



Aufgaben- und Problemstellung

Die optimale Dimensionierung von Stahlbauteilen ist eine der häufig zu lösenden Aufgabe im konstruktiven Ingenieurbau. Speziell für baupraktisch am häufigsten eingesetzte doppelsymmetrische I-Profile ist die Lösung dieser Aufgabenstellung große Bedeutung zuzuschreiben.

Die ausreichende Tragfähigkeit für das jeweils zum Einsatz vorgesehene Profil kann entweder auf der Grundlage der Elastizitätstheorie oder alternativ unter Zugrundelegung der Regeln der Plastizitätstheorie nachgewiesen werden. Aus wirtschaftlichen Gründen wird in der Praxis nach Möglichkeit einer Bemessung auf der Grundlage der Plastizitätstheorie der Vorzug gegeben.

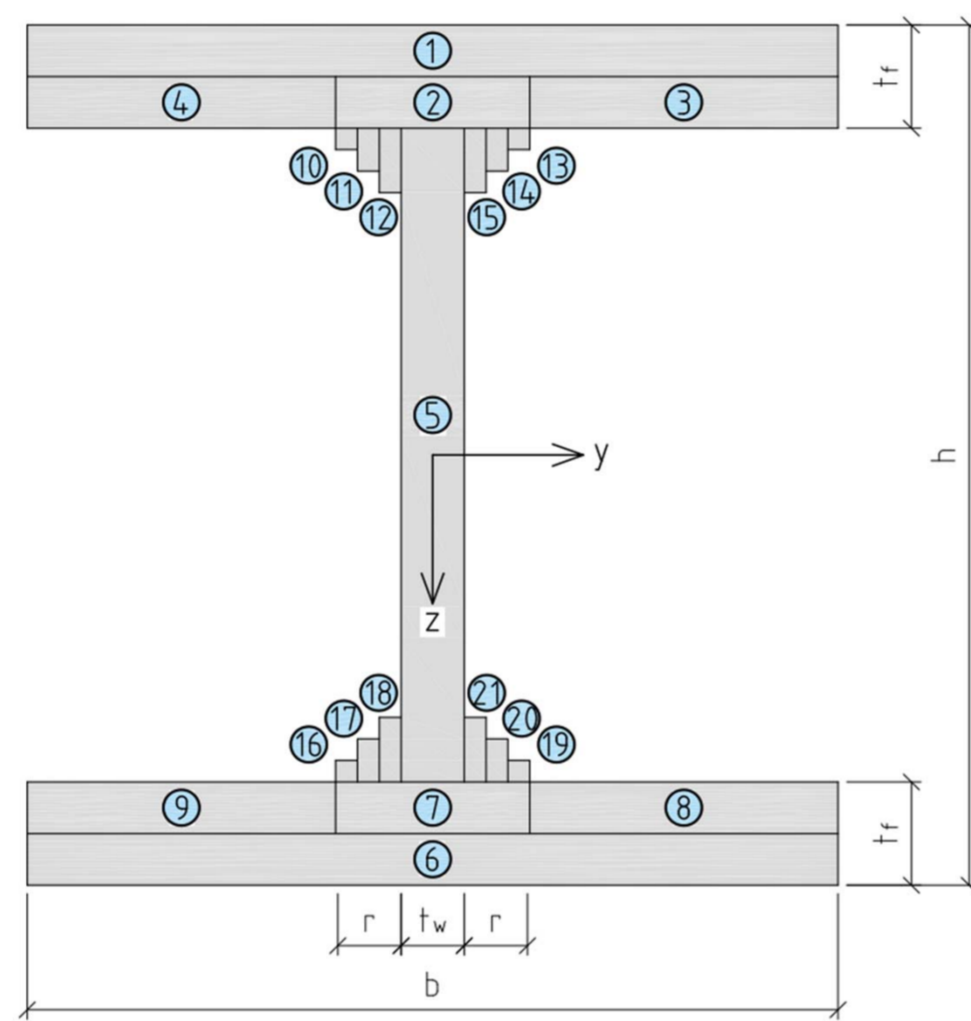
Im Rahmen dieser Arbeit werden Untersuchungen zur plastischen Querschnittstragfähigkeit gewalzter I-Profile vorgenommen. Einen besonderen Schwerpunkt bilden dabei zu berücksichtigende wirksame Schubflächen nach DIN EN 1993-1-1. Wegen ihrer Extremwerte der auf den Gesamtquerschnitt bezogenen Schubflächen werden dabei vorrangig Profile der Reihen IPE und HEM betrachtet. Die Untersuchungen beschränken sich auf Interaktionen für die Schnittgrößenkombinationen $N-M_y-V_z$ und $N-M_z-V_y$. Die Ergebnisse eigener Interaktionsbetrachtungen werden dabei den auf der Grundlage von DIN EN 1993 bestimmbaren Ergebnissen gegenübergestellt. Zusätzlich erfolgt ein Vergleich zu über lange Zeit ver-

wendete und bewährte Nachweismethoden nach DIN 18800. Die Beanspruchbarkeit von I-Profil Walzquerschnitten ist im Wesentlichen in DIN EN 1993-1-1, Abschnitt 6.2, geregelt. Neben der konventionellen Vorgehensweise über elastische Spannungsnachweise werden Nachweisformate zur Bestimmung der plastischen Querschnittstragfähigkeit bereitgestellt. In verschiedenen Veröffentlichungen wurde dazu gezeigt, dass die in DIN EN 1993-1-1 bereitgestellten Kennbeziehungen in einigen Teilbereichen auf der unsicheren Seite liegende Ergebnisse liefern. Der Anwender ist damit auf weiterführende Literatur angewiesen.

Bearbeitungsschritte

Applikationen QST- V_z und QST- V_y

- Im Rahmen der Arbeit wurden zwei EXCEL-Tools **QST- V_z** und **QST- V_y** erstellt, anhand derer plastische Querschnittstragfähigkeit ermittelt werden können. Dabei werden doppelsymmetrische I-Querschnitte unter Anwendung des Mittellinienmodells durch dünnwandige Bleche idealisiert, um auf diesem Wege für einzelne Querschnittsbereiche die unterschiedliche Beteiligung am Abtrag einzelner Einwirkungskomponenten berücksichtigen zu können. Ein allgemeiner, durch die Kennwerte h , b , t_f , t_w und r bestimmter Walzprofilquerschnitt wird dabei über insgesamt 21 Einzelbleche abgebildet.
- Mit Hilfe der erarbeiteten Berechnungstools wurden für übliche Walzprofiltypen verschiedene Variantenrechnungen durchgeführt und mit den üblichen Nachweismethoden gegenübergestellt.



Näherungslösung für Einwirkungen $N-M_y-V_z$ bzw. $N-M_z-V_y$

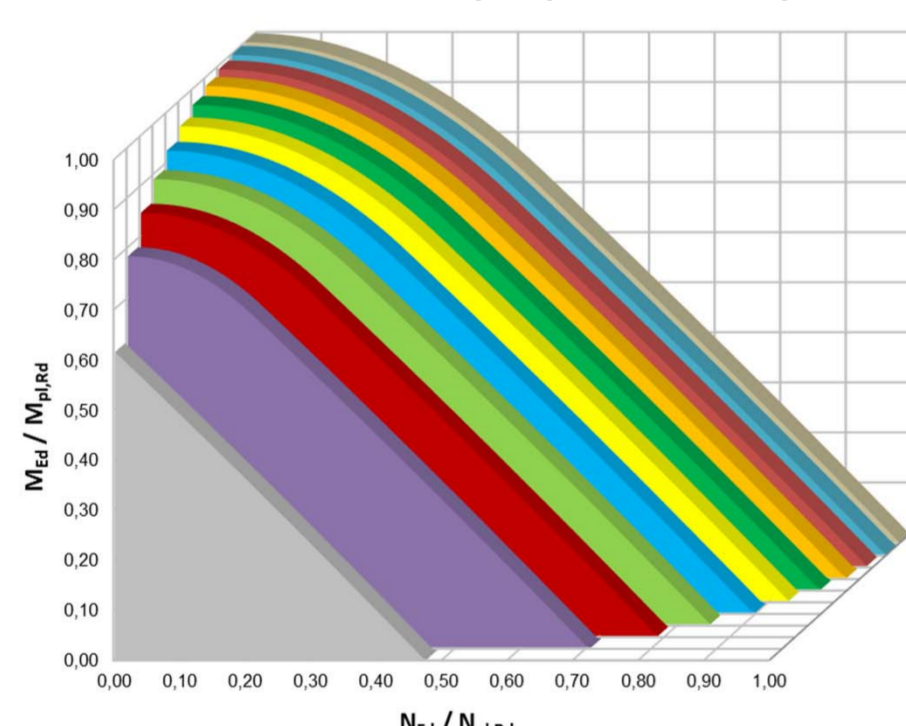
- Nach einer vorangestellten Berücksichtigung der jeweiligen Querkraftauslastung werden über relativ einfach zu bestimmende Parameter (n_a , m_a , n_0 , m_0) genäherte Interaktionsbeziehungen aufgestellt. Damit besteht die Möglichkeit, in Abhängigkeit der Schubbeanspruchung infolge Querkraft jeweils zugehörige baupraktisch ausreichend genaue Interaktionskennbeziehungen anzugeben.

Nachweis	Rechenwerte:
$N - M_y - V_z$	$\rho_1 = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,z,Rd}}\right)^2}$
	$n_a = \left(\alpha_{Vz} - \frac{(2 \cdot r + t_w) \cdot t_f}{A}\right) \cdot (1 - \rho_1)$
	$k_w = 0,25 \cdot t_f \cdot (2 \cdot r + t_w) \cdot (2 \cdot h - 3 \cdot t_f) / W_{pl,y}$
	$m_a = 1 - k_{My} + k_w \cdot (1 - \rho_1)$
$n_0 = 1 - \alpha_{Vz} \cdot \rho_1$	$m_0 = 1 - k_{My} \cdot \rho_1$
$n_a < \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq n_0$	$M_{y,Ed} \leq M_{pl,y,Rd} \cdot \left[m_a - \frac{m_a}{n_0} \cdot \left(n_0 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right) \right]$
$0 \leq \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq n_a$	$M_{y,Ed} \leq M_{pl,y,Rd} \cdot \left[m_0 - \frac{k_{My} - k_w}{n_a^2} \cdot (1 - \rho_1) \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right)^2 \right]$

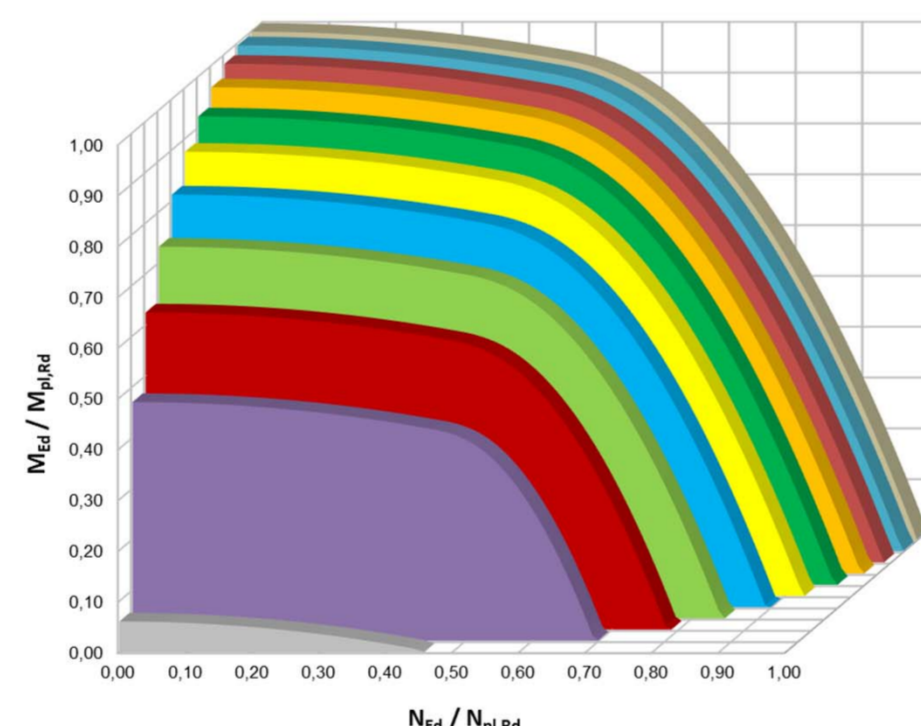
Modifizierte Interaktionsbedingungen für doppel-symmetrische I-Querschnitte mit N , M_y und V_z

Nachweis	Rechenwerte:
$N - M_z - V_y$	$\rho_1 = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,y,Rd}}\right)^2}$
	$n_a = \frac{h_w \cdot t_w}{A}$
	$m_a = 1 - k_{Mz} \cdot \rho_1 - \frac{h_w \cdot t_w^2}{4 \cdot W_{pl,z}}$
	$n_0 = 1 - \alpha_{Vy} \cdot \rho_1$
$m_0 = 1 - k_{Mz} \cdot \rho_1$	$k_{Mz} = \frac{b^2 \cdot t_f}{2 \cdot W_{pl,z}}$
$n_a < \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq n_0$	$M_{z,Ed} \leq M_{pl,z,Rd} \cdot \left[m_a - \frac{m_a}{(n_0 - n_a)^2} \cdot \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} - n_a \right)^2 \right]$
$0 \leq \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq n_a$	$M_{z,Ed} \leq M_{pl,z,Rd} \cdot \left[m_0 - \frac{m_0 - m_a}{n_a} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right]$

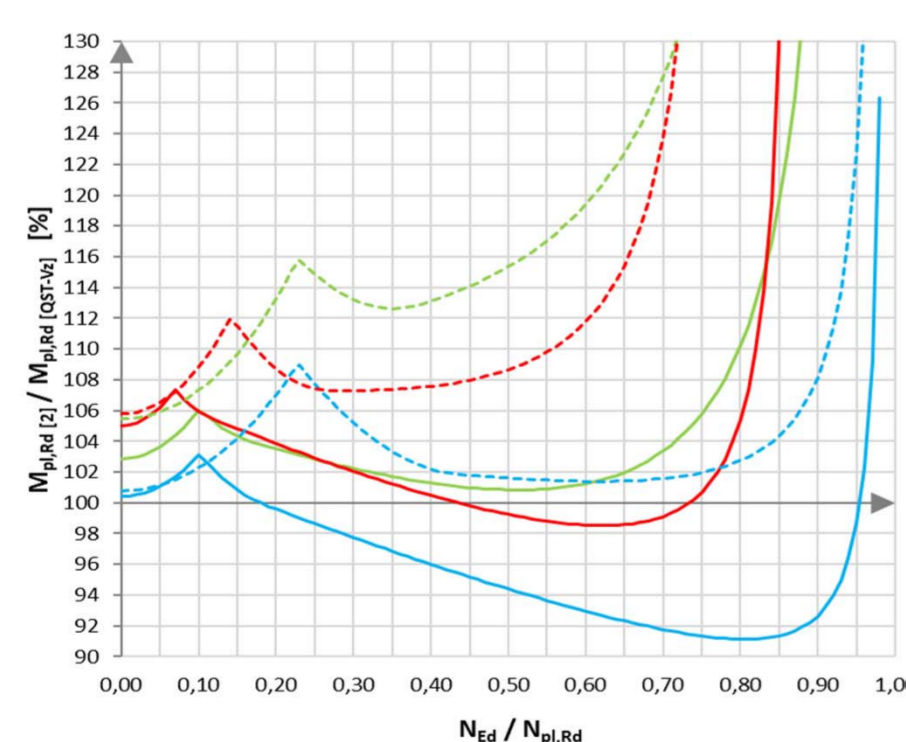
Modifizierte Interaktionsbedingungen für doppel-symmetrische I-Querschnitte mit N , M_z und V_y



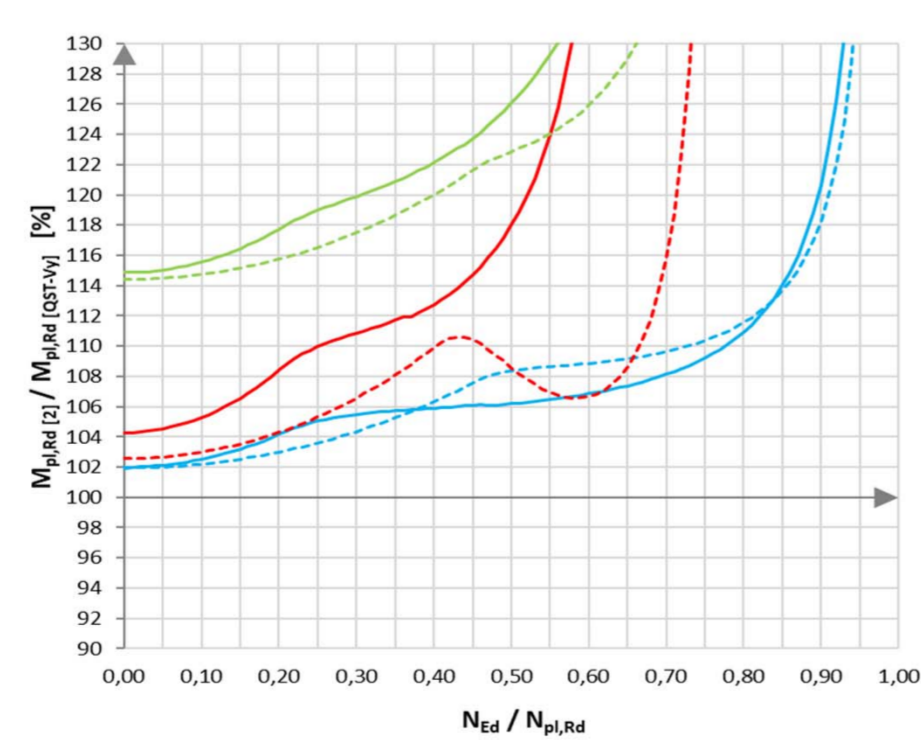
$N-M_y-V_z$ Interaktionskurven für HEM 1000 nach QST- V_z



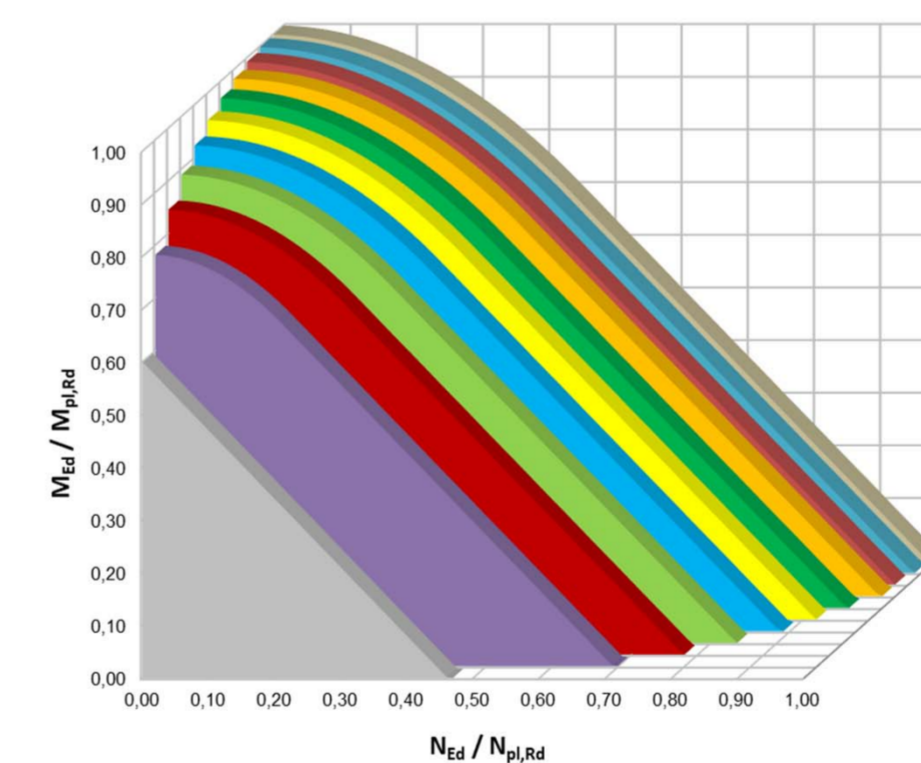
$N-M_z-V_y$ Interaktionskurven für HEM 1000 nach QST- V_y



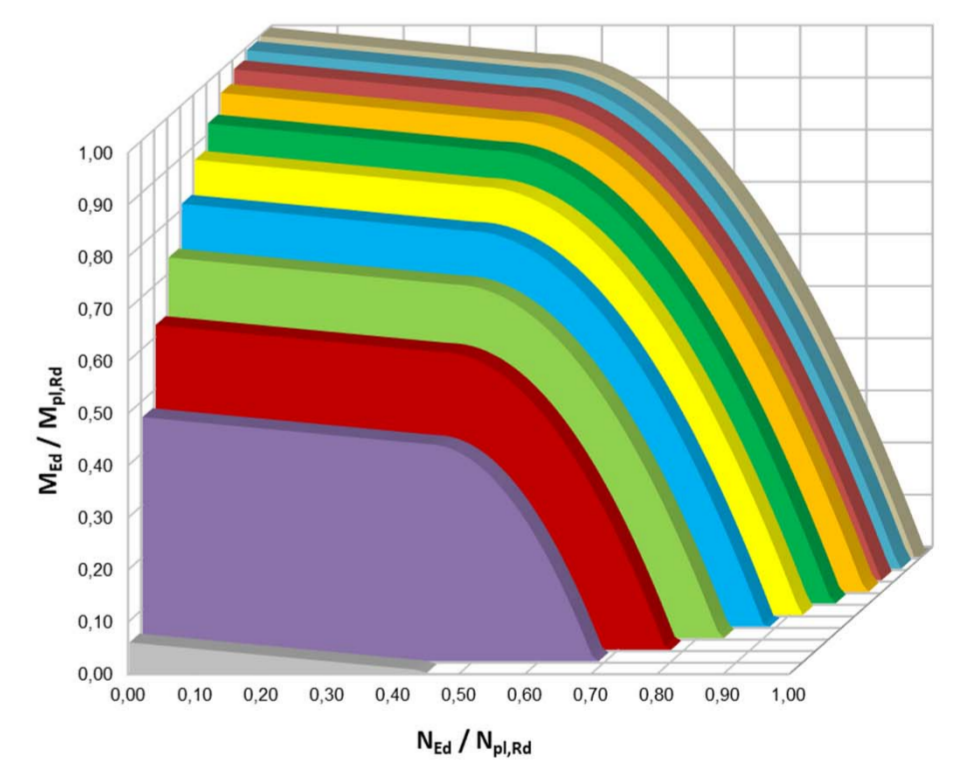
$N-M_y-V_z$ Interaktionskurven (HEM Profilverihe) - Ergebnisse nach DIN EN 1993-1-1 bezogen auf Ergebnisse nach QST- V_z



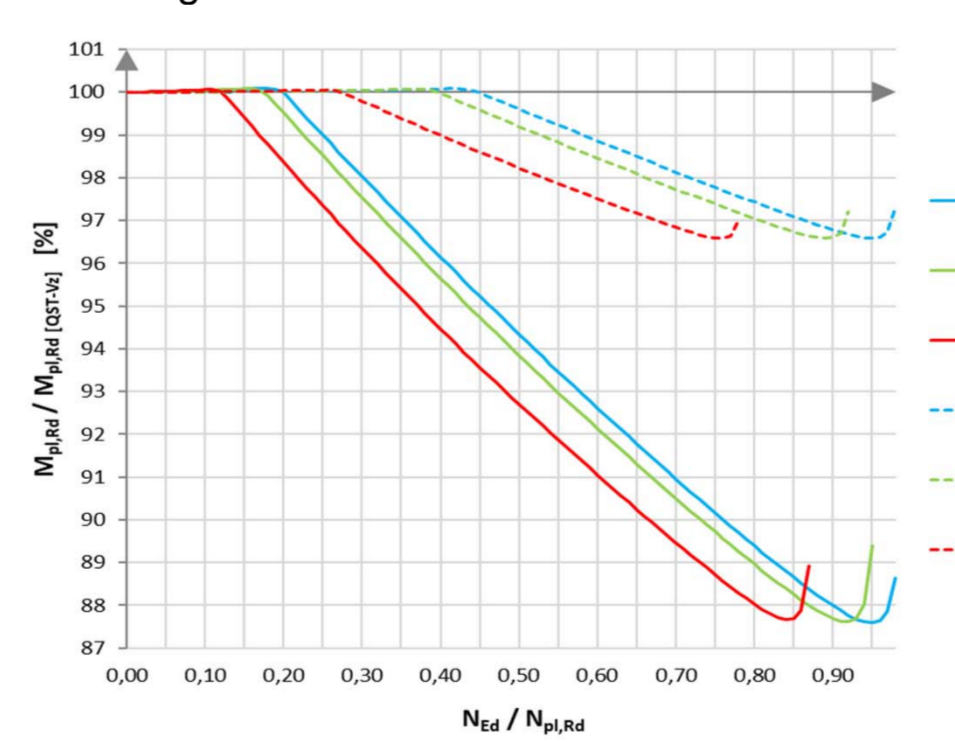
$N-M_z-V_y$ Interaktionskurven (HEM Profilverihe) - Ergebnisse nach DIN EN 1993-1-1 bezogen auf Ergebnisse nach QST- V_y



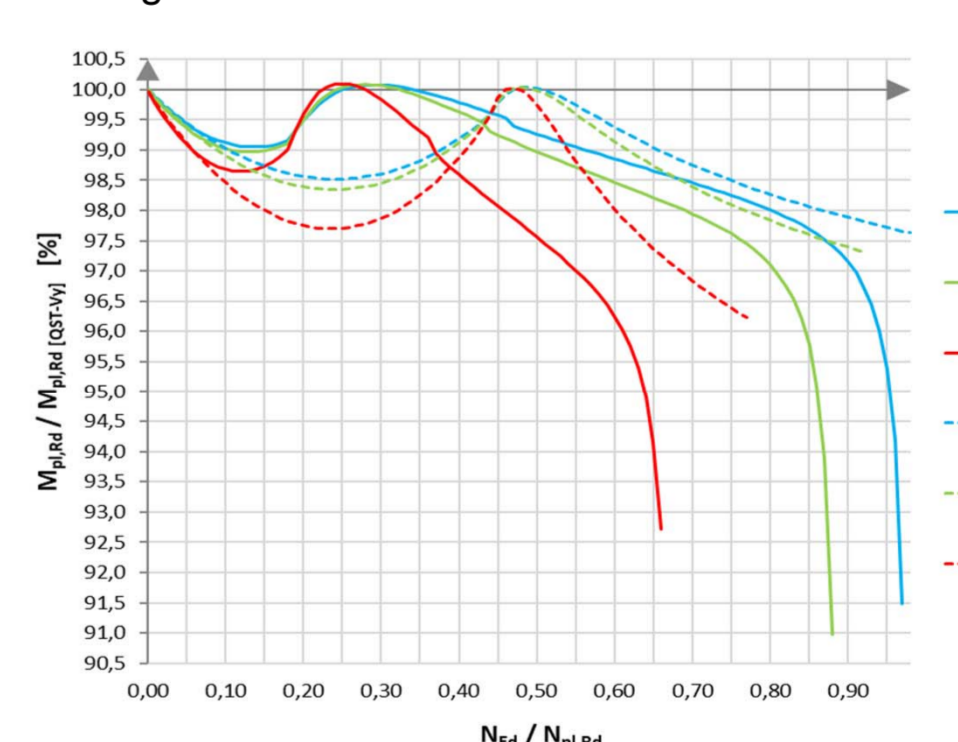
$N-M_y-V_z$ Interaktionskurven für HEM 1000 nach Näherungslösung



$N-M_z-V_y$ Interaktionskurven für HEM 1000 nach Näherungslösung



$N-M_y-V_z$ Interaktionskurven (HEM Profilverihe) - Ergebnisse nach Näherungslösung bezogen auf Ergebnisse nach QST- V_z



$N-M_z-V_y$ Interaktionskurven (HEM Profilverihe) - Ergebnisse nach Näherungslösung bezogen auf Ergebnisse nach QST- V_y

Ergebnisse der Masterarbeit

Stellvertretend für die Vielzahl möglicher Walzprofilquerschnitte konzentrierten sich die Untersuchungen vorrangig auf die Profilverien IPE (relativ hohe, schlanke Querschnitte) und HEM (gedrungene, kompakte Querschnitte), wobei über Nebenrechnungen vergleichende Betrachtungen für die Profilverien HEB und HEA durchgeführt wurden, die zu keinen neuen, über die vorher beschriebene Feststellungen hinausgehende Ergebnisse erkennen ließen.

Es wurde eine ingenieurmäßige Näherungslösung für die verschiedenen Schnittgrößenkombinationen vorgeschlagen. Dabei erfolgt die Berücksichtigung der wirksamen Schubfläche nach DIN-EN-1993-1-1 und unter Berücksichtigung walzprofiltypischer Ausrundungen. Es ergeben sich baupraktisch ausreichend genaue Ergebnisse, die sich komplett im sicheren Bereich bewegen und keine nennenswerten wirtschaftliche Defizite verursachen.

Die in dieser Arbeit vorgestellten Methoden zur Bestimmung der plastischen Querschnittstragfähigkeit können als Grundlage für umfangreiche weitergehende Untersuchungen dienen. Das vorgestellte Näherungsverfahren stellt eine baupraktisch und ingenieurmäßig befriedigende Lösung zur Bestimmung der plastischen Querschnittstragfähigkeit infolge Querkraft, Normalkraft und Biegemoment dar.