

# Feuerwiderstand von Rundstahl- und Vierkantstützen

Autor(en): **Bryl, Stanislaw**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 6

PDF erstellt am: **20.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-74754>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

gender Distanz von diesem untergebracht, so dass ein Aushub der Baugrube ohne Beeinträchtigung der alten Struktur möglich ist. Immerhin ist das Ökonomiegebäude derjenige Bau, dessen bescheidene Bausubstanz einen weitgehenden Umbau erlaubt. Die äussere Erscheinungsform soll sich aber nicht wesentlich ändern.

### Unterhaltsräume im Stallgebäude, Umgebung

Die einzige Raumreserve der Gesamtanlage bildet das Stallgebäude, das mit Ausnahme der nötigen Reparaturarbeiten im heutigen Zustand belassen wird und die Räume für den Unterhalt von Gebäuden und Umgebung zur Verfügung stellt. Es sind dies Werkstatt und

Einstellräume für Maschinen, Geräte und Mobiliar.

Die Umgebung bleibt in ihrem typischen Gegensatz von geschlossenem Kunstgarten beim Hauptgebäude und freier Wiese im äusseren ummauerten Hofbezirk erhalten. Die grosse Wiese ist der Öffentlichkeit zugänglich und kann als Platz für mannigfache Anlässe benutzt werden. Die historischen Fahrwege auf dem Areal werden weiter genutzt und durch den neuen Hauptzugang zu Herrenhaus und Ökonomiegebäude mit Kantonsbibliothek und Staatsarchiv aufgewertet und aktiviert. Das Problem der Parkierung ist längerfristig durch eine unterirdische Anlage unter der Wiese der Hofstatt zu lösen; dafür wird eine Trägerschaft auf privater Basis ins Auge gefasst.

### Kosten

Die Gesamtkosten werden sich nach einer vorläufigen Schätzung auf 10,8 Mio Fr. belaufen. Darin eingeschlossen sind die Kosten für den Erwerb der bestehenden Gebäude und des Umgeländes von rd. 10 000 m<sup>2</sup>, der Aufwand für den Ausbau und die Restaurierung, die Umgebungs- und Erschliessungsarbeiten sowie Organisations- und Nebenkosten.

Projektverfasser: Rudolf und Esther Guyer, dipl. Arch. ETH/BSA/SIA, Höhenweg 20, 8032 Zürich.

Die baugeschichtlichen und kunsthistorischen Angaben sind im wesentlichen dem Band Schwyz I (André Meyer) der Reihe «Die Kunstdenkmäler der Schweiz» entnommen.

## Feuerwiderstand von Rundstahl- und Vierkantstützen

Von Stanislaw Bryl, Winterthur

Die Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau (SZS) hat 1969 die Publikation «Berechnung des Brandwiderstandes von Stahlkonstruktionen» herausgegeben. In der Zwischenzeit ist die Europäische Konvention für Stahlbau (EKS) aufgrund von grossen Forschungsprogrammen zu neuen Erkenntnissen gekommen. Gestützt auf inzwischen veröffentlichten oder vorbereiteten Publikationen der EKS, hat eine Kommission der Schweizerischen Zentralstelle für Stahlbau die oben erwähnte Berechnungsmethode neu bearbeitet.

Die neue Veröffentlichung wird voraussichtlich Mitte 1982 erscheinen. Sie trägt den Titel «Feuerwiderstand von Bauteilen aus Stahl». Bis zu deren Erscheinen gilt mit einer Ausnahme die SZS-Publikation von 1969.

Die Ausnahme bildet die Berechnung des Feuerwiderstandes von Vollstahlstützen. Wir empfehlen, ab sofort die nachstehend von Herrn S. Bryl angegebene Berechnungsmethode anzuwenden. Diese Methode wird auch in die neue SZS-Publikation aufgenommen werden. Sie basiert auf den neuesten internationalen Erkenntnissen.

Unsicherheiten und Fehler in der Praxis haben uns zur sofortigen Veröffentlichung dieses Artikels bewogen. Wir danken der Redaktion des «Schweizer Ingenieur und Architekt» für ihr Entgegenkommen.

### Einleitung

Neben anderen Vorteilen besitzen die Vierkant- (VKT) und Rundstahlstützen (RND) dank der Massigkeit von Vollstahlstützen gute brandschutztechnische Eigenschaften. Der Profilkfaktor  $U/A$ , d. h. das Verhältnis zwischen der Oberfläche  $U$  und dem Volumen  $A$ , liegt zwischen 10 und 40 m<sup>-1</sup> und ist wesentlich günstiger als bei anderen Stahlprofilen mit  $U/A$  zwischen 50 bis 400 m<sup>-1</sup>.

Bei Anwendung in mehrgeschossigen Bauten werden Feuerwiderstandsklassen von F30, F60 und F90 verlangt, wobei der Nachweis nicht nur mit Ofen-

versuchen, sondern auch mit einer Berechnung des Feuerwiderstandes erbracht werden kann.

Die hier angegebene Berechnungsmethode stützt sich auf europäische Richtlinien der Europ. Konvention für Stahlbau (EKS) [1], die auch durch die Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau als Grundlage der in Kürze erscheinenden Publikation [2] angenommen wurden.

### Berechnungsmethode

Als massgebendes Kriterium gilt die Traglast der Stahlstütze, die nach der

verlangten Dauer des Normbandes (30, 60 oder 90 Minuten) in der erwärmten Stütze vorhanden ist:

$$P \leq P_{K, \vartheta}$$

wobei:

$P$  = Belastung der Stütze

$P_{K, \vartheta}$  = Knicklast der Stütze bei erhöhter Temperatur  $\vartheta$

Normalerweise sind bekannt: Stahlquerschnitt, Stahlqualität und erforderlicher Feuerwiderstand. Gesucht wird die zulässige Belastung  $P$ .

Der Rechnungsgang umfasst:

- Ausrechnung der mittleren Temperatur  $\vartheta_s$  nach einer Branddauer gleich dem erforderlichen Feuerwiderstand
- Fließgrenze bei dieser Temperatur  $\sigma_{f, \vartheta}$
- Zulässige Belastung bei 20 °C und bei Temperatur  $\vartheta_s$ .

### Erwärmung der unverkleideten Stützen

Der Brandverlauf wird gemäss ISO-Normbrand angenommen

$$\vartheta_t - \vartheta_0 = 345 \lg(8t + 1)$$

wobei:

$t$  = Zeit in Minuten

$\vartheta_0$  = Anfangstemperatur, normalerweise  $\vartheta_0 = 20$  °C

$\vartheta_t$  = Brandraumtemperatur °C

Die Erwärmung der unverkleideten Stahlstütze kann mit folgender Gleichung errechnet werden:

$$\Delta \vartheta_s = \frac{\alpha}{c_s \rho_s} \frac{U}{A} (\vartheta_t - \vartheta_s) \Delta t$$

wobei:

$\alpha$  = Wärmeübergangszahl von Flammen auf Stütze, für Ofenversuche:

Tabelle 1. Durchschnittliche Temperaturen von unverkleideten RND- und VKT-Profilen. ISO-Normbrand (Ausgangstemperatur 20 °C. Zeitintervall  $\Delta t = 0,5$  Min.)

Zeit Min.	RND oder VKT (D oder B in mm)														
	400	380	350	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100
15	95	99	106	113	119	126	133	142	152	164	178	196	217	245	282
30	215	224	239	256	270	285	302	321	342	367	396	429	468	513	572
45	343	357	379	405	424	445	468	493	521	552	587	625	666	708	760
60	467	484	511	541	563	587	612	639	668	699	732	767			
75	580	598	627	658	681	705	729	755	782						
90	678	696	725	756	777	799									

$$\alpha = 25 + \frac{2,885}{\vartheta_t - \vartheta_s} \left[ \left( \frac{\vartheta_t + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\vartheta_s + 273}{100} \right)^4 \right] \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c_s = \text{spezifische Wärme des Stahls} \\ c_s = 0,47 + 20 \cdot 10^{-5} \vartheta_s + 38 \cdot 10^{-8} \vartheta_s^2 \quad \text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_s = \text{Dichte des Stahls (7850 kg/m}^3\text{)}$$

$$U = \text{Oberfläche der Stahlstütze} \quad \text{m}^2/\text{m}$$

$$A = \text{Volumen der Stahlstütze} \quad \text{m}^3/\text{m}$$

$$\vartheta_t = \text{Temperatur im Ofen} \quad ^\circ\text{C}$$

$$\vartheta_s = \text{Temperatur der Stahloberfläche} \quad ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \text{Zeitintervall in Stunden} \quad \text{h}$$

In der Tabelle 1 ist der Temperaturanstieg in unverkleideten VKT- bzw. RND-Stützen zusammengestellt. Aus der Tabelle kann leicht die erreichte, mittlere Stahltemperatur nach entsprechender Normbranddauer abgelesen werden.

### Fließgrenze des Stahls bei hohen Temperaturen

Für die Baustähle Fe360 und Fe510 kann die Abminderung der Fließgrenze bei hohen Temperaturen mit folgenden Gleichungen beschrieben werden:

für  $0 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \vartheta_s \leq 600 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\frac{\sigma_{f,\vartheta}}{\sigma_f} = 1 + \frac{\vartheta_s}{767 \ln(\vartheta_s/1750)}$$

für  $600 \text{ } ^\circ\text{C} \leq \vartheta_s \leq 1000 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\frac{\sigma_{f,\vartheta}}{\sigma_f} = \frac{108(1 - 0,001 \vartheta_s)}{\vartheta_s - 440}$$

wobei:

$$\sigma_f, \sigma_{f,\vartheta} = \text{Fließgrenze bei } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ und bei Temperatur } \vartheta$$

$$\vartheta_s = \text{Stahltemperatur}$$

Bei der Berechnung der Fließgrenze ist es wichtig, die garantierten Werte von  $\sigma_f$  zu kennen und einzusetzen, da bei gewalzten Fabrikaten auch niedrigere Werte als die in SZS-Tabellen angegebene Fließspannung von 215 bzw. 295 N/mm<sup>2</sup> auftreten können.

### Knicklasten und zulässige Belastung beim Brand

Bei normalen Temperaturen ist die Knicklast der Stützen durch die Knickkurve C der SIA-Norm 161 gegeben. Wie die Ofenversuche bestätigen [3], kann die Knicklast bei hohen Temperaturen proportional zu der abgeminderten Fließgrenze angenommen werden:

$$P_{K,\vartheta} = P_K \cdot \frac{\sigma_{f,\vartheta}}{\sigma_f}$$

Die Ofenversuche ergeben höhere Tragfähigkeiten der Stützen als die theoretisch errechneten Werte [4]. Um dieselben Resultate zu erhalten, soll ein Korrekturfaktor von  $\kappa = 0,85$  eingesetzt werden. Die zulässige Belastung beim Brand beträgt dann:

$$P_{\vartheta,zul} = P_{K,\vartheta} \cdot \frac{1}{\kappa}$$

Nicht immer kann bei Verwendung der RND- oder VKT-Stützen mit garantierter Fließgrenze gerechnet werden wie z. B. bei kleinen Bezugsmengen oder kurzen Lieferterminen. In diesem Fall soll *kein Korrekturfaktor* verwendet werden.

### Beispiel

Stütze aus RND 280. Stahlqualität Fe510 mit garantierter Fließgrenze von  $\sigma_f = 295 \text{ N/mm}^2$ . Stützhöhe 400 cm. Erforderliche Feuerwiderstandsklasse F60. Branddauer 60 Minuten ISO. Gesucht: zulässige Belastung beim Brand.

Temperatur der Stütze nach 60 Minuten (aus Tabelle 1):  $\vartheta_s = 587 \text{ } ^\circ\text{C}$

Fließgrenze bei dieser Temperatur:

$$\frac{\sigma_{f,\vartheta}}{\sigma_f} = 1 + \frac{587}{767 \ln(587/1750)} = 0,299$$

Knicklast bei 20 °C:

$$\text{Knicklänge } l_K = 0,7 \cdot 400 = 280 \text{ cm}$$

$$\text{Trägheitsradius } i = 70 \text{ mm}$$

$$\lambda_K = 2800:70 = 40$$

$$\bar{\lambda}_K = \lambda \sqrt{\sigma_f/E}/\pi = 0,477$$

$$\sigma_K/\sigma_f = 0,8572$$

$$\sigma_K = 0,8572 \cdot 295 = 252,9 \text{ N/mm}^2$$

$$P_K = 252,9 \cdot 61,6 \cdot 10^3 = 15 580 \text{ kN}$$

Knicklast bei 587 °C:

$$P_{K,\vartheta} = P_K \cdot \sigma_{f,\vartheta}/\sigma_f = 0,299 \cdot 15 580 = 4658 \text{ kN}$$

Zulässige Belastung beim Brand:

$$P_{\vartheta,zul} = 4658/0,85 = 5480 \text{ kN}$$

Ausnutzungsgrad des Querschnitts:

Zulässige Belastung bei 20 °C:

$$P_{zul} = 15580/1,6 = 9738 \text{ kN}$$

Ausnutzungsgrad:

$$5480/9738 = 56,3 \%$$

### Klassifizierung der Stützen

In ähnlicher Weise wurden die Ausnutzungsgrade für Rund- und Vierkantstahlstützen berechnet und in der Tabelle 2 zusammengestellt. Für das berechnete Beispiel erhalten wir:

- eine erforderliche Feuerwiderstandsklasse F60 erlaubt den Ausnutzungsgrad von 56% (vgl. Tab. 2a, für Stützen mit garantierter Fließgrenze)
- Knicklast bei 20 °C:  $P_K = 15 580 \text{ kN}$
- Zulässige Belastung der Stütze beim Brand:  $P_{\vartheta,zul} = 0,56 \cdot 15 580 / 1,6 = 5450 \text{ kN}$ .

Für Stützen ohne garantierte Fließgrenze soll Tabelle 2b benutzt werden, z. B.:

- erforderliche Feuerwiderstandsklasse F30
- Stütze  $\varnothing 160$  aus Fe360 mit einer Knicklänge von 300 cm
- Knicklast bei 20 °C (nach SZS-Tabellen)  $P_K = 2929 \text{ kN}$
- Zulässiger Ausnutzungsgrad für F30  $P^*/P_K = 96 \%$  ( $P^* = \gamma$ -fache Gebrauchslast  $P$ )
- Zulässige Belastung der Stütze beim Brand  $P_{\vartheta,zul} = 0,96 \cdot 2929 / 1,6 = 1757 \text{ kN}$

### Anwendungsbereich von unverkleideten RND- und VKT-Stützen

Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass für unverkleidete Stützen bei Überschreitung von rund 500 °C die zulässigen Ausnutzungsgrade sehr stark reduziert werden müssen und zu unwirtschaftlichen Lösungen führen können. Die Feuerwiderstandsklasse von F60 setzt

Tabelle 2a. Zentrisch gedrückte Stützen aus RND- und VKT-Profilen mit garantierter Fließgrenze. Zulässige Ausnutzungsgrade bei Einstufung in die Feuerwiderstandsklassen (F)

F Min.	Zulässige Ausnutzung der Traglast. $P^*/P_K$ in % RND oder VKT (D oder B in mm)														
	400	380	350	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	86	63
45	100	100	100	100	100	100	100	93	83	71	56	41	30	22	15
60	100	96	86	75	66	56	46	37	30	24	19	15			
75	59	52	41	32	27	23	19	16	13						
90	28	24	20	16	11										

Korrektur für Ofenversuche  $\kappa = 0,85$ . Sicherheitsfaktor in normalen Temperaturen  $s = 1,6$ 

Tabelle 2b. Zentrisch gedrückte Stützen aus RND- und VKT-Profilen ohne garantierte Fließgrenze. Zulässige Ausnutzungsgrade bei Einstufung in die Feuerwiderstandsklassen (F)

F Min.	Zulässige Ausnutzung der Traglast. $P^*/P_K$ in % RND oder VKT (D oder B in mm)														
	400	380	350	320	300	280	260	240	220	200	180	160	140	120	100
15	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
30	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	96	86	73	53
45	100	100	100	100	98	92	86	79	70	60	48	35	26	19	13
60	86	81	73	64	56	48	39	31	25	16	12				

Korrektur für Ofenversuche  $\kappa = 1,0$ . Sicherheitsfaktor in normalen Temperaturen  $s = 1,6$ 

z. B. für eine Stütze mit Abmessungen von 220 mm eine Abminderung der zulässigen Belastung auf 30% voraus. Für eine Knicklänge von z. B. 300 cm würde das eine Reduktion der zulässigen Belastung von 4140 kN auf 1240 kN bedeuten. Billiger wäre dann die Verwendung einer verkleideten Stütze aus RND 140 mit einer zulässigen Belastung von 1410 kN:

- Materialeinsparung:  $3 (298 - 121) = 530$  kg à Fr. 1.00 Fr. 530.-
- Verkleidungskosten:  $0,44 \cdot 4 = 1,32$  m<sup>2</sup> à Fr. 200.- Fr. 264.-
- Einsparung bei gleicher oder kleinerer Abmessung: Fr. 266.-

Als allgemeine Regel der Anwendung von unverkleideten Stützen aus VKT oder RND soll darum gelten:

- für Feuerwiderstandsklasse F30: Alle Profile grösser als 120 mm können unverkleidet angewendet werden.
- für Feuerwiderstandsklasse F60: Profile grösser als 280 mm können unverkleidet angewendet werden.
- die Feuerwiderstandsklasse F90 ist kaum ohne Verkleidung realisierbar.

Adresse des Verfassers: St. Broyl, dipl. Ing. AGH/SIA, Direktor, Geilinger AG, Postfach, 8401 Winterthur.

#### Literatur

- [1] ECCS Committee T3. European Recommendations for the Calculation of Fire Resistance of Load Bearing Steel Elements and Structural Assemblies Exposed to the Standard Fire. ECCS 1981
- [2] Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau: Berechnung des Feuerwiderstandes von Stahlelementen. In Vorbereitung
- [3] Vandamme M., Janss J.: "Buckling of Axially Loaded Steel Columns in Fire Conditions". IABSE Proceedings P-43/81
- [4] Pettersson O., Witteveen J.: "On the Critical Temperatures of Steel Elements Derived from Conventional Fire Resistance Tests and from Calculation". Fire Safety Journal 2. Elsevier Sequoia SA, Lausanne 1979/1980.

## SIA-Fachgruppen

### Studienreise der Fachgruppe für Untertagbau ins Rheinland und ins Ruhrgebiet

Die Fachgruppe führt vom 25. bis 27. März eine Studienreise ins Rheinland und ins Ruhrgebiet durch.

#### Programm

Donnerstag, 25. März. Flug nach Köln mit der Swissair; Carfahrt in die Innenstadt, nach Düsseldorf und nach Essen. In Essen wird im Hotel «Bredeney» Quartier bezogen.

Köln: Besichtigung der Tunnelbaustelle Rheinuferstrasse

Projekt: Verlegung der Rheinuferstrasse (in unmittelbarer Nähe des Rheins und von zum Teil mittelalterlichen Bauten) in einen Tunnel mit zwei dreispurigen Richtungsfahrbahnen unter die geplante Fussgängerzone «Rheingarten». Grundwasserabsenkung nicht möglich. Abschirmen gegen Grundwasser durch Betonschlitz- bzw. Spundwände, Aushub im Tagbau, Unterwasserbetonsohle, Verwendung von wasserun-

durchlässigem Beton. Die 580 m lange Weströhre ist fertiggestellt. Oströhre: Im März werden Aushubarbeiten, Betonieren der Sohle und Wände in einem Arbeitsgang, Betonieren der Tunneldecke sowie Ausbaurbeiten zu besichtigen sein.

Düsseldorf: Besichtigung der Erweiterungsarbeiten am Bahnhof

Projekt: Unterfahrung des Bahnhofs durch die U-Bahn und gleichzeitige Einfädung einer neuen S-Bahn-Strecke in kürzestmöglicher Bauzeit: Für den Bau jeder der 19 Brücken von 80-100 m Länge werden drei bis vier Monate von der Stilllegung des Geleises bis zur Wiederinbetriebnahme benötigt. Gesamtbauplanung: 1978-1986; exakteste Terminplanung, bis heute auf den Tag genau!

Freitag, 26. März. Essen: Besichtigung von drei U-Bahn-Baustellen

Projekt: Baulos 18: Haltestelle, Vortrieb: Neue Österreichische Tunnelbauweise (Natam), Überdeckung: 4,5 m, Spannweite: 18 m.

## SIA-Sektionen

### Winterthur

CN-Tower Toronto: Entwurf, Berechnung und Konstruktion. Donnerstag, 4. Febr., 20 Uhr, Foyer Hotel «Zentrum», Töss. Vortragsveranstaltung, zusammen mit dem Technischen Verein Winterthur. Referent: Prof. Dr. B. Thürlimann, ETH Zürich.

### Zürich

Wie entsteht ein Verkehrsflugzeug? Mittwoch, 10. Febr., 20.15 Uhr, Zunfthaus «Zur Schmiden». Marktgasse 20. Vortragsabend. Referent: O. Loepfe, Direktor Departement Technik, Swissair. Vor dem Vortrag freie Zusammenkunft in der Wasserstube. Nachtesen ab 18.45 Uhr.

Stand der Arbeiten im März: Ausbau der Innenschale

Im Baulos 19 ist Tunnelvortrieb nach Natam zu sehen.

Baulos 25: Grundwasserschonende Bauweise, Baugrubenwände aus Bohrpfehlwänden. Nach deren Fertigstellung wird die Sohle aus