momenten des Mittelquerschnitts ermittelt werden. Es ergibt sich die folgende Eingabedatei, die unter dem Namen Q1\_C45\_KS.QUW im Unterordner ...\Beispiele\QUW gespeichert ist. Die gegenüber der Datei Q1\_C45\_EN.QUW geänderten Datenzeilen sind durch einen Pfeil und eine Klammer markiert:

B1-Satteldachtr.		krit.Schn.		mit Formel		M=3571kNm		C45 DIN2011	
12	8	26	1	0	2	0	0	0	1.
-0.275	2.0	-0.275	1.80	-0.075	1.79	-0.075	1.33	0.	←
-0.275	1.25	-0.275	1.10	0.275	1.10	0.275	1.25		
0.075	1.33	0.075	1.79	0.275	1.80	0.275	2.0		
-0.275	2.0	-0.275	1.80	-0.075	1.79	-0.075	0.23		
-0.275	0.15	-0.275	0.	0.275	0.	0.275	0.15		
0.075	0.23	0.075	1.79	0.275	1.80	0.275	2.0		
4555.	1					25.		1.	←
-0.23	1.96	14.	0.23	1.96	14.				
-0.23	1.84	14.	0.23	1.84	14.				
-0.23	1.22	20.	0.23	1.22	20.				
-0.23	1.14	20.	0.23	1.14	20.				
-0.23	1.96	0.23	1.96	-0.23	1.84	0.23	1.84		
-0.23	0.12	0.23	0.12	-0.23	0.04	0.23	0.04		
2.	E8	5.	E5	5.25	E5				
-0.189	1.945	0.93	78.4	-0.147	1.945	0.93	78.4		
-0.105	1.945	0.93	78.4	-0.063	1.945	0.93	78.4		
-0.021	1.945	0.93	78.4	0.021	1.945	0.93	78.4		
0.063	1.945	0.93	78.4	0.105	1.945	0.93	78.4		
0.147	1.945	0.93	78.4	0.189	1.945	0.93	78.4		
-0.189	1.903	0.93	78.4	-0.147	1.903	0.93	78.4		
-0.105	1.903	0.93	78.4	-0.063	1.903	0.93	78.4		
-0.021	1.903	0.93	78.4	0.021	1.903	0.93	78.4		
0.063	1.903	0.93	78.4	0.105	1.903	0.93	78.4		
0.147	1.903	0.93	78.4	0.189	1.903	0.93	78.4		
-0.105	1.861	0.93	78.4	-0.063	1.861	0.93	78.4		
-0.021	1.861	0.93	78.4	0.021	1.861	0.93	78.4		
0.063	1.861	0.93	78.4	0.105	1.861	0.93	78.4		
1.95	E8	1.522	E6	1.77	E6				
0.00175,	0.001								
0,0,0,									
3571.91,0.,									
0,0,0,									
3571.91,357.2,									

} Momente nach {Kap.6, Nr. Q12}

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q1\_C45\_KS einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben. Die zugehörige Ergebnisdatei Q1\_C45\_KS.ERG ist ebenfalls im Unterordner ...\Beispiele\ERG zu finden.

Das gleiche Beispiel wird nun für den Fall **DIN EN 1992-1-1/NA:2011-01, Abschnitt 5.7**, (s. hierzu S. 15, Nr. 2) behandelt. Die im Bild 5 dargestellten Querschnitts-Vorgaben bleiben unverändert. In der Eingabezeile für die Teilsicherheitsbeiwerte ist an der entsprechenden Stelle der einheitliche Sicherheitsbeiwert  $\gamma_R$  einzutragen. Aufgrund der Voreinstellung im Programm werden dann für die Berechnung die im NA, NCI Zu 5.7, angegebenen rechnerischen Mittelwerte der Baustofffestigkeiten gewählt. Es ergibt sich die folgende Eingabedatei, die unter dem Namen Q1\_C45\_R.QUW im Unterordner ...\Beispiele\QUW gespeichert ist. Die gegenüber der Datei Q1\_C45\_EN.QUW geänderte Datenzeile ist durch einen Pfeil markiert:

```
SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937kNm DIN2011 R-Verfahren
      12      8      26      0      0      2      0
-0.275  2.0    -0.275  1.80    -0.075  1.79    -0.075  0.23
-0.275  0.15    -0.275  0.      0.275   0.      0.275   0.15
0.075   0.23     0.075   1.79    0.275   1.80    0.275   2.0
4555.   1
```

```

-0.23  1.96  14.  0.23  1.96  14.  1.3 ←
-0.23  1.84  14.  0.23  1.84  14.
-0.23  0.12  20.  0.23  0.12  20.
-0.23  0.04  20.  0.23  0.04  20.
```

```
2.      E8      5.      E5      5.25      e5
-0.189  1.945  0.93  78.4  -0.147  1.945  0.93  78.4
-0.105  1.945  0.93  78.4  -0.063  1.945  0.93  78.4
-0.021  1.945  0.93  78.4  0.021   1.945  0.93  78.4
 0.063  1.945  0.93  78.4  0.105   1.945  0.93  78.4
 0.147  1.945  0.93  78.4  0.189   1.945  0.93  78.4
-0.189  1.903  0.93  78.4  -0.147  1.903  0.93  78.4
-0.105  1.903  0.93  78.4  -0.063  1.903  0.93  78.4
-0.021  1.903  0.93  78.4  0.021   1.903  0.93  78.4
 0.063  1.903  0.93  78.4  0.105   1.903  0.93  78.4
 0.147  1.903  0.93  78.4  0.189   1.903  0.93  78.4
-0.105  1.861  0.93  78.4  -0.063  1.861  0.93  78.4
-0.021  1.861  0.93  78.4  0.021   1.861  0.93  78.4
 0.063  1.861  0.93  78.4  0.105   1.861  0.93  78.4
```

```
1.95      E8 1.522      E6 1.77      e6
0.00175,0.001,
0,0,0,
3937.3,
-1,0,0,
3937.3,196.9,
-1,0,0,
3937.3,393.7,
```

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q1\_C45\_R einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q1\_C45\_R.ERG ist ebenfalls im Unterordner ...\Beispiele\ERG zu finden.

„Grenz Zustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Das gleiche Beispiel wird auch für den Fall **DIN 1045-1:2008-08, Abschnitt 8.6.1(7)**, (s. hierzu S. 15, Nr. 1) behandelt. Die im Bild 5 dargestellten Querschnitts-Vorgaben bleiben unverändert. In der Eingabezeile für die Betonfestigkeitsklasse ist die Zahl Null anstatt einer Eins einzutragen {s. Kap. 3, Nr. 4, Steuerzahl KDIN}. Die entsprechende Zeile ist mit einem Pfeil gekennzeichnet. Aufgrund der Voreinstellung im Programm werden dann für die Berechnung die entsprechenden Baustoffkennwerte gewählt. Es ergibt sich die folgende Eingabedatei, die unter dem Namen Q1\_C45\_1045.QUW im Unterordner ...\Beispiele\QUW gespeichert ist.

```
SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN1045/2008
      12      8      26      0      0      2      0
-0.275  2.0    -0.275  1.80    -0.075  1.79    -0.075  0.23
-0.275  0.15    -0.275  0.      0.275   0.      0.275   0.15
0.075   0.23    0.075   1.79    0.275   1.80    0.275   2.0
4555.   0    ←
-0.23   1.96    14.     0.23    1.96    14.
-0.23   1.84    14.     0.23    1.84    14.
-0.23   0.12    20.     0.23    0.12    20.
-0.23   0.04    20.     0.23    0.04    20.

2.      E8    5.      E5    5.25   e5
-0.189  1.945  0.93    78.4    -0.147  1.945  0.93    78.4
-0.105  1.945  0.93    78.4    -0.063  1.945  0.93    78.4
-0.021  1.945  0.93    78.4    0.021   1.945  0.93    78.4
0.063   1.945  0.93    78.4    0.105   1.945  0.93    78.4
0.147   1.945  0.93    78.4    0.189   1.945  0.93    78.4
-0.189  1.903  0.93    78.4    -0.147  1.903  0.93    78.4
-0.105  1.903  0.93    78.4    -0.063  1.903  0.93    78.4
-0.021  1.903  0.93    78.4    0.021   1.903  0.93    78.4
0.063   1.903  0.93    78.4    0.105   1.903  0.93    78.4
0.147   1.903  0.93    78.4    0.189   1.903  0.93    78.4
-0.105  1.861  0.93    78.4    -0.063  1.861  0.93    78.4
-0.021  1.861  0.93    78.4    0.021   1.861  0.93    78.4
0.063   1.861  0.93    78.4    0.105   1.861  0.93    78.4

1.95    E8    1.522  E6    1.77   e6
0.00175,0.001,
0,0,0,
3937.3,
-1,0,0,
3937.3,196.9,
-1,0,0,
3937.3,393.7,
```

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q1\_C45\_1045 einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q1\_C45\_1045.ERG ist ebenfalls im Unterordner ...\Beispiele\ERG zu finden.

Als weitere Möglichkeit wird das Beispiel noch für den **Fall DIN 1045:1988, mit globalen Sicherheitsbeiwerten** (s. hierzu S. 15, Nr. 3) behandelt. Die im Bild 5 dargestellten Querschnitts-Vorgaben bleiben unverändert. Die Werkstoffangaben für den Beton und für die Bewehrungen müssen den Werten gemäß DIN 1045:1988 angepasst werden. Die Belastung aus dem Moment wird mit einem globalen Sicherheitsfaktor 1,75 ermittelt. Es ergibt sich die folgende Eingabedatei, die unter dem Namen Q1\_B55.QUW im Unterordner ...\Beispiele\QUW gespeichert ist. Die gegenüber der Datei Q1\_C45\_EN.QUW geänderten Datenzeilen sind durch Pfeile markiert.

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=4762 kNm DIN1045/1988 ←

	12	8	26	0	0	2	0
-0.275	2.0	-0.275	1.80	-0.075	1.79	-0.075	0.23
-0.275	0.15	-0.275	0.	0.275	0.	0.275	0.15
0.075	0.23	0.075	1.79	0.275	1.80	0.275	2.0

55. ←

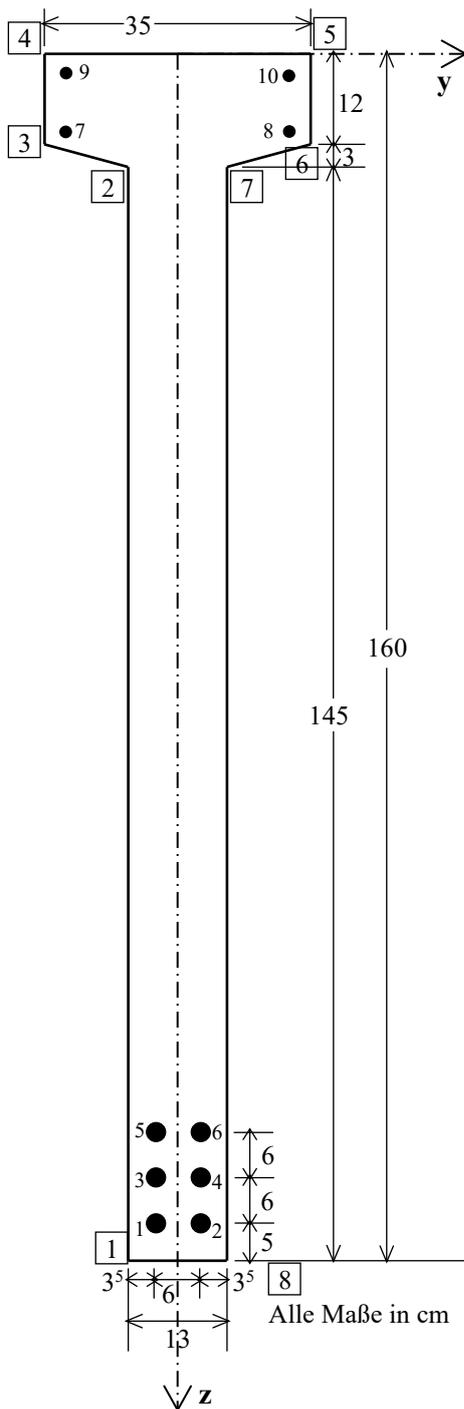
-0.23	1.96	14.	0.23	1.96	14.
-0.23	1.84	14.	0.23	1.84	14.
-0.23	0.12	20.	0.23	0.12	20.
-0.23	0.04	20.	0.23	0.04	20.

2.1	E8	5.	E5	←			
-0.189	1.945	0.93	78.4	-0.147	1.945	0.93	78.4
-0.105	1.945	0.93	78.4	-0.063	1.945	0.93	78.4
-0.021	1.945	0.93	78.4	0.021	1.945	0.93	78.4
0.063	1.945	0.93	78.4	0.105	1.945	0.93	78.4
0.147	1.945	0.93	78.4	0.189	1.945	0.93	78.4
-0.189	1.903	0.93	78.4	-0.147	1.903	0.93	78.4
-0.105	1.903	0.93	78.4	-0.063	1.903	0.93	78.4
-0.021	1.903	0.93	78.4	0.021	1.903	0.93	78.4
0.063	1.903	0.93	78.4	0.105	1.903	0.93	78.4
0.147	1.903	0.93	78.4	0.189	1.903	0.93	78.4
-0.105	1.861	0.93	78.4	-0.063	1.861	0.93	78.4
-0.021	1.861	0.93	78.4	0.021	1.861	0.93	78.4
0.063	1.861	0.93	78.4	0.105	1.861	0.93	78.4

1.95	E8	1.57	E6	←
0.00175,	0.001,			
0,	0,	0,		
4762.6,				
-1,	0,	0,		
4762.6,	238.1,			
-1,	0,	0,		
4762.6,	476.3,			

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q1\_B55 einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q1\_B55.ERG ist ebenfalls im Unterordner...\Beispiele\ERG zu finden.



Querschnittshöhe :  
h = 160 cm konstant

Beton C35/45

Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_C = 1,5$   
Langzeiteinfluss :  $\alpha_{cc} = 0,85$   
 $f_{ed} = 0,85 \cdot 35 / 1,5 = 19,8 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{cm} / \gamma_C = (35+8) / 1,5 = 28,7 \text{ N/mm}^2$

Betonstahl B500

im Steg unten 6  $\varnothing 28$  (Nr. 1-6)  
im Obergurt 4  $\varnothing 12$  (Nr. 7-10)  
 $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$   
Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_S = 1,15$

Biegemomente

Lastfall 0:

$M_{y,Ed} = 1491,3 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$

Lastfall 1:

$M_{y,Ed} = 1491,3 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 45 \text{ kNm}$

Lastfall 2:

$M_{y,Ed} = 1491,3 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 75 \text{ kNm}$

Bild 6 : Stahlbetonquerschnitt Q2

## 6.2 Stahlbeton-T-Querschnitt Q2

Der Querschnitt mit allen erforderlichen Angaben ist im Bild 6 dargestellt. Die Datendatei hat den Namen Q2\_C35.QUW und ist im Unterordner QUW-Dateien zu finden.

Dieser Querschnitt wird in Kap. 6.5 auch dazu verwendet, die Eingabe eines Sonderbetons {s. Kap. 3, Nr. 4 und Nr. 4.1} zu zeigen. Deshalb wird hier bei diesem Beispiel das Ergebnis der Approximation des Betonwerkstoffverhaltens ausgegeben {Steuerzahl LWGS=1, s. Kap. 3, Nr. 2}, um einen Vergleich mit dem Ergebnis in Kap. 6.5 zu bekommen.

Die Nummerierung der Eckpunkte des Querschnitts erfolgt fortlaufend im Uhrzeigersinn, beginnend an der linken unteren Ecke mit Punkt 1. Die Bewehrungen sind von links nach rechts und von unten nach oben durchnummeriert.

Bei diesem Beispiel ist die Datendatei formatfrei erstellt worden. Dabei sind die Zahlen nur durch ein Komma getrennt und müssen nicht an einer bestimmten Stelle stehen, wie bei einer formatgebundenen Eingabe. Diese Form der Datendatei-Erstellung bietet sich bei der Verwendung eines Editors an.

```
STAHLBETONQUERSCHNITT Q2 My=1491kNm DIN2011
8,10,0,0,0,2,0,1,
-0.065,1.6,-0.065,0.15,-0.175,0.12,-0.175,0.,
0.175,0.,0.175,0.12,0.065,0.15,0.065,1.6,
3545.,1,
```

```
-0.03,1.55,28.,0.03,1.55,28.,
-0.03,1.49,28.,0.03,1.49,28.,
-0.03,1.43,28.,0.03,1.43,28.,
-0.15,0.10,12.,0.15,0.10,12.,
-0.15,0.03,12.,0.15,0.03,12.,
```

```
2.e8,5.e5,5.25e5,
```

```
0,0,0,
1491.3,
-1,0,0,
1491.3,45.,
-1,0,0,
1491.3,75.,
```

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q2\_C35 einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q2\_C35.ERG ist im Unterordner...\Beispiele\ERG zu finden.

Aufgrund der Eingabe LWGS = 1 wird bei diesem Beispiel das Ergebnis der Polynomapproximation des Betonverhaltens zu Beginn der Ergebnisausgabe angegeben. Im Folgenden werden die ersten vier Seiten der Ergebnisausgabe aufgeführt. Es beginnt mit der Auflistung der verwendeten Vorwerte, die aufgrund der eingegebenen Betonfestigkeitsklasse aus im Programm voreingestellten Werten entnommen werden. Dann folgt die tabellarische Ausgabe der Dehnungen mit den zugehörigen Spannungen im Original (SIG(I)) {Gl. (1.1)} und als Polynomwert {Gl. (1.2)}, sowie den prozentualen Abweichungen zwischen Original und Polynomwert. Am Ende der Tabelle stehen die berechneten Polynomkoeffizienten. In den vorgegebenen Zwangspunkten werden die Originalwerte exakt approximiert. Die im Tabellenkopf verwendeten Bezeichnungen entsprechen denen in den Normen. Der Wert „alfa,i“ ist der Kehrwert von „FAKTOR“. Die Zusammenhänge zwischen den Größen sind in den {Kap. 1.1 und 1.2} beschrieben.

„Grenz Zustand der Tragfähigkeit, Querschnittswerte und Steifigkeiten von Stahlbeton- und Spannbetonquerschnitten“

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 1  
 Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
 G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 16:03:53  
 UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

STAHLBETONQUERSCHNITT Q2 My=1491kNm DIN2011

POLYNOMAPPROXIMATION FÜR WERKSTOFFGESETZ DER FORM GRASSER-HYPERBEL

=====  
 Konstanten des Werkstoffgesetzes für Klasse C 35/ 45 MN/m\*\*2  
 fck = 35.00 alfa,E = 1.00 Ec0m = 35.78 EPSc1 = 2.250  
 fcm = 43.00 Faktor = 1.050 Ecm = 34.08 EPSc1u = 3.500  
 fc = 43.00 alfa,i = 0.952 Ec = 34.08 1+phi = 1.000

I	EPS(I)	SIG(I)	POLYNOM	ABWEICHUNG in 0/0
1	Z	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	Z	1.000E-01	8.170E-02	8.170E-02
3		2.000E-01	1.603E-01	1.603E-01
4		3.000E-01	2.359E-01	2.358E-01
5		4.000E-01	3.082E-01	3.082E-01
6		5.000E-01	3.774E-01	3.773E-01
7		6.000E-01	4.433E-01	4.432E-01
8		7.000E-01	5.058E-01	5.057E-01
9		8.000E-01	5.649E-01	5.648E-01
10		9.000E-01	6.206E-01	6.205E-01
11		1.000E+00	6.728E-01	6.727E-01
12		1.100E+00	7.214E-01	7.213E-01
13		1.200E+00	7.663E-01	7.662E-01
14		1.300E+00	8.075E-01	8.074E-01
15		1.400E+00	8.450E-01	8.449E-01
16		1.500E+00	8.785E-01	8.785E-01
17		1.600E+00	9.082E-01	9.082E-01
18		1.700E+00	9.339E-01	9.338E-01
19		1.800E+00	9.554E-01	9.554E-01
20		1.900E+00	9.729E-01	9.729E-01
21		2.000E+00	9.861E-01	9.861E-01
22		2.100E+00	9.950E-01	9.950E-01
23		2.200E+00	9.994E-01	9.994E-01
24	Z	2.250E+00	1.000E+00	1.000E+00
25		2.300E+00	9.994E-01	9.994E-01
26		2.400E+00	9.949E-01	9.948E-01
27		2.500E+00	9.856E-01	9.856E-01
28		2.600E+00	9.716E-01	9.715E-01
29		2.700E+00	9.528E-01	9.527E-01
30		2.800E+00	9.290E-01	9.288E-01
31		2.900E+00	9.001E-01	9.000E-01
32		3.000E+00	8.661E-01	8.659E-01
33		3.100E+00	8.268E-01	8.267E-01
34		3.200E+00	7.822E-01	7.821E-01
35		3.300E+00	7.320E-01	7.320E-01
36		3.400E+00	6.763E-01	6.763E-01
37		3.500E+00	6.148E-01	6.150E-01

(Zwangspunkte sind mit Z gekennzeichnet , Anzahl = 3 )

EINHEITSKOEFFIZIENTEN DER FUNKTION S = A1 + A2\*E + A3\*E^2 + A4\*E^3 ...

Koeffizient der Basisfunktion NR. 1 ... 0.0000000E+00  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 2 ... 8.3217740E-01  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 3 ... -1.5097386E-01  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 4 ... -7.7563222E-03  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 5 ... -7.7040627E-04

Um die Genauigkeit der Polynomapproximation zu zeigen, wird auf der folgenden Seite 2 das Ergebnis einer Integration des Spannungsverlaufs von vorgegebener Formel (SIGMA) und approximiertem Polynom angegeben:

$$\text{Fläche} = \int_0^{\varepsilon} (\{\text{Sigma Gl. 1.1 oder Polynom Gl. 1.2}\}) d\varepsilon .$$

Außerdem wird die prozentuale Abweichung der Fläche des Polynoms von der SIGMA-Fläche angegeben.

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 2  
 Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
 G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 16:03:53  
 UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

STAHLBETONQUERSCHNITT Q2 My=1491kNm DIN2011

VERGLEICH DER FLÄCHENBERECHNUNG FÜR KLASSE C 35/ 45 MN/m\*\*2

=====

I	EPS(I)	Fläche SIGMA	Fläche POLYNOM	Abweichung in 0/0
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	1.000E-01	4.110E-03	4.110E-03	-2.345E-03
3	2.000E-01	1.624E-02	1.624E-02	1.939E-03
4	3.000E-01	3.608E-02	3.607E-02	5.494E-03
5	4.000E-01	6.331E-02	6.330E-02	8.427E-03
6	5.000E-01	9.762E-02	9.761E-02	1.073E-02
7	6.000E-01	1.387E-01	1.387E-01	1.252E-02
8	7.000E-01	1.862E-01	1.861E-01	1.386E-02
9	8.000E-01	2.397E-01	2.397E-01	1.473E-02
10	9.000E-01	2.990E-01	2.990E-01	1.524E-02
11	1.000E+00	3.637E-01	3.637E-01	1.540E-02
12	1.100E+00	4.335E-01	4.334E-01	1.527E-02
13	1.200E+00	5.079E-01	5.078E-01	1.492E-02
14	1.300E+00	5.866E-01	5.865E-01	1.437E-02
15	1.400E+00	6.693E-01	6.692E-01	1.367E-02
16	1.500E+00	7.555E-01	7.554E-01	1.285E-02
17	1.600E+00	8.448E-01	8.447E-01	1.196E-02
18	1.700E+00	9.370E-01	9.369E-01	1.108E-02
19	1.800E+00	1.031E+00	1.031E+00	1.016E-02
20	1.900E+00	1.128E+00	1.128E+00	9.322E-03
21	2.000E+00	1.226E+00	1.226E+00	8.509E-03
22	2.100E+00	1.325E+00	1.325E+00	7.782E-03
23	2.200E+00	1.425E+00	1.425E+00	7.221E-03
24	2.250E+00	1.475E+00	1.475E+00	6.952E-03
25	2.300E+00	1.525E+00	1.525E+00	6.724E-03
26	2.400E+00	1.624E+00	1.624E+00	6.392E-03
27	2.500E+00	1.724E+00	1.723E+00	6.190E-03
28	2.600E+00	1.821E+00	1.821E+00	6.178E-03
29	2.700E+00	1.918E+00	1.918E+00	6.260E-03
30	2.800E+00	2.012E+00	2.012E+00	6.447E-03
31	2.900E+00	2.103E+00	2.103E+00	6.790E-03
32	3.000E+00	2.192E+00	2.192E+00	7.104E-03
33	3.100E+00	2.276E+00	2.276E+00	7.415E-03
34	3.200E+00	2.357E+00	2.357E+00	7.678E-03
35	3.300E+00	2.433E+00	2.432E+00	7.704E-03
36	3.400E+00	2.503E+00	2.503E+00	7.458E-03
37	3.500E+00	2.568E+00	2.568E+00	6.741E-03

Die folgenden Seiten 3 und 4 zeigen das Ergebnis der Polynomapproximation für das Parabel-Rechteck-Diagramm. Der formale Aufbau der Ergebnisausgabe ist der gleiche wie für die beiden vorstehenden Seiten bereits beschrieben. In der Spalte SIG(I) stehen die Vorgabewerte {Gl. (1.3)}. Die Polynomwerte werden mit {Gl. (1.4)} berechnet.

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 3  
 Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
 G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 16:03:53  
 UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

STAHLBETONQUERSCHNITT Q2 My=1491kNm DIN2011

POLYNOMAPPROXIMATION FÜR WERKSTOFFGESETZ DER FORM PARABEL-RECHTECK  
 =====

Konstanten des Werkstoffgesetzes für Klasse C 35/ 45 MN/m\*\*2  
 fc = 1.00 EPSc2 = 2.00 EPSc2u = 3.50 n = 2.00 d = 1.00

I	EPS (I)	SIG (I)	POLYNOM	ABWEICHUNG in 0/0
1 Z	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2 Z	1.000E-01	9.750E-02	9.750E-02	-7.642E-06
3	2.000E-01	1.900E-01	1.902E-01	-1.044E-01
4	3.000E-01	2.775E-01	2.780E-01	-1.640E-01
5	4.000E-01	3.600E-01	3.607E-01	-1.824E-01
6	5.000E-01	4.375E-01	4.382E-01	-1.634E-01
7	6.000E-01	5.100E-01	5.106E-01	-1.117E-01
8	7.000E-01	5.775E-01	5.777E-01	-3.208E-02
9	8.000E-01	6.400E-01	6.396E-01	6.974E-02
10	9.000E-01	6.975E-01	6.962E-01	1.874E-01
11	1.000E+00	7.500E-01	7.476E-01	3.138E-01
12	1.100E+00	7.975E-01	7.940E-01	4.407E-01
13	1.200E+00	8.400E-01	8.353E-01	5.588E-01
14	1.300E+00	8.775E-01	8.717E-01	6.573E-01
15	1.400E+00	9.100E-01	9.034E-01	7.239E-01
16	1.500E+00	9.375E-01	9.305E-01	7.442E-01
17	1.600E+00	9.600E-01	9.533E-01	7.014E-01
18	1.700E+00	9.775E-01	9.719E-01	5.759E-01
19	1.800E+00	9.900E-01	9.866E-01	3.445E-01
20	1.900E+00	9.975E-01	9.977E-01	-2.061E-02
21	2.000E+00	1.000E+00	1.006E+00	-5.525E-01
22	2.100E+00	1.000E+00	1.010E+00	-1.038E+00
23	2.200E+00	1.000E+00	1.013E+00	-1.264E+00
24	2.300E+00	1.000E+00	1.013E+00	-1.268E+00
25	2.400E+00	1.000E+00	1.011E+00	-1.091E+00
26	2.500E+00	1.000E+00	1.008E+00	-7.783E-01
27	2.600E+00	1.000E+00	1.004E+00	-3.755E-01
28	2.700E+00	1.000E+00	9.993E-01	6.806E-02
29	2.800E+00	1.000E+00	9.950E-01	5.006E-01
30	2.900E+00	1.000E+00	9.913E-01	8.677E-01
31	3.000E+00	1.000E+00	9.889E-01	1.112E+00
32	3.100E+00	1.000E+00	9.883E-01	1.175E+00
33	3.200E+00	1.000E+00	9.901E-01	9.924E-01
34	3.300E+00	1.000E+00	9.950E-01	5.008E-01
35	3.400E+00	1.000E+00	1.004E+00	-3.679E-01
36	3.500E+00	1.000E+00	1.017E+00	-1.684E+00

(Zwangspunkte sind mit Z gekennzeichnet , Anzahl = 2 )

EINHEITSKOEFFIZIENTEN DER FUNKTION S = A1 + A2\*E + A3\*E^2 + A4\*E^3 ...

Koeffizient der Basisfunktion NR. 1 ... 0.0000000E+00  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 2 ... 9.9847513E-01  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 3 ... -2.3186760E-01  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 4 ... -2.9928159E-02  
 Koeffizient der Basisfunktion NR. 5 ... 1.0966925E-02

Uni Kassel - FB14 Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen SEITE 4  
 Fachgebiet Massivbau - Dr.-Ing. Friedrich-Karl Röder DATUM 31.01.2024  
 G Z T und Verformungszustand , Querschnittswerte 231227 ZEIT 16:03:53  
 UniKassel FB14 Massivbau -->>> Programm QUERWERT-13.0 240131 (Freeware) <<<

STAHLBETONQUERSCHNITT Q2 My=1491kNm DIN2011

VERGLEICH DER FLÄCHENBERECHNUNG FÜR KLASSE C 35/ 45 MN/m\*\*2

=====

I	EPS(I)	Fläche SIGMA	Fläche POLYNOM	Abweichung in 0/0
1	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
2	1.000E-01	4.917E-03	4.914E-03	4.692E-02
3	2.000E-01	1.933E-02	1.934E-02	-3.406E-02
4	3.000E-01	4.275E-02	4.279E-02	-9.193E-02
5	4.000E-01	7.467E-02	7.476E-02	-1.282E-01
6	5.000E-01	1.146E-01	1.147E-01	-1.447E-01
7	6.000E-01	1.620E-01	1.622E-01	-1.432E-01
8	7.000E-01	2.164E-01	2.167E-01	-1.256E-01
9	8.000E-01	2.773E-01	2.776E-01	-9.402E-02
10	9.000E-01	3.443E-01	3.444E-01	-5.078E-02
11	1.000E+00	4.167E-01	4.167E-01	1.667E-03
12	1.100E+00	4.941E-01	4.938E-01	6.067E-02
13	1.200E+00	5.760E-01	5.753E-01	1.234E-01
14	1.300E+00	6.619E-01	6.607E-01	1.866E-01
15	1.400E+00	7.513E-01	7.495E-01	2.470E-01
16	1.500E+00	8.438E-01	8.412E-01	3.008E-01
17	1.600E+00	9.387E-01	9.354E-01	3.441E-01
18	1.700E+00	1.036E+00	1.032E+00	3.724E-01
19	1.800E+00	1.134E+00	1.130E+00	3.809E-01
20	1.900E+00	1.233E+00	1.229E+00	3.642E-01
21	2.000E+00	1.333E+00	1.329E+00	3.166E-01
22	2.100E+00	1.433E+00	1.430E+00	2.374E-01
23	2.200E+00	1.533E+00	1.531E+00	1.455E-01
24	2.300E+00	1.633E+00	1.632E+00	5.808E-02
25	2.400E+00	1.733E+00	1.734E+00	-1.407E-02
26	2.500E+00	1.833E+00	1.835E+00	-6.482E-02
27	2.600E+00	1.933E+00	1.935E+00	-9.158E-02
28	2.700E+00	2.033E+00	2.035E+00	-9.471E-02
29	2.800E+00	2.133E+00	2.135E+00	-7.680E-02
30	2.900E+00	2.233E+00	2.234E+00	-4.237E-02
31	3.000E+00	2.333E+00	2.333E+00	2.401E-03
32	3.100E+00	2.433E+00	2.432E+00	5.004E-02
33	3.200E+00	2.533E+00	2.531E+00	9.173E-02
34	3.300E+00	2.633E+00	2.630E+00	1.177E-01
35	3.400E+00	2.733E+00	2.730E+00	1.171E-01
36	3.500E+00	2.833E+00	2.831E+00	7.815E-02

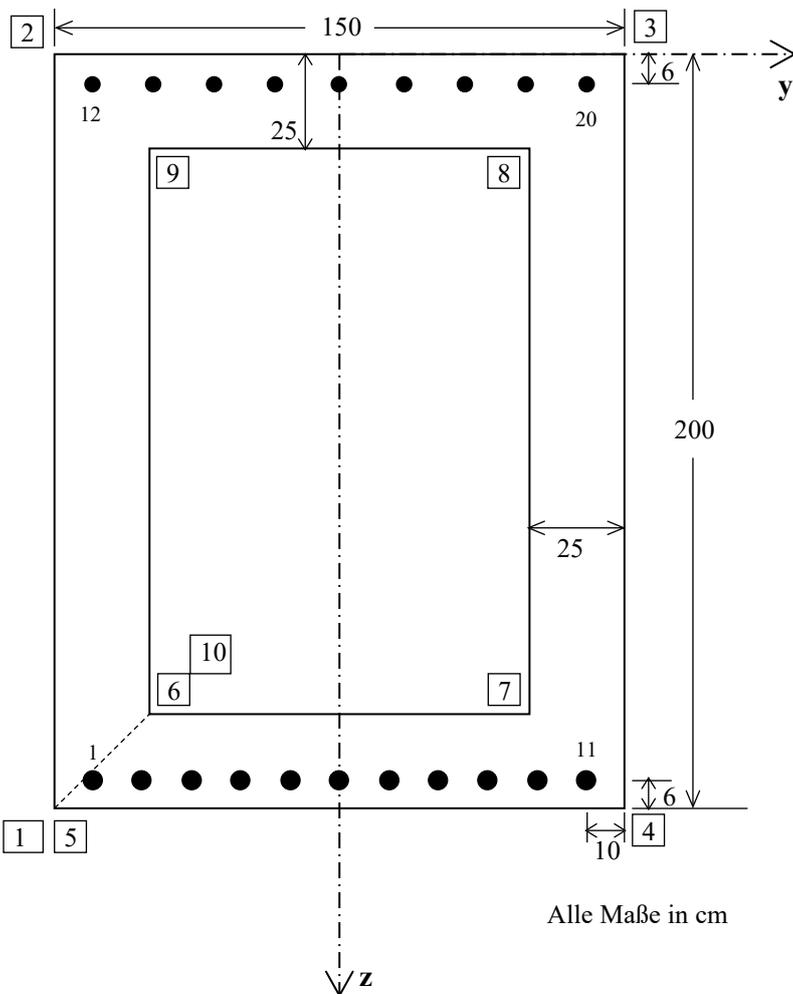
### 6.3 Hohlkastenquerschnitt

Der Querschnitt mit allen erforderlichen Angaben ist im Bild 7 dargestellt. Die Datendatei hat den Namen HK.QUW und ist im Unterordner ...\Beispiele\QUW zu finden.

Da die durchzuführenden Flächenintegrationen durch Konturintegrationen, wie in {Kap. 2.1.1}, beschrieben, ersetzt werden, muss bei der Nummerierung der Querschnittspunkte der Umlaufsinn beachtet werden. Wird die Kontur im mathematisch positiven Sinn (hier im Uhrzeigersinn) umlaufen, so ergibt sich ein positiver Wert. Ist der Umlaufsinn in entgegengesetzter Richtung, so wird der Wert negativ.

Die Nummerierung der Eckpunkte des Querschnitts erfolgt deshalb für die Außenkante fortlaufend im Uhrzeigersinn, beginnend an der linken unteren Ecke mit Punkt 1 und wieder endend an der linken unteren Ecke mit Punkt 5. Die Nummerierung der Innenkante beginnt mit Punkt 6 und wird dann entgegen dem Uhrzeigersinn fortlaufend bis zum Punkt 10, der mit Punkt 6 identisch ist, fortgeführt. Die Nummerierung endet mit Punkt 10. Programmintern wird noch ein Punkt 11 eingeführt, der dem Anfangspunkt 1 entspricht, um die Kontur zu schließen. Für die Berechnung wird also das innere Rechteck vom äußeren abgezogen. Die Schnittlinie 5-6 verläuft in umgekehrter Richtung 10-11 ( $\hat{=} 1$ ), so dass sich für diese beiden Linien die Rechenwerte gegeneinander aufheben.

Die Bewehrungen sind von links nach rechts und von unten nach oben durchnummeriert. Wegen der besseren Übersichtlichkeit sind nur die Nummern der Eckstäbe angegeben.



Hohlkasten  
 $h = 200 \text{ cm}$ ,  $b = 150 \text{ cm}$ ,  $t = 25 \text{ cm}$

#### Beton C40/50

Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_c = 1,5$   
 Langzeiteinfluss :  $\alpha_{cc} = 0,85$   
 $f_{cd} = 0,85 \cdot 40 / 1,5 = 22,7 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{cm} / \gamma_c = (40+8) / 1,5 = 32 \text{ N/mm}^2$

#### Betonstahl B500

unten 11  $\text{Ø}25$  (Nr. 1-11)  
 oben 9  $\text{Ø}20$  (Nr. 12-20)  
 $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$   
 Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_s = 1,15$

#### Einwirkende Schnittgrößen

##### Lastfall 0:

$M_{y,Ed} = 12,0 \text{ MNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$   
 $N_{ed} = -9,5 \text{ MN}$  (zentrische Druckkraft)  
 Angriffspunkt ist der Schwerpunkt  
 mit  $y_s = 0$ ,  $z_s = 1,0 \text{ m}$

##### Lastfälle 1 - 2:

$M_{y,Ed} = 12,0 \text{ MNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$   
 $N_{ed} = -9,5 \text{ MN}$  (Druckkraft) mit dem  
 Angriffspunkt jeweils 10 cm in +y- und ±z-  
 Richtung vom Schwerpunkt entfernt. Durch  
 die exzentrisch angreifende Normalkraft  
 werden vom Programm automatisch Versatz-  
 momente  $\Delta M_y$  und  $\Delta M_z$  berücksichtigt.

Bild 7 : Hohlkastenquerschnitt

Mit diesen Daten ist die folgende Eingabedatei erstellt worden. Als Krafteinheit ist „MN“ gewählt worden.

```
Hohlkastenquerschnitt h=200 b=150 t=25 cm C40/50
10,20,0,0,0,1,0,0,
-0.75,2.0,-0.75,0.,0.75,0.,0.75,2.0,
-0.75,2.0,-0.50,1.75,0.50,1.75,0.50,0.25,
-0.50,0.25,-0.50,1.75
4050.,1,
```

```
-0.65,1.94,25.,-0.52,1.94,25.,
-0.39,1.94,25.,-0.26,1.94,25.,
-0.13,1.94,25.,0.,1.94,25.,
0.13,1.94,25.,0.26,1.94,25.,
0.39,1.94,25.,0.52,1.94,25.,
0.65,1.94,25.,-0.65,0.06,20.,
-0.49,0.06,20.,-0.33,0.06,20.,
-0.17,0.06,20.,0.,0.06,20.,
0.17,0.06,20.,0.33,0.06,20.,
0.49,0.06,20.,0.65,0.06,20.,
```

```
2.e5,500.,525.,
0.00175,0.001,
0,0,0,0,
12.,0.,-9.5,0.,0.,0,
-1,0,0,0,
12.,0.,-9.5,+0.1,1.1,1,
-1,0,0,0,
12.,0.,-9.5,+0.1,0.9,1,
```

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname HK einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei HK.ERG ist ebenfalls im Unterordner ...\\Beispiele\\ERG zu finden.

Wird der innere viereckige Bereich durch einen Kreis ersetzt, so sind die ersten fünf Datenzeilen wie folgt zu ersetzen:

```
Hohlkastenquerschnitt h=200 b=150 t=25cm C40/50 Kreisloch 16 Ecken
      22      20      0      0      0      1      0      0
-0.750    2.000   -0.750    0.000    0.750    0.000    0.750    2.000
-0.750    2.000   -0.354    1.354   -0.191    1.462    0.000    1.500
 0.191    1.462    0.354    1.354    0.462    1.191    0.500    1.000
 0.462    0.809    0.354    0.646    0.191    0.538    0.000    0.500
-0.191    0.538   -0.354    0.646   -0.462    0.809   -0.500    1.000
-0.462    1.191   -0.354    1.354
```

Die zugehörige Datendatei heißt HK\_kr16.QUW und ist im Unterordner ...\\Beispiele\\QUW zu finden. Diese Daten sind mit dem Eingabeprogramm EIN\_NT2QUW erstellt worden. Nähere Angaben hierzu stehen in {Kap. 3.1.1}.

### 6.4 Beispiele für die Eingabe einer Torsionsbewehrung

Für das Beispiel Q1 ist im Folgenden die Eingabe einer Torsionsbewehrung angegeben. Die maßgebende Steuergröße heißt NTOB {siehe Kap. 3, Nr. 1}. Die Eingabeparameter sind im {Kap. 3, Nr. 9}, beschrieben.

Zuerst wird der Fall einer für den Querschnitt einheitlichen Torsionsbewehrung mit Bügeln  $d = 10$  mm im Abstand 25 cm und Längsbewehrung  $d = 8$  mm im Abstand 15 cm jeweils für Obergurt, Steg und Untergurt behandelt.

Es ergibt sich die folgende Eingabedatei, die unter dem Namen Q1\_C45\_NTOB=1.QUW im Unterordner ...\\Beispiele\\QUW gespeichert ist. Die gegenüber der Datei Q1\_C45\_EN.QUW geänderten Datenzeilen sind durch Pfeile markiert:

```
SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011 Torsionsbewehrung
12      8      26      0      2      1      0
-0.275  2.0    -0.275  1.80    -0.075  1.79    -0.075  0.23
-0.275  0.15    -0.275  0.      0.275   0.      0.275   0.15
0.075   0.23    0.075   1.79    0.275   1.80    0.275   2.0
4555.   1

-0.23   1.96    14.     0.23    1.96    14.
-0.23   1.84    14.     0.23    1.84    14.
-0.23   0.12    20.     0.23    0.12    20.
-0.23   0.04    20.     0.23    0.04    20.

2.      E8  5.     E5  5.25  E5
-0.189  1.945   0.93   78.4   -0.147  1.945   0.93   78.4
-0.105  1.945   0.93   78.4   -0.063  1.945   0.93   78.4
-0.021  1.945   0.93   78.4   0.021   1.945   0.93   78.4
0.063   1.945   0.93   78.4   0.105   1.945   0.93   78.4
0.147   1.945   0.93   78.4   0.189   1.945   0.93   78.4
-0.189  1.903   0.93   78.4   -0.147  1.903   0.93   78.4
-0.105  1.903   0.93   78.4   -0.063  1.903   0.93   78.4
-0.021  1.903   0.93   78.4   0.021   1.903   0.93   78.4
0.063   1.903   0.93   78.4   0.105   1.903   0.93   78.4
0.147   1.903   0.93   78.4   0.189   1.903   0.93   78.4
-0.105  1.861   0.93   78.4   -0.063  1.861   0.93   78.4
-0.021  1.861   0.93   78.4   0.021   1.861   0.93   78.4
0.063   1.861   0.93   78.4   0.105   1.861   0.93   78.4

1.95    E8  1.522  E6  1.77  E6
10.     0.250  8.     0.150  0.025  0.     0.
0.00175,0.001,
-1,0,0,
3937.3,
```

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q1\_C45\_NTOB=1 einzugeben. Die weiteren Bildschirmangaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Als ein Ergebnis der Berechnungen werden im linken Ausgabefenster der Querschnitt mit Bewehrungen, der ermittelte Betondruckkörper und zusätzlich auch die Lage des aus den Bügeln und Längsstäben bestehenden Bewehrungskorbes der Torsionsbewehrung dargestellt. (siehe Bild 8, S. 41)

Die zugehörige Ergebnisdatei Q1\_C45\_NTOB=1.ERG ist ebenfalls im Unterordner.....\\Beispiele\\ERG gespeichert.

Nun wird der Fall einer für den Querschnitt uneinheitlichen Torsionsbewehrung behandelt. Im Obergurt liegen Bügel  $d = 10$  mm im Abstand 25 cm und Längsbewehrung  $d = 8$  mm im Abstand 15 cm, im Steg Bügel und Längsbewehrung jeweils  $d = 10$  mm im Abstand 25 cm und im Untergurt Bügel  $d = 10$  mm im Abstand 25 cm und Längsbewehrung  $d = 8$  mm im Abstand 15 cm.

Es ergibt sich die folgende Eingabedatei mit Namen Q1\_C45\_NTOB=2.QUW, gespeichert im Unterordner ...\Beispiele\QUW. Die gegenüber der Datei Q1\_C45\_EN.QUW geänderten Datenzeilen sind durch Pfeile markiert:

```
SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011 Torsionsbewehrung
      12      8      26      0      2      2      0
-0.275  2.0    -0.275  1.80   -0.075  1.79   -0.075  0.23
-0.275  0.15   -0.275  0.     0.275   0.     0.275   0.15
0.075   0.23   0.075   1.79   0.275   1.80   0.275   2.0
4555.   1

-0.23   1.96   14.     0.23   1.96   14.
-0.23   1.84   14.     0.23   1.84   14.
-0.23   0.12   20.     0.23   0.12   20.
-0.23   0.04   20.     0.23   0.04   20.

2.      E8  5.      E5  5.25  E5
-0.189  1.945  0.93   78.4   -0.147  1.945  0.93   78.4
-0.105  1.945  0.93   78.4   -0.063  1.945  0.93   78.4
-0.021  1.945  0.93   78.4   0.021   1.945  0.93   78.4
 0.063  1.945  0.93   78.4   0.105   1.945  0.93   78.4
 0.147  1.945  0.93   78.4   0.189   1.945  0.93   78.4
-0.189  1.903  0.93   78.4   -0.147  1.903  0.93   78.4
-0.105  1.903  0.93   78.4   -0.063  1.903  0.93   78.4
-0.021  1.903  0.93   78.4   0.021   1.903  0.93   78.4
 0.063  1.903  0.93   78.4   0.105   1.903  0.93   78.4
 0.147  1.903  0.93   78.4   0.189   1.903  0.93   78.4
-0.105  1.861  0.93   78.4   -0.063  1.861  0.93   78.4
-0.021  1.861  0.93   78.4   0.021   1.861  0.93   78.4
 0.063  1.861  0.93   78.4   0.105   1.861  0.93   78.4

1.95    E8  1.522  E6  1.77  E6
10.     0.250  8.     0.150  0.025
10.     0.250  10.    0.250  10.     0.250  8.     0.150
0.00175,0.001,
-1,0,0,
3937.3,
```

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q1\_C45\_NTOB=2 einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q1\_C45\_NTOB=2.ERG ist im Unterordner.....\Beispiele\ERG gespeichert.

Variante a:

Im Obergurt und Untergurt besteht die Torsionslängsbewehrung aus jeweils 8 Stäben  $d = 8$  mm.

Die beiden Datenzeilen lauten dann:

```
10.     0.250  8.     8.     0.025
10.     0.250  10.    0.250  10.     0.250  8.     8.
```

Beim Ergebnisausdruck wird für die Längsbewehrung dann ein Stababstand angegeben, der aus dem Quotienten Umfang des Bewehrungskorbes  $U_{ki}$  geteilt durch die Stabanzahl ermittelt wird.

Die zugehörige Datendatei ist unter dem Namen Q1\_C45\_NTOB=2a.QUW und die zugehörige Ergebnisdatei unter Q1\_C45\_NTOB=2a.ERG in den entsprechenden Unterordnern zu finden.

Im Falle der Eingabe einer Torsionsbewehrung wird das Ergebnis der Berechnungen mit den im {Kap. 2.2.2.4} angegebenen Formeln wie folgt ausgegeben:

SpannbetonMittelquerschnitt Q1 My=3937 kNm DIN2011 Torsionsbewehrung

TORSIONSSTEIFIGKEIT DES BEWEHRUNGSKORBES AUS BÜGELN UND LÄNGSEISEN

Vorwerte: Elastizitätsmodul der Bewehrung  $E_s = 2.000E+08$  [kN/m<sup>2</sup>]  
und des Betons  $E_c = 2.419E+07$  [kN/m<sup>2</sup>]  
Verhältnis  $n=E_s/E_c = 8.27$

OBERGURT	STEG	UNTERGURT
Bügel:d=10.;a=25.0	Bügel:d=10.;a=25.0	Bügel:d=10.;a=25.0 [mm;cm]
Längs:d= 8.;a=15.0	Längs:d= 8.;a=15.0	Längs:d= 8.;a=15.0 [mm;cm]
tef1 = 0.078000	tef2 = 0.075000	tef3 = 0.078000 [m]
Ak1 = 0.060386	Ak2 = 0.138384	Ak3 = 0.060992 [m <sup>2</sup> ]
Uk1 = 1.139153	Uk2 = 3.988000	Uk3 = 1.192207 [m]

++++ Berechnung nach COLLINS +++++  
- mit dehnstarren Betondruckstreben unter 45grad:  
GID1 = 4.15441E+02 GID2 = 6.23219E+02 GID3 = 4.04968E+02 [kNm<sup>2</sup>]  
Summe der Einzelsteifigkeiten GID = 1.44363E+03 [kNm<sup>2</sup>]

++++ Berechnung nach LEONHARDT +++++  
- mit dehnsteifen Betondruckstreben unter 45grad:  
GID1 = 3.88514E+02 GID2 = 5.81328E+02 GID3 = 3.78719E+02 [kNm<sup>2</sup>]  
Summe der Einzelsteifigkeiten GID = 1.34856E+03 [kNm<sup>2</sup>]  
- mit dehnstarren Betondruckstreben unter 45grad:  
GID1 = 4.15225E+02 GID2 = 6.22895E+02 GID3 = 4.04757E+02 [kNm<sup>2</sup>]  
Summe der Einzelsteifigkeiten GID = 1.44288E+03 [kNm<sup>2</sup>]

++++ Anmerkung +++++  
Bei Berücksichtigung des Bewehrungskorbes  
für die gesamte Torsionssteifigkeit des Querschnitts  
wird der kleinste Wert GID = 1.34856E+03 [kNm<sup>2</sup>] verwendet.

Summe der Torsionssteifigkeiten aus Betondruckkörper und Bewehrungskorb  
\*\*\*\*\*  
- Beton mit Sekantenmodul : GID = 2.22920E+04 [kNm<sup>2</sup>]  
- Beton mit Tangentenmodul: GID = 2.08849E+04 [kNm<sup>2</sup>]

„tefi“ ist die Dicke der Betondruckstrebe.  
„Aki“ ist die Fläche, die von den Verbindungslinien der Längsbewehrungsmittelpunkte umschlossen wird.  
„Uki“ ist der Umfang der Fläche „Aki“.

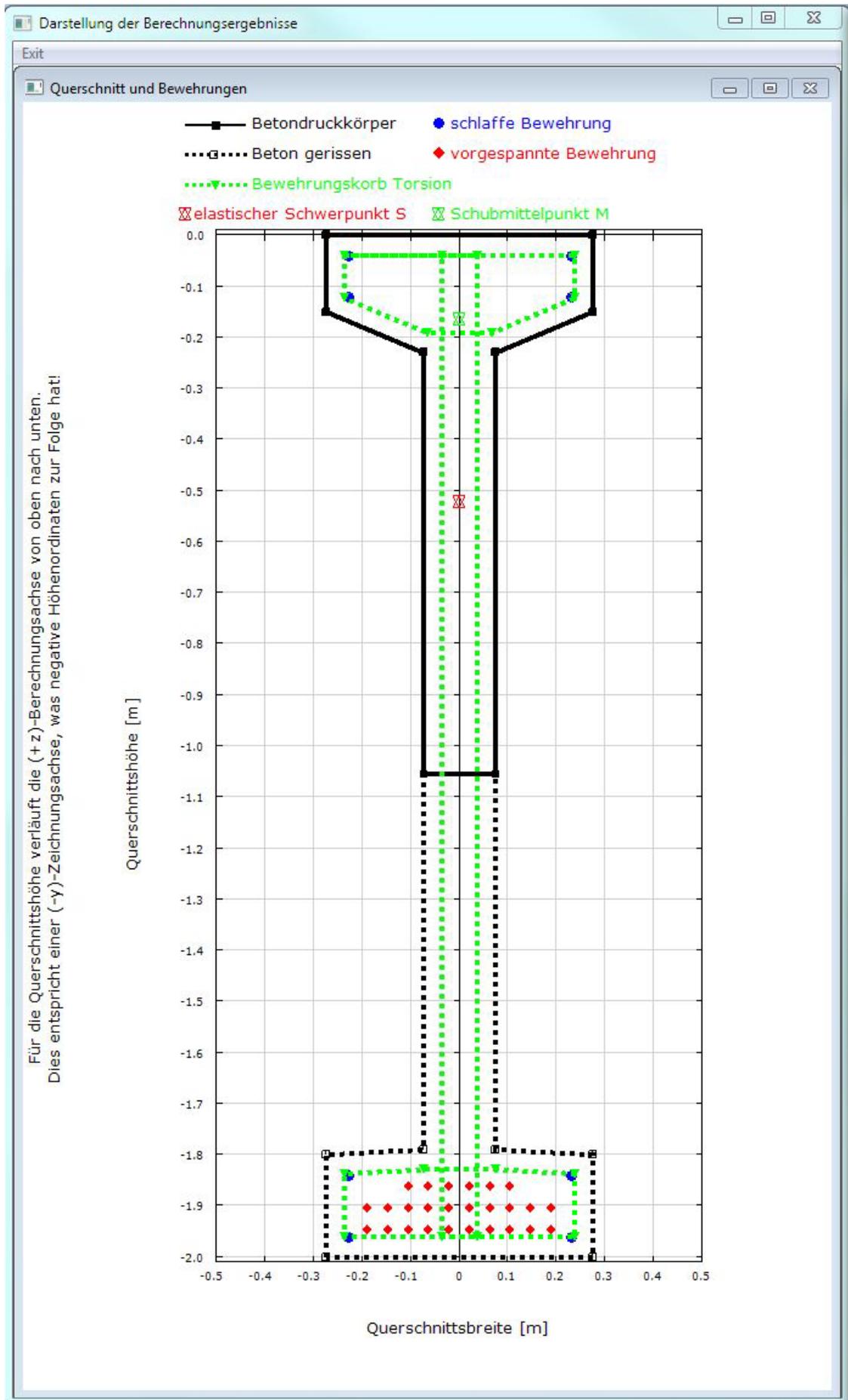


Bild 8 : Bild des Querschnitts mit berechnetem Betondruckkörper und Lage des Bewehrungskorbes für Torsion (hier Beispiel Q1, Lastfall 0)

## 6.5 Beispiele für eine Eingabe der Daten eines Sonderbetons

Als Beispiel für die Eingabe eines Sonderbetons ist das Beispiel Q2 gewählt worden. Die maßgebende Steuergröße heißt BN {siehe Kap. 3, Nr. 4}. Die Eingabeparameter sind im {Kap. 3, Nr. 4.1}, beschrieben.

Wenn die Form des Betonverhaltens den Angaben gemäß DIN EN 1992-1-1:2011-01, DIN 1045-1:2008-08 oder DIN 1045:1988 entspricht, so sind die charakteristischen Betonwerte und die Grenzrandverzerrungen für diesen Sonderbeton anzugeben. Die benötigten Koeffizienten werden dann vom Programm ermittelt. Um eine Kontrollmöglichkeit zu haben, werden die Daten des beim Beispiel Q2 verwendeten C35/45 als „Sonderbeton“ eingegeben. Zusätzlich wird die Steuergröße LWGS gleich eins {s. Kap. 3, Nr. 2} gesetzt, um die Ermittlung der Koeffizienten zu zeigen. Es ergibt sich die folgende Eingabedatei, die unter dem Namen Q2\_Cneg\_VS=0.QUW im Unterordner ...\Beispiele\QUW gespeichert ist. Die gegenüber der Datei Q2\_C35.QUW geänderten Datenzeilen sind durch Pfeile markiert:

```
STAHLBETONQUERSCHNITT Q2 My=1491kNm DIN2011 Sonderbeton VS=0
8,10,0,0,0,2,0,1, ← LWGS=1
-0.065,1.6,-0.065,0.15,-0.175,0.12,-0.175,0.,
0.175,0.,0.175,0.12,0.065,0.15,0.065,1.6,
-1001.,1, ← BN negativ
35.,43.,34.08,2.,0.,0.,0.,0., ← Zusätzliche Zeile mit Kenndaten
+0.025,-0.002,-0.0035,+0.025,-0.00225,-0.0035, ← Zeile mit Grenzrandverzerrungen

-0.03,1.55,28.,0.03,1.55,28.,
-0.03,1.49,28.,0.03,1.49,28.,
-0.03,1.43,28.,0.03,1.43,28.,
-0.15,0.10,12.,0.15,0.10,12.,
-0.15,0.03,12.,0.15,0.03,12.,

2.e8,5.e5,5.25e5,

-1,0,0,
1491.3,
```

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q2\_Cneg\_VS=0 einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q2\_Cneg\_VS=0.ERG ist im Unterordner ...\Beispiele\ERG gespeichert und kann mit einem entsprechenden Programm (z.B. Editor) angesehen und ausgedruckt werden.

Wenn die Form des Betonverhaltens den Angaben gemäß DIN EN 1992-1-1:2011-01, DIN 1045-1:2008-08 oder DIN 1045:1988 **nicht** entspricht, so sind zusätzlich zu den charakteristischen Betonwerten und Grenzrandverzerrungen auch die benötigten Koeffizienten für den Sonderbeton einzugeben. Dies wird über die ebenfalls einzugebende Variable VS gesteuert. Um eine Kontrollmöglichkeit zu haben, werden die Kenndaten und die Koeffizienten des beim Beispiel Q2 verwendeten C35/45 als „Sonderbeton“ eingegeben. Es ergibt sich folgende Eingabedatei mit Namen Q2\_Cneg\_VS=1.NT2, die im Unterordner ...\Beispiele\QUW gespeichert ist. Die gegenüber der Datei Q2\_C35.QUW geänderten Datenzeilen sind durch Pfeile markiert:

```
STAHLBETONQUERSCHNITT Q2 My=1491kNm DIN2011 Sonderbeton VS=1
8,10,0,0,0,2,0,1,
-0.065,1.6,-0.065,0.15,-0.175,0.12,-0.175,0.,
0.175,0.,0.175,0.12,0.065,0.15,0.065,1.6,
-1001.,1, ←
35.,43.,34.08,2.,0.,0.,0.,1.,
0.9984751300,-0.2318676000,-0.02992815900,+0.01096692500,
0.8322460700,-0.1510177100,-0.007757204100,-0.0007673798800
+0.025,-0.002,-0.0035,+0.025,-0.00225,-0.0035,

-0.03,1.55,28.,0.03,1.55,28.,
-0.03,1.49,28.,0.03,1.49,28.,
-0.03,1.43,28.,0.03,1.43,28.,
-0.15,0.10,12.,0.15,0.10,12.,
-0.15,0.03,12.,0.15,0.03,12.,

2.e8,5.e5,5.25e5,

-1,0,0,
1491.3,
```

-Zeile mit Kenndaten und VS=1  
-Koeffizienten für Grenzzustand  
-Koeffizienten Verformungszustand  
-Zeile mit Grenzrandverzerrungen

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q2\_Cneg\_VS=1 einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q2\_Cneg\_VS=1.ERG ist im Unterordner ...\Beispiele\ERG gespeichert und kann mit einem entsprechenden Programm (z.B. Editor) angesehen und ausgedruckt werden.

Für die Beispiele Q2\_C35, Q2\_Cneg\_VS=0 und Q2\_Cneg\_VS=1 ergeben sich bis auf geringfügige Rundungsfehler die gleichen Ergebnisse.

### 6.6 Beispiel für ein Betonverhalten mit Kriecheinfluss

Das Beispiel Q1 ist auch für eine rechnerische Berücksichtigung des Kriechvorgangs beim Beton berechnet worden. Die maßgebende Steuergröße heißt PHIEF {siehe Kap. 3, Nr. 4}. Diese Zahl muss bei formatgebundener Eingabe in Spalte 41 bis 45 stehen.

Spannbeton		Mittelquerschnitt		Q1	My=3937	kNm	DIN2011	Betonkriechen	
12	8	26	0	2	0	0			
-0.275	2.0	-0.275	1.80	-0.075	1.79	-0.075	1.33		
-0.275	1.25	-0.275	1.10	0.275	1.10	0.275	1.25		
0.075	1.33	0.075	1.79	0.275	1.80	0.275	2.0		
-0.275	2.0	-0.275	1.80	-0.075	1.79	-0.075	0.23		
-0.275	0.15	-0.275	0.	0.275	0.	0.275	0.15		
0.075	0.23	0.075	1.79	0.275	1.80	0.275	2.0		
4555.	1			<b>2.19</b>				<b>PHIEF=2.19</b>	
-0.23	1.96	14.	0.23	1.96	14.				
-0.23	1.84	14.	0.23	1.84	14.				
-0.23	1.22	20.	0.23	1.22	20.				
-0.23	1.14	20.	0.23	1.14	20.				
-0.23	1.96	0.23	1.96	-0.23	1.84	0.23	1.84		
-0.23	0.12	0.23	0.12	-0.23	0.04	0.23	0.04		
2.	E8	5.	E5	5.25	E5				
-0.189	1.945	0.93	78.4	-0.147	1.945	0.93	78.4		
-0.105	1.945	0.93	78.4	-0.063	1.945	0.93	78.4		
-0.021	1.945	0.93	78.4	0.021	1.945	0.93	78.4		
0.063	1.945	0.93	78.4	0.105	1.945	0.93	78.4		
0.147	1.945	0.93	78.4	0.189	1.945	0.93	78.4		
-0.189	1.903	0.93	78.4	-0.147	1.903	0.93	78.4		
-0.105	1.903	0.93	78.4	-0.063	1.903	0.93	78.4		
-0.021	1.903	0.93	78.4	0.021	1.903	0.93	78.4		
0.063	1.903	0.93	78.4	0.105	1.903	0.93	78.4		
0.147	1.903	0.93	78.4	0.189	1.903	0.93	78.4		
-0.105	1.861	0.93	78.4	-0.063	1.861	0.93	78.4		
-0.021	1.861	0.93	78.4	0.021	1.861	0.93	78.4		
0.063	1.861	0.93	78.4	0.105	1.861	0.93	78.4		
1.95	E8	1.522	E6	1.77	E6				
0.00175,0.001,									
-1,0,0,									
3937.3,									

Nach Aufruf des Programms ist als Dateiname Q1\_C45\_kri einzugeben. Die weiteren Bildschirmeingaben sind die gleichen wie im Kap. 4 beschrieben.

Die zugehörige Ergebnisdatei Q1\_C45\_kri.ERG ist im Unterordner ...\\Beispiele\\ERG gespeichert.

## 6.7 Vorgespannter Stahlbeton-I-Querschnitt Q3 – Torsionswerte

Die im {Kap. 2.2.2.2 und 2.2.2.3} beschriebene Vorgehensweise zur Bestimmung der Torsionswerte und des Schubmittelpunkts wird am Querschnitt Q3 gezeigt. Der folgende Screenshot Bild 9 zeigt den Querschnitt. Im Textfeld daneben stehen die Querschnittsdaten, Werkstoffangaben und Lastmomente.

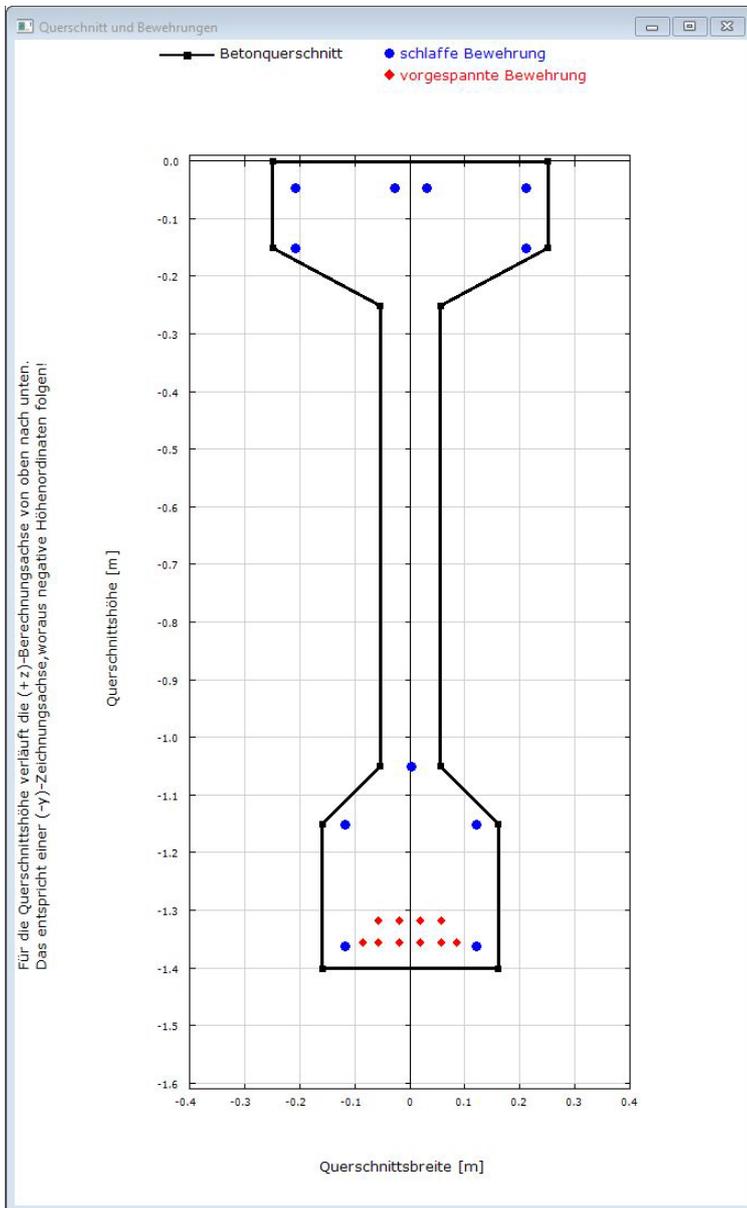


Bild 9: Querschnitt Q3 (Screenshot aus QUERWERT)

Querschnittshöhe :  $h = 140 \text{ cm}$   
 Obergurt: Breite  $0,5 \text{ m}$ , Höhe  $0,15 \text{ m}$ , Voute  $0,1 \text{ m}$   
 Untergurt: Breite  $0,32 \text{ m}$ , Höhe  $0,25 \text{ m}$ , Voute  $0,1 \text{ m}$   
 Steg: Breite  $0,11 \text{ m}$ , Höhe  $0,80 \text{ m}$

### Beton C45/55

Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_C = 1,5$   
 Langzeiteinfluss :  $\alpha_{cc} = 0,85$   
 $f_{cd} = 0,85 \cdot 45 / 1,5 = 25,5 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{cm} / \gamma_C = (45 + 8) / 1,5 = 35,3 \text{ N/mm}^2$

### Betonstahl B500

im Obergurt  $2 \text{ } \varnothing 25, 2 \text{ } \varnothing 28, 2 \text{ } \varnothing 10$   
 im Untergurt  $2 \text{ } \varnothing 20, 2 \text{ } \varnothing 25, 1 \text{ } \varnothing 10$   
 $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{tk,cal} = 525 \text{ N/mm}^2$   
 Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_S = 1,15$

### Spannstahl St 1570/1770

$A_p = 93 \text{ mm}^2 / \text{Litze}$   
 $E_p = 195000 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{p0,1k} = 1522 \text{ N/mm}^2$   
 $f_{pk} = 1770 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon_{p0,1k} = 7,8 \text{ ‰}$   
 10 Litzen im Untergurt  
 $\sigma_p^{(0)} = 1060 \text{ N/mm}^2$   
 $\varepsilon_p^{(0)} = 5,44 \text{ ‰}$   
 $\Delta \sigma_{p,c+s+r} = 0,102 \cdot \sigma_p^{(0)}$   
 Teilsicherheitsbeiwert  $\gamma_S = 1,15$

### Biegemomente

Lastfall 0:  
 $M_{y,Ed} = 2300 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$   
 Lastfall 1:  
 $M_{y,Ed} = 2350 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$   
 Lastfall 2:  
 $M_{y,Ed} = 2400 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$   
 Lastfall 3:  
 $M_{y,Ed} = 2435 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$   
 Lastfall 4:  
 $M_{y,Ed} = 2470 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$   
 Lastfall 5:  
 $M_{y,Ed} = 2500 \text{ kNm}$  ;  $M_{z,Ed} = 0$

Es ergibt sich die folgende Eingabedatei mit Namen Q3\_LTO=3.QUW, gespeichert im Unterordner ...\\Beispiele\\QUW.

```

SPANNBETON-PG-Binder 10%k+s M= 2300 ... 2500 kNm C45
      12      11      10      0      0      2      0
-0.16      1.40      -0.16      1.15      -0.055      1.05      -0.055      0.25
-0.25      0.15      -0.25      0.      +0.25      0.      +0.25      0.15
+0.055      0.25      +0.055      1.05      +0.16      1.15      +0.16      1.40
4555.      1.      .      .      .      .      25.

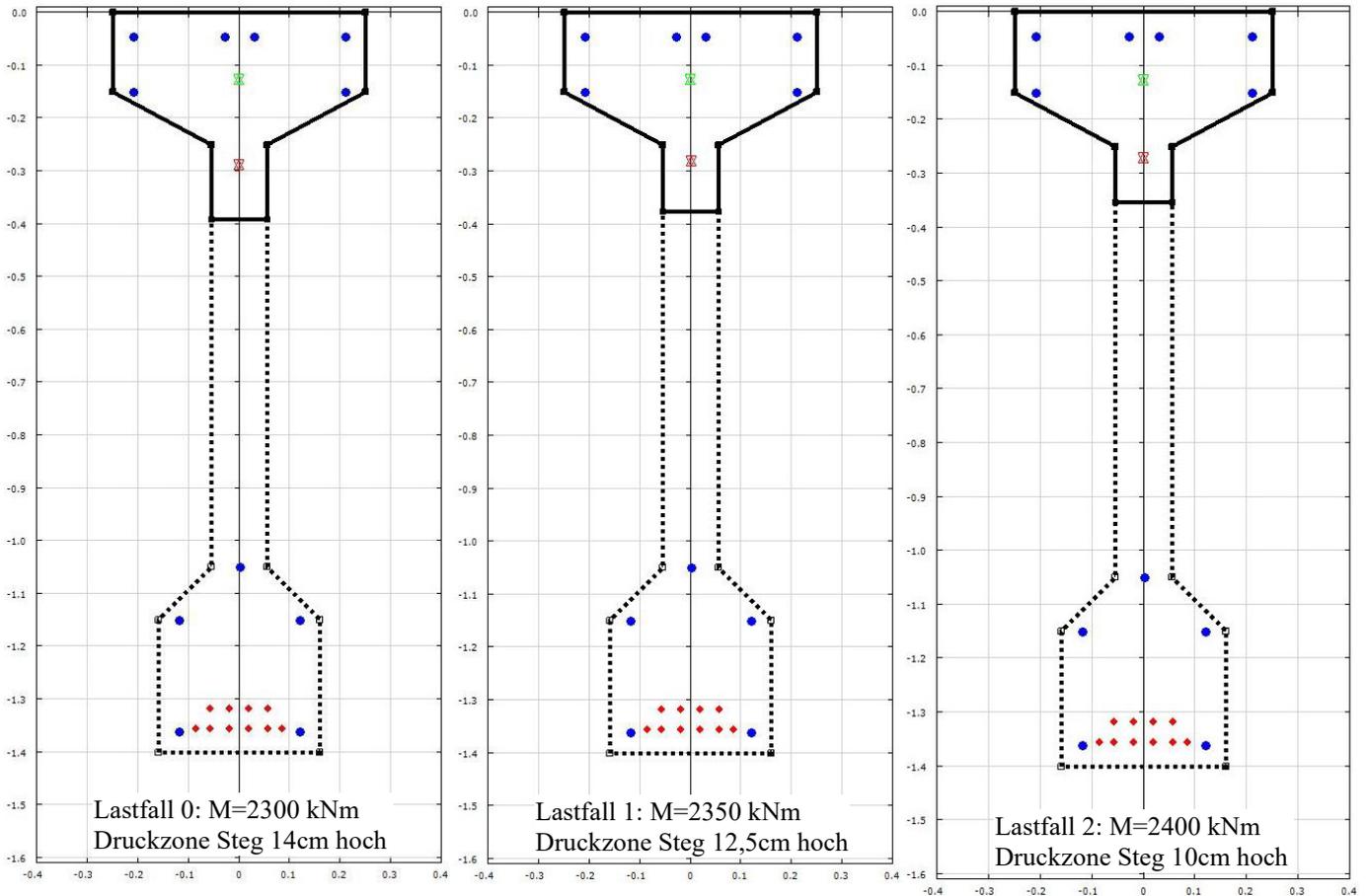
-0.12      1.36      25.      0.12      1.36      25.
-0.12      1.15      20.      0.12      1.15      20.
-0.21      0.15      25.      0.21      0.15      25.
-0.21      0.045      28.      0.21      0.045      28.
-0.03      0.045      10.      0.03      0.045      10.
0.      1.05      10.

      2.0      E8      5.      E5      5.25      E5
-0.085      1.355      0.934      88.9      -0.057      1.355      0.934      88.9
-0.019      1.355      0.934      88.9      +0.019      1.355      0.934      88.9
+0.057      1.355      0.934      88.9      +0.085      1.355      0.934      88.9
-0.057      1.317      0.934      88.9      -0.019      1.317      0.934      88.9
+0.019      1.317      0.934      88.9      +0.057      1.317      0.934      88.9

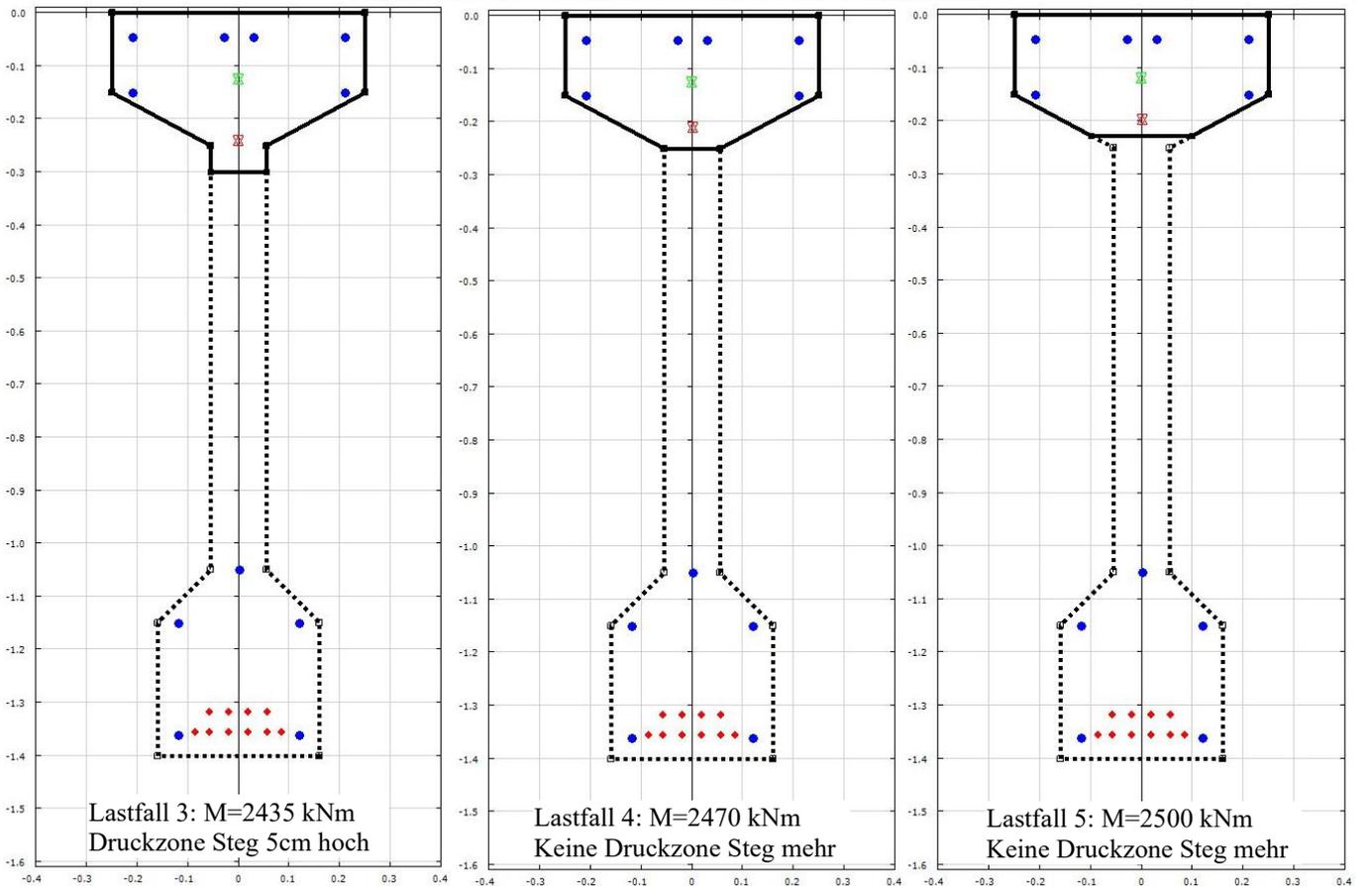
      1.95      E8      1.522      E6      1.77      E6
0.00175,0.001,
-1,0,0,3,
2300.,
-1,0,0,3,
2350.,
-1,0,0,3,
2400.,
-1,0,0,3,
2435.,
-1,0,0,3,
2470.,
-1,0,0,3,
2500.,
    
```

Wenn die Steuergröße LTO = 3 gesetzt wird, erfolgt auf drei Seiten die Ausgabe der Ergebnisse für die Berechnung des Schubmittelpunkts und der Torsionssteifigkeit aufgeteilt auf die Teilquerschnitte, wie in den {Kap.5.2.2.2 und 5.2.2.3} beschrieben. Diese ausführliche Ergebnisausgabe kann in der Ausgabedatei Q3\_LTO=3.ERG angesehen werden.

An diesem Beispiel kann zudem eine Besonderheit des Berechnungsverfahrens gezeigt werden. Zu diesem Zweck sind die Betondruckzonen der Lastfälle 0 – 5 als Screenshots aus QUERWERT auf der folgenden Seite zusammengestellt worden. Wie ersichtlich, wird der Steganteil mit zunehmendem Moment immer kleiner. Bei den Lastfällen 2 und 3 wird programmintern festgestellt, dass aufgrund der vorliegenden geometrischen Verhältnisse die angegebene Druckzone aus Obergurt und Steg sowohl auf dem üblichen Weg, also getrennt in Obergurt- und Steganteil, aber auch als Einheit berechnet werden kann. Dies ist immer dann der Fall, wenn die einspringende Ecke am Übergang vom Obergurt zum Steg bei einer Berechnung des Gesamtbereichs mit der Potentialtheorie zu keiner Singularität an diesem Punkt führt. Dies kann bei sehr kompakten Obergurten mit einem verhältnismäßig kleinen „angehängten“ Steganteil der Fall sein. Bei den Lastfällen 2 und 3 ergibt sich diese Konstellation, und es erfolgt daher eine Doppelberechnung.



- Betondruckkörper
- schlaffe Bewehrung
- Beton gerissen
- ◆— vorgespannte Bewehrung
- ⊗ elastischer Schwerpunkt S
- ⊗ Schubmittelpunkt M



Exemplarisch wird für den Lastfall 2 das Ergebnis dieser Berechnungen hier angegeben. Für eine Berechnung als Gesamtquerschnitt ergibt sich (s. S. 20 des Programmausdrucks):

TORSIONSWIDERSTAND NACH DER POTENTIALTHEORIE  
 -----

KOORDINATEN DES BETONDRUCKKÖRPERS			ANTEIL OBERFLANSCH		
	yD	zD		yD	zD
1	-0.055	0.354	1	-0.055	0.354
2	-0.055	0.250	2	-0.055	0.250
3	-0.250	0.150	3	-0.250	0.150
4	-0.250	0.000	4	-0.250	0.000
5	0.250	0.000	5	0.250	0.000
6	0.250	0.150	6	0.250	0.150
7	0.055	0.250	7	0.055	0.250
8	0.055	0.354	8	0.055	0.354

SCHUBMITTELPUNKT  
 $y_M/z_M = 0.0000 / 0.1305$   
 TORSIONSWIDERSTAND  
 $TWS = 1.43883E-03$   
 $TWM = 1.43883E-03$

TORSIONSWIDERSTAND DES GESAMTQUERSCHNITTS  $TW = 1.43883E-03$   
 SCHUBMITTELPUNKT DES GESAMTQUERSCHNITTS  $y_M/z_M = 0.0000 / 0.1305$

Für eine Berechnung als Einzelquerschnitte ergibt sich (s. S. 24 des Programmausdrucks):

TORSIONSWIDERSTAND NACH DER POTENTIALTHEORIE  
 -----

KOORDINATEN DES BETONDRUCKKÖRPERS			ANTEIL OBERFLANSCH		
	yD	zD		yD	zD
1	-0.055	0.354	1	-0.055	0.250
2	-0.055	0.250	2	-0.250	0.150
3	-0.250	0.150	3	-0.250	0.000
4	-0.250	0.000	4	0.250	0.000
5	0.250	0.000	5	0.250	0.150
6	0.250	0.150	6	0.055	0.250
7	0.055	0.250			
8	0.055	0.354			

SCHUBMITTELPUNKT  
 $y_M/z_M = 0.0000 / 0.1249$

TORSIONSWIDERSTAND  
 $TWS = 1.29686E-03$   
 $TWM = 1.29688E-03$

ANTEIL DES STEGES

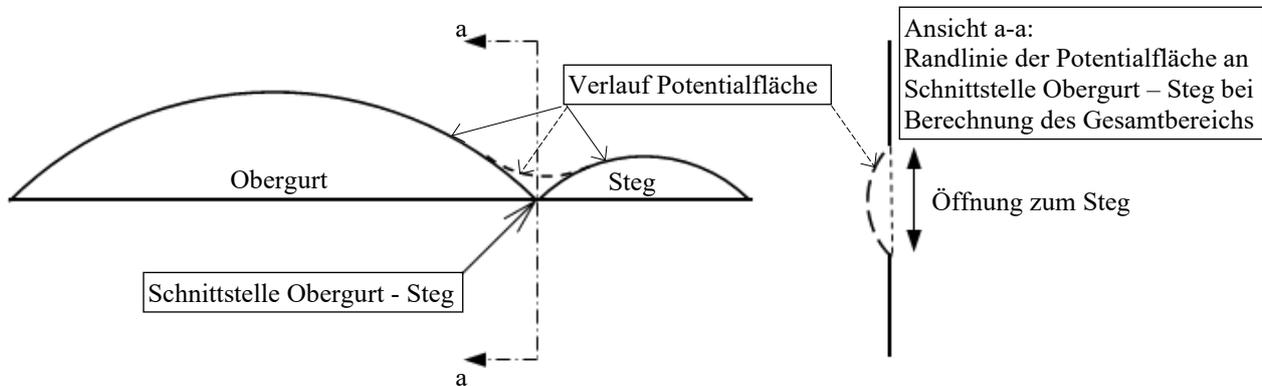
1	-0.055	0.354
2	-0.055	0.250
3	0.055	0.250
4	0.055	0.354

RECHTECK  $B/D = 0.104 / 0.110$   
 SCHUBMITTELPUNKT  $y_M/z_M = 0.0000 / 0.3018$   
 TORSIONSWIDERSTAND  $TW = 1.82212E-05$  (BEIWERT\*B\*D^3)

TORSIONSWIDERSTAND DES GESAMTQUERSCHNITTS  $TW = 1.31509E-03$   
 SCHUBMITTELPUNKT DES GESAMTQUERSCHNITTS  $y_M/z_M = 0.0000 / 0.1261$

Wie man sieht, weichen die beiden Ergebnisse für den Torsionswiderstand etwa 10% voneinander ab. Dabei ist der Torsionswiderstand bei der Berechnung des Gesamtbereichs der etwas größere Wert.

Anhand der nachfolgenden Skizze, die einen Schnitt der Potentialfläche entlang der Querschnittsmittellinie (entspricht der y-Achse) durch Obergurt und Steg schematisch darstellt, lassen sich die Unterschiede beider Vorgehensweisen erläutern. Es sei hier nochmals erwähnt, dass der Torsionswiderstand dem doppelten Volumen des Körpers entspricht, der aus der Grundfläche (=Druckzone) und der darüber aufgespannten Potentialfläche gebildet wird {s. Kap. 2.1.2 und Bild 15}.



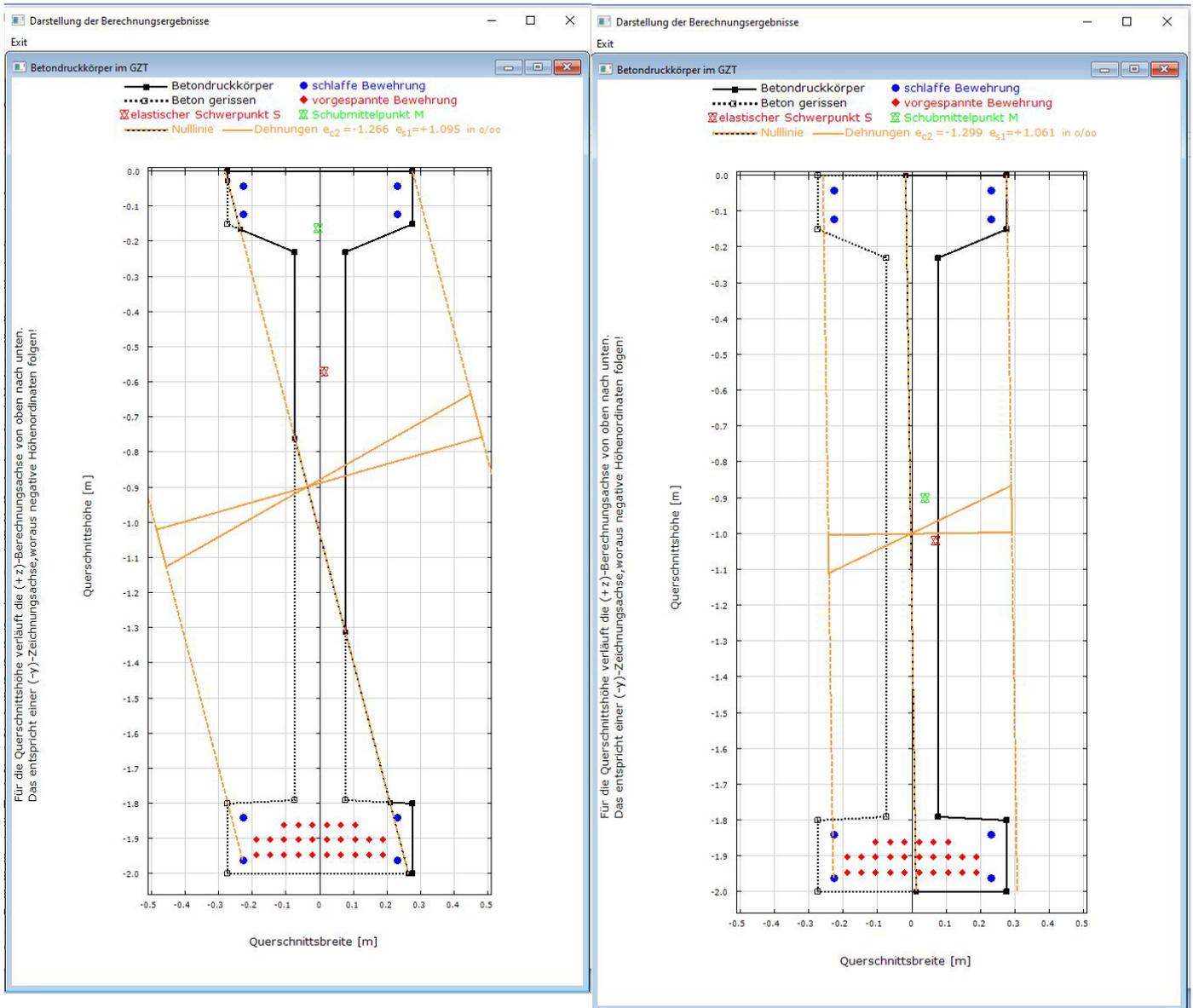
Bei der geteilten Berechnung sind an der Schnittlinie zwischen Obergurt und Steg die Werte der Potentialfläche gleich null, da die Schnittlinie dort einem Stück des Randes der beiden getrennten Bereiche Obergurt und Steg entspricht. Eine Voraussetzung zur Berechnung der Potentialfläche ist, dass als wesentliche Randbedingung die Werte auf dem Rand der Kontur null zu setzen sind. Ein möglicher Verlauf der Potentialfläche ist in der vorstehenden Skizze als durchgezogene Linie dargestellt.

Bei der Berechnung der Potentialfläche für den Gesamtbereich folgt deren Verlauf im Bereich des Übergangs vom Obergurt zum Steg in etwa der gestrichelt dargestellten Kurve. Die Schnittlinie zwischen Obergurt und Steg gehört nicht mehr zum Rand sondern zum Innenbereich des Potentialkörpers. Dort sind somit Potentialordinaten vorhanden. Dies ist in der Ansicht a-a skizziert. Im Bereich der Schnittlinie unterhalb der gestrichelten Linien bis zur Grundfläche ergibt sich somit ein zusätzliches Potentialvolumen, was den Torsionswiderstand in diesem Fall schließlich etwas vergrößert.

Wie im {Kap. 2} beschrieben, führt die Lösung des Torsionsproblems auf mathematisch aufwendige Verfahren. Um die Berechnungen in einem vertretbaren Rahmen zu halten, wird bei den den Programmen zur Beurteilung der Kippstabilität, KIPNT2 und KIPPEN, die Vorgehensweise mit den Teilquerschnitten Obergurt, Steg und ggf. Untergurt verwendet.

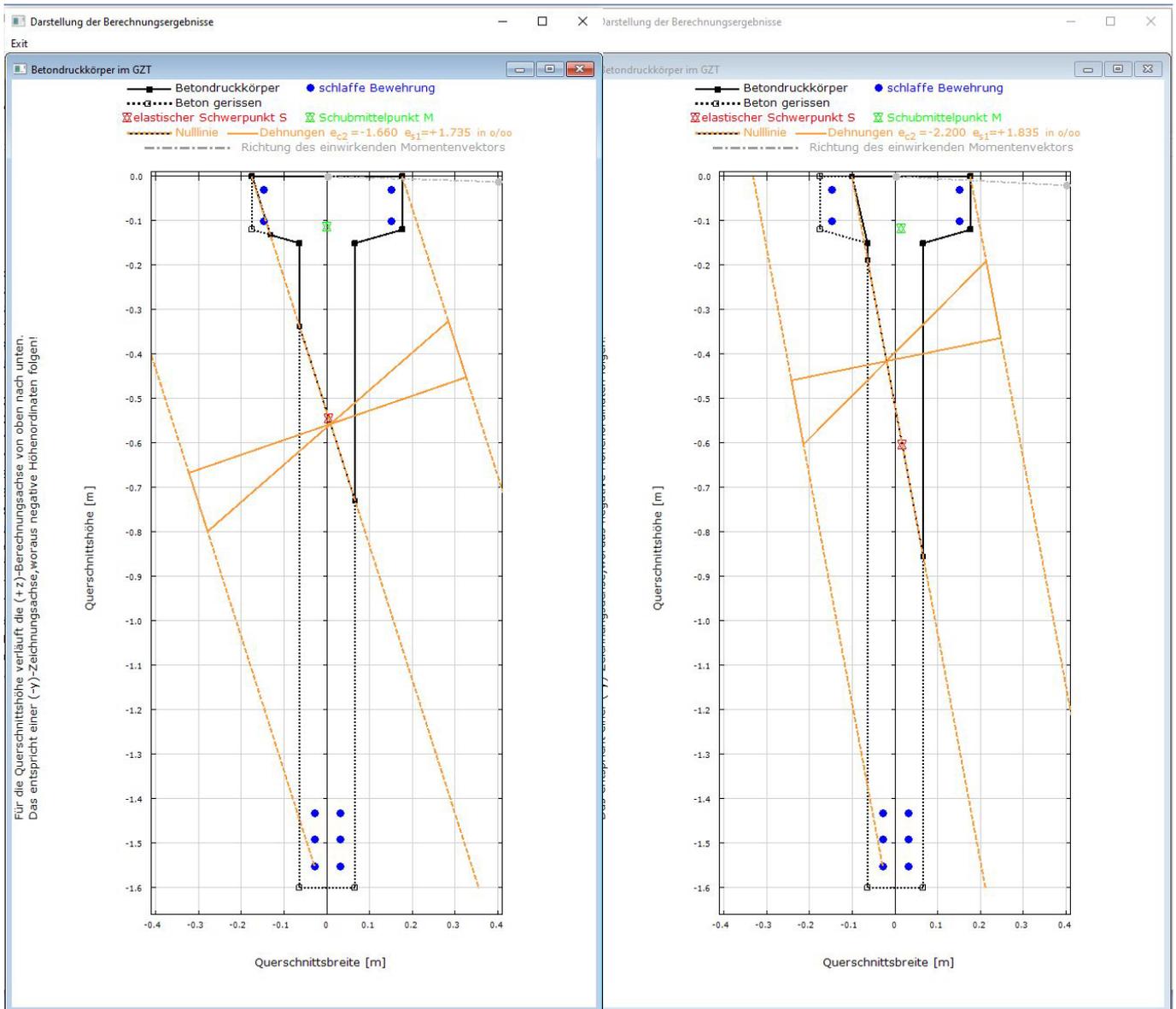
### 6.8 Darstellung von Betondruckzone, Schwerpunkt und Schubmittelpunkt anhand von Berechnungsergebnissen der Beispielquerschnitte

In Ergänzung zu Bild 18 sind zur Veranschaulichung im Folgenden die Ergebnisse einiger Berechnungsbeispiele der verwendeten Querschnitte Q1 und Q2 dargestellt.



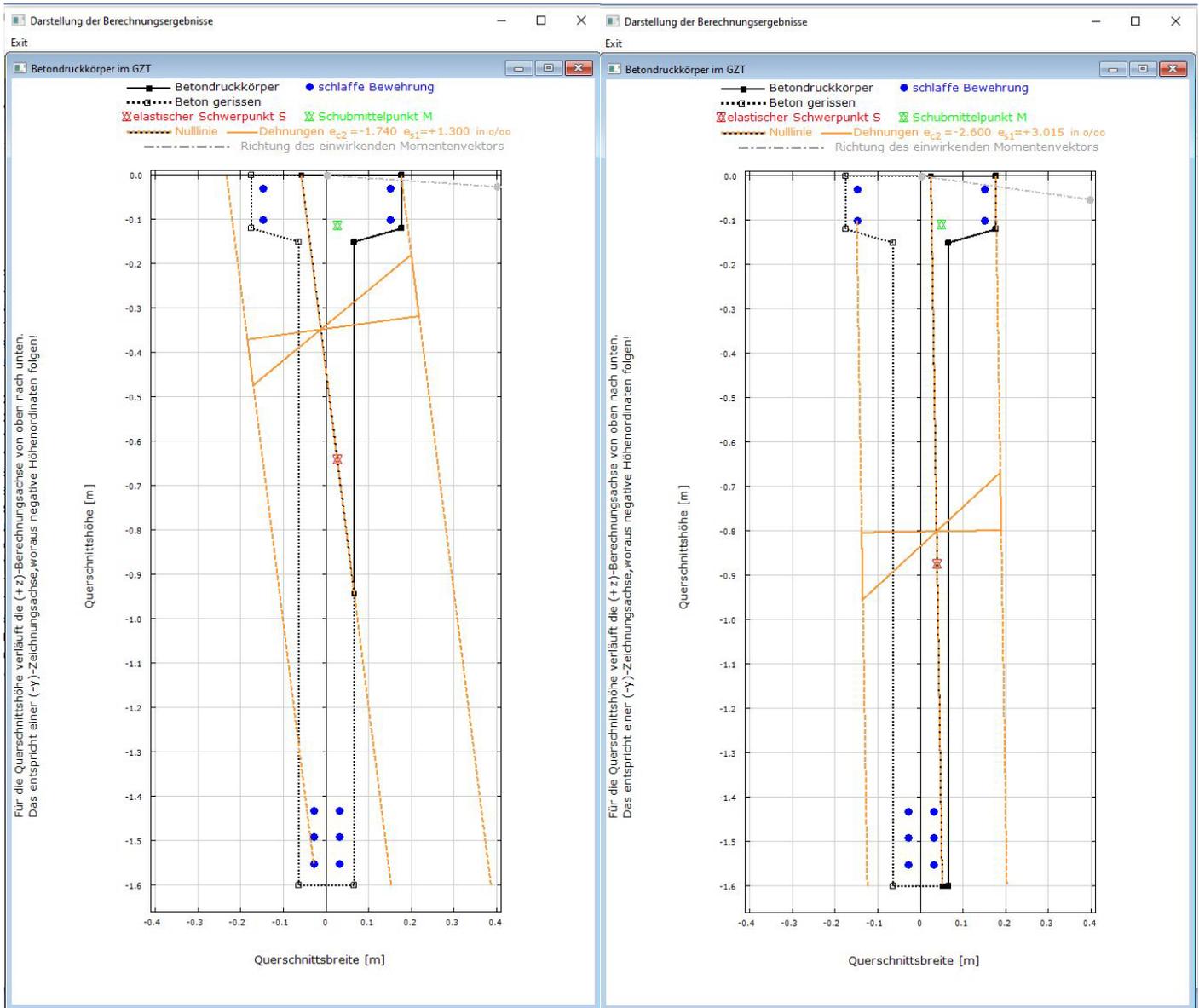
Querschnitt Q1, Lastfall 1  
 $M_y = 3937 \text{ kNm}$ ,  $M_z = 196,9 \text{ kNm}$

Querschnitt Q1  
 $M_y = 2000 \text{ kNm}$ ,  $M_z = 400 \text{ kNm}$



Querschnitt Q2 Lastfall 1  
 $M_y = 1491 \text{ kNm}$ ,  $M_z = 45 \text{ kNm}$

Querschnitt Q2 Lastfall 2  
 $M_y = 1491 \text{ kNm}$ ,  $M_z = 75 \text{ kNm}$



Querschnitt Q2  
 $M_y = 1000 \text{ kNm}, M_z = 65 \text{ kNm}$

Querschnitt Q2  
 $M_y = 750 \text{ kNm}, M_z = 100 \text{ kNm}$