Strukturintegritäts-Anwendungen 1

Dipl. Ing. Pudleiner Bálint, M.Sc.
Dr. sc. techn. Prodán Miklós János
c. egyetemi docens

Mérnöki szerkezetek integritása 1
német nyelvű kurzus
(Tárgyfelelös: Dr. Májlinger Kornél, egyet. docens
“Materialkunde” & “Metalltechnologie”)

2025/2026/1

Fontos információk

Az Anyagtudomány és Technológia Tanszék honlapja:

www.att.bme.hu

Előadók: Pudleiner Bálint, okl. gépészmérnök M.Sc.

balint.pudleiner@gmail.com

06-30-294-6708

Dr. Prodán Miklós János

MT ép. 1. em. 104

06-20-253-9906

drprodan.miklos@gmail.com

Előadások helyszíne: MT ép. I. e. könyvtár

A „Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung“ és a „Metalltechnologie“ tárgyakhoz kapcsolódik

Konzultációs időpontok az előadások előtt, után és személyes egyeztetés alapján

Ein entgleister Zug beim Keleti p.u. Bp.

Motivation

- „Mérnöknek lenni jó !" – Motto einer früheren Schuljahresanfangs-Feier der Technischen Universität Budapest (Zitat von Dr. Palkovics László, MTA-Mitglied, damals ITM-Minister)
- Auf Deutsch: Ich studiere gerne Ingenieurwissenschaften.
- Das Maschineningenieurwesen, die Mechatronik und das Werkstoffingenieur-wesen sind drei besonders spannende Sparten der Technik

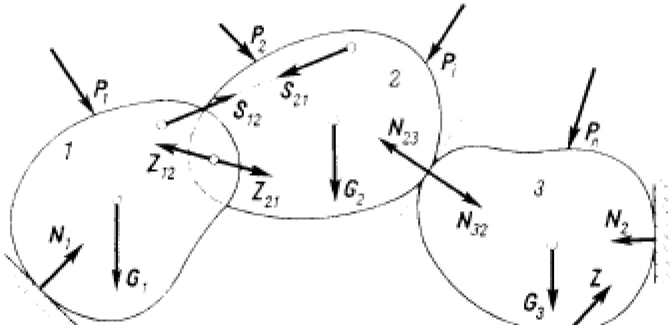
System starrer Körper

Unter einem System versteht man eine beliebige Gruppe von Körpern. Diese selbst sollen hier als starr vorausgesetzt sein.

Figur 14.1 zeigt ein System von drei starren Körpern, die in verschiedener Art miteinander verbunden und nach außen gelagert sind. Dabei sind nach der in Abschnitt 12 gegebenen Definition die Kräfte $\boldsymbol{P}_1, \boldsymbol{P}_2, \ldots, \boldsymbol{P}_n$ und die Gewichte $\boldsymbol{G}_1, \boldsymbol{G}_2, \boldsymbol{G}_3$ Lasten, die übrigen Kräfte als Normaldrücke, Gelenk- und Fadenkräfte Reaktionen. Würde der Faden, welcher die Körper 1 und 2 verbindet, durch eine Feder ersetzt, so wären die Kräfte $\boldsymbol{S}_{12}$ und $\boldsymbol{S}_{21}$ mit der Lage des Systems bekannt, also Lasten.

Eine Kraft wird als **innere** oder **äußere Kraft** bezeichnet, je nachdem ihre Reaktion innerhalb oder außerhalb des Systems angreift.

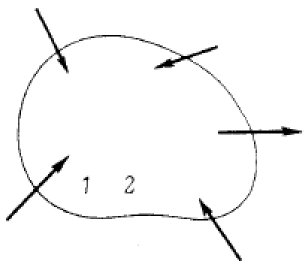
So sind in Figur 14.1 alle Lasten $\boldsymbol{P}_i, \boldsymbol{G}_i$, die Normaldrücke $\boldsymbol{N}_1, \boldsymbol{N}_2$ und die Gelenkkraft $\boldsymbol{Z}$ äußere, alle übrigen innere Kräfte.



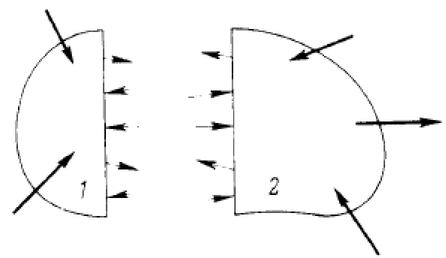
Figur 14.1

Grundbegriffe: Spannungen

An jedem ruhenden Körper gilt nach Abschnitt 14 das Erstarrungsprinzip. Ihm zufolge genügen die äußeren Kräfte für sich allein den Gleichgewichtsbedingungen des starren Körpers. Zerlegt man den Körper (Figur 27.3) etwa durch einen ebenen Schnitt in zwei Teilkörper 1 und 2, so gilt das Erstarrungsprinzip auch für diese, wobei aber die in den Schnittebenen wirksamen **Schnittkräfte** mitberücksichtigt werden müssen, die für den Gesamtkörper zwar innere, für die Teile 1 und 2 dagegen äußere Kräfte sind.



Figur 27.2



Figur 27.3

Die Schnittkräfte sind kontinuierlich über die Schnittebene verteilt und können, falls man ihre Verteilung als stetig annehmen darf, für jedes Element Δf der Schnittfläche zu einer Einzelkraft $\Delta \mathbf{K}$ (Figur 27.4) zusammengefaßt werden, die annähernd im Schwerpunkt des Elements angreift. Die Schnittkraft je Flächeneinheit ist durch $\Delta \mathbf{K}/\Delta f$ oder genauer durch den Vektor

$$\mathbf{s} = \lim_{\Delta f \to 0} \frac{\Delta \mathbf{K}}{\Delta f} = \frac{d\mathbf{K}}{df} \tag{27.11}$$

gegeben, der als **Spannungsvektor** am Flächenelement df bezeichnet wird.

Grundbegriffe: Spannungen (Fortsetzung)

Der Betrag des Spannungsvektors hat die Dimension $[s] = [K l^{-2}]$ und wird etwa in N/cm^2 oder in kp/cm^2 gemessen.

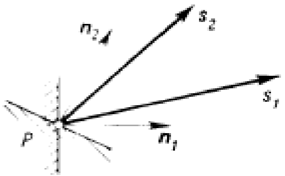
Es folgt aus dieser Definition, daß der Spannungsvektor im Inneren eines Körpers sowohl vom Ort P wie von der durch den äußeren Normaleneinheitsvektor $\boldsymbol{n}$ bestimmten Stellung des Flächenelements abhängt, und daß damit insbesondere für zwei durch $\boldsymbol{n}_1$ und $\boldsymbol{n}_2$ definierte Flächenelemente (Figur 27.5) im gleichen Punkt P verschiedene Spannungsvektoren $\boldsymbol{s}_1$ und $\boldsymbol{s}_2$ zu erwarten sind.

Ist φ (Figur 27.6) der Neigungswinkel des Spannungsvektors $\boldsymbol{s}$ gegenüber der äußeren Normalen $\boldsymbol{n}$ des zugehörigen Flächenelements, so erhält man durch Zerlegung nach dieser Normalen und senkrecht dazu die beiden Komponenten

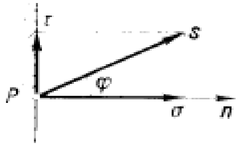
$$\sigma = s \cos\varphi , \qquad \tau = s \sin\varphi . \tag{27.12}$$

Die erste wird **Normalspannung** genannt. Sie kann positiv oder negativ sein und wird je nachdem als **Zug-** oder **Druckspannung** bezeichnet. Die zweite heißt **Schubspannung** und ist nie negativ, kann aber im Schnitt eine beliebige Richtung haben.

Figur 27.4



Figur 27.5



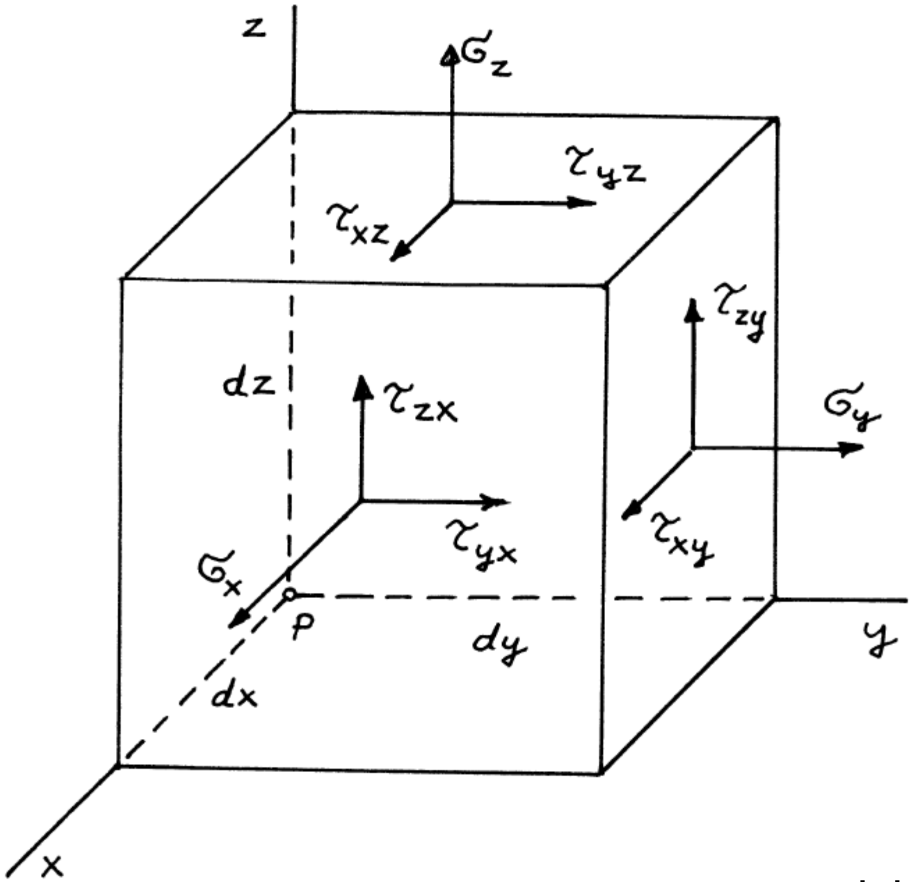
Figur 27.6

Grundbegriff: Spannungszustand

Der **Spannungszustand** im ganzen Körper wird dadurch beschrieben, daß man den Spannungsvektor $\boldsymbol{s}$ als Funktion des Ortes P und der Stellung $\boldsymbol{n}$ des Flächenelementes angibt. Man kann ihn aber noch auf eine zweite Weise geben. Schneidet man in der Gegend des Punktes P einen Elementarquader (Figur 27.7) mit den Kanten dx, dy, dz aus dem Körper heraus, so kann man die Spannungen an den sichtbaren Seitenflächen je in eine Normal- und eine Schubspannung zerlegen, und wenn man die Schubspannungen ihrerseits durch Komponenten in den Achsenrichtungen darstellt, erhält man die neun Spannungskomponenten

$$\begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix} \tag{27.13}$$

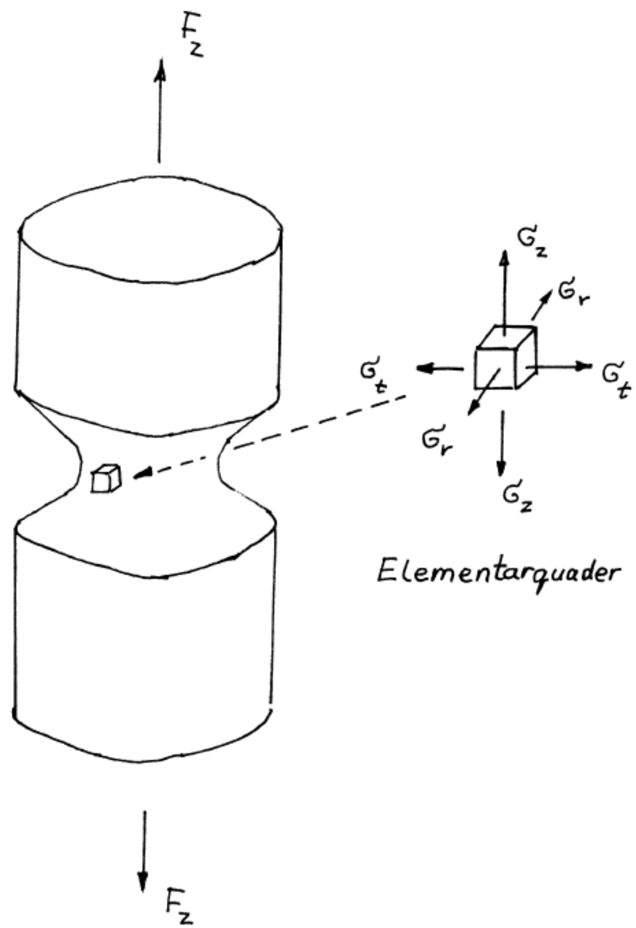
Elementarquader zum räumlichen Spannungstensor



Bezeichnung nach H. Ziegler

Quellenangabe zu den Folien 5 bis 9

Dreiachsiger Zugspannungszustand σ_z σ_t σ_r



Wartungshalle

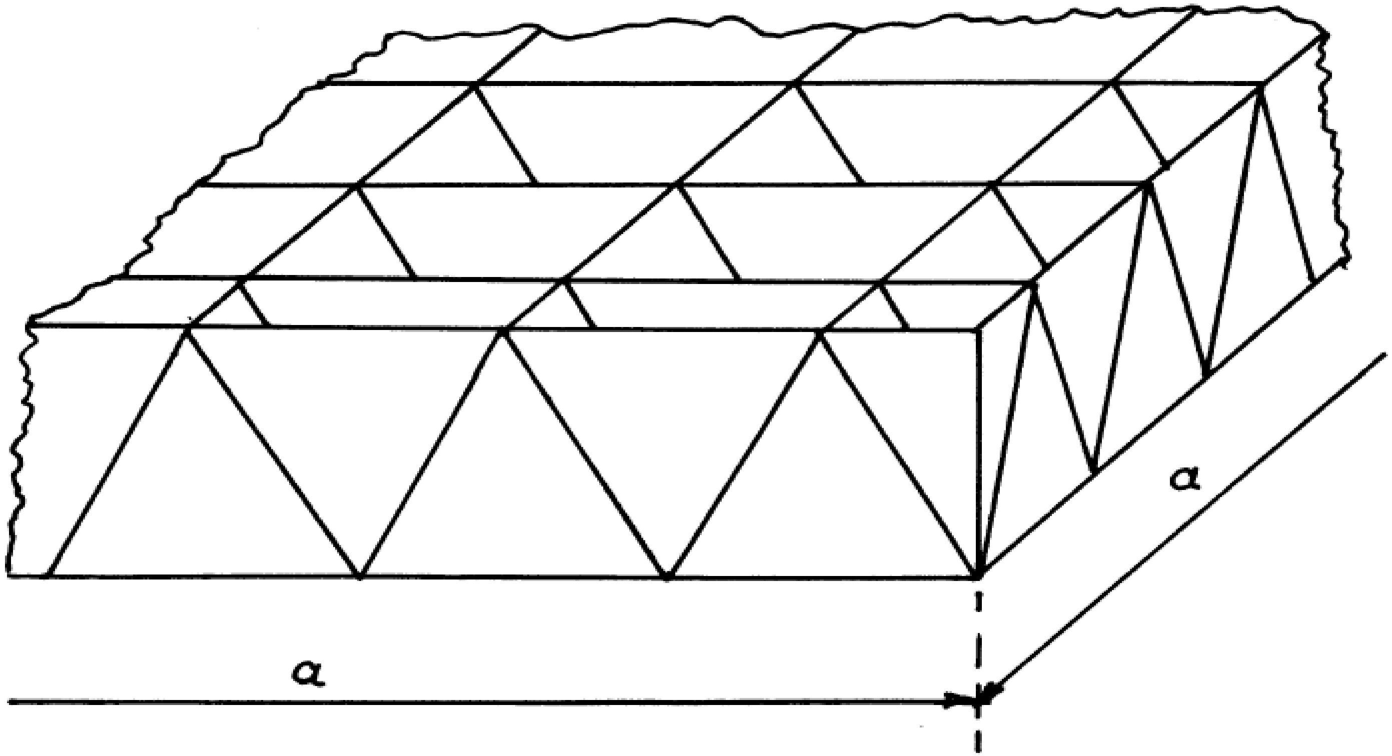
- Das Dach von ca. 120 m x 120 m Fläche birgt ein räumliches Stahlstab-Fachwerk „hinter sich“ (eigentlich oberhalb „verborgen“)
- Die „Höhe“ des Fachwerks ist ca. 2 bis 3 m
- Die Höhe der Halle ist ca. 20 – 25 m
- Annahme beim Fachwerk: Kräfte (Lasten) werden nur in den Stabsenden (d.h. in den Gelenken) eingeführt

Bild einer Flugzeugs-Wartungshalle

ca. 120 m x 120 m x 20 m

(Foto: Frankfurter Allgemeine)

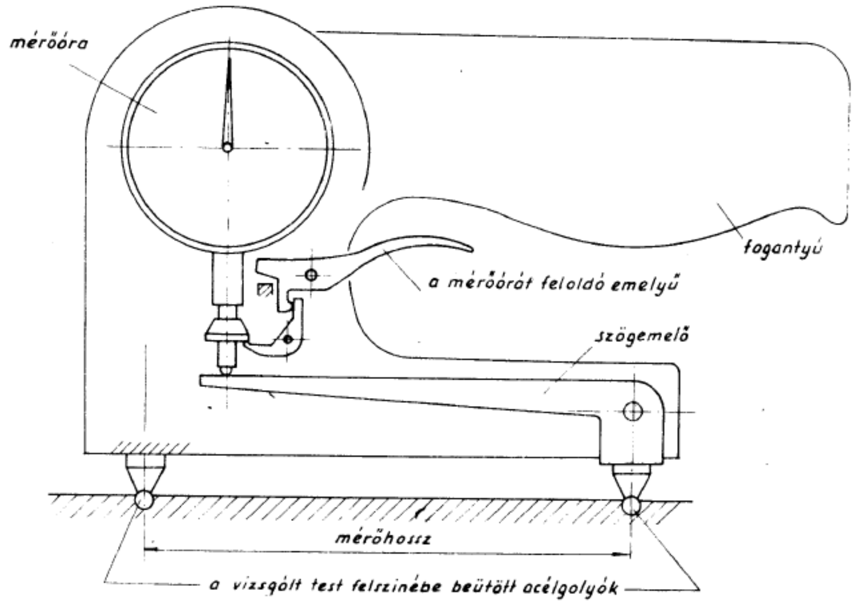
Illustration eines räumlichen Fachwerks



a = 120 m für das gegebene Beispiel. (h = ca. 2 bis 3 m)

Setzdehnungsmesser aus einer BME-GPK-MM- Lehrstuhl-Autographie (Prof. Kozmann György)

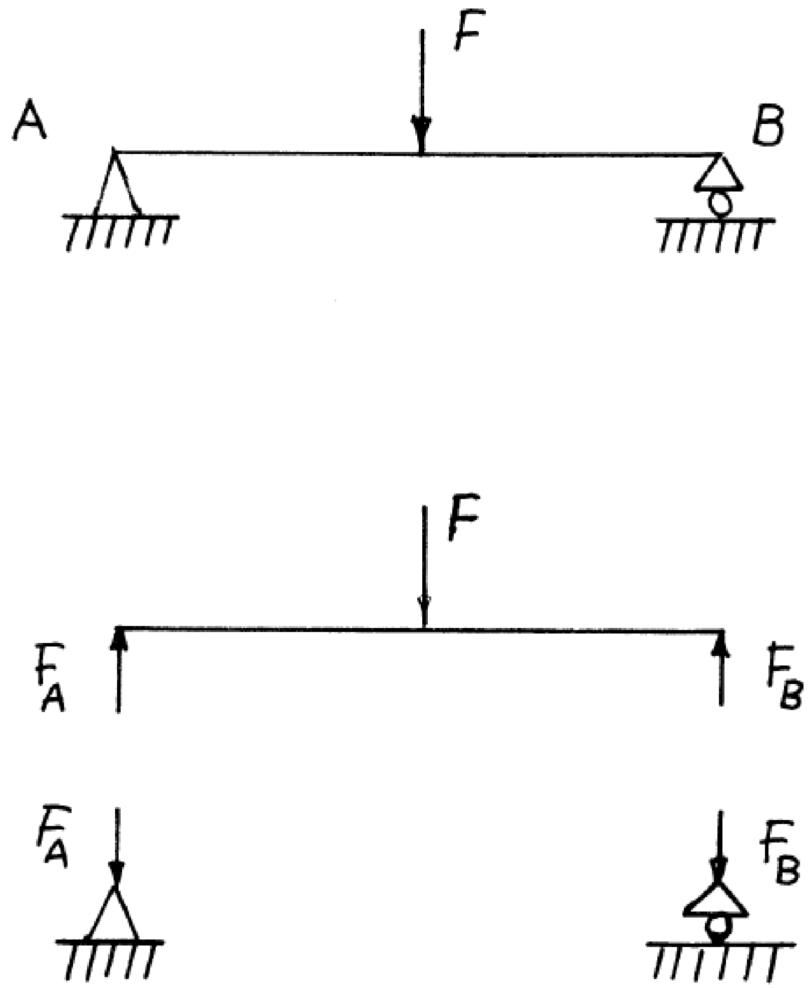
tenni a Pfender-féle müszer (296. ábra) oly módon, hogy a vizsgált test fel-
szinébe az ℓ_o mérőhossznak megfelelő távolságban két acélgolyót ütnek
be és méréskor a müszert csupán kézzel szoritják rá a golyókra.



296. ábra

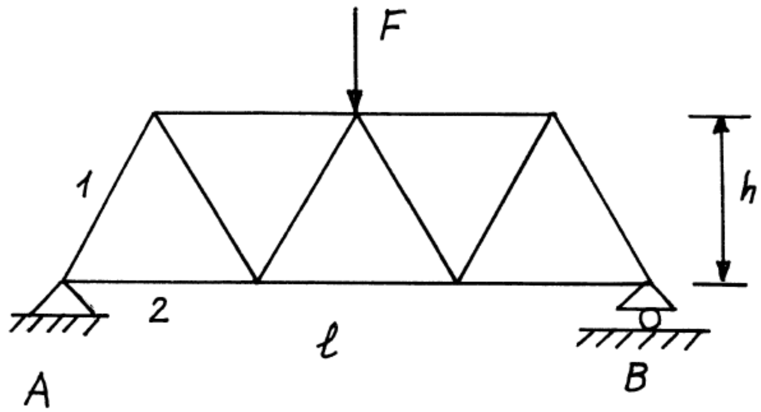
A golyók különlegesen pontos sima felülettel készülnek, igy a müszer biz-
tosan fekszik fel rajtuk. A müszer maga, mint a 2. ábrából látható, szög-

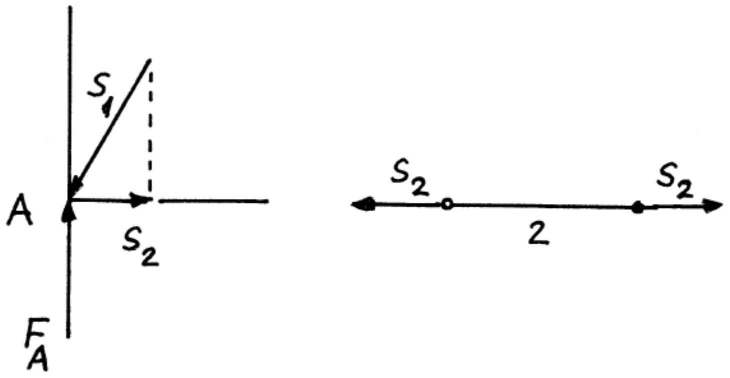
Ein gerader Träger, Freimachen, Gelenk und Auflager



F = 16 kN , l = 8 m , F_A = 8 kN und F_B = 8 kN

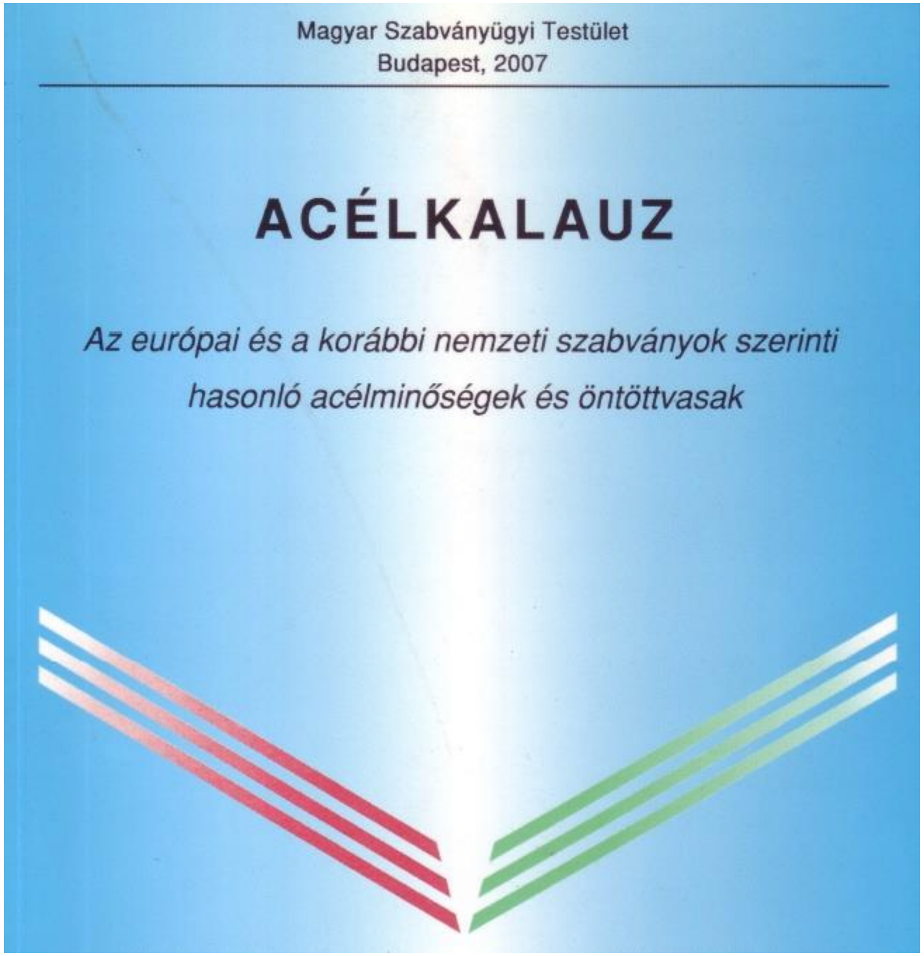
Ein ebenes Fachwerk





F = 160 kN , l = 3 x 3,5 m = 10,5 m , h = 3 m , Material: Baustahl S 235

Stahlschlüssel



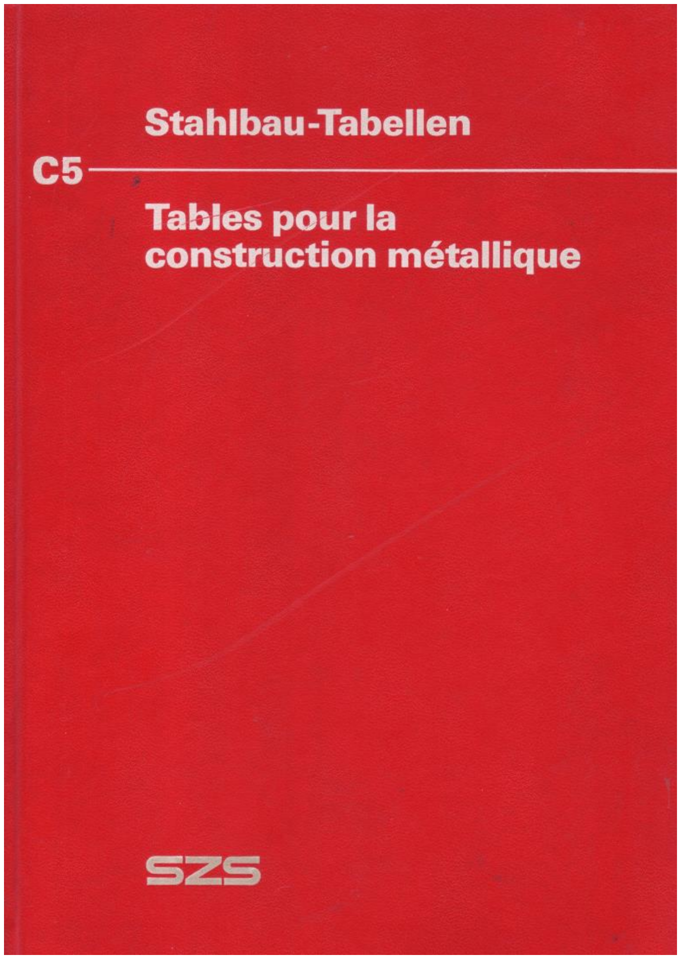
Aufgabe 1

Der normale Baustahl S 235 (früher auch Fe 235 oder St 360 genannt) wurde beim Bau einer Stahlbaukonstruktion verwendet. An zwei, auf einachsigen Zug beanspruchten Stabteilen dieser Konstruktion wurden messtechnisch die vorausberechneten Spannungen und Dehnungen kontrolliert. Mit dem mechanisch-optischen Setzdehnungsmesser wurden vorher, im unbelasteten Zustand der Stäbe, Referenzlängen von l_0 = 99,986 mm (Stab Nr. 1, etwa in der Mitte) und l_0 = 100,023 mm (Stab Nr. 2, etwa in der Mitte) gemessen.

Die Zweitmessung im belasteten Zustand ergab für Stab Nr. 1 einen Messwert von l_1 = 100,056 mm und für Stab Nr. 2 l_1 = 100,073 mm. Wie gross sind die Zugspannungen in den zwei Stäben? Beide Stäbe wurden als schmale I-Träger I 80 mit einem Querschnitt A = 758 mm^2 ausgeführt. Wie gross sind die Stabkräfte S_1 und S_2 ?

Schweizerische Stahlbau-Tabellen

(zweisprachig: Deutsch und Französisch)



Niklaus Prodan
Dr. sc. techn. ETH
Wiesengasse 15
9494 Schaan

Stahlbau-Tabellen

C5

Tables pour la construction métallique

Herausgeber:
Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau
8034 Zürich, Postfach

Editeur:
Centre Suisse pour la Construction Métallique
8034 Zurich, case postale

Aufgabe 2

- Stellen Sie sich einen Stab Nr. 3 beim Fachwerk von Aufgabe 1 vor. Für diesen Stab betrugen die Messwerte mit dem Setzdehnungsmesser l_0 = 99,875 mm und l_1 = 100,075 mm. Wie gross ist die Zugspannung im Stab Nr. 3? Ist er ausreichend dimensioniert? (Belastungsart: ruhende Belastung, römisch I nach Bach.)

Auszug aus einer Dissertation, ETH Zürich, Diss. Nr. 7374 (Prodán M.)

A.1. Dimensionierung von Bauteilen

Die im Titel dieses Abschnittes umschriebene Aufgabe eignet sich als Ausgangspunkt, um die Position der eigenen Arbeiten in einen breiteren Zusammenhang zu stellen. Die Dimensionierung eines Bauteils gehört zum täglichen Brot des Konstrukteurs. Dass dies nicht immer zufriedenstellend gelingt, beweisen in der Praxis zahlreiche Schadensfälle - meistens Ermüdungs- und Gewaltbrüche.

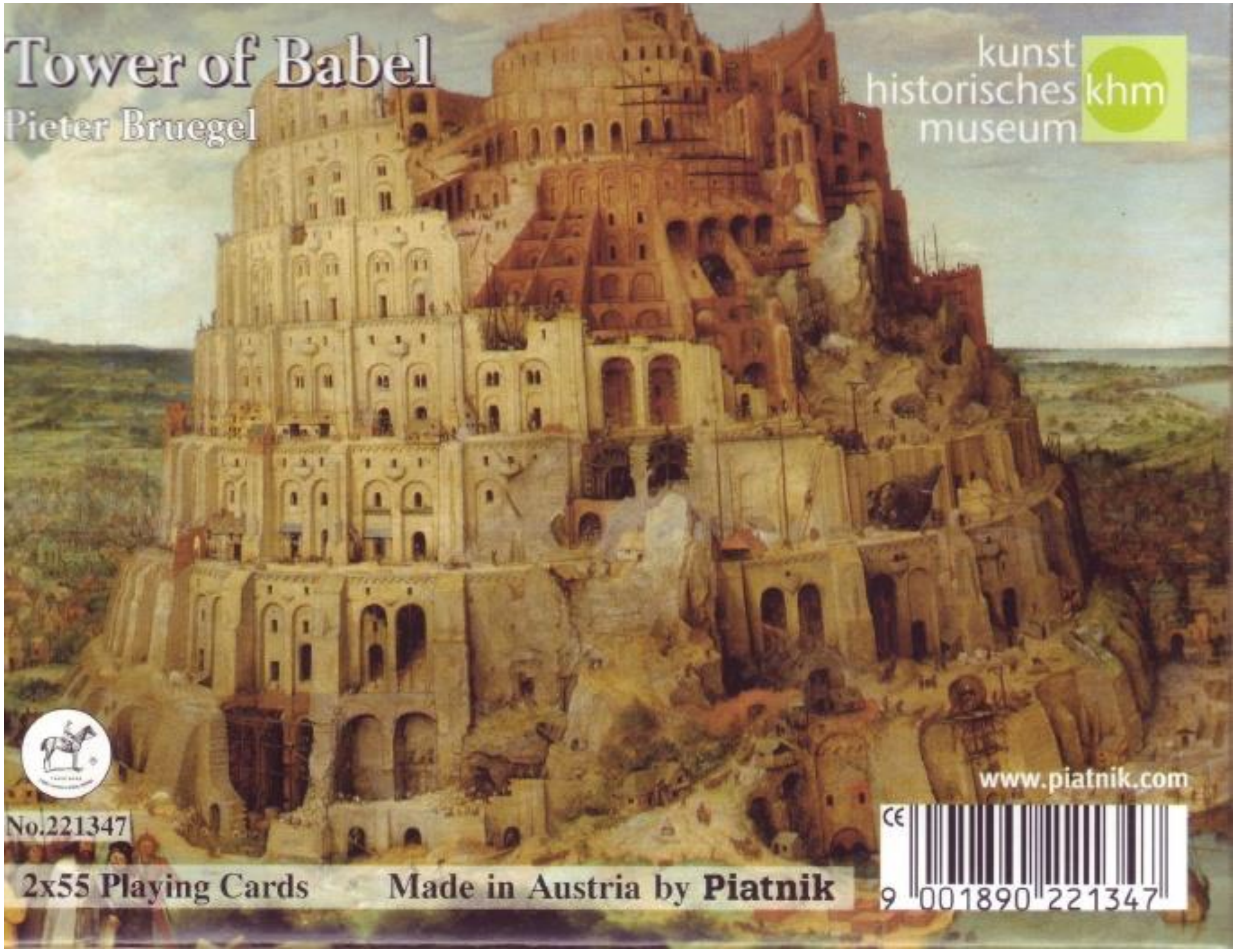
In der Regel erfolgt die Dimensionierung durch eine Berechnung, die sich auf die Resultate einer vorangegangenen Materialprüfung abstützt. Geschieht die Prüfung in praxiskonformer Weise an einem praxiskonformen Objekt, fällt die Berechnung dahin. Dies ist selten möglich, denn die beiden Bereiche "Berechnung" und "Materialprüfung" haben sich in den letzten Jahren in steigendem Masse unabhängig voneinander entwickelt.

Die Materialprüfung bietet heute eine grosse Zahl wohldefinierter, vorzüglich reproduzierbarer Versuche zur Bestimmung verschiedener Materialeigenschaften an; Sache der Berechnungsmethoden ist es, einen zuverlässigen Schluss vom Verhalten eines möglichst billigen - also kleinen - Probekörpers auf dasjenige des entworfenen Bauteils zu ermöglichen. Diese Entwicklung hat ein Niveau erreicht, das die gleichzeitige Spezialisierung eines Ingenieurs auf beiden Teilgebieten weitgehend ausschliesst.

Zum Abschluss sei die allgemeine Problemstellung der vorliegenden Arbeit, nämlich die Suche nach praxisrelevanten Modellvorstellungen, anhand eines anschaulichen Zitats zusammengefasst: "Es ist sehr wahrscheinlich, dass die babylonischen Turmbauer ausgedehnte Erfahrungen mit kleinen Türmen (vielleicht sogar mit massgetreu verkleinerten Modellen) besassen. Die Mittel zur Uebertragung auf das riesige Vorhaben, also die modelltheoretischen Grundlagen, fehlten aber" [1].

Quelle [1]: Erismann, T.H. in Material und Technik (Zürich), Jg. 1977, Nr. 4, S. 165-168

Der Turm zu Babel



Zusammenfassung

- Vertiefung in Grundlagen: Kräfte, Spannungen
- Überlegungen zu räumlichen Fachwerken: Dachkonstruktionen zweier Flugzeugs-Wartungshallen (Jumbo-Halle Kloten (CH) und Airbus-Halle Frankfurt a. M. (D) / A 380 /)
- Berechnungsbeispiele: Fachwerkstäbe
- Grundsätzliches zur Dimensionierung von Bauteilen: Berechnungen und Materialprüfung