

## Tipp 26/05

### Wirksame Fläche ebener druckbeanspruchter und einseitig 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.

- $\rho$  Abminderungsfaktor für das Beulen  
 $A_c$  wirkliche Querschnittsfläche des druckbeanspruchten Blechfeldes

Nach [1], Abschnitt 4.4(2) ist bei einseitig gestützten Querschnittsteilen der Abminderungsfaktor  $\rho$  mittels der folgenden Gleichungen zu berechnen.

- für  $\bar{\lambda}_p \leq 0,748$   $\rho = 1,0$
- für  $\bar{\lambda}_p > 0,748$   $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$

Für die Ermittlung des Abminderungsfaktors für das Beulen  $\rho$  wird der Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_p$  benötigt.

Die Berechnung des Schlankheitsgrades  $\bar{\lambda}_p$  erfolgt mittels der folgenden Gleichung.

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

In dieser Gleichung werden die folgenden Werte berücksichtigt.

- $f_y$  Streckgrenze des Blechmaterials  
 $\sigma_{cr}$  kritische elastische Beulspannung  
 $\bar{b}$  maßgebende Breite des Blechfeldes  
 $t$  Blechdicke des Blechfeldes  
 $\varepsilon$  Materialbeiwert  
 $k_\sigma$  Beulwert in Abhängigkeit vom Randspannungsverhältnis  $\psi$

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

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

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

In dieser Gleichung werden der Beulwert des einseitig gestützten Blechfeldes  $k_\sigma$  und die elastische Beulspannung  $\sigma_E$  berücksichtigt.

Der Beulwert des einseitig gestützten Blechfeldes  $k_\sigma$  ist entsprechend [1], Tabelle 4.2 für maximale Randspannungsverhältnisse von  $1 \geq \psi \geq -3$  zu berechnen. Das Randspannungsverhältnis  $\psi$  ist entsprechend [1], Tabelle 4.2 bei einem Maximalwert der Druckspannung  $\sigma_1$  am freien Rand innerhalb eines Bereiches von  $1,0 \geq \psi \geq -3$  oder bei einem Maximalwert der Druckspannung  $\sigma_1$  am gestützten Rand innerhalb eines Bereiches von  $1,0 \geq \psi \geq -1$  zulässig und nach der folgenden Gleichung zu bestimmen.

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

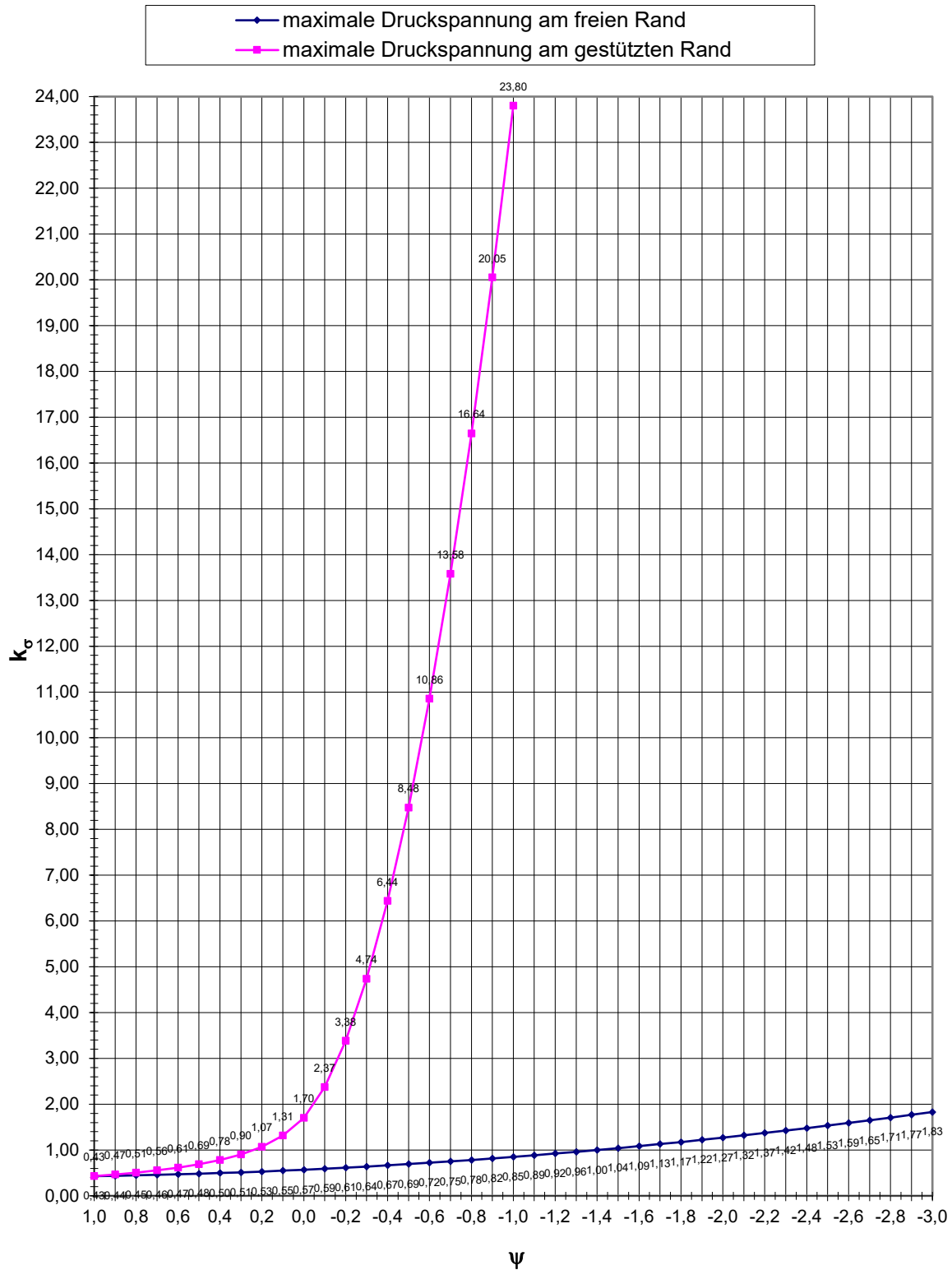
Dabei müssen die Randspannungen  $\sigma_1$  und  $\sigma_2$  an den Rändern des einseitig gestützten Blechfeldes berücksichtigt werden. Diese Randspannungen sind projektbezogen zu ermitteln und damit ist das Randspannungsverhältnis  $\psi$  zu bestimmen. Innerhalb der zulässigen Grenzen für das Randspannungsverhältnis  $\psi$  kann der Beulwert  $k_\sigma$  nach [1], Tabelle 4.2 mit Hilfe der folgenden Gleichungen bestimmt werden.

- Maximalwert der Druckspannung  $\sigma_1$  am freien Rand
  - für  $\psi = 1,0$   $k_\sigma = 0,43$
  - für  $\psi = 0,0$   $k_\sigma = 0,57$
  - für  $\psi = -1,0$   $k_\sigma = 0,85$
  - für  $-1,0 > \psi > -3,0$   $k_\sigma = 0,57 - 0,21 * \psi + 0,07 * \psi^2$
- Maximalwert der Druckspannung  $\sigma_1$  am gestützten Rand
  - für  $\psi = 1,0$   $k_\sigma = 0,43$
  - für  $1,0 > \psi > 0,0$   $k_\sigma = \frac{0,578}{\psi + 0,34}$
  - für  $\psi = 0,0$   $k_\sigma = 1,70$
  - für  $0,0 > \psi > -1,0$   $k_\sigma = 1,7 - 5 * \psi + 17,1 * \psi^2$
  - für  $\psi = -1,0$   $k_\sigma = 23,8$

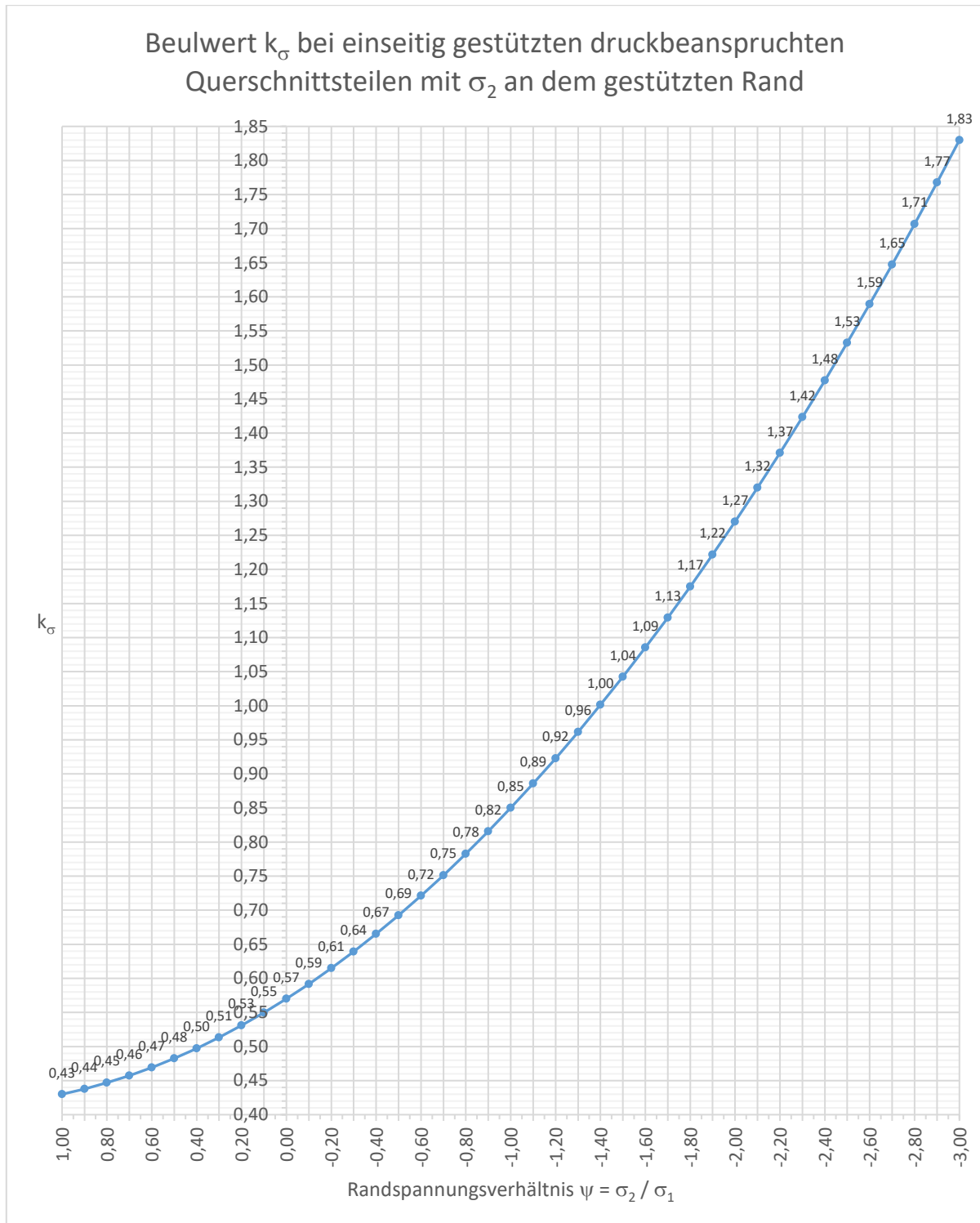
Bei genauer Betrachtung der Gleichungen für  $k_\sigma$  bei einem Maximalwert der Druckspannung  $\sigma_1$  am freien Rand fällt auf, dass die für den Bereich  $-1,0 > \psi > -3,0$  angegebene Gleichung für  $k_\sigma$  über den gesamten Randspannungsbereich von  $1,0 > \psi > -3,0$  angewandt werden kann. Somit ist die Angabe von punktuellen Stützstellen für  $\psi = 1,0$ ,  $\psi = 0,0$  und  $\psi = -1,0$  in [1], Tabelle 4.2 überflüssig.

Eine Auswertung dieser Gleichungen zur Bestimmung des Beulwertes  $k_\sigma$  ergibt den folgenden graphischen Verlauf der Funktionen.

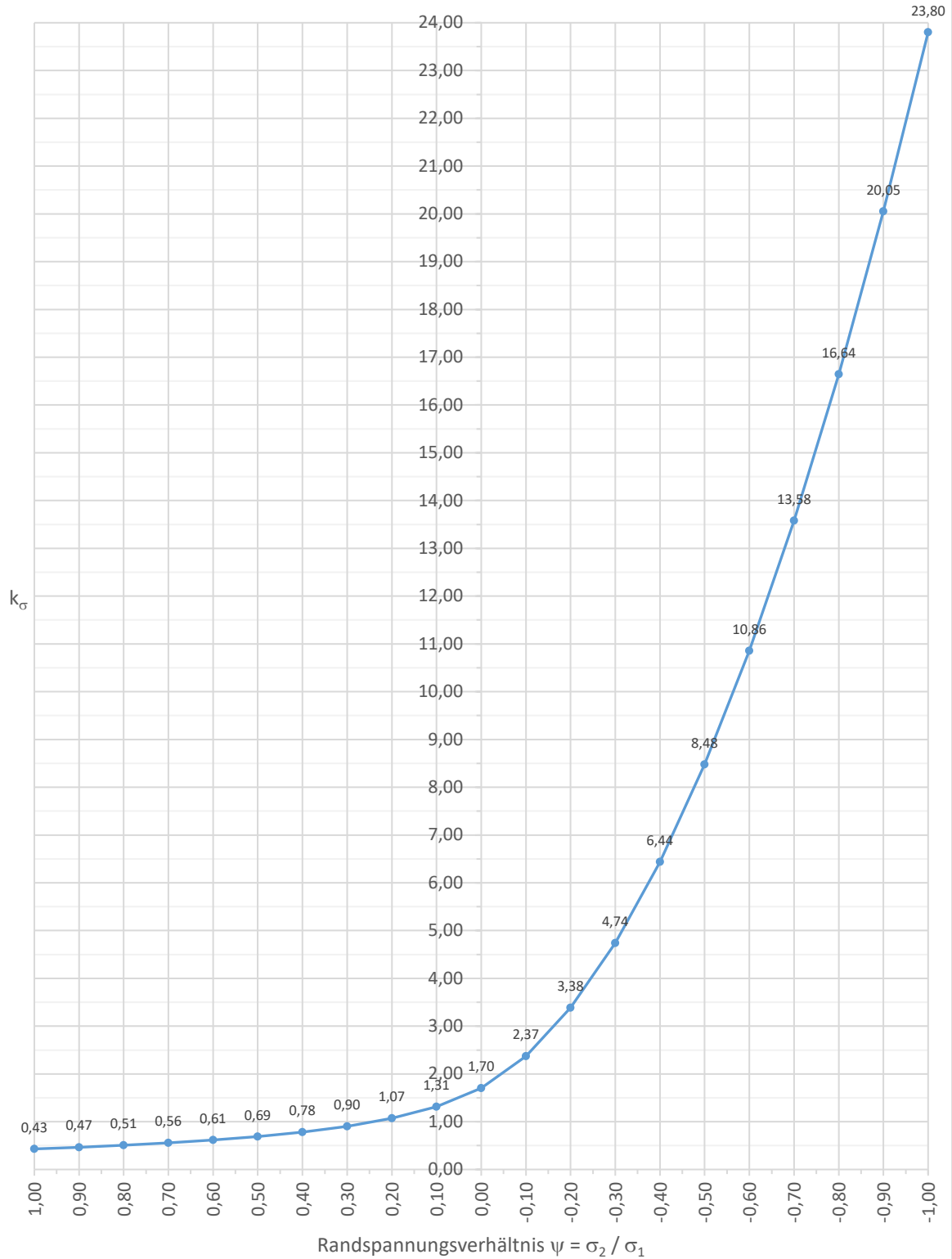
### Beulwerte für einseitig gestützte druckbeanspruchte Querschnittsteile



Damit ein Ablesen der Ergebnisse des Beulwertes  $k_\sigma$  vereinfacht wird, werden die Verläufe getrennt nach der Lage der maximalen Druckspannung  $\sigma_2$  (am gestützten oder am freien Rand) in den beiden folgenden Diagrammen aufgeteilt.



Beulwert  $k_{\sigma}$  bei einseitig gestützten druckbeanspruchten  
Querschnittsteilen mit  $\sigma_2$  an dem freien Rand



Die elastische Beulspannung  $\sigma_E$  kann, entsprechend [1], Anhang A.1 (2), 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.

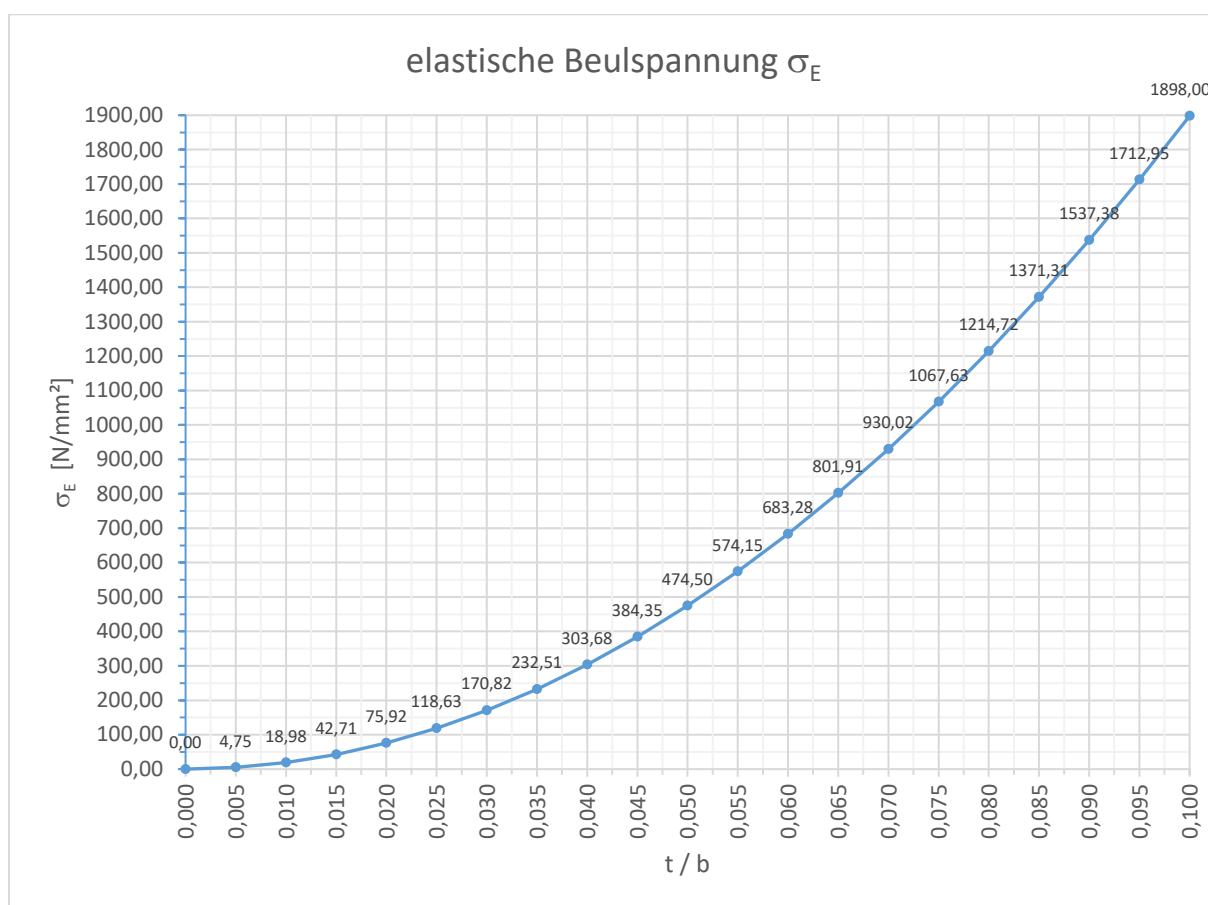
- E     Elastizitätsmodul des Stahls
- $\nu$     Querdehnzahl des Stahls
- b     Breite des Blechfeldes

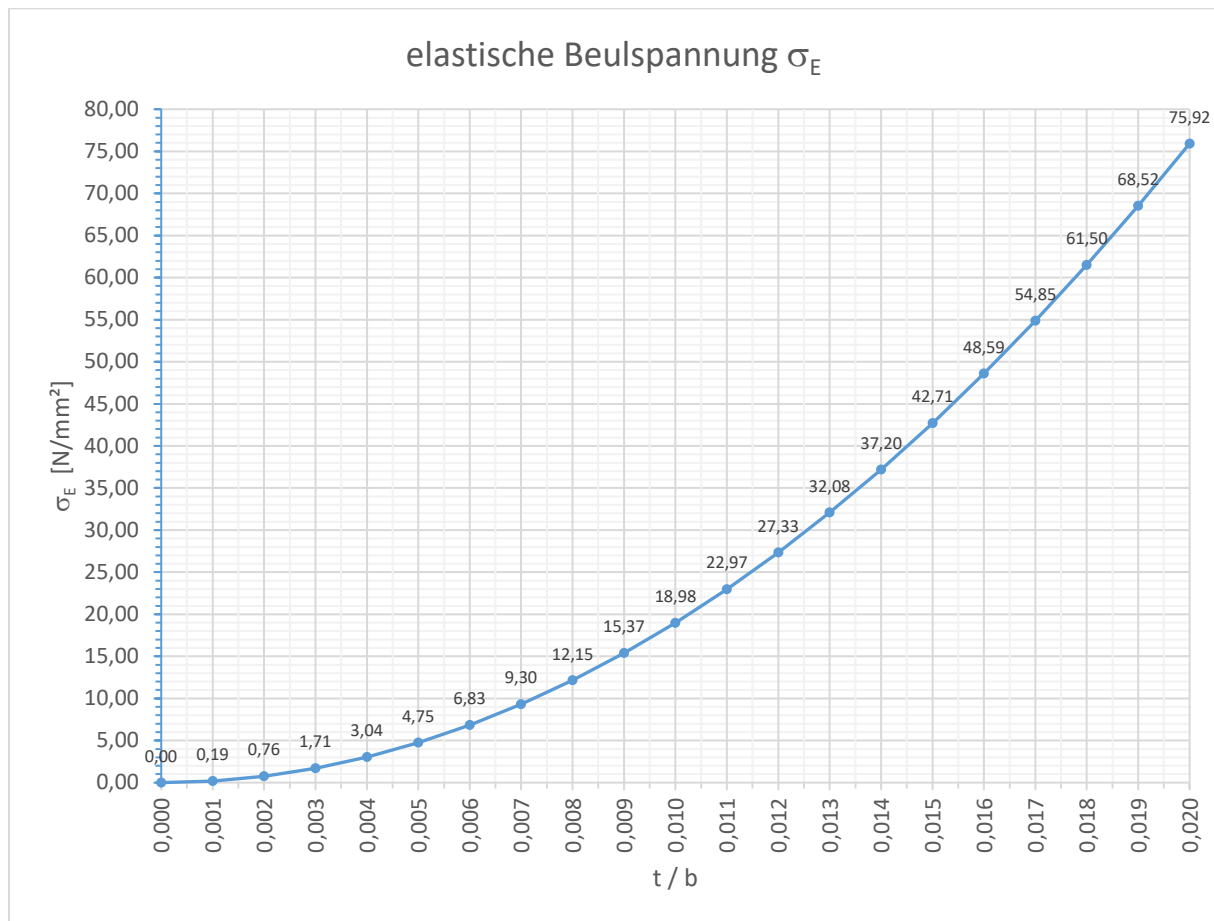
Der Elastizitätsmodul und die Querdehnzahl des Stahls können aus [4], Abschnitt 3.2.6 entnommen werden und sind mit  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$  und  $\nu = 0,3$  anzunehmen.

Die Breite des Blechfeldes kann in dieser Gleichung mit der maßgebenden Breite des Blechfeldes  $\bar{b}$  gleichgesetzt werden. Dementsprechend ist die Breite des Blechfeldes für einseitig gestützte Gurt-elemente  $b = \bar{b} = c$  und für gleich- und ungleichschenklige Winkel  $b = \bar{b} = h$  anzusetzen.

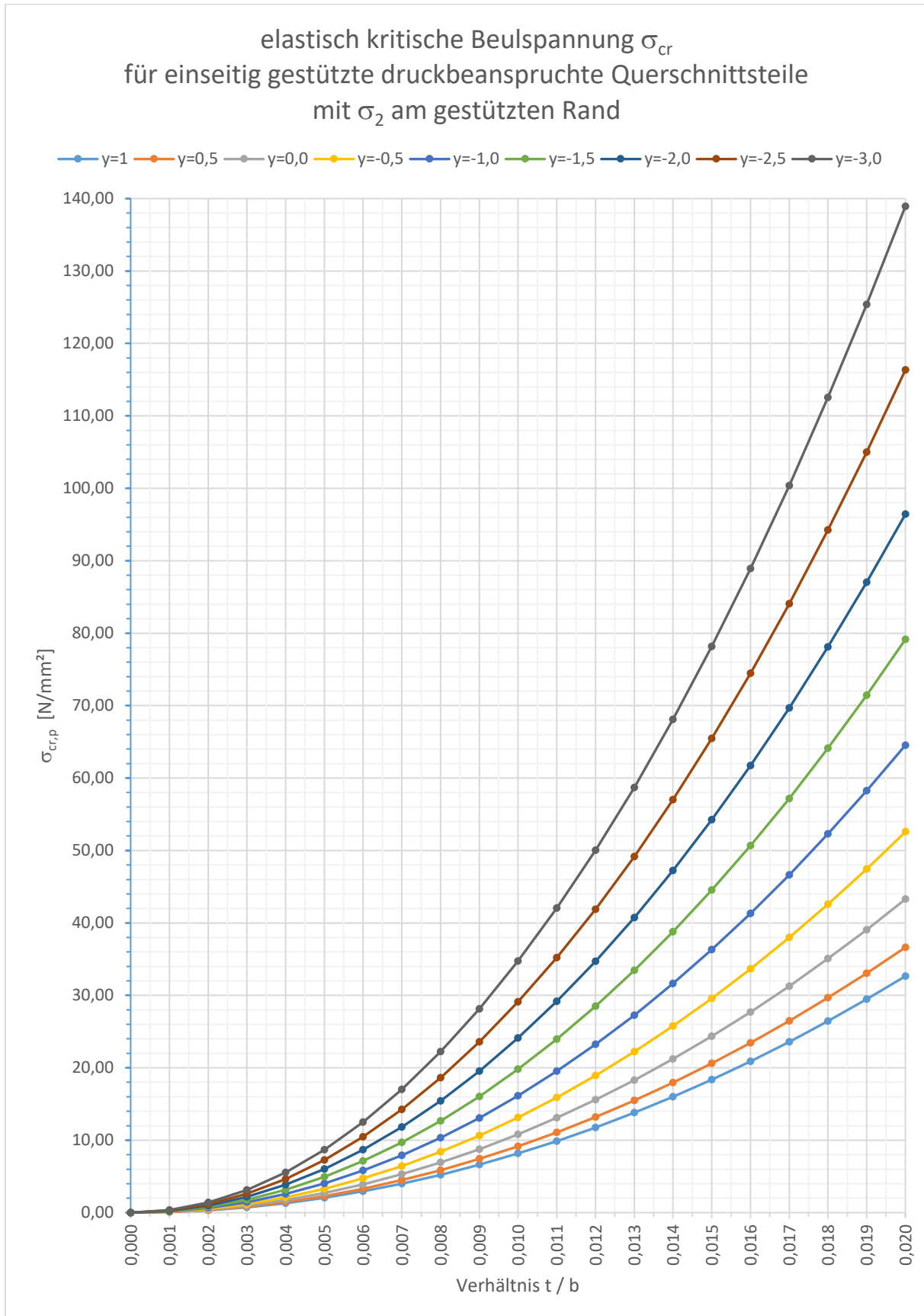
Nach Auswertung der Gleichung der elastischen Beulspannung  $\sigma_E$  für  $0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,10$  und detaillierter für

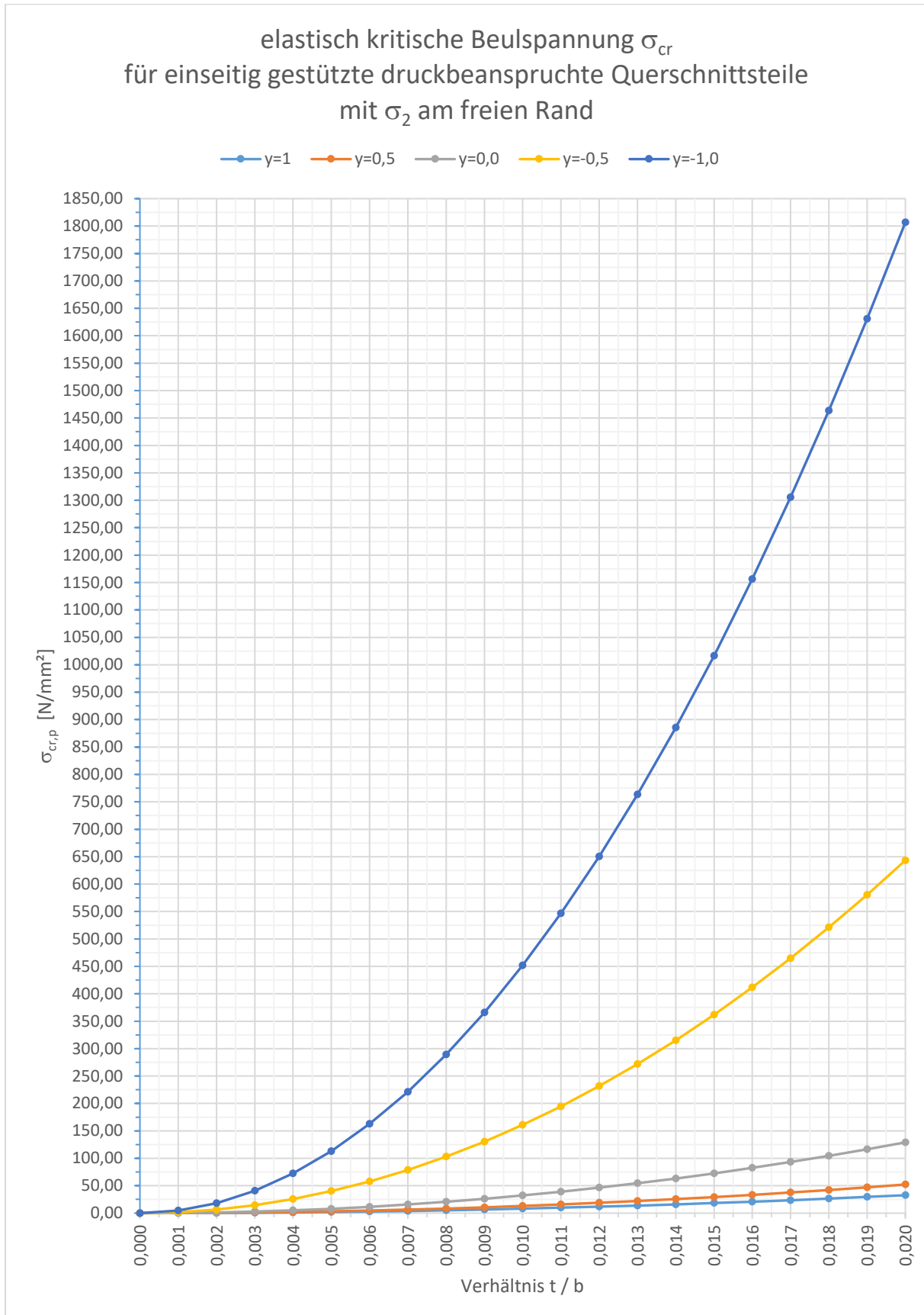
$0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,02$  ergeben sich die beiden folgenden Diagramme.





Somit kann nach der Ermittlung des Randspannungsverhältnisses  $\psi$  und des Verhältnisses  $\frac{t}{b}$  mit Hilfe der vorgestellten Diagramme die kritische elastische Beulspannung  $\sigma_{cr}$  einfach ermittelt werden. Die Ergebnisse der Ermittlung von  $\sigma_{cr}$  für geometrische Verhältnisse  $0 \leq \frac{t}{b} \leq 0,02$  und verschiedene Randspannungsverhältnisse  $\psi$  (hier mit  $y$  bezeichnet) in Abhängigkeit von der Lage der Spannung  $\sigma_2$  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.

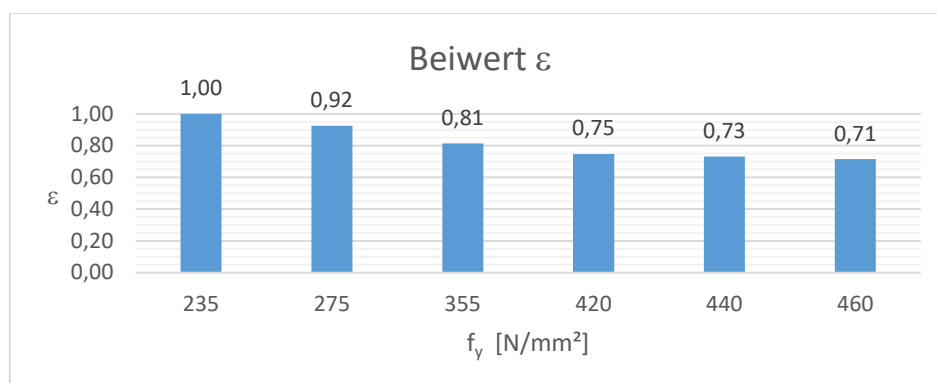
Alternativ kann dieser Schlankheitsgrad  $\bar{\lambda}_p$  auch auf einen zweiten Weg mittels der Gleichung

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

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

Der Materialbeiwert  $\varepsilon$  wird mit Hilfe der folgenden Gleichung ermittelt und die Ergebnisse für in Deutschland normativ geregelte Stähle können dem folgenden Diagramm entnommen werden.

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



Die Vorgehensweise zur Ermittlung des Beulwertes  $k_\sigma$  wurde schon oben dargelegt und das entsprechende Diagramm ist anzuwenden.

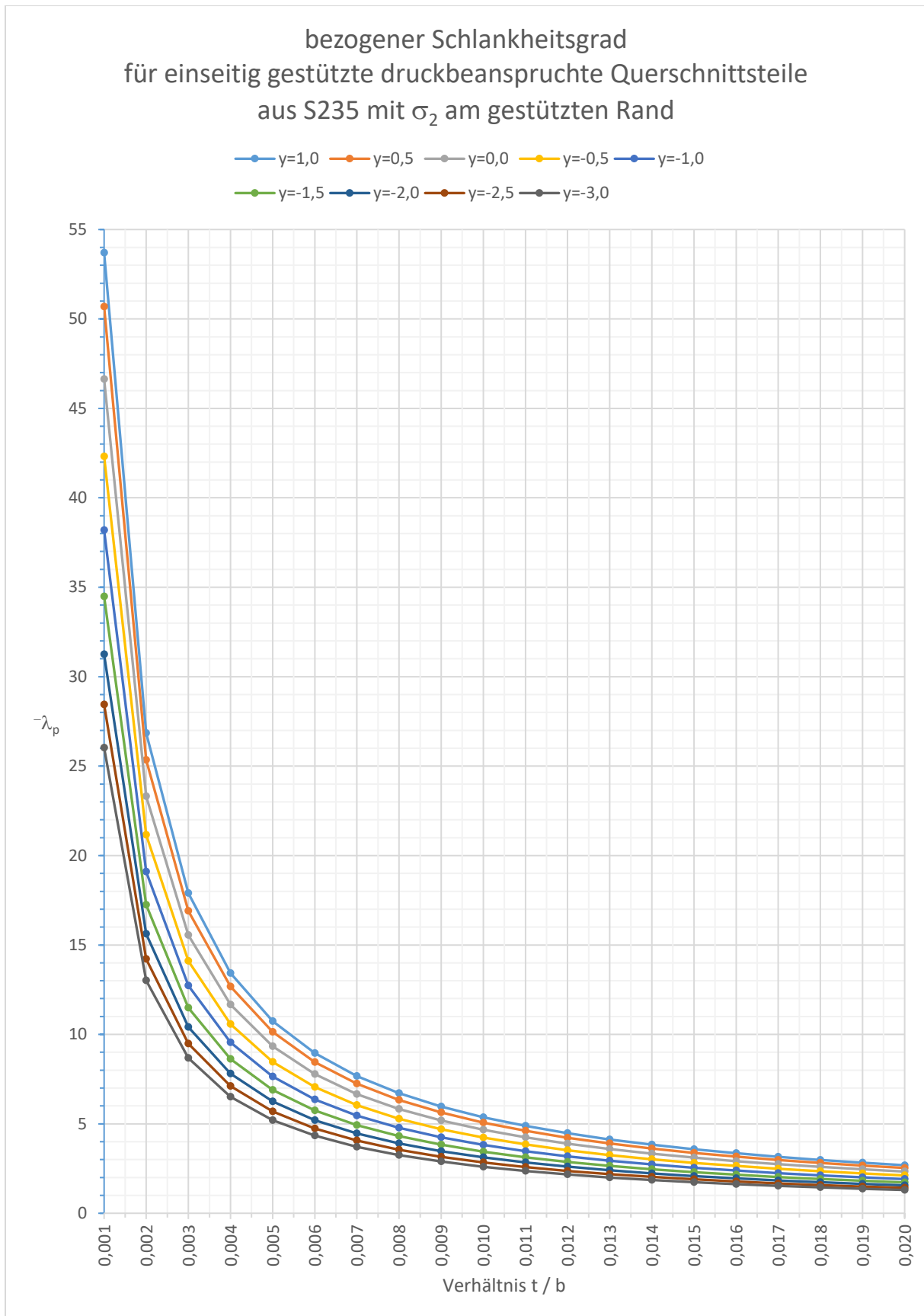
Das geometrische Verhältnis  $\frac{\bar{b}}{t}$  kann mittels der obigen Erläuterungen berechnet werden. Damit das bei

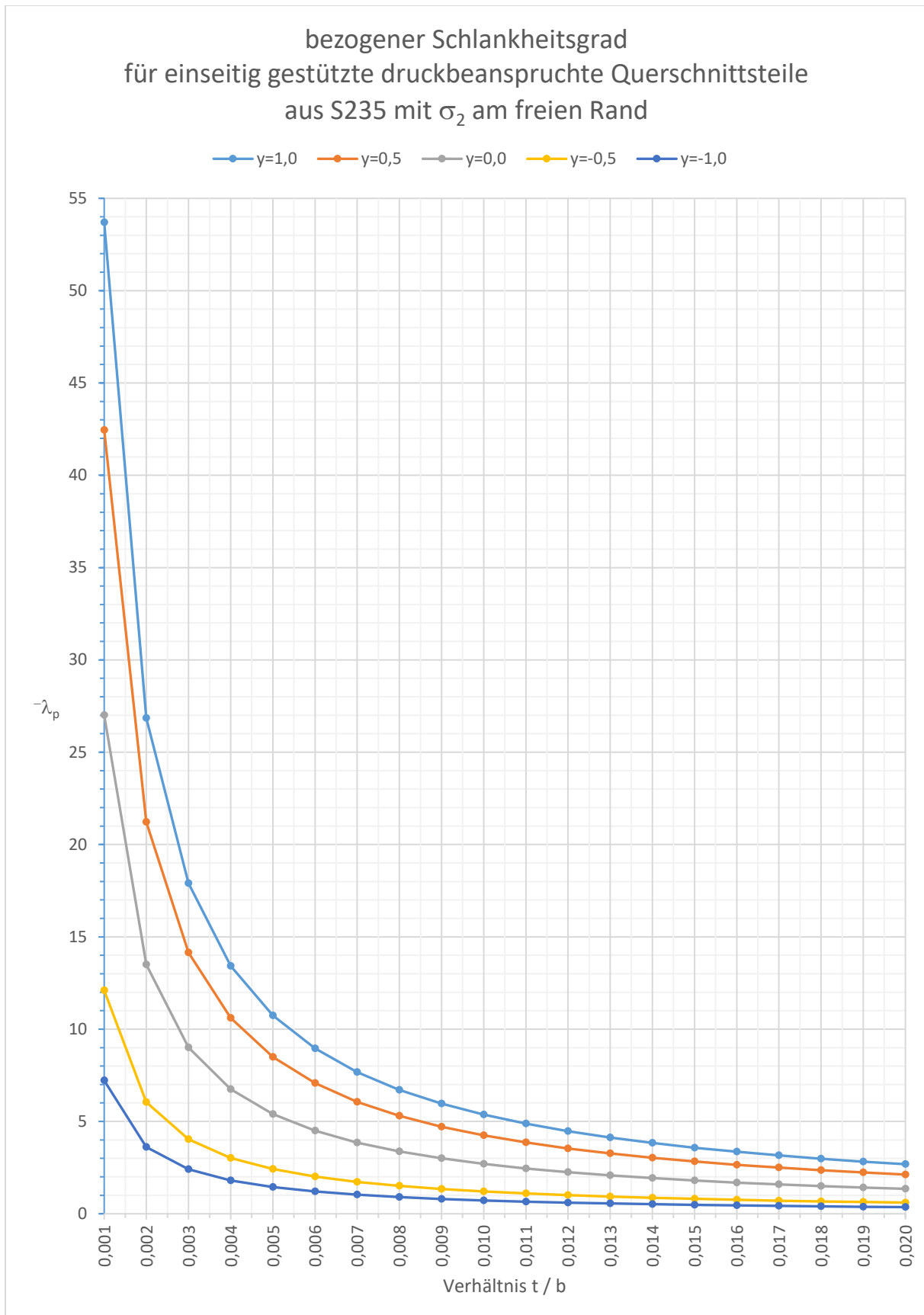
der Ermittlung der elastisch kritischen Beulspannung notwendige Verhältnis  $\frac{t}{b} = \frac{t}{\bar{b}}$  verwendet werden

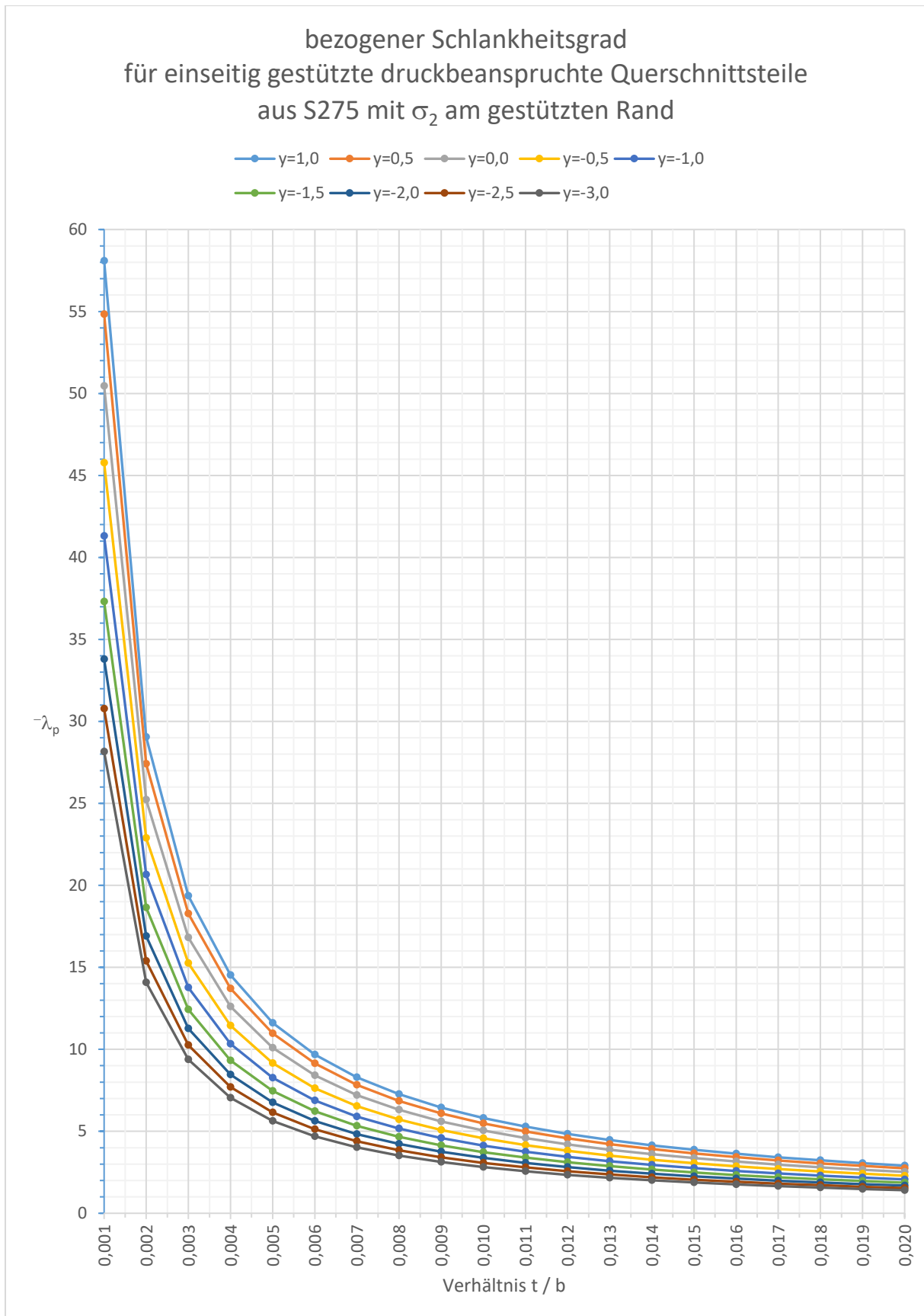
kann, wurde die Gleichung aus [1] zur Ermittlung des Schlankheitsgrades folgendermaßen angepasst und für  $0,001 \leq \frac{t}{b} \leq 0,020$  sowie die in Deutschland üblichen Stahlsorten mit unterschiedlichen

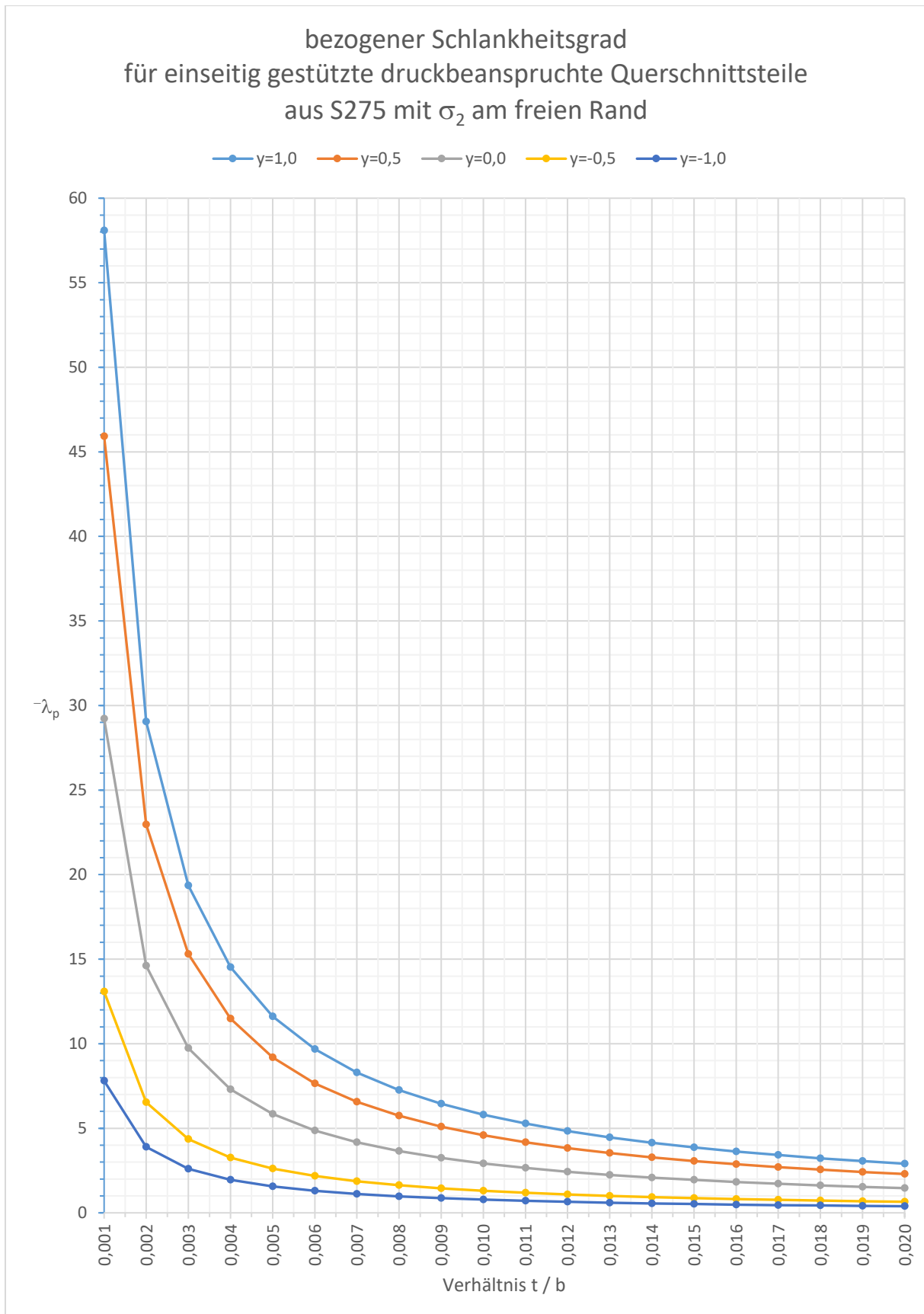
Randspannungsverhältnissen  $\psi$  (in den Diagrammen als  $\psi$  angegeben) ausgewertet. Die Ergebnisse sind in den folgenden 12 Diagrammen aufbereitet.

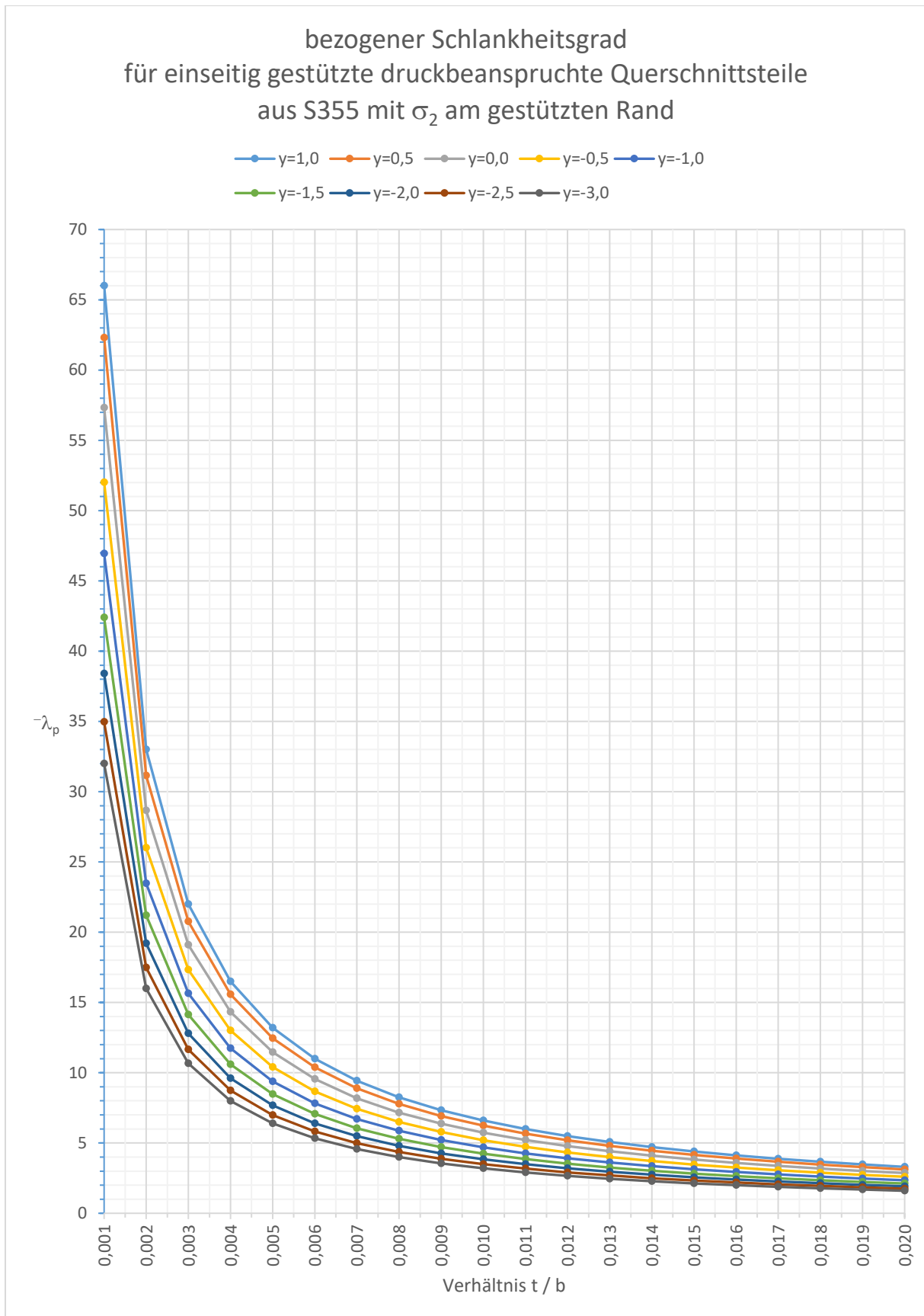
$$\bar{\lambda}_p = \frac{\frac{\bar{b}}{t}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{\frac{1}{\frac{t}{\bar{b}}}}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma}} = \frac{1}{28,4 * \varepsilon * \sqrt{k_\sigma} * \frac{t}{\bar{b}}}$$

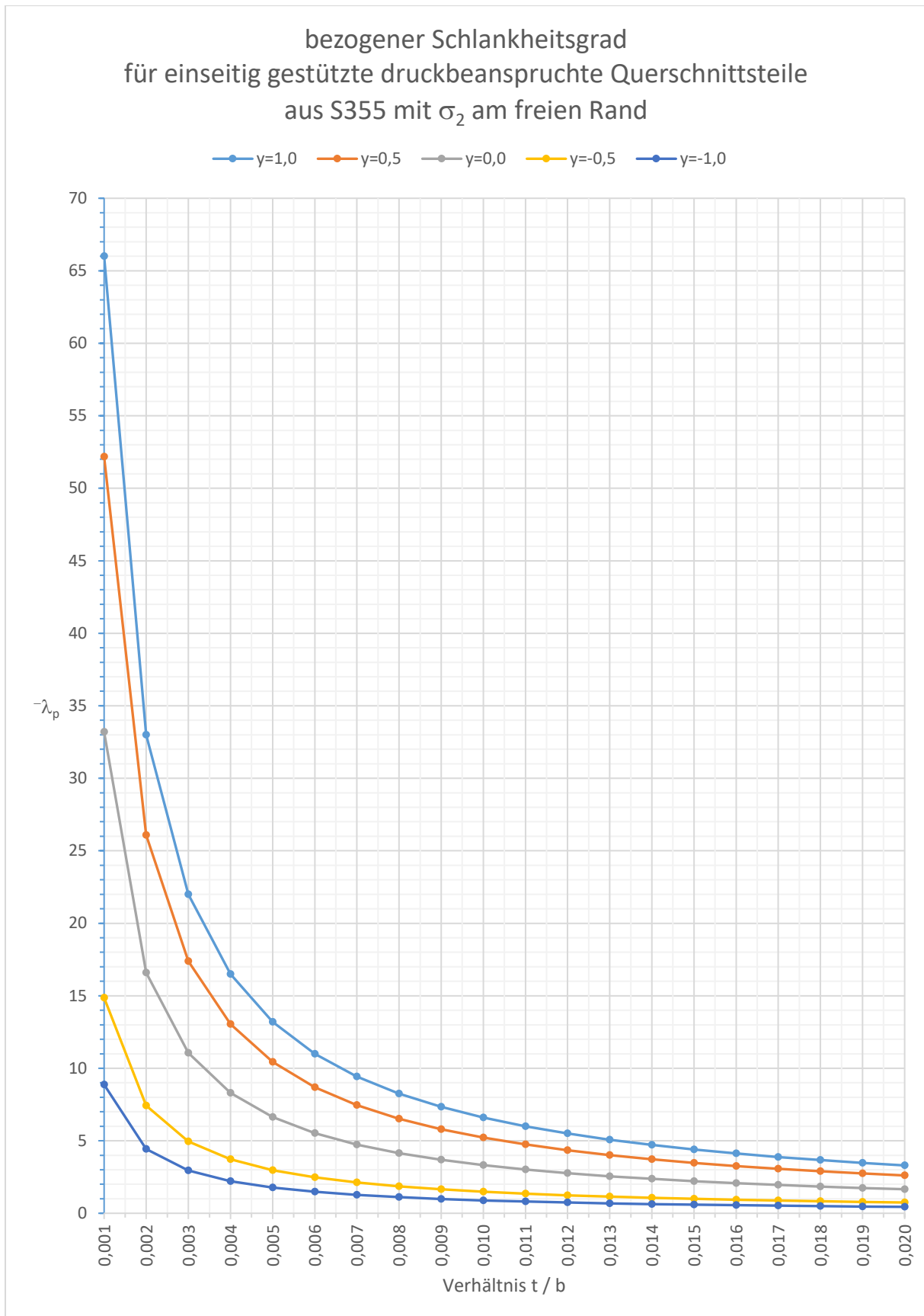


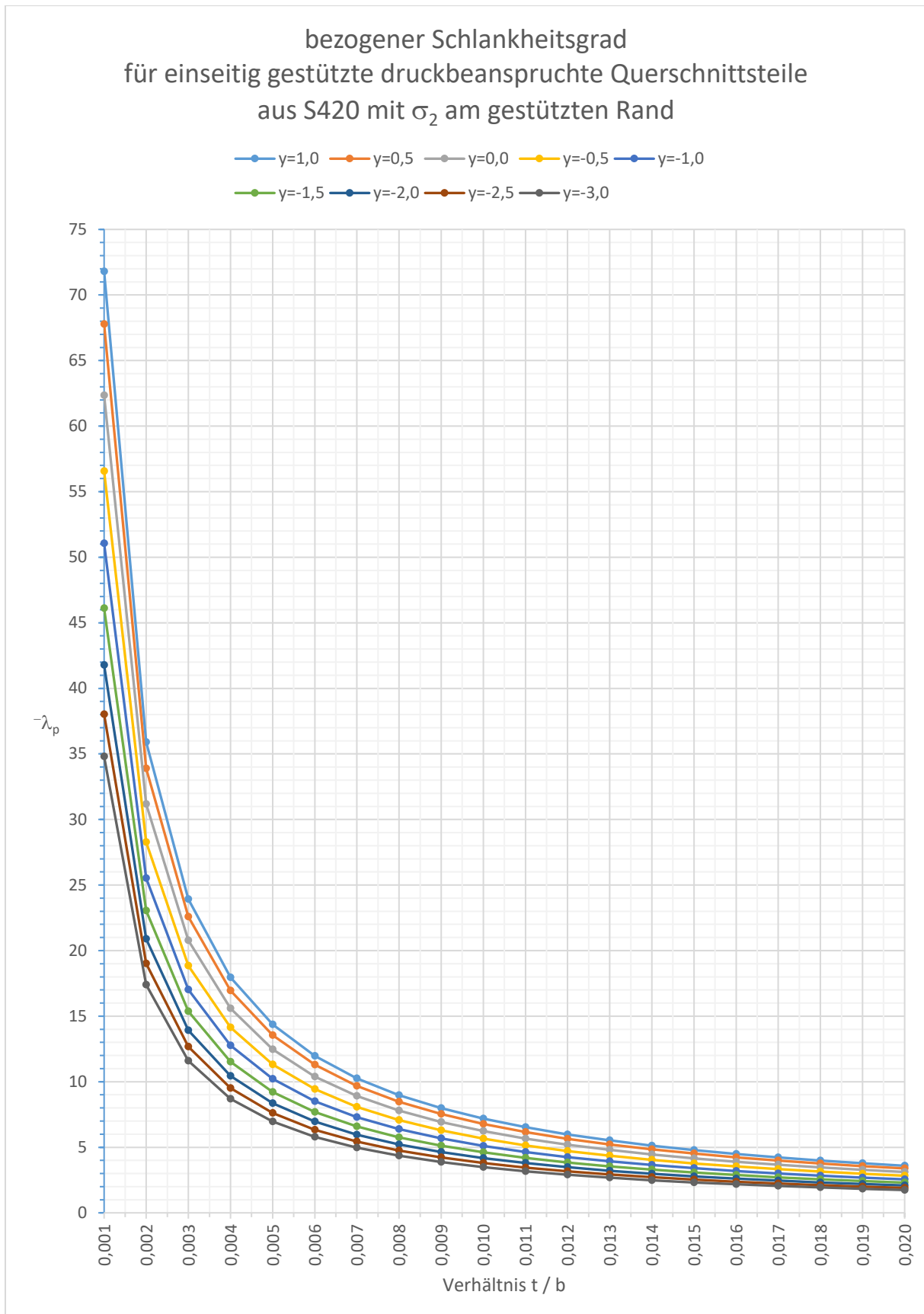


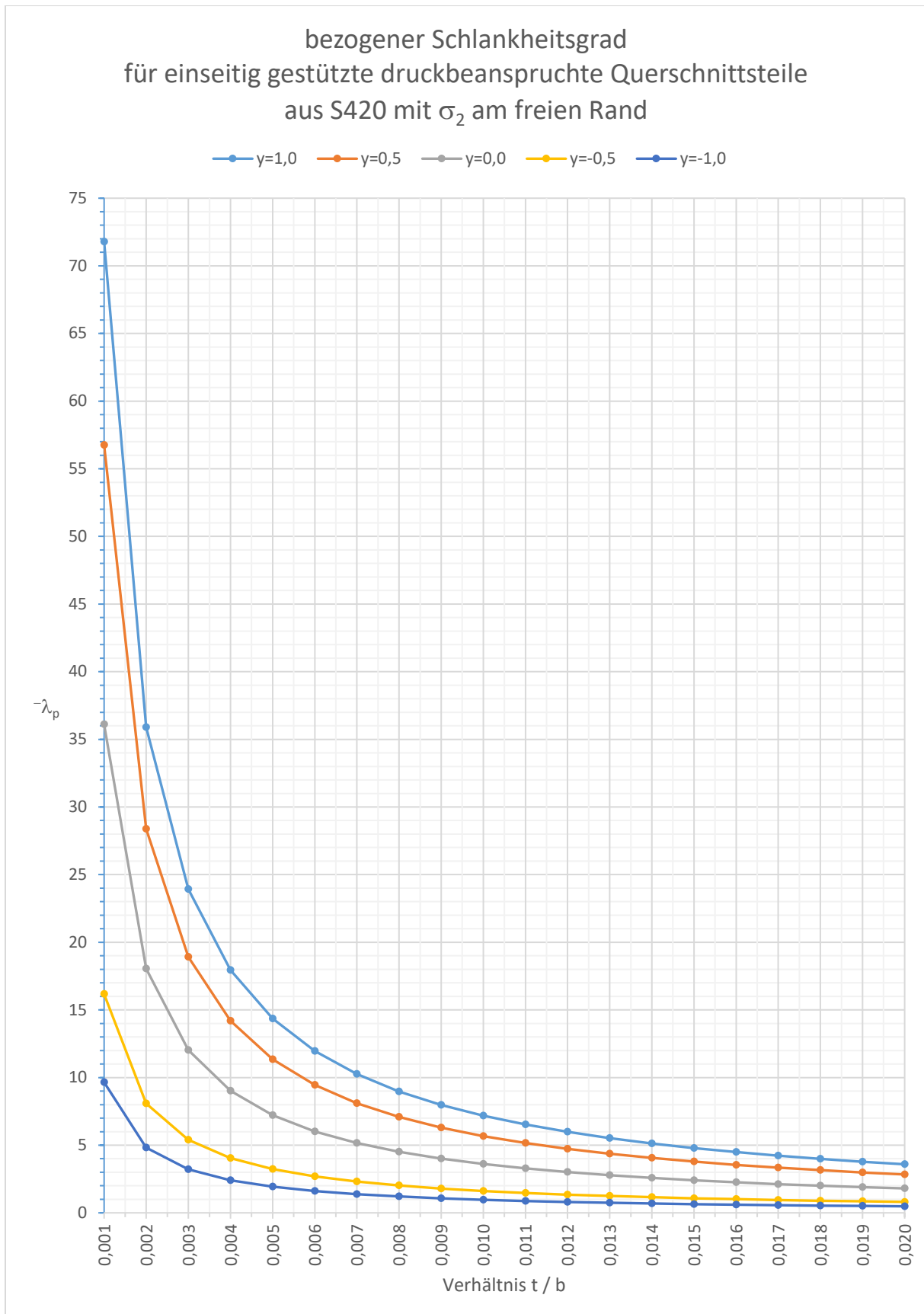


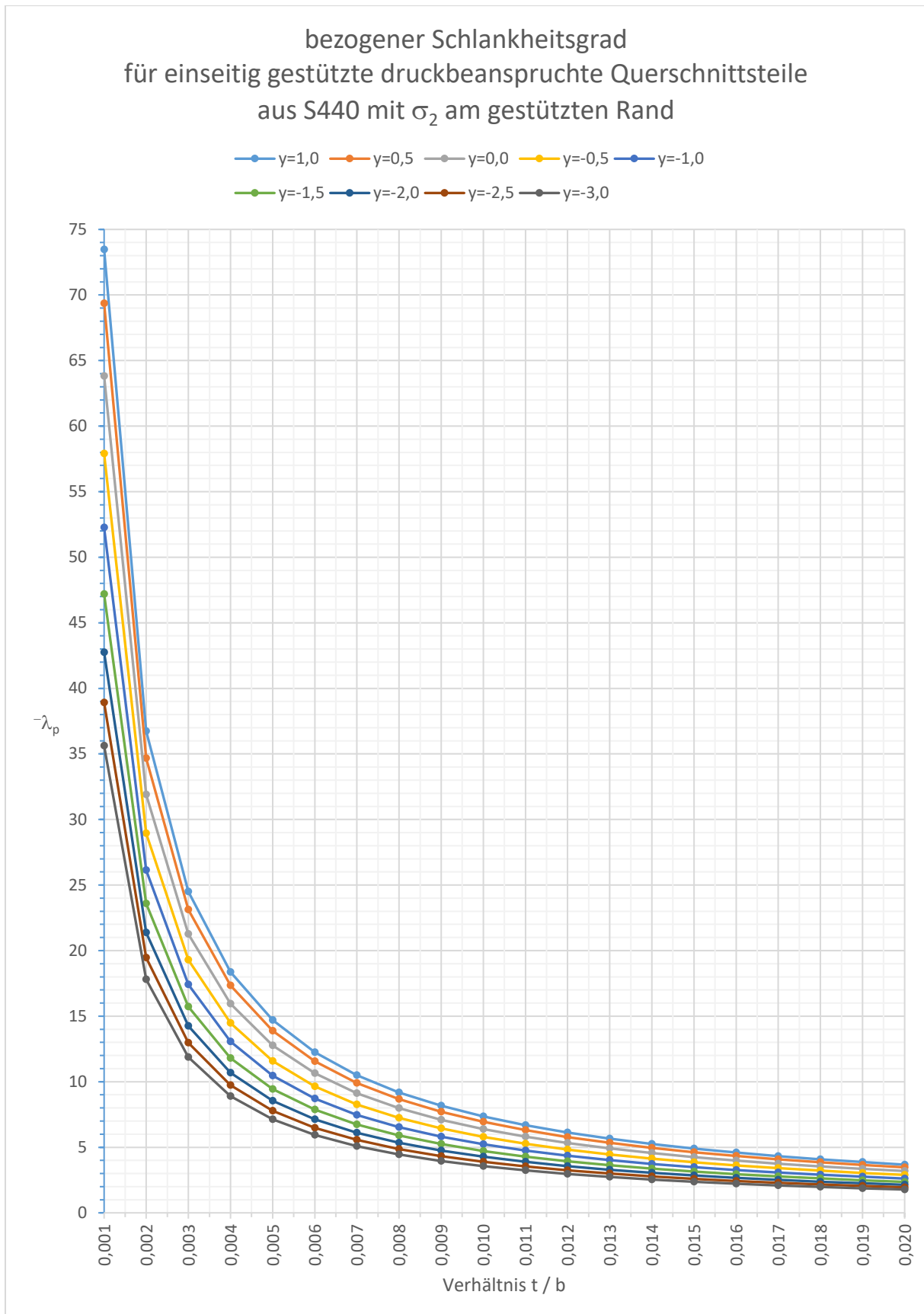


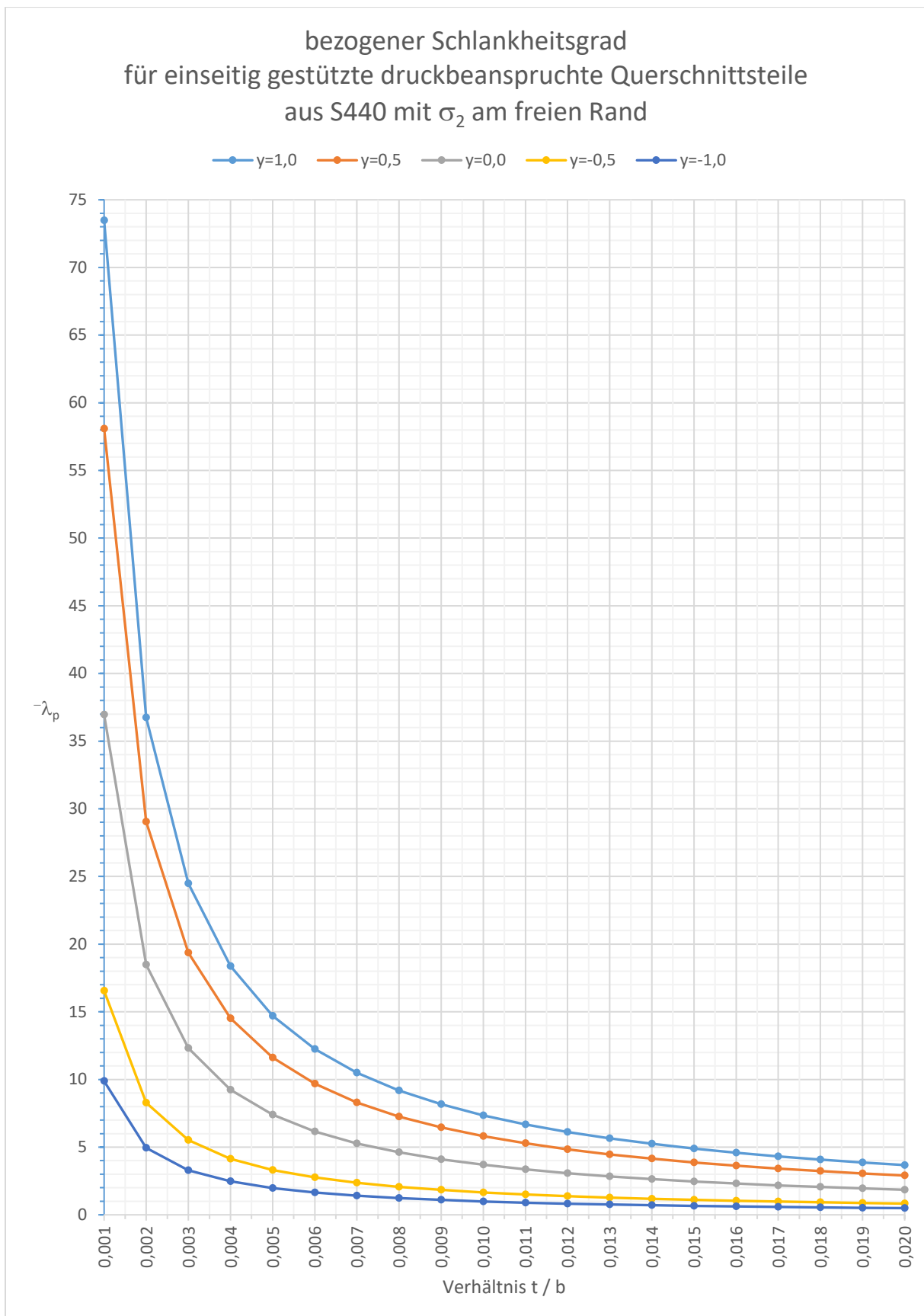


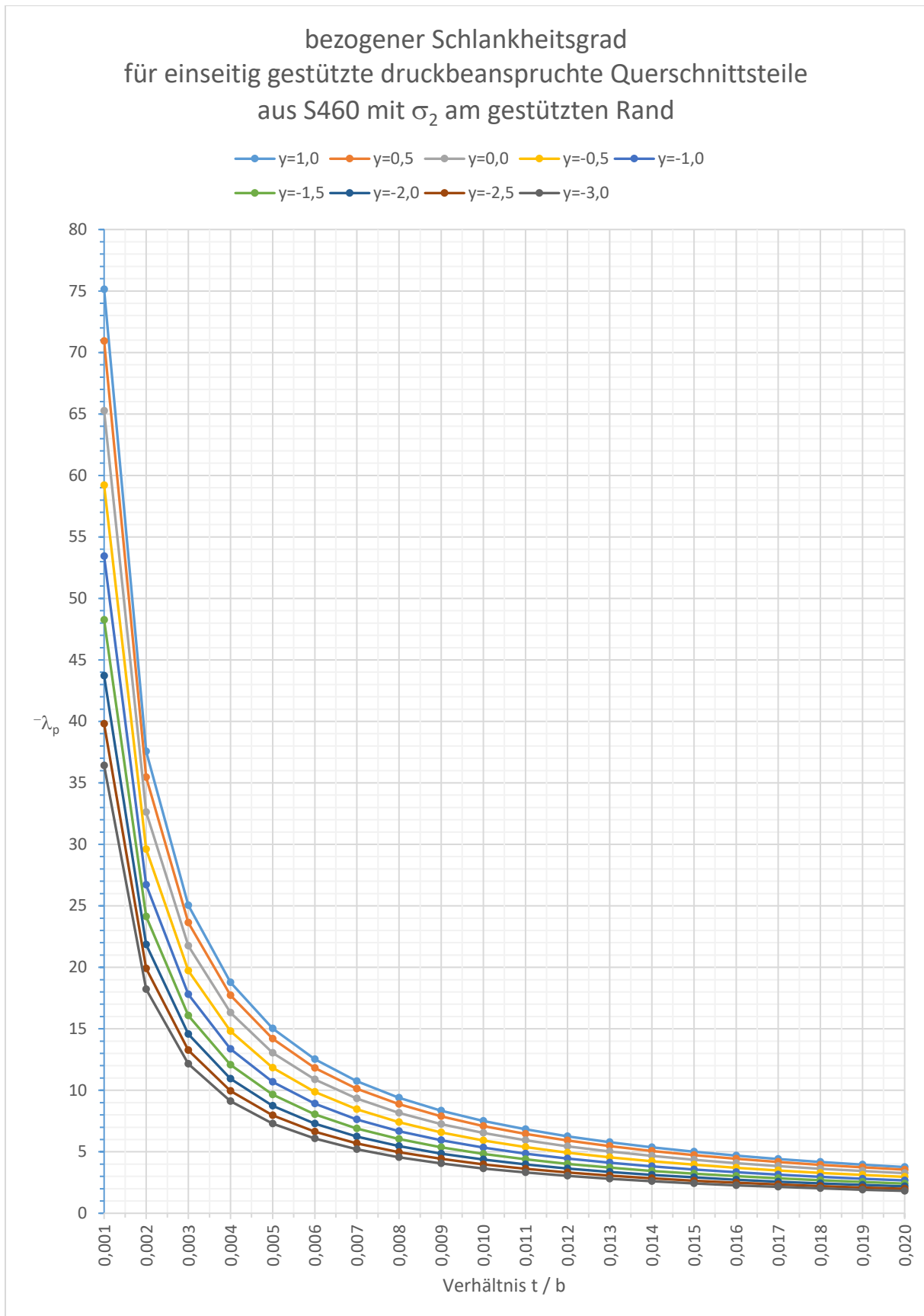


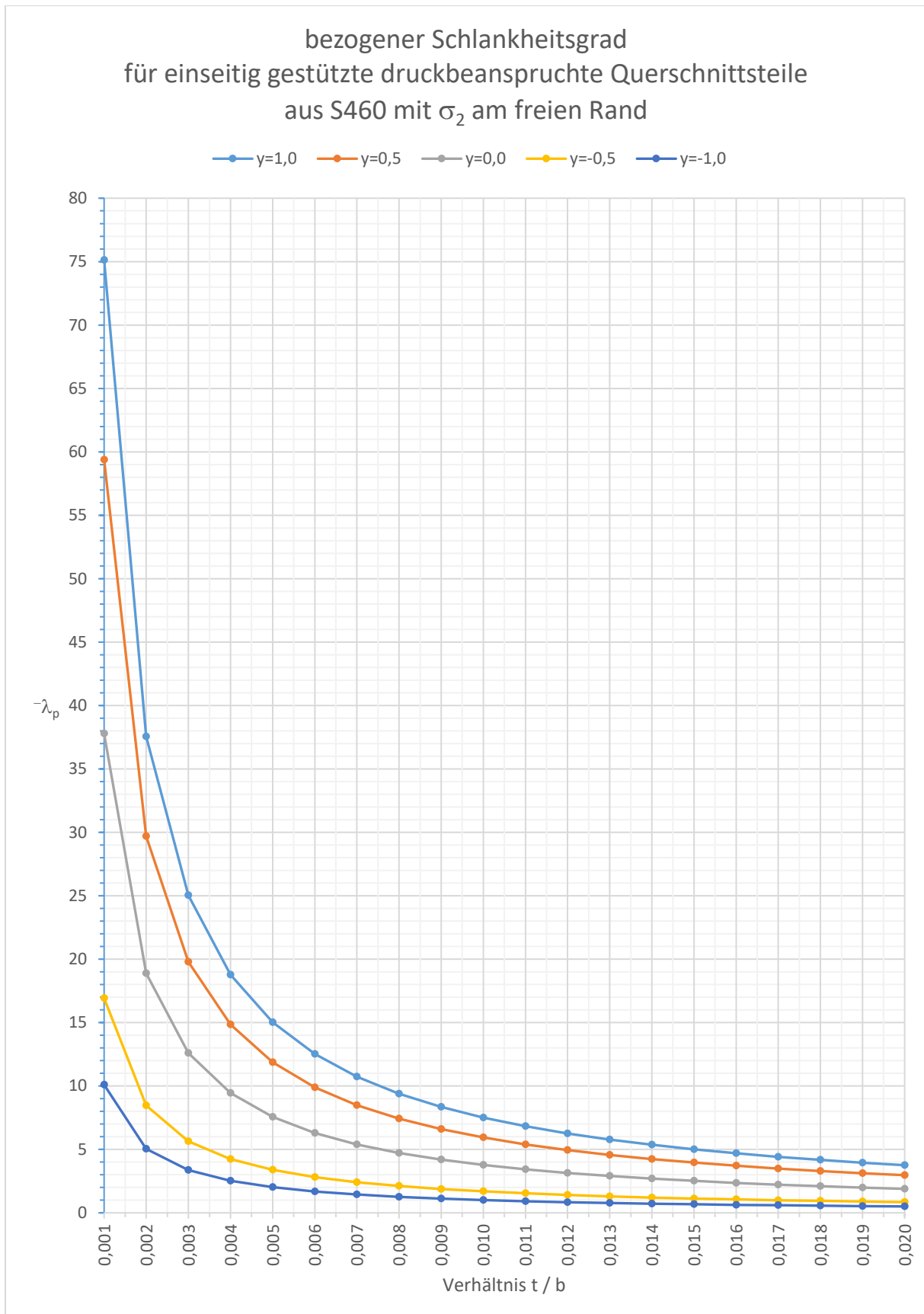




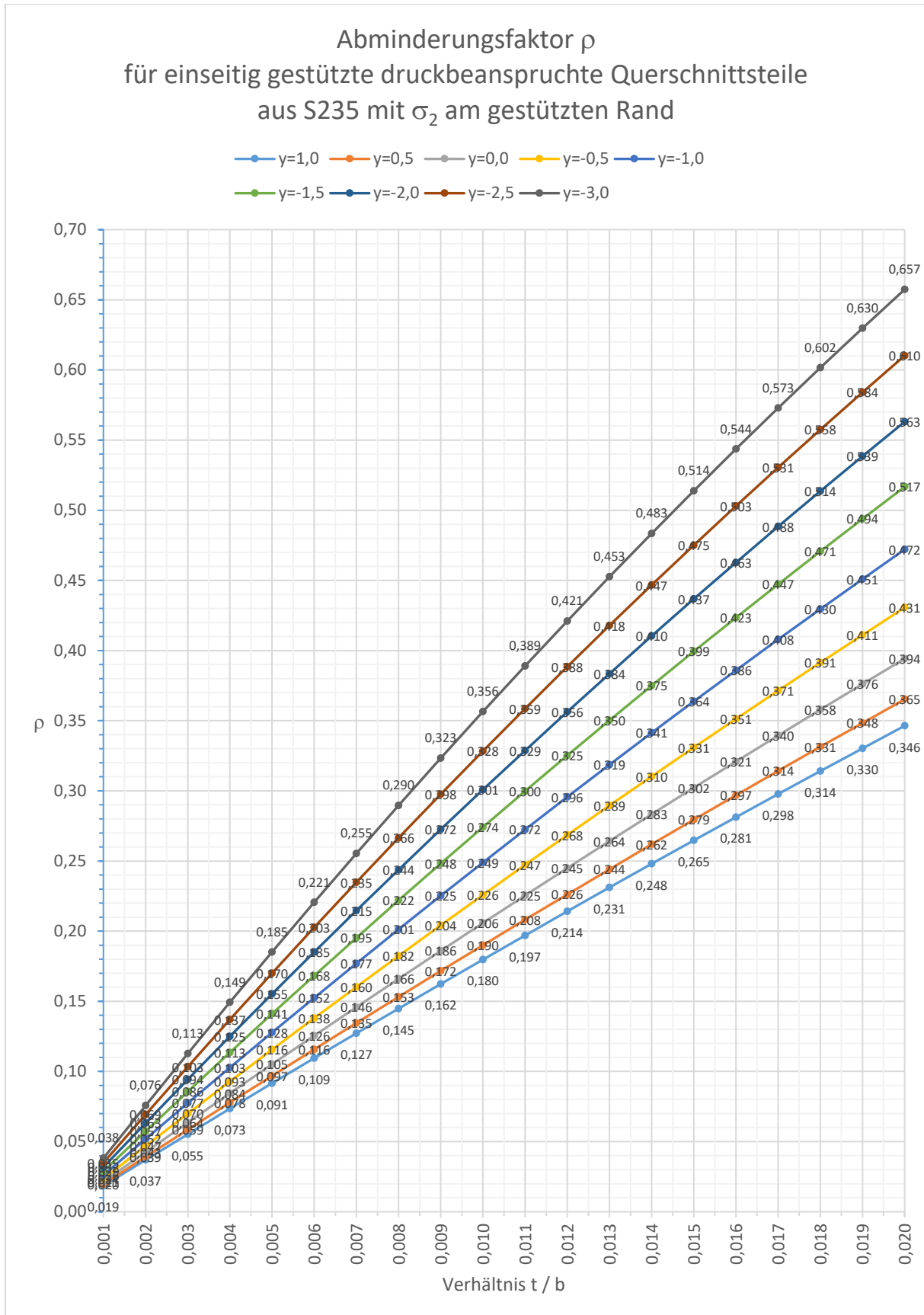


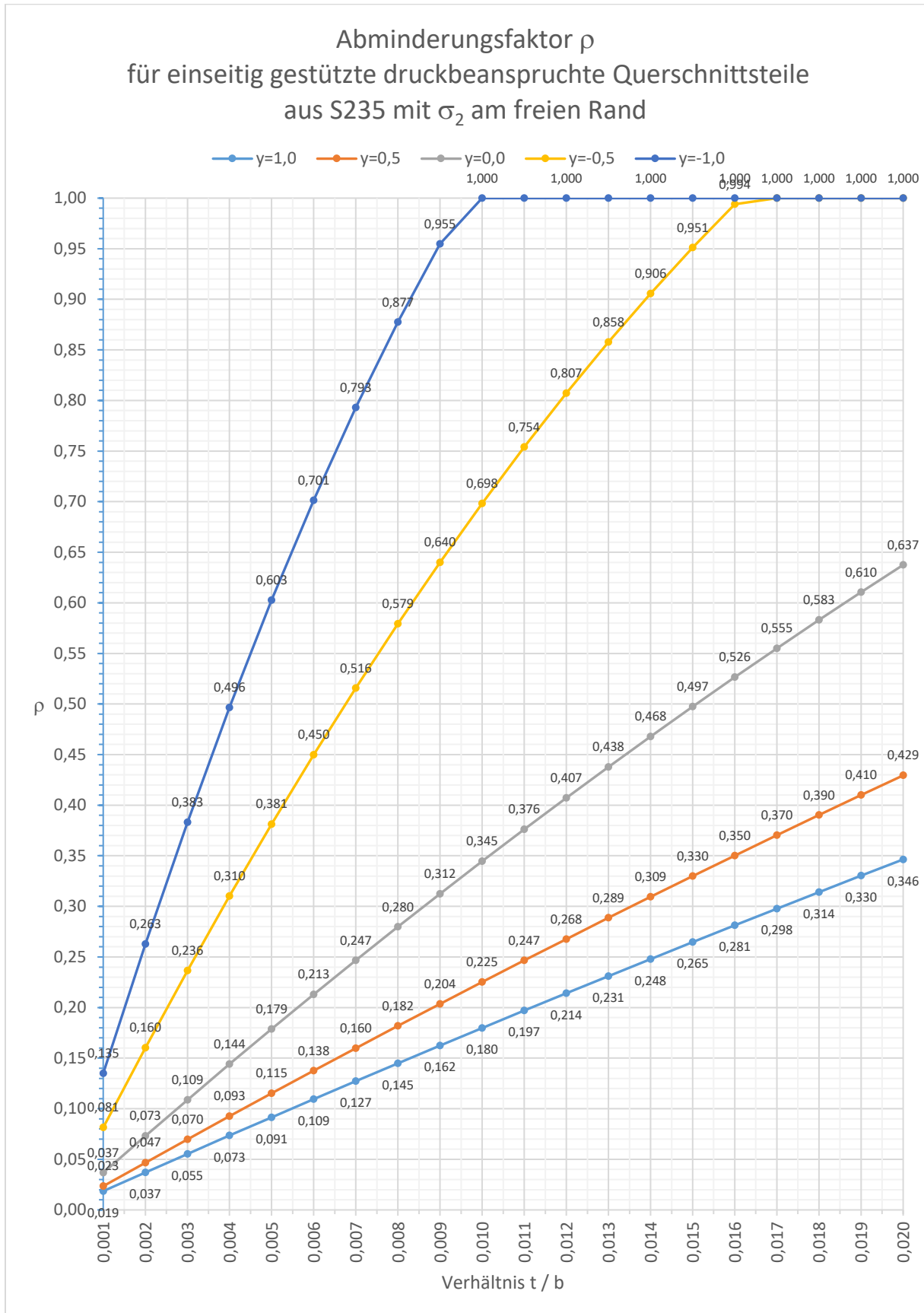


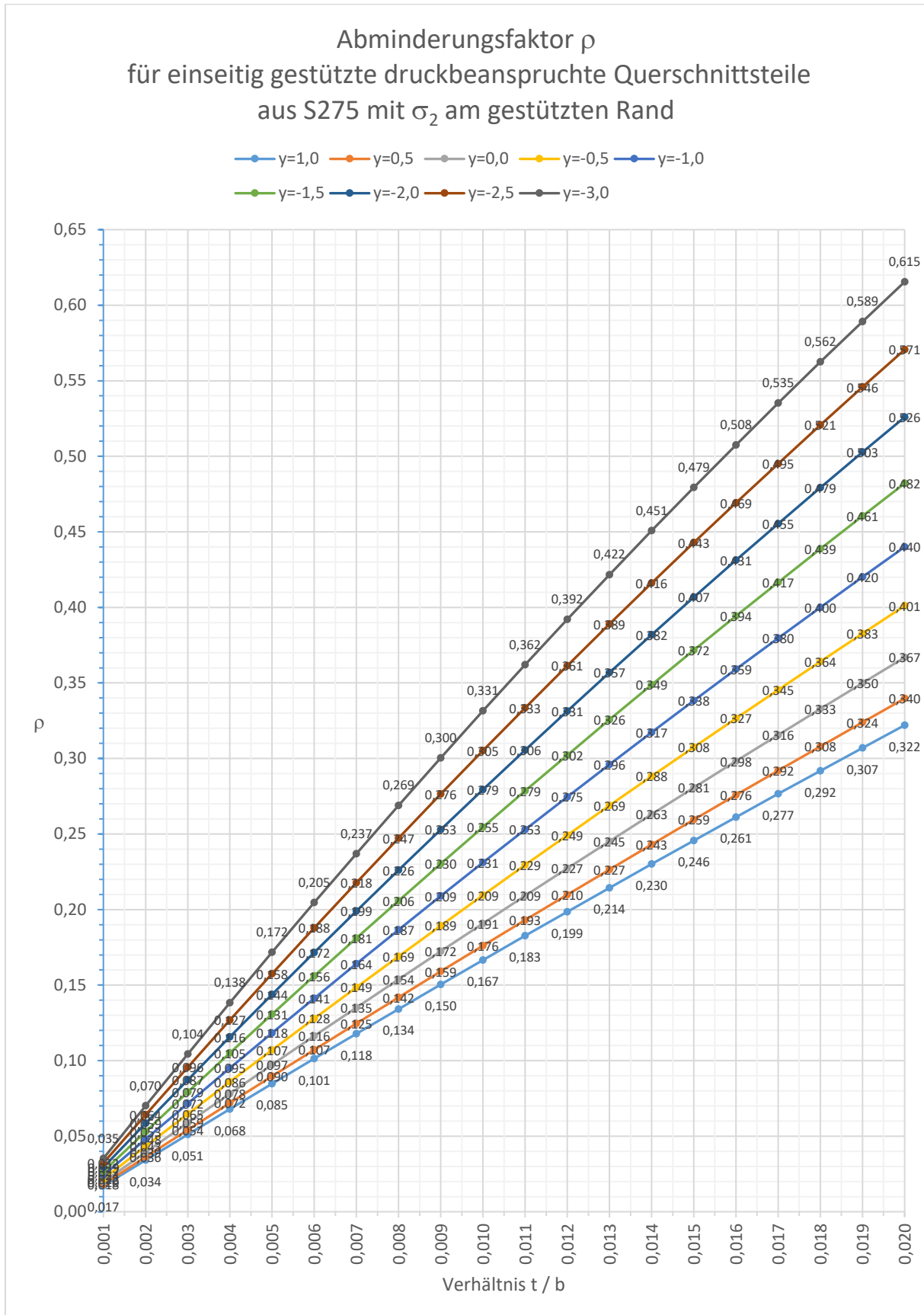


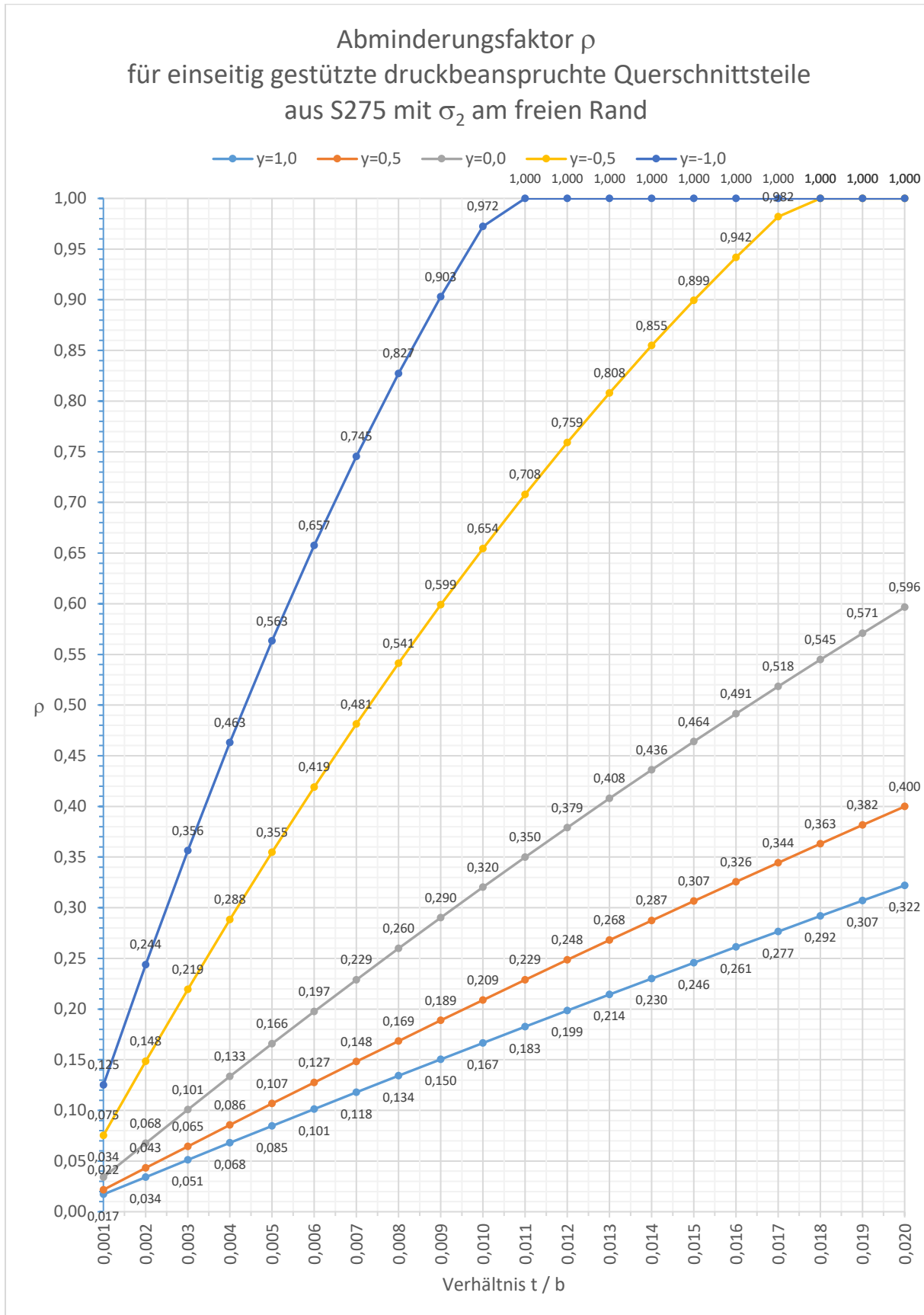


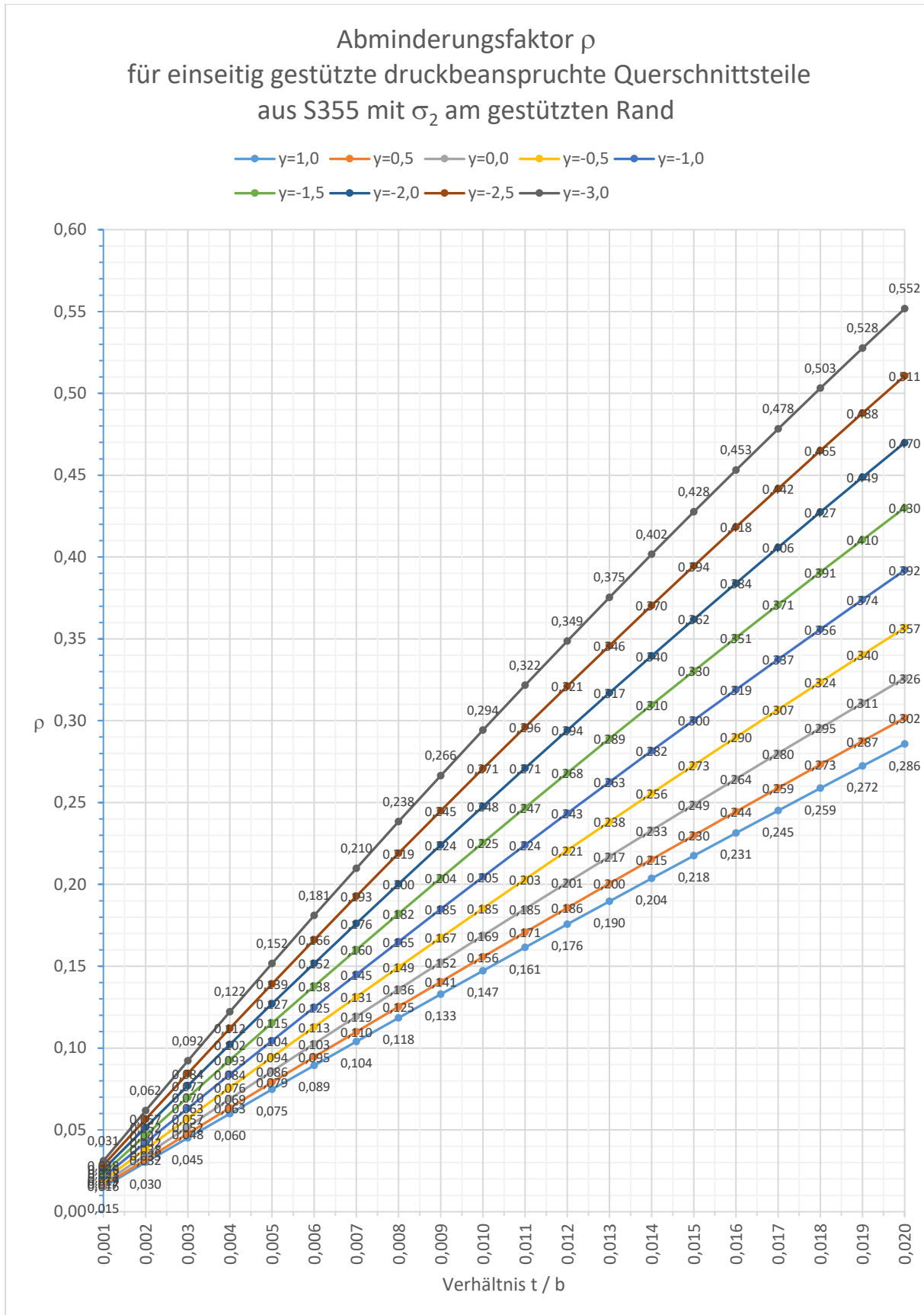
Somit kann der Abminderungsfaktor für das Beulen  $\rho$  in Abhängigkeit von dem geometrischen Verhältnis  $\frac{t}{b} = \frac{t}{b}$ , dem Randspannungsverhältnis  $\psi$  und der Lage der maximalen Druckspannung im Blechfeld ermittelt werden. Dies wurde für  $0,001 \leq \frac{t}{b} \leq 0,020$  sowie die in Deutschland üblichen Stahlsorten mit unterschiedlichen Randspannungsverhältnissen  $\psi$  durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den folgenden 12 Diagrammen aufbereitet, wobei wieder zu beachten ist, dass  $\psi$  in den Diagrammen als  $y$  angegeben wird.

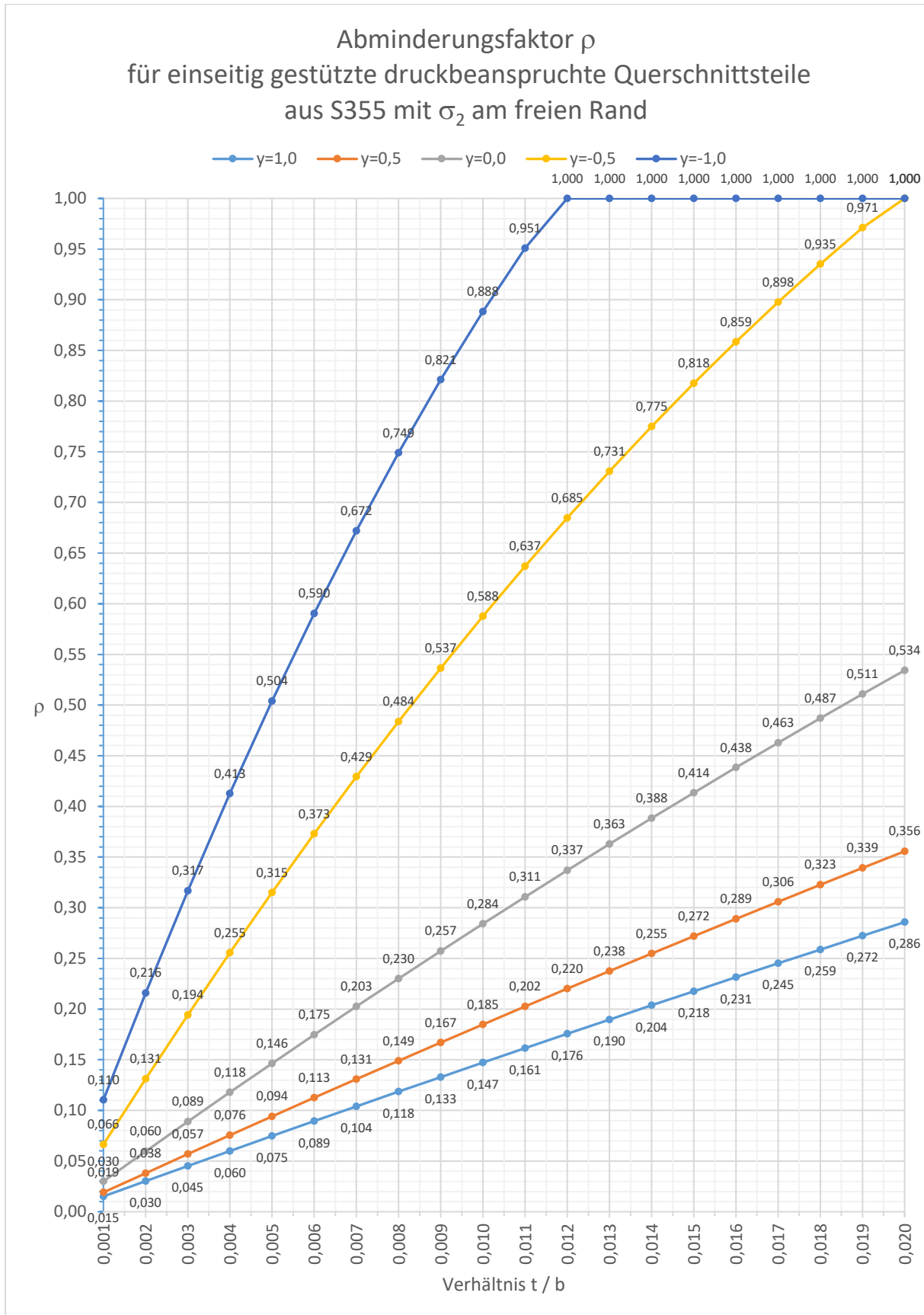


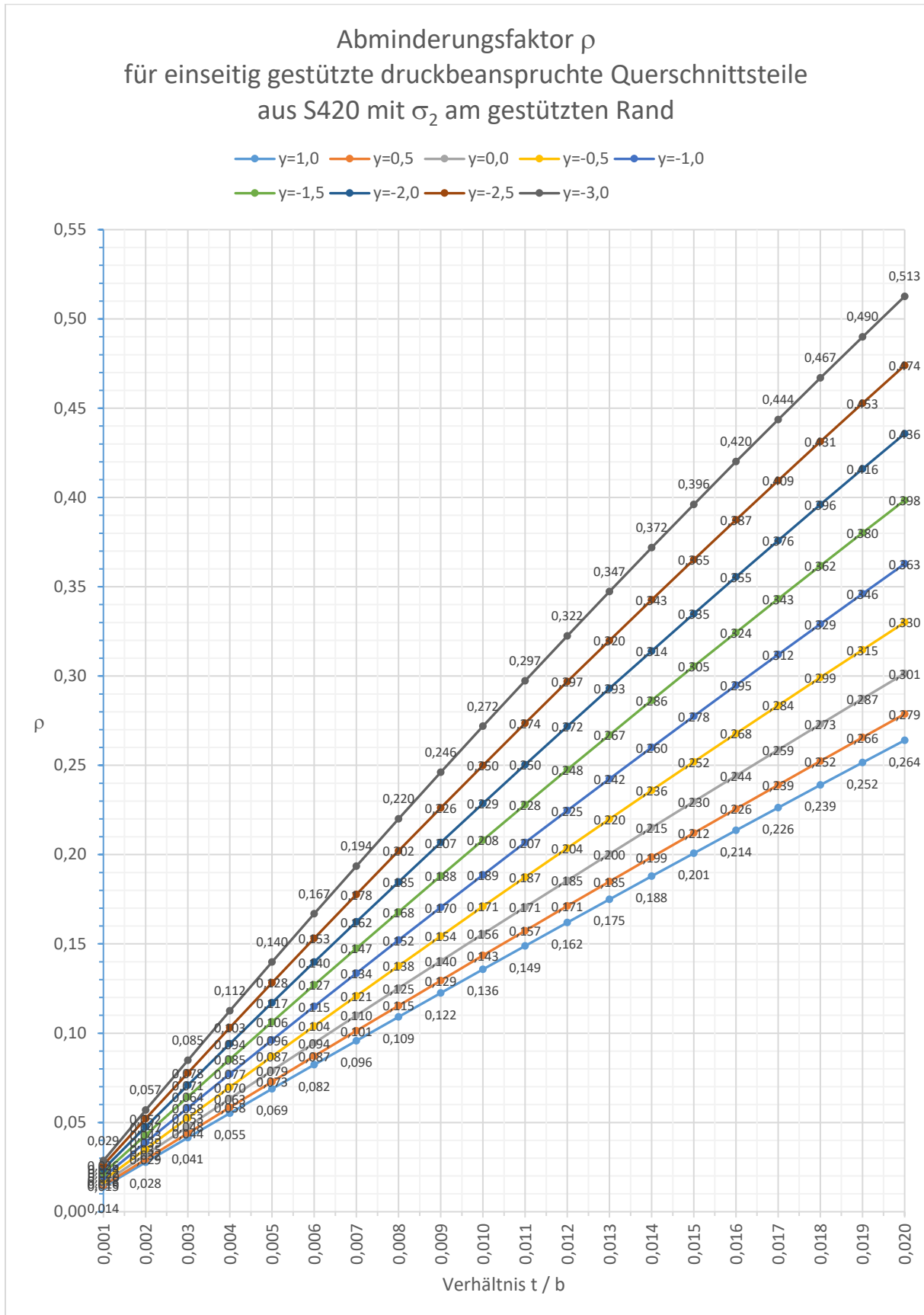


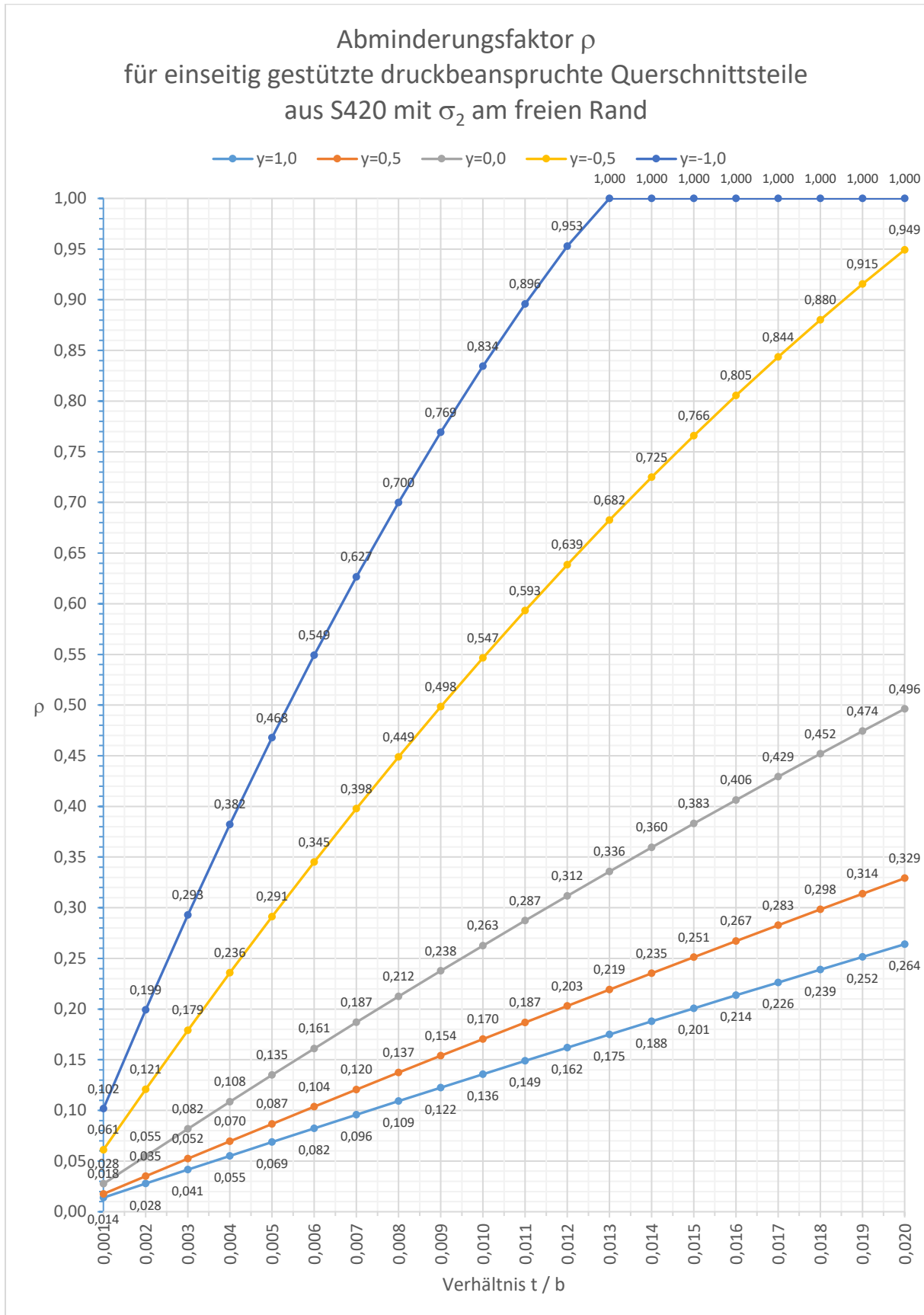


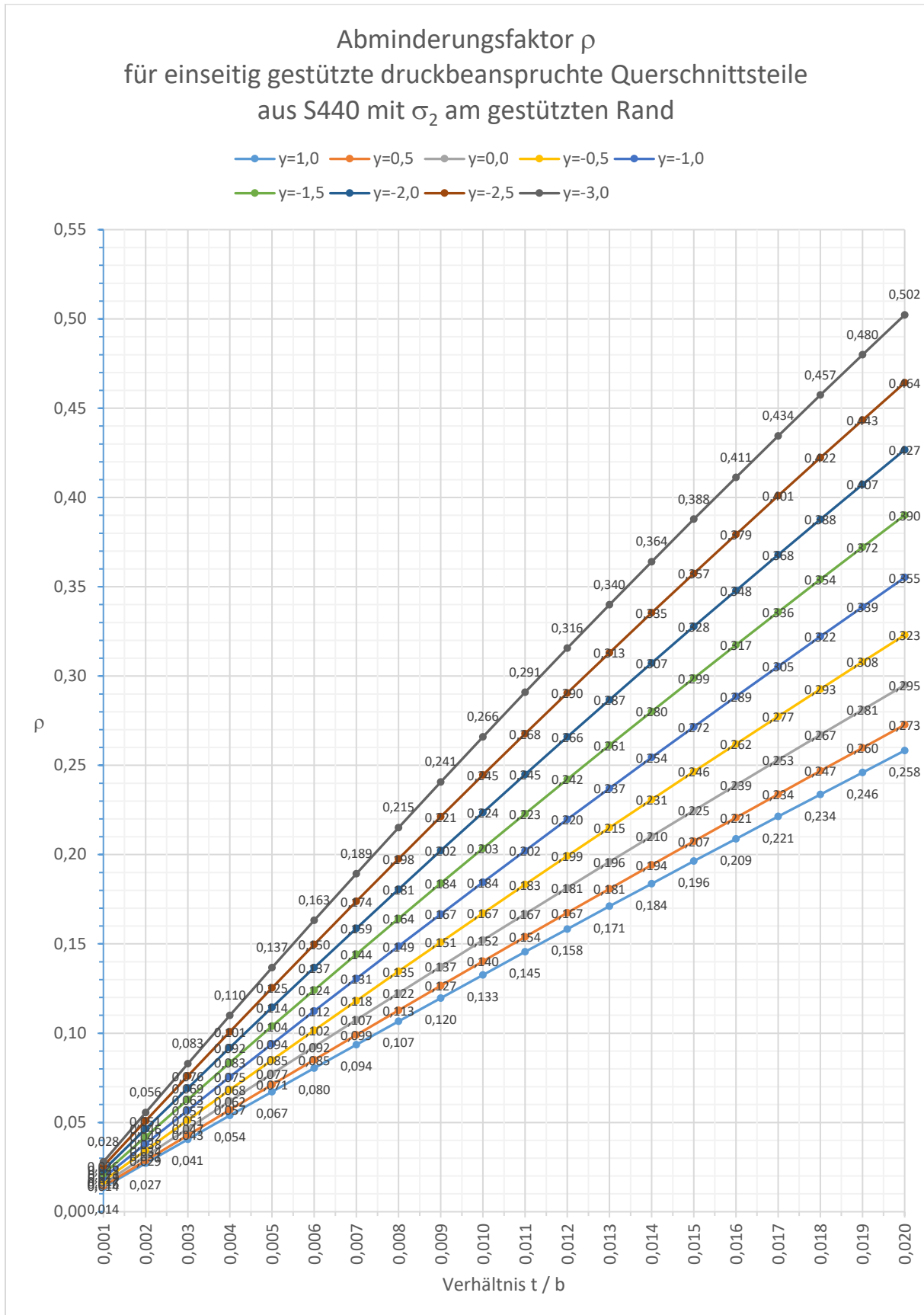


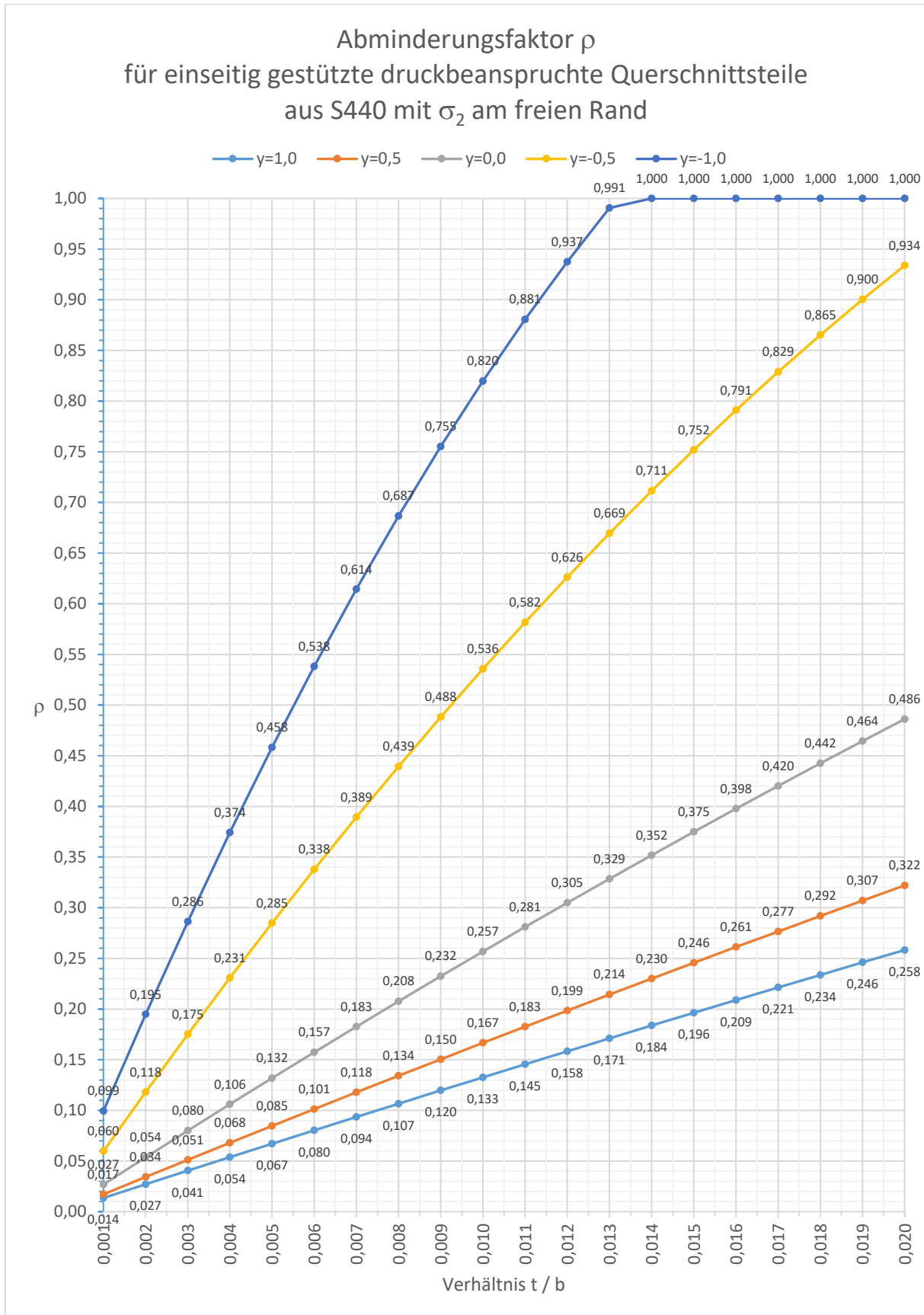


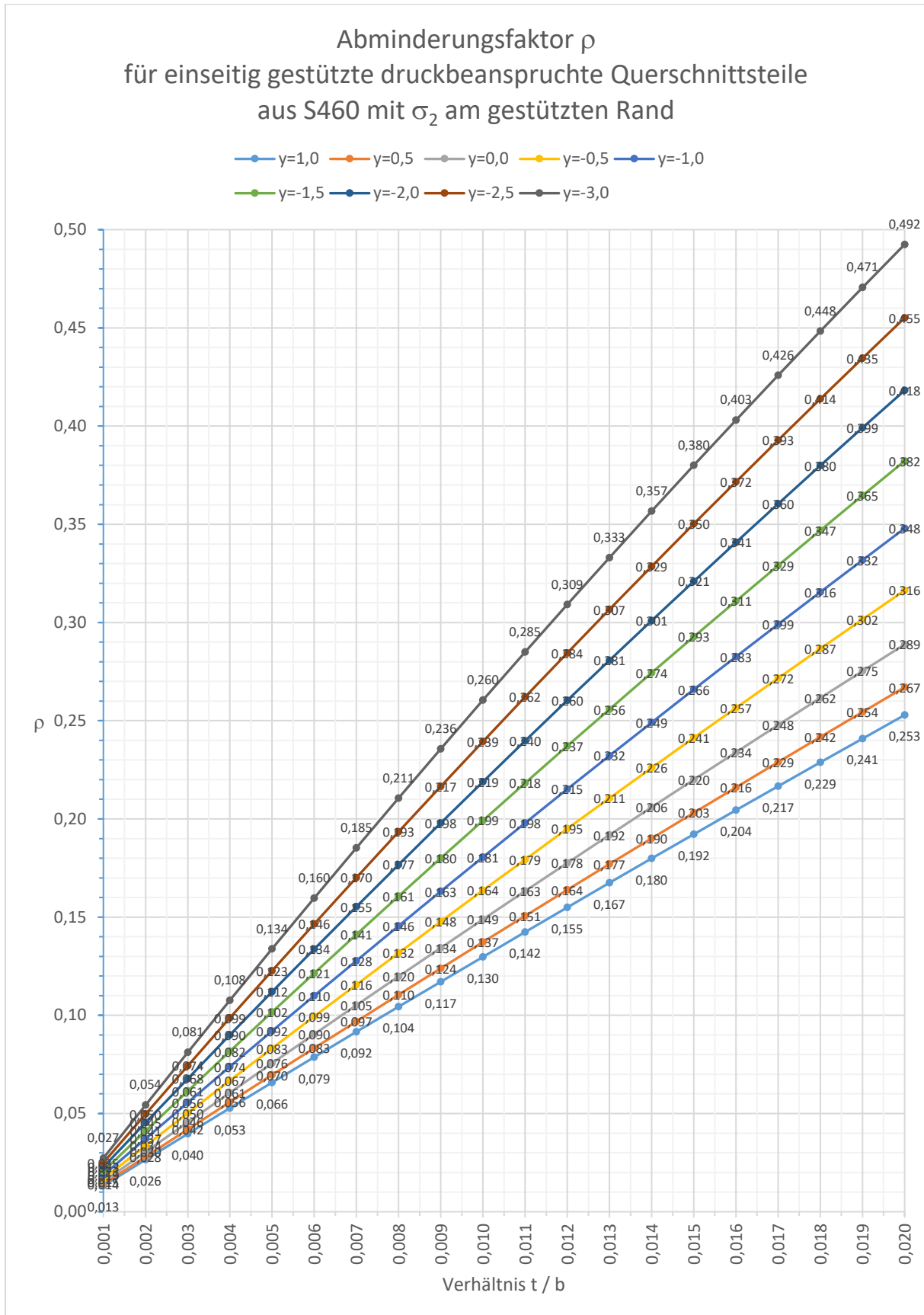


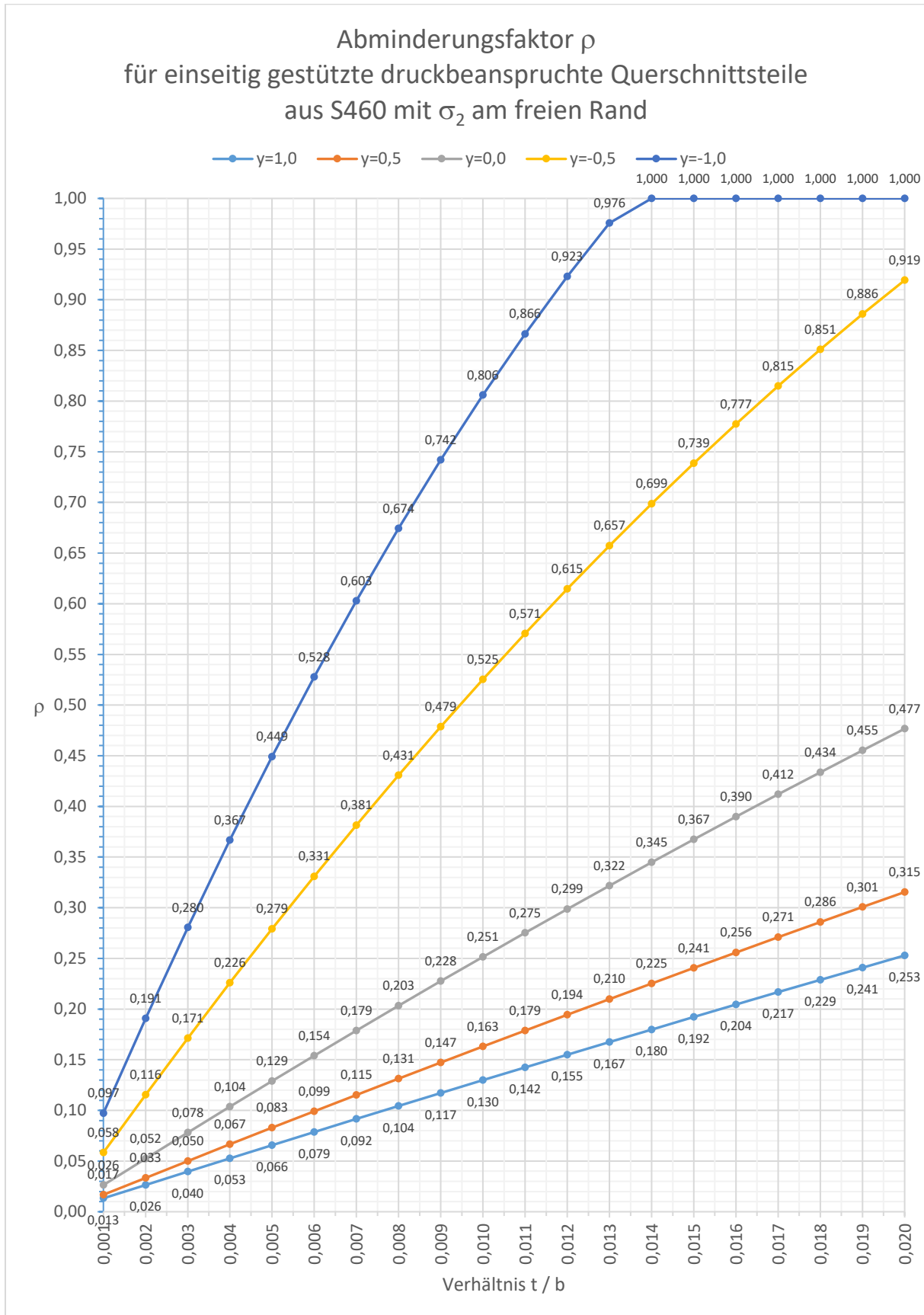












Mit Hilfe dieser Diagramme kann der Abminderungsfaktor für das Beulen  $\rho$  und ggf. notwendige Zwischenwerte sehr schnell bestimmt und die wirksame Fläche ebener druckbeanspruchter Einzelblechfelder ohne Längssteifen aber mit einseitiger Stützung  $A_{c,eff}$  einfach berechnet werden.

Literatur:

- |     |  |  |
|-----|--|--|
| [1] | DIN EN 1993-1-5:2019-10                | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten<br>Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile  |
| [2] | DIN EN 1993-1-5/Berichtigung 1:2020-07 | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten<br>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<br>Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile |
| [4] | DIN EN 1993-1-1:2010-12                | Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten<br>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>