

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 77 (1959)  
**Heft:** 15: Schweizer Mustermesse Basel, 11. bis 21. April 1959

**Artikel:** Sulzer-Pumpen und -Druckleitungen für das Pumpspeicherwerk Ffestiniog  
**Autor:** Ffestioniog  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-84238>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Sulzer-Pumpen und -Druckleitungen für das Pumpspeicherwerk Ffestiniog

DK 621.294

In Grossbritannien sind bisher verhältnismässig wenig hydraulische Speicherwerke errichtet worden. Einerseits liegen nur in wenigen Teilen des Landes hierfür günstige topographische Verhältnisse vor, andererseits begünstigte der Kohlenreichtum den Bau von thermischen Kraftanlagen.

Seit dem Zweiten Weltkrieg sind viele grosse thermische Zentralen errichtet worden, und weitere stehen im Bau. Dazu kommen die bekannten Atomkraftwerke. Alle diese Werke arbeiten am günstigsten, wenn sie mit konstanter Grundlast durchfahren. Deshalb besteht neuerdings grosses Interesse, hydraulische Werke mit Pumpspeicherung zur Spitzenlastdeckung heranzuziehen, wobei die Dampf- und Atomwerke in Zeiten der Unterbelastung im Verbrauchsnetz den notwendigen Pumpstrom liefern<sup>1)</sup>.

Mehrere Grossprojekte dieser Art sind in Schottland im Studium, und in Mittelengland (Nordwales) wird bereits das Pumpspeicherwerk Blaenau Ffestiniog von der Central Electricity Generating Board gebaut, das mit einer Ausbauleistung von 300 MW die erste grosse Anlage dieser Art in Grossbritannien sein wird. Die Wahl für die Lieferung der Speicherpumpen ist auf Gebrüder Sulzer gefallen, was um so mehr als besondere Anerkennung zu werten ist, als es sich um die grössten bisher in der Welt je gebauten Speicherpumpen für höhere Drücke handelt. Gebrüder Sulzer wurden ausserdem mit der Lieferung und Montage der Druck- und Verteilungsanlage sowie eines grossen Teiles der Druckstollenpanzerungen betraut.

Die in der Nähe des Dorfes Blaenau Ffestiniog (Bild 2) zu errichtende Zentrale wird mit vier vertikalen Maschinensätzen, jeder bestehend aus Motor-Generator A, Wasserturbine B und Speicherpumpe D, ausgerüstet (Bilder 1 und 4). Den Auftrag für die hydraulische Ausrüstung innerhalb der Station erhielt die English Electric Company Ltd., die ihrerseits die Francis-Turbinen von je 105 000 PS samt Reglern und Abschlussorganen liefert und als Generalunternehmer für die Speicherpumpen auftritt.

Diese vier vertikalen, zweistufigen und doppelflutigen Pumpen mit einem Laufraddurchmesser von 2600 mm werden ähnlich ausgeführt wie die seinerzeit von Gebrüder Sulzer für die Zentrale Oberaar der Kraftwerke Oberhasli AG. gelieferte Pumpe<sup>2)</sup>, sind jedoch, wie die bei Bild 4 angegebenen Normal-Betriebsdaten zeigen, bedeutend grösser. Der maximale Leistungsbedarf kann bei entsprechend grösserer Fördermenge und Betrieb mit 51 Hz, an Stelle der Normalfrequenz von 50 Hz, bis ungefähr 110 000 PS ansteigen. Das Gewicht pro Pumpe beträgt rund 292 Tonnen.

Bei der Erzeugung von elektrischer Energie, das heisst beim Turbinenbetrieb, sind die Pumpen ausgekuppelt, beim Pumpbetrieb drehen die Turbinen mit. Sie werden für diesen Fall mit Druckluft entwässert. Zwischen Turbinen und Pum-

1) Vgl. hierzu SBZ 1958, Heft 35, im besonderen Abschnitt 6, S. 514  
2) SBZ 1952, Nr. 50, S. 703

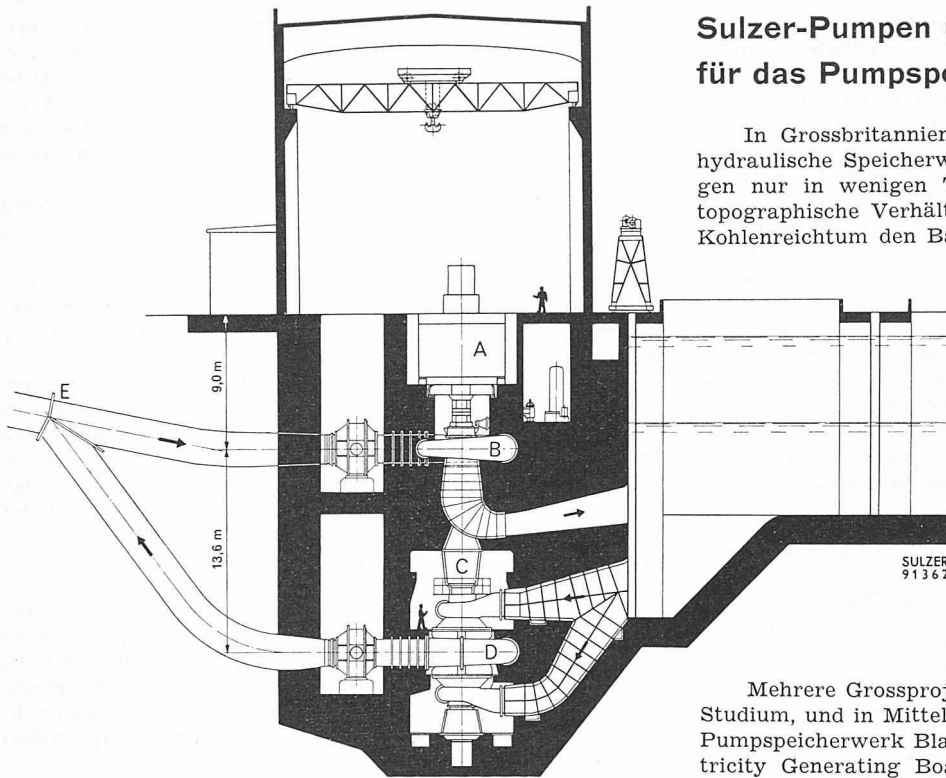


Bild 1. Querschnitt durch das Maschinenhaus, 1:500

A Motor-Generator      C Kupplung      E Abzweigrohr  
B Turbine                  D Speicherpumpe

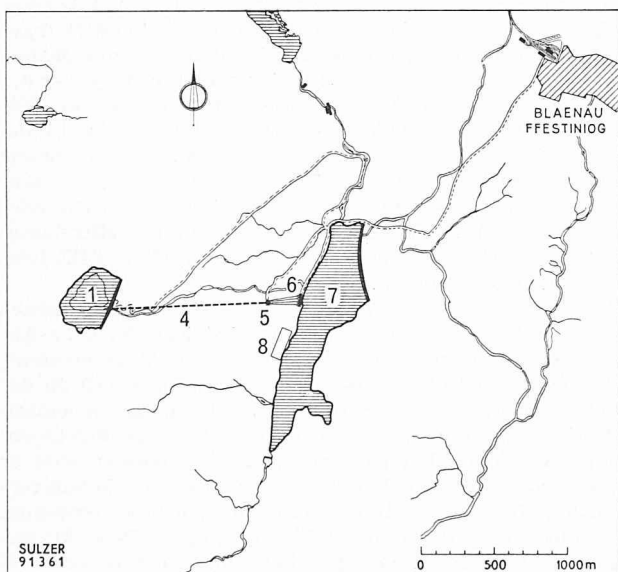


Bild 2. Lageplan des Pumpspeicherwerkes, 1:50 000

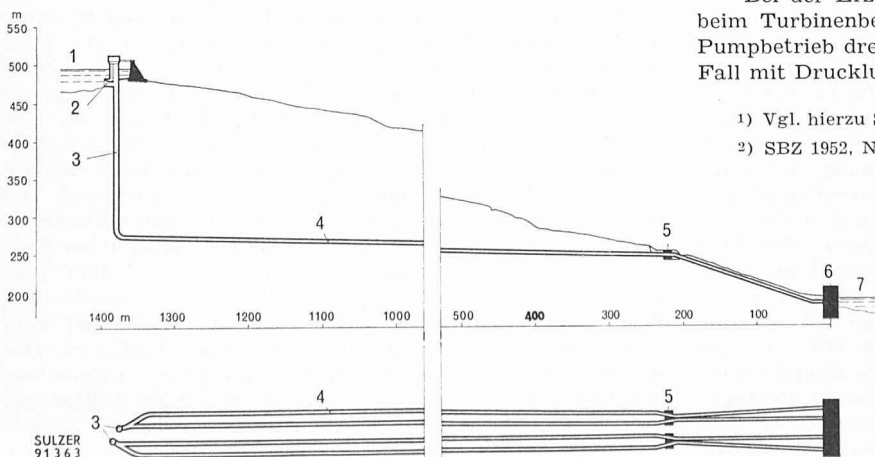


Bild 3 (links). Leitungsprofil der Speicheranlage, 1:10 000

Legende zu den Bildern 2 und 3

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 1 Oberes Staubecken | 5 Stollen-Portale    |
| 2 Wassereintritt    | 6 Maschinenhaus      |
| 3 Druckschächte     | 7 Unteres Staubecken |
| 4 Druckstollen      | 8 Transformerstation |

pen sind einfache Zahnkupplungen vorgesehen, die im Stillstand durch Drucköl ein- und ausgeschaltet werden. Der Uebergang von Vollast-Pumpbetrieb zu Vollast-Turbinenbetrieb und umgekehrt wird im Mittel 10 Minuten betragen.

Die gesamte Konstruktion der Pumpen sowie die Herstellung der hydraulischen Innenteile und der Kupplungen erfolgt in Winterthur. Die übrigen Teile, vor allem die Wellen und die grossen Gehäuse, werden in England, teils im Sulzer-Werk Leeds, teils im Werk Nether-ton der English Electric Co., angefertigt.

Die ganze Anlage (Bilder 2 und 3) besteht im wesentlichen aus dem Maschinenhaus 6, der Transformerstation 8 und einem unteren und oberen Staubecken 1 und 7 mit den Druckschächten und Leitungen 3 und 4. Der das Tal Afon Ystradaw durchziehende Fluss wird durch eine Staumauer aus Beton aufgestaut und bildet das untere Reservoir, aus dem die Pumpen in das obere Staubecken fördern. Dieses besteht aus dem Llyn-Stwlan-See, dessen Spiegel ebenfalls durch den Bau einer Staumauer erhöht wird. Die Spiegeldifferenz zwischen den beiden Stauseen beträgt rund 305 m und bildet das statische Gefälle für die Turbinen, bzw. die Druckhöhe für die Pumpen.

Beim Turbinenbetrieb strömt das Wasser vom oberen Becken zunächst durch zwei vertikale Schächte 3 von 200 Meter Tiefe und 4,4 Meter Durchmesser. Am Ende dieser Schächte wird das Wasser aufgeteilt und fliesst durch vier beinahe horizontal im Berg verlegte 1100 m lange Druckstollen 4 bis zu den Stollen-Portalen 5. Entsprechend dem hohen Betriebsdruck von 33 atü wird der grösste Teil dieser Stollen gepanzert ausgeführt. Die Panzerrohre haben einen Durchmesser von 2870 mm und eine Wandstärke von 21 bis 26 mm. Sie sind so bemessen, dass sie 80 bis 100 % der Innendruckbelastung aufnehmen können und zugleich einer Aussendruckbelastung von der Grösse des statischen Innendruckes ohne einzubeulen widerstehen.

Beim Tunnelaustritt verjüngt sich der Durchmesser der Stollenpanzerung auf 2286 mm. Hier sind die Portale 5 angeordnet, welche die Ausbaurohre für jede der vier Leitungen enthalten. Anschliessend fliesst das Wasser durch vier offen verlegte Druckleitungen mit einer Länge von je 250 m hinunter zur Zentrale. Beim Austritt aus den Portalen sind die Druckleitungen fixiert durch Festpunktrohre, welche mit den von Sulzer patentierten metallischen Verankerungen versehen sind. Zur Vermeidung thermischer Längsspannungen sind einerseits Expansionsrohre in die Leitungen eingebaut und andererseits auf der ganzen Länge Gleitlagerabstützungen vorgesehen.

Am unteren Ende der Druckleitungen schliessen vier grosse Abzweigrohre E (Bild 1) an, um die Verbindung mit den Turbinen bzw. den Pumpen herzustellen. Sie sind mit Verstärkungskragen, System Sulzer, ausgerüstet und haben ein Stückgewicht von je 30 t. Die zwei Druckstollenpanzerungen sowie die gesamte Druckleitungs- und Verteilungsanlage wird unter Ver-

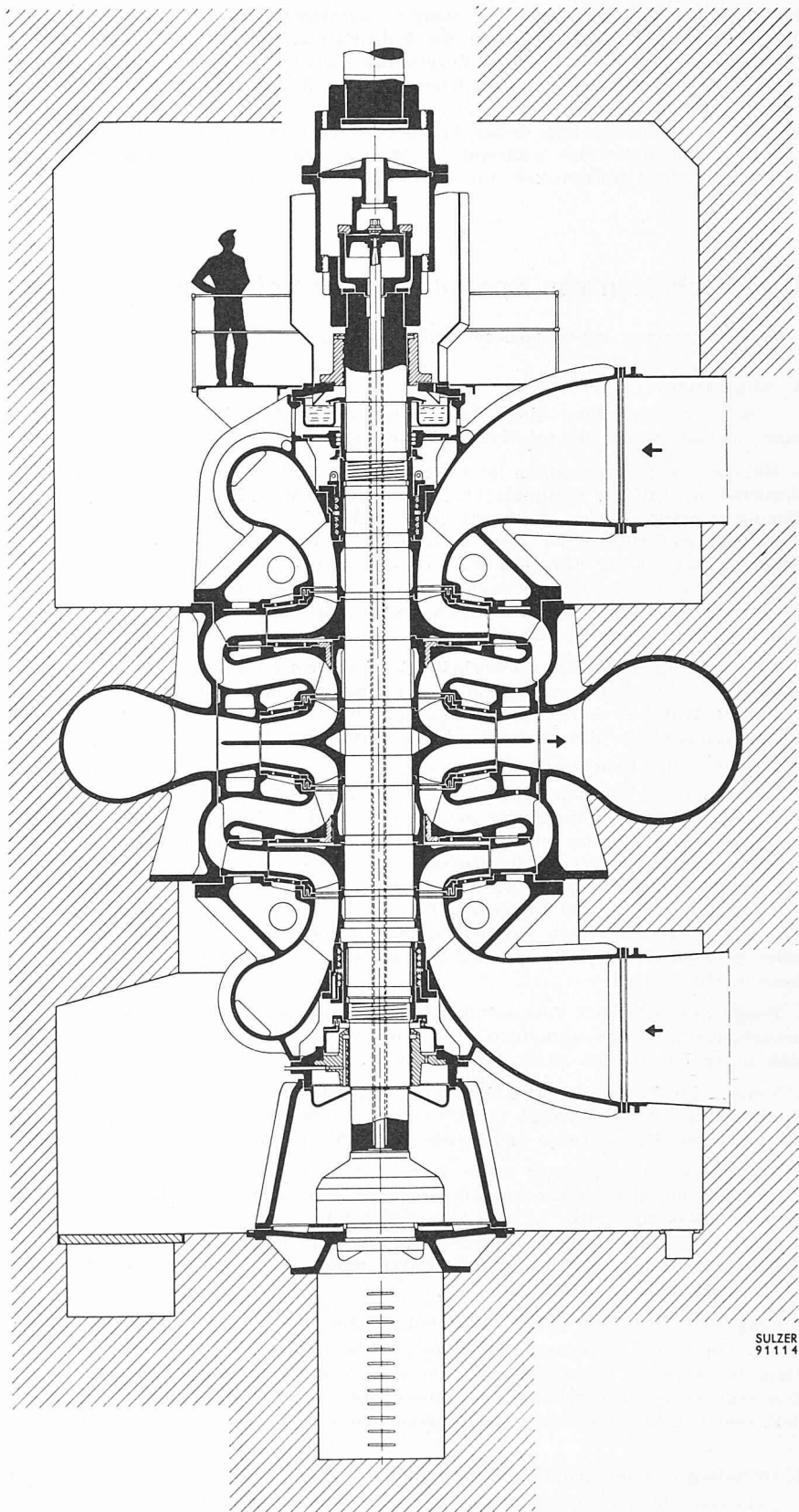


Bild 4. Schnitt durch die zweistufige Sulzer-Speicherpumpe, 1:75, gebaut für folgende Daten:

Laufreddurchmesser	2600 mm	Drehzahl	428 U/min
Liefermenge je Pumpe	21,1 m <sup>3</sup> /s	Leistungsbedarf je Pumpe	94 600 PS
Manom. Förderhöhe	305 m		

wendung eines hochfesten trennbruchsicheren Stahles, Qualität Coltuf 32, hergestellt. Damit wird dieser von Colvilles Ltd., Glasgow, hergestellte Stahl, den Gebrüder Sulzer bereits für verschiedene kontinentale Druckleitungen verarbeitet haben, auch im britischen Druckleitungsbau Einzug

halten. Die technischen Arbeiten werden ausschliesslich in Winterthur ausgeführt, während die Fabrikation und die Montage der Leitungen in enger Zusammenarbeit mit Sulzer Bros., Leeds (London), und der Firma Marshall & Anderson in Motherwell erfolgen. Das Pumpspeicherwerk Ffestiniog wird die erste Grossanlage dieser Art in England sein. Sie ist für einen Normalbetrieb während der Wintermonate vorgesehen, mit einer Betriebszeit zur Stromerzeugung von täg-

lich etwa viereinhalb Stunden an den fünf Werktagen. Der Pumpbetrieb dauert sechseinhalb Stunden während jeder der fünf Nächte. Schätzungsweise wird die jährliche Leistung der Anlage unter Einbezug der Erzeugung von zusätzlichem Notstrom rund 300 Mio kWh betragen. Die Zentrale wird dem ebenfalls gegenwärtig im Bau stehenden 275 kV Verteilernetz der Central Electricity Authority angeschlossen werden.

## Das Verhalten von Spannbetonquerschnitten zwischen Risslast und Bruchlast

Von M. Birkenmaier und W. Jacobsohn, dipl. Ingenieure, Zürich

DK 624.012.47.001.2

### 1. Allgemeines

Bei der Bemessung einer Spannbetonkonstruktion hat man normalerweise die folgenden Nachweise zu erbringen:

- Nachweis der Spannungen im Stahl und Beton unter Gebrauchslast, d. h. für minimale ( $M_{min}$ ) und maximale ( $M_{max}$ ) Beanspruchung. Dieser Nachweis ist sowohl für den Zustand bei Aufbringen der Vorspannkraft ( $t = 0$ ) als auch für den Endwert der Vorspannkraft ( $t = \infty$ ), unter Berücksichtigung von Kriechen und Schwinden des Betons, durchzuführen. Die Berechnung der Spannung erfolgt unter Zugrundelegung des homogenen Querschnittes.
- Nachweis einer sog. Rissesicherheit (S.I.A.-Norm Nr. 162), wobei die für Eigengewicht, minimale Vorspannung und 1,25fache Nutzlast ermittelte Randspannung die 0,5fache Biegezugfestigkeit des Betons nicht überschreiten darf.
- Nachweis der Bruchsicherheit.

Die von den Normen verlangten Nachweise beschränken sich also auf die Untersuchung des ungerissenen Zustandes und des Grenzzustandes beim Bruch. Dagegen wird der Zwischenbereich, bei welchem der Querschnitt gerissen ist und die Stahl- und Betonspannungen rascher anwachsen, nicht genauer untersucht. Die folgenden, für die Beurteilung des Tragverhaltens wichtigen Fragen, können jedoch nur bei einer genaueren Betrachtung auch dieses Zwischenbereiches beantwortet werden:

- Frage der teilweisen Vorspannung, d. h. es werden im Gebrauchszustand Zugspannungen im Beton zugelassen, wobei sich unter Umständen Risse bilden können.
- Frage des Einflusses der Festigkeitseigenschaften des Spannstahles, d. h. inwiefern verhält sich z. B. ein Stahl mit ausgeprägter Streckgrenze anders als ein Stahl ohne solche.
- Frage der Ueberlastung einer Spannbetonkonstruktion. Wenn z. B. durch irgendwelche Umstände ein Tragwerk momentan überlastet wird, können sich Risse bilden und der Stahl kann sich plastisch verformen. Dadurch geht ein Teil der Vorspannung verloren und damit ändert auch das Tragverhalten.
- Frage der Sicherheit gegen Ermüdungsbruch.

Nachfolgend sollen nun eine genaue Berechnung dieses Zwischenbereiches dargelegt und die aus dieser Rechnung sich ergebenden Konsequenzen an einigen Beispielen diskutiert und mit Versuchsergebnissen verglichen werden.

### 2. Grundlagen einer genauen Berechnung

Im Grunde genommen ist ein Spannbetonträger nichts anderes als ein Eisenbetonträger, in welchen künstlich eine Normalkraft eingeleitet worden ist. In der Eisenbetontheorie steht zur Berechnung auch für den Fall der Biegung mit Normalkraft die sogenannte  $n$ -Methode zur Verfügung. Es stellt sich hier die Frage, ob diese Methode auch zur zuverlässigen Beantwortung der oben skizzierten Probleme herangezogen werden kann, oder ob sie dafür in irgendeiner Weise modifiziert werden muss. Zu diesem Zweck ist es notwendig, dass wir uns die Grundlagen der  $n$ -Berechnung ins Gedächtnis rufen und einer kritischen Betrachtung unterziehen. Das  $n$ -Verfahren ist im wesentlichen auf den folgenden drei Voraussetzungen aufgebaut:

- die Querschnitte bleiben eben (= Bernoullische Hypothese) oder anders ausgedrückt: die spezifischen Dehnungen  $\epsilon$  sind über den verformten Querschnitt linear verteilt.
- die Zugfestigkeit des Betons wird nicht berücksichtigt.
- Beton und Stahl verhalten sich rein elastisch. Diese Eigenschaft wird charakterisiert durch die Elastizitätsmoduli  $E_c$  und  $E_b$  beider Baustoffe, bzw. durch deren Verhältnis  $n = \frac{E_c}{E_b}$  welches der ganzen Berechnungsweise den Namen gegeben hat.

Die erste dieser Voraussetzungen — das Ebenbleiben der Querschnitte — wurde in allen bisher bekannt gewordenen Versuchsergebnissen festgestellt, und zwar auch nach erfolgter Rissebildung [1].

Die Zugfestigkeit des Betons ist zweifellos zunächst in ihrer vollen Grösse vorhanden und wirksam. Infolge von sekundären Einwirkungen wie zum Beispiel Temperaturänderungen und Schwinden oder durch eine einmalige Ueberlastung des Tragwerkes kann sie jedoch aufgebraucht werden und ist danach auch im völlig unbelasteten Zustand nicht mehr vorhanden. Eine sichere und zuverlässige Beurteilung eines Tragwerkes darf die Zugfestigkeit des Betons somit nicht berücksichtigen.

Die ersten beiden Voraussetzungen des  $n$ -Verfahrens müssen also auch in eine genauere Berechnung mit übernommen werden. Anders dagegen verhält es sich mit der dritten Voraussetzung, nämlich derjenigen über das elastische Verhalten der Baustoffe: Es ist allgemein bekannt, dass die  $n$ -Methode die tatsächlichen Verhältnisse im Tragwerk nur dann gut erfasst, wenn die Beanspruchungen relativ gering sind, d. h. solange sowohl der Beton als auch der Stahl noch einigermaßen angenähert dem Hookschen Gesetz folgen. Danach wird sie immer ungenauer und versagt für die Beurteilung des Bruchzustandes vollkommen. Eine zuverlässige Erfassung des von uns gerade ins Auge gefassten Bereiches zwischen der Gebrauchslast und dem Bruchzustand ist somit nur möglich, wenn man die konstanten

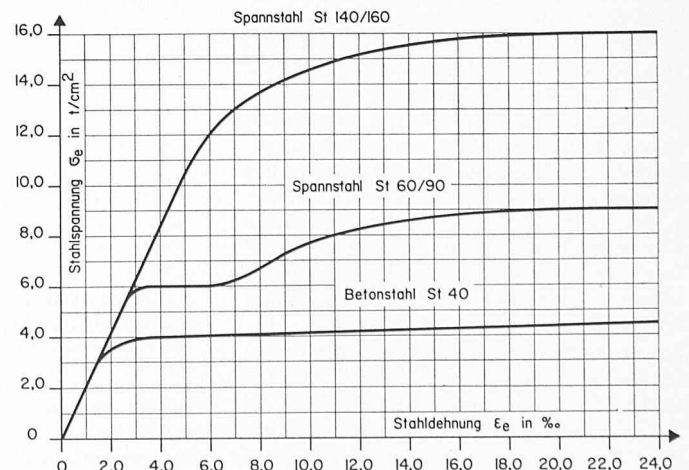


Bild 1. Spannungs-Dehnungs-Diagramm für Stähle