

Tipp 26/04

Wirksame Fläche 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

Nach [1], Abschnitt 4.4(2) ist bei beidseitig gestützten Querschnittsteilen der Abminderungsfaktor ρ mittels der folgenden Gleichungen zu berechnen.

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

Für die Ermittlung des Abminderungsfaktors ρ werden folgende Werte benötigt.

- $\bar{\lambda}_p$ Schlankheitsgrad
 ψ Randspannungsverhältnis

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

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

In dieser Gleichung werden die folgenden Werte berücksichtigt.

- f_y Streckgrenze des Blechmaterials
 σ_{cr} kritische elastische Beulspannung
 \bar{b} maßgebende Breite des Blechfeldes
 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.

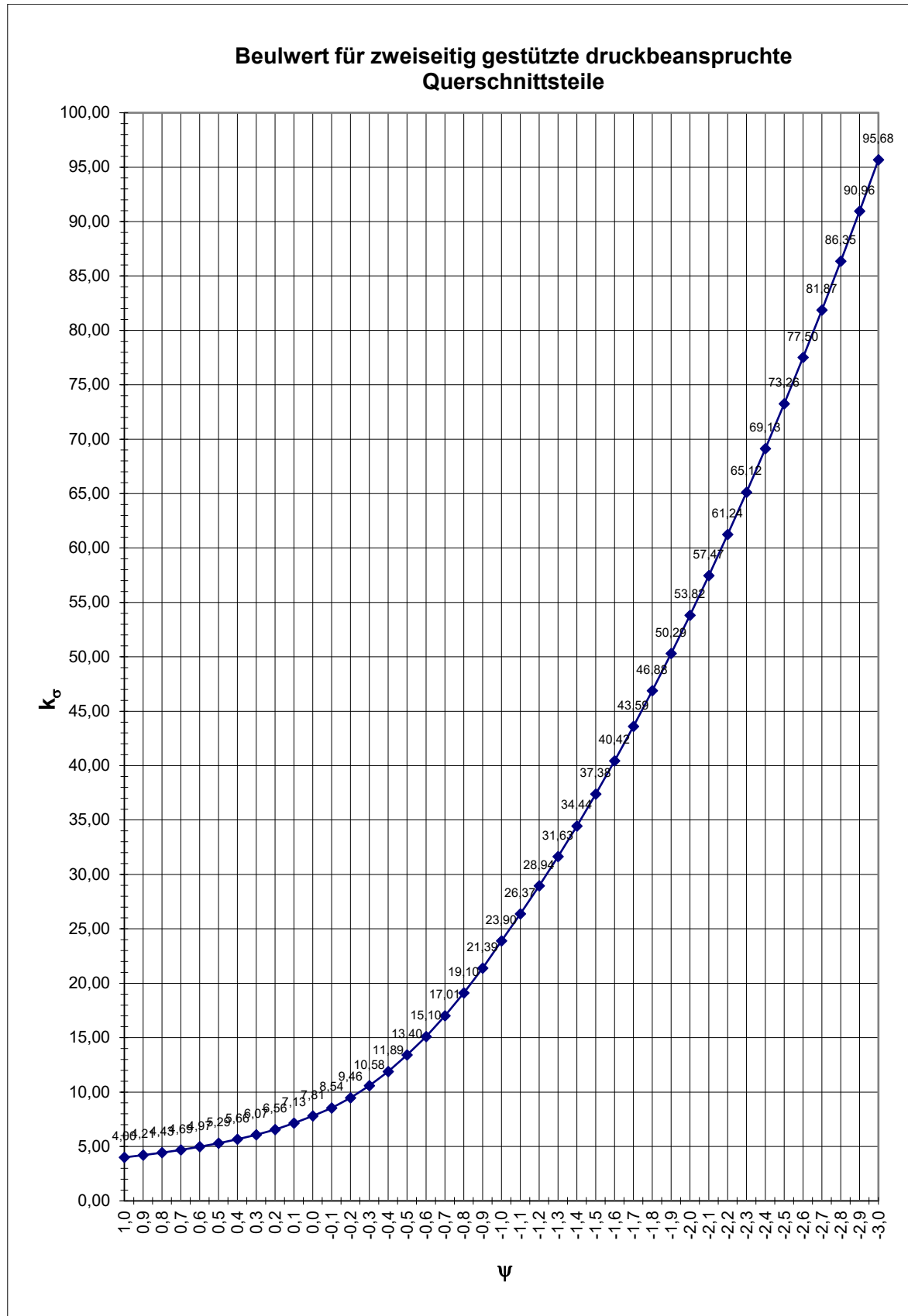
Der Beulwert des zweiseitig gestützten Blechfeldes k_{σ} ist entsprechend [1], Tabelle 4.1 für Randspannungsverhältnisse von $1 \geq \psi \geq -3$ zu berechnen. Das Randspannungsverhältnis ψ ist entsprechend [1], Tabelle 4.1 innerhalb eines Bereiches von $1,0 \geq \psi \geq -3$ zulässig und nach der 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 zu bestimmen. 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 $0 > \psi > -1,0$ $k_{\sigma} = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2$
- für $\psi = -1,0$ $k_{\sigma} = 23,9$
- für $-1,0 > \psi > -3,0$ $k_{\sigma} = 5,98 \cdot (1 - \psi)^2$

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.

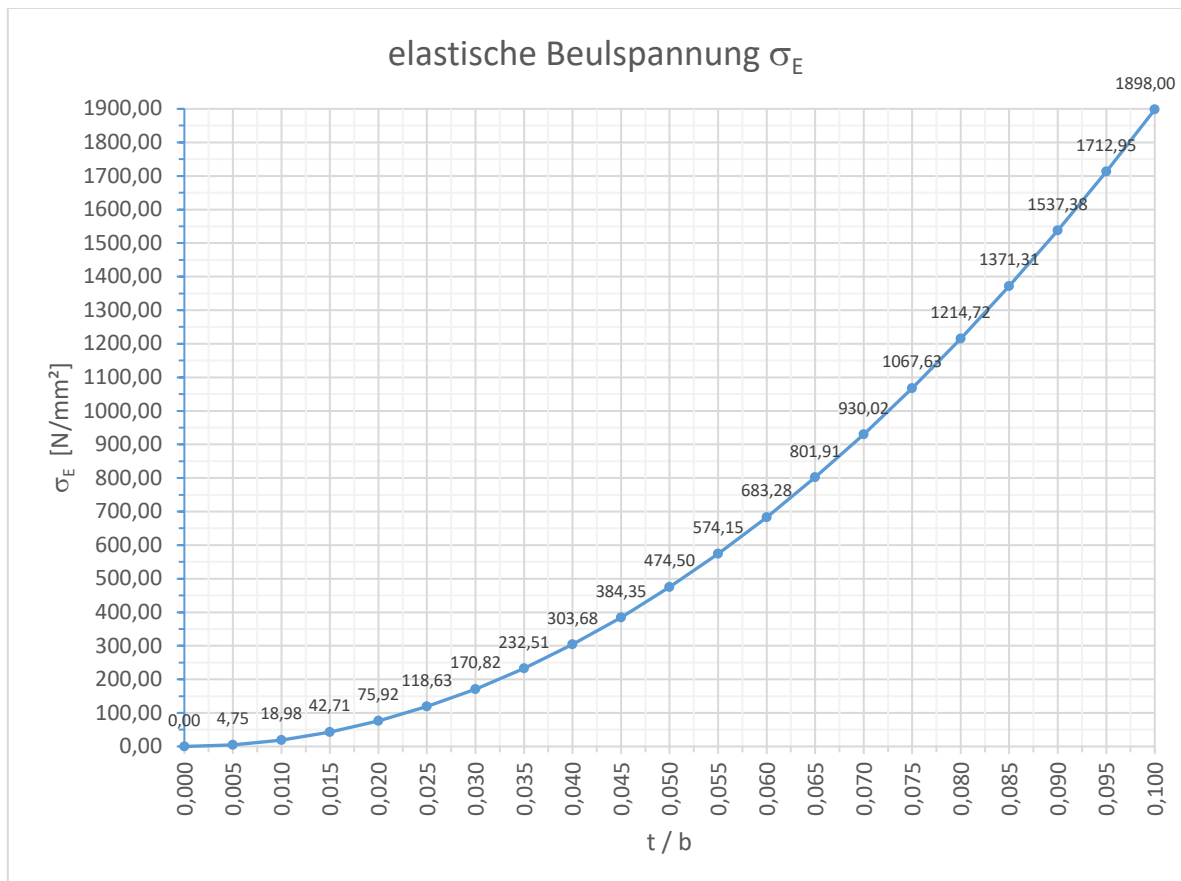
- E Elastizitätsmodul des Stahls
- ν Querdehnzahl des Stahls
- b Breite des Blechfeldes

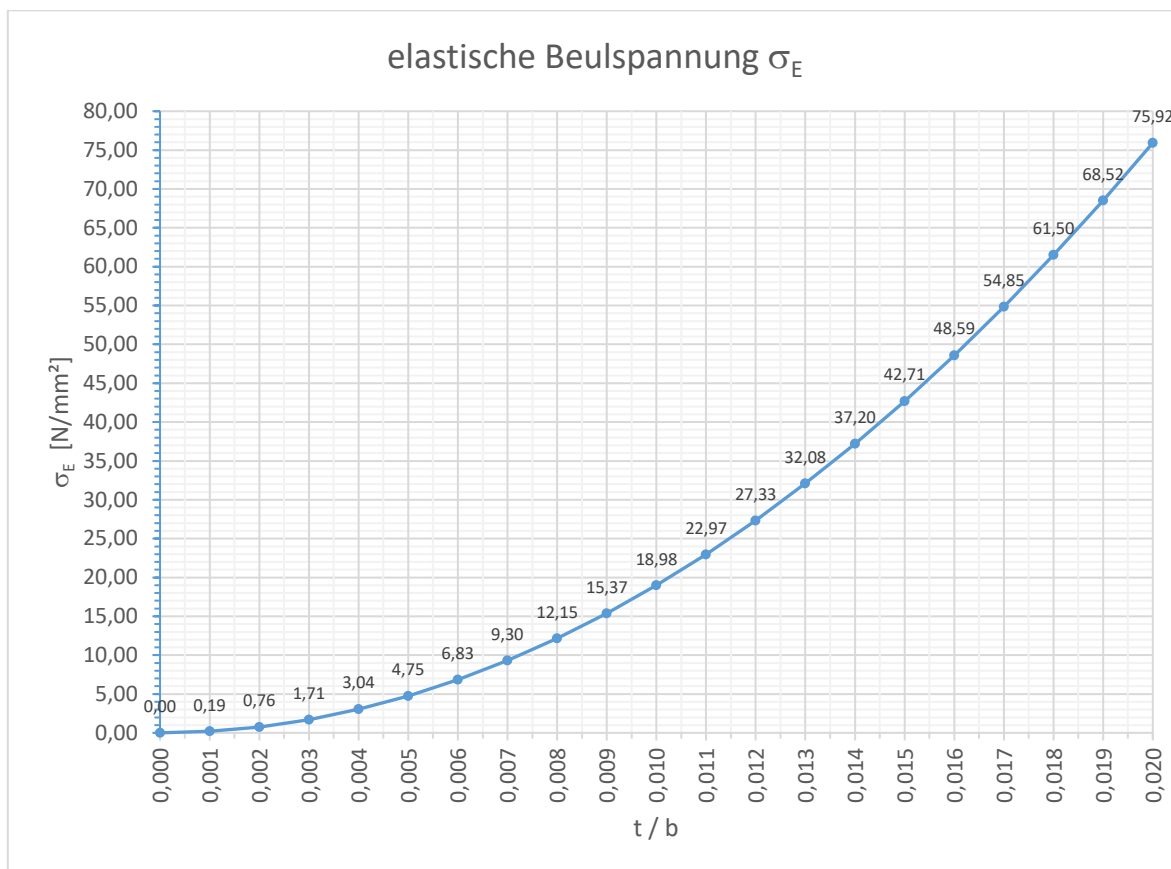
Der Elastizitätsmodul und die Querdehnzahl des Stahls können aus [4], Abschnitt 3.2.6 entnommen werden und sind mit $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ und $\nu = 0,3$ anzunehmen.

Die Breite des Blechfeldes kann in dieser Gleichung mit der maßgebenden Breite des Blechfeldes \bar{b} gleichgesetzt werden. Dementsprechend ist für Profilstege die Stegbreite mit $b = \bar{b} = b_w$, für beidseitig gestützte Gurtelemente – außer bei Rechteckhohlprofilen – die Gurtbreite mit $b = \bar{b} = b$ und bei Gurten von Rechteckhohlprofilen die Gurtbreite mit $b = \bar{b} = b - 3 * t$ anzusetzen.

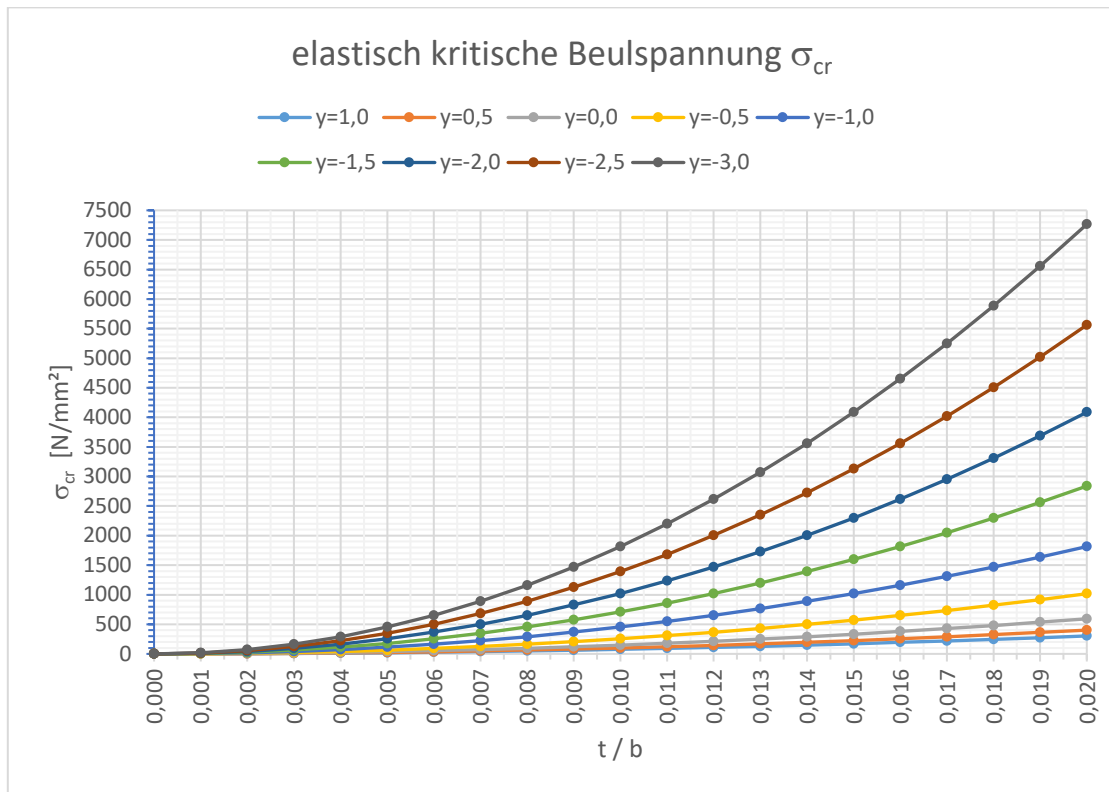
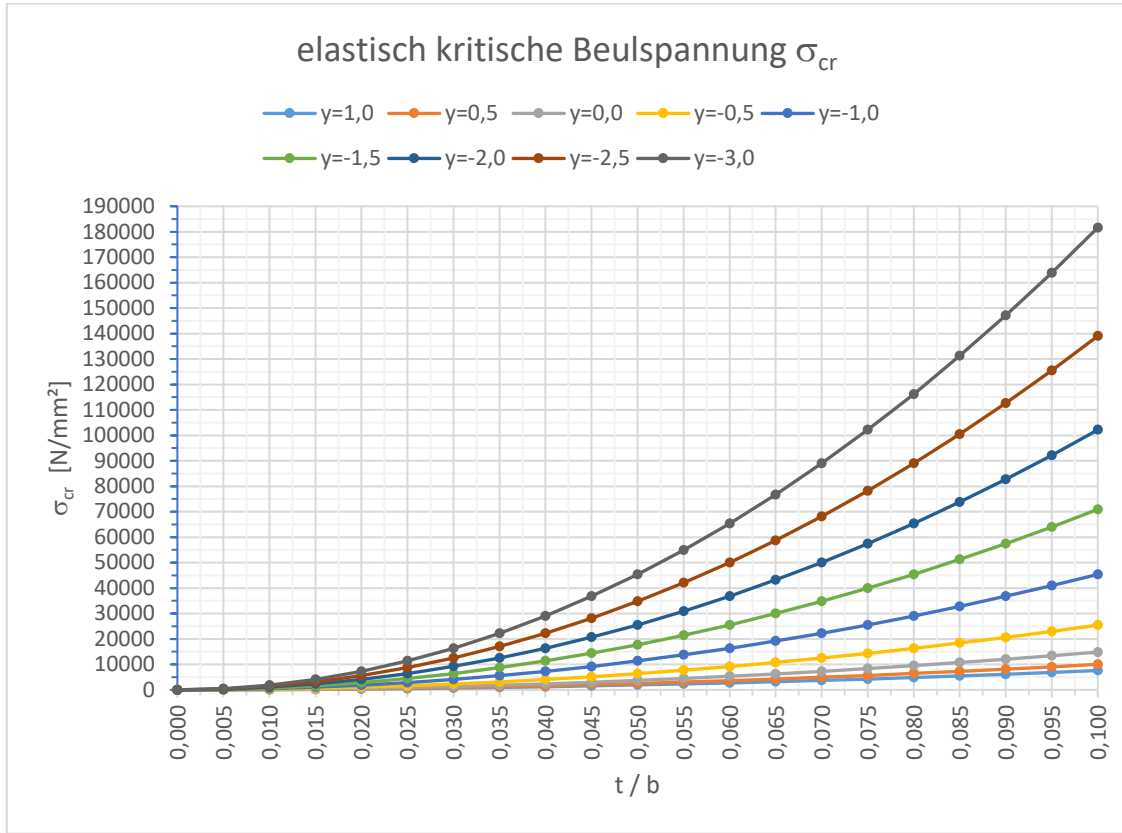
Nach Auswertung der Gleichung der elastischen Beulspannung σ_E für $0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,10$ und detaillierter für

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





Somit kann nach der Ermittlung des Randspannungsverhältnisses ψ 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 (in den Diagrammen 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.

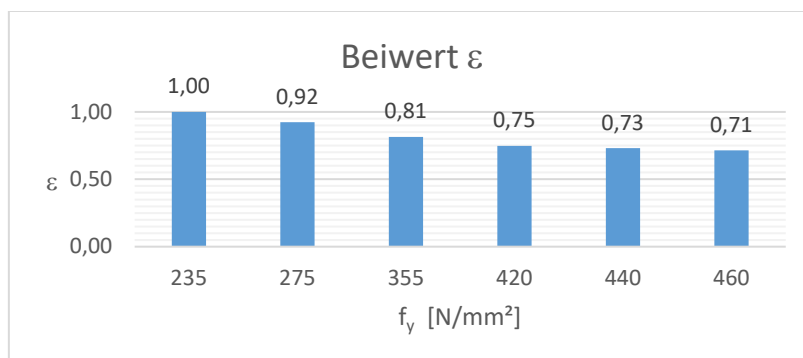
Alternativ kann dieser Schlankheitsgrad $\bar{\lambda}_p$ auch auf einen zweiten Weg mittels der Gleichung

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

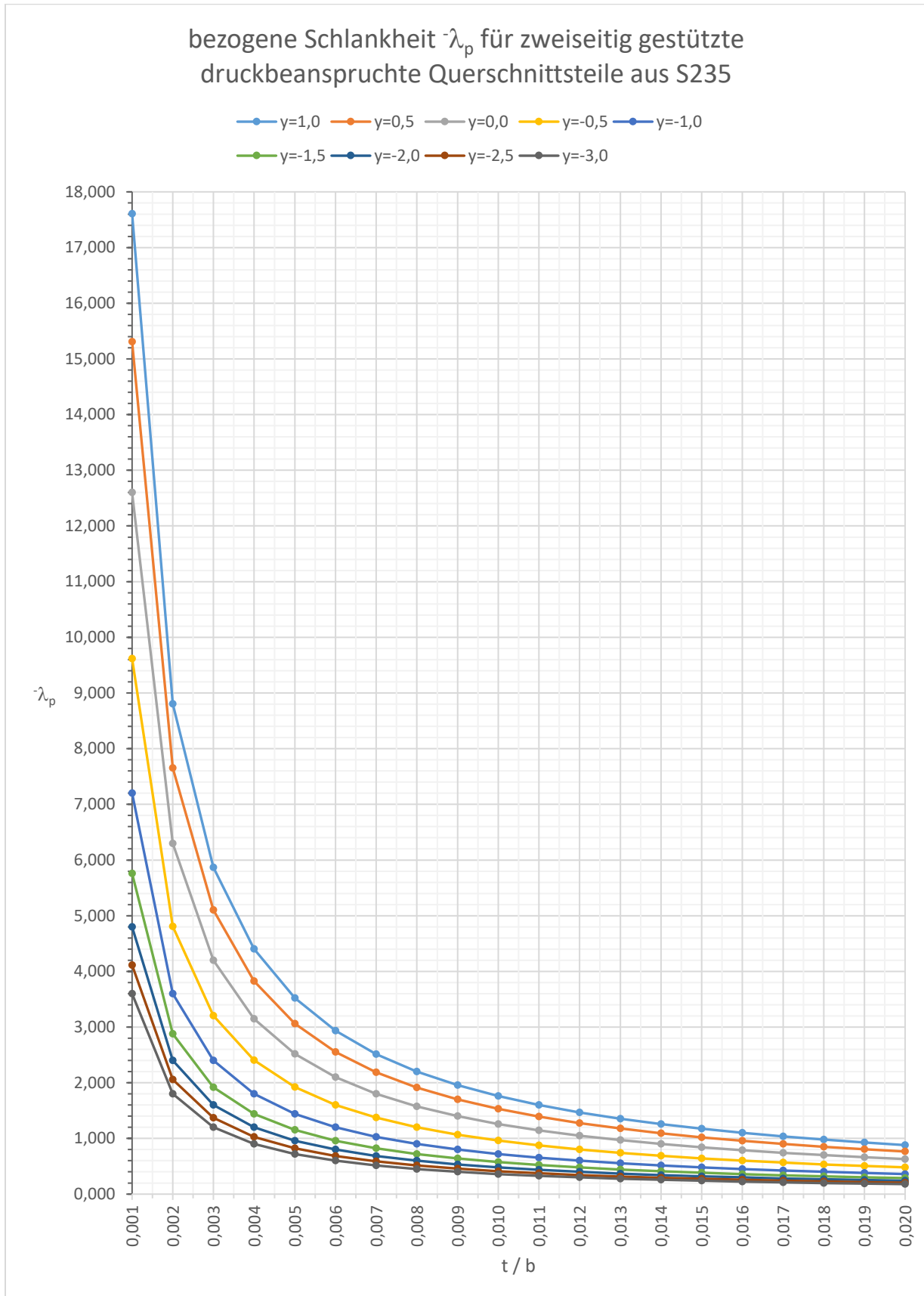
Das geometrische Verhältnis $\frac{\bar{b}}{t}$ kann mittels der obigen Erläuterungen berechnet werden. Damit das bei

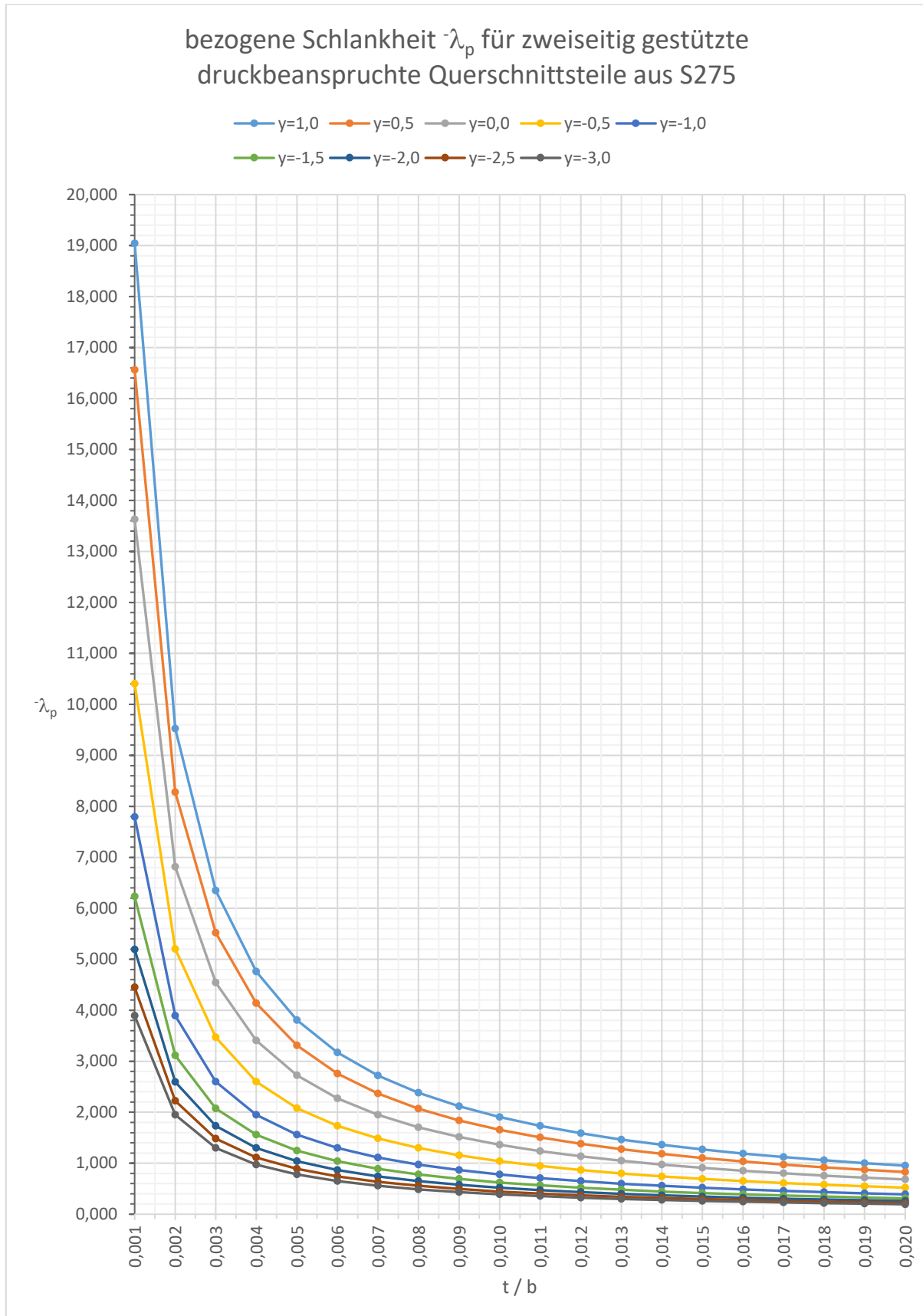
der Ermittlung der elastisch kritischen Beulspannung notwendige Verhältnis $\frac{t}{b} = \frac{t}{\bar{b}}$ verwendet werden

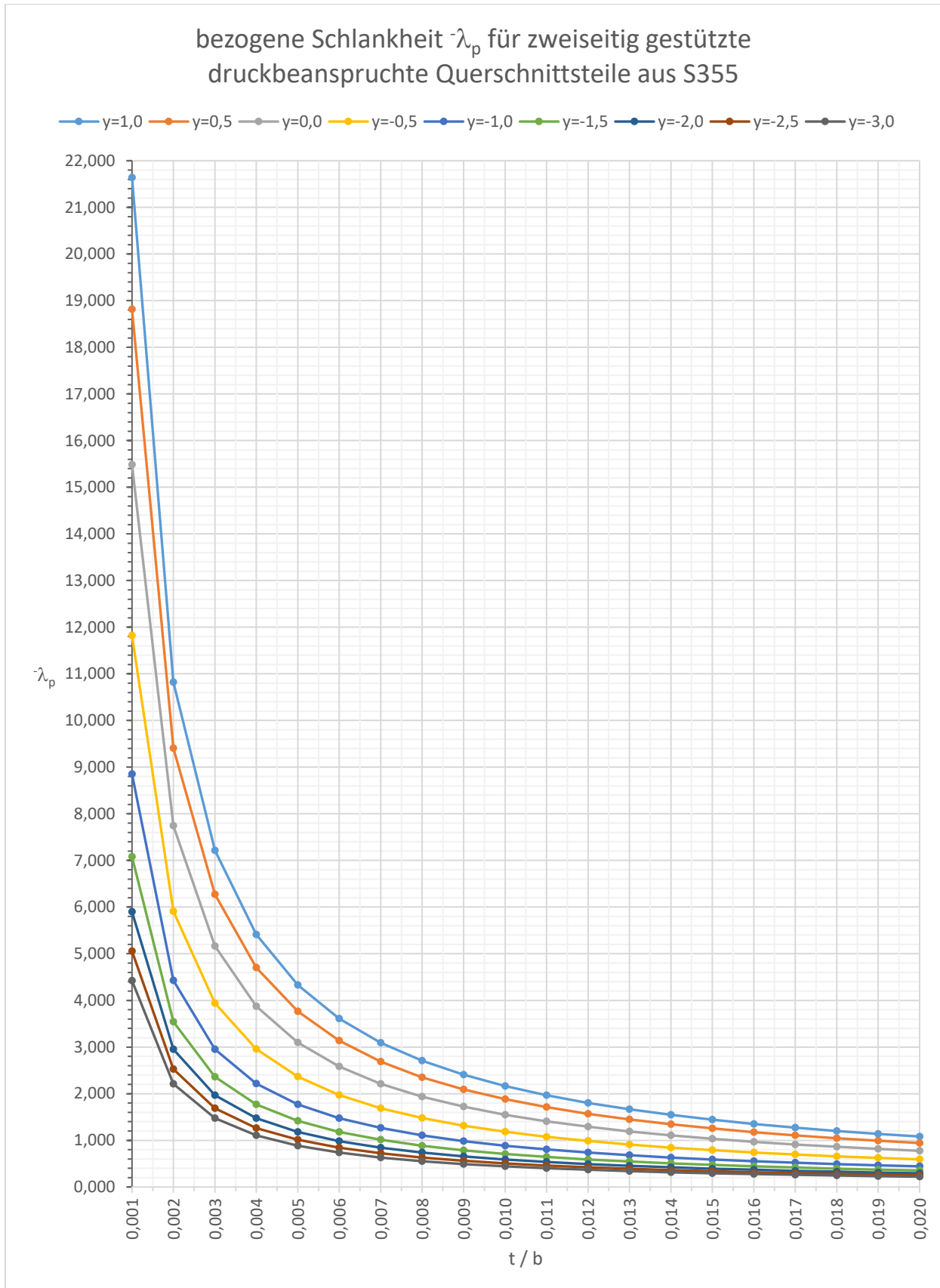
kann, wurde die Gleichung aus [1] zur Ermittlung des Schlankheitsgrades folgendermaßen angepasst und für $0,001 \leq \frac{t}{b} \leq 0,020$ sowie die in Deutschland üblichen Stahlsorten mit unterschiedlichen

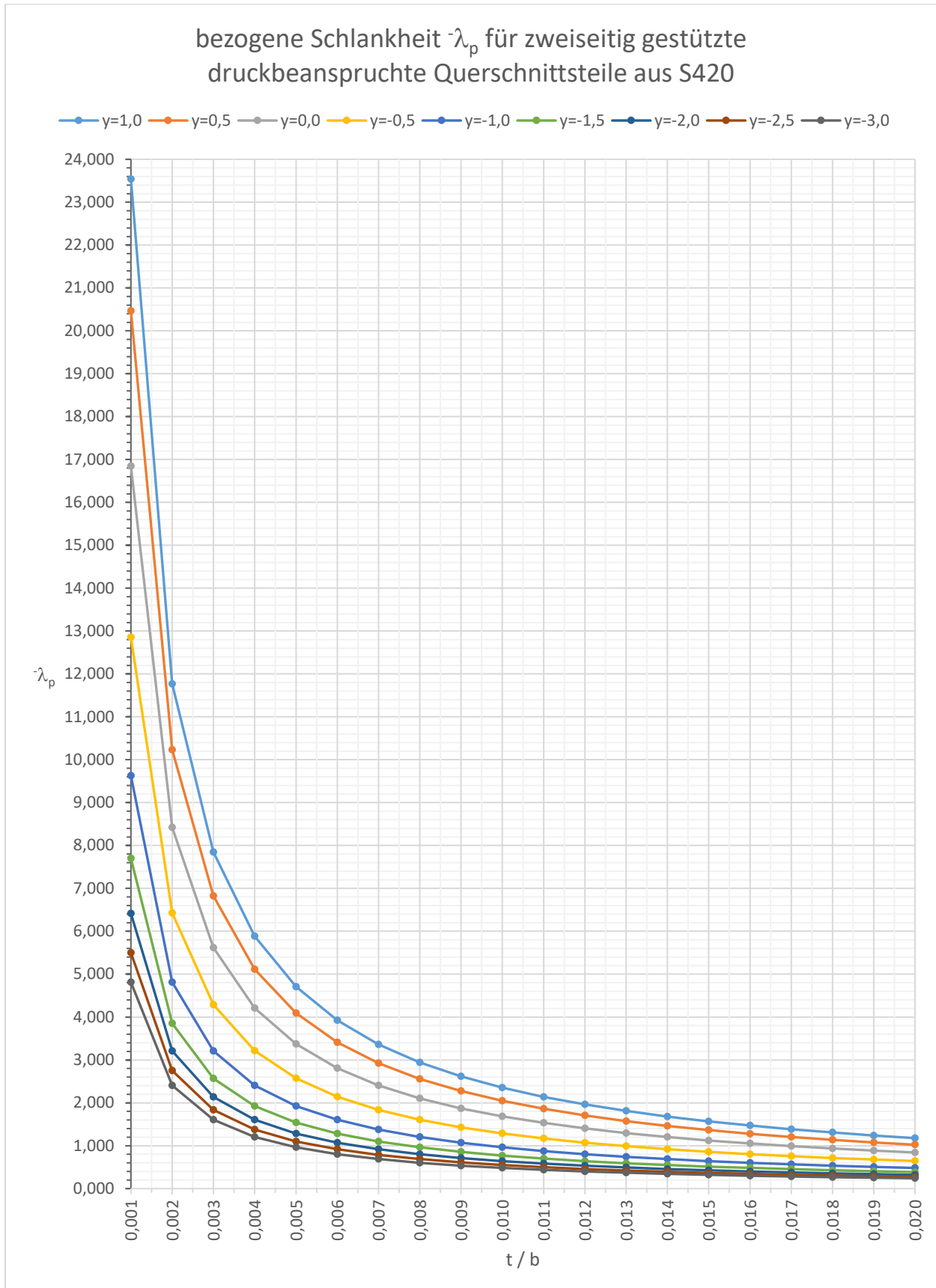
Randspannungsverhältnissen ψ (in den Diagrammen als y angegeben) ausgewertet. Die Ergebnisse sind in den folgenden sechs Diagrammen aufbereitet.

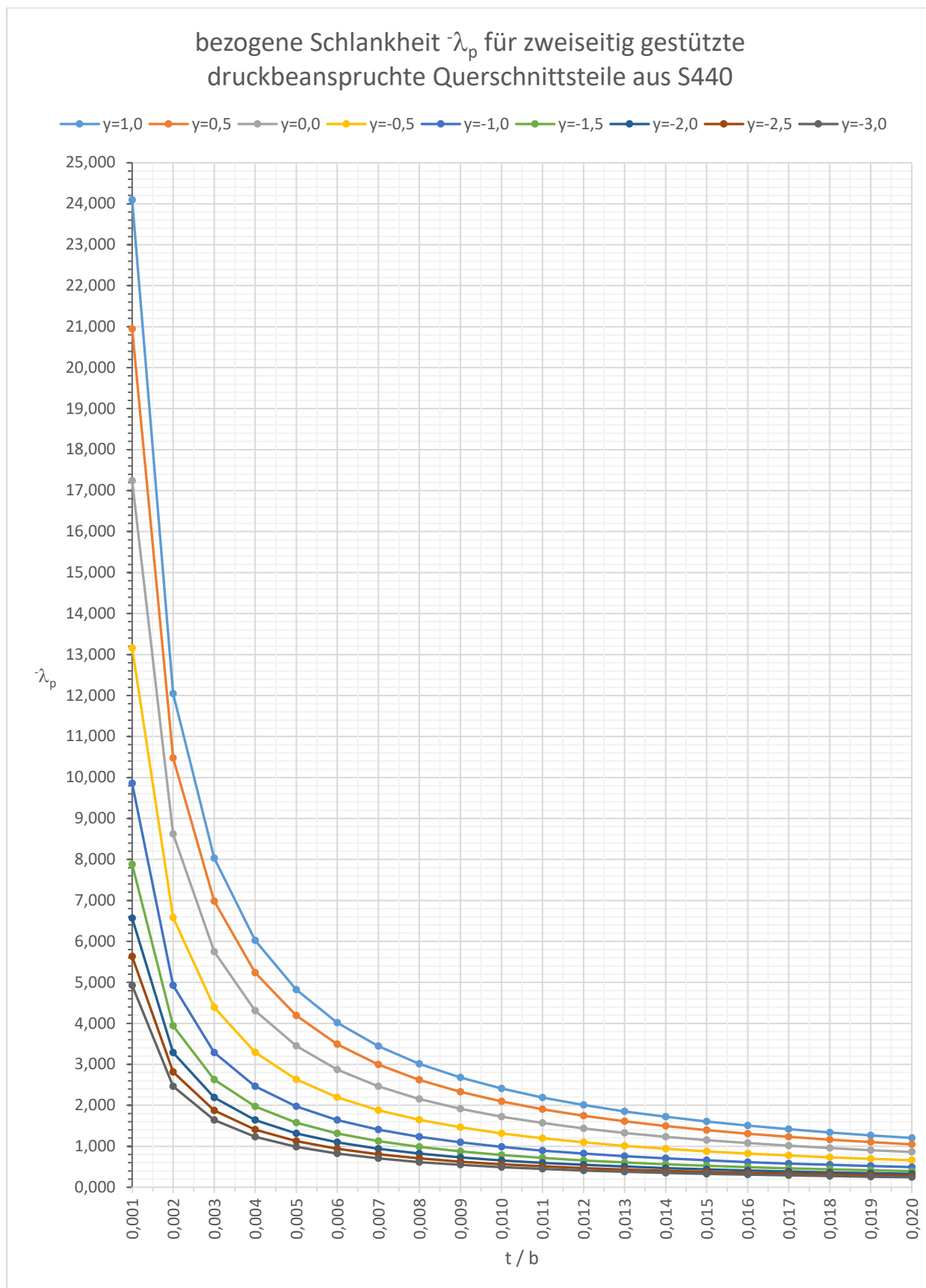
$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{1}{\frac{t}{\bar{b}}}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{1}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma} * \frac{t}{\bar{b}}}$$

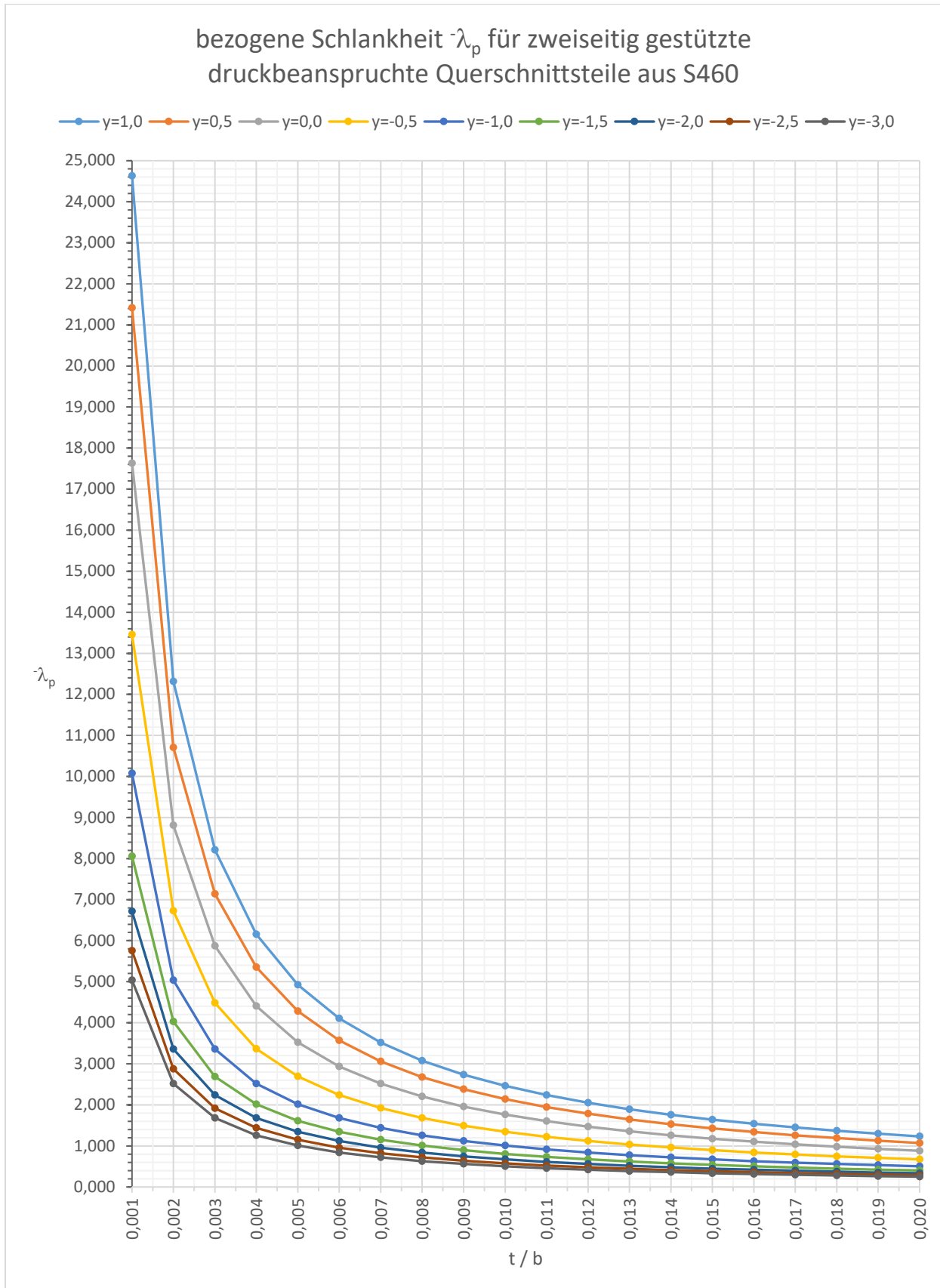








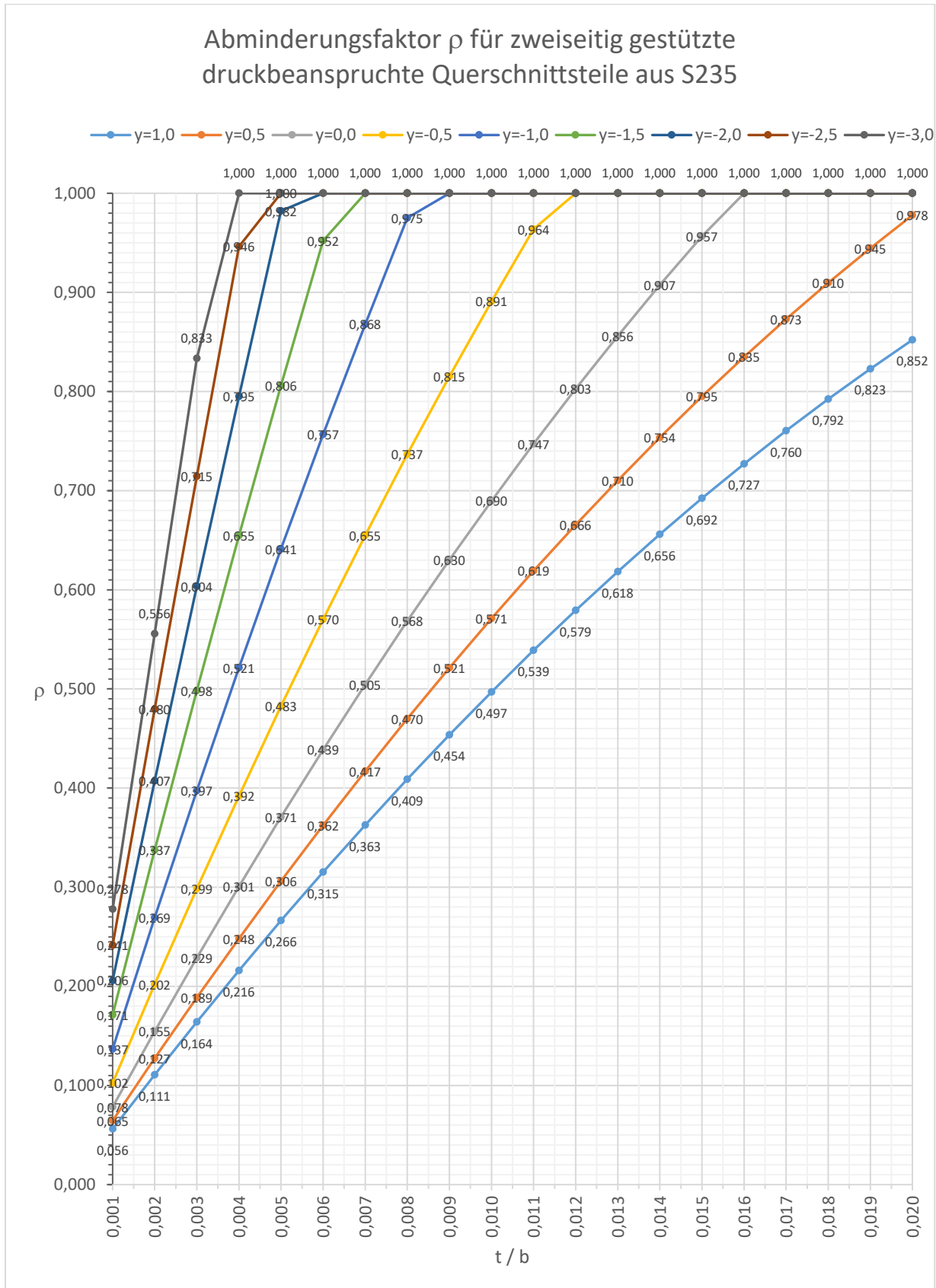


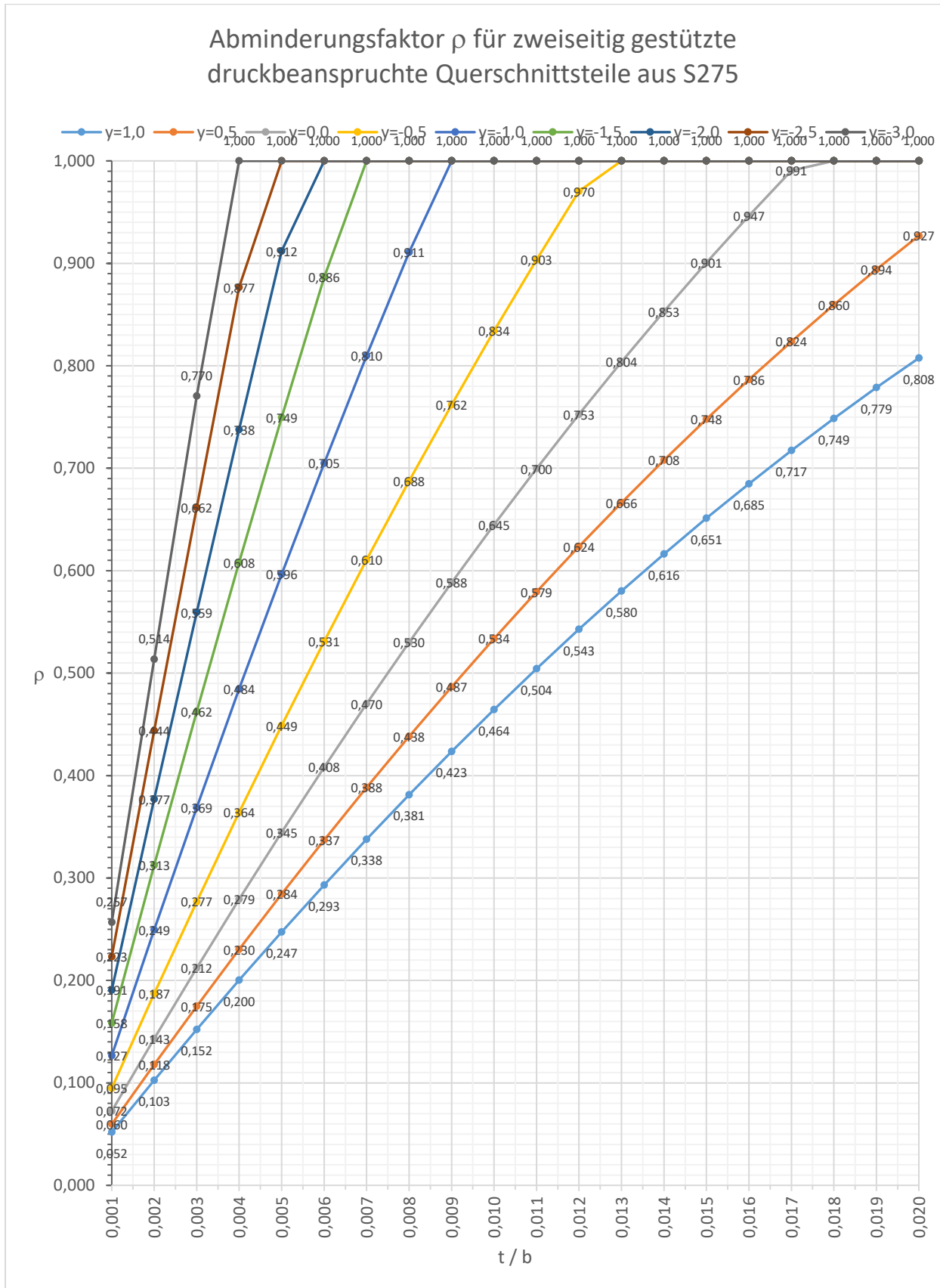


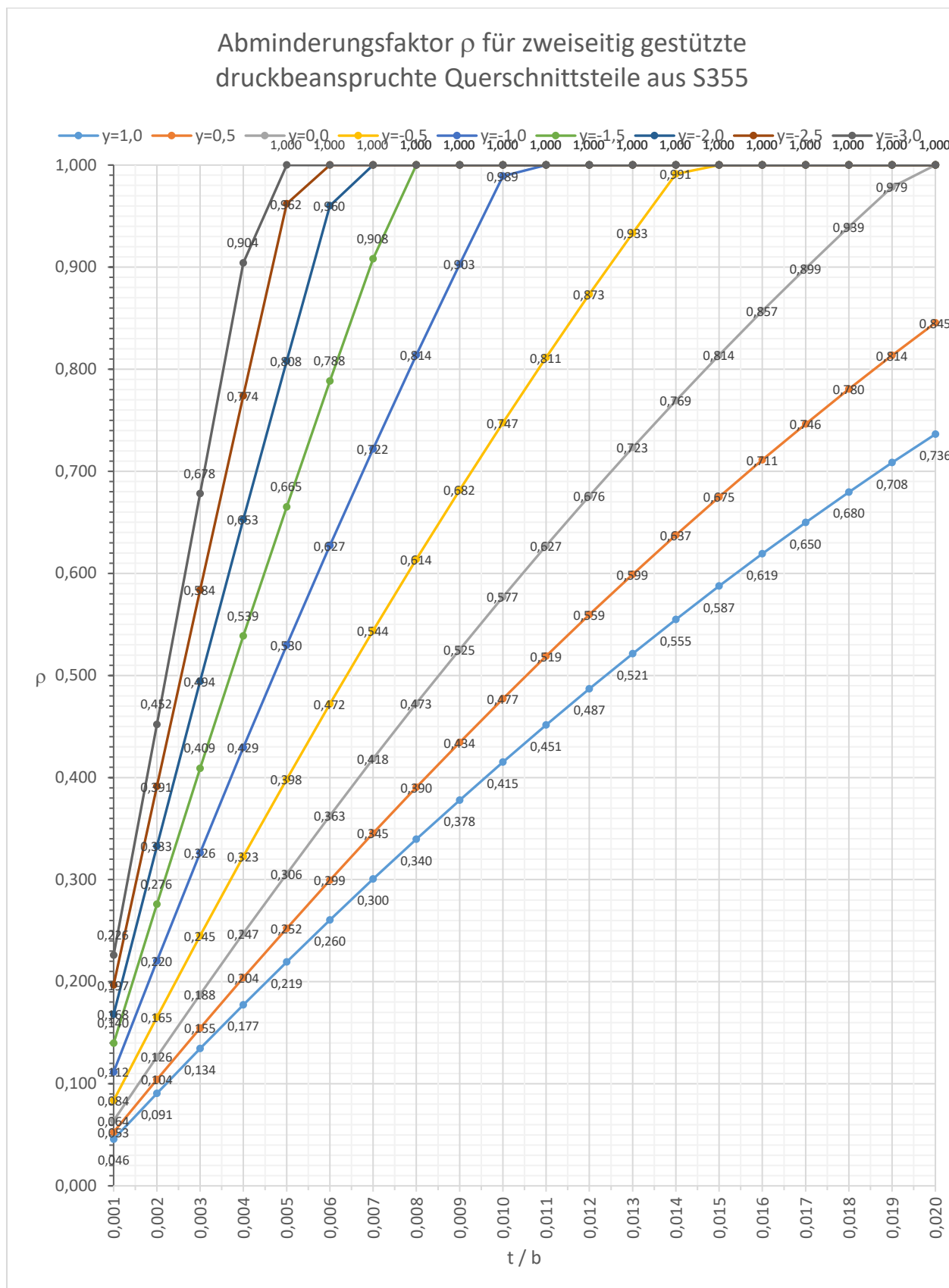
Somit kann der Abminderungsfaktor für das Beulen ρ in Abhängigkeit von dem geometrischen Verhältnis

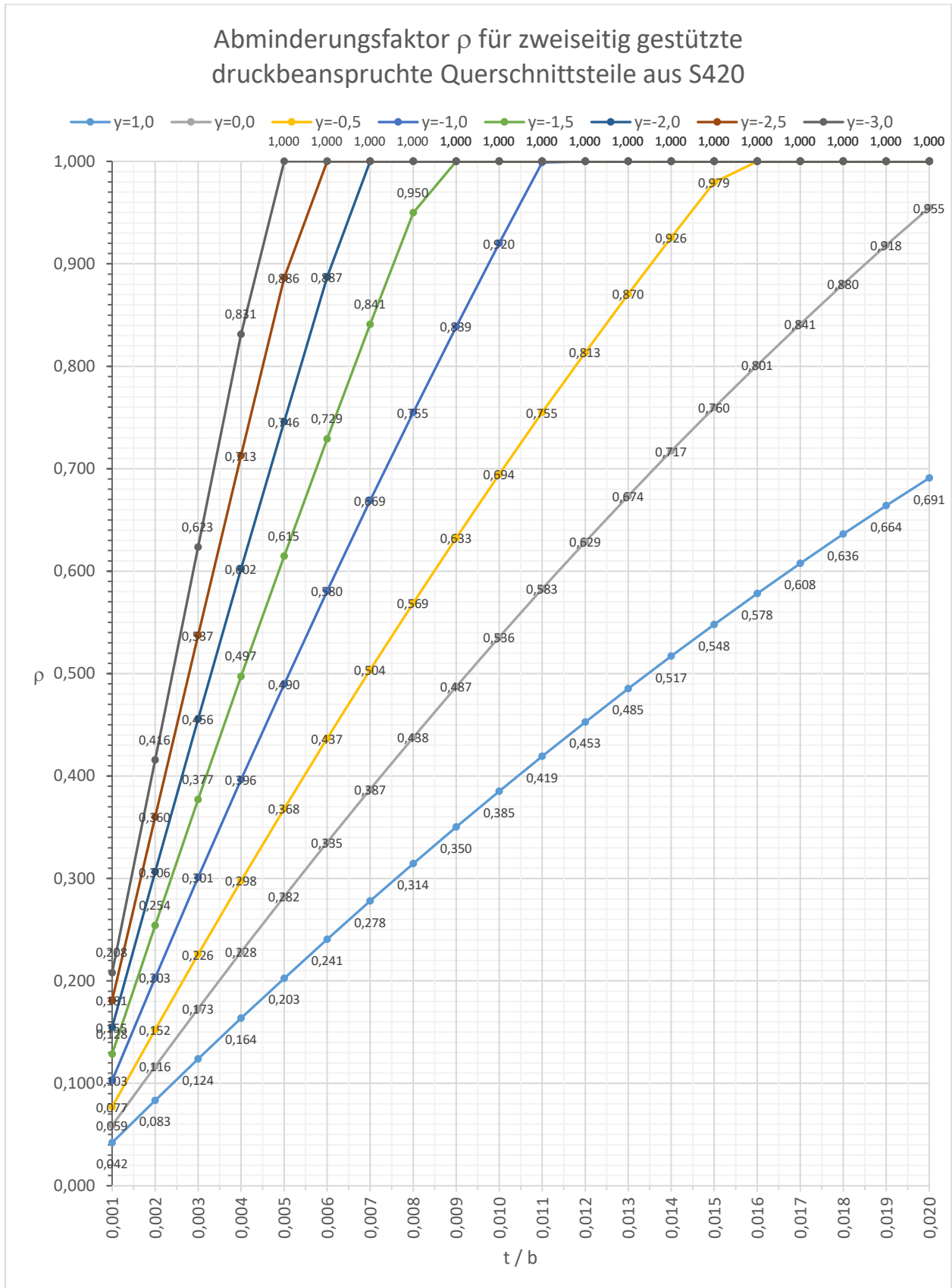
$\frac{t}{b} = \frac{t}{b}$ und dem Randspannungsverhältnis ψ ermittelt werden. Dies wurde für $0,001 \leq \frac{t}{b} \leq 0,020$ sowie

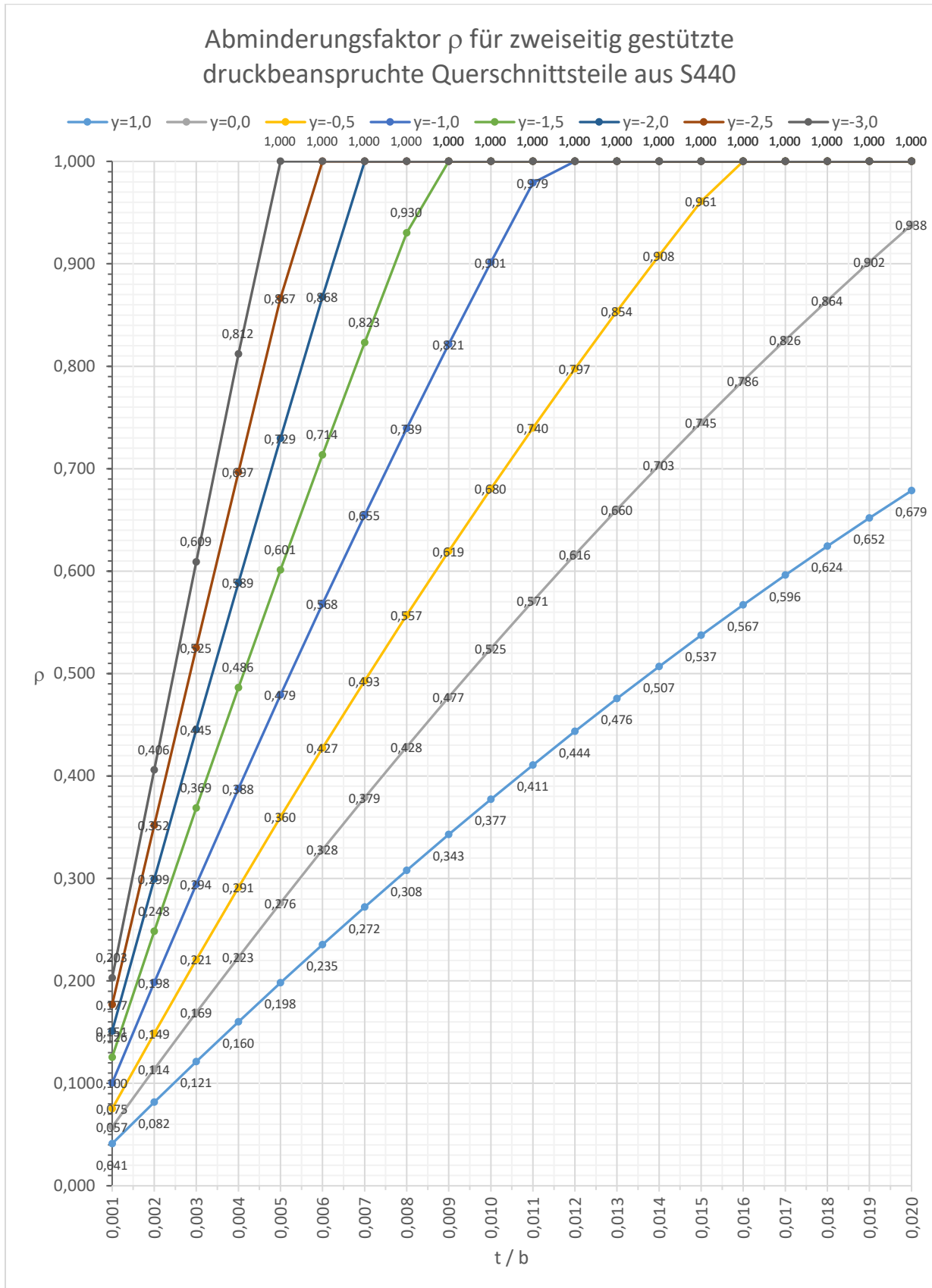
die in Deutschland üblichen Stahlsorten mit unterschiedlichen Randspannungsverhältnissen ψ durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden sechs Diagrammen aufbereitet, wobei wieder zu beachten ist, dass ψ in den Diagrammen als y angegeben wird.

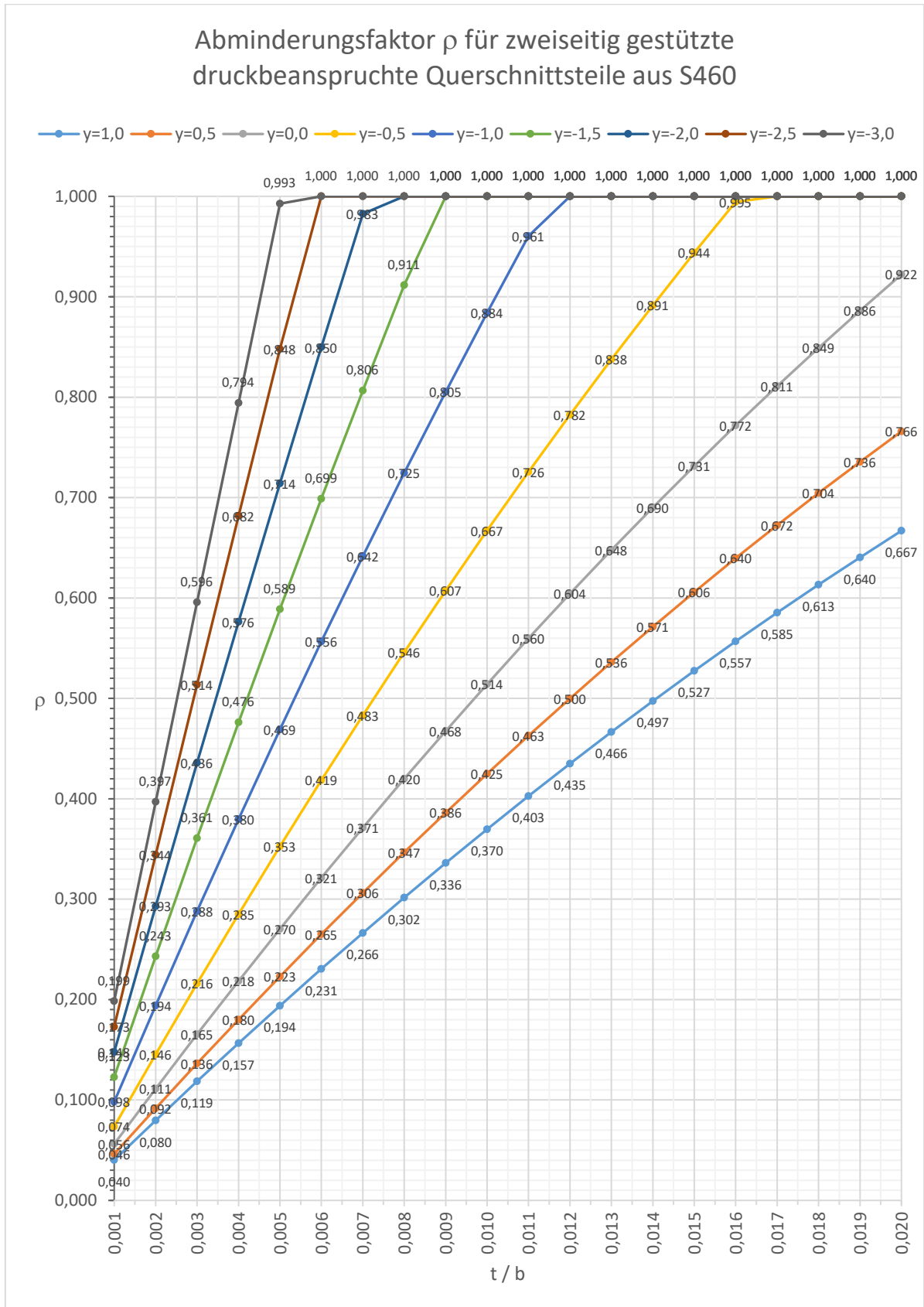












Mit Hilfe dieser Diagramme kann der Abminderungsfaktor für das Beulen ρ und ggf. notwendige Zwischenwerte sehr schnell bestimmt und die wirksame Fläche ebener druckbeanspruchter Einzelblechfelder ohne Längssteifen aber mit beidseitiger Stützung $A_{c,eff}$ einfach berechnet werden.

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 Prüfam
T. Schellenberg
Gulbener Straße 24
03046 Cottbus
Telefon 03342 4266-3400
Telefax 03342 4266-7608
BPA@LBV.Brandenburg.de
<https://lbv.brandenburg.de>