

11. DAST-Forschungskolloquium Stahlbau

Tragverhalten von Verbindungen des Leichtbaus

Im Stahlleichtbau werden heutzutage sehr häufig Stahltrapezprofile zum Verkleiden von Fassaden oder auch zur Dacheindeckung verwendet. Als Verbindungsmittel der Profile mit der Stahlunterkonstruktion bzw. der Profile untereinander kommen dabei vor allem Schrauben zur Anwendung. Diese Schrauben sind zulassungspflichtige Verbindungsmittel. Man unterscheidet zwischen Bohrschrauben und gewindefurchenden Schrauben.

Gewindefurchende Schrauben formen sich ihr Muttergewinde spanlos in ein vorgebohrtes Loch, während Bohrschrauben, die eine Bohrspitze besitzen, keine Vorbohrung benötigen und sich dadurch in einem Arbeitsschritt einbringen lassen.

Die Trapezprofil-Verbindungen können durch Kräfte in Achsrichtung der Verbindungselemente (Zugbelastung), durch Kräfte rechtwinklig dazu (Querbelastung) und durch Kombinationen von beiden beansprucht werden.

Die Tragfähigkeiten der Verbindungen werden experimentell durch Versuche gemäß der Normvorlage DIN 18807, Teil 4 ermittelt. Hierzu werden Auszug-, Durchknöpf- und Querkraftversuche durchgeführt. Die rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit der Verbindungen ist in DIN 18807 für Stahltrapezprofile bisher nicht geregelt.

Zur rechnerischen Ermittlung der Tragfähigkeit von Verbindungen von kaltgeformten, dünnwandigen Bauteilen aus Stahl mittels Schrauben gibt der Eurocode 3 in Part 1.3 Berechnungsformeln an. Die im Eurocode angegebenen Berechnungsformeln basieren hauptsächlich auf Versuchsauswertungen und beruhen nur zum Teil auf Grundlagen von mechanischen Modellen. Die Berechnungsvorschriften berücksichtigen dabei unterschiedliche Versagensformen in Abhängigkeit von der Beanspruchungsart (Quer- oder Längsbeanspruchung) der Verbindung.

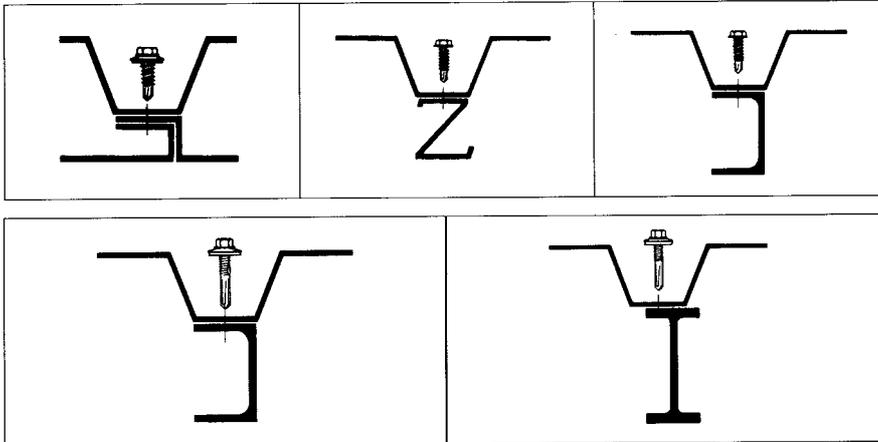
An der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine sind zahlreiche Auszug-, Durchknöpf- und Querkraftversuche für Stahltrapezprofilverbindungen mittels Schrauben durchgeführt worden.

Anhand der Auswertungen dieser Versuchsergebnisse werden die im Eurocode angegebenen Berechnungsformeln hinsichtlich ihrer Gültigkeit überprüft und bewertet.

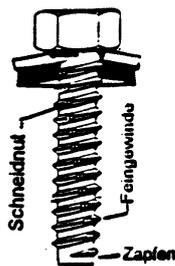
Tragverhalten von Verbindungen des Leichtbaus



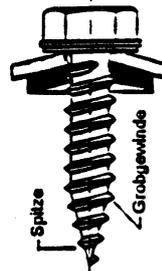
- Verbindungen von Stahltrapezprofilen mit Unterkonstruktionen aus Stahl



- Schrauben, die bei der Herstellung der Verbindungen zum Einsatz kommen:



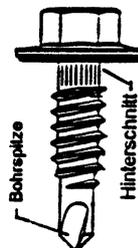
Gewindefurchende Schraube,
 $\varnothing \geq 6,3 \text{ mm}$,
 mit Dichtscheibe $\varnothing \geq 16 \text{ mm}$



Gewindefurchende Schraube,
 (Blechschaube) $\varnothing \geq 6,5 \text{ mm}$,
 mit Dichtscheibe $\varnothing \geq 16 \text{ mm}$



Bohrschaube mit Dichtscheibe
 $\varnothing \geq 16 \text{ mm}$



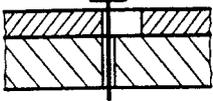
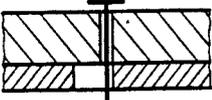
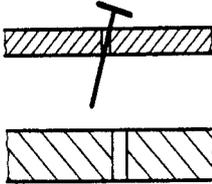
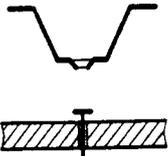
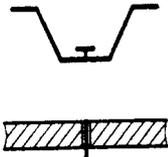
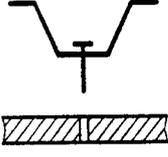
Bohrschaube mit angeformter
 Scheibe



• **Beanspruchungen der Verbindungen:**

- * Kräfte in Achsrichtung des Verbindungselementes (Zugbelastung)
- * Kräfte rechtwinklig dazu (Querbelastung)
- * Kombinationen von beiden

• **Grundtypen des Versagens:**

Bela- stungs- art	Versagendes Teil		
	Bauteil I	Verbindungselement	Bauteil II
Querbe- lastung	 Langloch im Bauteil I	 Abscheren des Verbindungselementes	 Langloch im Bauteil II
			 starke Schrägstellung des Verbin- dungselementes
			 Lösen der Verankerung (gegebenen- falls Auszug) des Verbindungs- elementes
Zugbe- lastung	 Überknöpfen des Bauteils I	 Abreißen des Verbindungselementes	 Ausziehen des Verbindungs- elementes aus Bauteil II



• Ermittlung der Tragfähigkeit der Verbindungen:

Bisher:

- * Experimentell durch Versuche gemäß Normvorlage DIN 18807 Teil 4
- * Rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit der Verbindungen ist nicht geregelt
- * Schrauben sind zulassungspflichtige Verbindungselemente

• Eurocode 3, Teil 1.3 :

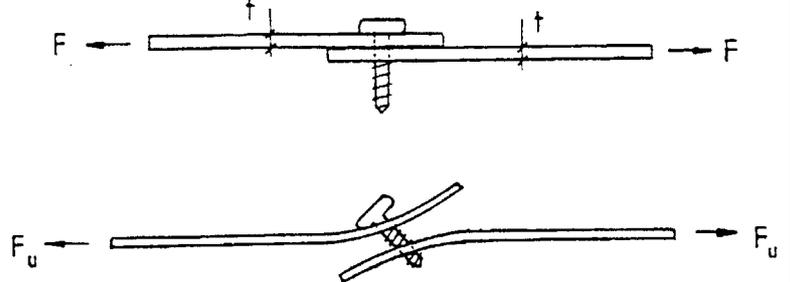
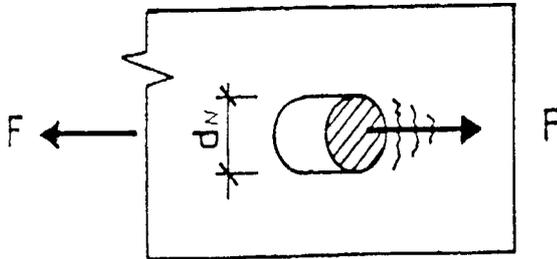
- * Berechnungsformeln zur Ermittlung der Tragfähigkeiten von Verbindungen von kaltgeformten, dünnwandigen Bauteilen aus Stahl mit Schrauben
- * Berücksichtigung von unterschiedlichen Versagensformen je nach Beanspruchungsart (Quer- oder Längsbeanspruchung)
- * Formeln basieren hauptsächlich auf Versuchsauswertungen und nur zum Teil auf Grundlagen von mechanischen Modellen

• Überprüfen der Gültigkeit der Berechnungsformeln:

- * Auswertung der an der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine durchgeführten Versuche für Stahltrapezprofilverbindungen mit Schrauben



• Tragfähigkeit nach EC 3 - 1.3 bei *Querbeanspruchung*



* **Voraussetzung für die Anwendbarkeit der Formel:**

- $e_1 > 3 \cdot d_N$ (Abscheren des Bleches hinter der Schraube wird ausgeschlossen)
- Versagensart: „Lochleibung der Bauteile“ oder „Schrägstellung der Schraube“
- Abscheren der Schraube wird nicht maßgebend
- $t_{II} \geq t_I$

⇒ **Charakteristische aufnehmbare Last:**

$$F_{b,Rc} = \alpha * R_{ml} * d_N * t_I$$

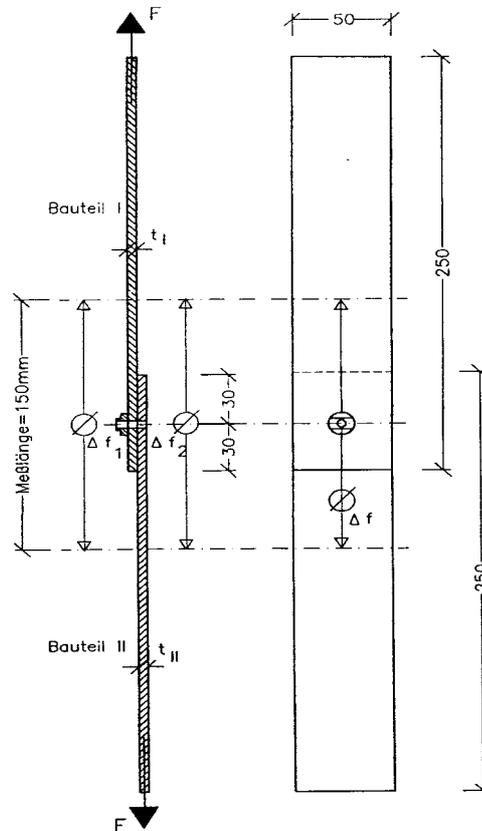
mit α :

- für $t_I = t_{II}$: $\alpha = 3,2 \sqrt{t/d_N}$ aber $\alpha \leq 2,1$
- für $t_{II} / t_I \geq 2,5$: $\alpha = 2,1$
- für $1 < t_{II} / t_I < 2,5$: α aus linearer Interpolation



- **Querzugversuche(QZV) an der VA, Uni KA:**

- * **Versuchsaufbau:**



- * **Bandbreite der Versuchsparameter:**

- $0,3 \text{ mm} \leq t_I \leq 1,5 \text{ mm}$
- $0,52 \text{ mm} \leq t_{II} \leq 9,94 \text{ mm}$
- $299,9 \text{ N/mm}^2 \leq R_{mI} \leq 509,9 \text{ N/mm}^2$
- $4,8 \text{ mm} \leq d_N \leq 6,3 \text{ mm}$

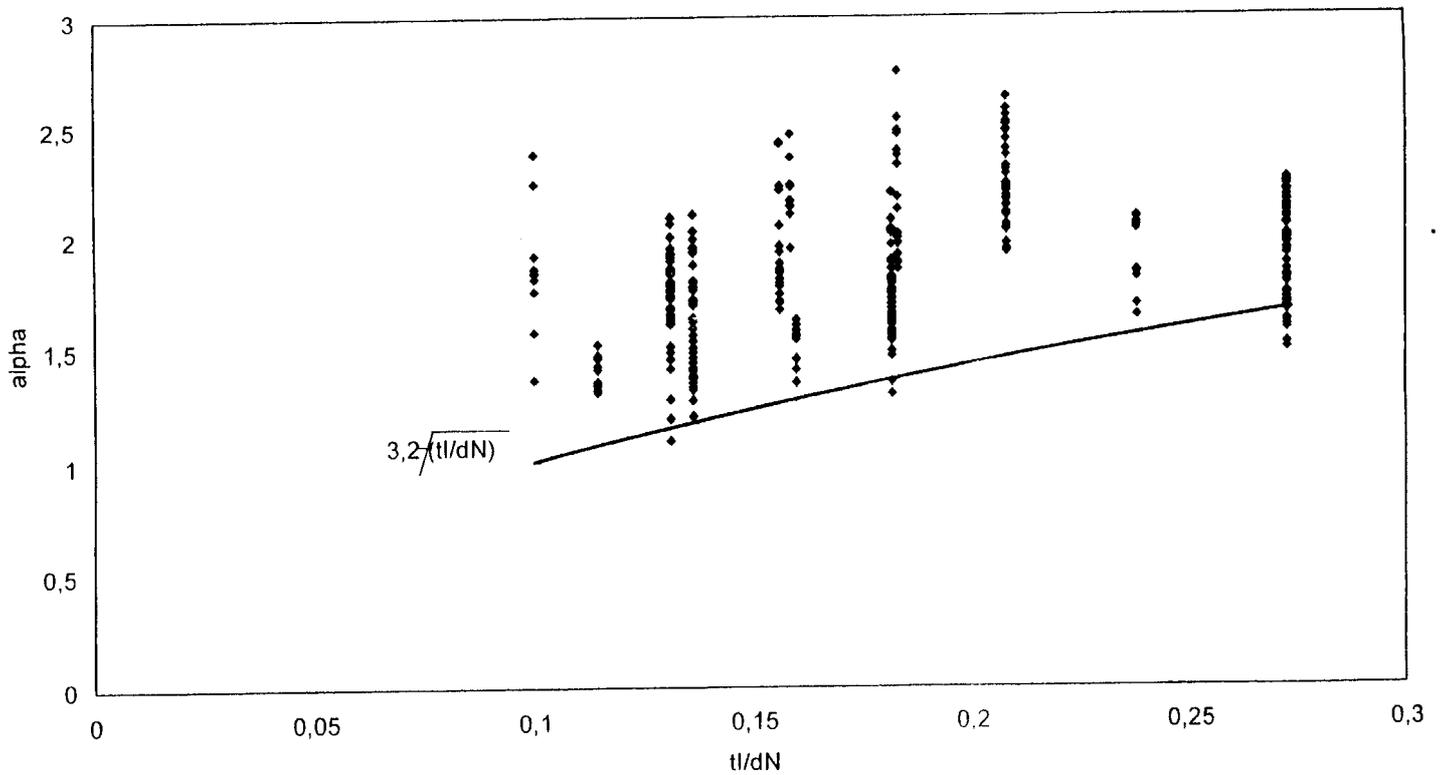
- * **Auswertung der QZV:**

- Abbruch der Versuche nach Erreichen von 3 mm Relativverschiebung
- Versagenslast F_u : Maximallast innerhalb der 3 mm Relativverschiebung
- Überprüfen der EC-Formel durch Karlsruher Versuche:

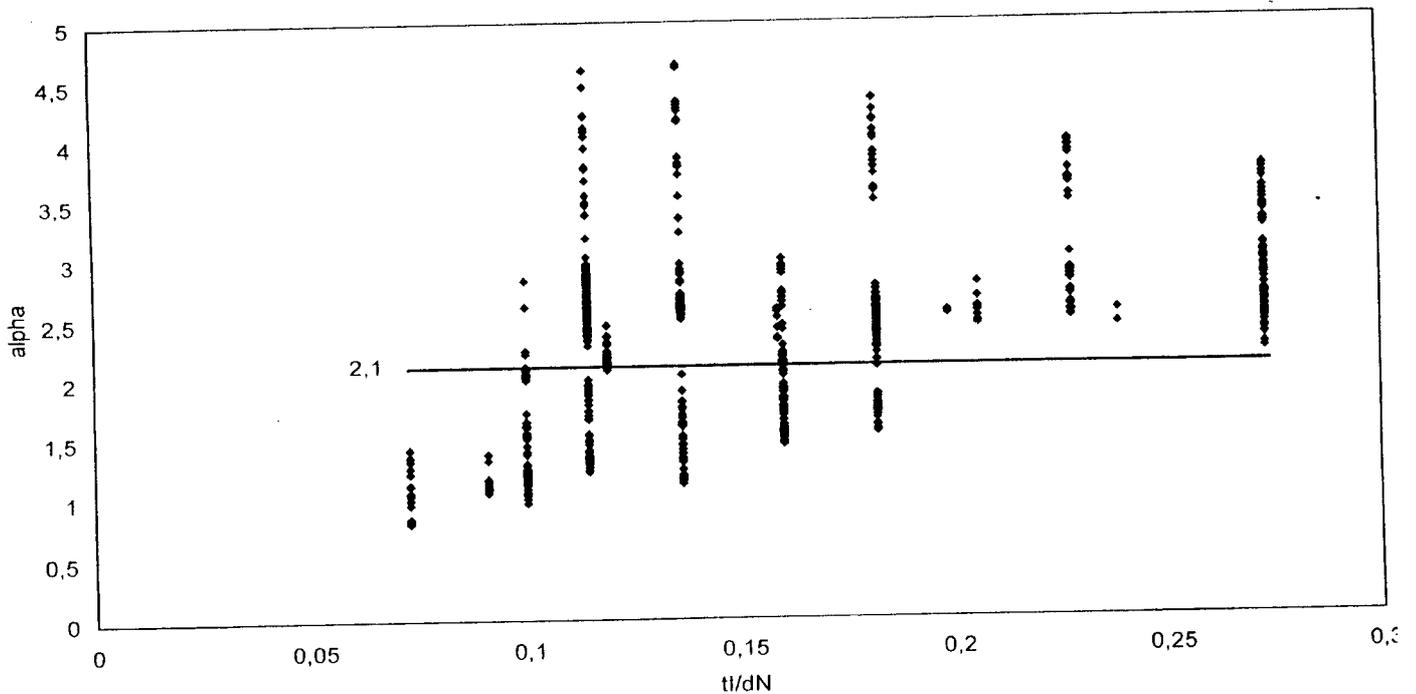
$$\alpha_{EC} = F_{b,Rc} / (R_{mI} * d_N * t_I) \quad \Leftrightarrow \quad \alpha_{KA} = F_u / (R_{mI} * d_N * t_I)$$



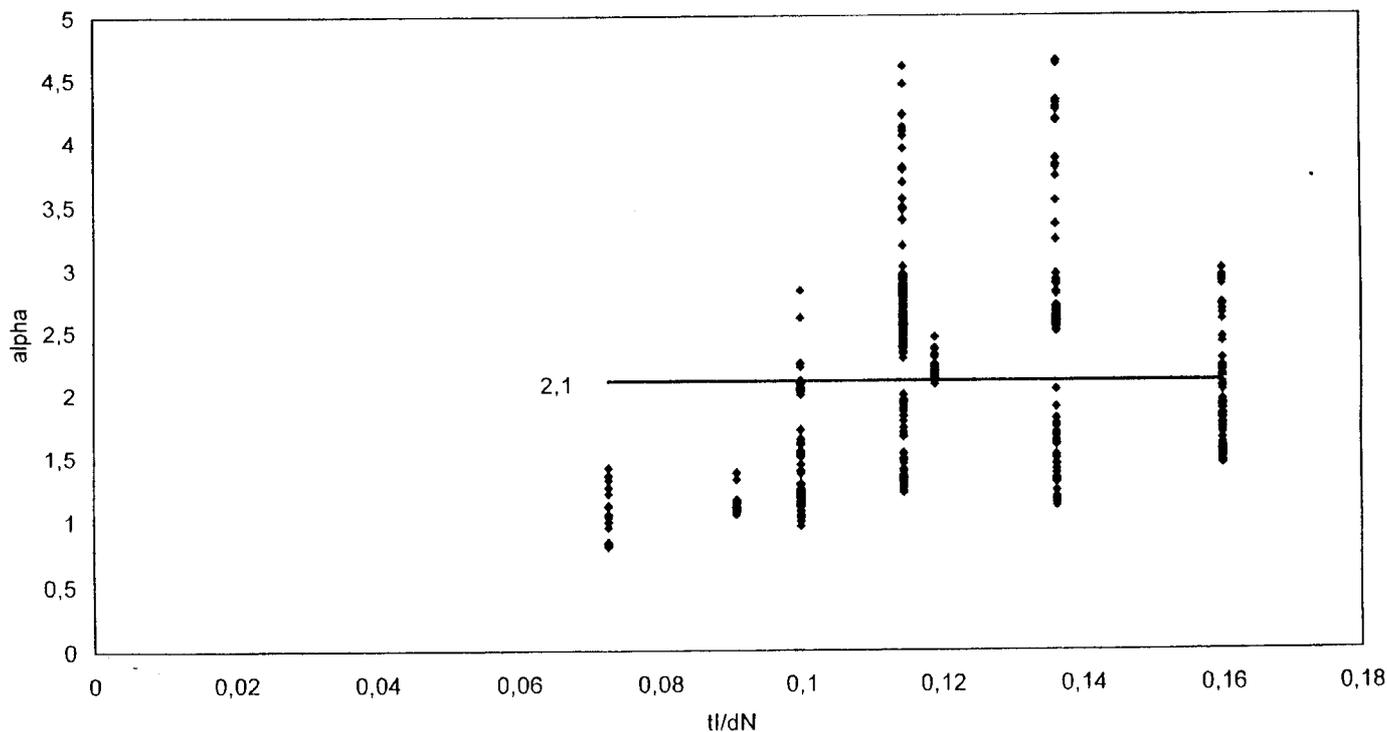
• Auswertungen der QZV mit $t_{II} / t_I = 1$:



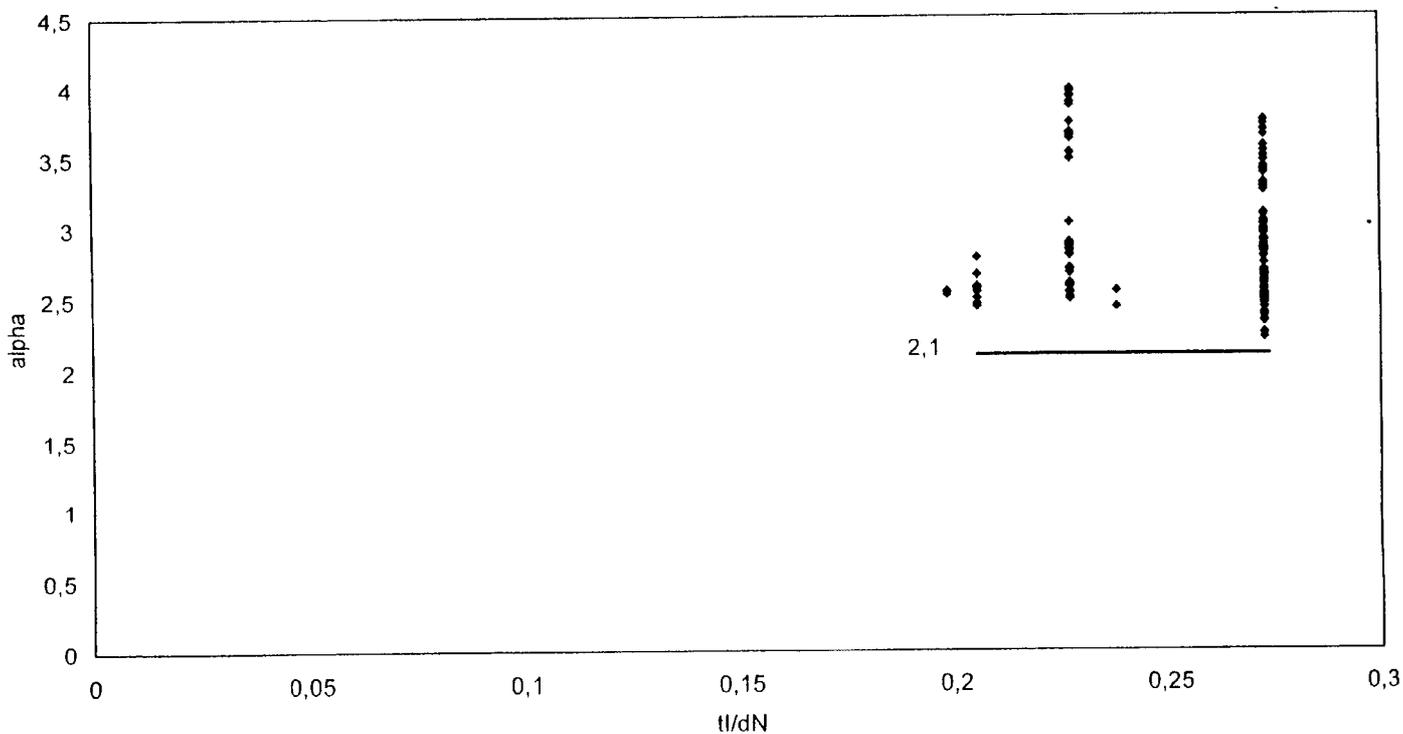
• Auswertungen der QZV mit $t_{II} / t_I \geq 2,5$:



• **Auswertungen der QZV mit $t_{II} / t_I \geq 2,5$ und $t_I < 1$ mm:**



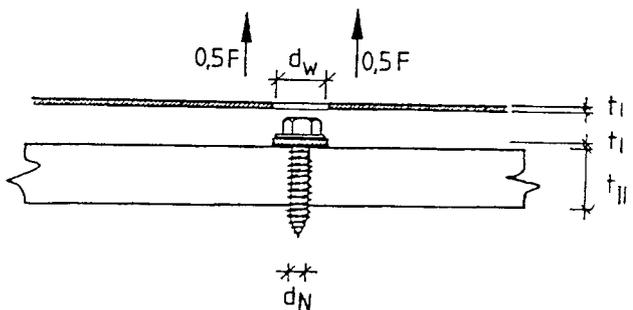
• **Auswertungen der QZV mit $t_{II} / t_I \geq 2,5$ und $t_I \geq 1$ mm:**



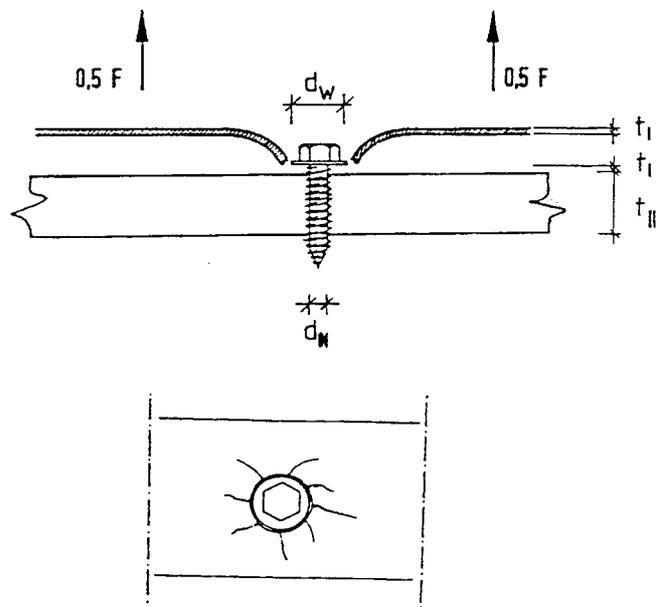
- Tragfähigkeit nach EC 3 - 1.3 bei *Längsbeanspruchung*

- Versagen von Bauteil I: „Durchknöpfen der Schraube“:

a; „Ausstanzen des Bauteils I“



b; „Überziehen des Bauteils I“



* **Voraussetzung für die Anwendbarkeit der EC-Formel:**

- $0,5 \text{ mm} \leq t_I \leq 1,5 \text{ mm}$
- Versagen tritt im Bauteil I auf (Durchknöpfen)
- Zugbruch der Schraube wird nicht maßgebend
- Bei Verwendung von Dichtscheiben → eine ausreichende Steifigkeit der Scheiben

⇒ **Charakteristische aufnehmbare Last:**

$$F_{p,Rc} = \alpha * d_w * t_I * R_{ml}$$

mit:

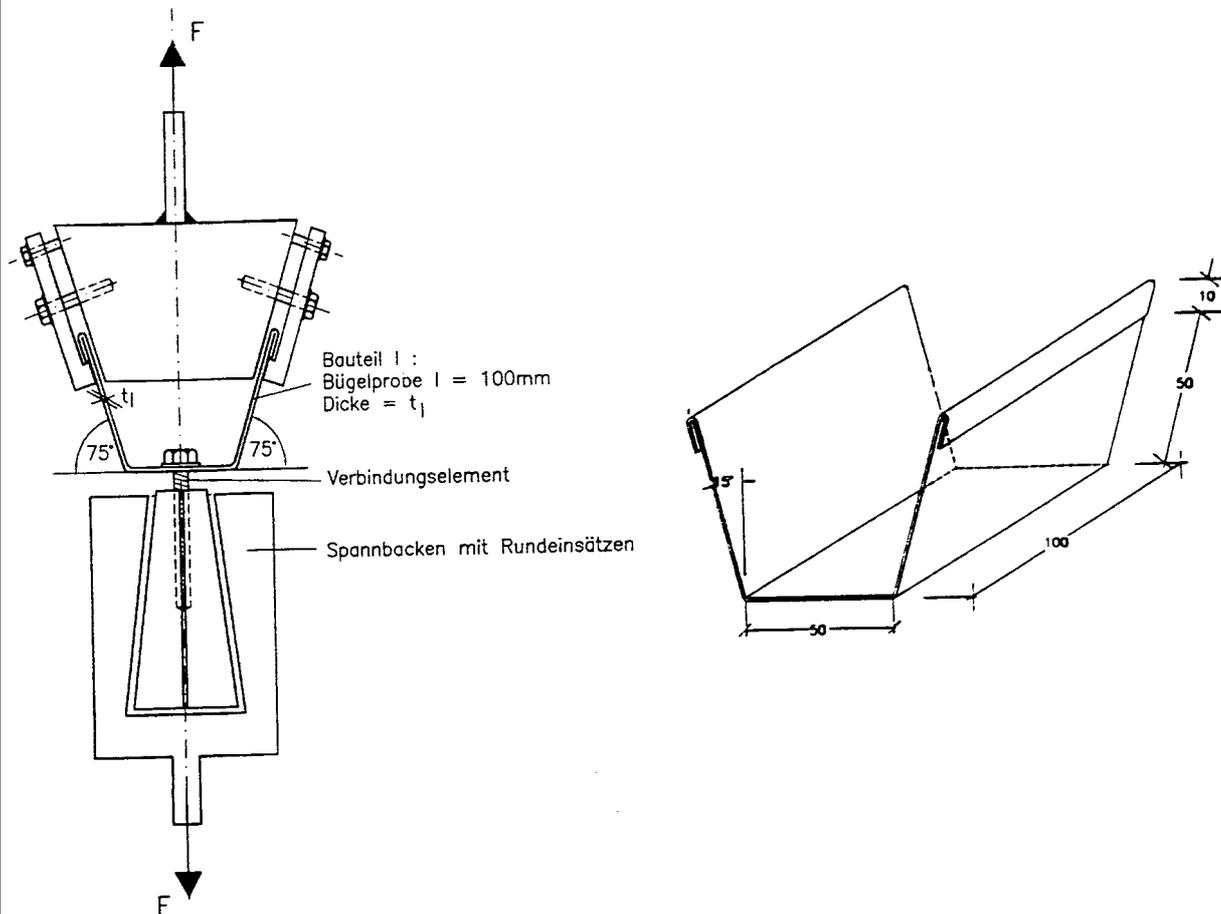
$$\alpha = 1,0$$

$$d_w = \max (d_B ; d_s)$$



• Durchknöpfversuche (DKV) an der VA, Uni KA:

* Versuchsaufbau:



* Bandbreite der Versuchsparameter:

- $0,5 \text{ mm} \leq t_l \leq 1,5 \text{ mm}$
- $10,0 \text{ mm} \leq d_B \leq 18,0 \text{ mm}$
- $14,0 \text{ mm} \leq d_S \leq 19,0 \text{ mm}$
- $4,8 \text{ mm} \leq d_N \leq 7,0 \text{ mm}$
- $293,5 \text{ N/mm}^2 \leq R_{mI} \leq 469,0 \text{ N/mm}^2$

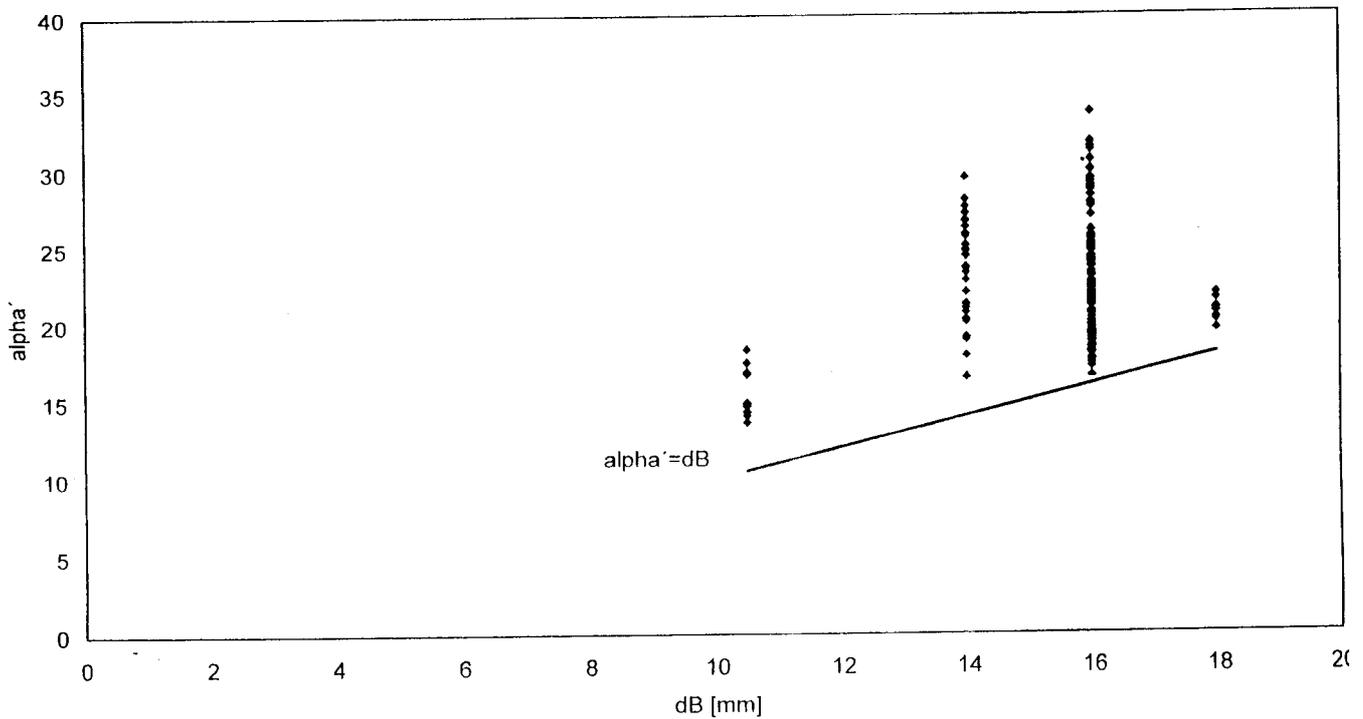
* Auswertung der DKV

- Versagenslast F_u : Maximallast beim Versagen von Bauteil I
- Überprüfen der EC-Formel durch Karlsruher Versuche:

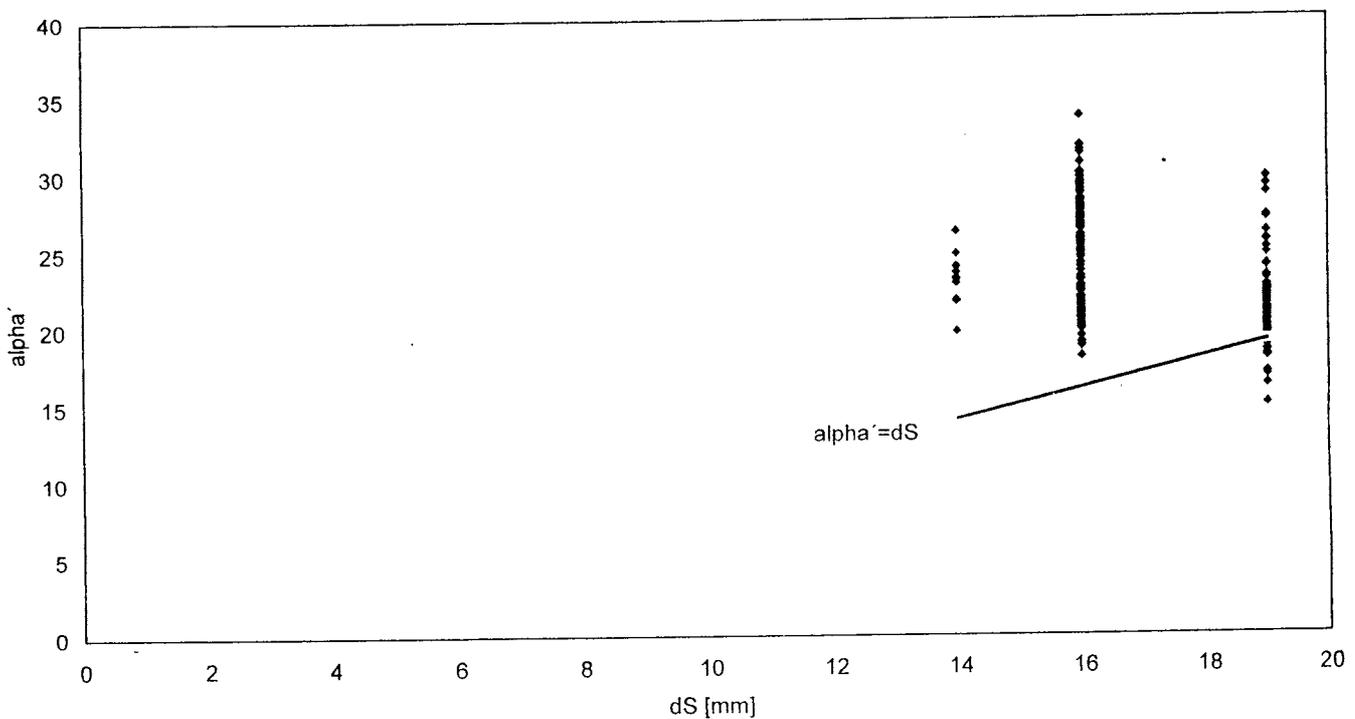
$$\alpha'_{EC} = F_{p,Rc} / (t_l * R_{mI}) = d_w \quad \leftrightarrow \quad \alpha'_{KA} = F_u / (t_l * R_{mI})$$



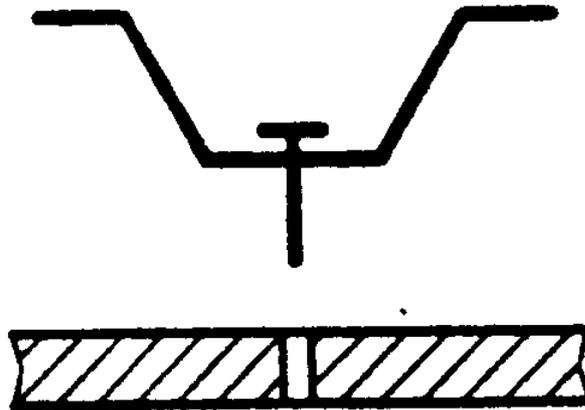
- DKV ohne Dichtscheibe bzw. mit Scheiben für die gilt $d_s \leq d_B$, d.h. $d_W = d_B$



- DKV mit Scheiben für die gilt $d_s \geq d_B$, d.h. $d_W = d_s$



- Tragfähigkeit nach EC 3 - 1.3 bei *Längsbeanspruchung*
- Versagen von Bauteil II: „Ausreißen der Schraube“



* **Voraussetzung für die Anwendbarkeit der EC-Formel:**

- $t_{II} \geq 0,9 \text{ mm}$
- Versagen tritt im Bauteil II auf (Ausreißen der Schraube aus Bauteil II)
- Zugbruch der Schraube tritt nicht auf

⇒ **Charakteristische aufnehmbare Last:**

$$F_{o,Rc} = \alpha * d_N * t_{II} * R_{mII}$$

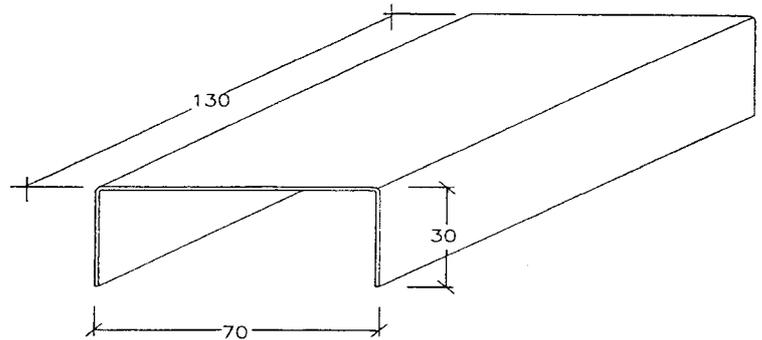
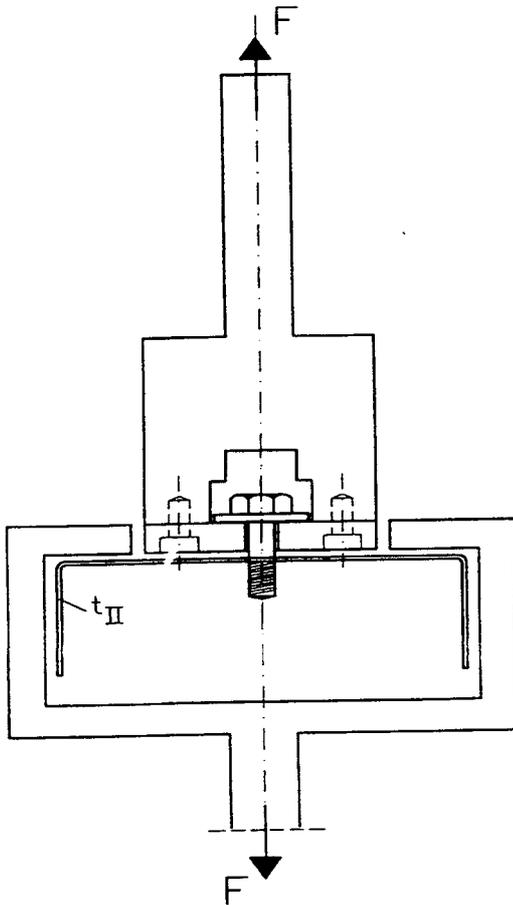
mit:

$$\alpha = 0,65$$



• **Auszugversuche (AZV) an der VA, Uni KA:**

* **Versuchsaufbau:**



* **Bandbreite der Versuchsparameter:**

- $0,9 \text{ mm} \leq t_{II} \leq 6 \text{ mm}$
- $4,2 \text{ mm} \leq d_N \leq 7,8 \text{ mm}$
- $291,7 \text{ N/mm}^2 \leq R_{mII} \leq 517,1 \text{ N/mm}^2$

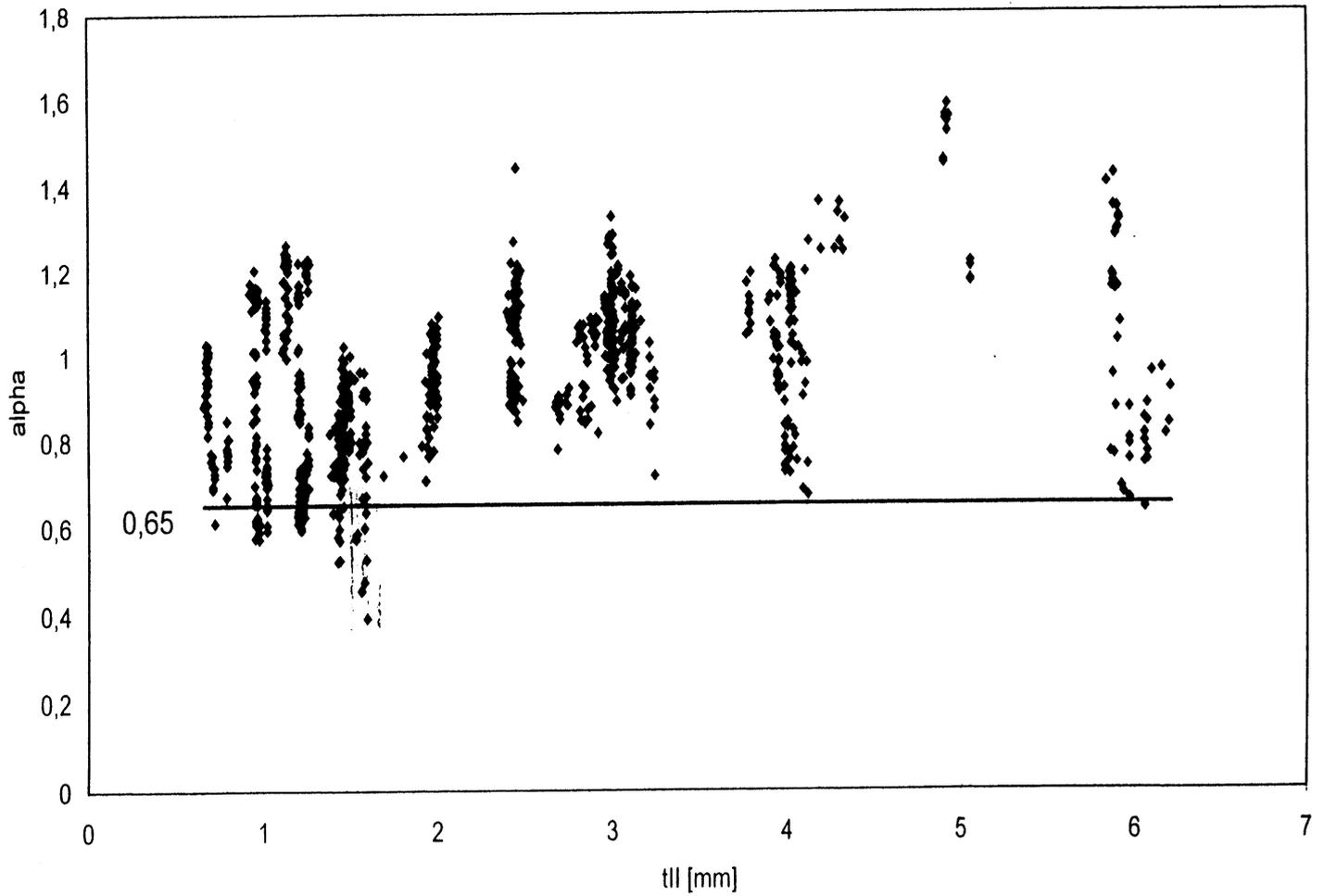
* **Auswertung der DKV:**

- Versagenslast F_u : Maximallast beim Versagen von Bauteil II
- Überprüfen der EC-Formel durch Karlsruher Versuche:

$$\alpha_{EC} = F_{o,Rc} / (d_N * t_{II} * R_{mII}) = 0,65 \quad \Leftrightarrow \quad \alpha_{KA} = F_u / (d_N * t_{II} * R_{mII})$$



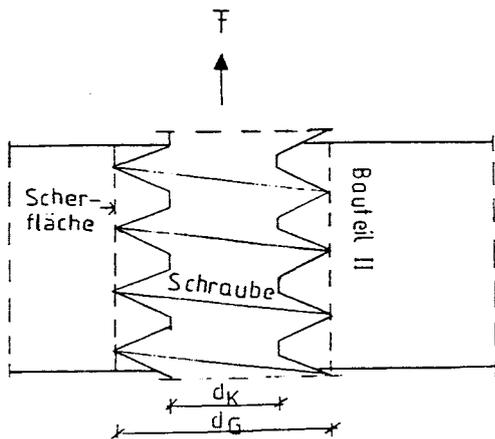
• **Auswertung der AZV:**



• **Vom EC unberücksichtigte Einflüsse beim Ausreißversagen:**

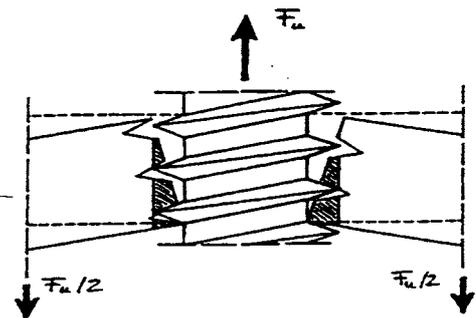
* **Verschiedene Versagensarten für unterschiedliche Dicken t_{II} :**

a; Dicke Bauteile II



- geringe Verformungen
- Abscheren des Muttergewindes
- Einflußgrößen: t_{II} , $d_N = d_G$, R_{mII}
- *erfaßt durch EC-Formel*

b; Dünne Bauteile II



- größere Verformungen des Bauteils II
- Verzahnung im Bauteil II verringert sich
- kleinere Abscherfläche
- zusätzliche Einflußgröße:

$$\Delta d = d_N - \max(d_{Bs}, d_K)$$
- *nicht erfaßt durch EC-Formel*

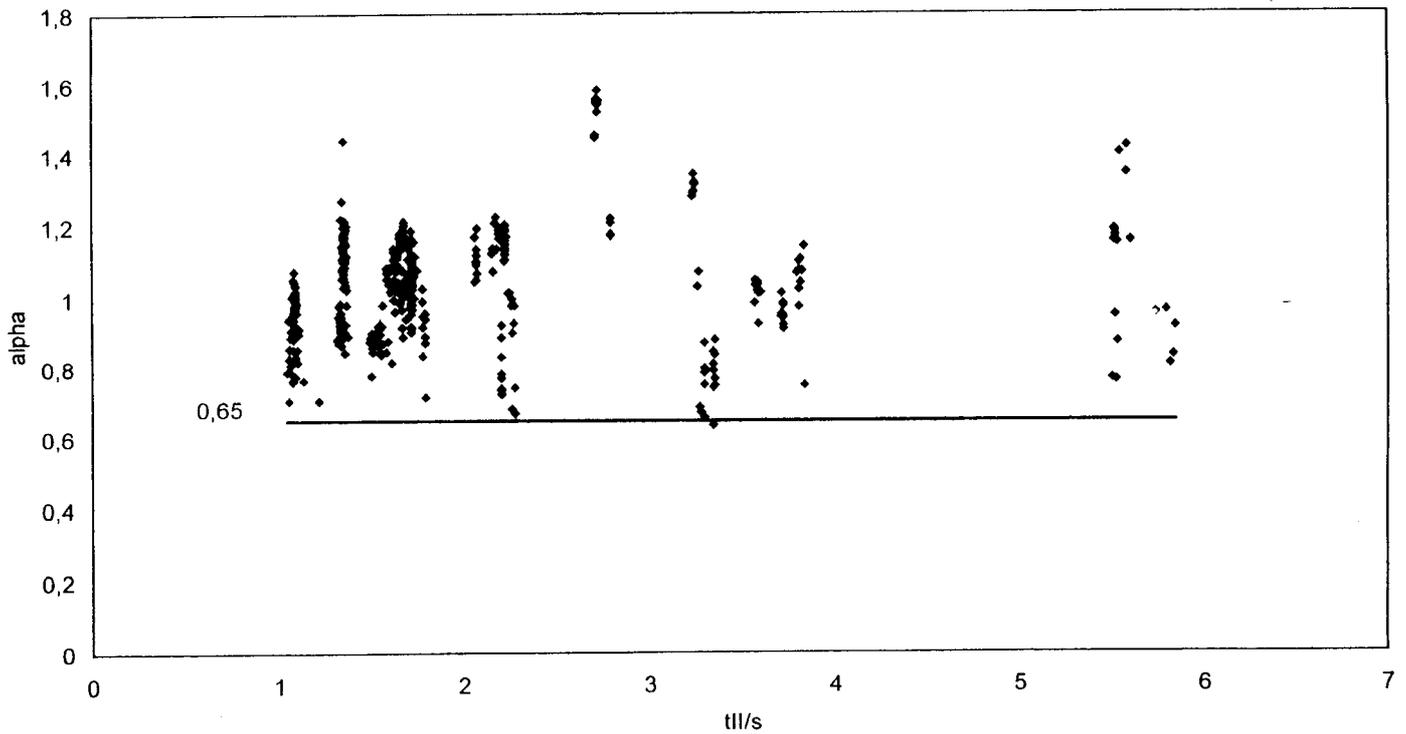
* **Einfluß der Gewindesteigung s:**

- Maß für die Einbindung der Gewindegänge in die Unterkonstruktion:

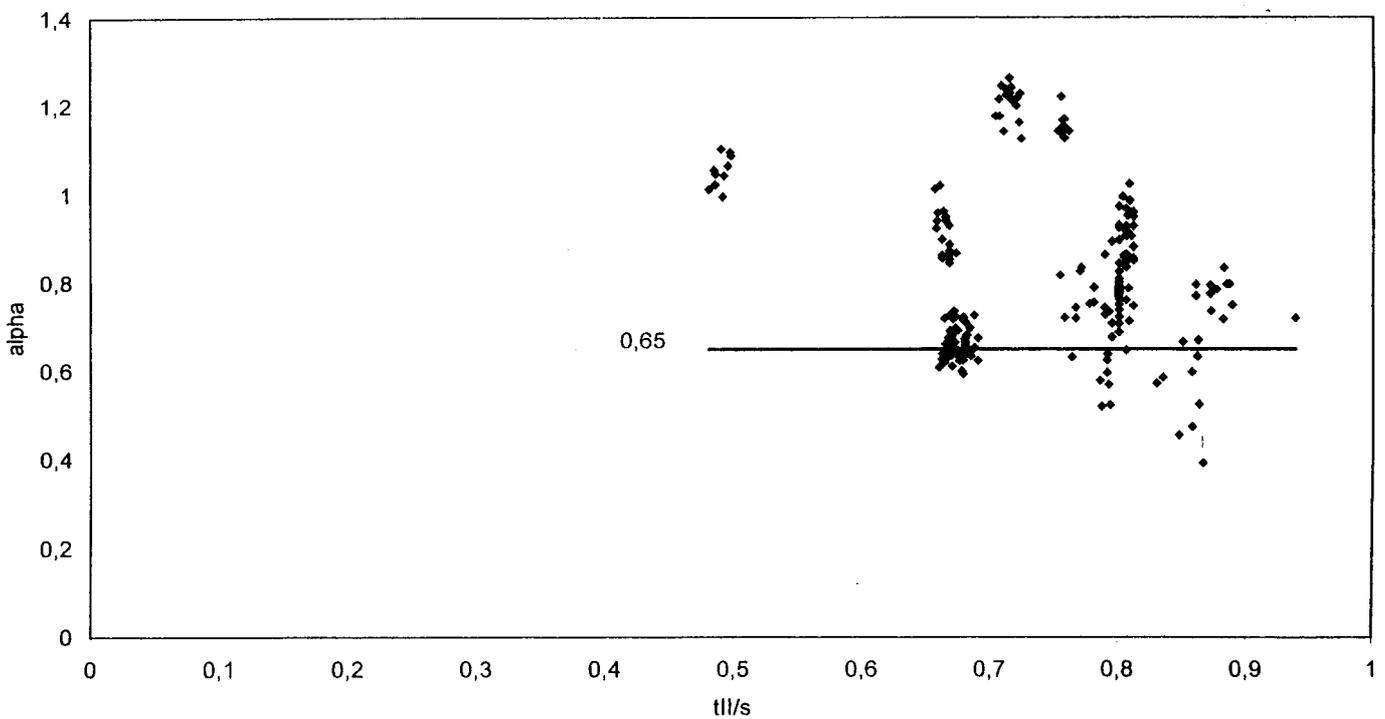
$$t_{II} / s$$



• **Auswertung der AZV mit $t_{II} / s \geq 1$:**



• **Auswertung der AZV mit $t_{II} / s < 1$:**



Zusammenfassung

• Querbeanspruchung der Verbindung:

* Versagensform: „Lochleibung“ oder „Schrägstellung der Schraube“

$$F_{b,Rc} = \alpha * R_{mI} * d_N * t_I$$

Formel auf der sicheren Seite anwendbar:

- für $t_{II} / t_I = 1$: mit $\alpha = 3,2 \sqrt{t / d_N}$ aber $\alpha \leq 2,1$
- für $t_{II} / t_I = 2,5$ und $t_I \geq 1$ mm: mit $\alpha = 2,1$

• Längsbeanspruchung der Verbindung:

* Versagensform: Durchknöpfen der Schraube durch Bauteil I

$$F_{p,Rc} = 1,0 * d_W * t_I * R_{mI}$$

Formel auf der sicheren Seite anwendbar:

- für Verbindungen ohne Scheiben bzw. mit Scheiben, die eine ausreichende Steifigkeit besitzen
- ausreichende Scheibensteifigkeit für $d_S - d_B \leq 6$ mm bei Scheibendicke von ca. 1 mm

* Versagensform: Ausreißen der Schraube aus Bauteil II

$$F_{o,Rc} = 0,65 * d_N * t_{II} * R_{mII}$$

Formel auf der sicheren Seite anwendbar:

- für $t_{II} \geq 1$ mm und $t_{II} / s \geq 1$

