

Tipp 18/09

Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit eines Querschnitts nach DIN EN 1993-1-1:2010-12 [1] und DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 [2] in Verbindung mit DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08 [3]

Der Nachweis der Biegebeanspruchung eines Querschnitts wird in [1], Abschnitt 6.2.5 definiert. Das Nachweisformat lautet wie folgt.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Nach dieser Gleichung sind die folgenden Werte zu berücksichtigen.

M_{Ed} Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments

$M_{c,Rd}$ Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit des Querschnitts bei einer ggf. erforderlichen Berücksichtigung der Löcher für die Verbindungsmittel

Der Bemessungswert des einwirkenden Biegemoments M_{Ed} ergibt sich aus den projektbezogenen Einwirkungen und kann der statischen Berechnung entnommen werden.

Der Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit eines Querschnitts $M_{c,Rd}$ infolge einachsiger Biegung ist, abhängig von der Querschnittsklasse des Querschnitts, grundsätzlich mit den folgenden Gleichungen zu bestimmen.

- Querschnittsklassen 1 und 2

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Querschnittsklasse 3

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Querschnittsklasse 4

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

In diesen Gleichungen werden die folgenden Werte berücksichtigt.

W_{pl} plastisches Widerstandsmoment des Querschnitts

f_y Streckgrenze des Stahls nach [1], Tabelle 3.1

γ_{M0} Teilsicherheitsbeiwert für einen Querschnittsnachweis ohne Stabilitätsversagen

$W_{el,min}$ kleinstes elastisches Widerstandsmoment des Querschnitts

$W_{eff,min}$ kleinstes wirksames elastisches Widerstandsmoment

Bei der Ermittlung des entsprechenden Widerstandsmoments sind, wie oben schon angeführt, ggf. vorhandene Löcher für die Verbindungsmittel als anteilige Abzugsflächen zu berücksichtigen. Löcher für Verbindungsmittel in zugbeanspruchten Flanschen dürfen jedoch vernachlässigt werden, wenn die folgende Gleichung für diesen Flansch eingehalten wird.

$$\frac{A_{f,net} * 0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A_f * f_y}{\gamma_{M0}}$$

In dieser Gleichung werden die folgenden Werte berücksichtigt.

$A_{f,net}$	Nettofläche des Zugflanschs
A_f	Bruttofläche des Zugflanschs
f_u	Zugfestigkeit des Baustahls
f_y	Streckgrenze des Baustahls
γ_{M2}	Teilsicherheitsbeiwert für Bruchversagen infolge Zugbeanspruchung

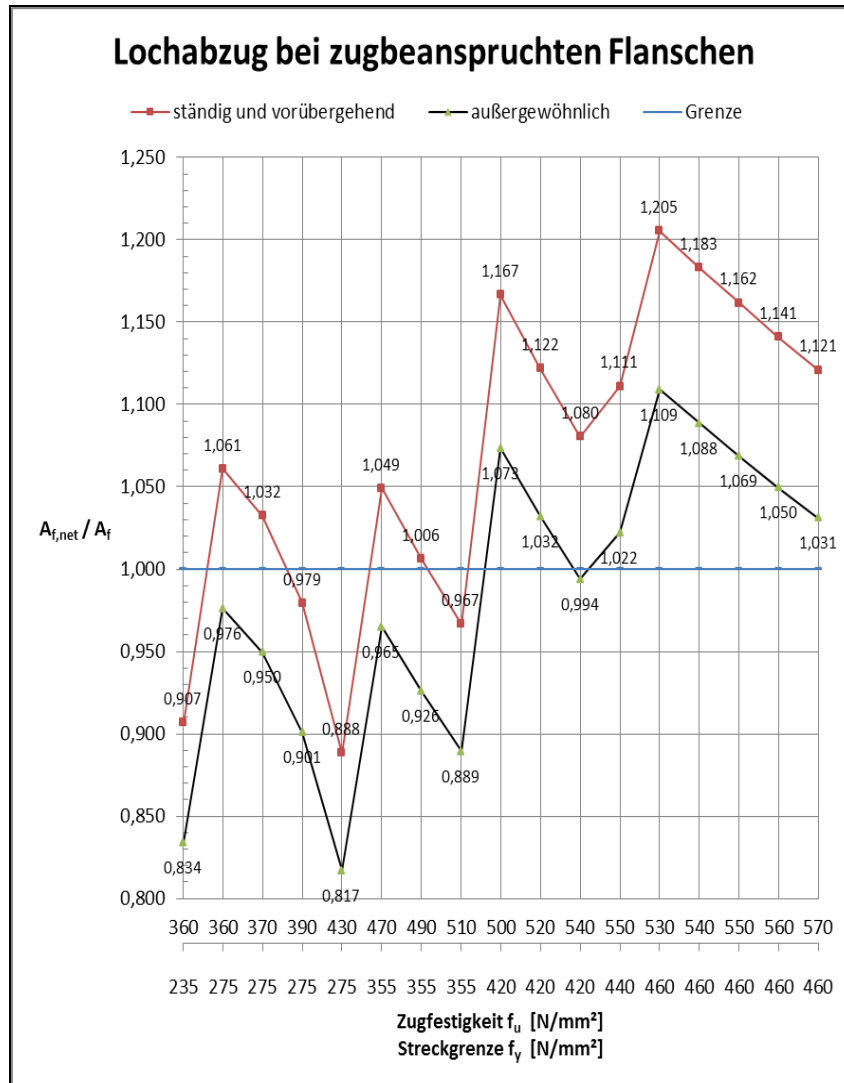
Der Wert des Teilsicherheitsbeiwerts γ_{M2} ist entsprechend [3] abhängig von der jeweiligen Bemessungssituation. Für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation beträgt $\gamma_{M2} = 1,25$ und in der außergewöhnlichen Bemessungssituation beträgt $\gamma_{M2} = 1,15$.

In [3] wird der Teilsicherheitsbeiwert γ_{M0} für die ständige und vorübergehende Bemessungssituation, aber auch für die außergewöhnliche Bemessungssituation, mit $\gamma_{M0} = 1,0$ definiert.

Entsprechend [1], Tabelle 3.1 sind 14 verschiedene Werte für die Zugfestigkeit des Baustahls ($360 \text{ N/mm}^2 \leq f_u \leq 570 \text{ N/mm}^2$) möglich. Es sind in Abhängigkeit vom Werkstoff und der Vergütung bei einer identischen Streckgrenze f_y z.T. verschiedene Zugfestigkeiten f_u möglich. Darauf wird hier eindringlich hingewiesen. Die alleinige Angabe „Stahl mit $f_y = xxx \text{ N/mm}^2$ “ oder „Stahl mit $f_u = yyy \text{ N/mm}^2$ “ ist somit nicht hinreichend. Mindestens die Werkstoffnorm und ggf. auch der Vergütungsgrad sind zu ergänzen.

Nach [1], Tabelle 3.1 sind sechs verschiedene Werte für die Streckgrenze des Baustahls ($235 \text{ N/mm}^2 \leq f_y \leq 460 \text{ N/mm}^2$) möglich.

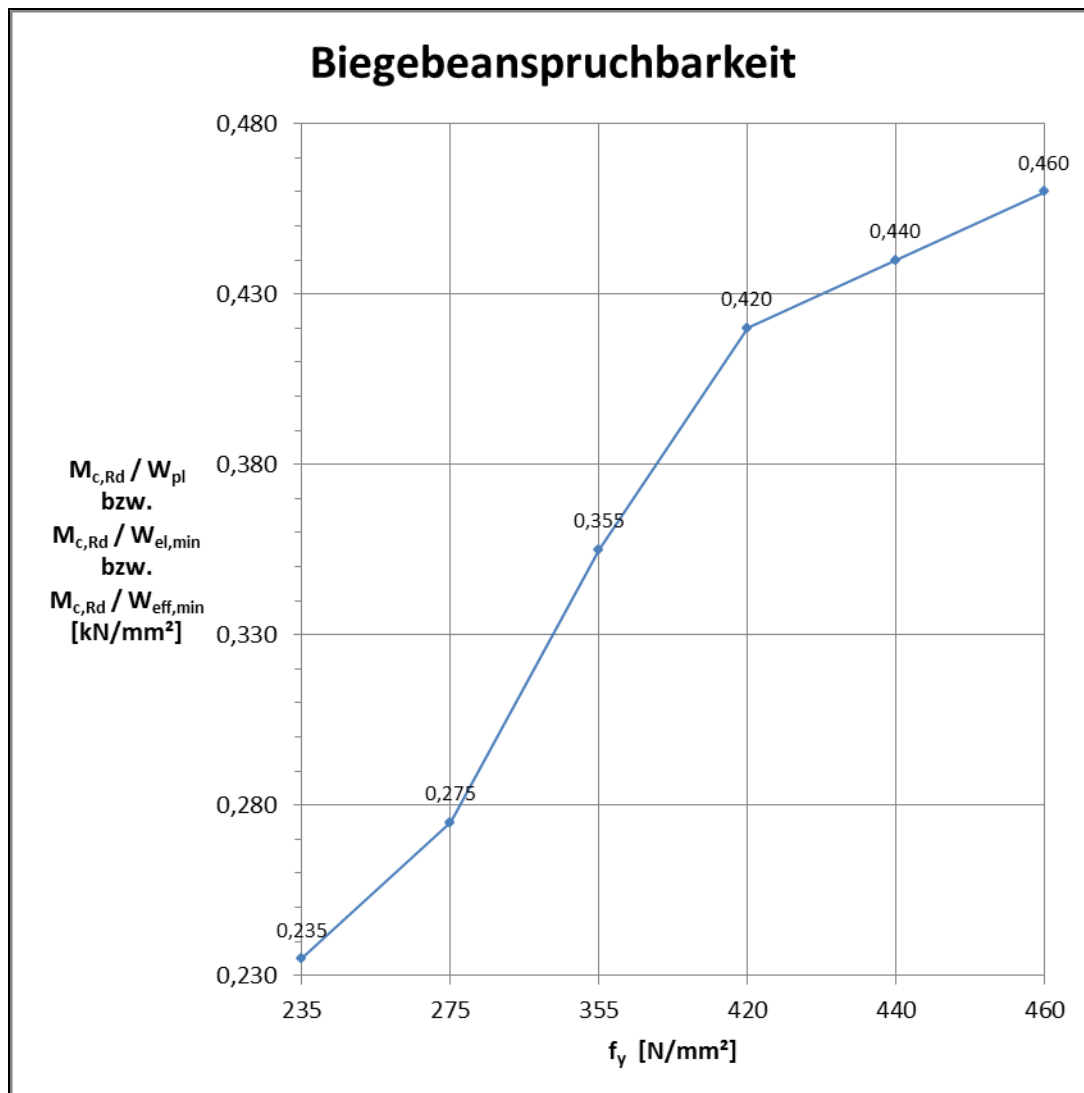
Nach Umformung der obigen Gleichungen kann das zulässige Flächenverhältnis $A_{f,net} / A_f \geq (f_y * \gamma_{M2}) / (\gamma_{M0} * 0,9 * f_u)$ ermittelt werden. Dieses Flächenverhältnis ist im folgenden Diagramm in Abhängigkeit von der Streckgrenze f_y und der Zugfestigkeit f_u des Baustahls dargestellt. Wird dieses Flächenverhältnis unterschritten, müssen die Löcher für die Verbindungsmittel in einem zugbeanspruchten Flansch berücksichtigt werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein Flächenverhältnis $A_{f,net} / A_f > 1,0$ faktisch nicht auftreten kann. Das bedeutet, dass bei allen Baustähle, bei denen in dem folgenden Diagramm der Verhältniswert $A_{f,net} / A_f > 1,0$ ist, keine Löcher in dem Flansch angeordnet werden dürfen.



Aus diesem Diagramm geht somit z.B. auch hervor, dass bei einer ständigen und vorübergehenden Bemessungssituation die Löcher für die Verbindungsmittel nur für die Baustähle mit $f_y / f_u = 235 / 360$, $f_y / f_u = 275 / 390$, $f_y / f_u = 275 / 430$ und $f_y / f_u = 355 / 510$ ggf. vernachlässigt werden dürfen. Dabei muss z.B. bei einem Baustahl mit $f_y / f_u = 235 / 360$ mit ständiger oder vorübergehender Einwirkung die Nettfläche des Flanschen mindestens $A_{f,net} \geq 0,907 \cdot A_f$ betragen.

Nachdem das entsprechende Widerstandsmoment des Profilquerschnitts ermittelt wurde, kann der relevante Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit $M_{c,Rd}$ ermittelt werden. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass sich die Widerstandsmomente $W_{el,min}$ bzw. $W_{eff,min}$ für die Querschnittsklasse 3 bzw. 4 immer auf die Querschnittsfaser mit der maximalen Normalspannung beziehen.

Allgemein kann der Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit als eine Biegespannung $\sigma_{Rd} = M_{c,Rd} / W$ ausgedrückt werden. Im folgenden Diagramm ist diese Spannung σ_{Rd} dargestellt.



Mit Hilfe der Werte aus diesem Diagramm und je nach Querschnittsklasse mit dem plastischen Widerstandsmoment W_{pl} bei den Querschnittsklassen 1 und 2, dem minimalen elastischen Widerstandsmoment $W_{el,min}$ bei der Querschnittsklasse 3 oder dem minimalen, effektiven Widerstandsmoment $W_{eff,min}$ bei der Querschnittsklasse 4 des Profils kann sehr einfach der Bemessungswert der Biegebeanspruchbarkeit des Querschnitts $M_{c,Rd}$ ermittelt werden.

Für die Stahlbauprofile der Profilreihen I, IPE, HEA, HEB und HEM wurden die Bemessungswerte der Biegebeanspruchbarkeiten des Gesamtquerschnittes für die Querschnittsklassen 1 und 2 oder 3 und die verschiedenen Streckgrenzen f_y , entsprechend [1], Tabelle 3.1, ermittelt und in den folgenden Diagrammen graphisch ausgewertet. Dabei wurde die Querschnittsklassifizierung bei einachsiger Biegebeanspruchung für die verschiedenen Walzprofile berücksichtigt.

Da alle I-, IPE-, HEB- und HEM-Profile der Querschnittsklasse 1 zugeordnet werden können, ist für diese Walzprofile jeweils eine Auswertung für $M_{pl,Rd}$ erforderlich.

Einzig bei einigen HEA-Profilen ist eine Zuordnung in die Querschnittsklasse 3 erforderlich. Hierbei ist jedoch keine entsprechende Verallgemeinerung möglich, sondern es müssen bei der Klassifizierung die

verschiedenen Streckgrenzen f_y immer mit berücksichtigt werden. Somit wird für diese speziellen Profile auch eine Auswertung für $M_{el,Rd}$ vorgenommen.

Für jeden Profiltyp und ggf. jede Querschnittsklasse wurden immer drei Diagramme erstellt. In dem ersten dieser Diagramme sind die Bemessungswerte der Biegebeanspruchung für die einachsige Biegung um die y- bzw. z-Achse gemeinsam und in den folgenden beiden Diagrammen für die einachsige Biegung um die y- und z-Achse jeweils getrennt dargestellt.

In den Diagrammen wurden jeweils nur für die Streckgrenzen $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$, $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$ und $f_y = 460 \text{ N/mm}^2$ die Bemessungswerte in die Diagramme aufgenommen. Für die anderen Streckgrenzen sind diese Werte entweder aus den Diagrammen abzulesen oder mit Hilfe des obigen Diagramms zu ermitteln.

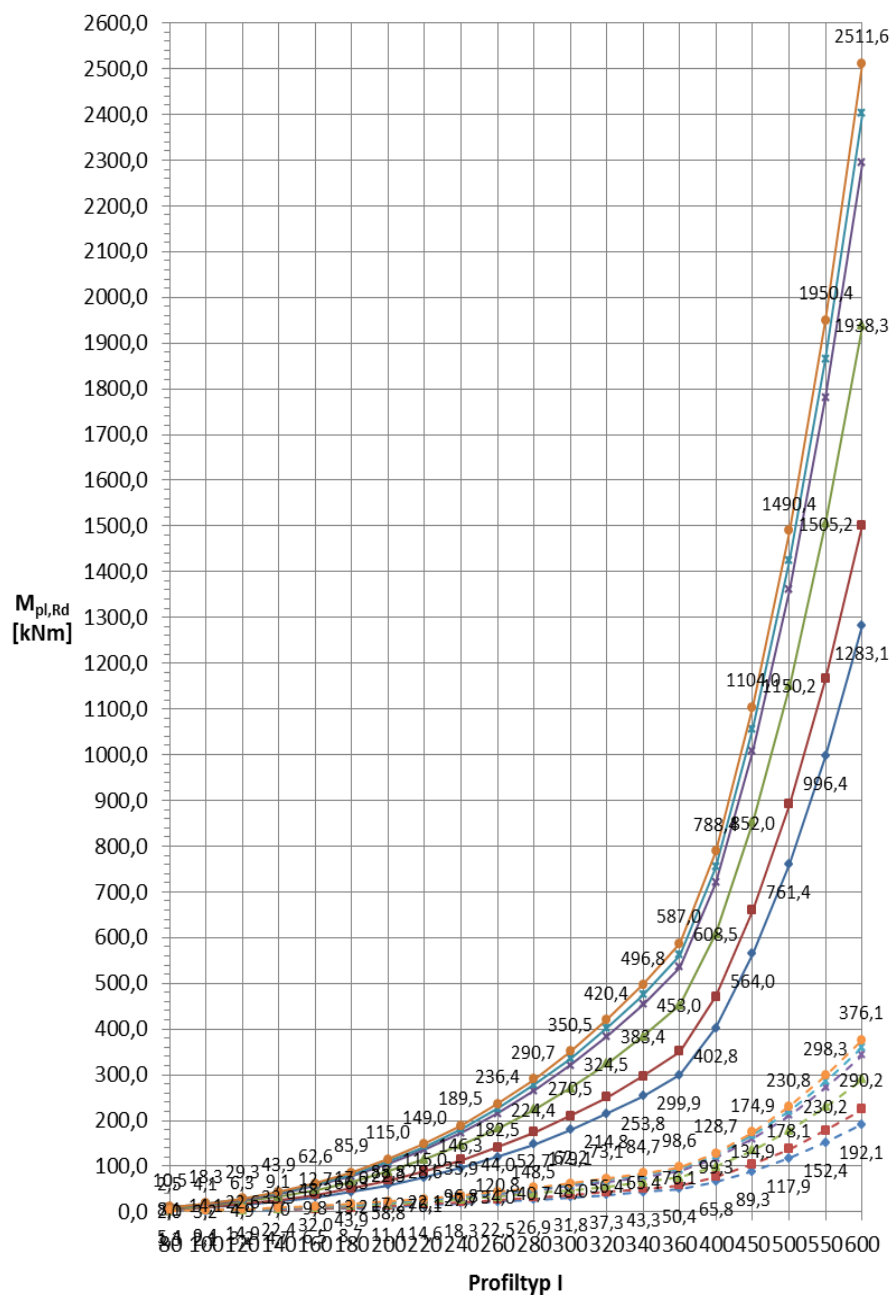
Die Widerstandsmomente W_{pl} bzw. W_{el} beziehen sich auf die y-Achse bzw. z-Achse des jeweiligen Gesamtquerschnitts des Profils.

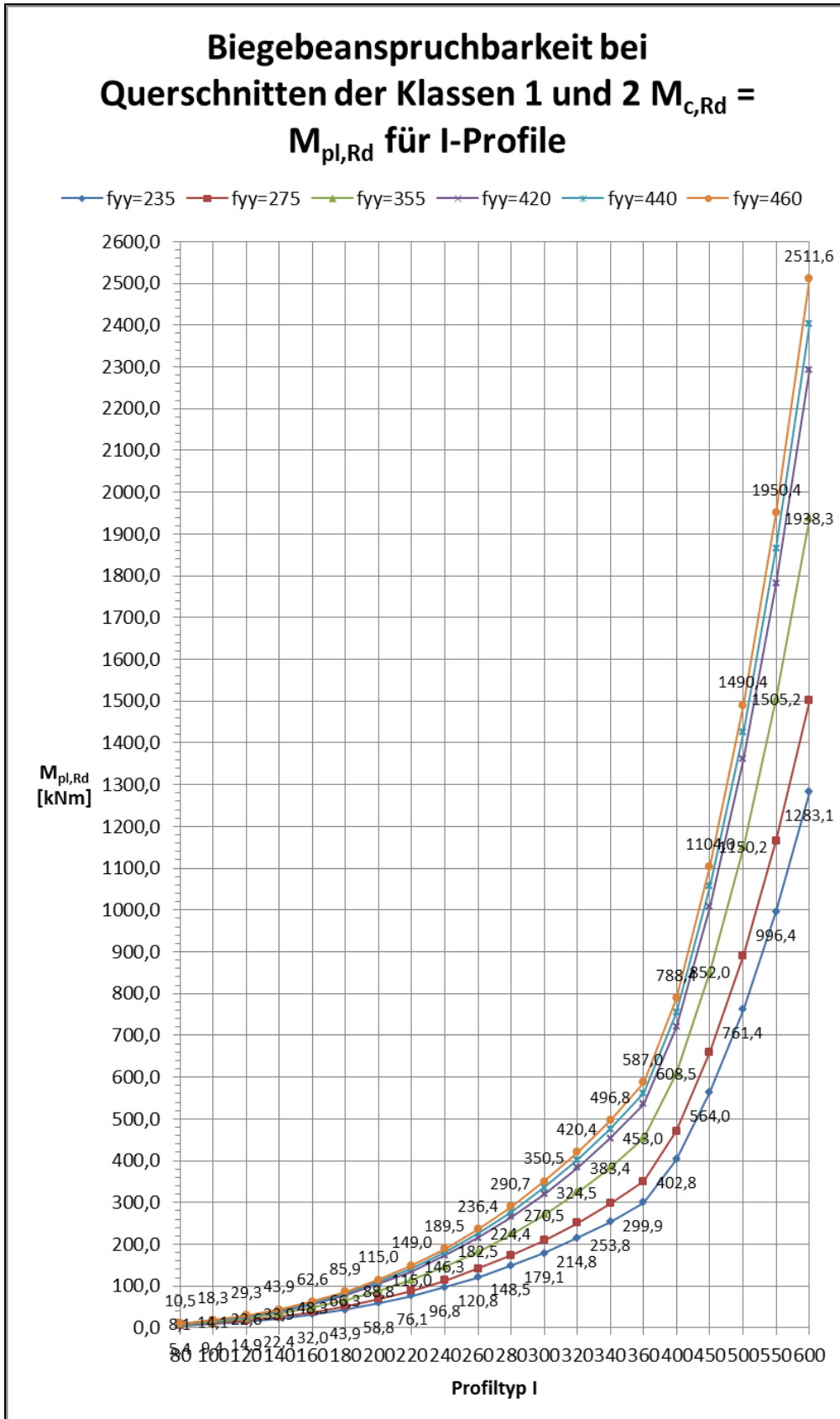
Zur Erläuterung und besseren Handhabung der Diagramme sein hier auf die in den Legenden verwendeten Abkürzungen z.B. „fyy“ bzw. „fyz“ kurz eingegangen

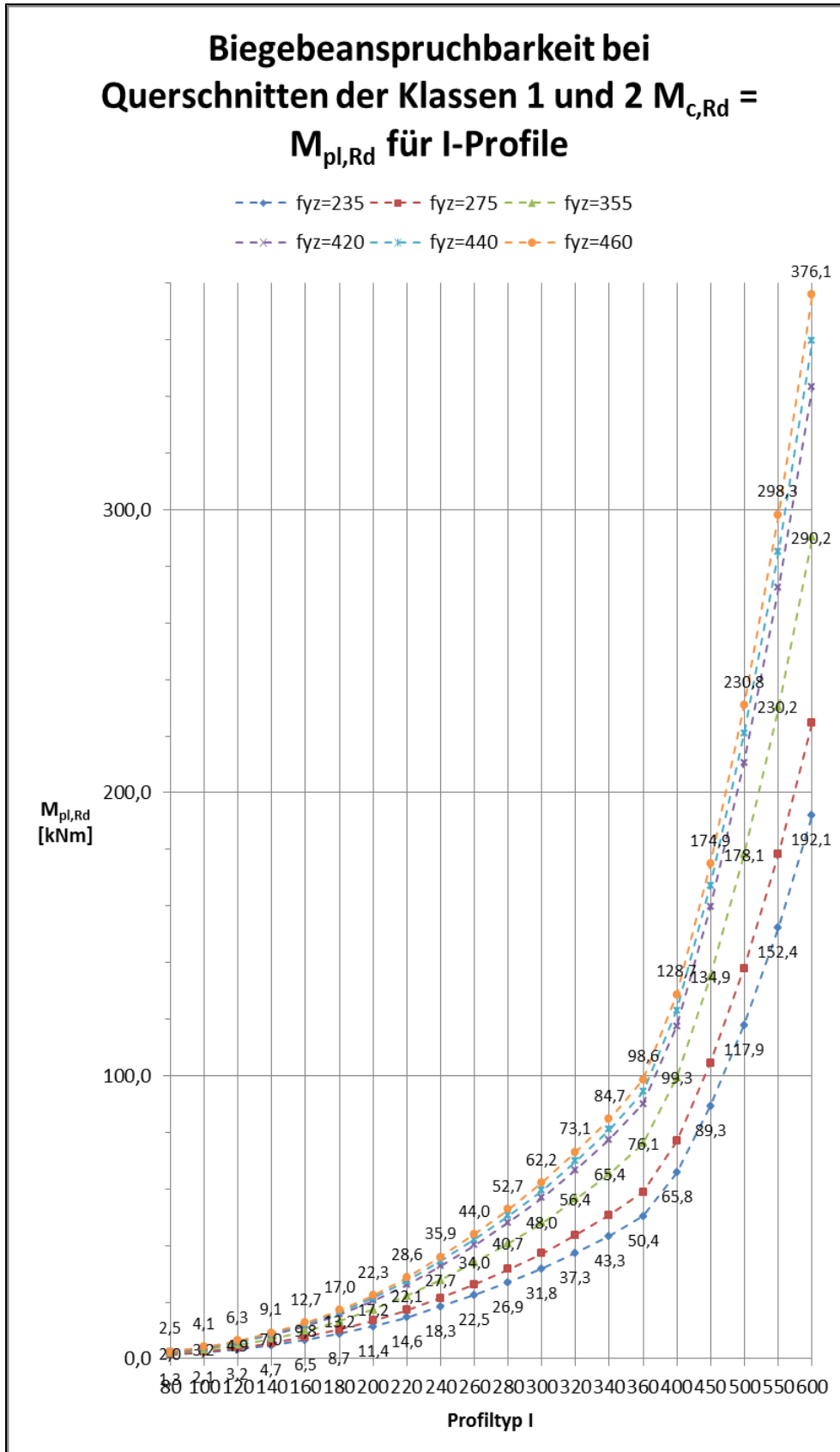
- fyy Bemessungswert um die y-Achse bei einer Streckgrenze $f_y = \dots \text{ N/mm}^2$
- fyz Bemessungswert um die z-Achse bei einer Streckgrenze $f_y = \dots \text{ N/mm}^2$

Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{c,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für I-Profile

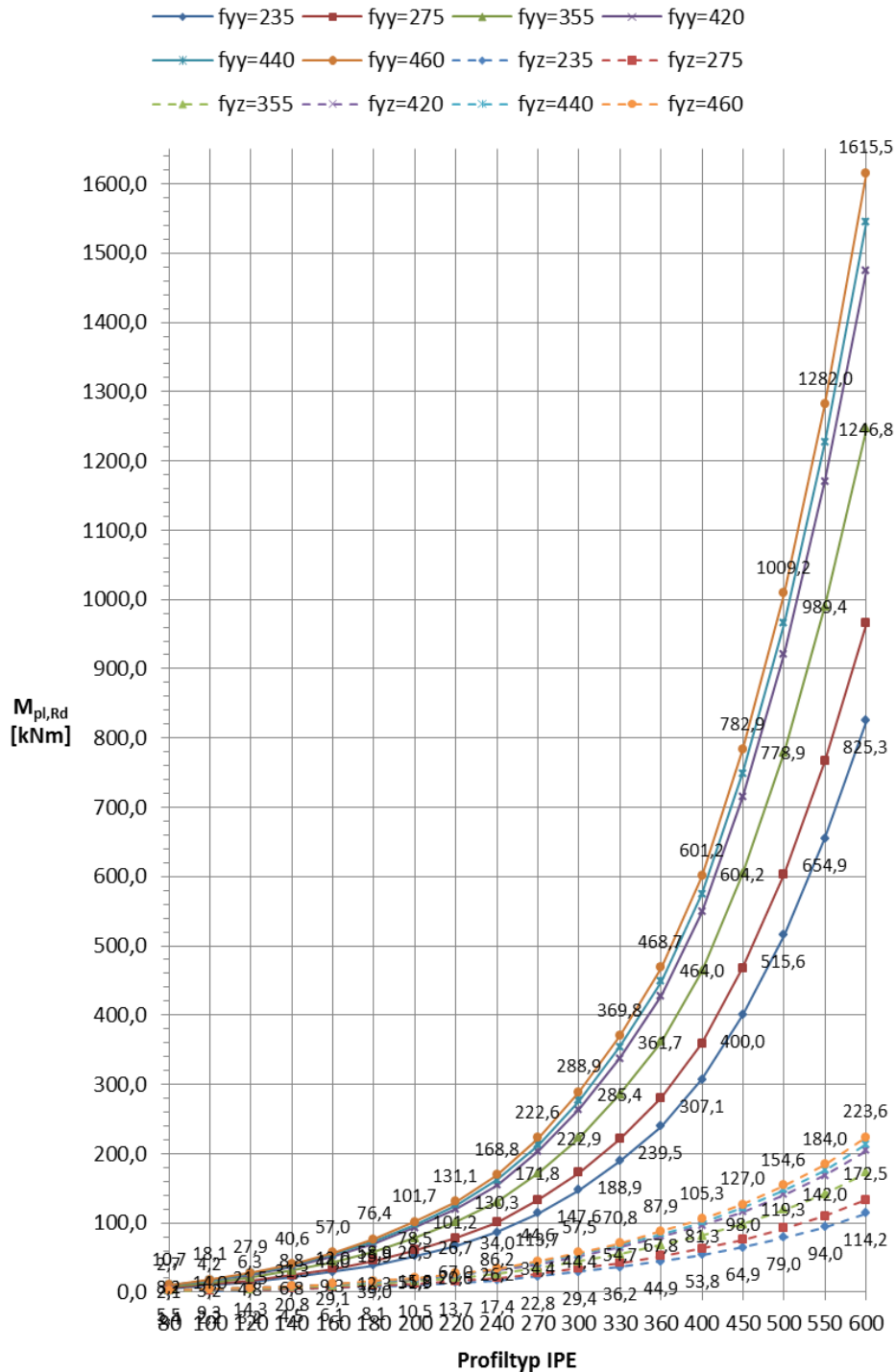
- ◆ $f_{yy}=235$ ■ $f_{yy}=275$ ▲ $f_{yy}=355$ ✱ $f_{yy}=420$
✱ $f_{yy}=440$ ● $f_{yy}=460$ - - ◆ $f_{yz}=235$ - - ■ $f_{yz}=275$
- - ▲ $f_{yz}=355$ - - ✱ $f_{yz}=420$ - - ✱ $f_{yz}=440$ - - ● $f_{yz}=460$



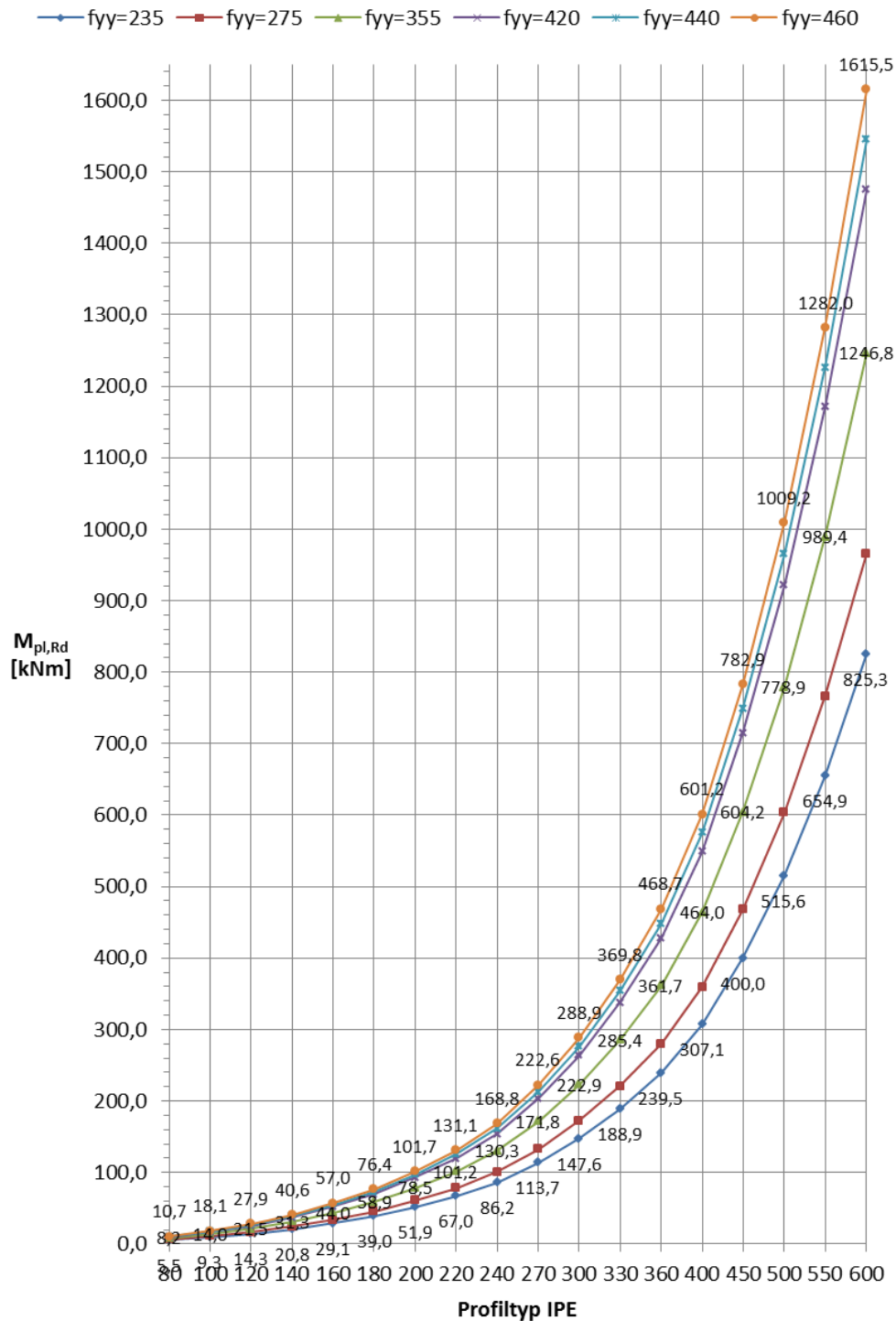


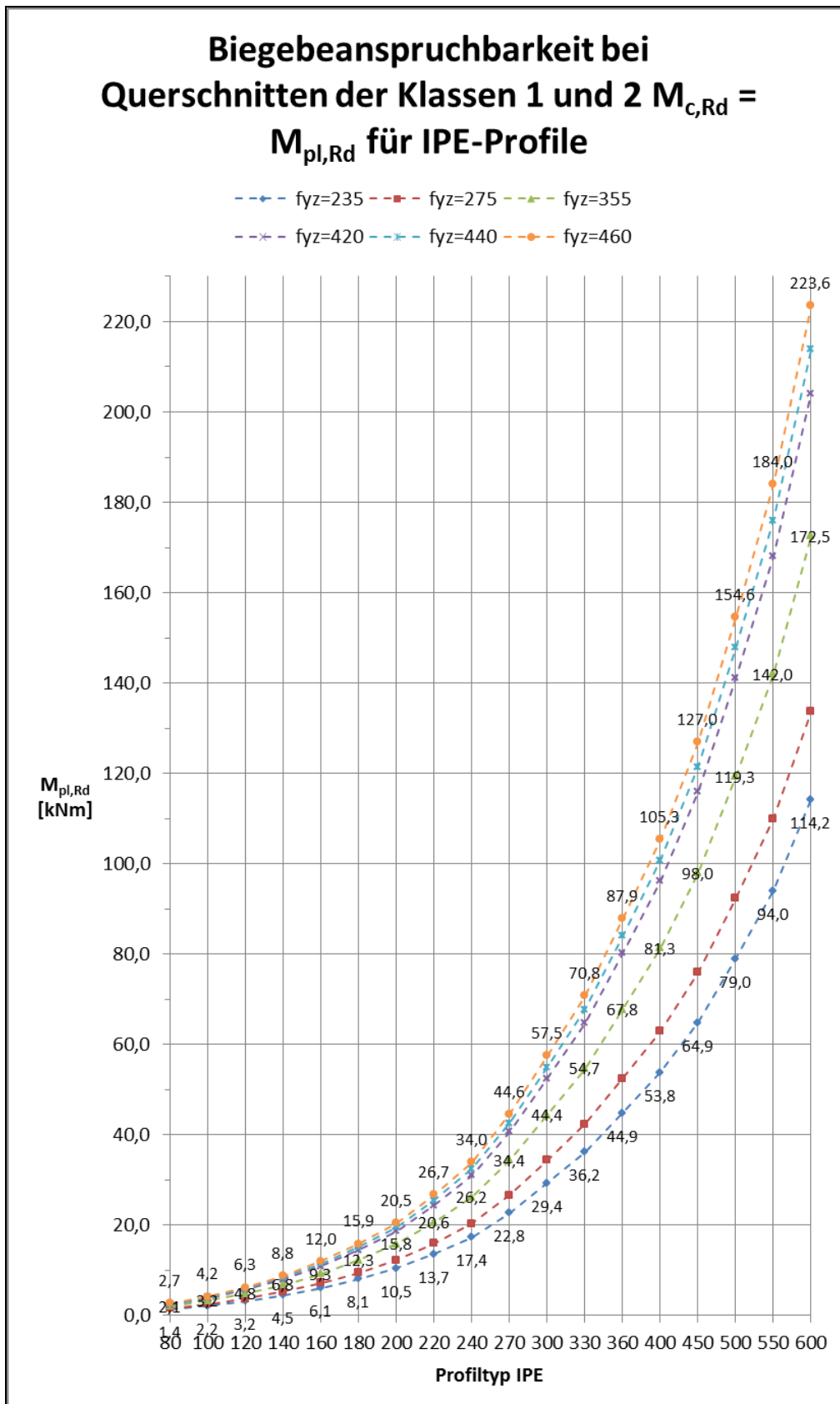


Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{c,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für IPE-Profile



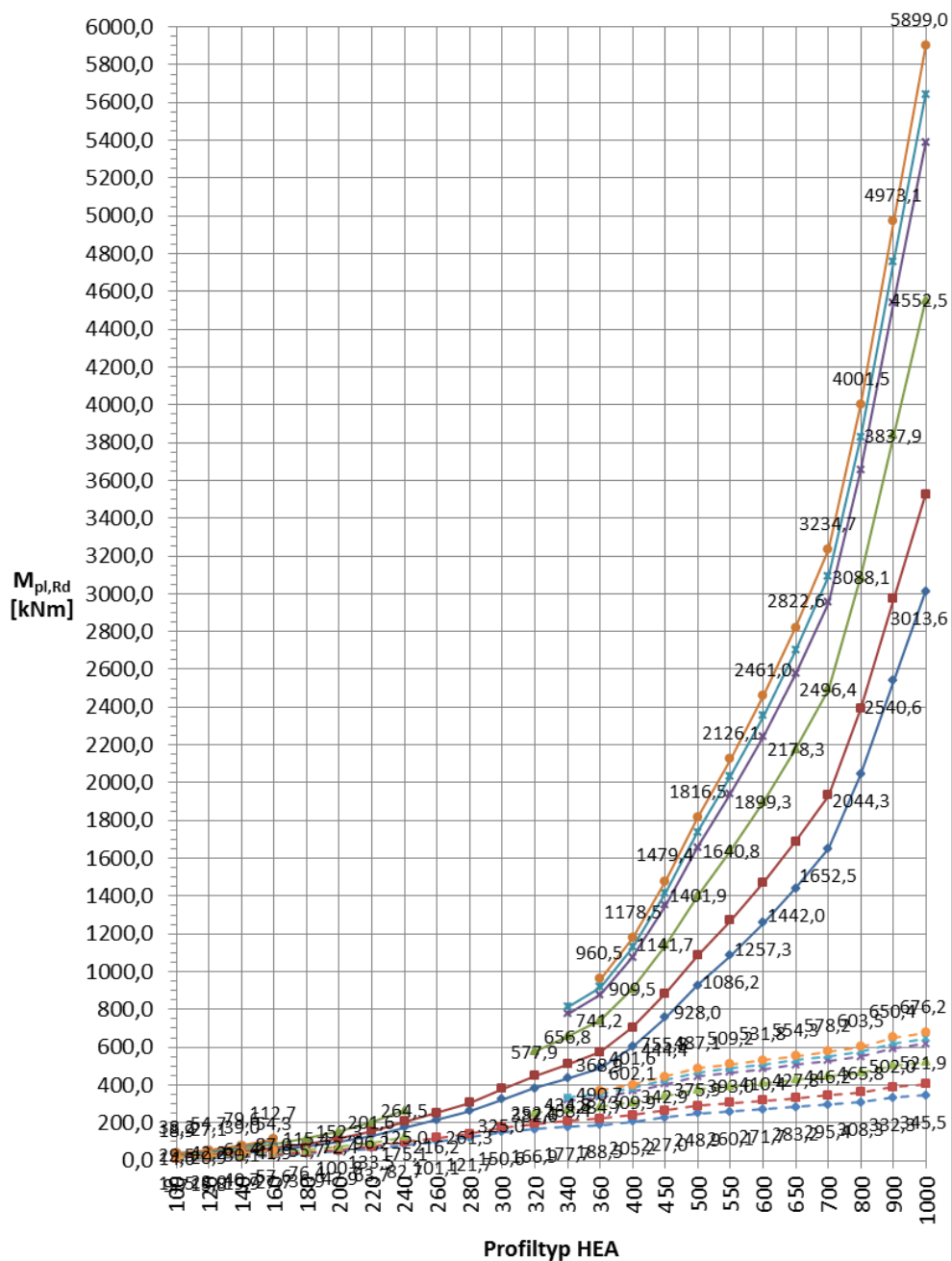
Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{c,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für IPE-Profile

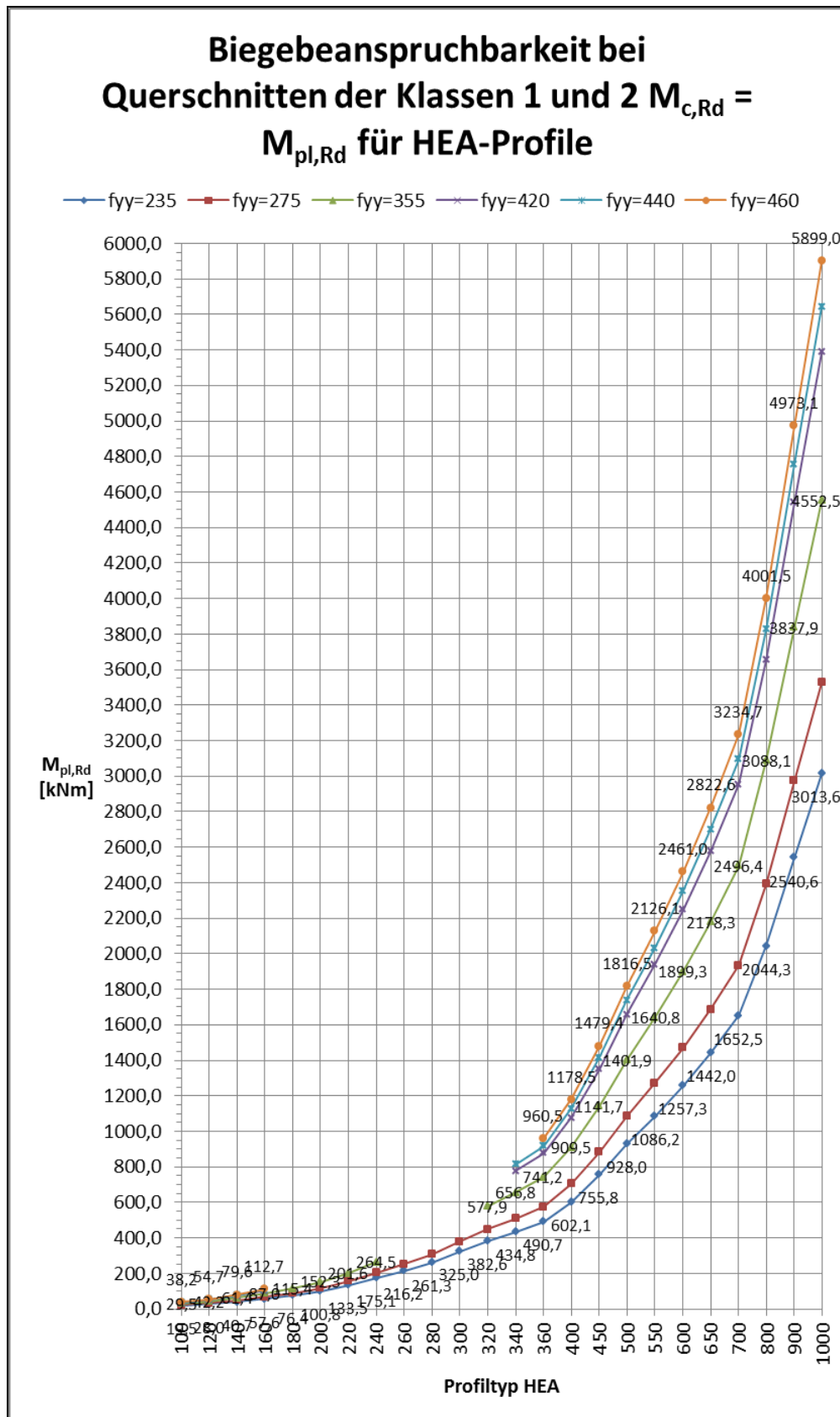


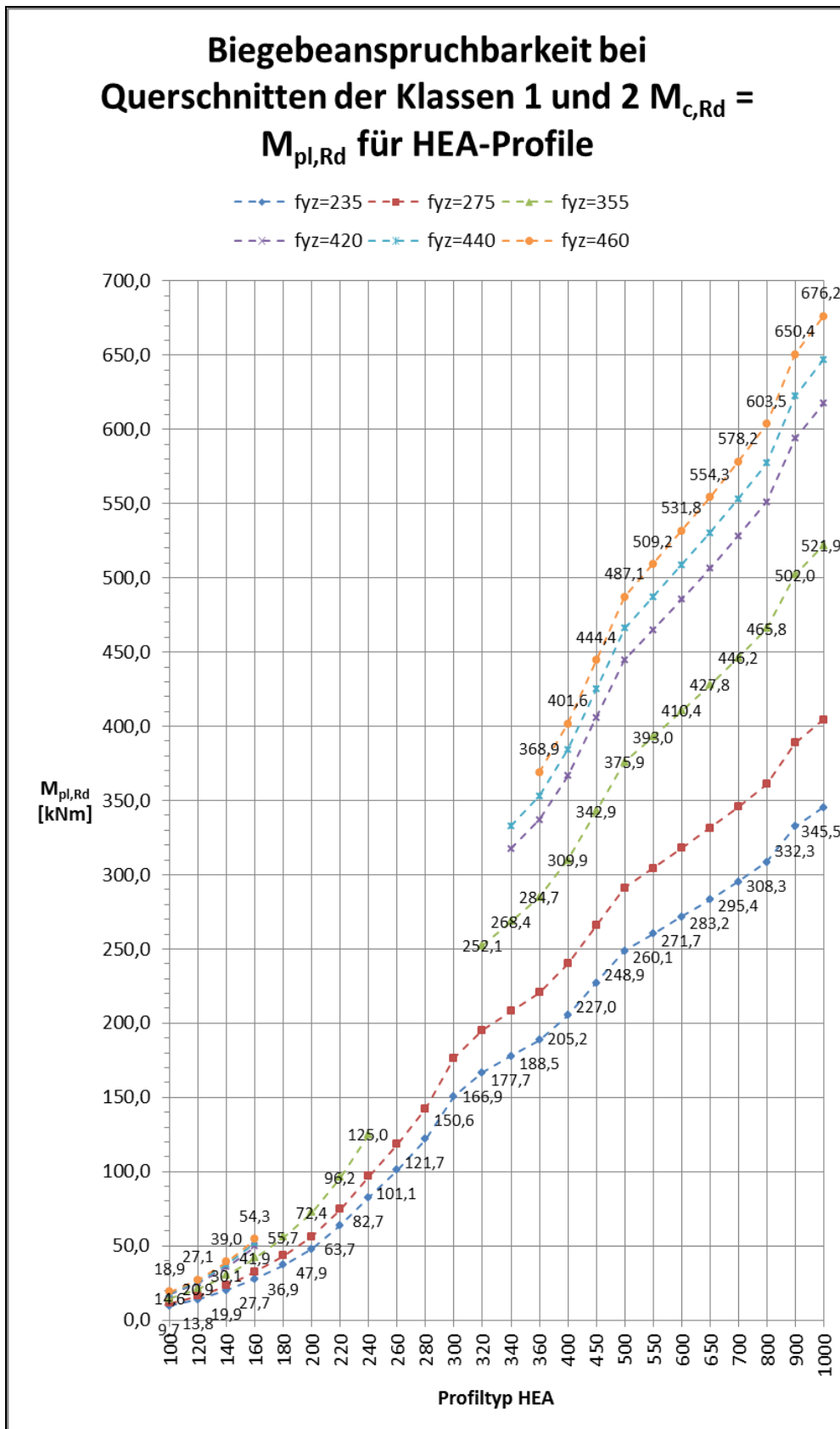


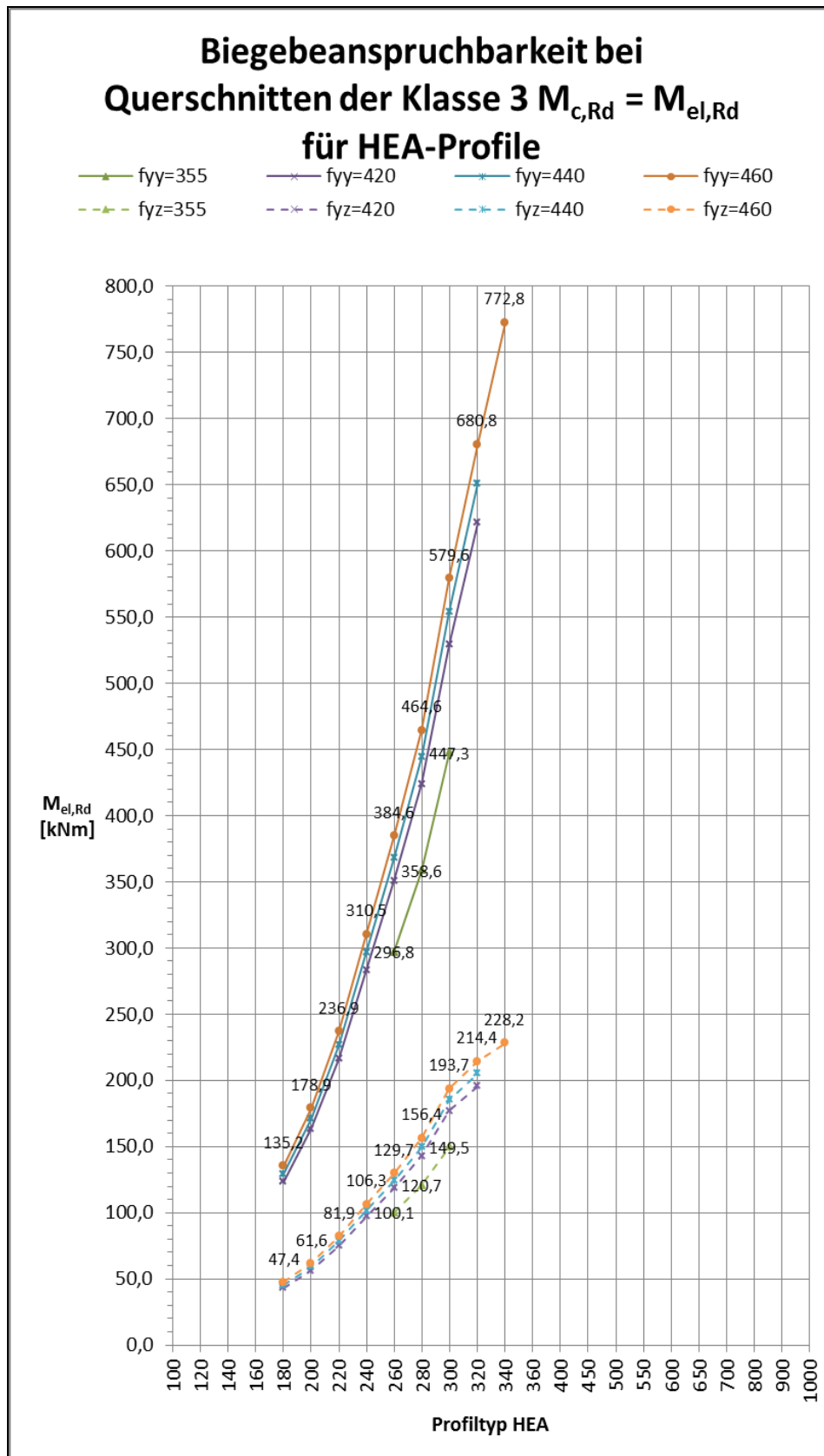
Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{c,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für HEA-Profile

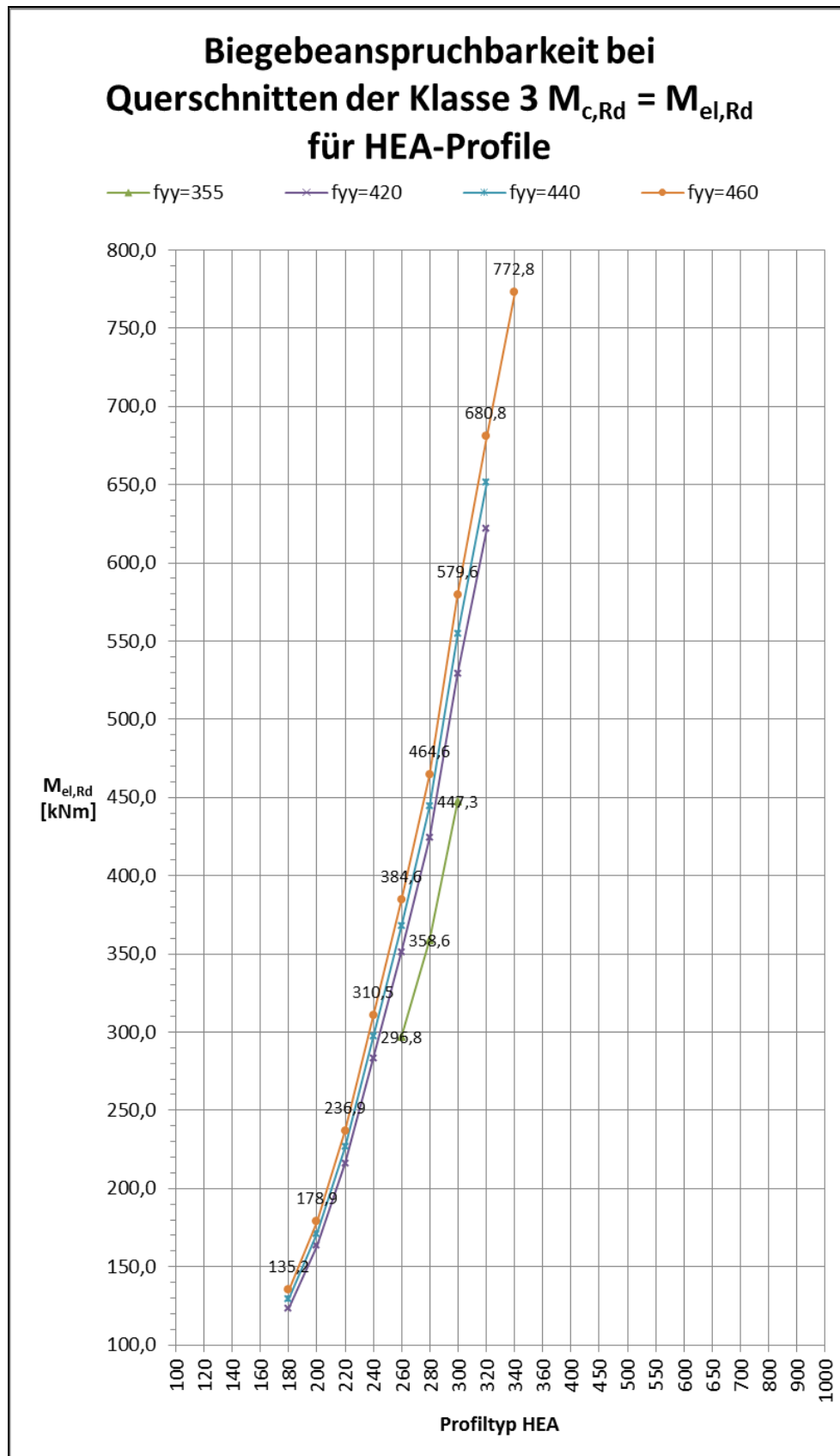
- ◆— $f_{yy}=235$ —■— $f_{yy}=275$ —▲— $f_{yy}=355$ —×— $f_{yy}=420$
—◆— $f_{yy}=440$ —●— $f_{yy}=460$ - -◆- - $f_{yz}=235$ - -■- - $f_{yz}=275$
- -▲- - $f_{yz}=355$ - -×- - $f_{yz}=420$ - -◆- - $f_{yz}=440$ - -●- - $f_{yz}=460$

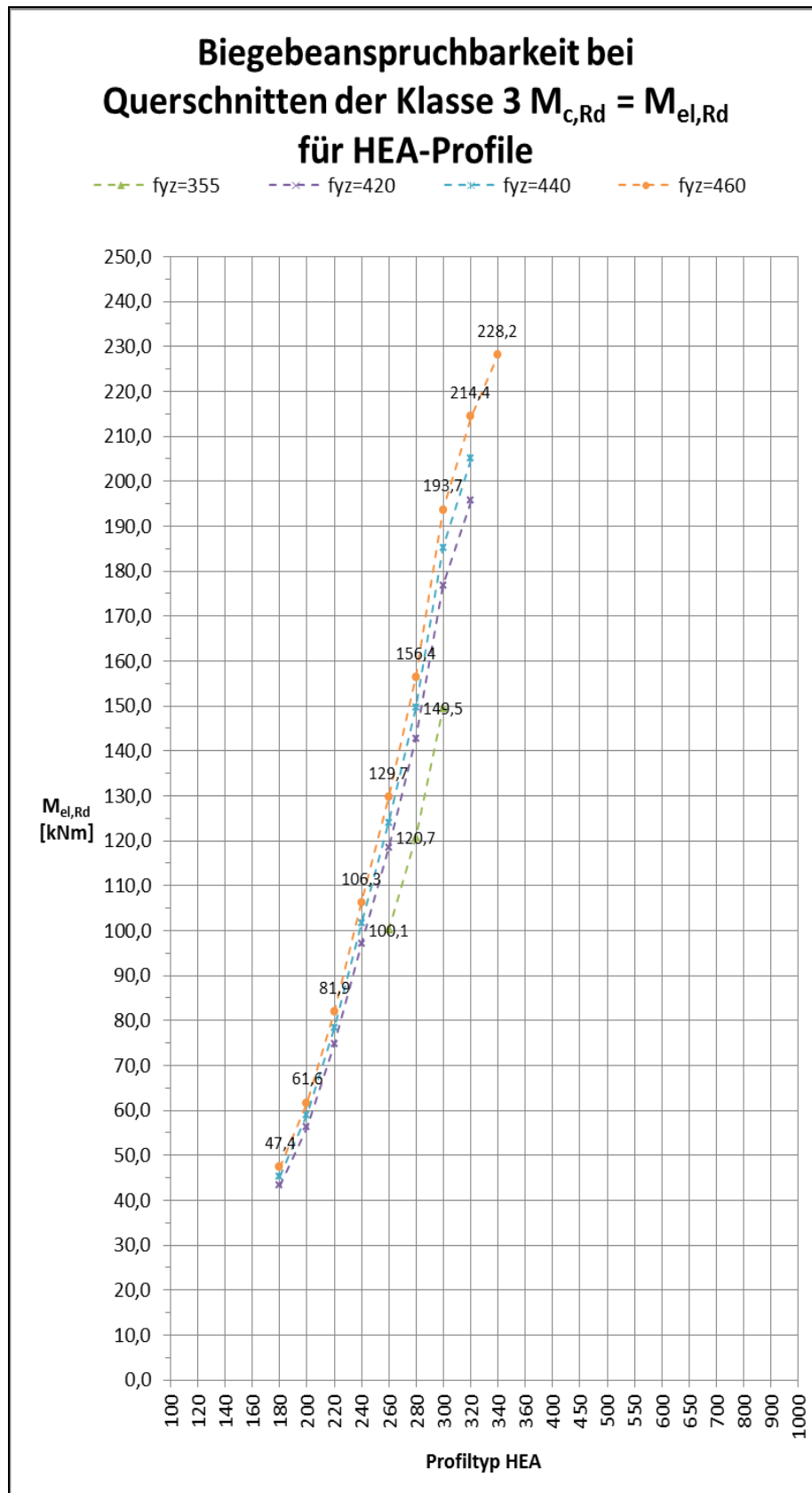




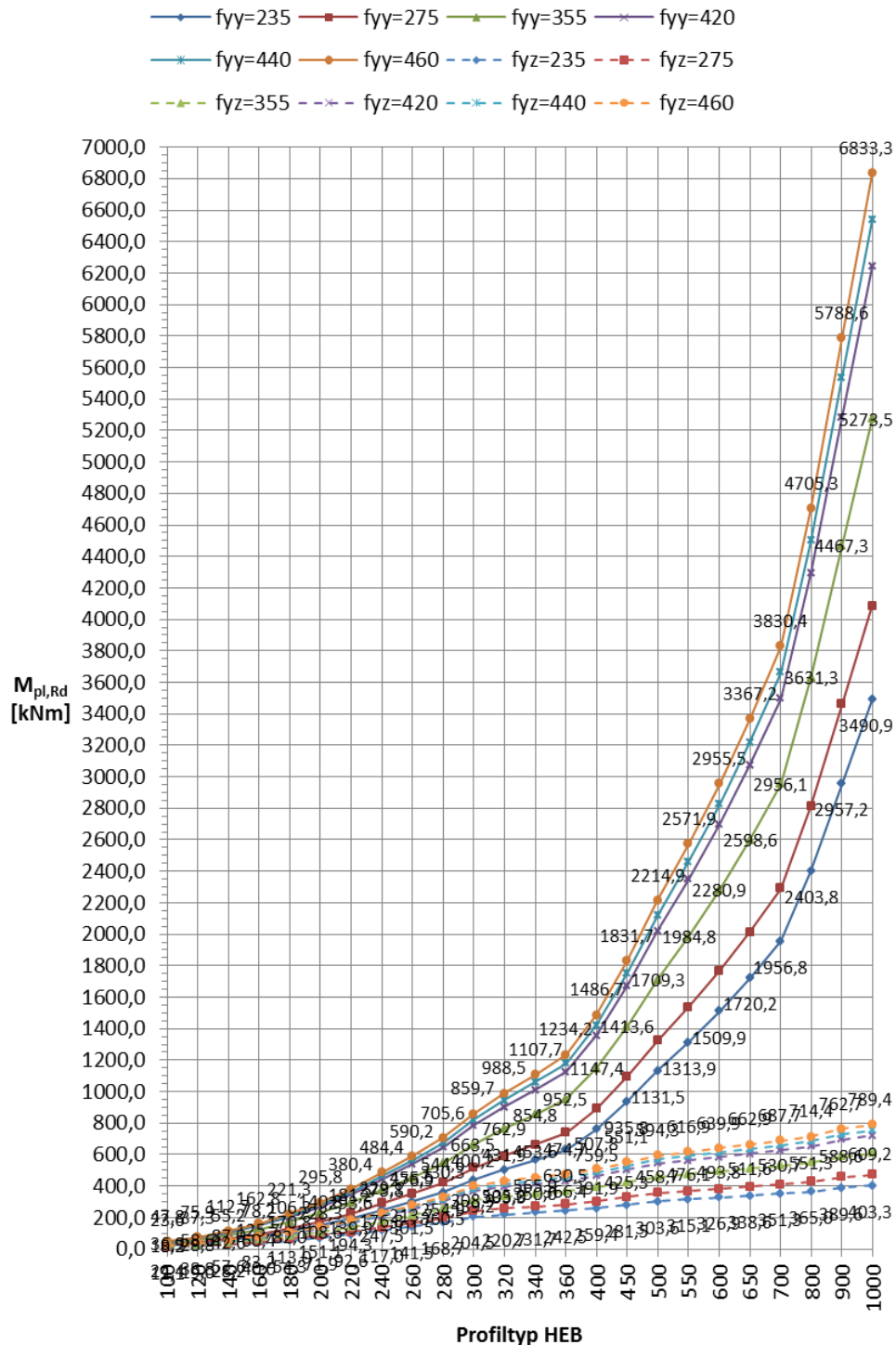




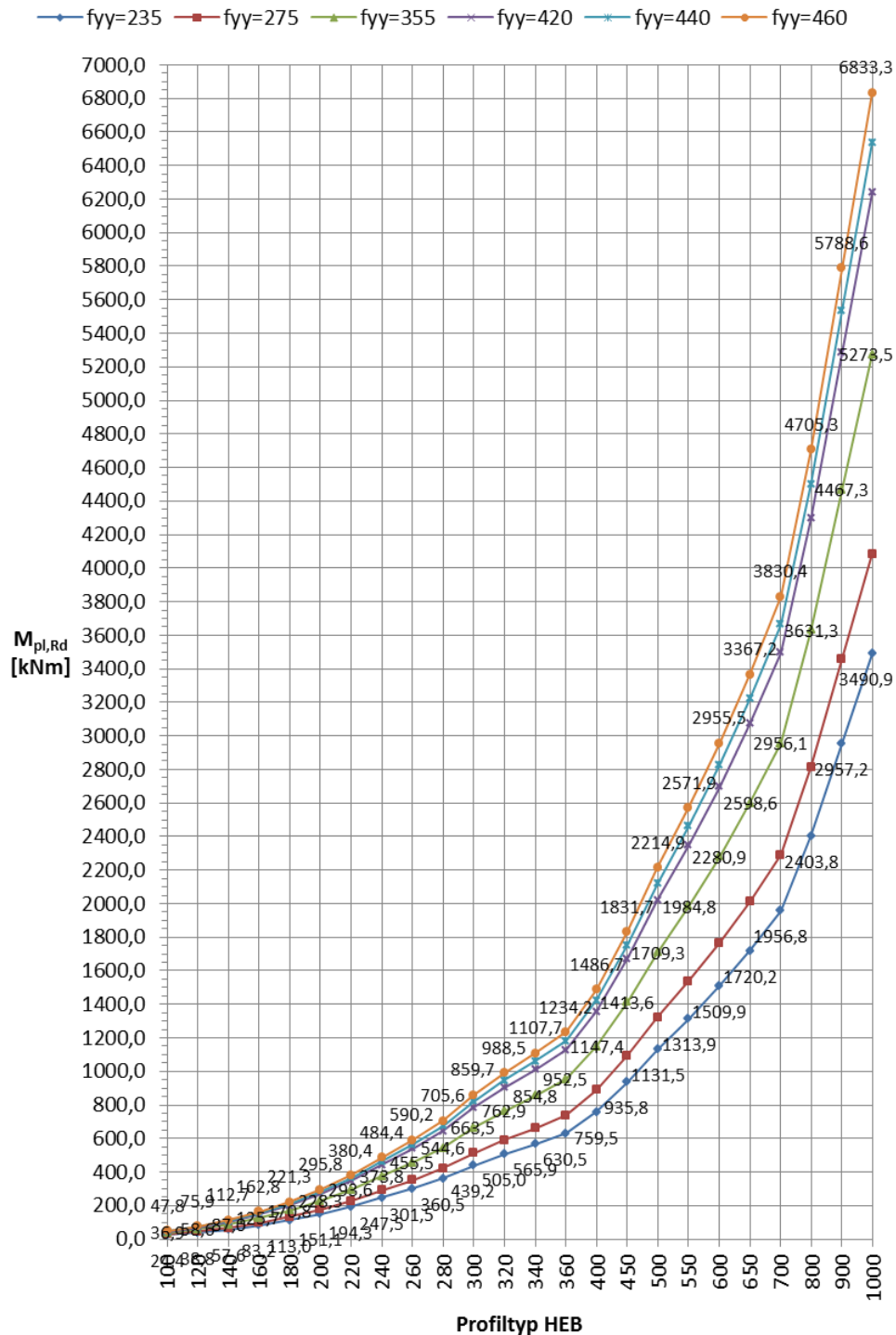


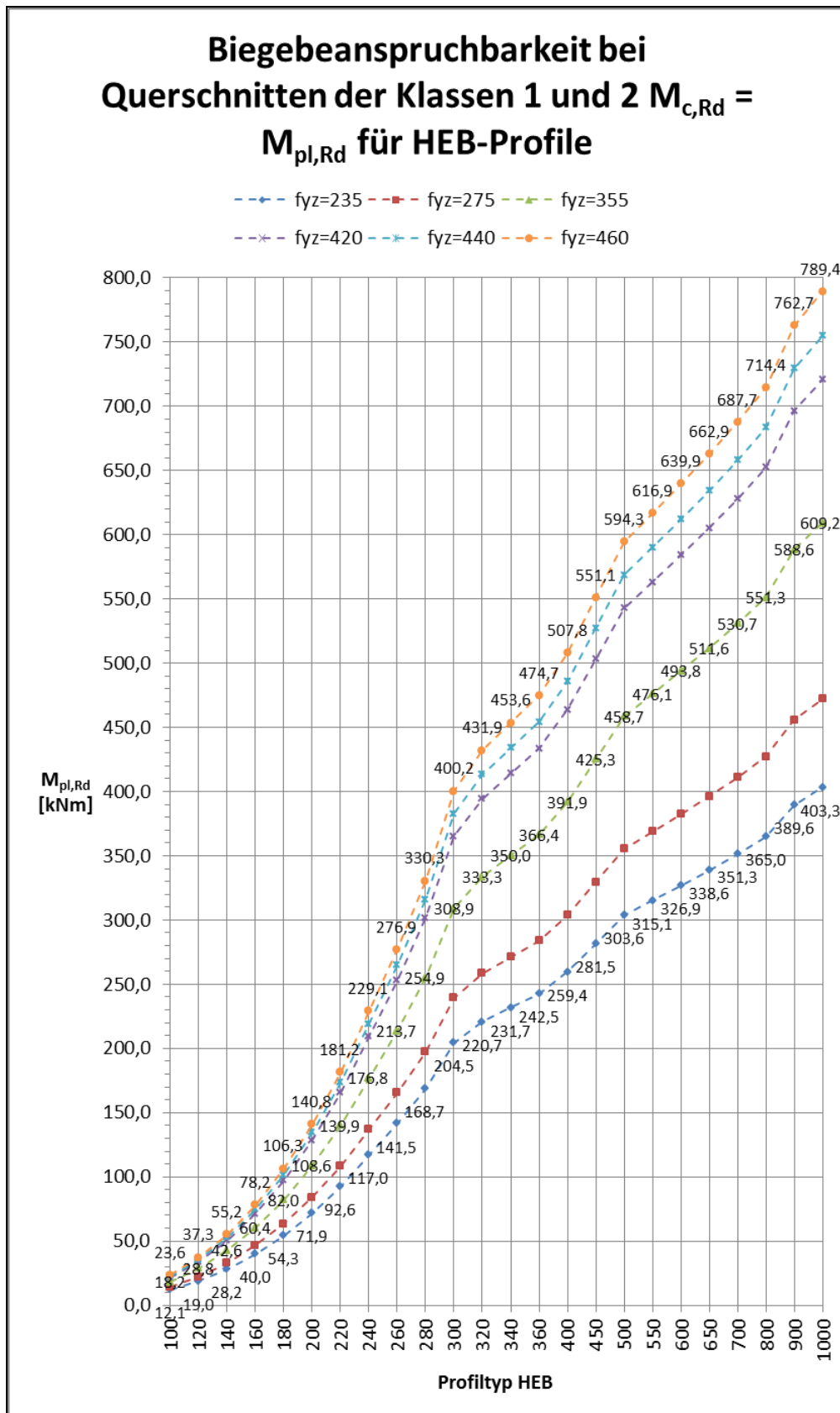


Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{C,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für HEB-Profile



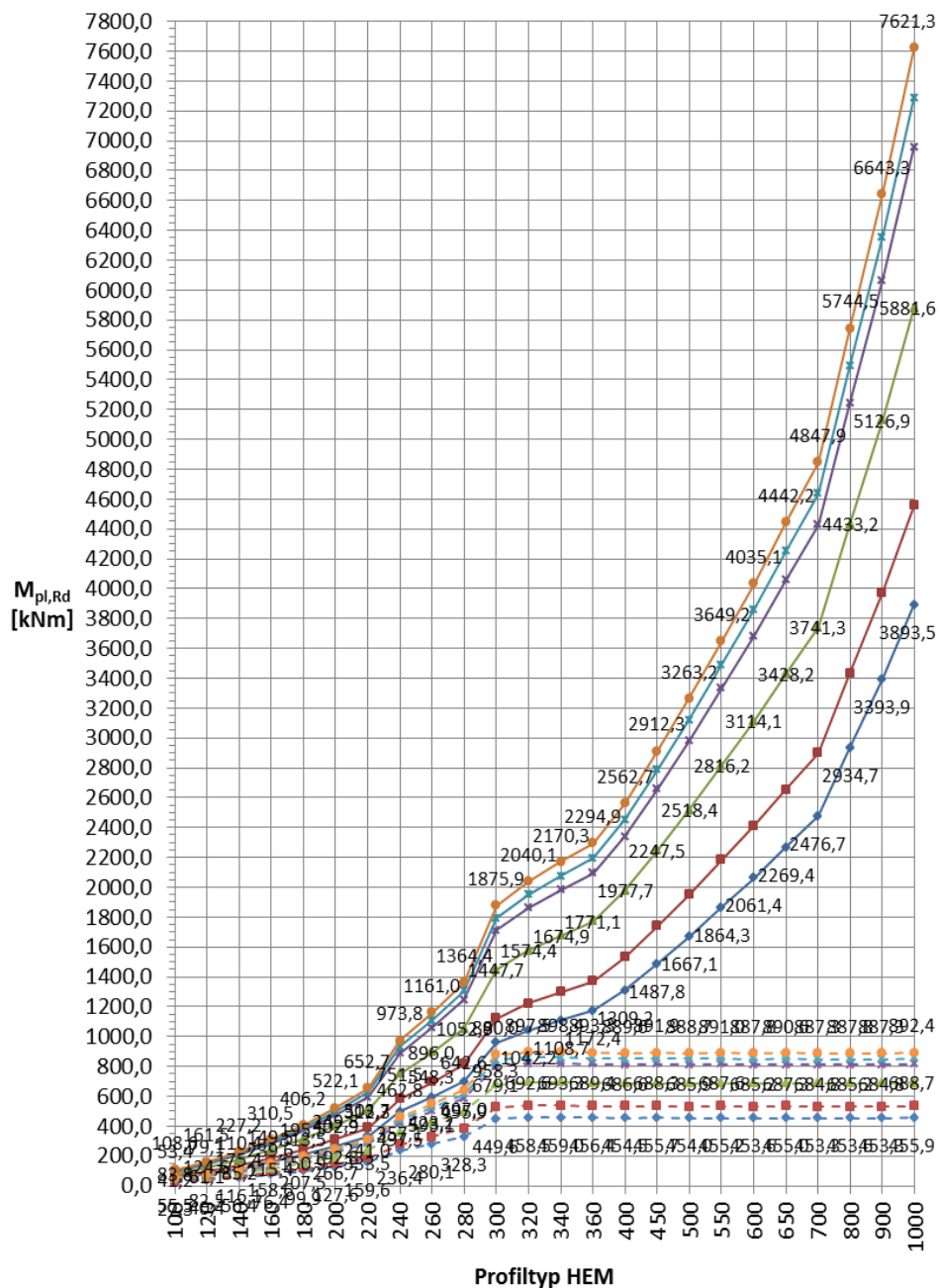
Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{c,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für HEB-Profile



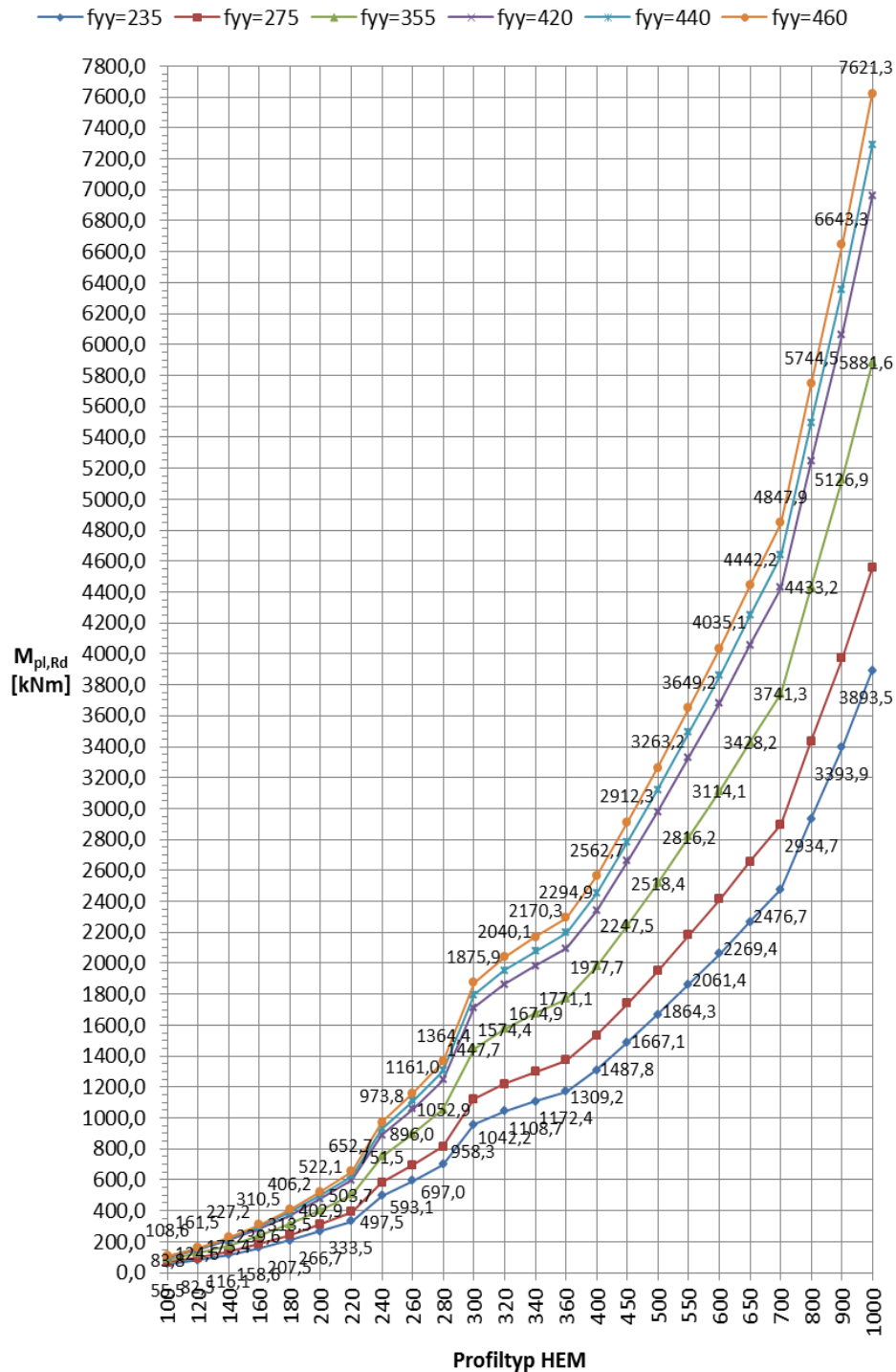


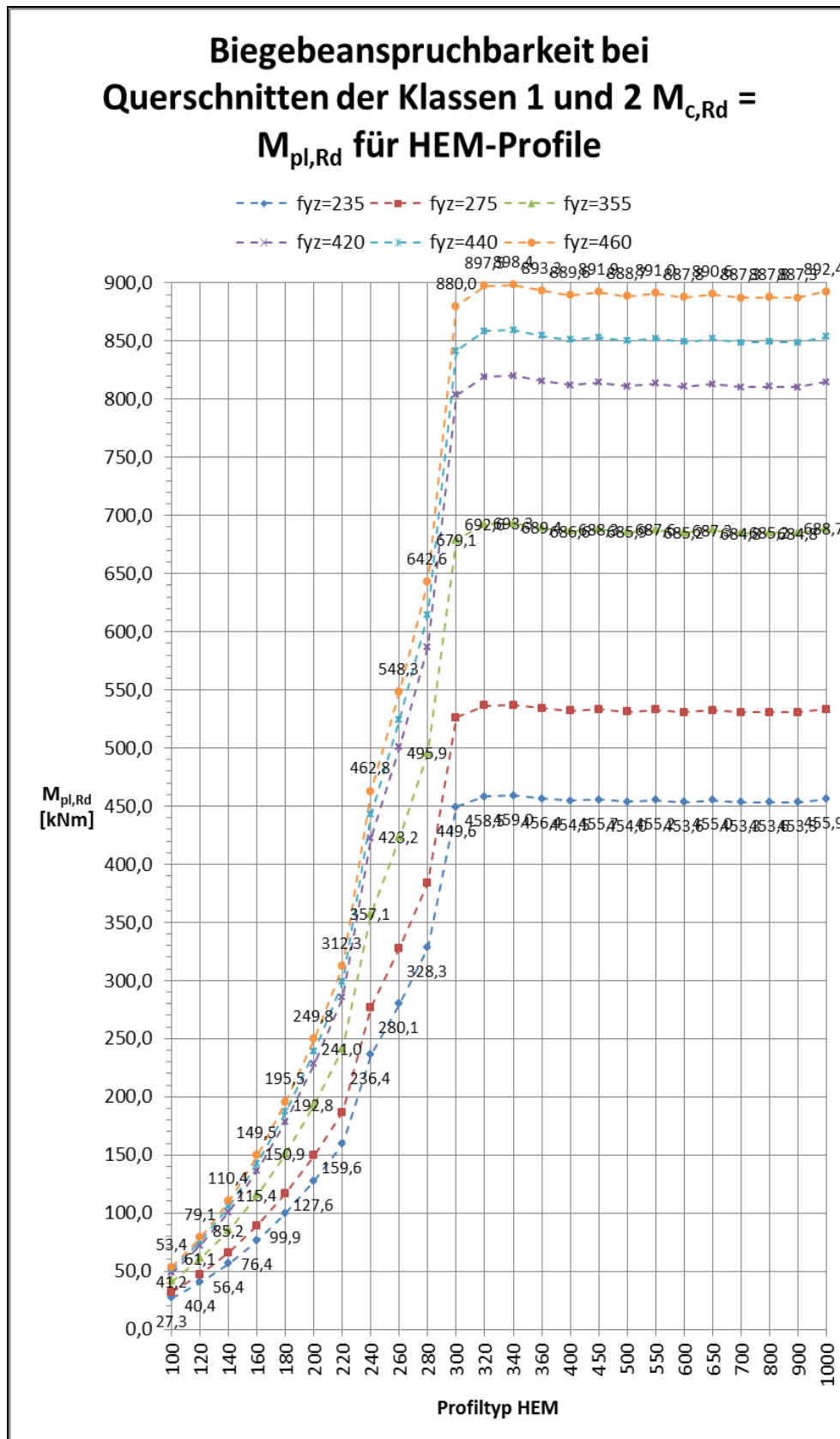
Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{C,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für HEM-Profile

- ◆ $f_{yy}=235$ ■ $f_{yy}=275$ ▲ $f_{yy}=355$ ✕ $f_{yy}=420$
✧ $f_{yy}=440$ ● $f_{yy}=460$ ◆ $f_{yz}=235$ ■ $f_{yz}=275$
▲ $f_{yz}=355$ ✕ $f_{yz}=420$ ✧ $f_{yz}=440$ ● $f_{yz}=460$



Biegebeanspruchbarkeit bei Querschnitten der Klassen 1 und 2 $M_{c,Rd} =$ $M_{pl,Rd}$ für HEM-Profile





Mit Hilfe dieser Diagramme kann sehr schnell die einachsige Biegebeanspruchbarkeit $M_{c,Rd}$ für verschiedene Walzprofile und Streckgrenzen f_y der Querschnittsklassen 1 und 2 sowie ggf. 3 ermittelt werden.

Literatur:

- | | | |
|-----|----------------------------|---|
| [1] | DIN EN 1993-1-1:2010-12 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den
Hochbau |
| [2] | DIN EN 1993-1-1/A1:2014-07 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den
Hochbau – 1. Änderung |
| [3] | DIN EN 1993-1-1/NA:2015-08 | Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode
3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den
Hochbau |

Impressum

Landesamt für Bauen und Verkehr
Bautechnisches Prüfamt
T. Schellenberg
Gulbener Straße 24
03046 Cottbus
Telefon 03342 4266-3501
Telefax 03342 4266-7608
PoststelleCB@LBV.Brandenburg.de
www.lbv.brandenburg.de