

Tipp 26/06

Wirksame Breite ebener druckbeanspruchter und beidseitig gestützter Einzelblechfelder ohne Längssteifen im Grenzzustand der Tragfähigkeit nach DIN EN 1993-1-5:2019-10 [1] in Verbindung mit Berichtigung 1:2020-07 [2] und DIN EN 1993-1-5/NA:2018-11 [3]

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit kann die wirksame Fläche $A_{c,eff}$ bei ebenen druckbeanspruchten Einzelblechfeldern ohne Längssteifen, entsprechend [1], Abschnitt 4.4, mit Hilfe der folgenden Gleichung bestimmt werden.

$$A_{c,eff} = \rho * A_c$$

In dieser Gleichung werden die folgenden Eingangswerte berücksichtigt.

- ρ Abminderungsfaktor für das Beulen
- A_c wirkliche Querschnittsfläche des druckbeanspruchten Blechfeldes

Alternativ kann diese wirksame Fläche $A_{c,eff}$ auch mittels der folgenden Gleichung berechnet werden.

$$A_{c,eff} = \rho * b_{eff} * t$$

In dieser Gleichung werden die folgenden Eingangswerte berücksichtigt.

- ρ Abminderungsfaktor für das Beulen
- b_{eff} wirksame Querschnittsbreite des druckbeanspruchten Blechfeldes
- t Dicke des druckbeanspruchten Blechfeldes

Auf die Ermittlung des Abminderungsfaktors für das Beulen ρ soll hier vorerst nicht eingegangen werden. Die Blechdicke des druckbeanspruchten Feldes t ist im Allgemeinen bekannt. Somit bleibt nur noch die wirksame Querschnittsbreite des druckbeanspruchten Blechfeldes als ungekannte Größe. Deren Ermittlung soll nachfolgend genauer betrachtet werden.

Für zweiseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile ist die wirksame Breite b_{eff} entsprechend der Vorgaben aus [1], Tabelle 4.1 zu bestimmen. Nach diesen Vorgaben können auch die beidseitigen anteiligen Breiten der Druckspannungsbereiche b_{e1} und b_{e2} ermittelt werden. Die entsprechenden Bestimmungsgleichungen sind nachfolgend angegeben.

- für $\psi = 1,0$ $b_{eff} = \rho * \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 * b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 * b_{eff}$
- für $1,0 > \psi \geq 0,0$ $b_{eff} = \rho * \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5 - \psi} * b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$
- für $\psi < 0,0$ $b_{eff} = \rho * b_c = \frac{\rho * \bar{b}}{1 - \psi}$ $b_{e1} = 0,4 * b_{eff}$ $b_{e1} = 0,6 * b_{eff}$

Für die Ermittlung der entsprechenden Breiten des Blechfeldes werden zusätzlich zu den schon bekannten, die folgenden Werte benötigt.

ψ	Randspannungsverhältnis
\bar{b}	maßgebende Breite des Blechfeldes
b_c	Breite des Blechfeldes, welche durch Druckspannung beansprucht wird

Das Randspannungsverhältnis ψ ist entsprechend [1], Tabelle 4.1 innerhalb eines Bereiches von $1,0 \geq \psi \geq -3$ zulässig und nach der folgenden Gleichung zu bestimmen.

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$$

Dabei müssen die Randspannungen σ_1 und σ_2 an den Rändern des beidseitig gestützten Blechfeldes berücksichtigt werden. Diese Randspannungen sind projektbezogen zu ermitteln und damit ist das Randspannungsverhältnis ψ zu bestimmen.

Die maßgebende Breite des Blechfeldes \bar{b} ist, entsprechend [1], Abschnitt 4.4 (2) für Stege mit $\bar{b} = b_w$, für beidseitig gestützte Gurtelemente – außer bei Rechteckhohlprofilen – mit $\bar{b} = b$ und bei Gurten von Rechteckhohlprofilen mit $\bar{b} = b - 3 \cdot t$ anzusetzen.

Der Abminderungsfaktor für das Beulen ρ ist bei beidseitig gestützten Querschnittsteilen, entsprechend [1], Abschnitt 4.4(2), mittels der folgenden Gleichungen zu berechnen.

- für $\bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$	$\rho = 1,0$
- für $\bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot \psi}$	$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$

Für die Ermittlung dieses Abminderungsfaktors ρ wird auch der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ benötigt.

Für die Berechnung des Schlankheitsgrades $\bar{\lambda}_p$ ist die folgende Gleichung anzuwenden.

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}}{t} \cdot \frac{1}{28,4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$$

In dieser Gleichung werden die folgenden Werte berücksichtigt.

f_y	Streckgrenze des Blechmaterials
σ_{cr}	kritische elastische Beulspannung
t	Blechdicke des Blechfeldes
ε	Materialbeiwert
k_σ	Beulwert in Abhängigkeit vom Randspannungsverhältnis ψ

Die Streckgrenze f_y und die Blechdicke t sind normalerweise innerhalb eines Projektes bekannt.

Die kritische elastische Beulspannung σ_{cr} darf mit Hilfe der folgenden Gleichung ermittelt werden.

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \cdot \sigma_E$$

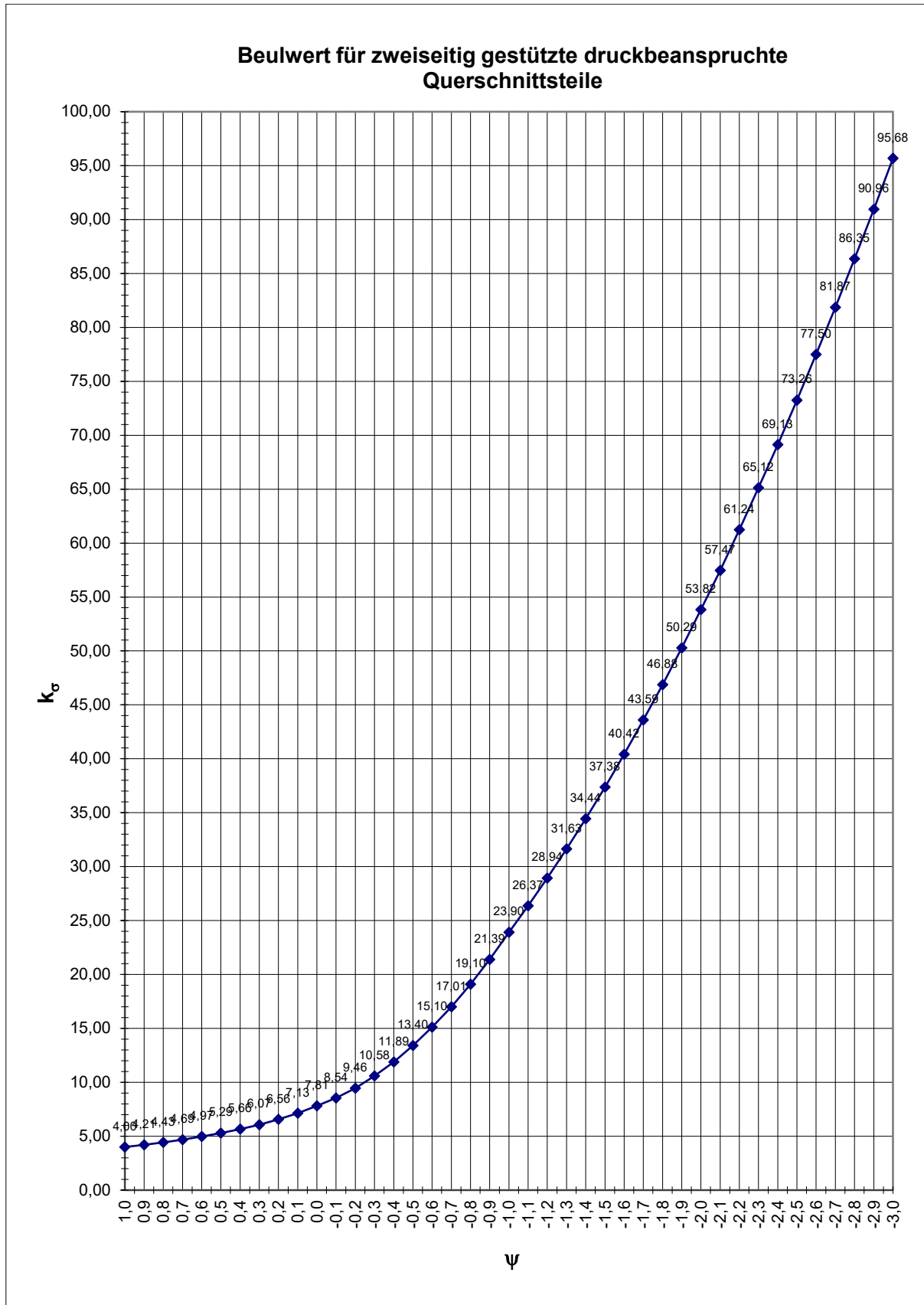
In dieser Gleichung werden der Beulwert des zweiseitig gestützten Blechfeldes k_{σ} und die elastische Beulspannung σ_E berücksichtigt.

Der Beulwert des zweiseitig gestützten Blechfeldes k_{σ} ist entsprechend [1], Tabelle 4.1 für Randspannungsverhältnisse von $1 \geq \psi \geq -3$ zu berechnen.

Innerhalb der zulässigen Grenzen für das Randspannungsverhältnis ψ kann der Beulwert k_{σ} nach den folgenden Gleichungen bestimmt werden.

- für $\psi = 1,0$ $k_{\sigma} = 4,0$
- für $1,0 > \psi > 0$ $k_{\sigma} = \frac{8,2}{1,05 + \psi}$
- für $\psi = 0$ $k_{\sigma} = 7,81$
- für $0 > \psi > -1,0$ $k_{\sigma} = 7,81 - 6,29 * \psi + 9,78 * \psi^2$
- für $\psi = -1,0$ $k_{\sigma} = 23,9$
- für $-1,0 > \psi > -3,0$ $k_{\sigma} = 5,98 * (1 - \psi)^2$

Eine Auswertung dieser Gleichungen zur Bestimmung des Beulwertes k_{σ} ergibt den folgenden graphischen Verlauf der Funktion.



Die elastische Beulspannung σ_E kann mittels der folgenden Gleichung ermittelt werden.

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 * E * t^2}{12 * (1 - \nu^2) * b^2} \approx 190000 * \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

In dieser Gleichung finden, zusätzlich zu den schon eingeführten, die folgenden Werte Berücksichtigung.

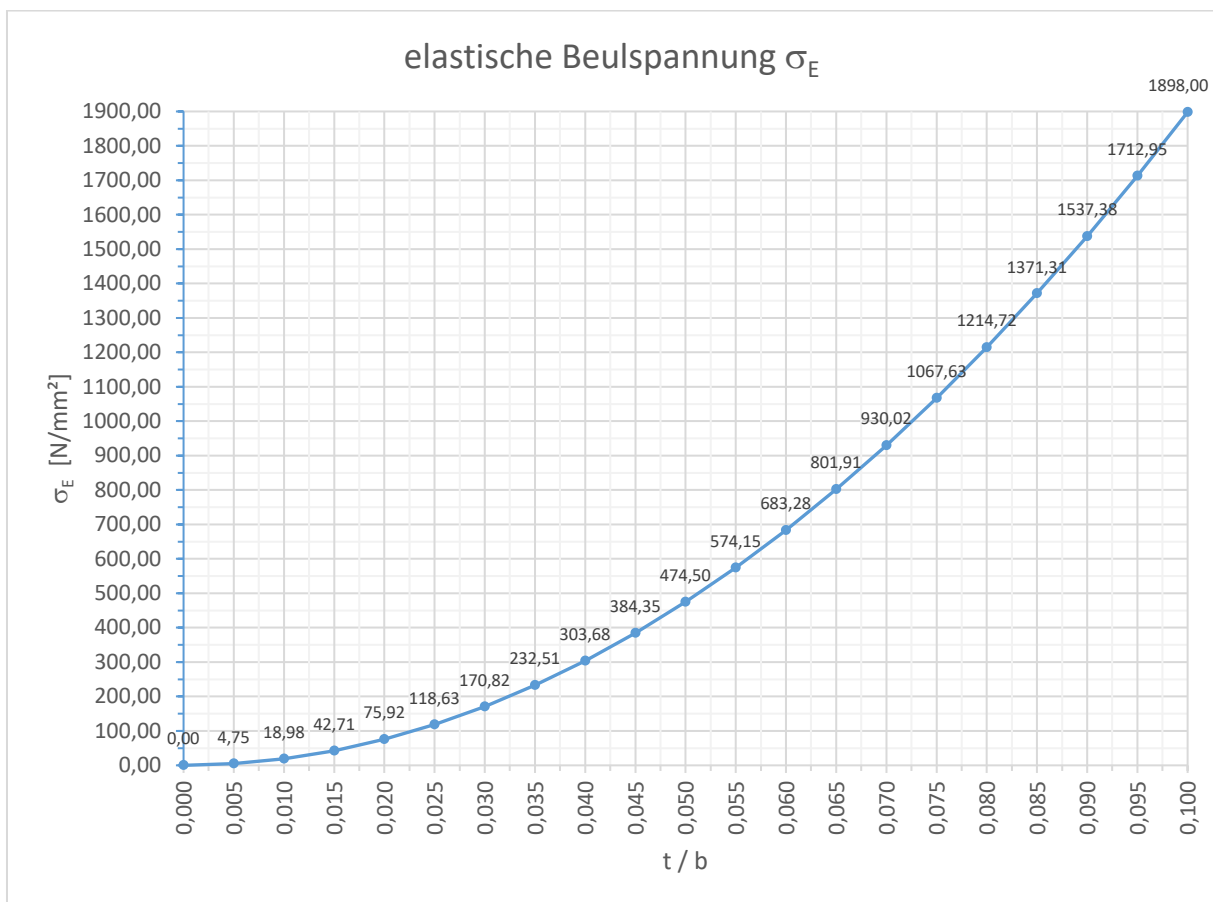
- E Elastizitätsmodul des Stahls
- ν Querdehnzahl des Stahls
- b Breite des Blechfeldes

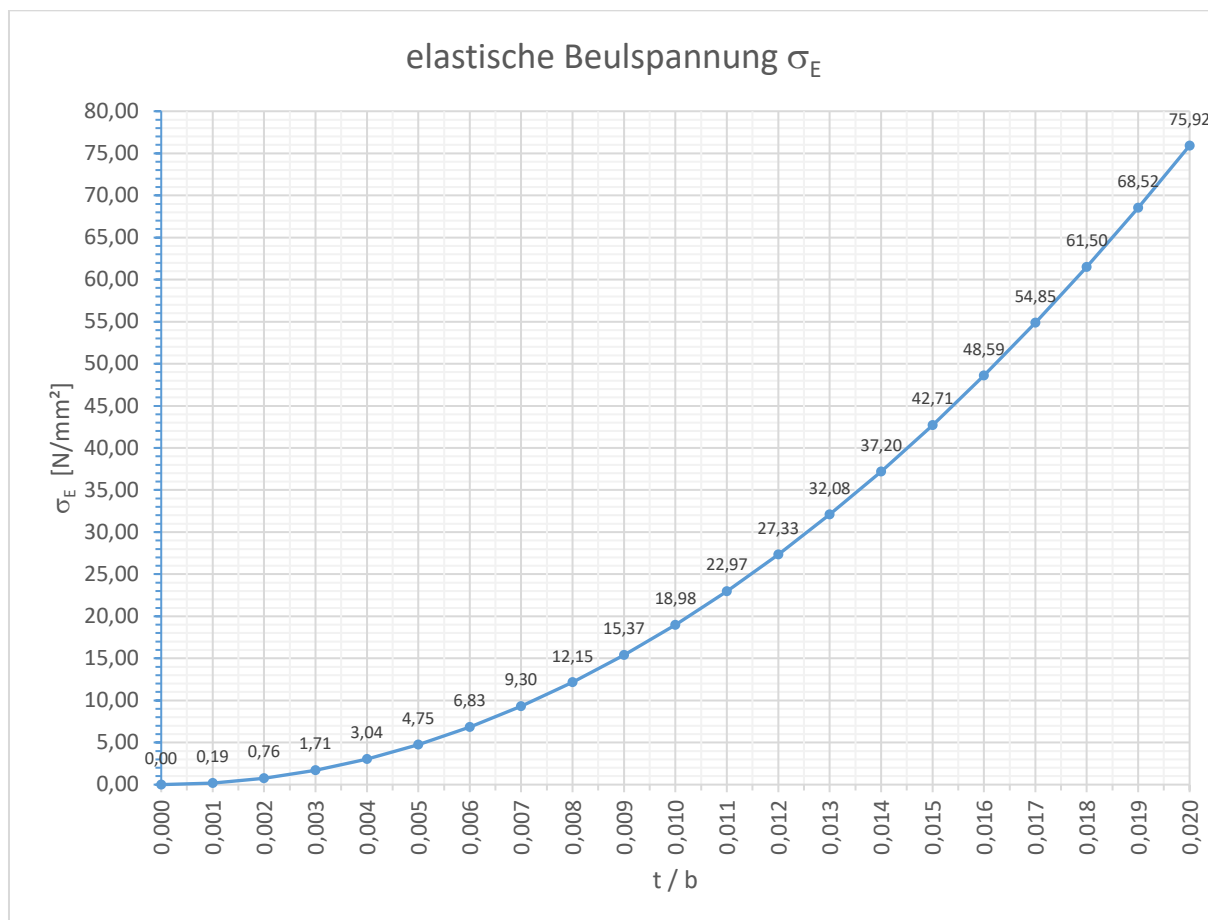
Der Elastizitätsmodul und die Querdehnzahl des Stahls können aus [4], Abschnitt 3.2.6 entnommen werden und sind mit $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ und $\nu = 0,3$ anzunehmen.

Die Breite des Blechfeldes kann mit der maßgebenden Breite des Blechfeldes \bar{b} gleichgesetzt werden.

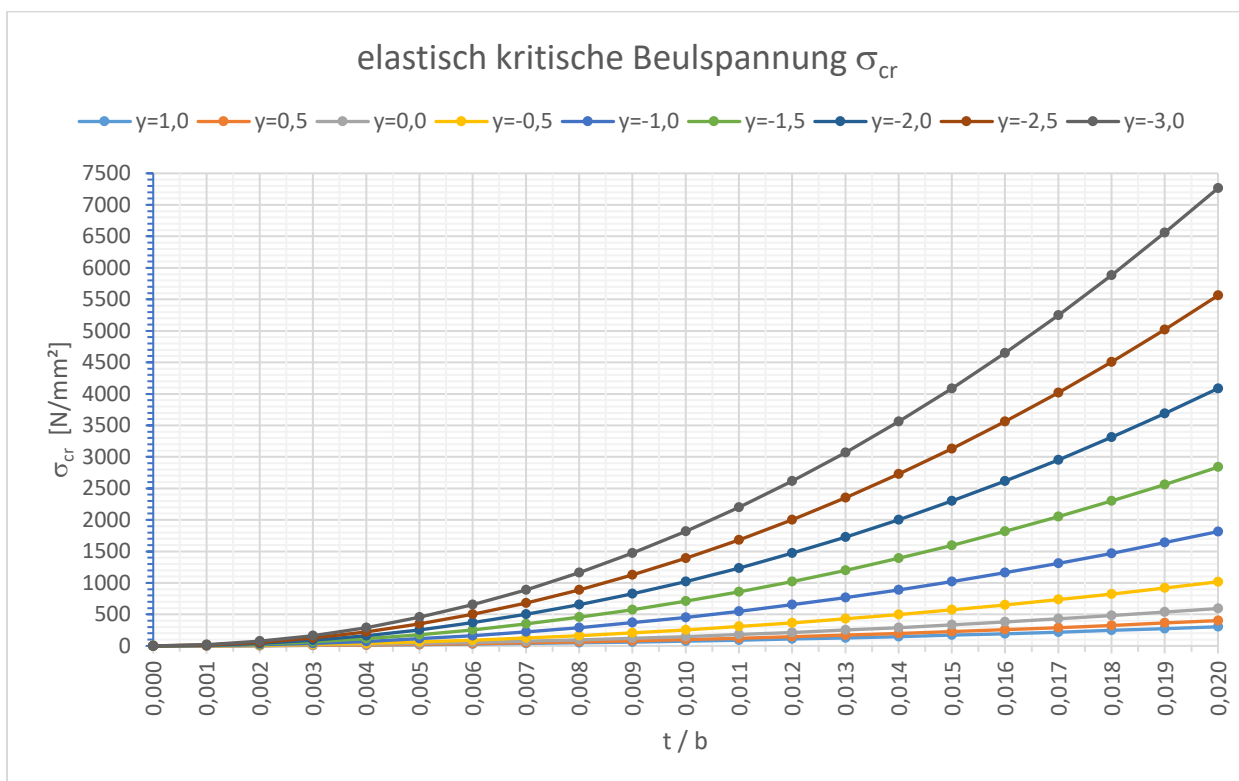
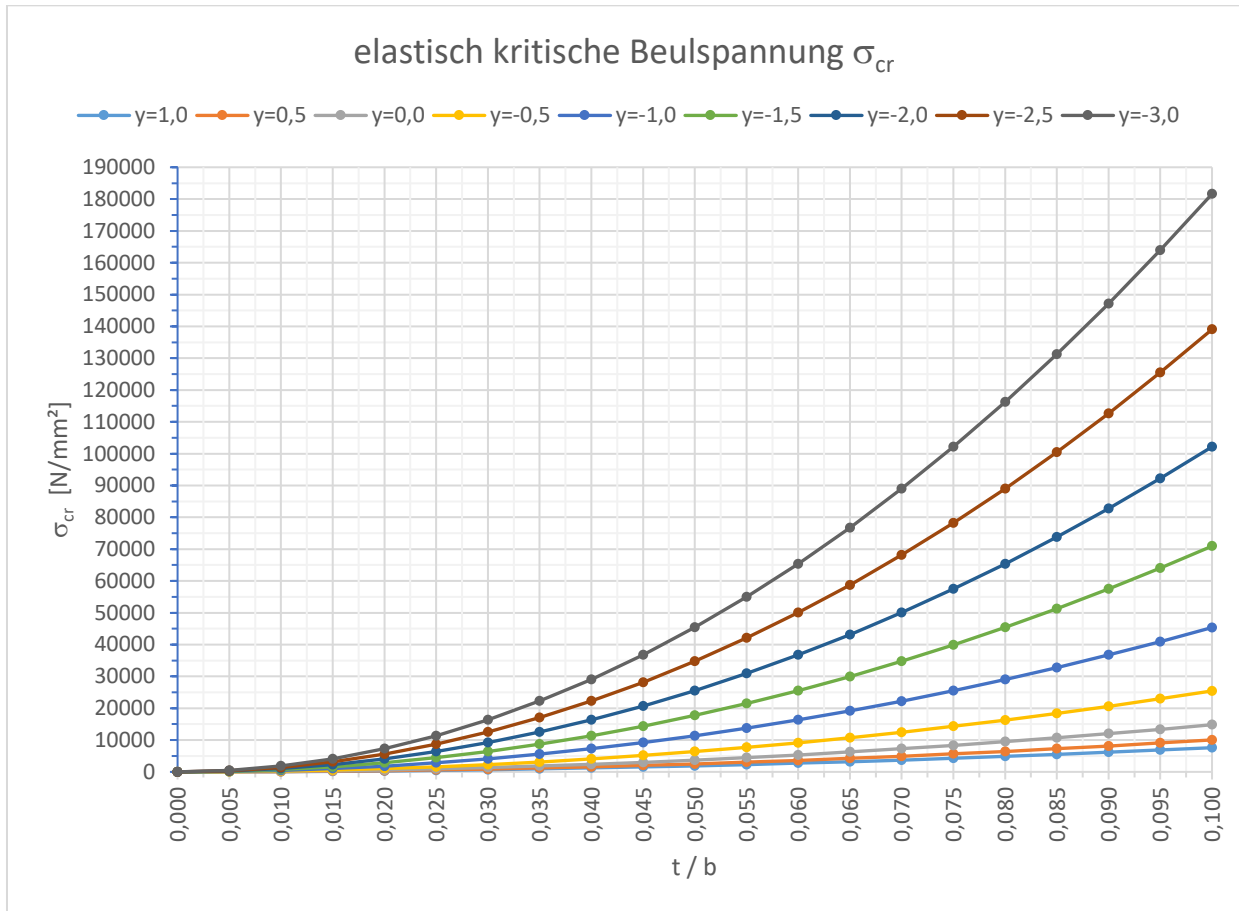
Nach Auswertung der Gleichung der elastischen Beulspannung σ_E für $0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,10$ und detaillierter für

$0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,02$ ergeben sich die beiden folgenden Diagramme.





Somit kann nach der Ermittlung des Randspannungsverhältnisses und des Verhältnisses $\frac{t}{b}$ mit Hilfe der vorgestellten Diagramme die kritische elastische Beulspannung σ_{cr} einfach ermittelt werden. Die Ergebnisse der Ermittlung von σ_{cr} für geometrische Verhältnisse $0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,10$ und detaillierter für $0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,02$ und verschiedene Randspannungsverhältnisse ψ (hier mit y bezeichnet) können den beiden folgenden Diagrammen entnommen werden.



Damit kann wiederum der Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ mit Hilfe der Gleichung $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}}$ berechnet werden.

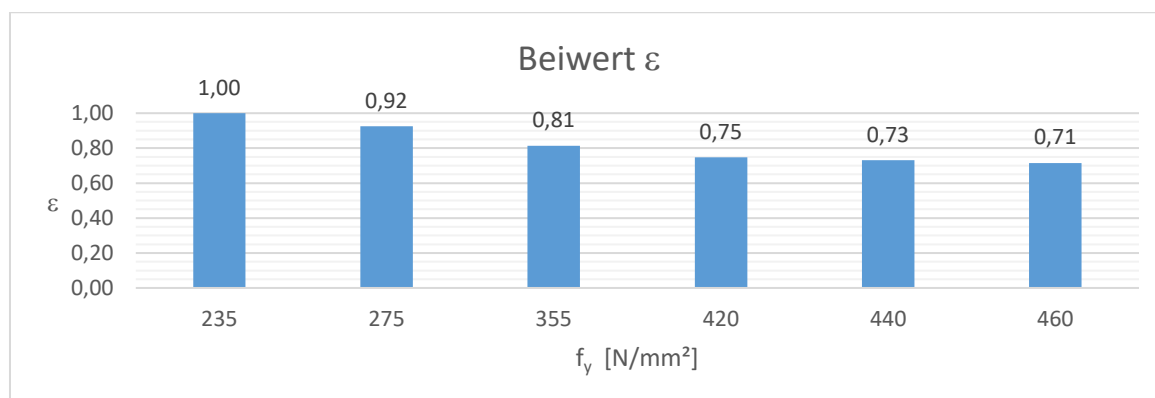
Alternativ darf dieser Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ auch auf einen zweiten Weg mittels der Gleichung

$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}}$ berechnet werden. Hierfür werden der Materialbeiwert ε , der Beulwert k_σ in Ab-

hängigkeit von Randspannungsverhältnis ψ und das Verhältnis $\frac{\bar{b}}{t}$ benötigt.

Der Materialbeiwert ε wird mit Hilfe der folgenden Gleichung ermittelt und die Ergebnisse für in Deutschland normativ geregelte Stähle kann dem folgenden Diagramm entnommen werden.

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$



Die Vorgehensweise zur Ermittlung des Beulwertes k_σ wurde schon oben dargelegt und das entsprechende Diagramm ist anzuwenden.

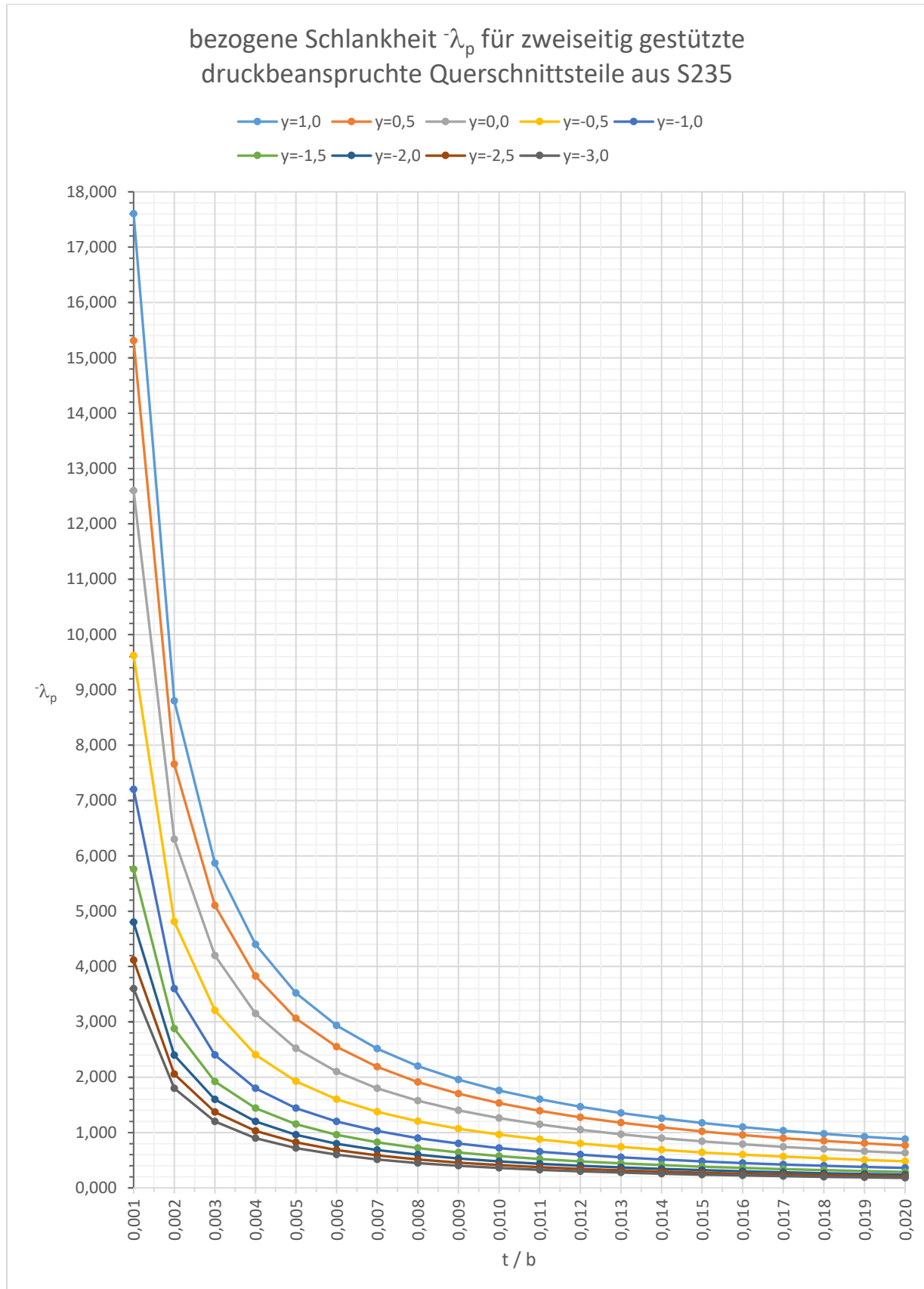
Das geometrische Verhältnis $\frac{\bar{b}}{t}$ kann mittels der obigen Erläuterungen berechnet werden. Damit das bei

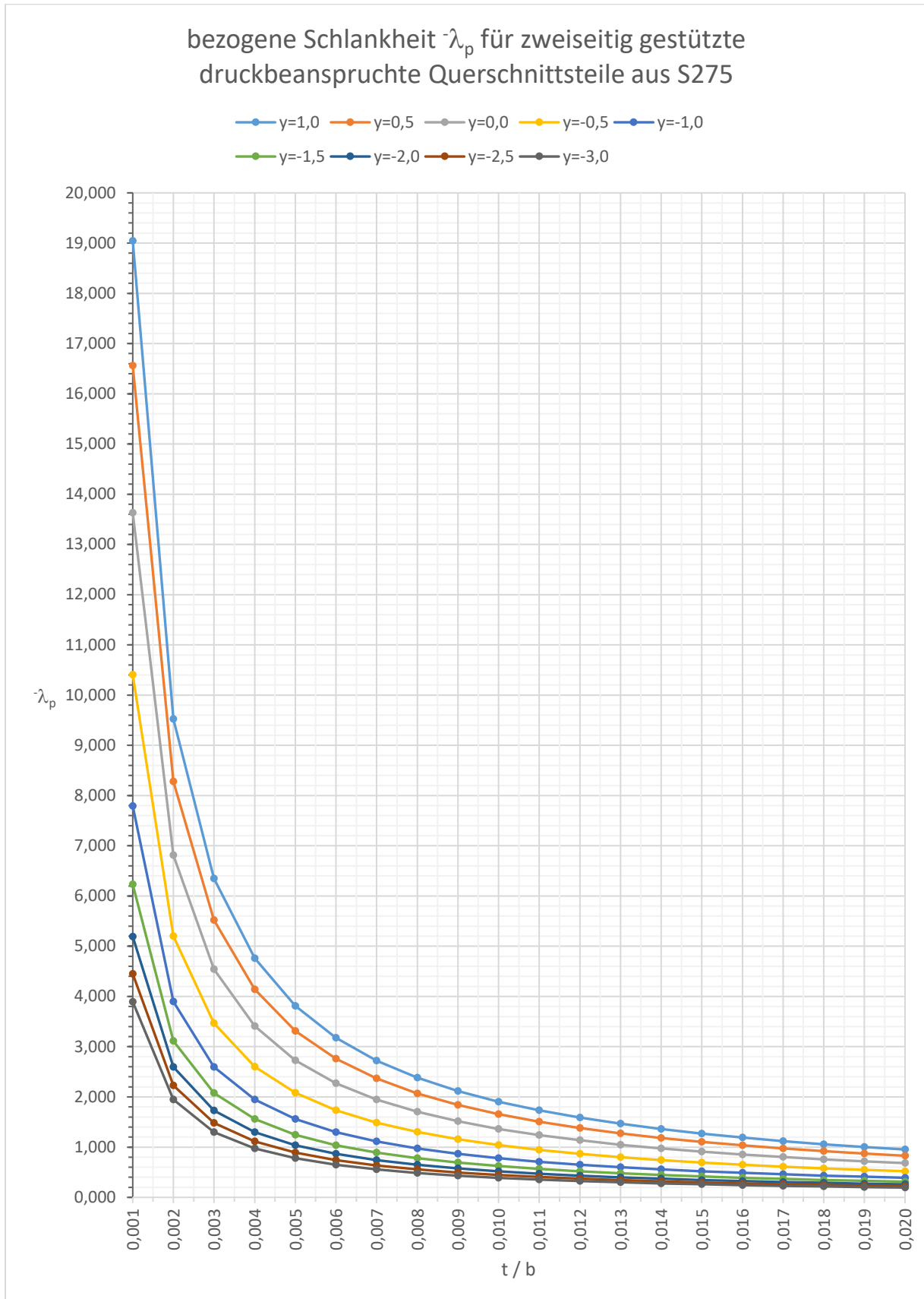
der Ermittlung der elastisch kritischen Beulspannung notwendige Verhältnis $\frac{t}{b} = \frac{t}{\bar{b}}$ verwendet werden

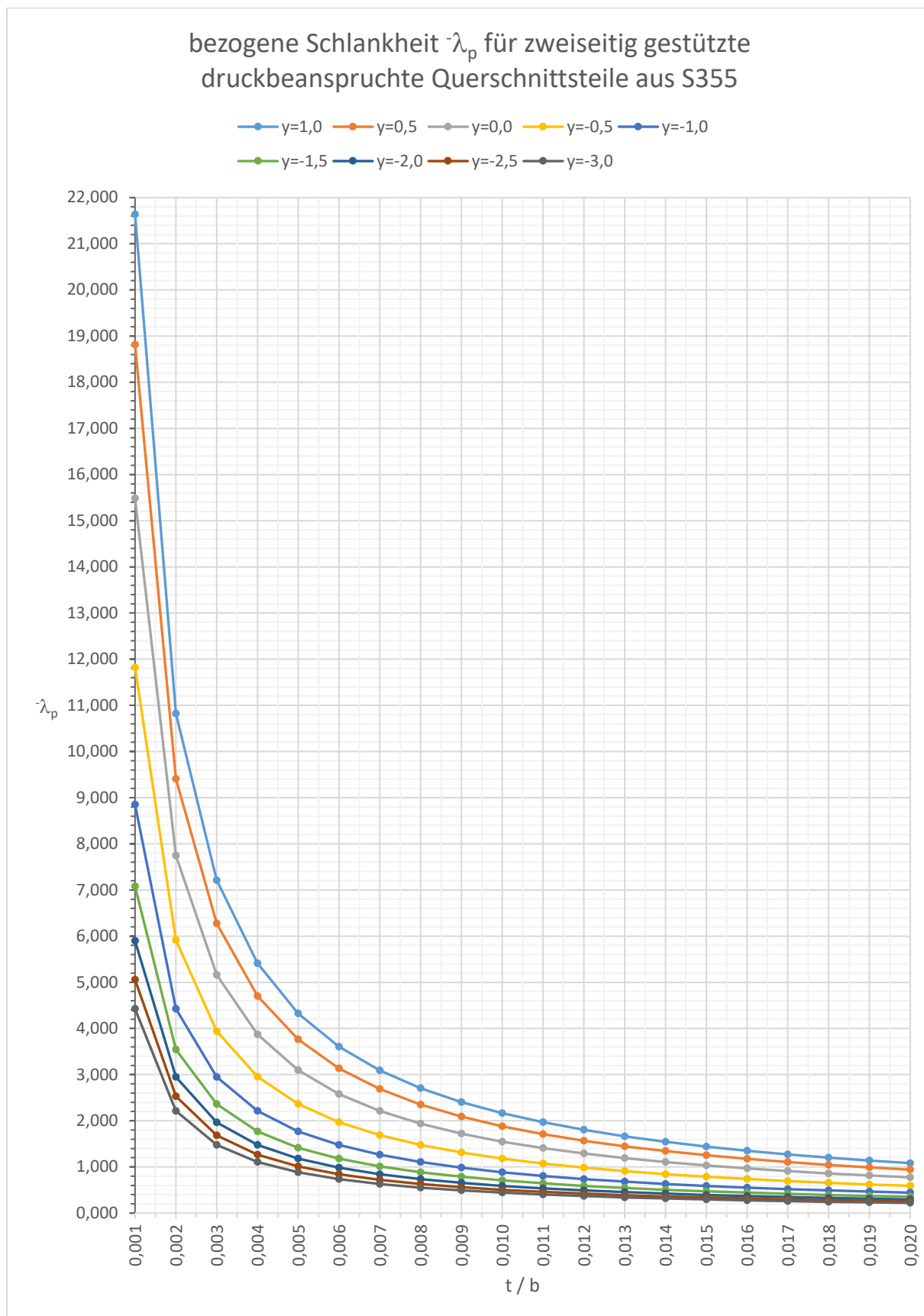
kann, wurde die Gleichung aus [1] zur Ermittlung des Schlankheitsgrades folgendermaßen angepasst und für $0,001 \leq \frac{t}{b} \leq 0,020$ sowie die in Deutschland üblichen Stahlsorten mit unterschiedlichen

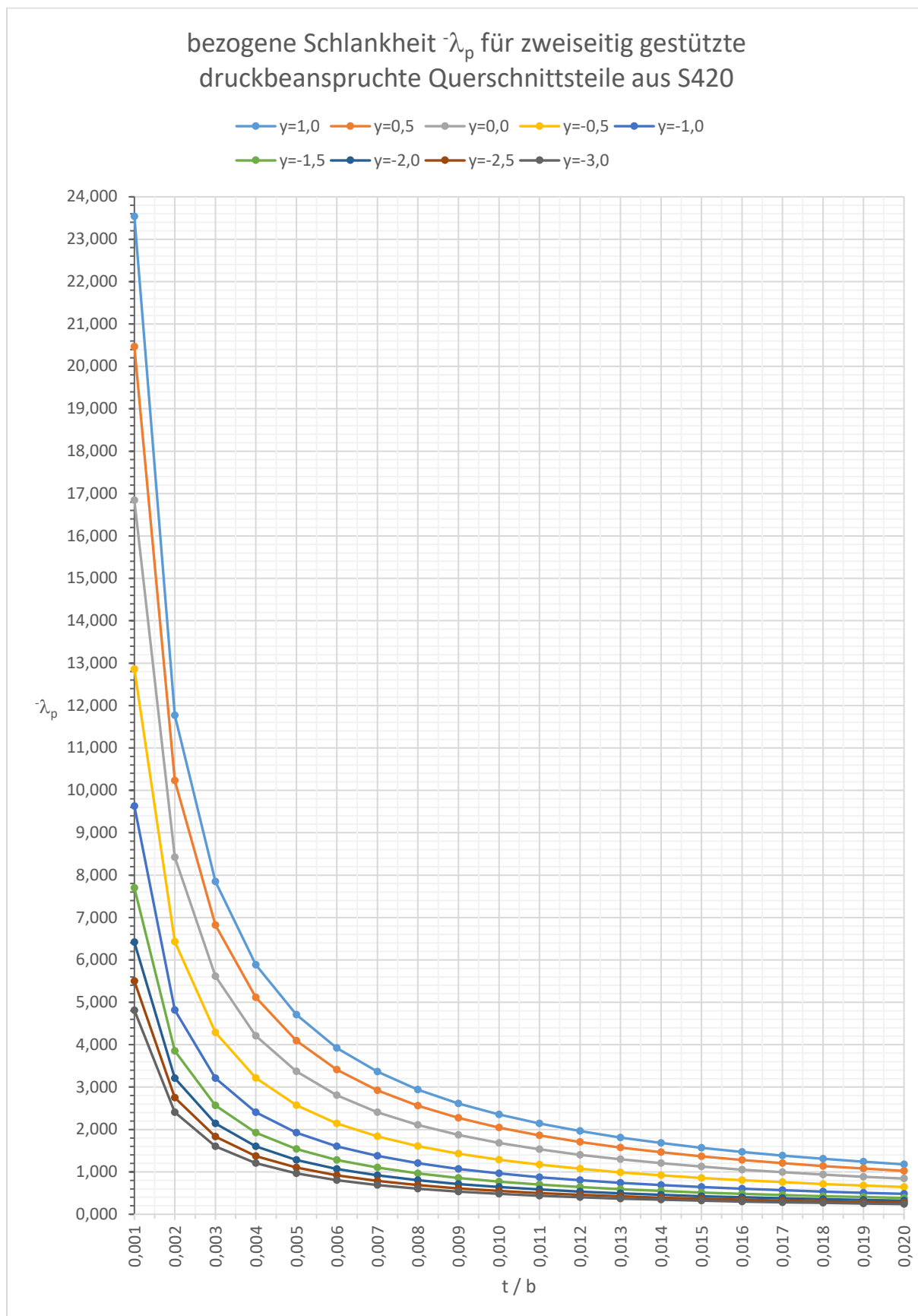
Randspannungsverhältnissen ψ (in den Diagrammen als y angegeben) ausgewertet. Die Ergebnisse sind in den folgenden sechs Diagrammen aufbereitet.

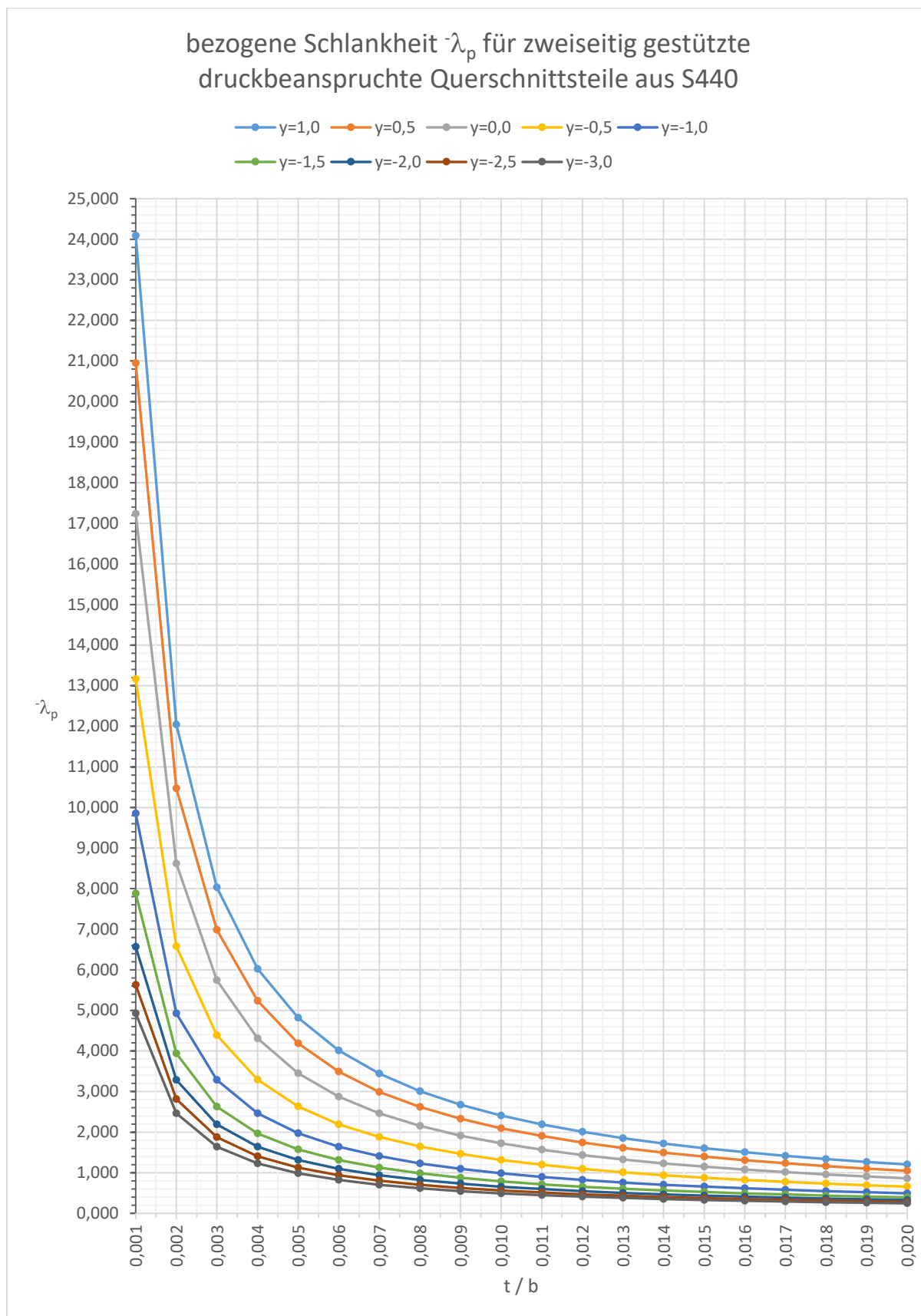
$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{1}{\frac{t}{\bar{b}}}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{1}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma} * \frac{t}{\bar{b}}}$$

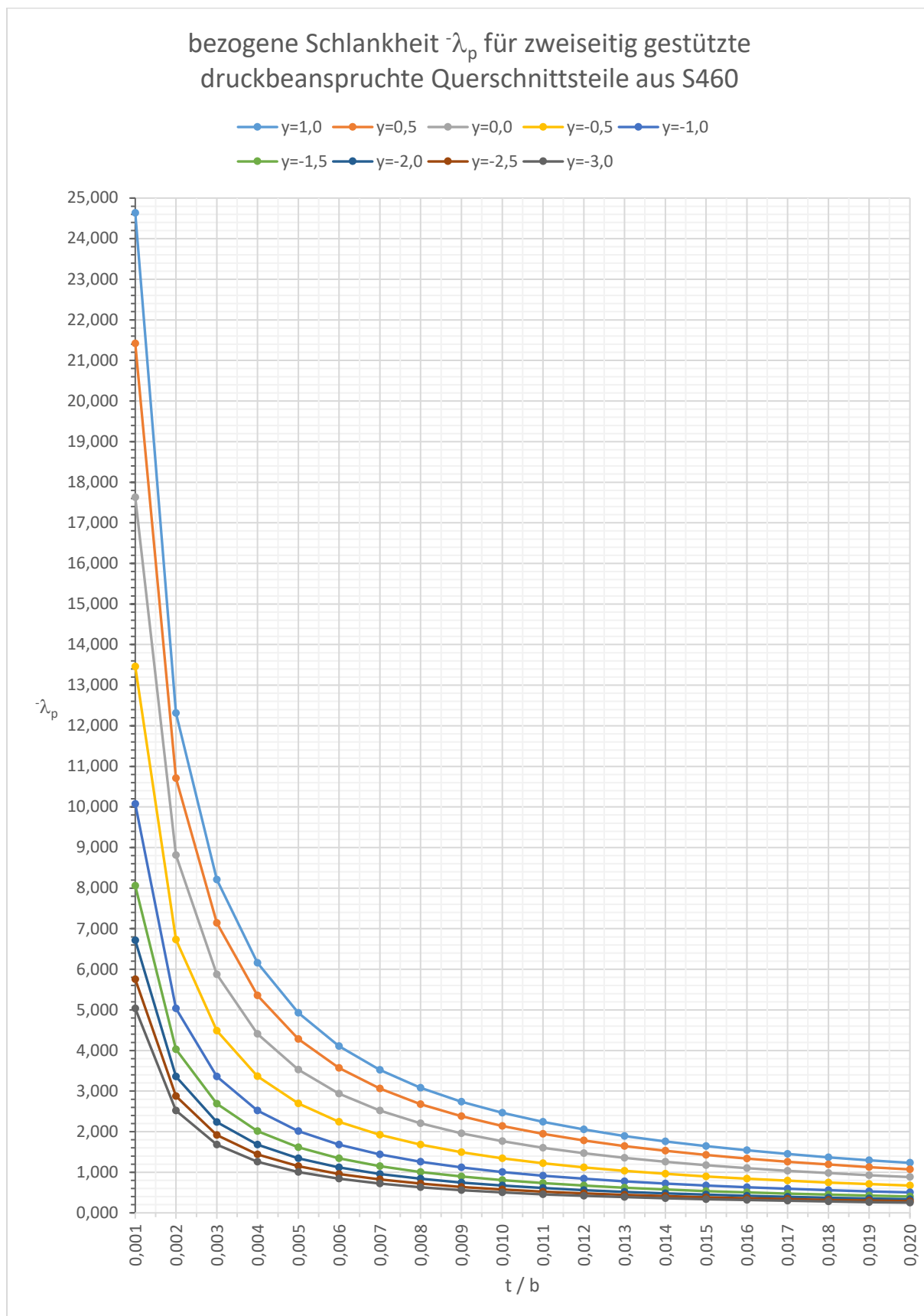








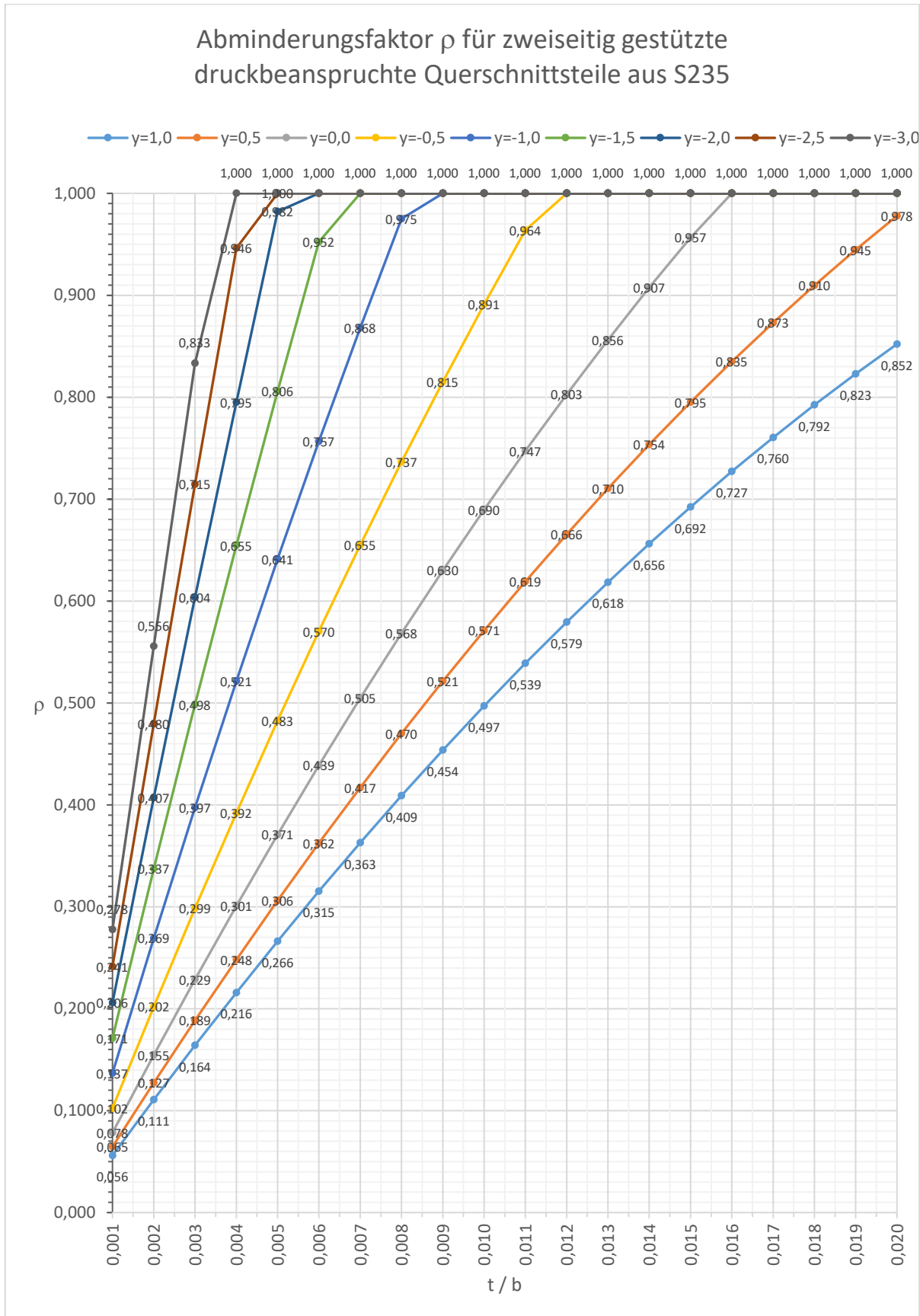


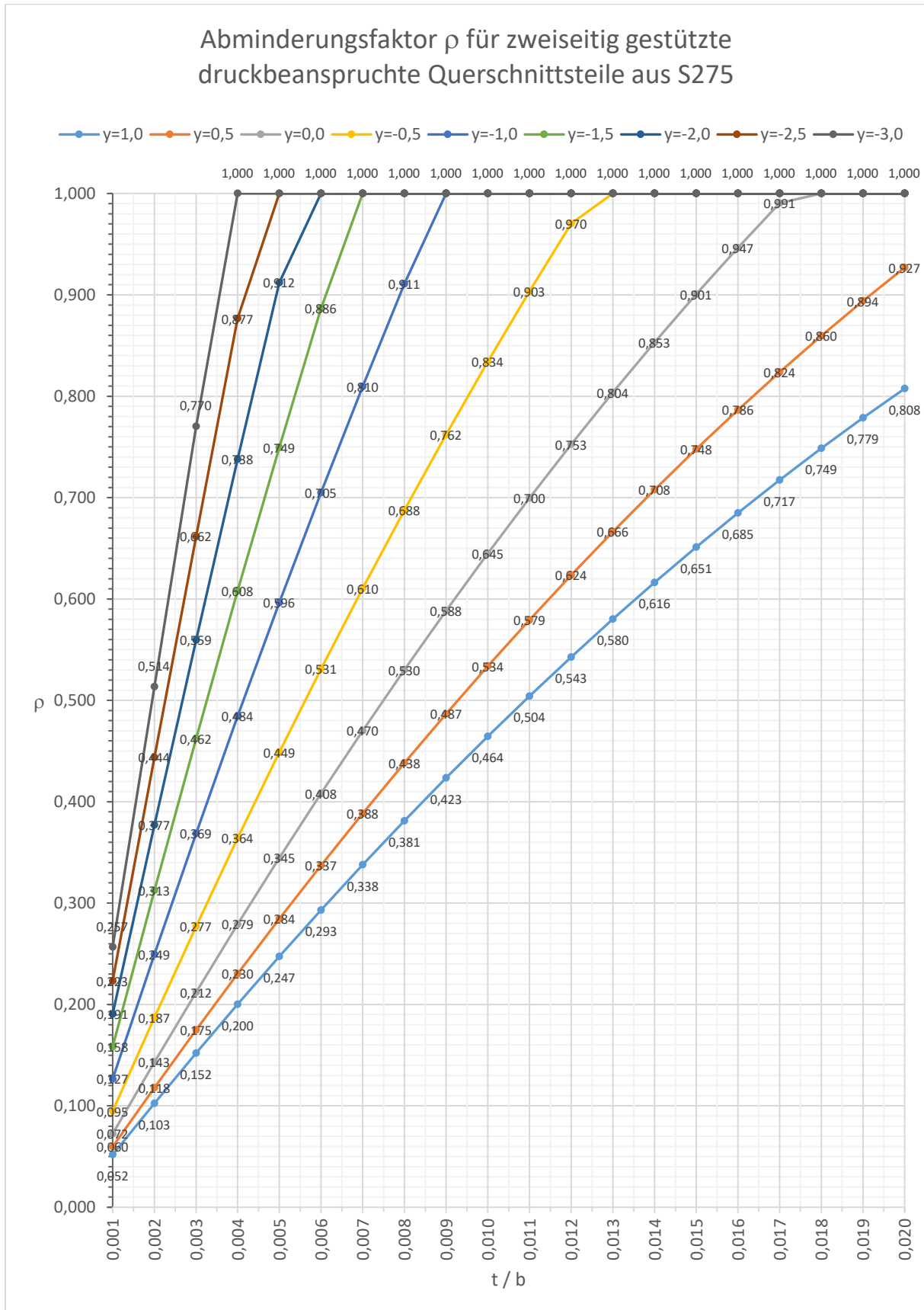


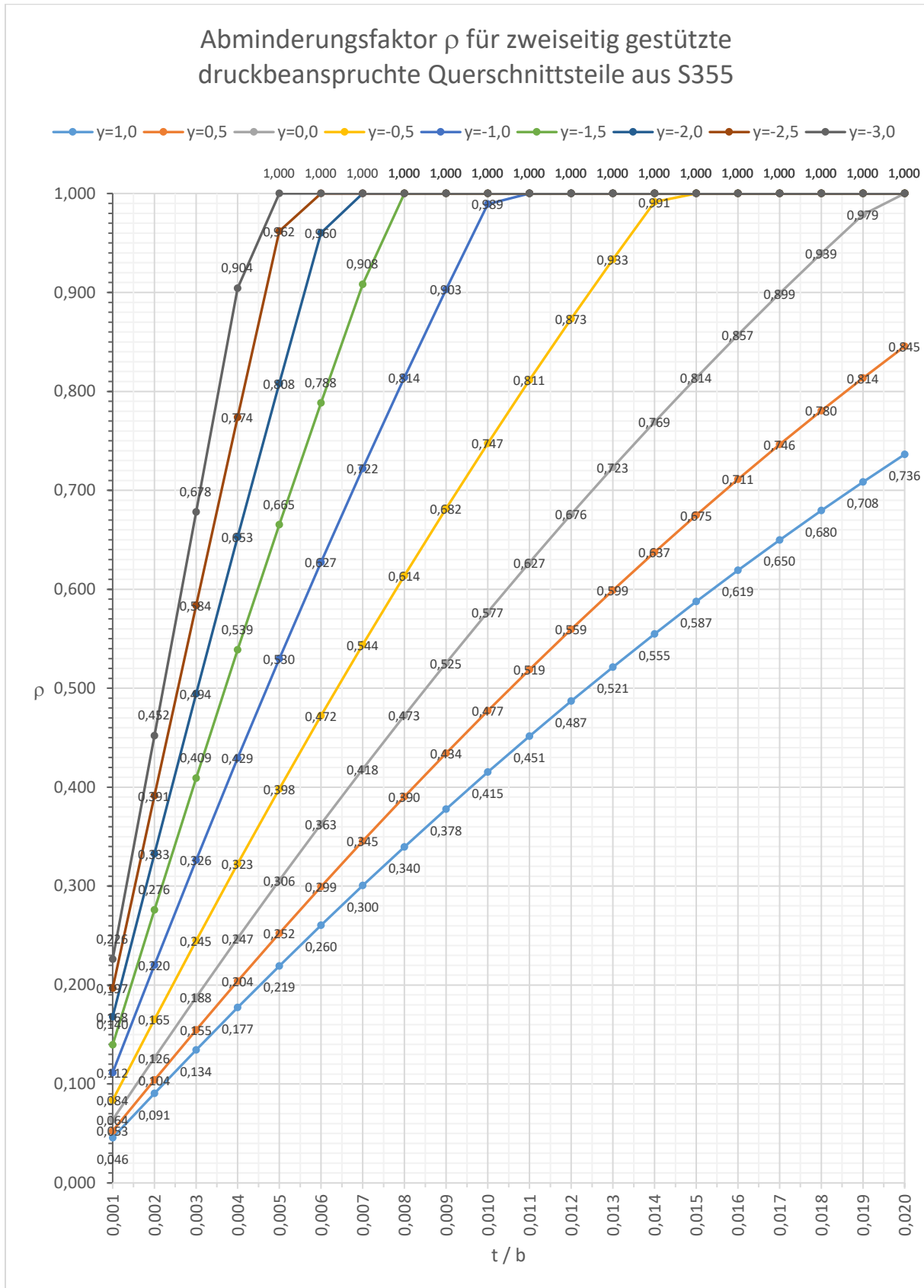
Somit kann der Abminderungsfaktor für das Beulen ρ in Abhängigkeit von dem geometrischen Verhältnis

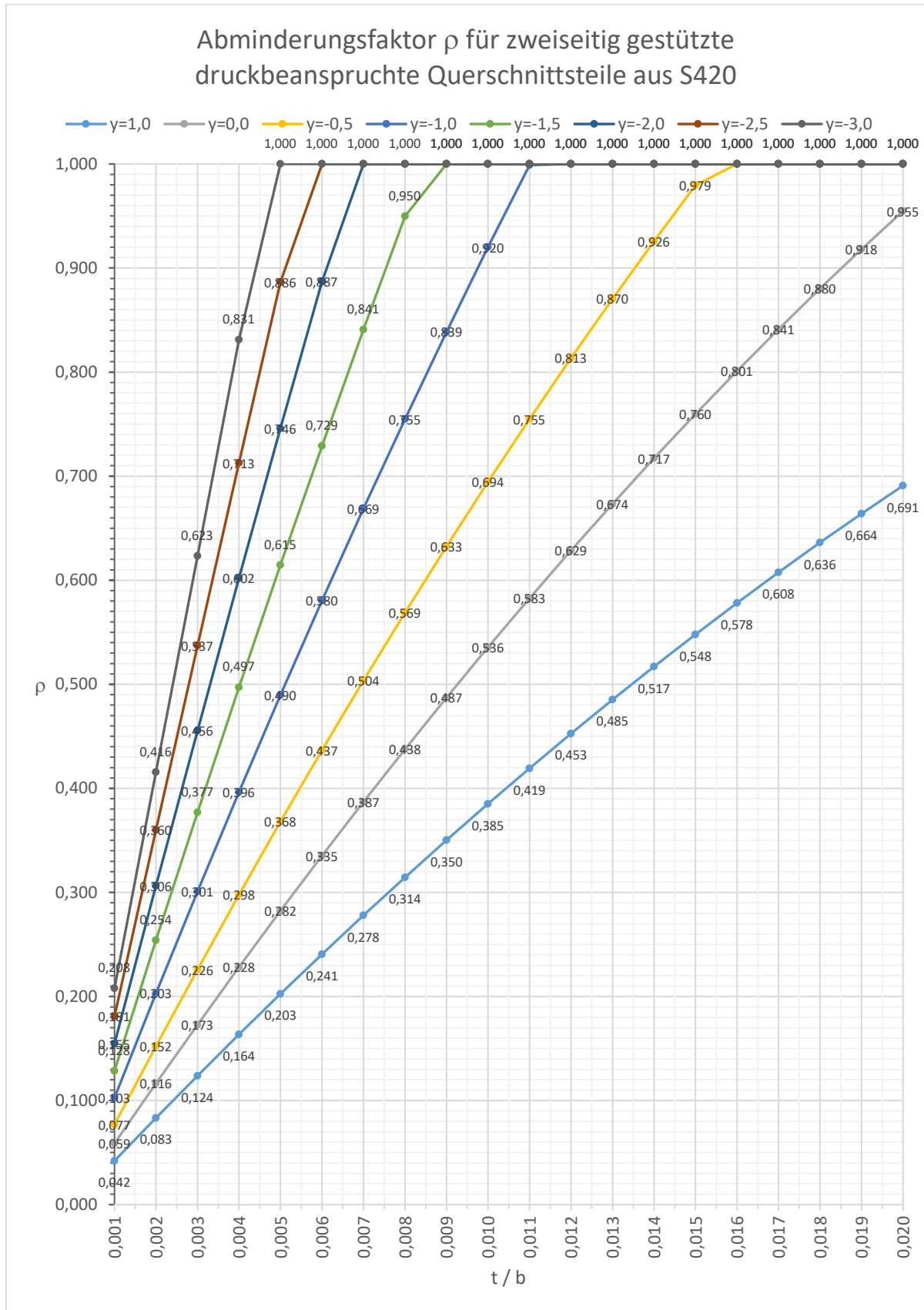
$\frac{t}{b} = \frac{t}{b}$ und dem Randspannungsverhältnis ψ ermittelt werden. Dies wurde für $0,001 \leq \frac{t}{b} \leq 0,020$ sowie

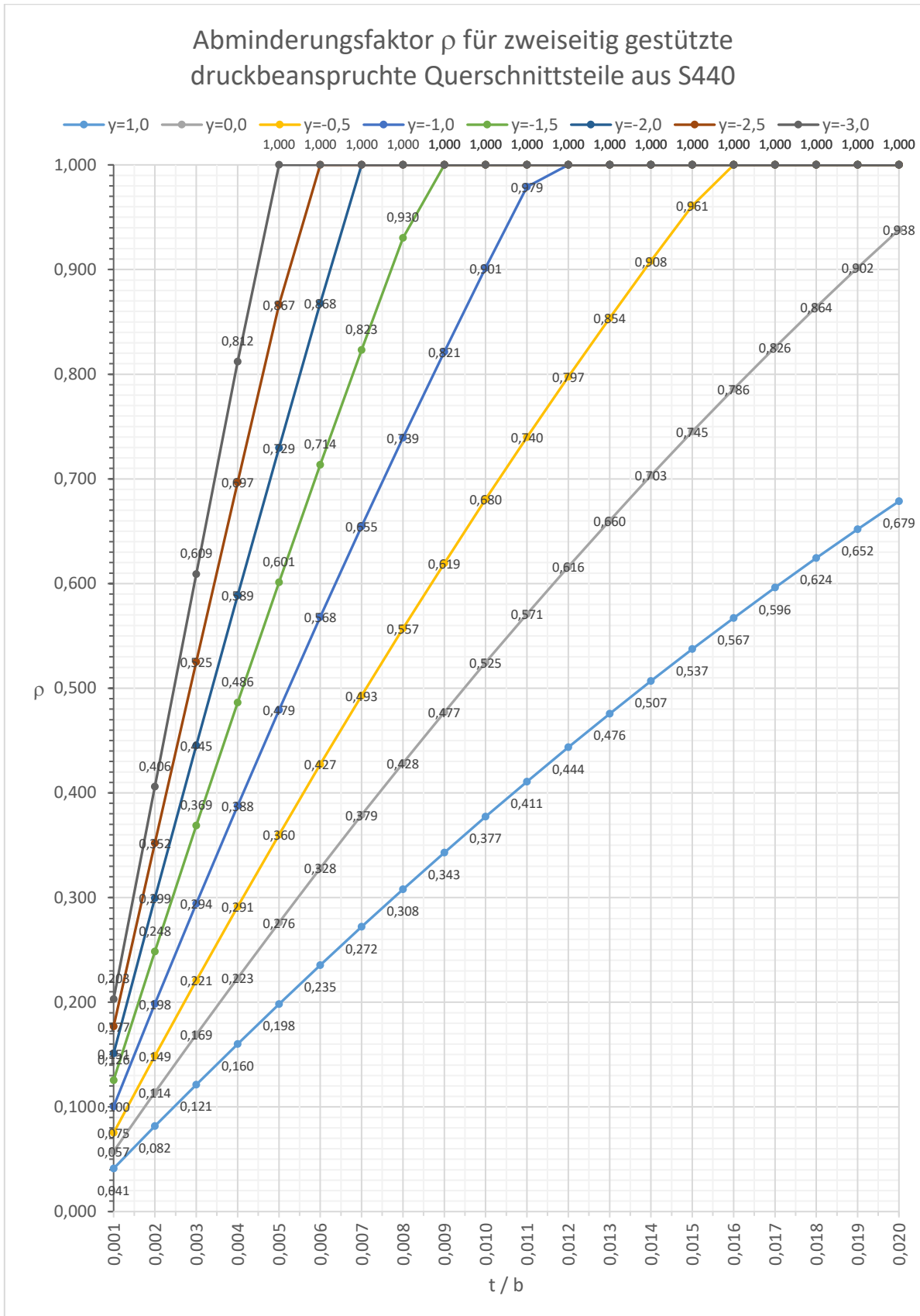
die in Deutschland üblichen Stahlsorten mit unterschiedlichen Randspannungsverhältnissen ψ durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden sechs Diagrammen aufbereitet, wobei wieder zu beachten ist, dass ψ in den Diagrammen als y angegeben wird.

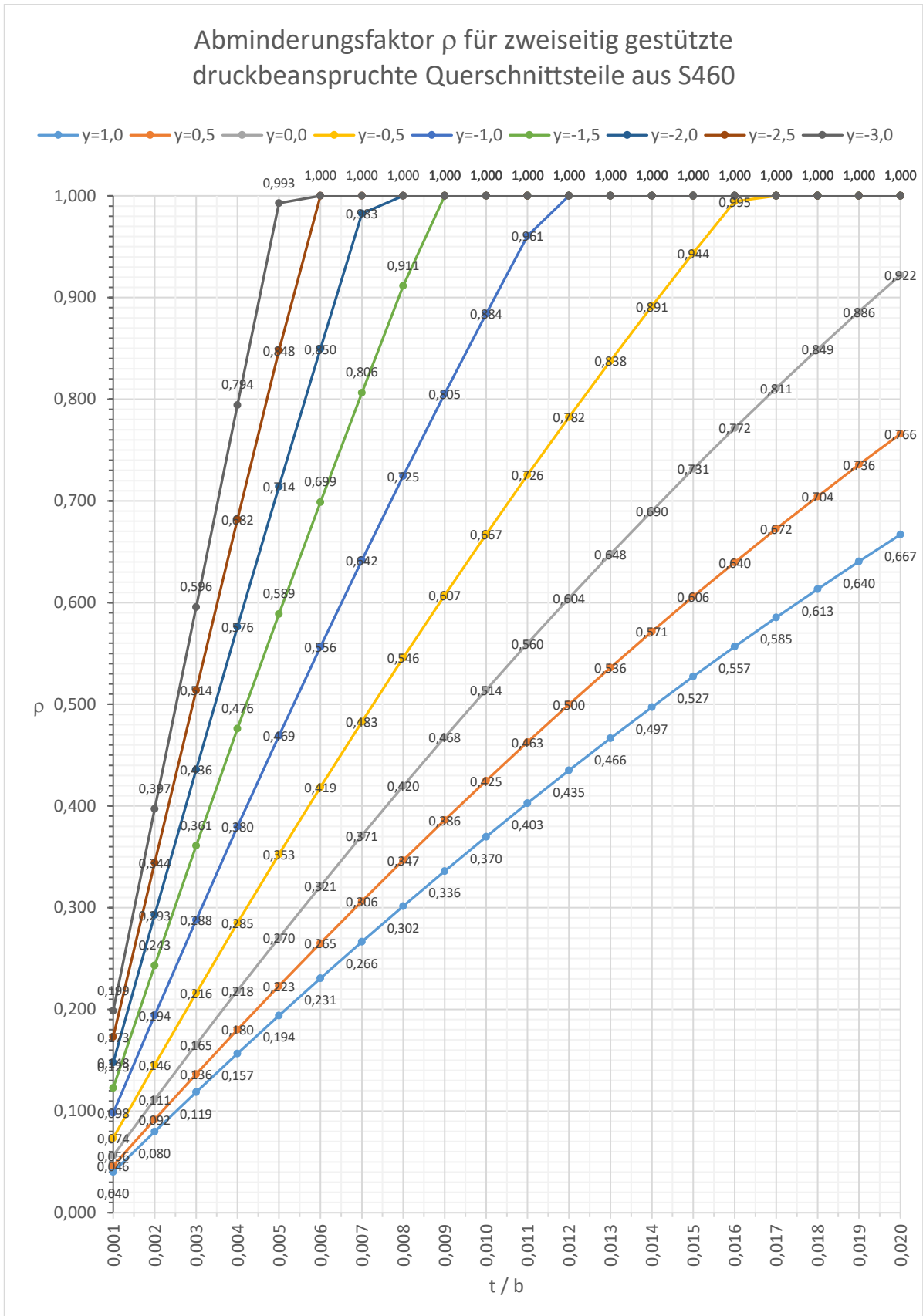






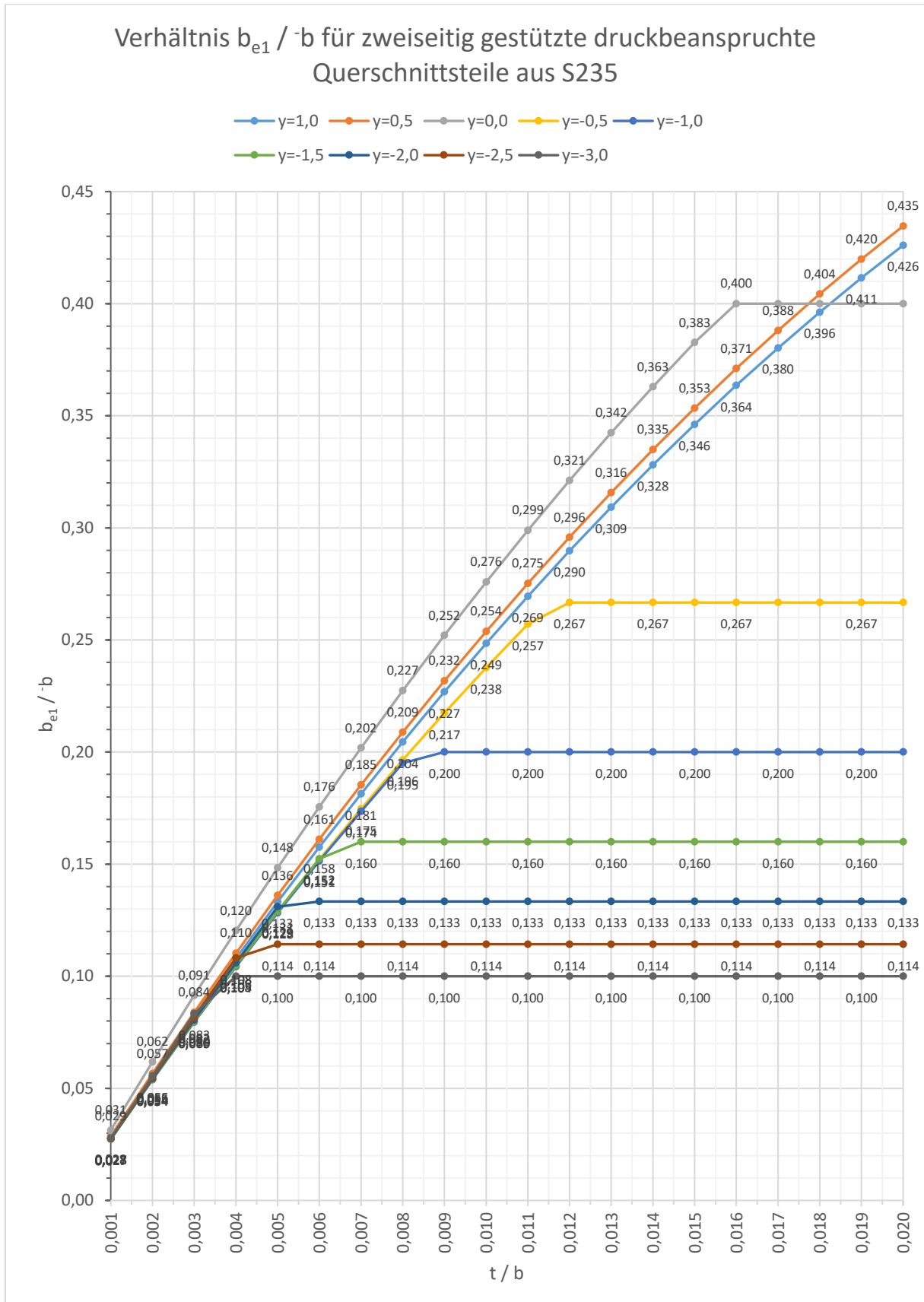


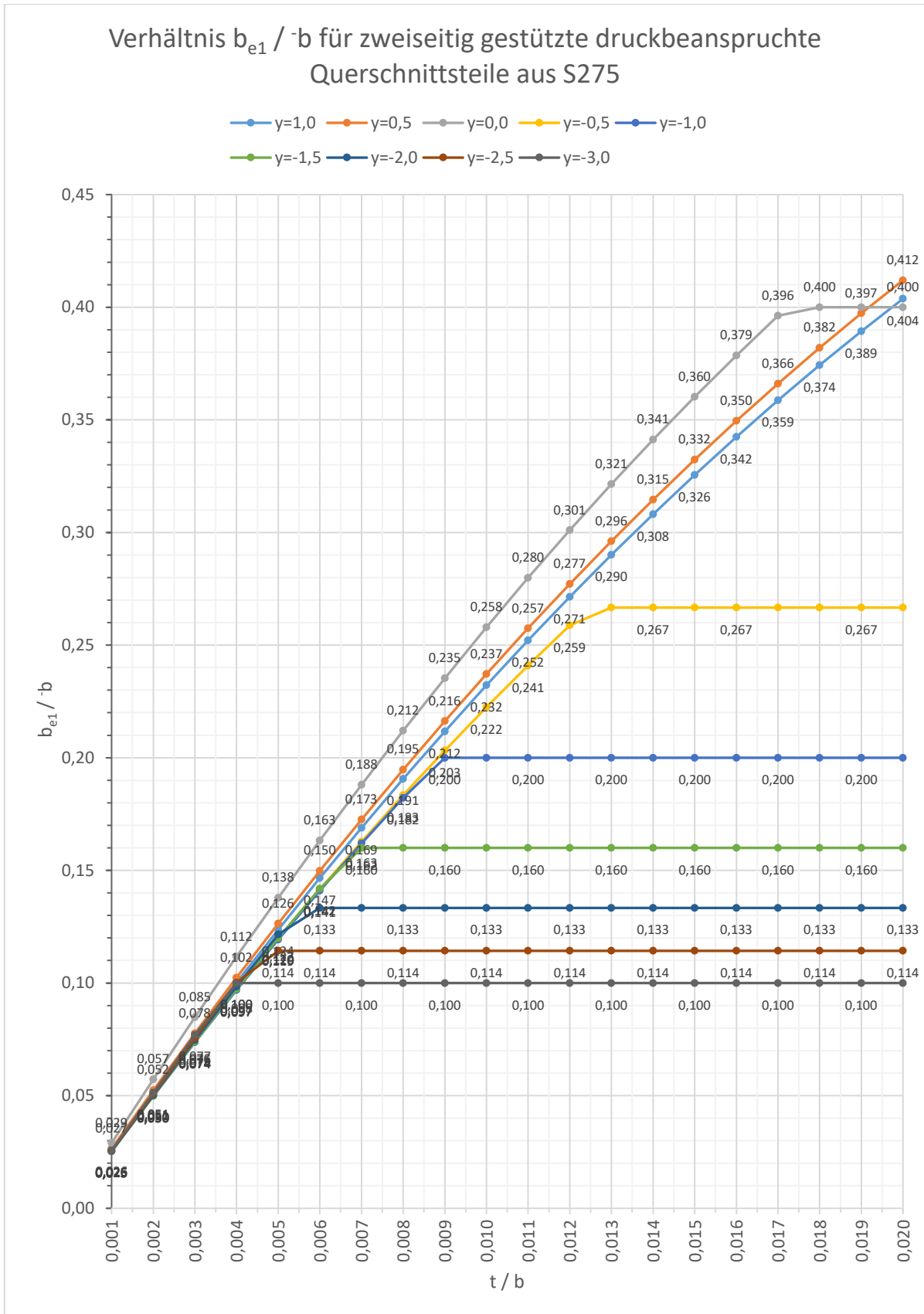


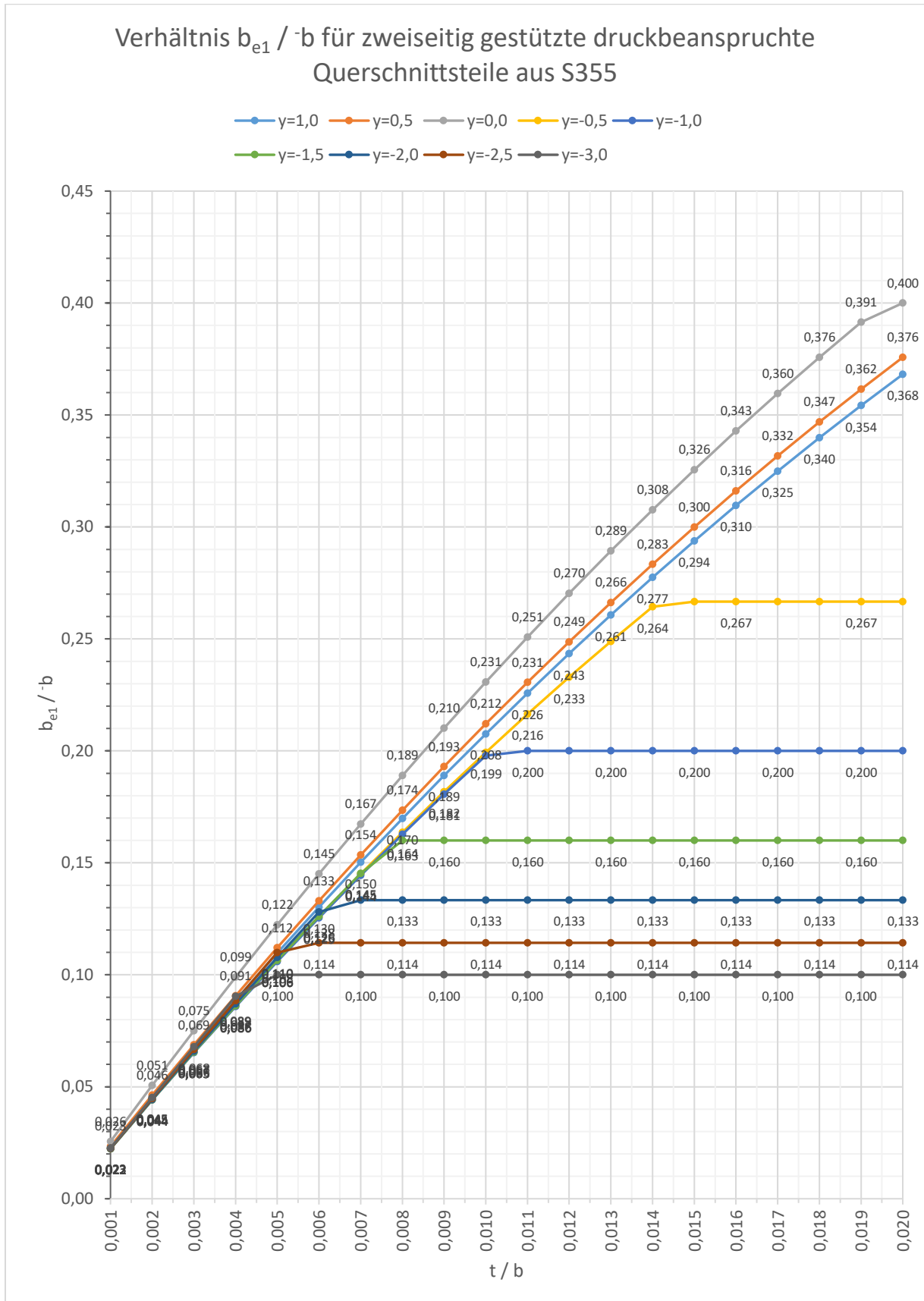


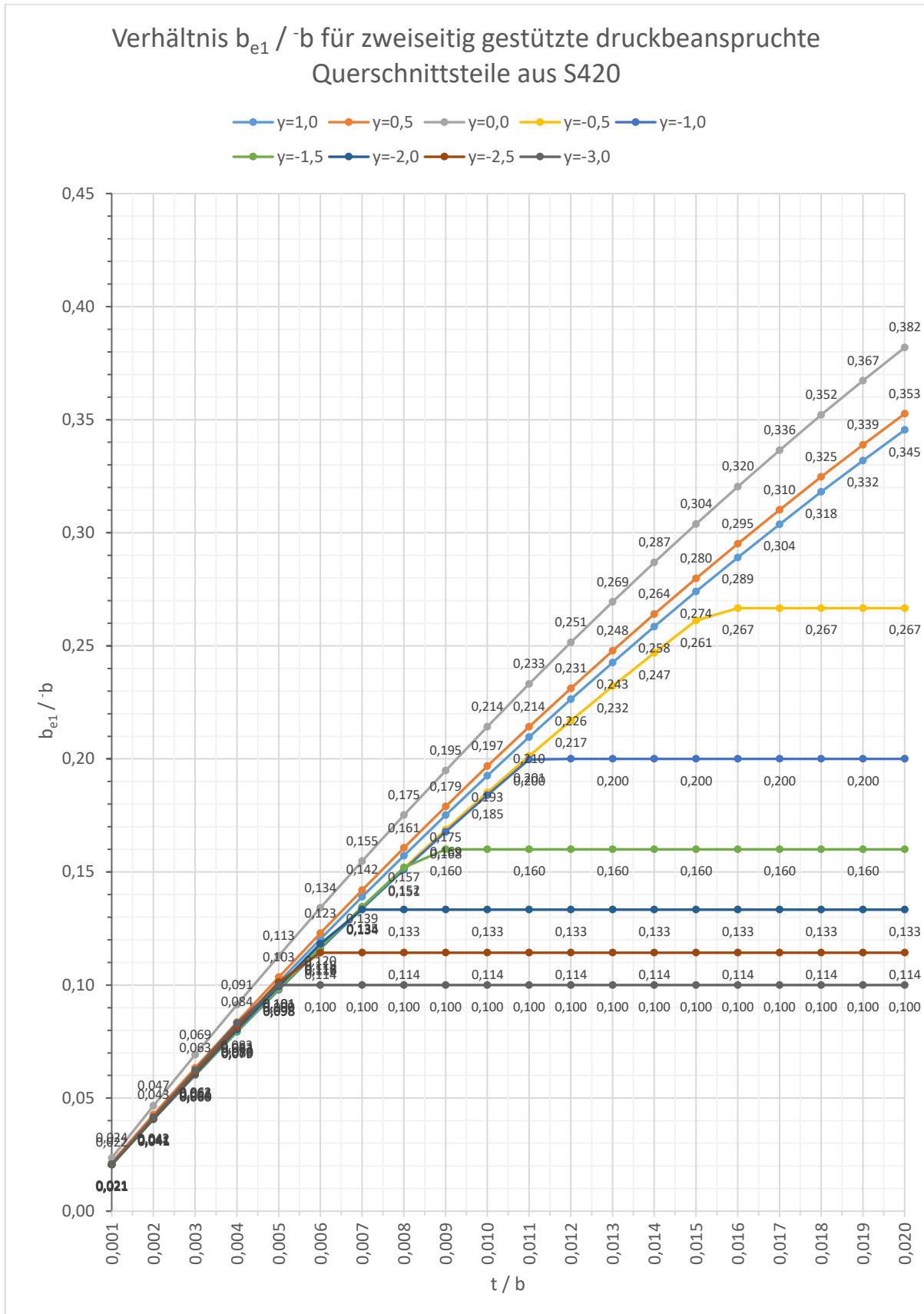
Mit Hilfe dieser Diagramme kann der Abminderungsfaktor für das Beulen ρ und ggf. notwendige Zwischenwerte sehr schnell bestimmt und die wirksame Breite ebener druckbeanspruchter Einzelblechfelder ohne Längssteifen aber mit beidseitiger Stützung b_{eff} einfach berechnet werden.

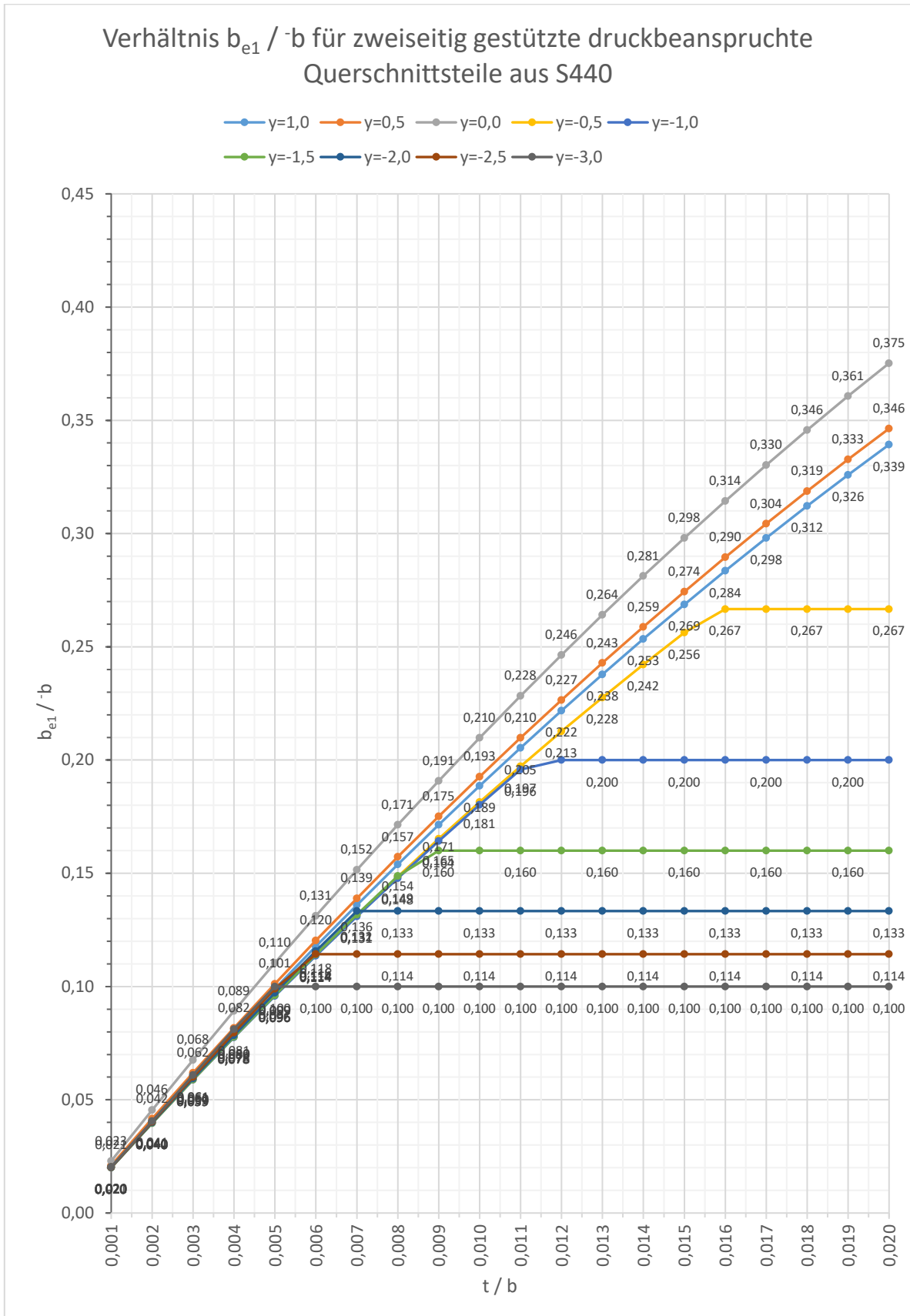
Demensprechend könnten nun die anteiligen Breiten b_{e1} und b_{e2} dieser wirksamen Breite b_{eff} mit Hilfe der oben angegebenen Gleichungen berechnet werden. Für das geometrische Verhältnis $0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,02$, die zulässigen Randspannungsverhältnisse ψ (in den Diagrammen mit y angegeben) und die in Deutschland üblichen Stahlsorten wurde die Verhältnisse $\frac{b_{e1}}{b}$ und $\frac{b_{e2}}{b}$ ermittelt. Die Ergebnisse sind in den folgenden 12 Diagrammen graphisch aufbereitet.

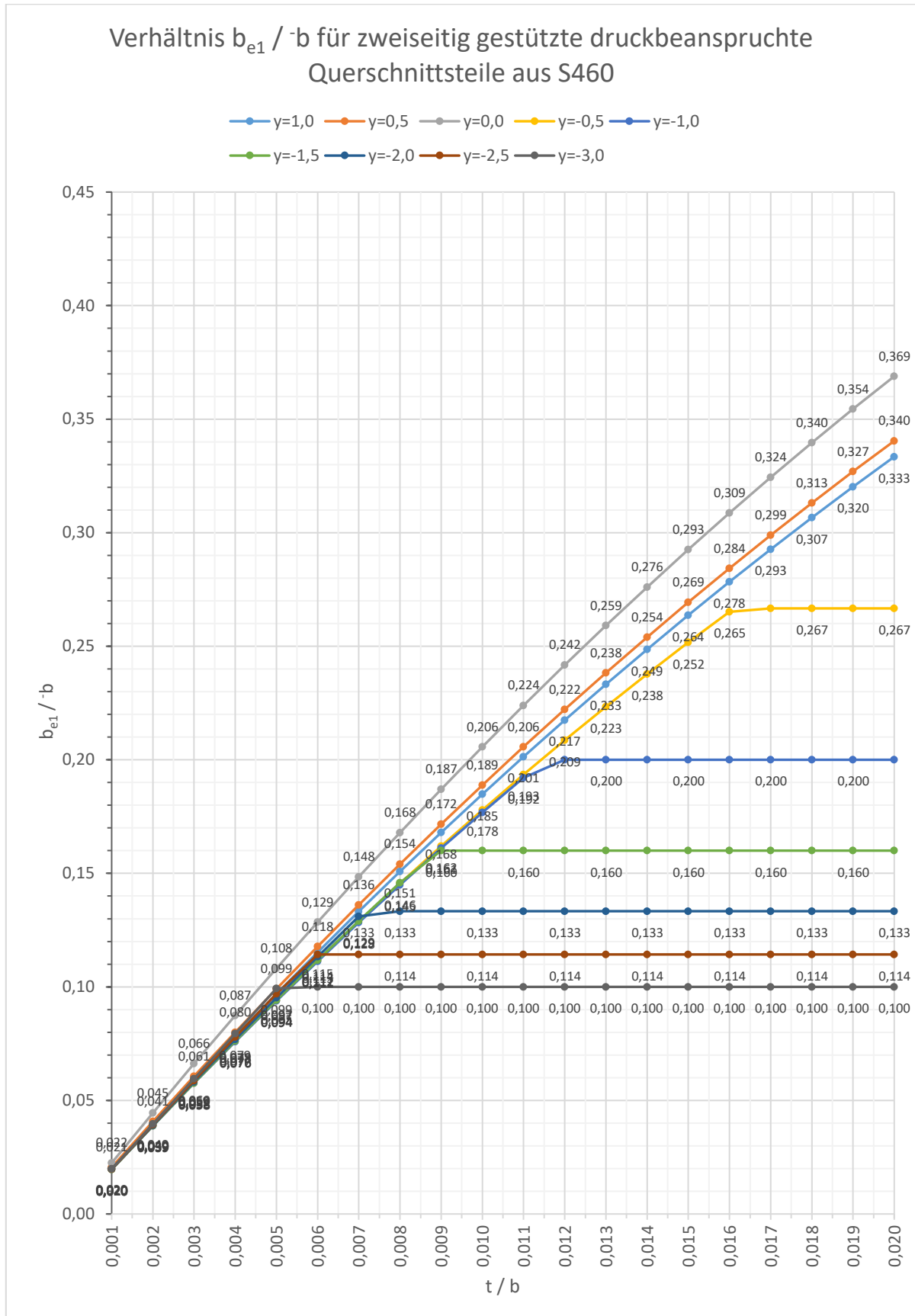


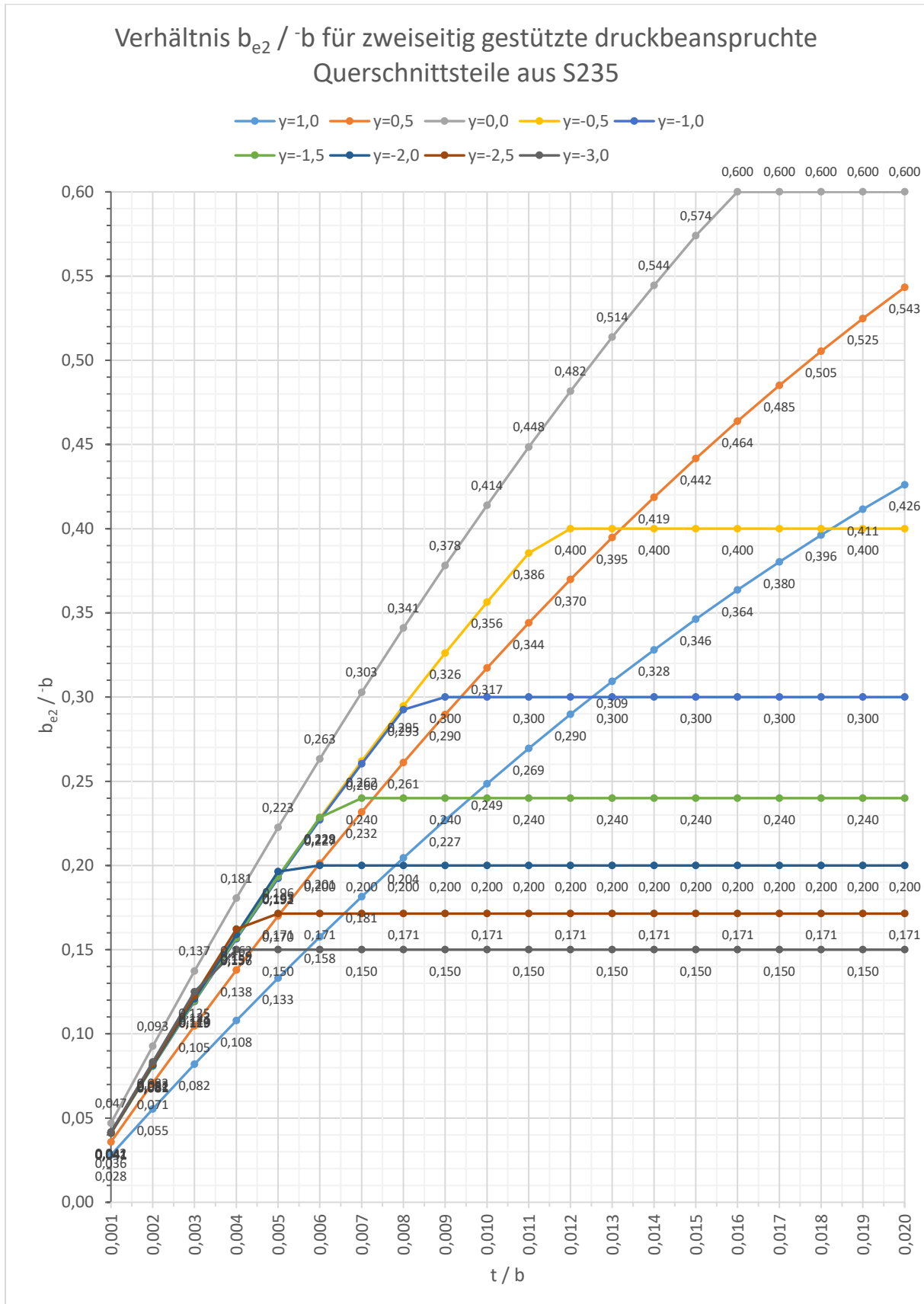


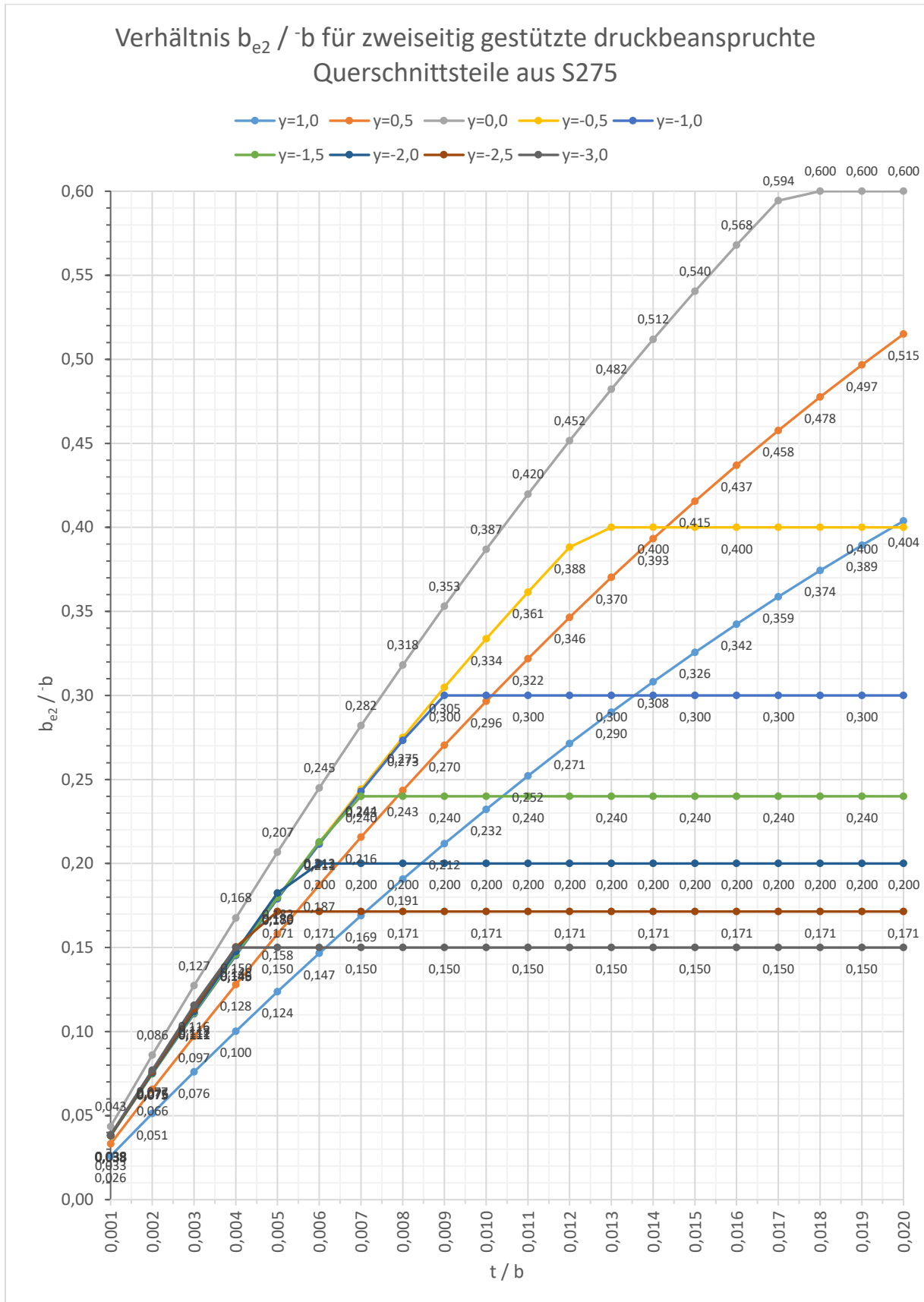


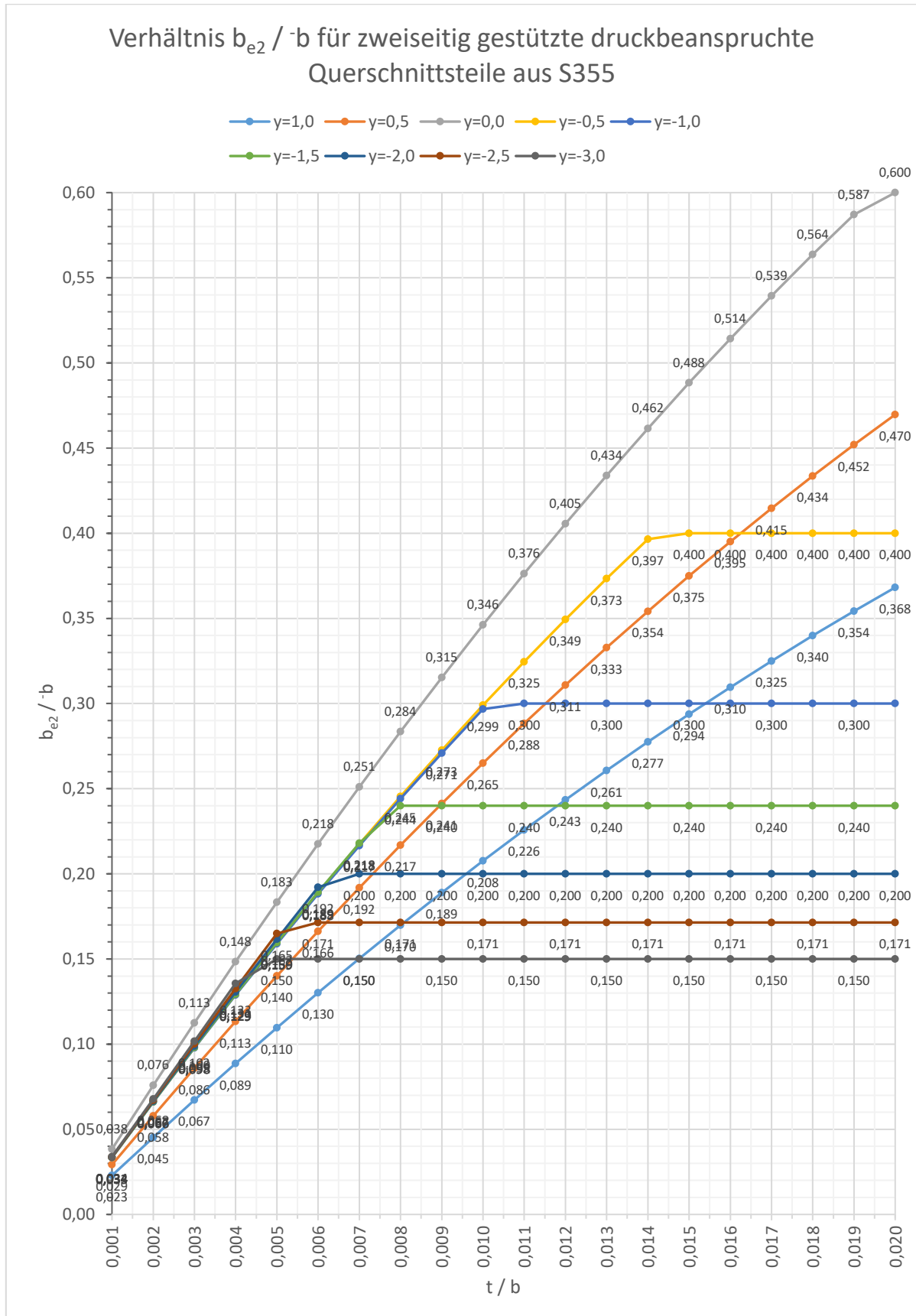


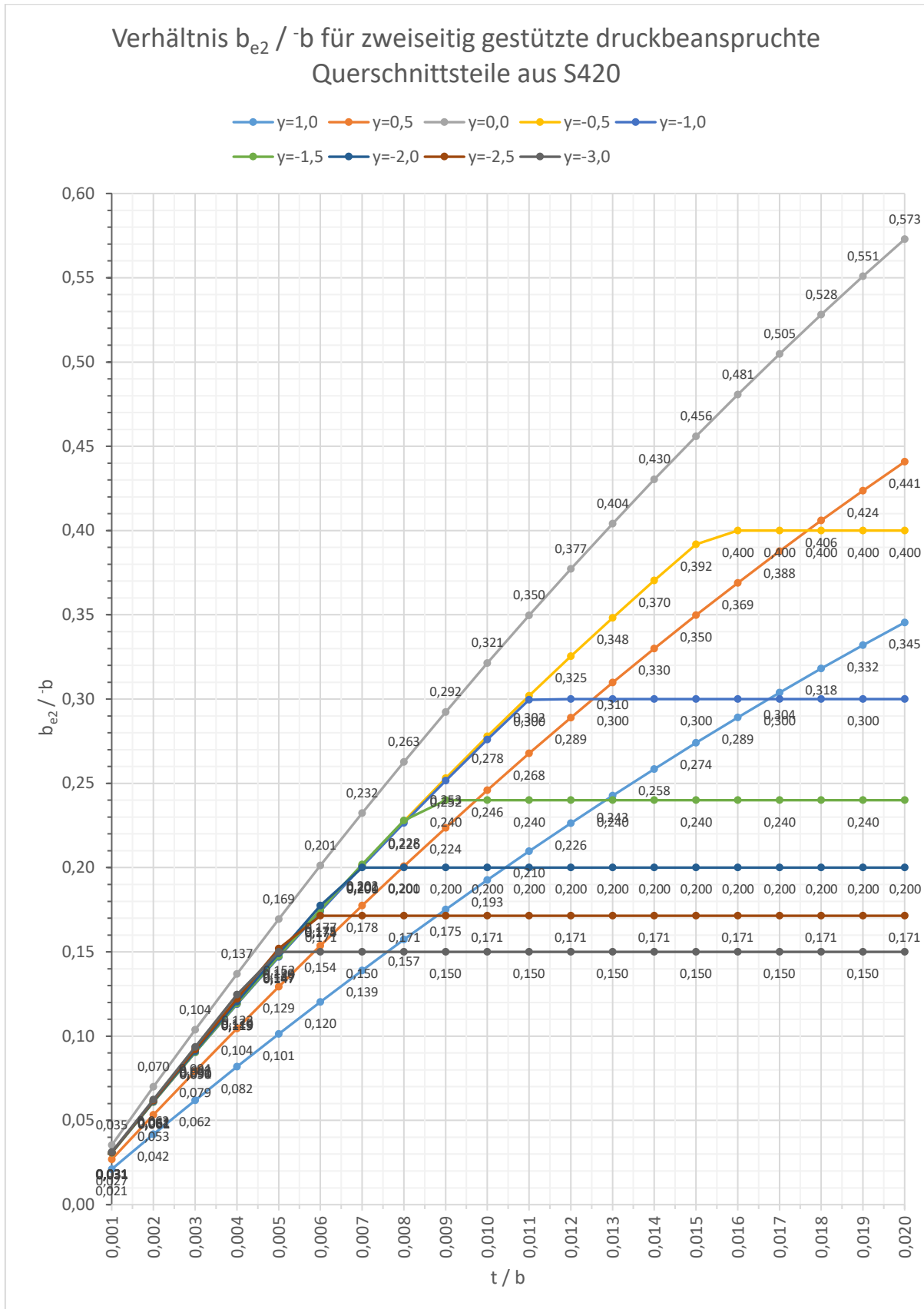


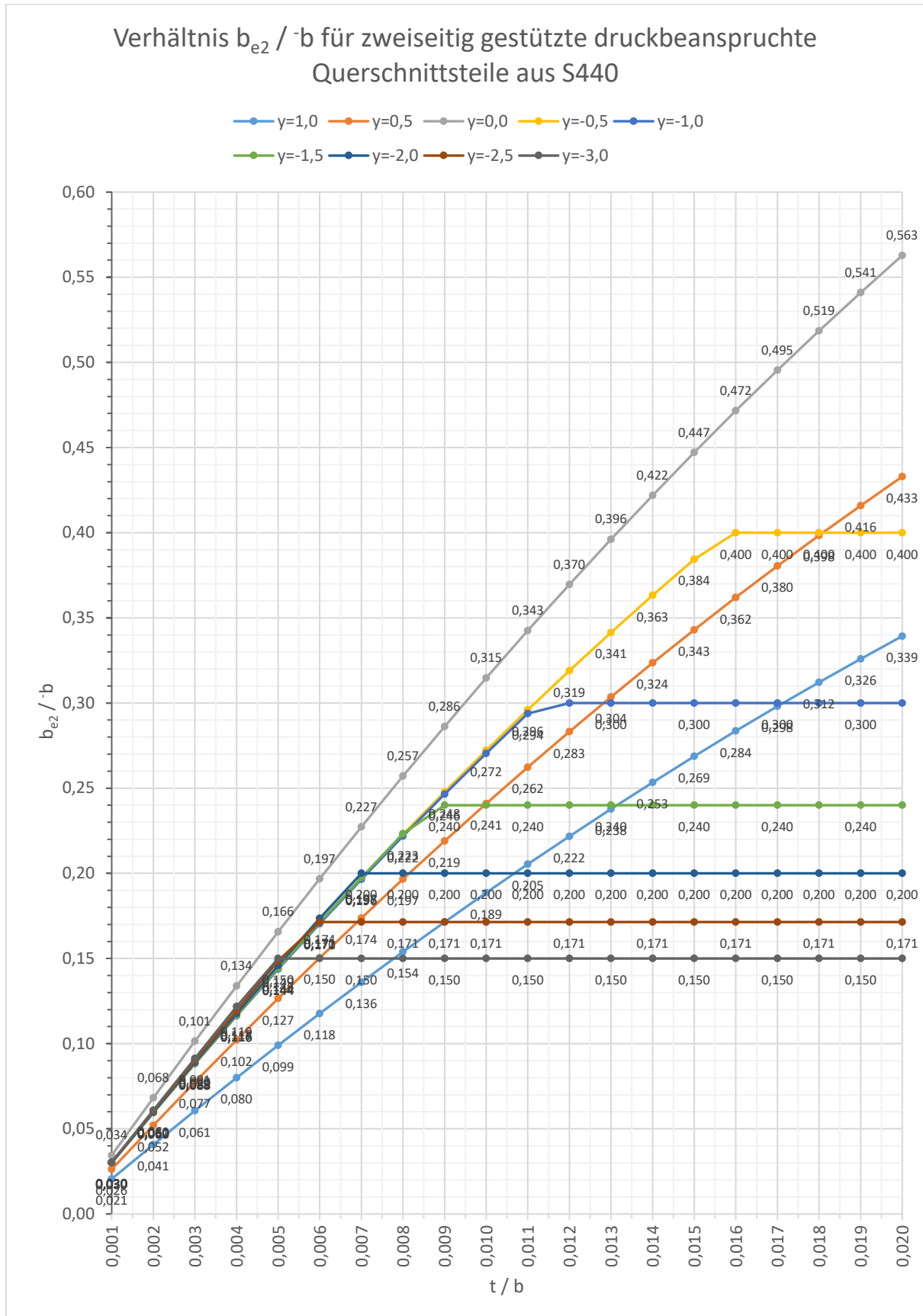


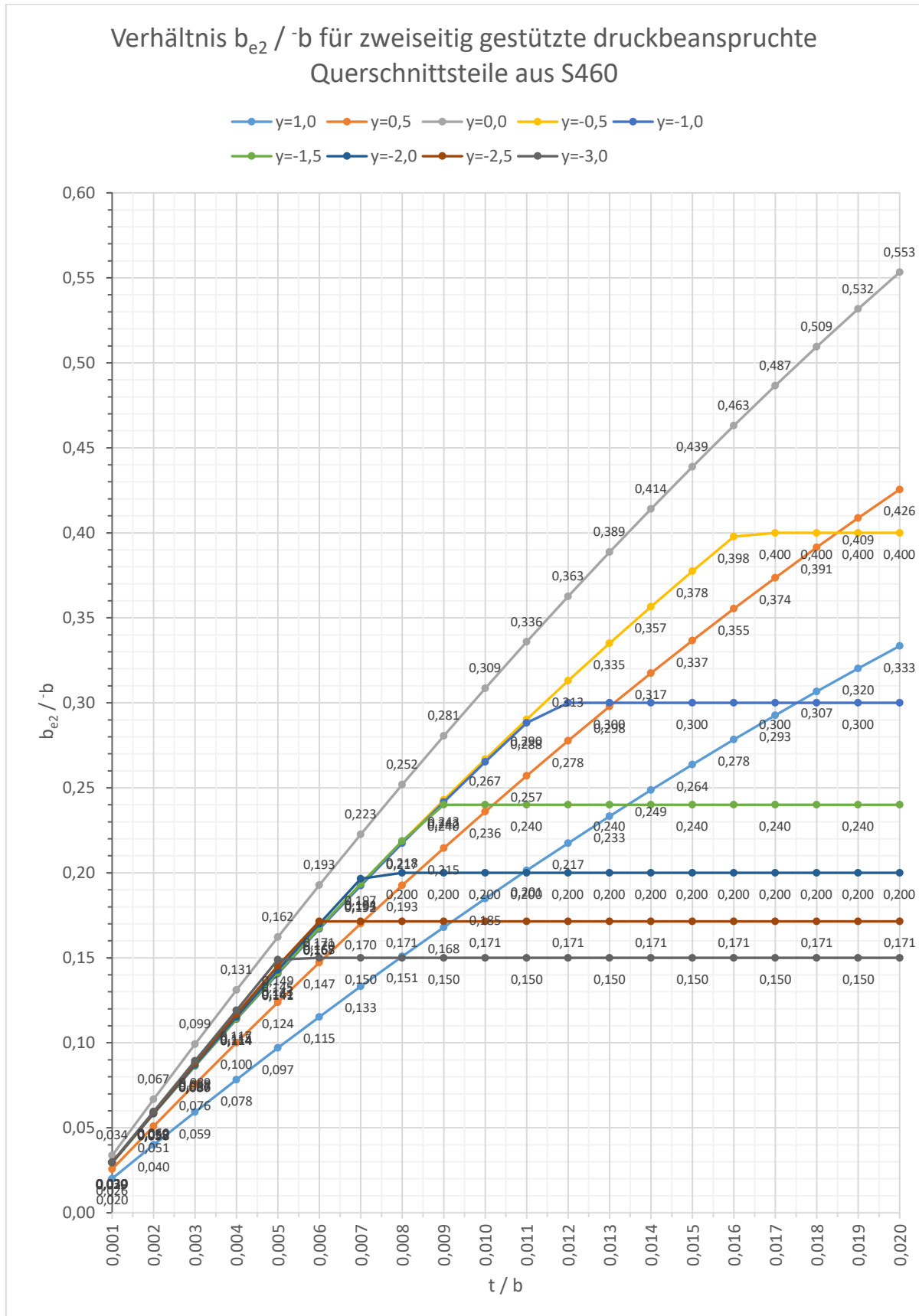












Durch diese Diagramme können die anteiligen Breiten b_{e1} und b_{e2} der wirksamen Breite b_{eff} von ebenen druckbeanspruchten Einzelblechfelder ohne Längssteifen aber mit beidseitiger Stützung einfach und schnell berechnet werden.

Literatur:

- | | | |
|-----|--|---|
| [1] | DIN EN 1993-1-5:2019-10 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile |
| [2] | DIN EN 1993-1-5/Berichtigung 1:2020-07 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von
Stahlbauten
Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile |
| [3] | DIN EN 1993-1-5/NA:2018-11 | Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode
3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile |
| [4] | DIN EN 1993-1-1:2010-12 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den
Hochbau |

Impressum

Landesamt für Bauen und Verkehr
Bautechnisches Prüfamnt
T. Schellenberg
Gulbener Straße 24
03046 Cottbus
Telefon 03342 4266-3400
Telefax 03342 4266-7608
BPA@LBV.Brandenburg.de
<https://lbv.brandenburg.de>