

**Vergleich der an Längs- und Querzug-
proben ermittelten Werkstoffkennwerte
von Aluminiumbändern**

T 3038

T 3038

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2004, ISBN 3-8167-6542-4

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

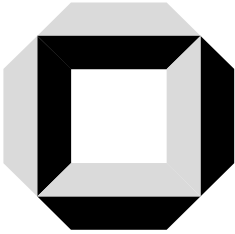
Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.IRBbuch.de



Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine
(Amtliche Materialprüfungsanstalt)
Universität Karlsruhe (TH)

Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. J. Blaß und Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Saal

BERICHT

Nr.: 021506

**Vergleich der an Längs- und Querzugproben ermittelten Werkstoff-
kennwerte von Aluminiumbändern**

Auftraggeber:

Deutsches Institut für Bautechnik
Kolonnenstraße 30L
10829 Berlin

Grundlage der Prüfung:

Werksvertrag zwischen dem Auftraggeber und der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine vom 14.10.2002

Dieser Bericht enthält 15 Seiten und 5 Anlagen (22 Seiten).

Karlsruhe, am 14. November 2003

Projektleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Helmut Saal

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Albrecht Gehring

Kurzfassung

Die Tragfähigkeit von Trapezprofilen wird maßgeblich von den Werkstoffeigenschaften bestimmt. DIN 18807-9 schreibt vor, dass die Werkstoffkennwerte an Querproben zu bestimmen sind. In der Fremdüberwachung ist dies aus geometrischen Gründen in den meisten Fällen nicht möglich. An Einzelproben wurde festgestellt, dass die längs zur Walzrichtung bestimmten Werkstoffeigenschaften geringer sind als die zugehörigen Querwerte.

In der vorliegenden Arbeit wird dieser Sachverhalt systematisch untersucht. Die Untersuchung umfasst die zur Herstellung von Trapezprofilen eingesetzten Aluminiumlegierungen in Blechdicken von 0,50mm bis 1,50mm. Es wurde festgestellt, dass in Längsrichtung die 0,2%-Dehngrenze mit 81% Wahrscheinlichkeit und die Zugfestigkeit mit 87% Wahrscheinlichkeit geringer ist als in Querrichtung. Es wurde festgestellt, dass sowohl die Aluminiumlegierung als auch der Werkstoffzustand einen Einfluss auf die Verhältnismerte der Dehngrenzen $R_{p0,2}$ und der Zugfestigkeiten R_m haben. Ein Einfluss der Probenorientierung auf die Bruchdehnung A_{50mm} konnte nicht festgestellt werden.

Die hier festgestellte Anisotropie hat zur Folge, dass nach DIN 18807-9 Werkstoffe in der werkeigenen Produktionskontrolle den Anforderungen entsprechen, in der Fremdüberwachung jedoch nicht. Zudem wird bei der Bemessung von Trapezprofilen zwar die Streuung der Werkstoffeigenschaften durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M erfasst und abgesichert, jedoch nicht die hier festgestellte planmäßige Differenz zwischen Längs- und Querwerten. Daher wird empfohlen, die Regelung in DIN 18807-9, Abschnitt 5.2.2, dass die Werkstoffkennwerte an Querproben zu ermitteln sind, abzuändern. Die Werkstoffkennwerte sollten immer an Längsproben ermittelt werden. An Querproben ermittelte Werte $R_{p0,2}$ und R_m sind vor dem Vergleich mit den Anforderungen von DIN 18807-9 auf $0,88 \cdot R_{p0,2}$ und $0,93 \cdot R_m$ abzumindern, damit die geforderten Eigenschaften auch in Längsrichtung gewährleistet sind.

Abstract

The load bearing capacity of aluminium trapezoidal sheeting strongly depends on the material properties. According to DIN 18807-9 the material properties shall be determined transverse to direction of rolling. In the surveillance this is mostly not possible due to the geometry of the profiles. Tensile tests on some specimen revealed, that the mechanical properties obtained from transverse specimen are higher than those from longitudinal specimen.

A systematic investigation is performed in the presented report. The investigation covers the aluminium alloys for trapezoidal sheeting in thicknesses from 0,50mm to 1,50mm. For the longitudinal direction it was found, that the yield strength is with 81% probability and the tensile strength with 87% probability below the transverse values. It could be stated, that the kind of aluminium alloy and the temper designation effect the ratio of longitudinal to transverse yield stress $R_{p0,2}$ and longitudinal to transverse tensile strength R_m respectively. An effect of the direction of testing on

the ultimate strain $A_{50\text{mm}}$ could not be found.

The presented anisotropy results in the fact, that according to DIN 18807-9 the material properties meet the requirements in the factory production control, but not in the surveillance. Furthermore, the deviation of the material properties is covered by the resistance factor γ_M in the design of trapezoidal sheeting, but not the regular difference between longitudinal and transverse values, which was found here. Hence the regulation in DIN 18807-9, paragraph 5.2.2., that the mechanical properties shall be determined with transverse specimen, should be revised. The mechanical properties should be determined with longitudinal specimen. Before comparing with the requirements of DIN 18807-9, values of $R_{p0,2}$ and R_m obtained from transverse specimen shall be reduced to $0,88 \cdot R_{p0,2}$ and $0,93 \cdot R_m$, so that the required properties in longitudinal direction are guaranteed.

Résumé

La résistance ultime de plaques nervurées est établie principalement à partir des propriétés du matériau utilisé. La norme DIN 18807-9 dispose la détermination de ces valeurs matérielles sur des éprouvettes transversales. Pour des raisons géométriques, il est impossible dans la plupart des cas d'effectuer ces tests dans le cadre de contrôles externes. Par ailleurs, pour un certain nombre d'échantillons, il a été constaté que les propriétés matérielles déterminées à partir d'éprouvettes longitudinales par rapport au sens du laminage étaient moins avantageuses que celles déterminées sur les échantillons transversaux correspondants.

Le présent document porte sur l'étude systématique de ce comportement, prenant en compte les alliages d'aluminium utilisés pour la fabrication de plaques nervurées, de 0,50mm à 1,50mm d'épaisseur. Il a été constaté que la limite d'allongement de 0,2% ($R_{p0,2}$) dans le sens longitudinal était inférieure à celle dans le sens transversal avec une probabilité de 81%, ainsi que la limite de rupture (R_m) avec une probabilité de 87%. De plus, l'alliage d'aluminium utilisé et son état métallurgique ont une influence sur les valeurs relatives des limites d'allongement $R_{p0,2}$ et de rupture R_m . Une influence de l'orientation de l'éprouvette sur l'allongement à la rupture $A_{50\text{mm}}$ n'a pas été constatée.

Du fait de l'anisotropie ainsi mise en évidence, les matériaux selon la norme DIN18807-9 peuvent être conformes aux exigences lors du contrôle de production interne, et non conformes lors du contrôle externe. Par ailleurs et contrairement aux variations des valeurs matérielles, la différence systématique des valeurs longitudinales et transversales n'est pas prise en compte par le coefficient de pondération γ_M lors du dimensionnement de plaques nervurées. C'est pourquoi, dans le présent document il est recommandé de modifier le paragraphe 5.2.2 de la norme DIN18807-9, disposant que les valeurs matérielles sont à déterminer sur des éprouvettes transversales, au profit d'une détermination des valeurs matérielles sur éprouvettes longitudinales. Le cas échéant, des valeurs $R_{p0,2}$ et R_m déterminées à partir d'éprouvettes transversales sont à réduire respecti-

vement par les facteurs 0,88 et 0,93 avant de pouvoir être comparées aux exigences de la norme DIN18807-9. Ainsi la conformité peut également être garantie dans le sens longitudinal.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Vorbemerkung | 6 |
| 2 | Umfang der Untersuchung | 7 |
| 3 | Versuchsergebnisse | 7 |
| 4 | Auswertung | 8 |
| 4.1 | Verfahren | 8 |
| 4.2 | Ergebnis der statistischen Auswertung | 10 |
| 4.2.1 | Überprüfung der Hypothese normalverteilter Verhältniswerte | 10 |
| 4.2.2 | Statistische Kenndaten der Stichproben und Konfidenzintervalle | 10 |
| 4.2.3 | Regressionsanalyse und Korrelation | 11 |
| 5 | Beurteilung der Ergebnisse | 12 |
| 6 | Zusammenfassung | 13 |
| 7 | Schrifttum | 14 |

Anlage 1: Probandaten und Versuchsergebnisse (3 Seiten)

Anlage 2: Ergebnisse des χ^2 -Anpassungstests und Summenhäufigkeitsdiagramme (9 Seiten)

Anlage 3: Ergebnisse der statistischen Auswertung (5 Seite)

Anlage 4: Darstellung der Regressionsgeraden (2 Seiten)

Anlage 5: Ergebnisse der statistischen Auswertung bei Berücksichtigung von DIN 18807-9, Abschnitt 5.3.3.2 (3 Seiten)

1 Vorbemerkung

Die Ermittlung der Beanspruchbarkeit von Trapez- und Wellprofilen aus Aluminium wird maßgebend durch die Werkstoffkennwerte bestimmt. Zur Gewährleistung der Produkteigenschaften schreibt DIN 18807-9 /1/ für die werkseigene Produktionskontrolle den Nachweis der 0,2%-Dehngrenze, der Zugfestigkeit sowie der Bruchdehnung an jedem Hauptcoil vor. Diese Werkstoffkennwerte sind gemäß DIN 18807-9, Absatz 5.2.2 an Querproben zu ermitteln. Diese Forderung entspricht den in den Normen DIN EN 485 /2/ und DIN EN 1396 /3/ in Verbindung mit DIN EN 573-3 /4/ und DIN EN 515 /5/ geregelten Vorgaben zur Bestimmung der mechanischen Werkstoffeigenschaften. Diese muss entsprechend /2/, Teil 1, Abschnitt 6.1.2 quer zur Walzrichtung erfolgen. Diese Forderung wird in /2/, Teil 2, Abschnitt 3 und /3/, Abschnitt 4.3.2 ebenfalls gestellt. In der Fremdüberwachung sind die Werkstoffkennwerte nach dem Umformprozess zu bestimmen. Eine Prüfung ist dort in den meisten Fällen wegen der Querschnittsgeometrie nur an Längsproben möglich. Im Rahmen der Fremdüberwachung von Trapez- und Wellprofilen wurde festgestellt, dass die längs zur Walzrichtung bestimmten Werkstoffkennwerte geringer sind als die quer zur Walzrichtung bestimmten Werte.

Die Beanspruchung von Trapez- und Wellprofilen erfolgt planmäßig fast ausschließlich in Längsrichtung. Wenn die Festigkeitswerte in Querrichtung größer sind als die in Längsrichtung und erstere gemäß der zuvor genannten Regelungen der Bemessung zugrunde gelegt werden, werden die Beanspruchbarkeiten überschätzt. Dies gilt sowohl für die nach DIN 18807-6 /1/ rechnerisch ermittelten Beanspruchbarkeiten, bei denen der Nennwert der 0,2%-Dehngrenze angesetzt wird, als auch für Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Versuche nach DIN 18807-7 /1/, bei der die Versuchsergebnisse unter Berücksichtigung der an Längsproben ermittelten $R_{p0,2}$ -Werten ausgewertet werden. Gleiches wie für die bei der Bauteilbemessung maßgebende 0,2%-Dehngrenze gilt für die für die Beanspruchbarkeiten der Verbindungen maßgebende Zugfestigkeit.

Die vorliegende Untersuchung soll eine Grundlage schaffen für die Entscheidung, ob Absatz 5.2.2 von DIN 18807-9 einer Änderung bedarf oder ob darauf aufgrund der Geringfügigkeit der in Rede stehenden Unterschiede verzichtet werden kann. Sie basiert auf stichprobenartig bei verschiedenen Herstellern am Ausgangsmaterial vor der Umformung entnommen Proben von unterschiedlichen Aluminiumlegierungen, die für Trapez- und Wellprofile verwendet werden.

2 Umfang der Untersuchung

In Deutschland werden am häufigsten die in Tabelle 1 aufgeführten Aluminiumlegierungen in den angegebenen Werkstoffzuständen für die Herstellung von Trapez- und Wellprofilen eingesetzt. Sie werden in dieser Untersuchung behandelt. Der in /1/ Teil 9 genannte Werkstoff EN AW 3103 konnten nicht untersucht werden, da dieser Werkstoff von keinem das Forschungsvorhaben unterstützenden Hersteller eingesetzt wird.

| Nr. | Werkstoff | Zustand | Anzahl | Norm |
|-----------------|---------------------------|---------|--------|--------------|
| 1 | EN AW-3004 [AlMn1Mg1] | H28 | 1 | DIN EN 485-2 |
| | | H44 | 10 | DIN EN 1396 |
| | | H46 | 9 | DIN EN 1396 |
| 2 | EN AW-3005 [AlMn1Mg0,5] | H44 | 21 | DIN EN 1396 |
| | | H48 | 25 | DIN EN 1396 |
| 3 ¹⁾ | EN AW-3105 [AlMn0,5Mg0,5] | H14 | 3 | DIN EN 485-2 |
| | | H44 | 2 | DIN EN 1396 |
| | | H48 | 25 | DIN EN 1396 |
| 4 ¹⁾ | EN AW-5754 [AlMg3] | H18 | 11 | DIN EN 485-2 |
| | | H48 | 13 | DIN EN 1396 |

¹⁾ Werkstoff nicht in DIN 18807-9 aufgeführt, jedoch in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für dünnwandige tragende Bauteile aus Aluminium zugelassen.

Tabelle 1: Werkstoffe für die Untersuchung

Aus den von verschiedenen Herstellern stichprobenartig entnommenen Probeabschnitten wurden Probekörper jeweils aus der Coilmitte entsprechend /1/ Teil 9, Absatz 5.2.2 quer zur Walzrichtung und abweichend hiervon längs zur Walzrichtung für Zugversuche nach DIN EN 10002-1 ausgearbeitet. Für die Bestimmung der Dehngrenze $R_{p0,2}$ und der Zugfestigkeit R_m sind die mit einer Bügelmessschraube gemessenen Blechdicken zugrunde gelegt worden.

3 Versuchsergebnisse

Für alle durchgeführten Zugversuche sind die Angaben zum Werkstoff, Werkstoffzustand, der Blechdicke, dem Hersteller sowie die ermittelten Werkstoffkennwerte in Längs- und Querrichtung in Anlage 1 aufgeführt.

4 **Auswertung**

4.1 **Verfahren**

Da für die Fragestellung dieser Untersuchung das Verhältnis der Ergebnisse von Querproben zu denen von Längsproben interessiert, werden für die Versuchsauswertung die Verhältniswerte

$$\psi = \frac{R_{p0,2,quer}}{R_{p0,2,längs}} \quad (1a)$$

$$\eta = \frac{R_{m,quer}}{R_{m,längs}} \quad (1b)$$

gebildet. Damit wird auch die Streuung der Festigkeitswerte eliminiert, die hier nicht interessiert. Alle Verhältniswerte ψ und η werden für die statistische Auswertung als Stichprobe einer Grundgesamtheit aufgefasst. Es wird angenommen, dass die Verhältniswerte ψ und η normalverteilt sind. Diese Annahme wird durch einen χ^2 -Anpassungstest überprüft. Die unbekanntes Mittelwerte μ und Standardabweichungen σ werden hierfür durch eine Maximum-Likelihood-Schätzung ermittelt, das heißt es werden $r=2$ Parameter geschätzt. Die Elemente der Stichprobe mit dem Umfang n werden in k Klassen eingeteilt, sodass die Randklassen mindestens einen Wert und alle anderen Klassen mehr als 5 Werte enthalten. Die theoretischen Wahrscheinlichkeiten p_i , dass ein Element einer Stichprobe einer Klasse zugeordnet werden kann, werden mit /7/, Tafel 1.1.2.9.2 berechnet. Die Testgröße χ^2 wird mit (2) berechnet.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(M_i - np_i)^2}{np_i} \quad (2)$$

Hierbei sei M_i die Anzahl der Stichprobenwerte je Klasse, und es gilt $\sum_{i=1}^k p_i = 1$ und $\sum_{i=1}^k M_i = n$. Der

Wert χ^2 ist ein Maß über die Abweichung von der wahren zur hypothetischen Verteilung. Die Hypothese wird abgelehnt, wenn χ^2 den Wert χ_{α}^2 überschreitet, wobei χ_{α}^2 mit (3) berechnet wird.

$$\chi_{\alpha}^2 = 0,5 (\sqrt{2m-1} + z_{2\alpha})^2 \quad (3)$$

Mit der Anzahl der Freiheitsgrade $m=k-r-1$ und $z_{2\alpha}$ aus Tafel 1.1.2.9.2 in /7/.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Element einer Stichprobe größer als 1,00 ist, wird durch eine Punktschätzung ermittelt. Die Ergebnisse werden durch eine Konfidenzschätzung abgesichert. Als Merkmal X der Punktschätzung H_n wird als Ereignis definiert:

$$X = \begin{cases} 0, & \text{falls } \psi, \eta < 1,00 \\ 1, & \text{falls } \psi, \eta \geq 1,00 \end{cases} \quad (4)$$

Die relative Wahrscheinlichkeit p des Auftretens des Merkmals X wird mit (5) abgeschätzt.

$$H_n = p = E\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

mit n ...Umfang der Stichprobe

Das Vertrauensintervall (p_1, p_2) der Konfidenzschätzung wird mit (6) berechnet. Dieses überdeckt die Wahrscheinlich p mit einer Erwartung von $(1-\alpha)*100\%$.

$$p^2 \left(1 + \frac{z_\alpha^2}{n}\right) - p \left(2H_n + \frac{z_\alpha^2}{n}\right) + H_n^2 < 0 \quad (6)$$

wobei z_α aus [7], Tafel 1.1.2.9.2 entnommen wird. Durch eine Regressionsanalyse wird geprüft, ob ein Zusammenhang zwischen den längs und quer zur Walzrichtung ermittelten Werkstoffkennwerten besteht. Hierzu wird der Korrelationskoeffizient r berechnet. Der Korrelationskoeffizient r kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Er gibt Aufschluss darüber, ob ein Zusammenhang zwischen den untersuchten Parametern besteht. Wenn $|r|=1$ ist, besteht ein starker Zusammenhang, ist $r=0$ besteht kein Zusammenhang zwischen den untersuchten Parametern. Der Korrelationskoeffizient r wird mit (9) berechnet.

$$r = \frac{\sum x_i y_i - \frac{1}{n} \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\left[\sum x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum x_i)^2\right] \left[\sum y_i^2 - \frac{1}{n} (\sum y_i)^2\right]}} \quad (9)$$

In Abhängigkeit von dem Korrelationskoeffizienten wird ein eventuell bestehender funktionaler Zusammenhang zwischen den quer und längs zur Walzrichtung ermittelten Werkstoffkennwerten durch eine lineare Regression ermittelt. Die lineare Regression wird nach dem Prinzip der kleinsten Quadrate durchgeführt. Der funktionale Zusammenhang wird in der Form

$$y - \bar{y} = b (x - \bar{x}) \quad (10)$$

dargestellt. Der Regressionskoeffizient b berechnet sich mit (11) zu:

$$b = \frac{s_{xy}}{s_x^2} \quad (11)$$

Hierin sind \bar{x} und \bar{y} die Mittelwerte der längs und quer zur Walzrichtung ermittelten Festigkeiten, s_{xy} die Kovarianz und s_x^2 die Varianz. Da der Regressionskoeffizient b mit einer Streuung behaftet ist, wird dieser durch eine Konfidenzschätzung abgesichert.

Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse wird die Hypothese normalverteilter Verhältniswerte geprüft und die Regressionsanalyse durchgeführt. Der Konfidenzschätzung, dass die Verhältniswerte ψ und η größer als 1,00 sind, werden die Ergebnisse entsprechend den nachfolgend aufgeführten Kriterien als Stichprobe zugrundegelegt:

1. Ergebnisse aller Versuche
2. Ergebnisse aller Versuche verschiedener Werkstoffe in einem Zustand
3. Ergebnisse aller Versuche eines Werkstoffs in verschiedenen Zuständen
4. Ergebnisse aller Versuche einer Blechdicke

Die Auswertung erfolgt in allen Fällen mit einer Erwartung von 95%. Dies entspricht $\alpha=0,05$ bei der Berechnung von z_{α} und $\alpha=0,025$ bei der Berechnung von $z_{2\alpha}$.

4.2 Ergebnis der statistischen Auswertung

4.2.1 Überprüfung der Hypothese normalverteilter Verhältniswerte

Die Überprüfung der Hypothese, dass die Verhältniswerte ψ und η normalverteilt sind, erfolgt durch einen χ^2 -Anpassungstest. Hierzu wurden die Streckgrenzenverhältnisse ψ und die Zugfestigkeitsverhältnisse η in Klassen mit einer Breite von 0,03 eingeteilt. Als Signifikanzniveau wurde 95% ($2\alpha=0,05$) gewählt. In den Tabellen 1 und 2 der Anlage 2 sind die Ergebnisse der χ^2 -Anpassungstests aufgeführt. In /8/ wird empfohlen die Hypothese zusätzlich durch eine grafische Kontrolle zu überprüfen. Die hierfür erforderlichen Summenhäufigkeitslinien sind in Anlage 2 dargestellt. In Anlage 2 ist in den Diagrammen 1 bis 4 die Summenhäufigkeitslinie von ψ und in den Diagrammen 5 bis 8 die Summenhäufigkeitslinie von η hinsichtlich verschiedener Kriterien dargestellt. In den Diagrammen 1 und 5 sind die Verhältniswerte bezüglich der Legierung, in den Diagrammen 2, 3, 6 und 7 bezüglich des Werkstoffzustands und in den Diagrammen 4 und 8 bezüglich der Blechdicke dargestellt.

Die Hypothese einer normalverteilten Grundgesamtheit der Verhältniswerte ist aufgrund der Ergebnisse der χ^2 -Anpassungstests und der graphischen Kontrolle anzunehmen.

4.2.2 Statistische Kenndaten der Stichproben und Konfidenzintervalle

Die Kenndaten der statistischen Auswertung (Mittelwert μ , Standardabweichung σ , 95%-Fraktile $\psi_{95\%}$ und $\eta_{95\%}$, kleinster und größter Wert) sowie die relativen Wahrscheinlichkeiten p und die zugehörigen Konfidenzintervalle (p_1 , p_2) sind in den Tabellen 3 und 4 der Anlage 3 aufgeführt. Die Auswertung bezüglich eines Merkmals (Aluminiumlegierung, Werkstoffzustand) wurde, sofern dies möglich war, unter gleichen Bedingungen durchgeführt. Das heißt, zum Beispiel der Einfluss der Legierung wurde an Proben in demselben Zustand untersucht, etc.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Auswertung der Ergebnisse der Dehngrenze $R_{p0,2}$ aufgeführt. Die Wahrscheinlichkeit, dass $\psi > 1,00$ ist, ist bei Berücksichtigung aller Ergebnisse mit einer Erwartung von 95% $p_{\min}=p_1=81\%$. In den Diagrammen 9 und 10 der Anlage 3 sind die Ergebnisse der Auswertung bezüglich verschiedener Merkmale dargestellt. Hieraus ist ersichtlich, dass die untersuchten Aluminiumlegierungen mit dem Hauptlegierungselement Mangan (EN AW-3004, EN AW-3005, EN AW-3105) im Mittel höhere Verhältniswerte aufweisen als die untersuchte Alumi-

niumpulierung mit dem Hauptlegierungselement Magnesium (EN AW-5754). Die relative Wahrscheinlichkeit p ist jedoch bei allen untersuchten Aluminiumlegierungen größer als 90%, wie aus Tabelle 3 zu sehen ist. Die Art der Basisbearbeitung (erste Ziffer des Werkstoffzustands) hat auf die ψ -Werte eine große Auswirkung. Im Zustand H18 (kaltverfestigt) ist die relative Wahrscheinlichkeit p mit 55% wesentlich kleiner als im Zustand H48 (kaltverfestigt und einbrennlackiert) mit $p=92\%$, d.h. eine zur Kaltverfestigung zusätzlich durchgeführte Einbrennlackierung (Zustand H4x) wirkt sich ungünstig auf die ψ -Werte aus. Die Beurteilung des Einflusses der Basisbearbeitung konnte jedoch nur für den Werkstoff EN AW-5754 erfolgen, da für die übrigen hier untersuchten Werkstoffe keine Proben zur Verfügung standen. Die ψ -Werte nehmen mit zunehmender Kaltverfestigung zu, wie der Vergleich der Ergebnisse für den Werkstoff EN AW-3005 in den Zuständen H44 und H48 in den Diagrammen 9 und 10 zeigt. Ein signifikanter Einfluss der Blechdicke auf die ψ -Werte ist aus der vorliegenden Datenmenge nicht zu erkennen.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Auswertung der Ergebnisse der Zugfestigkeit R_m dargestellt. Die relative Wahrscheinlichkeit, dass $\eta > 1,00$ ist, ist bei Berücksichtigung aller Ergebnisse mit einer Erwartung von 95% $p_{\min} = p_1 = 87\%$. In den Diagrammen 11 und 12 sind die η -Werte hinsichtlich der bei der Dehngrenze $R_{p0,2}$ genannten Merkmale ausgewertet. Die bei den ψ -Werten gefunden Ergebnisse können mit Ausnahme des Einflusses der Basisbearbeitung übernommen werden. Eine zusätzliche Einbrennlackierung wirkt sich im Gegensatz zu den ψ -Werten günstig auf die η -Werte aus, wie aus den Diagrammen 11 und 12 ersichtlich wird.

4.2.3 Regressionsanalyse und Korrelation

In Diagramm 13 der Anlage 4 sind die quer und längs zur Walzrichtung ermittelten 0,2%-Dehngrenzen und in Diagramm 14 der Anlage 4 die quer und längs zur Walzrichtung ermittelten Zugfestigkeiten zueinander aufgetragen. Der Korrelationskoeffizient berechnet sich mit (9) für die 0,2%-Dehngrenzen zu $r_{Rp0,2} = 0,968$ und für die Zugfestigkeiten zu $r_{Rm} = 0,989$. Hieraus und aufgrund der Normalverteilung der Verhältnismerte folgt, dass ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen längs und quer zur Walzrichtung bestimmten Festigkeitswerten besteht. Die Regressionsgerade für die 0,2%-Dehngrenze folgt der Beziehung (12a), die der Zugfestigkeiten der Beziehung (12b). Die Geraden (12a) und (12c) sind in Diagramm 13, und die Geraden (12b) und (12c) in Diagramm 14 der Anlage 4 dargestellt. Die in (12a) und (12b) angegebenen Geradensteigungen sowie der Achsenabschnitte ergeben sich aus der Konfidenzschätzung des Regressionskoeffizienten.

$$R_{p0,2,quer} = \begin{cases} 0,924 R_{p0,2,längs} + 25,4 & \text{für } R_{p0,2,längs} < 203N / mm^2 \\ 1,012 R_{p0,2,längs} + 7,4 & \text{für } R_{p0,2,längs} \geq 203N / mm^2 \end{cases} \quad (12a)$$

$$R_{m,quer} = \begin{cases} 0,969 R_{m,längs} + 14,9 & \text{für } R_{m,längs} < 231N / mm^2 \\ 1,097 R_{m,längs} - 14,7 & \text{für } R_{m,längs} \geq 231N / mm^2 \end{cases} \quad (12b)$$

$$R_{\text{quer}} = R_{\text{längs}} \quad (12c)$$

Die in DIN 18807-9 angegebenen Aluminiumlegierungen haben nach DIN EN 485-2 eine Mindestanforderung an die 0,2%-Dehngrenz zwischen 165N/mm² und 230N/mm². Die hier ebenfalls untersuchte Legierung EN AW-5754 muss im Zustand H18 nach DIN EN 485-2 mindestens eine 0,2%-Dehngrenze von 250N/mm² aufweisen. Die nach (12a) berechnete Dehngrenze $R_{p0,2,\text{quer}}$ ist bei einer Festigkeit von 165N/mm² um 8% größer als der zugehörige Längswert und bei 275N/mm² um 4% größer als der Längswert. Die Einzelwerte in Querrichtung liegen jedoch um bis zu 15% über den zugehörigen Längswerten, wie aus Tabelle 3 der Anlage 3 ersichtlich ist. Der ebenfalls in Tabelle 3 der Anlage 3 aufgeführte 95%-Fraktilwert aller ψ -Werte liegt bei 1,13, das heißt die Querwerte liegen um 13% über den Längswerten.

Die quer zur Walzrichtung bestimmte Zugfestigkeit $R_{m,\text{quer}}$ ist nach (12b) für den nach DIN 18807-9 vorgegebenen Festigkeitsbereich zwischen 5% und 6% größer als $R_{m,\text{längs}}$. Aus Tabelle 4 in Anlage 3 ist ersichtlich, dass Einzelwerte in Querrichtung um bis zu 12% größer sind als die entsprechenden Längswerte. Der 95%-Fraktilwert liegt für die η -Werte bei 1,08.

5 Beurteilung der Ergebnisse

Der Nachweis der Werkstoffeigenschaften im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle muss nach DIN 18807-9 an Querproben erfolgen. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass die an Querproben bestimmten Festigkeitswerte $R_{p0,2}$ und R_m größer sind als die an Längsproben ermittelten. Mit 81% Wahrscheinlichkeit ist die Dehngrenze $R_{p0,2,\text{quer}}$ höher als $R_{p0,2,\text{längs}}$. Nach DIN 18807-9 dürfen Einzelwerte der in der Fremdüberwachung ermittelten Dehngrenzen $R_{p0,2}$ um bis zu 5N/mm² unter den Nennwerten der jeweiligen Güteklasse liegen. In Tabelle 5 der Anlage 5 sind Ergebnisse der Auswertung der ψ -Werte unter Berücksichtigung dieser Regelung dargestellt. In den Diagrammen 15 und 16 der Anlage 5 sind die Ergebnisse entsprechende den unter Abschnitt 4.2.2 genannten Kriterien ausgewertet dargestellt. Mit 65% Wahrscheinlichkeit sind die an Querproben ermittelten Dehngrenzen $R_{p0,2}$ größer als die zugehörigen Längswerte. Der Mittelwert der modifizierten Verhältniswerte ψ ist $\mu=1,02$ bei einer Standardabweichung von $\sigma=0,05$. Die Zugfestigkeit $R_{m,\text{quer}}$ ist mit 87% Wahrscheinlichkeit größer als $R_{m,\text{längs}}$. Die Zugfestigkeiten quer zur Walzrichtung sind bis zu 12% größer als in Längsrichtung. Demnach können die Werkstoffeigenschaften die Anforderungen in der werkseigenen Produktionskontrolle erfüllen, obwohl die maßgebenden Festigkeitswerte nicht den Anforderungen entsprechen, was sich in der Fremdüberwachung zeigt.

Die hier festgestellte quasi planmäßige Unterschreitung der Querwerte durch die Längswerte wird bei der Bemessung von Aluminium-Trapezprofilen nach DIN 18807-8 durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_M nicht erfasst. Dieser erfasst nach /11/ die Streuung der Querschnittswerte sowie der Werkstoffkennwerte. Die planmäßige Unterschreitung der längs im Vergleich zu den quer zur

Walzrichtung ermittelten Werkstoffkennwerte kann jedoch nicht der Streuung der Werkstoffkennwerte zugeordnet werden.

Auf Grundlage der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung wird zur Bereinigung der widersprüchlichen Regelungen für die werkseigene Produktionskontrolle und die Fremdüberwachung sowie der nicht im Teilsicherheitsbeiwert γ_M erfassten planmäßigen Unterschreitung der Längswerte gegenüber den Querwerten empfohlen, die Forderung in DIN 18807-9, Abschnitt 5.2.2, dass die Werkstoffkennwerte an Querproben zu ermitteln sind, abzuändern. Die Werkstoffkennwerte sollten künftig im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle wie bisher bereits in der Fremdüberwachung zur Gewährung der Produkteigenschaften an Längsproben bestimmt werden. Werden die Werkstoffkennwerte in der werkseigenen Produktionskontrolle durch Werksprüfzeugnisse 2.3 nach DIN EN 10204 entsprechend DIN EN 485-2 an Querproben nachgewiesen, so müssen diese Werte $R_{p0,2}$ und R_m vor dem Vergleich mit den Anforderungen von DIN 18807-9 auf $1/\psi_{95\%} \cdot R_{p0,2} = 0,88 \cdot R_{p0,2}$ und $1/\eta_{95\%} \cdot R_m = 0,93 \cdot R_m$ abgemindert werden, damit die geforderten Eigenschaften auch in Längsrichtung gewährleistet sind.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde der Einfluss der Probenorientierung auf die Werkstoffeigenschaften von Aluminium-Bändern für Trapezprofile untersucht. Die Dehngrenze $R_{p0,2}$ ist mit 81% Wahrscheinlichkeit und die Zugfestigkeit R_m ist mit 87% Wahrscheinlichkeit quer zur Walzrichtung größer als längs zur Walzrichtung. Bei den untersuchten Aluminiumlegierungen mit dem Hauptlegierungselement Mangan (EN AW-3004, EN AW-3005 und EN AW-3105) ist die Anisotropie stärker ausgeprägt als bei der hier untersuchten Aluminiumlegierung mit dem Hauptlegierungselement Magnesium EN AW-5754. Die Art der Basisbearbeitung wirkt sich auf die Verhältniswerte gegenläufig aus, so vergrößert eine zusätzliche Einbrennlackierung das 0,2%-Dehngrenzenverhältnis, verringert jedoch das Verhältnis der Zugfestigkeiten. Mit zunehmendem Grad der Kaltverfestigung nimmt die Anisotropie bezüglich der 0,2%-Dehngrenze als auch der Zugfestigkeit zu. Bei den für die Herstellung von Trapezprofilen verwendeten Festigkeitsklassen ist die 0,2%-Dehngrenze in Querrichtung bis zu 15% größer als in Längsrichtung. Die Zugfestigkeit in Querrichtung ist bis zu 12% größer als in Längsrichtung. Ein Einfluss der Probenorientierung auf die Bruchdehnung A_{50mm} wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht festgestellt.

Entsprechend den Vorgaben in DIN 18807-9 können die Werkstoffeigenschaften die Anforderungen in der werkseigenen Produktionskontrolle erfüllen, in der Fremdüberwachung jedoch nicht. Weiterhin wird die quasi planmäßige Unterschreitung der Querwerten durch die Längswerte nicht von den Teilsicherheitsbeiwerten γ_M erfasst. Diese decken die Streuung der Werkstoffkennwerte, jedoch nicht die hier festgestellte planmäßige Unterschreitung ab.

Zur Beseitigung der widersprüchlichen Regelungen in DIN 18807-9 bezüglich des Übereinstimmungsnachweises und vor allem des hier aufgezeigten Sicherheitsdefizits wird empfohlen, dass die Werkstoffkennwerte generell in Walzrichtung, das heißt an Längsproben zu bestimmen und diese für den Tragfähigkeitsnachweis sicherzustellen sind. Erfolgt der Nachweis der Werkstoffkennwerte in der werkseigenen Produktionskontrolle an Querwerten durch Werksprüfzeugnisse 2.3 nach DIN EN 10204, so müssen diese Werte $R_{p0,2}$ und R_m vor dem Vergleich mit den Anforderungen von DIN 18807-9 auf $0,88 \cdot R_{p0,2}$ und $0,93 \cdot R_m$ abgemindert werden, damit die geforderten Eigenschaften auch in Längsrichtung gewährleistet sind.

Karlsruhe, am 14. November 2003

Der Bearbeiter

Der Projektleiter

Dipl.-Ing. A. Gehring

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Saal

7 Schrifttum

- /1/ DIN 18807-6:1995-09: Trapezprofile im Hochbau - Aluminium-Trapezprofile und ihre Verbindungen; Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Berechnung
DIN 18807-7:1995-09: Trapezprofile im Hochbau - Aluminium-Trapezprofile und ihre Verbindungen; Ermittlung der Tragfähigkeitswerte durch Versuche
DIN 18807-8:1995-09: Trapezprofile im Hochbau - Aluminium-Trapezprofile und ihre Verbindungen; Nachweise der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit
DIN 18807-9:1995-09: Trapezprofile im Hochbau - Aluminium-Trapezprofile und ihre Verbindungen; Anwendung und Konstruktion
- /2/ DIN EN 485-1:1995-03 - Aluminium und Aluminiumlegierungen - Bänder, Bleche und Platten – Technische Lieferbedingungen
DIN EN 485-2:1995-03 - Aluminium und Aluminiumlegierungen - Bänder, Bleche und Platten - Mechanische Eigenschaften
- /3/ DIN EN 1396:1997-02 - Aluminium und Aluminiumlegierungen - Bandbeschichtete Bleche und Bänder für allgemeine Anwendungen
- /4/ DIN EN 573-3:1994-12 - Aluminium und Aluminiumlegierungen – Chemische Zusammensetzung und Form von Halbzeug
- /5/ DIN EN 515:1993-12 - Aluminium und Aluminiumlegierungen - Halbzeug - Bezeichnungen der Werkstoffzustände

- /6/ ISO 12491:1997-05 - Statistische Verfahren für die Güteüberwachung von Bauprodukten und Bauteilen
- /7/ Bronstein, I. N., Semendjajew, K.A., Taschenbuch der Mathematik, B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1991, 25. Auflage
- /8/ Plate, E. J., Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1993
- /9/ Kreyszig, E., Statistische Methoden und ihre Anwendungen, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1975, 7. Auflage
- /10/ Kammer, C., Aluminium-Taschenbuch, Band 1: Grundlagen und Werkstoffe, Aluminium-Verlag, Düsseldorf, 1995, 15. Auflage
- /11/ Stahlbauten: Erläuterungen zu DIN 18800-1 bis -4, hrsg. von Scheer, J., Lindner, J., Schmitt, H., Beuth Verlag, Berlin, 1998, 3. Auflage

| Nr. | Legierung | Zustand | R _{p0,2,L} | R _{m,L} | A _{50mm,L} | R _{p0,2,T} | R _{m,T} | A _{50mm,T} | ψ | η | Hersteller* |
|-----|-----------|---------|---------------------|------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|------|------|-------------|
| 1 | 3105 | H14 | 170 | 189 | 9,6 | 171 | 191 | 10,5 | 1,01 | 1,01 | A |
| 2 | 3105 | H14 | 164 | 174 | 3,4 | 170 | 179 | 2,4 | 1,04 | 1,03 | A |
| 3 | 3105 | H14 | 162 | 189 | 10,6 | 172 | 190 | 10,4 | 1,06 | 1,01 | A |
| 4 | 3005 | H44 | 145 | 170 | 5,9 | 152 | 176 | 4,3 | 1,05 | 1,04 | B |
| 5 | 3005 | H44 | 156 | 183 | 6,2 | 159 | 188 | 5,1 | 1,02 | 1,03 | B |
| 6 | 3005 | H44 | 155 | 186 | 6,6 | 152 | 186 | 5,8 | 0,98 | 1,00 | B |
| 7 | 5754 | H48 | 266 | 318 | 7,3 | 268 | 309 | 5,7 | 1,01 | 0,97 | C |
| 8 | 5754 | H48 | 272 | 315 | 7,0 | 271 | 309 | 6,1 | 1,00 | 0,98 | C |
| 9 | 5754 | H18 | 311 | 329 | 3,7 | 299 | 338 | 4,8 | 0,96 | 1,03 | D |
| 10 | 5754 | H48 | 251 | 299 | 7,1 | 262 | 301 | 7,3 | 1,04 | 1,01 | E |
| 11 | 3005 | H48 | 210 | 236 | 4,1 | 220 | 247 | 6,6 | 1,05 | 1,05 | A |
| 12 | 3005 | H44 | 153 | 181 | 6,5 | 156 | 186 | 5,1 | 1,02 | 1,03 | A |
| 13 | 3005 | H44 | 161 | 187 | 5,7 | 162 | 190 | 5,0 | 1,01 | 1,02 | A |
| 14 | 3005 | H48 | 195 | 219 | 4,0 | 208 | 228 | 3,7 | 1,07 | 1,04 | A |
| 15 | 3005 | H44 | 172 | 198 | 5,1 | 184 | 205 | 4,4 | 1,07 | 1,04 | B |
| 16 | 3105 | H48 | 194 | 206 | 1,8 | 208 | 220 | 0,5 | 1,07 | 1,07 | B |
| 17 | 3005 | H48 | 183 | 213 | 6,2 | 206 | 219 | 4,6 | 1,13 | 1,03 | A |
| 18 | 3005 | H48 | 198 | 226 | 4,5 | 213 | 231 | 3,8 | 1,08 | 1,02 | A |
| 19 | 3005 | H44 | 169 | 191 | 4,7 | 167 | 194 | 4,4 | 0,99 | 1,02 | A |
| 20 | 3105 | H44 | 172 | 191 | 8,8 | 160 | 186 | 8,9 | 0,93 | 0,97 | B |
| 21 | 3105 | H48 | 162 | 190 | 3,0 | 165 | 198 | 3,8 | 1,02 | 1,04 | B |
| 22 | 3105 | H48 | 186 | 206 | 3,5 | 192 | 208 | 5,2 | 1,03 | 1,01 | B |
| 23 | 3005 | H44 | 179 | 205 | 4,4 | 202 | 217 | 3,7 | 1,13 | 1,06 | A |
| 24 | 3105 | H48 | 187 | 206 | 4,8 | 194 | 212 | 4,6 | 1,04 | 1,03 | B |
| 25 | 3005 | H48 | 190 | 207 | 4,9 | 193 | 211 | 4,7 | 1,02 | 1,02 | A |
| 26 | 3105 | H48 | 193 | 210 | 4,8 | 193 | 208 | 5,0 | 1,00 | 0,99 | B |
| 27 | 3105 | H48 | 195 | 233 | 6,4 | 180 | 232 | 6,6 | 0,92 | 1,00 | B |
| 28 | 3105 | H48 | 198 | 215 | 5,0 | 212 | 228 | 3,0 | 1,07 | 1,06 | B |
| 29 | 3005 | H44 | 173 | 195 | 5,1 | 187 | 210 | 4,4 | 1,08 | 1,08 | B |
| 30 | 3105 | H48 | 203 | 209 | 3,2 | 215 | 221 | 2,1 | 1,06 | 1,06 | B |
| 31 | 3105 | H48 | 183 | 207 | 1,0 | 204 | 214 | 1,0 | 1,11 | 1,03 | B |
| 32 | 3105 | H48 | 191 | 212 | 3,3 | 205 | 226 | 2,6 | 1,07 | 1,07 | B |
| 33 | 3005 | H44 | 178 | 205 | 4,3 | 191 | 215 | 3,9 | 1,07 | 1,05 | B |
| 34 | 3105 | H48 | 191 | 208 | 5,0 | 214 | 222 | 3,1 | 1,12 | 1,07 | B |
| 35 | 3005 | H48 | 217 | 247 | 3,9 | 229 | 249 | 3,3 | 1,06 | 1,01 | A |
| 36 | 3005 | H48 | 192 | 221 | 4,6 | 204 | 227 | 3,8 | 1,06 | 1,03 | A |
| 37 | 3005 | H48 | 189 | 221 | 4,7 | 204 | 228 | 3,9 | 1,08 | 1,03 | A |
| 38 | 3005 | H48 | 210 | 241 | 4,5 | 218 | 242 | 4,0 | 1,04 | 1,00 | A |
| 39 | 3005 | H48 | 199 | 229 | 4,9 | 214 | 241 | 4,0 | 1,08 | 1,05 | A |
| 40 | 3005 | H48 | 201 | 225 | 4,7 | 212 | 232 | 4,1 | 1,05 | 1,03 | A |
| 41 | 3005 | H44 | 152 | 187 | 4,4 | 149 | 178 | 5,8 | 0,98 | 0,95 | A |

| Nr. | Legierung | Zustand | R _{p0,2,L} | R _{m,L} | A _{50mm,L} | R _{p0,2,T} | R _{m,T} | A _{50mm,T} | ψ | η | Hersteller* |
|-----|-----------|---------|---------------------|------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|------|------|-------------|
| 42 | 3005 | H48 | 198 | 236 | 4,4 | 216 | 241 | 4,1 | 1,09 | 1,02 | A |
| 43 | 3005 | H44 | 150 | 170 | 5,5 | 153 | 175 | 4,5 | 1,02 | 1,03 | A |
| 44 | 3005 | H48 | 211 | 236 | 4,7 | 223 | 244 | 3,8 | 1,06 | 1,03 | A |
| 45 | 3005 | H48 | 221 | 255 | 4,5 | 240 | 261 | 3,6 | 1,09 | 1,02 | A |
| 46 | 3005 | H44 | 148 | 168 | 4,6 | 143 | 166 | 6,1 | 0,97 | 0,99 | A |
| 47 | 3005 | H44 | 144 | 167 | 6,0 | 148 | 169 | 4,6 | 1,03 | 1,01 | A |
| 48 | 3005 | H44 | 152 | 174 | 5,6 | 155 | 179 | 4,5 | 1,02 | 1,03 | A |
| 49 | 3005 | H44 | 156 | 176 | 5,3 | 157 | 179 | 4,4 | 1,01 | 1,02 | A |
| 50 | 3005 | H44 | 145 | 166 | 5,8 | 150 | 169 | 4,3 | 1,03 | 1,02 | A |
| 51 | 3005 | H48 | 196 | 220 | 4,2 | 221 | 242 | 3,6 | 1,13 | 1,10 | A |
| 52 | 3005 | H44 | 151 | 177 | 5,5 | 157 | 182 | 4,8 | 1,04 | 1,03 | A |
| 53 | 3005 | H48 | 212 | 242 | 4,3 | 230 | 252 | 3,4 | 1,08 | 1,04 | A |
| 54 | 3005 | H44 | 164 | 194 | 5,6 | 162 | 195 | 4,8 | 0,99 | 1,01 | A |
| 55 | 3005 | H48 | 210 | 232 | 4,6 | 231 | 247 | 3,5 | 1,10 | 1,06 | A |
| 56 | 3005 | H48 | 203 | 231 | 4,2 | 221 | 239 | 3,5 | 1,09 | 1,03 | A |
| 57 | 3005 | H48 | 187 | 207 | 4,8 | 197 | 218 | 3,4 | 1,05 | 1,05 | A |
| 58 | 3005 | H44 | 145 | 168 | 5,8 | 150 | 170 | 5,1 | 1,03 | 1,01 | A |
| 59 | 3005 | H48 | 180 | 215 | 4,2 | 200 | 228 | 3,5 | 1,11 | 1,06 | A |
| 60 | 3005 | H48 | 181 | 208 | 3,9 | 195 | 218 | 3,5 | 1,08 | 1,05 | A |
| 61 | 3105 | H48 | 191 | 211 | 4,3 | 200 | 220 | 3,2 | 1,05 | 1,04 | B |
| 62 | 3005 | H44 | 168 | 186 | 5,2 | 176 | 195 | 3,8 | 1,05 | 1,05 | F |
| 63 | 5754 | H48 | 248 | 286 | 5,9 | 260 | 307 | 6,3 | 1,05 | 1,07 | G |
| 64 | 5754 | H48 | 259 | 295 | 5,0 | 263 | 304 | 6,3 | 1,02 | 1,03 | G |
| 65 | 5754 | H18 | 287 | 305 | 4,0 | 299 | 343 | 4,7 | 1,04 | 1,12 | G |
| 66 | 5754 | H48 | 257 | 297 | 6,4 | 258 | 297 | 5,1 | 1,00 | 1,00 | G |
| 67 | 5754 | H48 | 250 | 286 | 4,5 | 252 | 296 | 7,7 | 1,01 | 1,03 | G |
| 68 | 5754 | H18 | 292 | 316 | 3,4 | 293 | 324 | 4,9 | 1,00 | 1,03 | G |
| 69 | 5754 | H48 | 246 | 289 | 5,8 | 260 | 302 | 6,2 | 1,06 | 1,04 | G |
| 70 | 5754 | H48 | 240 | 288 | 5,0 | 246 | 295 | 6,4 | 1,03 | 1,02 | G |
| 71 | 5754 | H18 | 271 | 300 | 3,5 | 280 | 311 | 4,3 | 1,03 | 1,04 | G |
| 72 | 5754 | H48 | 256 | 296 | 5,1 | 260 | 301 | 6,0 | 1,02 | 1,02 | G |
| 73 | 5754 | H48 | 251 | 292 | 4,8 | 259 | 302 | 6,8 | 1,03 | 1,03 | G |
| 74 | 5754 | H48 | 237 | 284 | 5,5 | 251 | 286 | 6,1 | 1,06 | 1,01 | G |
| 75 | 5754 | H18 | 230 | 308 | 4,3 | 250 | 316 | 5,1 | 1,09 | 1,03 | G |
| 76 | 5754 | H18 | 302 | 330 | 2,9 | 294 | 332 | 5,1 | 0,97 | 1,01 | G |
| 77 | 5754 | H18 | 294 | 316 | 3,5 | 283 | 328 | 5,6 | 0,96 | 1,04 | G |
| 78 | 5754 | H18 | 273 | 306 | 3,6 | 296 | 324 | 4,6 | 1,08 | 1,06 | G |
| 79 | 5754 | H18 | 289 | 309 | 3,7 | 277 | 326 | 5,8 | 0,96 | 1,06 | G |
| 80 | 5754 | H18 | 297 | 321 | 3,5 | 279 | 333 | 5,7 | 0,94 | 1,04 | G |
| 81 | 5754 | H18 | 278 | 299 | 3,6 | 297 | 326 | 3,8 | 1,07 | 1,09 | G |
| 82 | 5754 | H48 | 249 | 293 | 5,5 | 249 | 305 | 6,1 | 1,00 | 1,04 | H |
| 83 | 3004 | H28 | 198 | 238 | 7,0 | 227 | 246 | 7,3 | 1,15 | 1,03 | I |

| Nr. | Legierung | Zustand | R _{p0,2,L} | R _{m,L} | A _{50mm,L} | R _{p0,2,T} | R _{m,T} | A _{50mm,T} | ψ | η | Hersteller* |
|-----|-----------|---------|---------------------|------------------|---------------------|---------------------|------------------|---------------------|------|------|-------------|
| 84 | 3105 | H48 | 203 | 215 | 3,3 | 219 | 229 | 2,9 | 1,08 | 1,07 | B |
| 85 | 3105 | H44 | 162 | 181 | 7,3 | 176 | 193 | 8,4 | 1,09 | 1,07 | B |
| 86 | 3105 | H48 | 198 | 210 | 3,5 | 210 | 225 | 2,2 | 1,06 | 1,07 | F |
| 87 | 3105 | H48 | 195 | 207 | 5,0 | 206 | 218 | 3,2 | 1,06 | 1,05 | B |
| 88 | 3105 | H48 | 190 | 206 | 5,5 | 213 | 219 | 3,8 | 1,12 | 1,06 | B |
| 89 | 3105 | H48 | 199 | 211 | 3,3 | 222 | 233 | 3,3 | 1,12 | 1,10 | B |
| 90 | 3005 | H48 | 216 | 237 | 3,0 | 233 | 249 | 2,7 | 1,08 | 1,05 | A |
| 91 | 3105 | H48 | 182 | 193 | 8,0 | 194 | 198 | 8,8 | 1,07 | 1,03 | B |
| 92 | 3105 | H48 | 217 | 231 | 6,0 | 195 | 255 | 6,4 | 0,90 | 1,10 | B |
| 93 | 3005 | H48 | 213 | 233 | 4,7 | 229 | 242 | 3,9 | 1,08 | 1,04 | B |
| 94 | 3005 | H48 | 202 | 225 | 6,3 | 223 | 234 | 5,7 | 1,10 | 1,04 | B |
| 95 | 3105 | H48 | 195 | 219 | 6,4 | 214 | 222 | 4,7 | 1,10 | 1,01 | B |
| 96 | 3105 | H48 | 194 | 215 | 6,7 | 209 | 218 | 5,8 | 1,08 | 1,01 | B |
| 97 | 3105 | H48 | 199 | 218 | 5,5 | 208 | 222 | 5,7 | 1,05 | 1,02 | B |
| 98 | 3105 | H48 | 184 | 200 | 7,8 | 200 | 209 | 7,9 | 1,09 | 1,05 | B |
| 99 | 3105 | H48 | 192 | 203 | 7,1 | 202 | 210 | 6,4 | 1,05 | 1,03 | B |
| 100 | 3105 | H48 | 187 | 201 | 6,8 | 204 | 209 | 5,7 | 1,09 | 1,04 | B |
| 101 | 3005 | H48 | 207 | 230 | 4,1 | 224 | 241 | 3,8 | 1,08 | 1,05 | A |
| 102 | 3004 | H44 | 203 | 244 | 9,3 | 231 | 250 | 8,5 | 1,14 | 1,02 | G |
| 103 | 3004 | H44 | 191 | 232 | 11,0 | 206 | 236 | 12,1 | 1,08 | 1,02 | G |
| 104 | 3004 | H44 | 197 | 230 | 6,9 | 209 | 242 | 7,3 | 1,06 | 1,05 | G |
| 105 | 3004 | H44 | 186 | 226 | 10,4 | 202 | 232 | 10,8 | 1,09 | 1,03 | G |
| 106 | 3004 | H44 | 184 | 220 | 6,9 | 193 | 230 | 7,3 | 1,05 | 1,05 | G |
| 107 | 3004 | H44 | 206 | 238 | 9,5 | 224 | 242 | 9,5 | 1,09 | 1,02 | G |
| 108 | 3004 | H44 | 213 | 249 | 9,7 | 232 | 250 | 8,8 | 1,09 | 1,00 | G |
| 109 | 3004 | H44 | 183 | 230 | 11,0 | 196 | 228 | 11,4 | 1,07 | 0,99 | G |
| 110 | 3004 | H44 | 188 | 229 | 11,4 | 195 | 229 | 12,1 | 1,04 | 1,00 | G |
| 111 | 3004 | H44 | 190 | 232 | 10,1 | 198 | 234 | 12,8 | 1,04 | 1,01 | G |
| 112 | 3004 | H46 | 218 | 249 | 6,1 | 237 | 262 | 6,5 | 1,09 | 1,05 | J |
| 113 | 3004 | H46 | 238 | 261 | 6,7 | 259 | 275 | 6,4 | 1,09 | 1,05 | G |
| 114 | 3004 | H46 | 211 | 242 | 5,3 | 216 | 251 | 5,8 | 1,02 | 1,04 | J |
| 115 | 3004 | H46 | 228 | 256 | 8,0 | 246 | 262 | 7,2 | 1,08 | 1,02 | G |
| 116 | 3004 | H46 | 219 | 249 | 7,1 | 240 | 255 | 7,8 | 1,10 | 1,02 | G |
| 117 | 3004 | H46 | 207 | 242 | 5,9 | 217 | 251 | 6,5 | 1,05 | 1,04 | J |
| 118 | 3004 | H46 | 225 | 254 | 7,1 | 241 | 260 | 7,3 | 1,07 | 1,02 | G |
| 119 | 3004 | H46 | 221 | 249 | 5,9 | 233 | 257 | 6,1 | 1,05 | 1,03 | F |
| 120 | 3004 | H46 | 201 | 237 | 6,6 | 216 | 249 | 6,6 | 1,07 | 1,05 | J |

* Die Namen der Hersteller sind an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe (TH), hinterlegt.

| Klassen-Nr. | Klasse | $M_i^{1)}$ | $p_i^{2)}$ | $n p_i$ | $\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$ |
|---|----------------------|------------|------------|---------|-------------------------------|
| 1 | $-\infty \dots 0,94$ | 3,5 | 0,0089 | 1,07 | 5,538 |
| 2 | $0,94 \dots 0,97$ | 4,5 | 0,0338 | 4,06 | 0,049 |
| 3 | $0,97 \dots 1,00$ | 7,5 | 0,0974 | 11,69 | 1,501 |
| 4 | $1,00 \dots 1,03$ | 20 | 0,1899 | 22,79 | 0,341 |
| 5 | $1,03 \dots 1,06$ | 28,5 | 0,2532 | 30,38 | 0,117 |
| 6 | $1,06 \dots 1,09$ | 36 | 0,2191 | 26,29 | 3,585 |
| 7 | $1,09 \dots 1,12$ | 13,5 | 0,1296 | 15,55 | 0,271 |
| 8 | $1,12 \dots \infty$ | 6,5 | 0,0681 | 8,17 | 0,342 |
| Σ | - | 120 | 1,0000 | 120 | $\chi^2=11,743$ |
| $\chi^2_{\alpha} = 0,5 (\sqrt{2m-1} + z_{2\alpha})^2 = 0,5 (\sqrt{2(8-2-1-1)} - 1 + 1,960)^2 = 12,301^{3)}$ | | | | | |

Tabelle 1: Ergebnis des Anpassungstests für die 0,2%-Dehngrenzenverhältnisse ψ

| Klassen-Nr. | Klasse | $M_i^{1)}$ | $p_i^{2)}$ | $n p_i$ | $\frac{(M_i - np_i)^2}{np_i}$ |
|--|----------------------|------------|------------|---------|-------------------------------|
| 1 | $-\infty \dots 0,97$ | 2 | 0,0094 | 1,13 | 0,674 |
| 2 | $0,97 \dots 1,00$ | 8 | 0,0981 | 11,77 | 1,209 |
| 3 | $1,00 \dots 1,03$ | 45,5 | 0,3405 | 40,90 | 0,518 |
| 4 | $1,03 \dots 1,06$ | 47,5 | 0,3882 | 46,58 | 0,018 |
| 5 | $1,06 \dots 1,09$ | 12,5 | 0,1456 | 17,47 | 1,415 |
| 6 | $1,09 \dots \infty$ | 4,5 | 0,0179 | 2,15 | 2,575 |
| Σ | - | 120 | 1,0000 | 120 | $\chi^2=6,409$ |
| $\chi^2_{\alpha} = 0,5 (\sqrt{2m-1} + z_{2\alpha})^2 = 0,5 (\sqrt{2(6-2-1-1)} - 1 + 1,960)^2 = 8,803^{3)}$ | | | | | |

Tabelle 2: Ergebnis des Anpassungstests für die Zugfestigkeitsverhältnisse η

¹⁾ Werte auf einer Klassengrenze werden jeder Klasse zur Hälfte zugerechnet.

²⁾ nach /7/ Tafel 1.1.2.9.2

³⁾ $z_{2\alpha}$ berechnet sich für $2\alpha=0,05$ mit /7/ Tafel 1.1.2.9.2 zu 1,960.

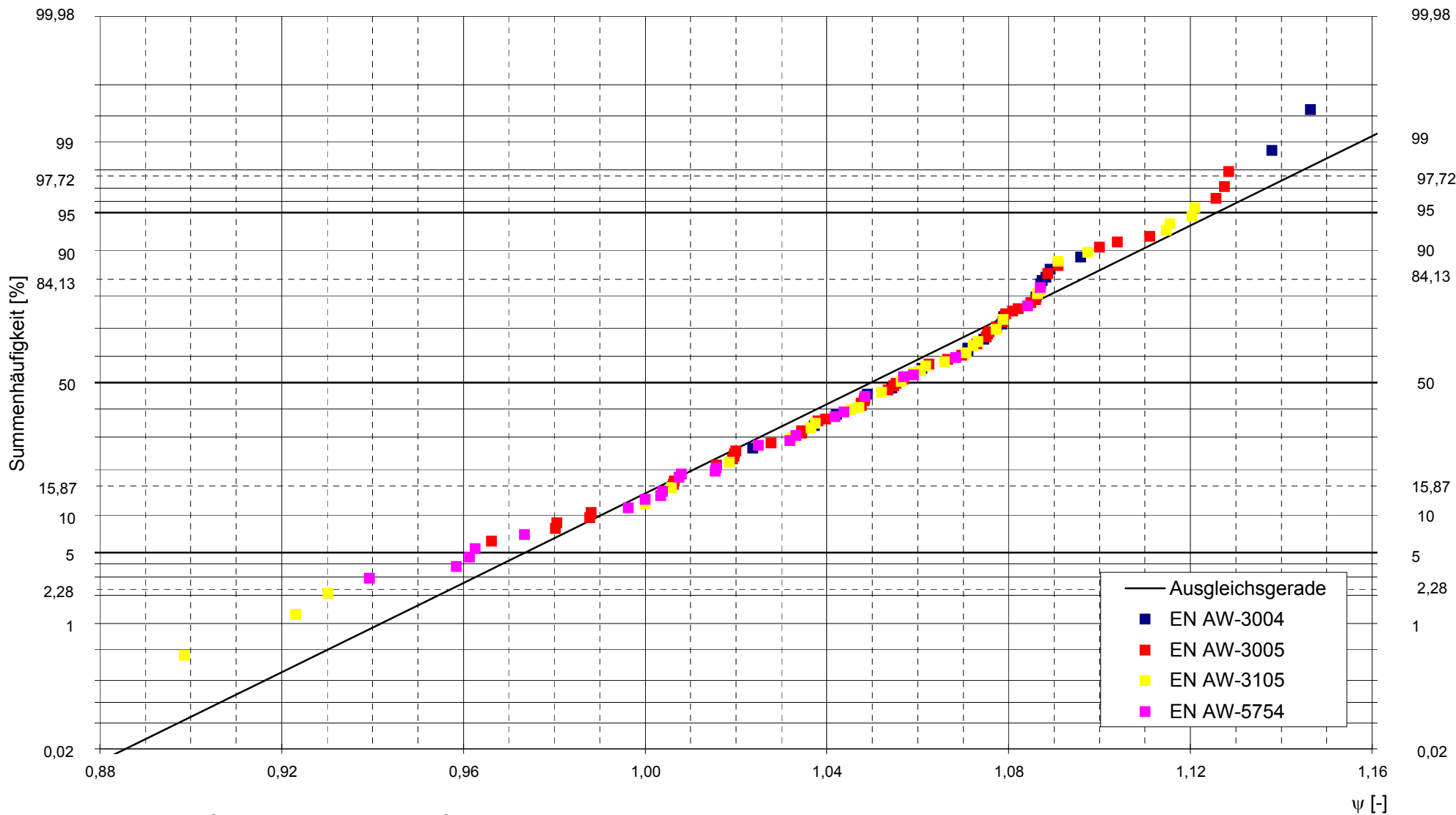


Diagramm 1: Einfluss der Legierung auf ψ

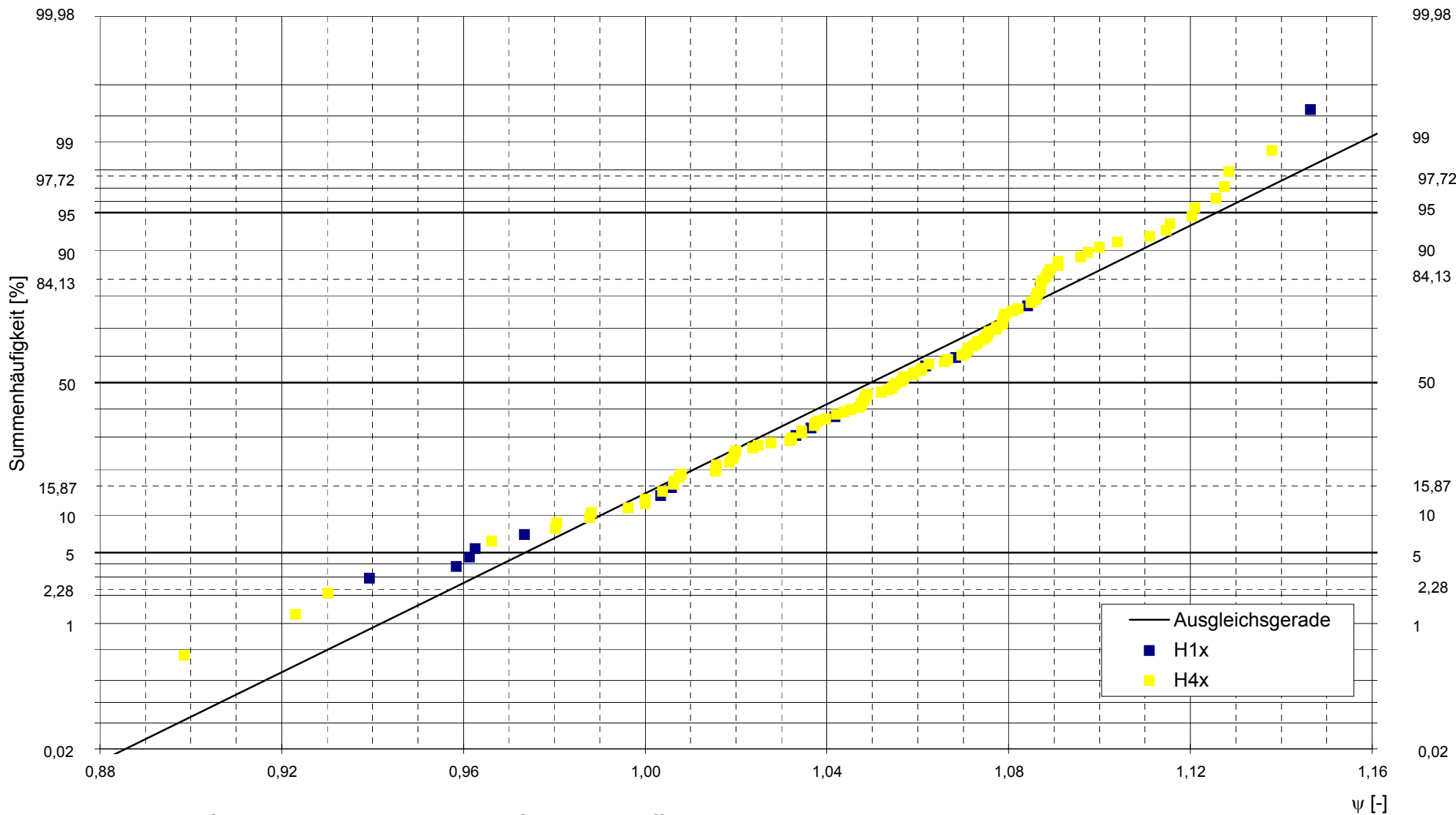


Diagramm 2: Einfluss der Basisbearbeitung auf ψ (Werkstoffzustands HNx)

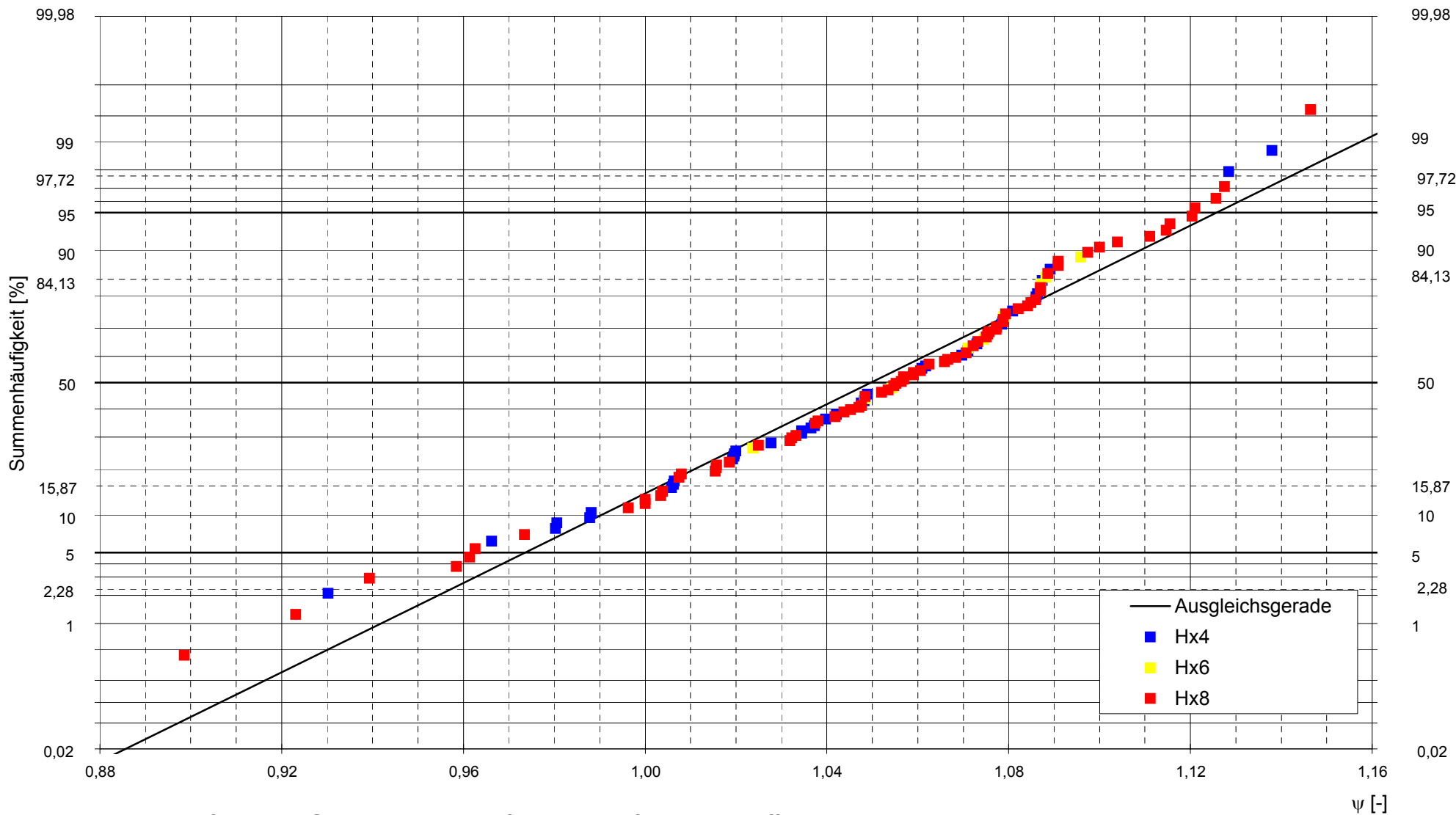


Diagramm 3: Einfluss des Grades der Kaltverfestigung auf ψ (Werkstoffzustand HxN)

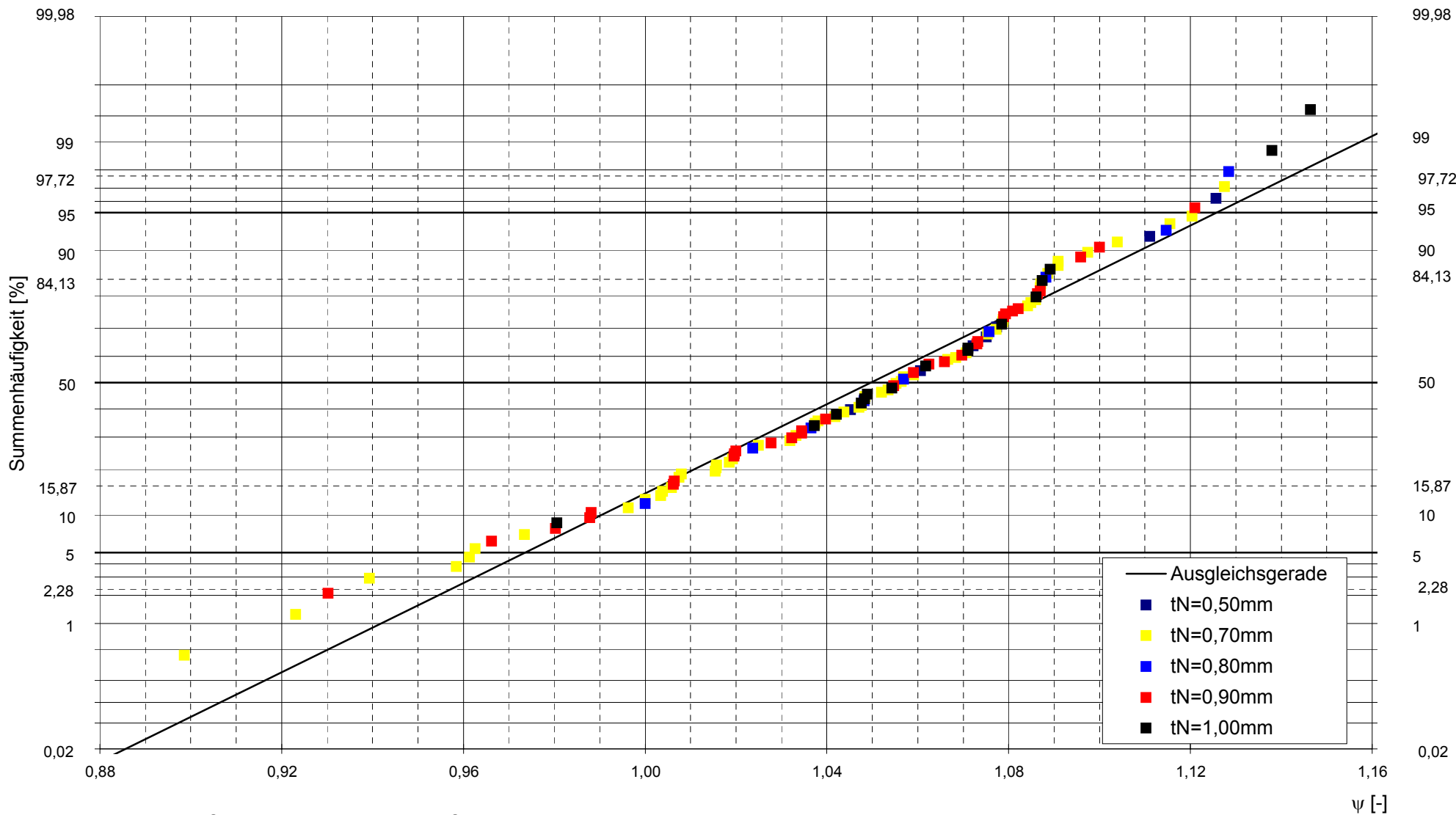


Diagramm 4: Einfluss der Blechdicke auf ψ

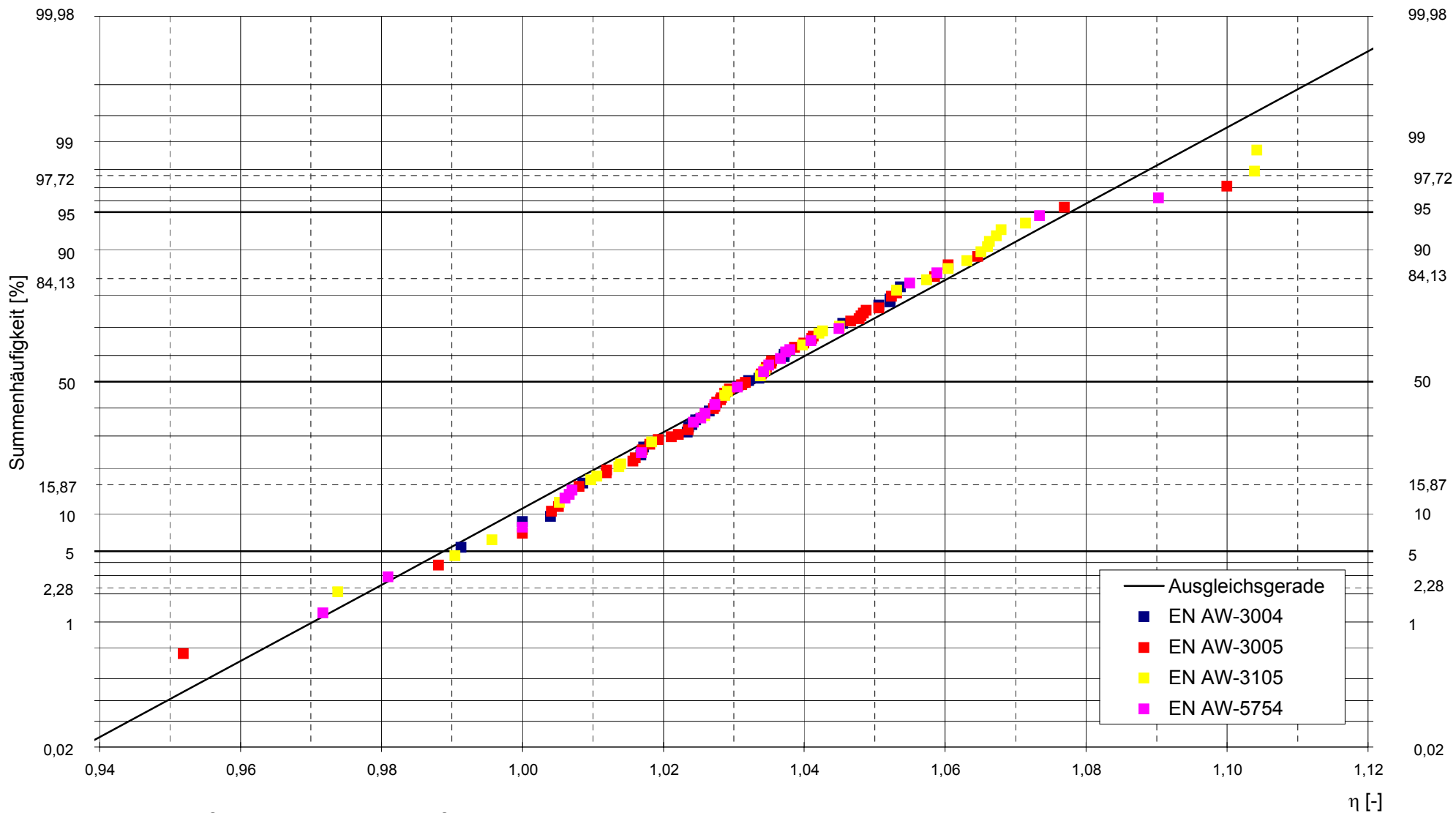


Diagramm 5: Einfluss der Legierung auf η

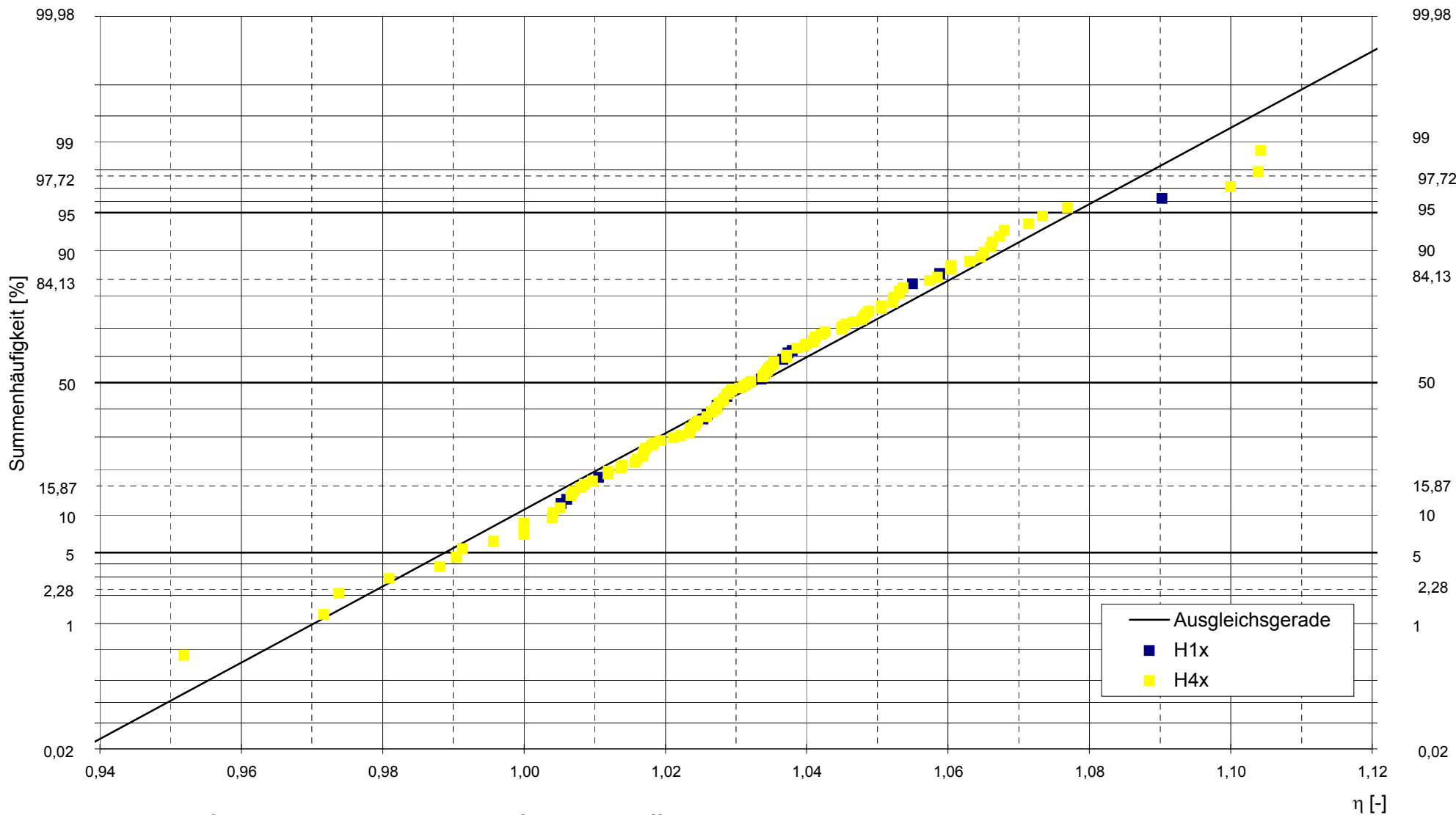


Diagramm 6: Einfluss der Basisbearbeitung auf η (Werkstoffzustands HN_x)

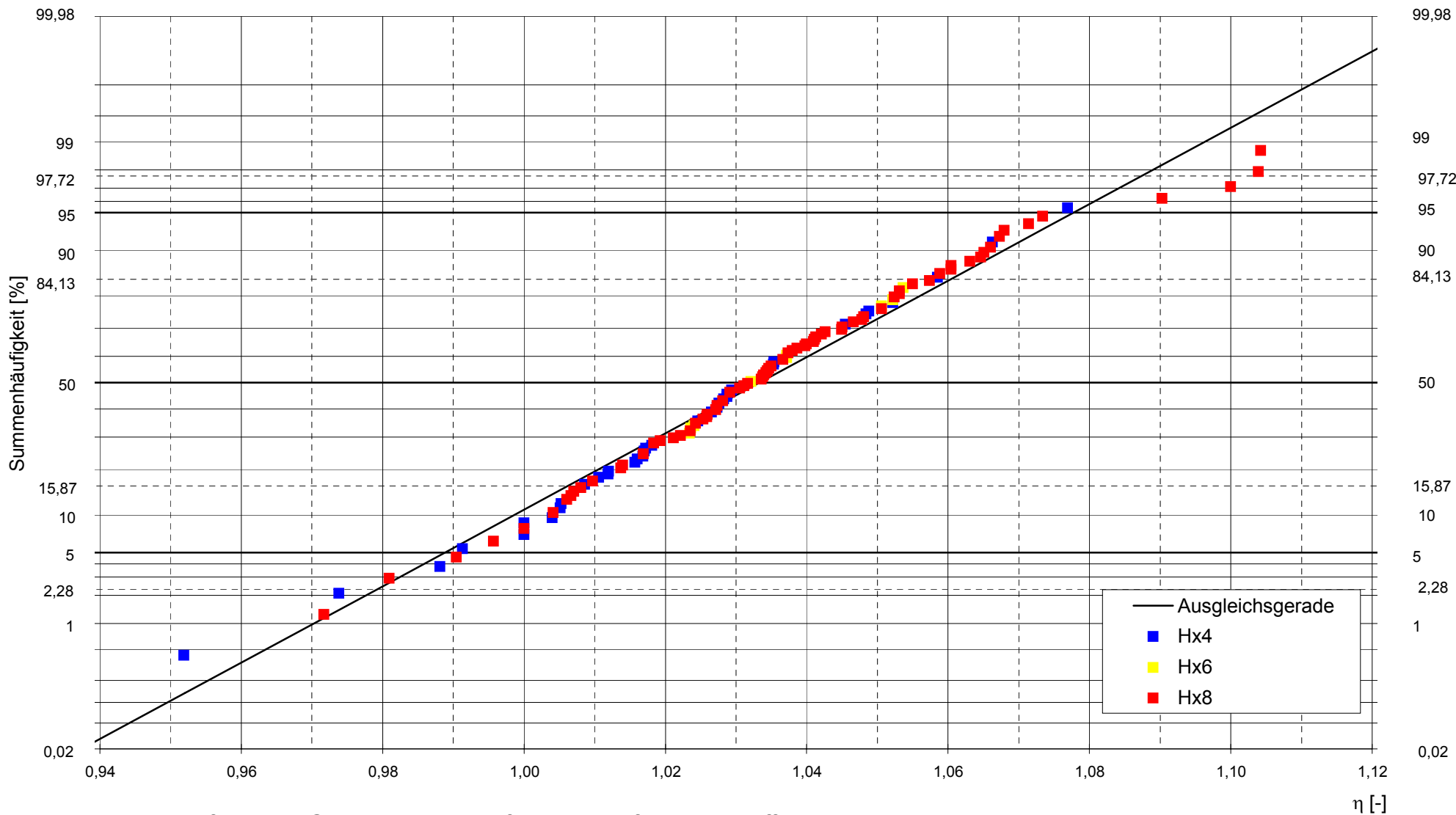


Diagramm 7: Einfluss des Grades der Kaltverfestigung auf η (Werkstoffzustand HxN)

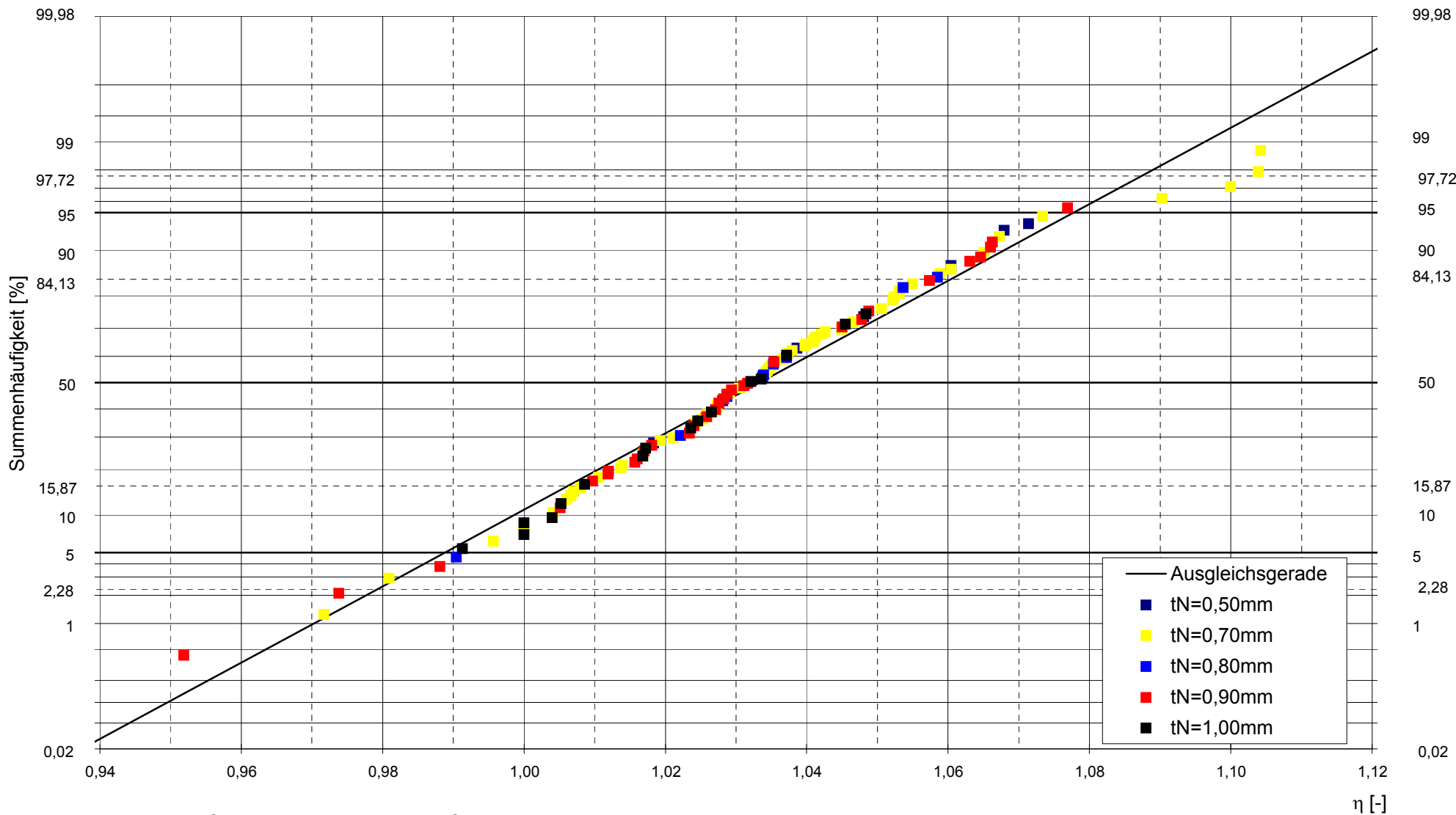


Diagramm 8: Einfluss der Blechdicke auf η

| Auswahlkriterium für eine Stichprobe | | Anzahl | Statistische Kenndaten | | | | Konfidenzschätzung | | | |
|---|----------------|--------|------------------------|----------|---------------|------|--------------------|-------|-----|-------|
| | | | [-] | | | | [%] | | | |
| | | | μ | σ | $\Psi_{95\%}$ | Min. | Max. | p_1 | p | p_2 |
| Gesamtheit aller Ergebnisse | | 120 | 1,05 | 0,05 | 1,13 | 0,90 | 1,15 | 81 | 88 | 93 |
| Legierung | EN AW-3004 H46 | 9 | 1,07 | 0,02 | 1,12 | 1,02 | 1,10 | 70 | 100 | 100 |
| | EN AW-3005 H48 | 25 | 1,08 | 0,03 | 1,13 | 1,02 | 1,13 | 87 | 100 | 100 |
| | EN AW-3105 H48 | 25 | 1,06 | 0,05 | 1,16 | 0,90 | 1,12 | 75 | 92 | 98 |
| | EN AW-5754 H48 | 13 | 1,02 | 0,02 | 1,07 | 1,00 | 1,06 | 67 | 92 | 99 |
| Basisbearbeitung (Werkstoffzustand) | EN AW-5754 H18 | 11 | 1,01 | 0,05 | 1,12 | 0,94 | 1,09 | 28 | 55 | 79 |
| | EN AW-5754 H48 | 13 | 1,02 | 0,02 | 1,07 | 1,00 | 1,06 | 67 | 92 | 99 |
| Grad der Kaltverfestigung (Werkstoffzustand) | EN AW-3005 H44 | 21 | 1,03 | 0,04 | 1,10 | 0,97 | 1,13 | 55 | 76 | 89 |
| | EN AW-3005 H48 | 25 | 1,08 | 0,03 | 1,13 | 1,02 | 1,13 | 87 | 100 | 100 |
| Blechdicke t_N [mm] | 0,50 | 7 | 1,08 | 0,03 | 1,14 | 1,05 | 1,13 | 65 | 100 | 100 |
| | 0,70 | 55 | 1,04 | 0,05 | 1,13 | 0,90 | 1,13 | 74 | 85 | 92 |
| | 0,80 | 9 | 1,06 | 0,04 | 1,15 | 1,00 | 1,13 | 70 | 100 | 100 |
| | 0,90 | 31 | 1,04 | 0,04 | 1,13 | 0,93 | 1,12 | 67 | 84 | 93 |
| | 1,00 | 16 | 1,07 | 0,04 | 1,14 | 0,98 | 1,15 | 72 | 94 | 99 |

Tabelle 3: Statistische Kenndaten und Ergebnis der Konfidenzschätzung für ψ

| Auswahlkriterium für eine Stichprobe | | Anzahl | Statistische Kenndaten | | | | Konfidenzschätzung | | | |
|---|----------------|--------|------------------------|----------|---------------|------|--------------------|-------|-----|-------|
| | | | [-] | | | | [%] | | | |
| | | | μ | σ | $\eta_{95\%}$ | Min. | Max. | p_1 | p | p_2 |
| Gesamtheit aller Ergebnisse | | 120 | 1,03 | 0,03 | 1,08 | 0,95 | 1,12 | 87 | 93 | 97 |
| Legierung | EN AW-3004 H46 | 9 | 1,04 | 0,01 | 1,06 | 1,02 | 1,05 | 70 | 100 | 100 |
| | EN AW-3005 H48 | 25 | 1,04 | 0,02 | 1,08 | 1,00 | 1,10 | 87 | 100 | 100 |
| | EN AW-3105 H48 | 25 | 1,04 | 0,03 | 1,10 | 0,99 | 1,10 | 75 | 92 | 98 |
| | EN AW-5754 H48 | 13 | 1,02 | 0,03 | 1,08 | 0,97 | 1,07 | 58 | 85 | 96 |
| Basisbearbeitung (Werkstoffzustand) | EN AW-5754 H18 | 11 | 1,05 | 0,03 | 1,11 | 1,01 | 1,12 | 74 | 100 | 100 |
| | EN AW-5754 H48 | 13 | 1,02 | 0,03 | 1,08 | 0,97 | 1,07 | 58 | 85 | 96 |
| Grad der Kaltverfestigung (Werkstoffzustand) | EN AW-3005 H44 | 21 | 1,02 | 0,03 | 1,07 | 0,95 | 1,08 | 71 | 90 | 97 |
| | EN AW-3005 H48 | 25 | 1,04 | 0,02 | 1,08 | 1,00 | 1,10 | 87 | 100 | 100 |
| Blechdicke t_N [mm] | 0,50 | 7 | 1,05 | 0,02 | 1,09 | 1,02 | 1,07 | 65 | 100 | 100 |
| | 0,70 | 55 | 1,04 | 0,03 | 1,09 | 0,97 | 1,12 | 85 | 95 | 98 |
| | 0,80 | 9 | 1,03 | 0,02 | 1,07 | 0,99 | 1,06 | 56 | 89 | 98 |
| | 0,90 | 31 | 1,03 | 0,03 | 1,08 | 0,95 | 1,08 | 75 | 90 | 97 |
| | 1,00 | 16 | 1,02 | 0,02 | 1,05 | 0,99 | 1,05 | 72 | 94 | 99 |

Tabelle 4: Statistische Kenndaten und Ergebnis der Konfidenzschätzung für η

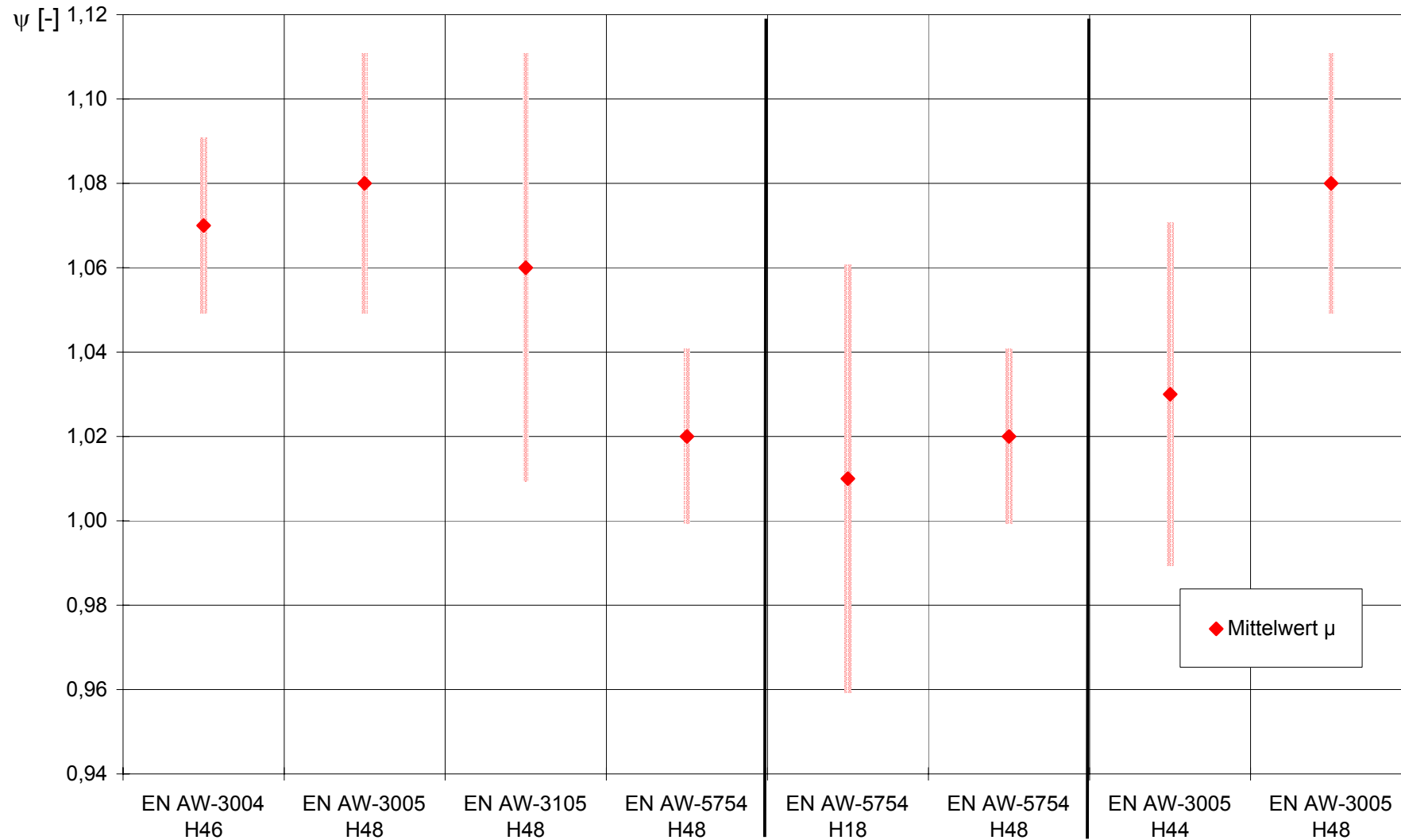


Diagramm 9: Statistische Kenndaten (Mittelwert μ und Standardabweichung σ) von ψ bezüglich verschiedener Einflussgrößen

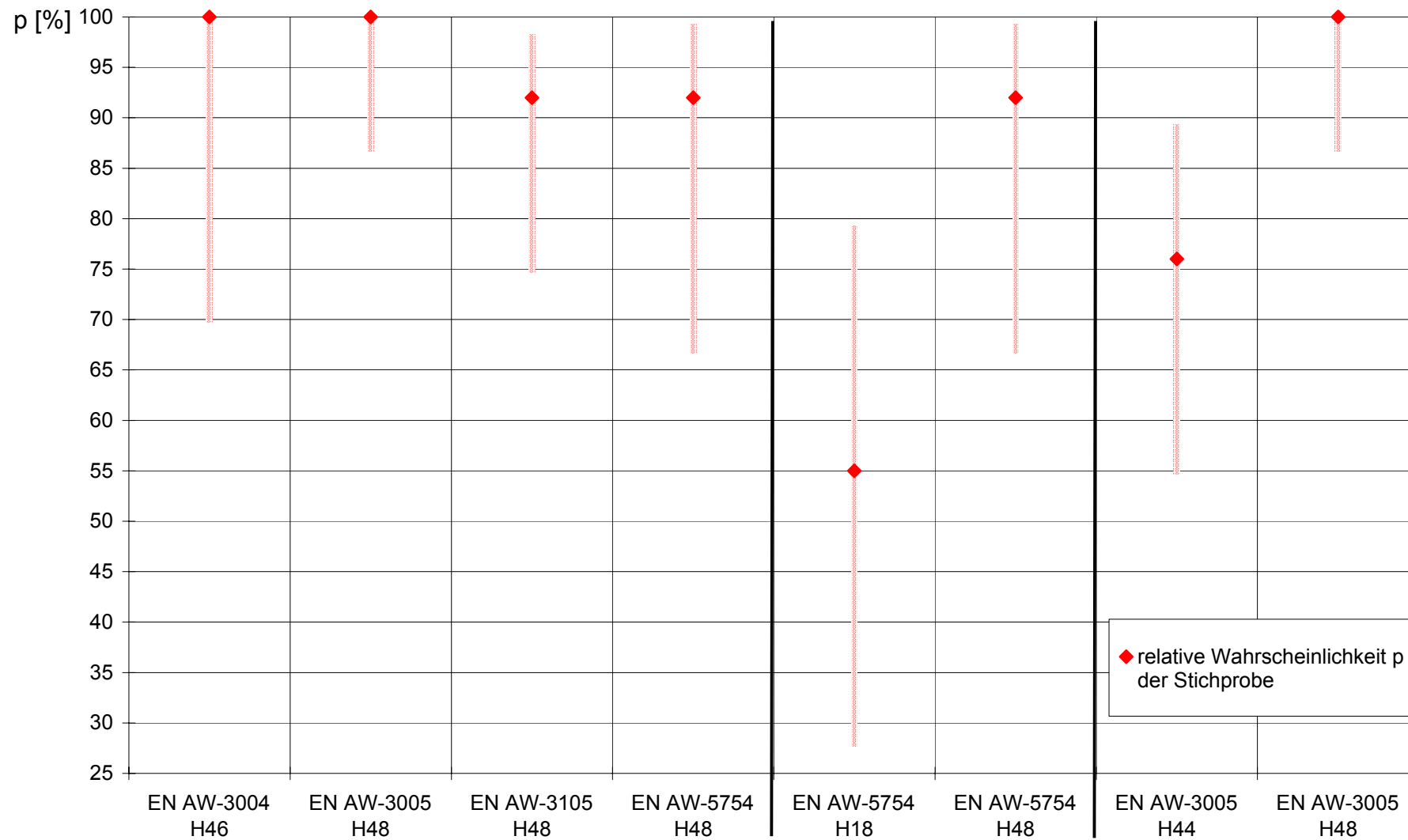


Diagramm 10: Konfidenzintervalle von ψ bezüglich verschiedener Einflussgrößen

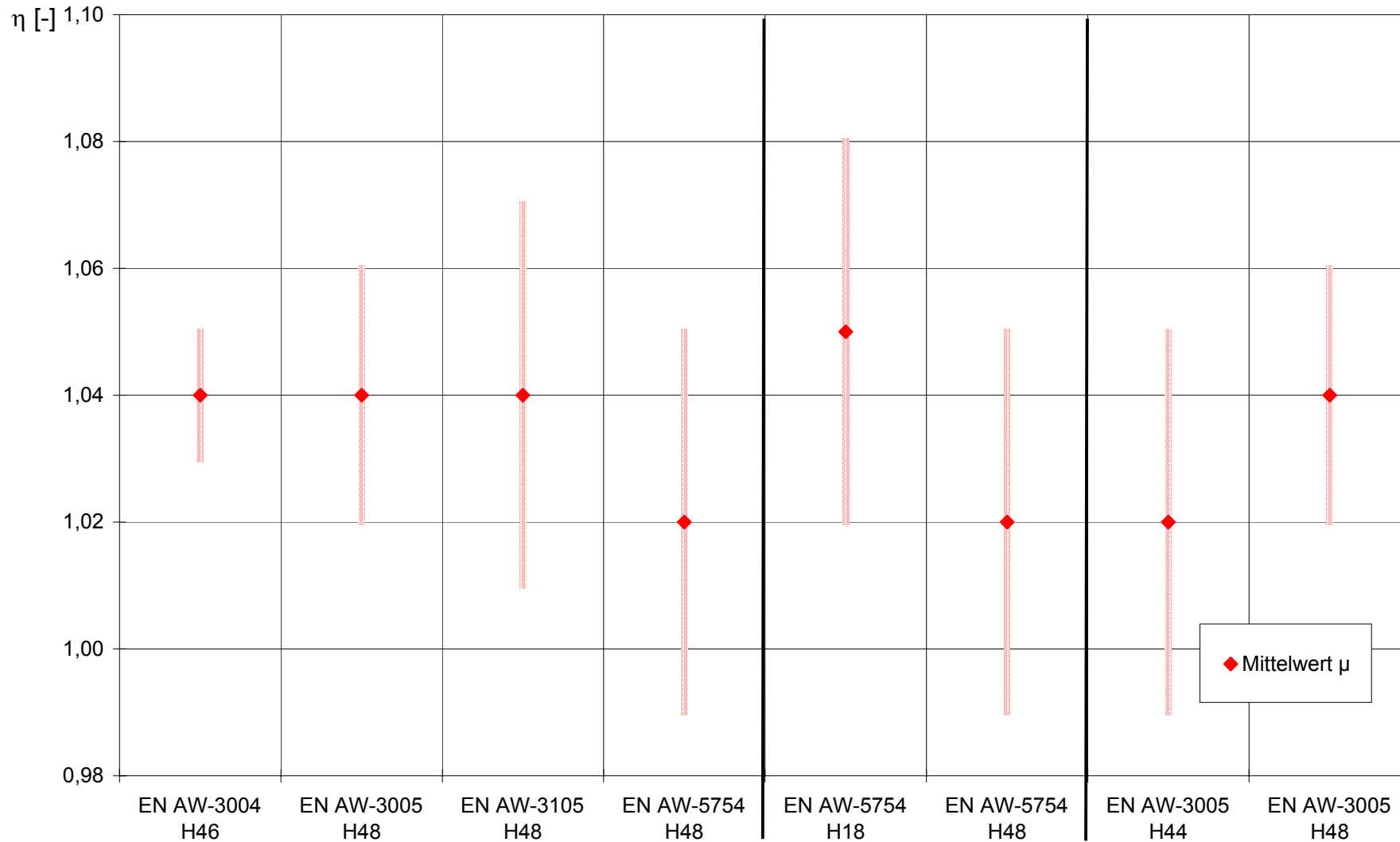


Diagramm 11: Statistische Kenndaten (Mittelwert μ und Standardabweichung σ) von η bezüglich verschiedener Einflussgrößen

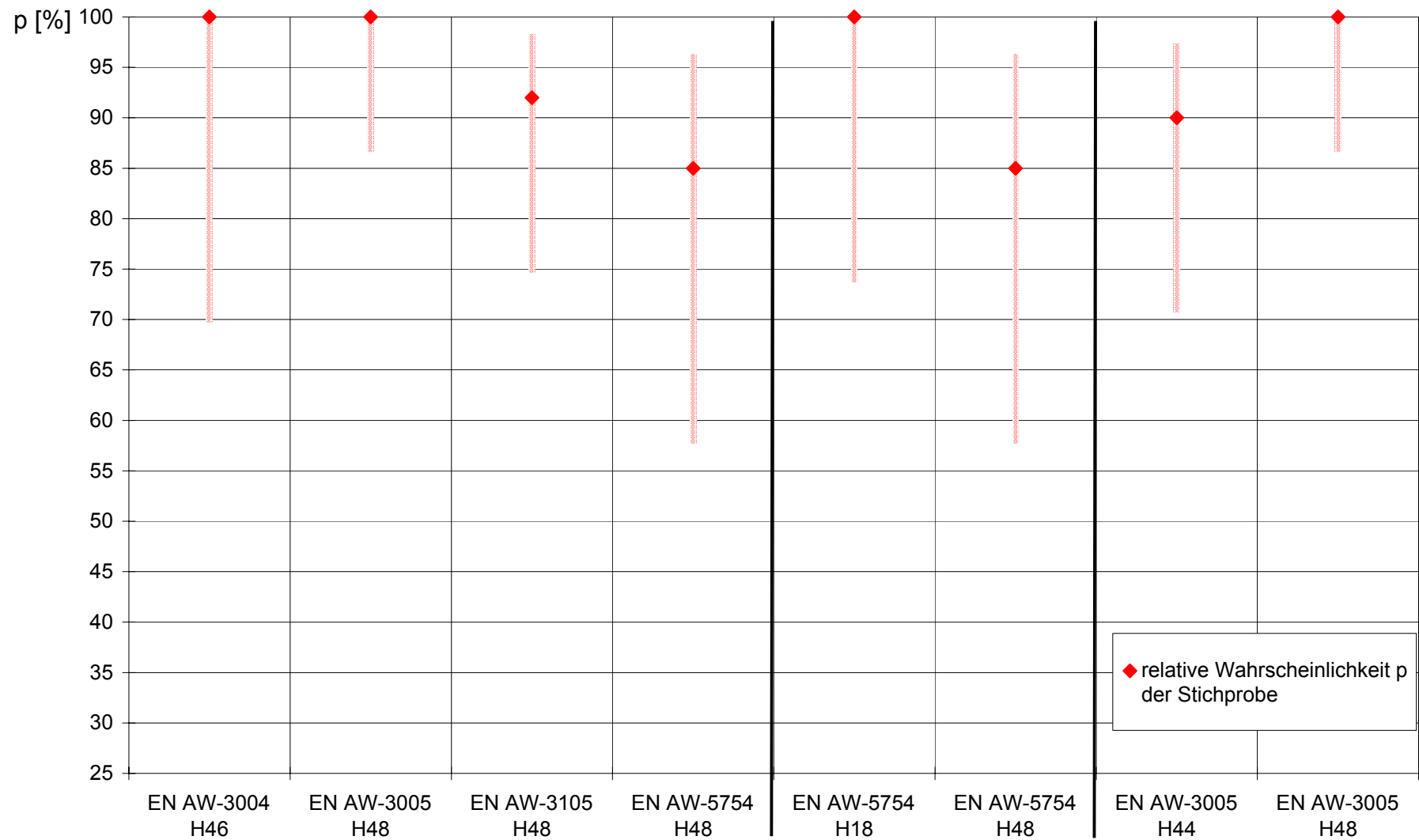


Diagramm 12: Konfidenzintervalle von η bezüglich verschiedener Einflussgrößen

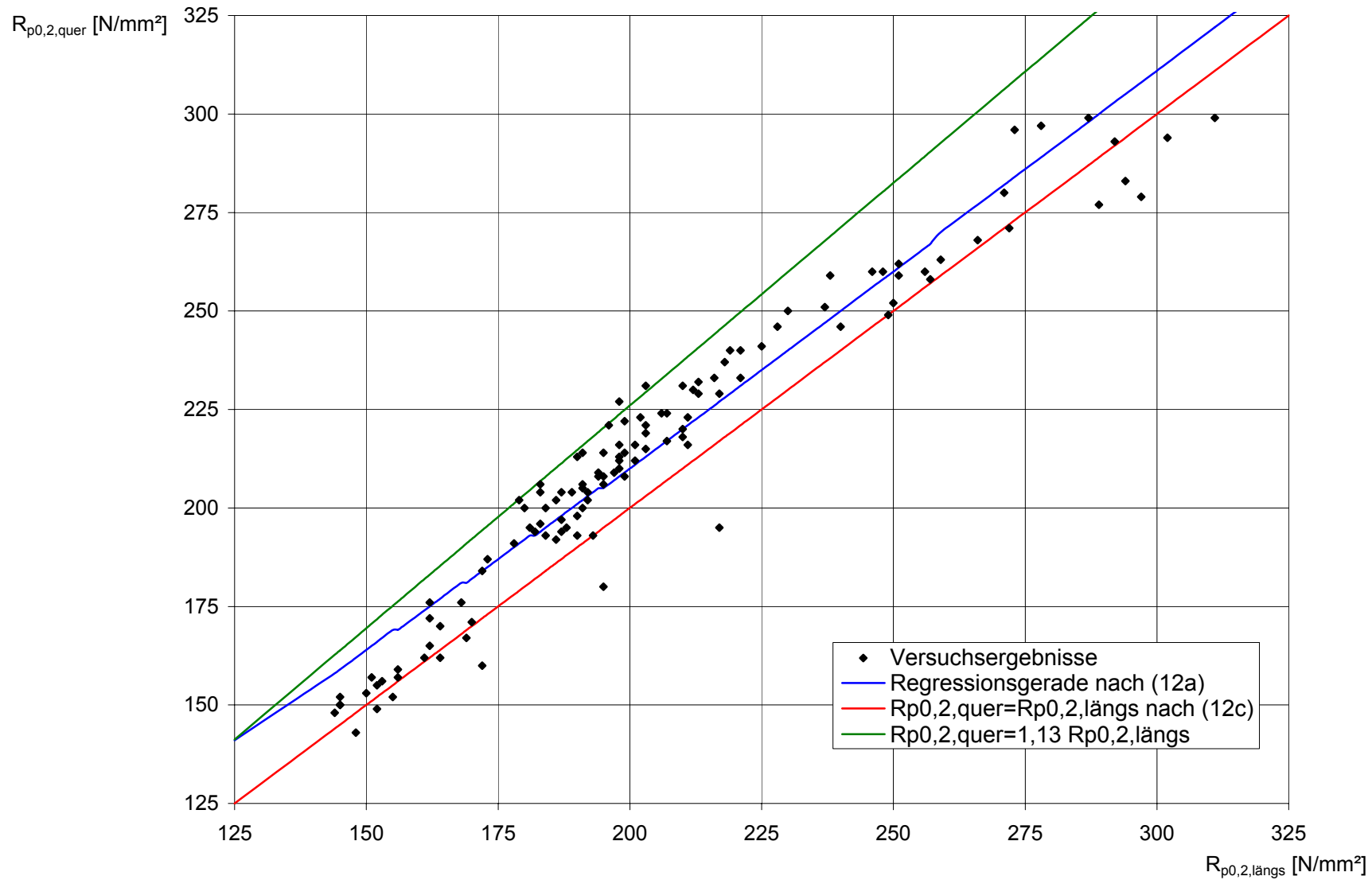


Diagramm 13: Dehngrenzen $R_{p0,2}$ in Längs- und Querrichtung, Regressionsgerade

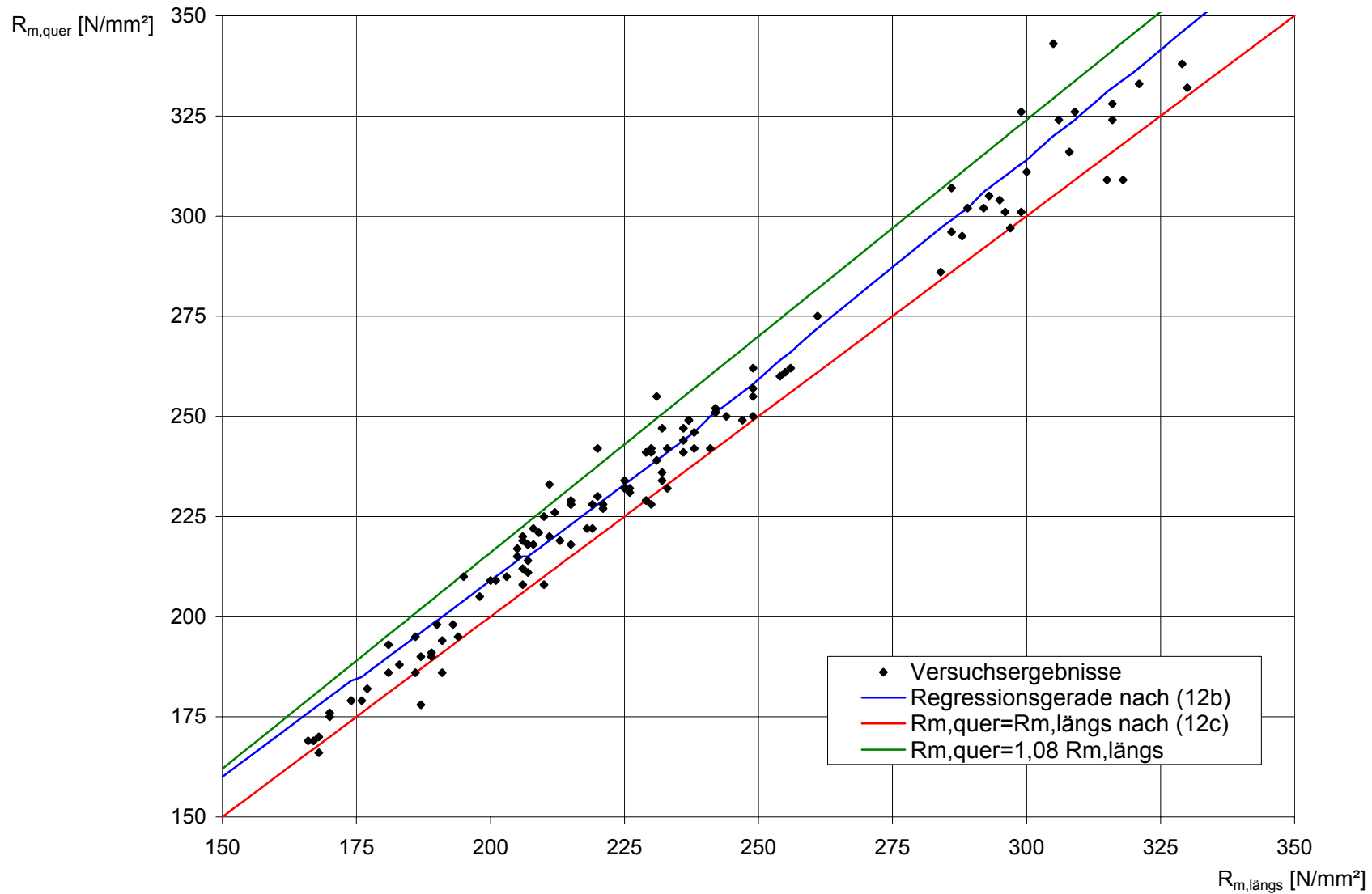


Diagramm 14: Zugfestigkeiten R_m in Längs- und Querrichtung, Regressionsgerade

| Auswahlkriterium für eine Stichprobe | | Anzahl | Statistische Kenndaten | | | | Konfidenzschätzung | | | |
|---|----------------|--------|------------------------|----------|---------------|------|--------------------|-------|-----|-------|
| | | | [-] | | | | [%] | | | |
| | | | μ | σ | $\psi_{95\%}$ | Min. | Max. | p_1 | p | p_2 |
| Gesamtheit aller Ergebnisse | | 120 | 1,02 | 0,05 | 1,11 | 0,88 | 1,12 | 65 | 73 | 80 |
| Legierung | EN AW-3004 H46 | 9 | 1,05 | 0,02 | 1,10 | 1,00 | 1,07 | 70 | 100 | 100 |
| | EN AW-3005 H48 | 25 | 1,05 | 0,03 | 1,10 | 0,99 | 1,10 | 80 | 96 | 99 |
| | EN AW-3105 H48 | 25 | 1,03 | 0,05 | 1,14 | 0,88 | 1,09 | 65 | 84 | 94 |
| | EN AW-5754 H48 | 13 | 1,00 | 0,02 | 1,05 | 0,98 | 1,04 | 23 | 46 | 71 |
| Basisbearbeitung (Werkstoffzustand) | EN AW-5754 H18 | 11 | 0,99 | 0,05 | 1,10 | 0,92 | 1,07 | 21 | 45 | 72 |
| | EN AW-5754 H48 | 13 | 1,00 | 0,02 | 1,05 | 0,98 | 1,04 | 23 | 46 | 71 |
| Grad der Kaltverfestigung (Werkstoffzustand) | EN AW-3005 H44 | 21 | 1,00 | 0,04 | 1,07 | 0,93 | 1,10 | 24 | 42 | 63 |
| | EN AW-3005 H48 | 25 | 1,05 | 0,03 | 1,10 | 0,99 | 1,10 | 80 | 96 | 99 |
| Blechdicke t_N [mm] | 0,50 | 7 | 1,05 | 0,03 | 1,11 | 1,02 | 1,10 | 65 | 100 | 100 |
| | 0,70 | 55 | 1,02 | 0,05 | 1,11 | 0,88 | 1,10 | 52 | 65 | 77 |
| | 0,80 | 9 | 1,04 | 0,04 | 1,13 | 0,97 | 1,10 | 56 | 89 | 98 |
| | 0,90 | 31 | 1,01 | 0,05 | 1,10 | 0,90 | 1,09 | 47 | 65 | 79 |
| | 1,00 | 16 | 1,04 | 0,04 | 1,12 | 0,95 | 1,12 | 72 | 94 | 99 |

Tabelle 5: Statistische Kenndaten und Ergebnis der Konfidenzschätzung für ψ bei Berücksichtigung der Regelung in DIN 18807-9, dass Einzelwerte 5N/mm² unter dem Nennwert liegen dürfen.

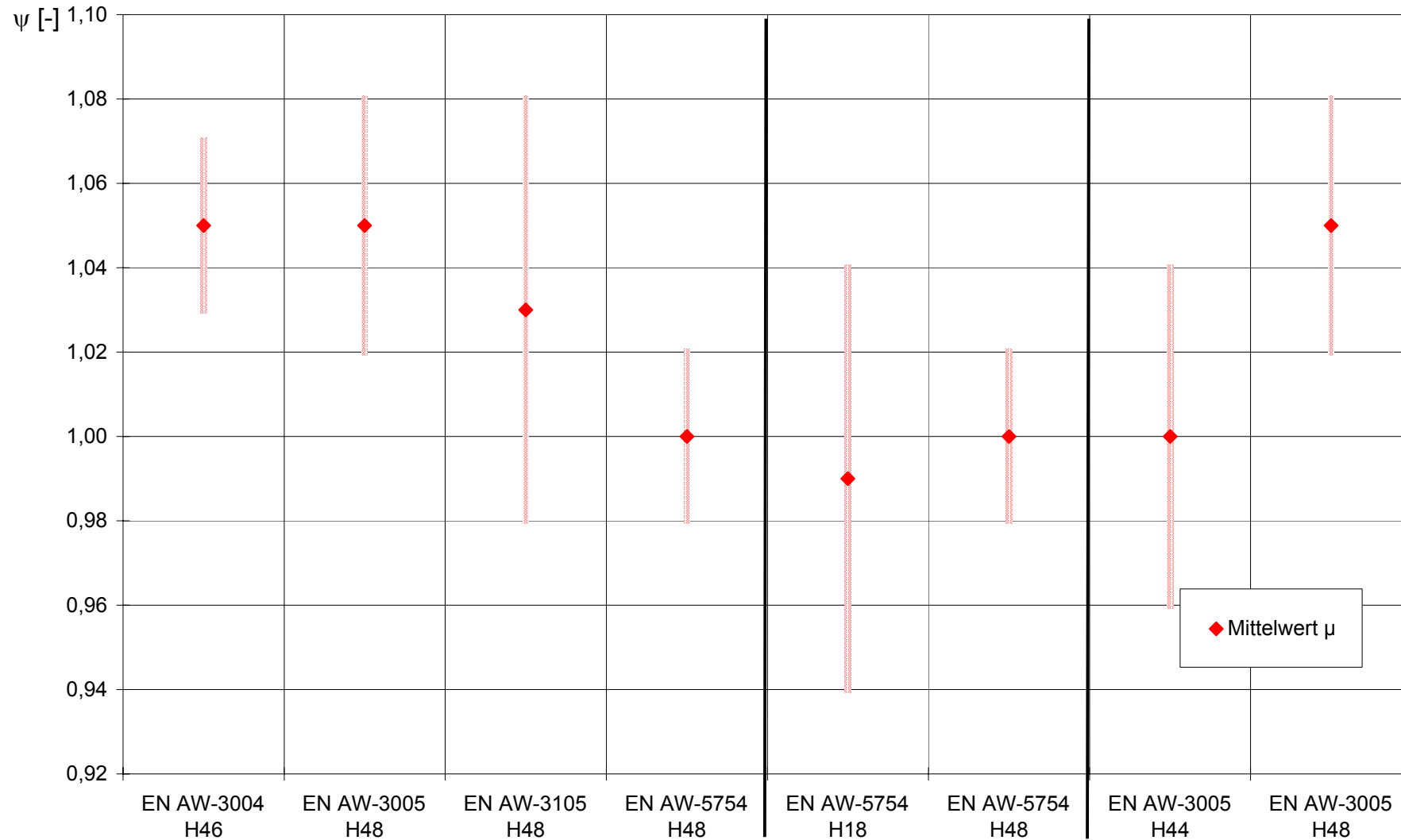


Diagramm 15: Statistische Kenndaten (Mittelwert μ und Standardabweichung σ) von ψ auf Basis der um 5N/mm^2 reduzierten Querwerte bezüglich verschiedener Einflussgrößen

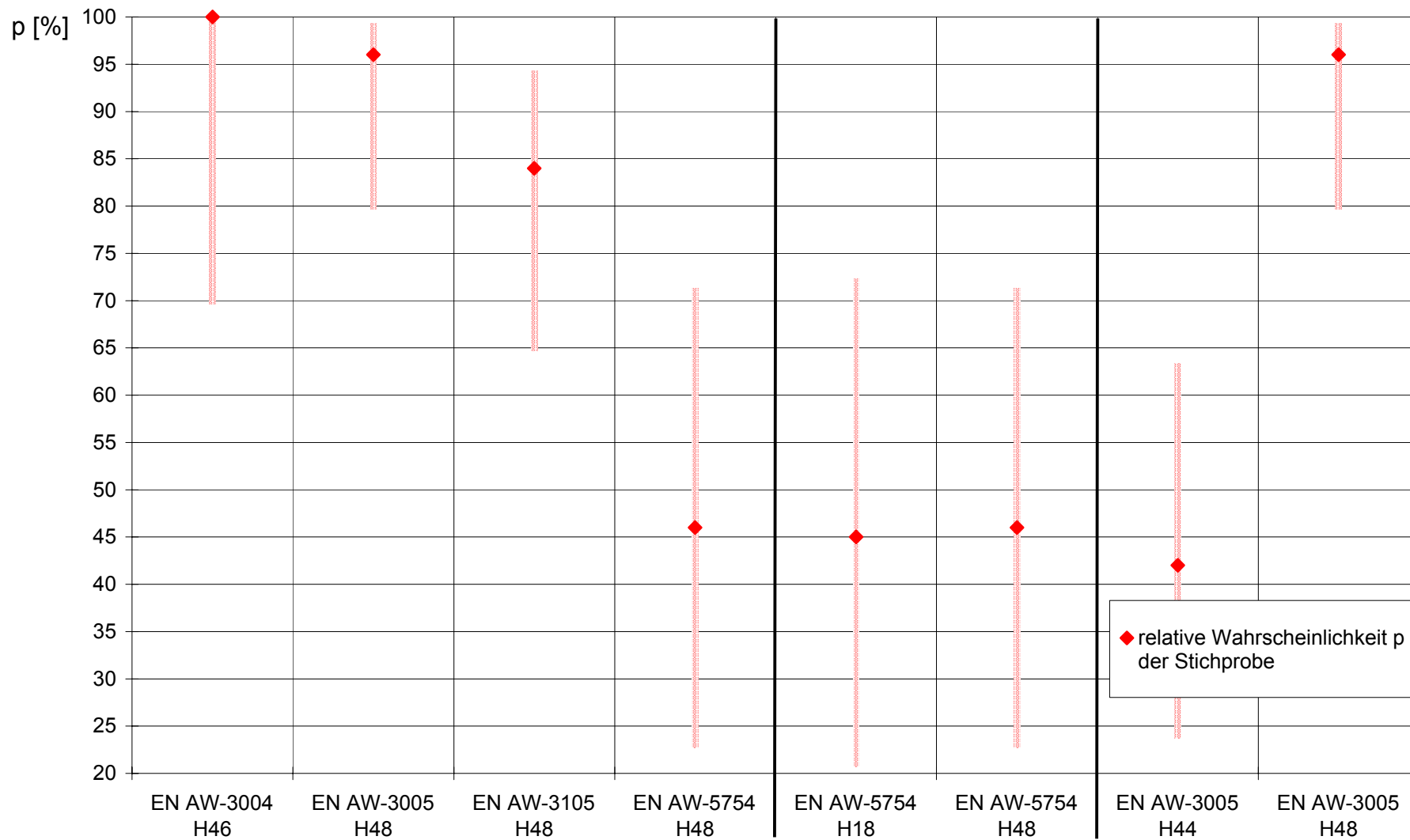


Diagramm 16: Konfidenzintervalle von ψ auf Basis der um 5N/mm^2 reduzierten Querwerte bezüglich verschiedener Einflussgrößen