

# Wärmespeicherung mit Heisswasser

Autor(en): **Ruegg, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **85 (1967)**

Heft 14

PDF erstellt am: **04.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-69424>

## **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.

# Wärmespeicherung mit Heisswasser

Von Dr. sc. techn. R. Ruegg, Zürich

DK 662.995

Für Heizzwecke sind bekanntlich Warmwasser und Dampf die gebräuchlichsten Wärmeträger. Während industrielle Heizungen hauptsächlich mit Dampf betrieben werden, überwiegt bei der Raumheizung die Verwendung von Warmwasser mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 90 °C. Diese lässt sich dem jeweiligen Heizbedarf durch zentrale Regelung der Vorlauftemperatur anpassen. Seit einigen Jahrzehnten verwendet man für industrielle Heizungen neben Dampf immer mehr auch Heisswasser, also Wasser, dessen Vorlauftemperatur über 100 °C liegt und demzufolge unter höherem Druck steht. Dieses zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf; es dient also lediglich als Wärmeübertragungsmittel. Ein Entzug aus dem System für Gebrauchszwecke ist nicht zulässig.

Ein wichtiger Vorteil der Heisswasserheizung besteht darin, dass durch Einschaltung eines vertikalen Heisswasserbehälters zwischen Vor- und Rücklauf eine sehr wirkungsvolle Speicherung erzielt werden kann. Diese kommt dadurch zustande, dass sich im oberen Teil des Behälters heisses Wasser und im unteren kälteres Rücklaufwasser befindet, so dass dazwischen eine Trennschicht entsteht, die dauernd erhalten bleibt, da das heissere Wasser leichter ist und oben bleibt. Beim Laden eines solchen Schichtspeichers wird oben heisses Wasser zugeführt und unten kaltes Wasser entnommen; die Trennschicht senkt sich nach unten. Beim Entladen ist der Vorgang umgekehrt.

Die gespeicherte Wärmemenge ist um so grösser, je höher die obere Speichertemperatur und je tiefer die Rücklauftemperatur ist. Da diese meist durch die Verhältnisse beim Wärmeverbraucher mehr oder weniger gegeben ist, wählt man die obere Speichertemperatur möglichst hoch (meist 130 bis 180 °C).

In Bild 1 ist die Speicherfähigkeit von 1 m<sup>3</sup> Wasser in Abhängigkeit von den Temperaturen im Vorlauf und im Rücklauf dargestellt. Beträgt beispielsweise für ein Heisswassersystem die obere Speichertemperatur 190 °C und die Rücklauftemperatur 80 °C, so können im Heisswassergefäss pro m<sup>3</sup> Inhalt rd. 91000 kcal gespeichert werden. Vergleichsweise sei darauf hingewiesen, dass bei einem Dampfspeicher bei einer Drucksenkung von beispielsweise 13 atü auf 6 atü nur eine Wärmemenge von rd. 30000 kcal/m<sup>3</sup> entzogen werden kann.

Bild 2 zeigt ein vereinfachtes Schema einer Heisswasseranlage. Der im Kessel a erzeugte Dampf gelangt in den Kaskadenvorwärmer b, in welchem er kondensiert und dabei das von der Pumpe c kommende Rücklaufwasser erhitzt. Das so erwärmte Wasser (Vorlauf) gelangt über die Vorlaufpumpe d ins Heiznetz e und von hier über die Rücklaufleitung und teilweise über die Pumpe c zurück in den Kaskadenvorwärmer b, während die Rückspeisepumpe f den Rest des Rücklaufwassers in den Dampfkessel a zurückfördert.

Der Schichtspeicher g ist zwischen Vor- und Rücklauf eingeschaltet. Wenn die Pumpe c mehr Wasser fördert als das Heiznetz benötigt, wird der Speicher geladen, im umgekehrten Fall entlädt er sich. Die Pumpe c wird daher Ladepumpe genannt. Durch Verändern ihrer Liefermenge lässt sich der Speicher laden oder entladen. Eine Anzahl Fernanzeige-Thermometer in verschiedenen Höhenlagen orientieren über den Ladezustand.

Eine meist angewendete Regulierart besteht darin, dass ein Regulierventil h den Druck im Kaskadenvorwärmer und damit auch die Temperatur des die Kaskade verlassenden Heisswassers konstant hält. Wird nun im Dampfkessel mehr Wärme zugeführt als das Heiznetz benötigt, so lädt sich der Speicher auf.

Eine weitere allerdings seltener angewendete Reguliermöglichkeit ergibt sich, wenn das Ventil h von Hand oder in Abhängigkeit von einer anderen Grösse beeinflusst wird. In diesem Fall wird die Feuerung durch den Druck im Dampfkessel bzw. in der Kaskade gesteuert, indem bei sinkendem Druck die Feuerung verstärkt und bei steigendem Druck vermindert wird.

Bei den gezeigten Schaltungen strebt man im allgemeinen danach, den Speicher in geladenem Zustand zu halten, um im Falle von Störungen, z.B. bei Ausfall der Feuerung, den Heizbetrieb einige Zeit weiterführen zu können.

Eine bauliche Vereinfachung ist möglich, indem der Kaskadenvorwärmer b und der Schichtspeicher g gemäss Bild 3 in einem Apparat vereinigt werden. Dies ist die üblichste Ausführungsart.

Wenn in einem wärmeverbrauchenden Betrieb neben dem Heisswasser auch ein Dampfnetz vorhanden ist, so kann ein Heisswasser-Schichtspeicher zusätzlich zur Pufferung des Dampfnetzes benützt werden. In Bild 3 oben ist schematisch der Dampfverbraucher k eingezeichnet. Wenn dieser plötzlich mehr Dampf benötigt, sinkt der Druck in der Leitung und damit auch in der Kaskade b. Das Ventil h schliesst und die Kaskade benötigt weniger Dampf. Bei fallender Dampfentnahme durch k steigt der Druck in der Kaskade, das Ventil h öffnet und die Kaskade b erhält mehr Dampf; der Speicher lädt sich auf, während der Kessel a mit angenähert gleicher Last weiterarbeitet. Die Möglichkeit, durch einen Heisswasserspeicher auch indirekt ein Dampfnetz zu puffern, besteht nur dort, wo sowohl Dampf- wie auch Heisswasserverbraucher vorhanden sind. Sie erlaubt die Anwendung einer trägen Kesselfeuerung (z.B. Kohlenfeuerung).

Für die beschriebene Anordnung ist es zweckmässig, den Speicher nie vollständig aufzuladen, sondern je nach Verhältnissen nur zu etwa 1/2 bis 3/4, damit eine Puffermöglichkeit in beiden Richtungen besteht.

Heisswasserspeicher eignen sich auch ganz besonders für die Speicherung von Überschussenergien. Häufig fallen in industriellen Betrieben beträchtliche Mengen brennbarer Abfälle wie Papier, Holz und dgl. an, so dass neben normalen ölf Feuernden Kesseln die Aufstellung eines Abfallkessels angezeigt ist. Auch steht unter Umständen zu gewissen Zeiten elektrische Überschussenergie zur Verfügung, zu deren Verwertung sich besonders der Kaskaden-Elektrodampfkessel eignet<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Beschreibung s. SBZ 1957, H. 16, S. 229, speziell Bilder 12 und 13 S. 234

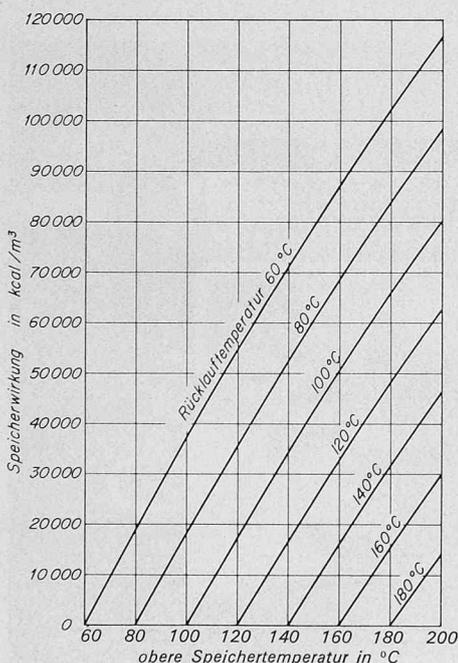


Bild 1. Speicherfähigkeit pro m<sup>3</sup> Heisswasser in Abhängigkeit von den Heisswassertemperaturen

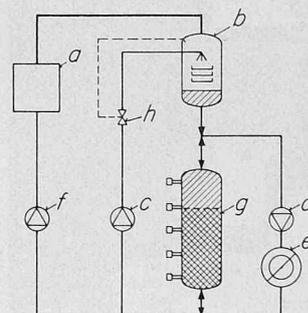


Bild 2. Prinzipschema einer Heisswasseranlage

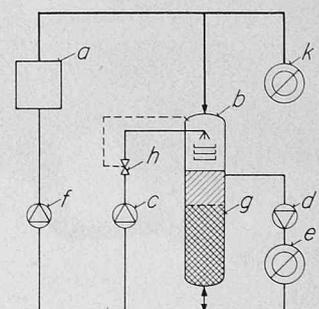


Bild 3. Prinzipschema einer Heisswasseranlage mit Dampfverbraucher

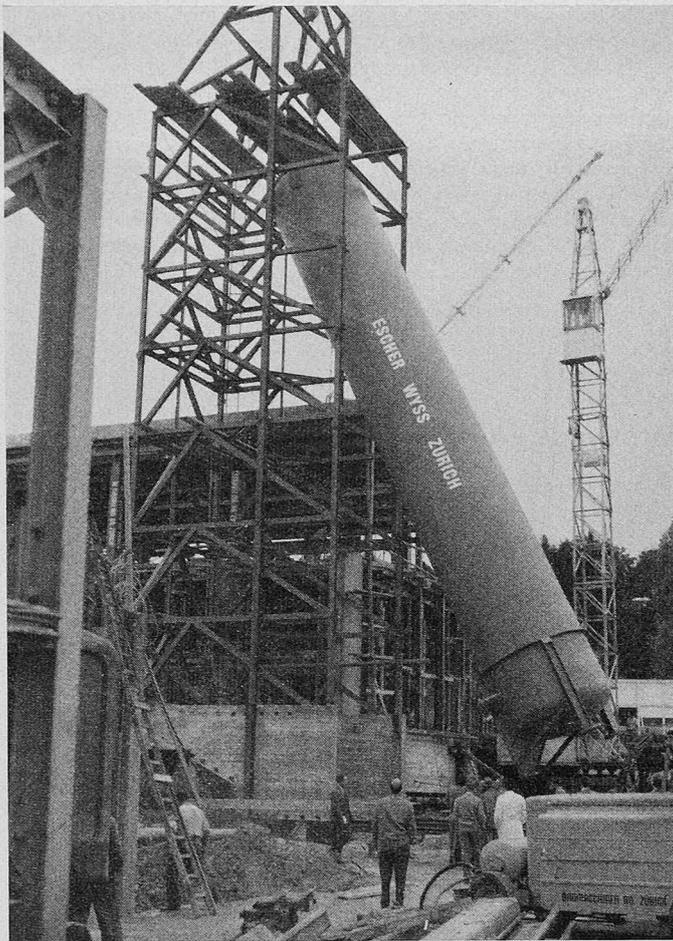


Bild 6. Montage eines Heisswasserspeichers von 130 m<sup>3</sup> bei 13 atü Arbeitsdruck

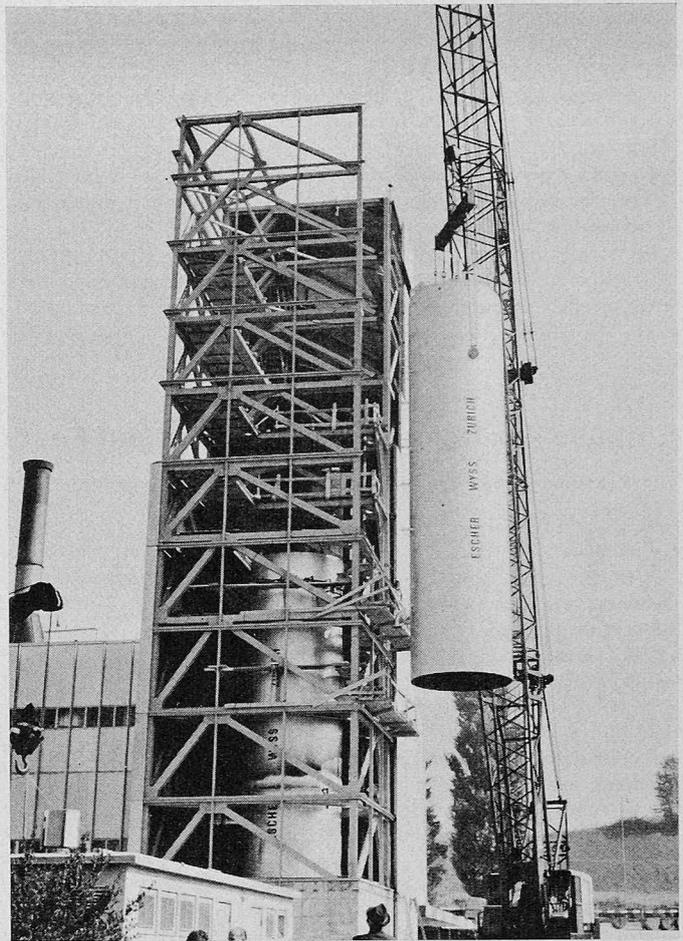


Bild 7. Montage eines Heisswasserspeichers von 208 m<sup>3</sup> bei 13 atü Arbeitsdruck

Im Schema Bild 4 ist neben dem normalen ölgefeuerten Dampfkessel a ein Abfallkessel bzw. ein Elektrokessel a<sub>1</sub> vorgesehen. Anstelle des Kaskaden-Vorwärmers ist in diesem Fall ein Heizflächen-Wärmeaustauscher b<sub>1</sub> vorhanden. Demzufolge ist für das Heisswassersystem noch ein Expansionsgefäss m nötig.

Wo auf den Ausfall der Speicherwirkung während Revisionen nicht verzichtet werden kann, stellt man zwei Speicher g<sub>1</sub> und g<sub>2</sub> auf. Die Schaltung ist so getroffen, dass die beiden Speicher im normalen Betrieb in Serie arbeiten. Es kann aber auch einer von ihnen ausser Betrieb genommen werden. Anlagen nach diesem Schema lassen sich leicht dadurch erweitern, dass man einen weiteren Speicher zuschaltet. Bei Anlagen mit kombinierten Speichern nach Bild 3 kann die Zuschaltung etwas komplizierter nach Bild 5 vorgenommen werden. Dabei ist der zweite Speicher g<sub>2</sub> ebenfalls mit Kaskade ausgerüstet und ausserdem höher als der erste. Die Schaltung ist so getroffen, dass jeder Speicher einzeln betrieben werden kann, oder aber dass beide Speicher in Serie arbeiten können. In diesem Falle ist der Kaskaden-Raum des Speichers g<sub>1</sub> vollständig mit Wasser gefüllt.

Um Verdampfungserscheinungen in der Pumpe d zu vermeiden, sieht man mit Vorteil eine Leitung n mit einem Regulierorgan o vor, so dass dem Vorlaufwasser etwas kaltes Rücklaufwasser beigemischt und dadurch die Temperatur des Vorlaufwassers vor dem Eintritt in die Heisswasser-Pumpe ein wenig gesenkt werden kann.

Bei der Heisswasser-Erzeugung mittels Kaskade reichert sich das Kesselwasser allmählich mit Salzen an, während das Heisswasser immer salzärmer wird. Da aber Kondensat korrodierend auf das Eisen wirkt, namentlich wenn sich darin noch Sauerstoff und Kohlensäure befinden, ist es nötig, das Heisswasser zu alkalisieren, indem eine Entsalzungspumpe p (Bild 5) dauernd salzreiches Kesselwasser über die Leitung q in die Kaskade fördert.

In der Kaskade wird das Rücklaufwasser praktisch auf Siedtemperatur gebracht und somit auch entgast. Die Kaskade muss daher mit einer Entlüftung versehen werden. Auf diese Weise erzielt man eine gute Entgasung des Heisswassersystems.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass kombinierte Heisswasserspeicher folgende vier Aufgaben erfüllen: 1. Wärmespeicherung,

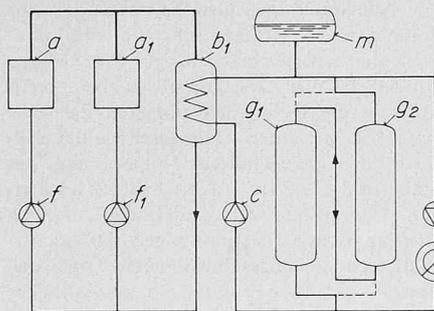


Bild 4. Prinzipschema einer Heisswasseranlage mit ölgefeuerten Kessel a, Abfallkessel a<sub>1</sub>, Wärmeaustauscher b<sub>1</sub> und zwei Speichern g<sub>1</sub> und g<sub>2</sub>

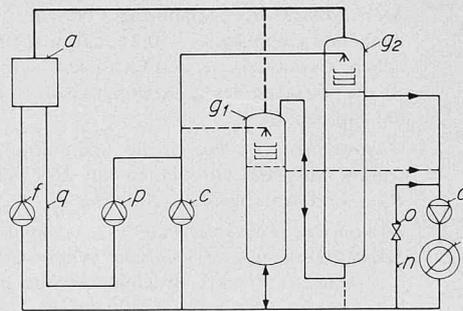


Bild 5. Prinzipschema einer Heisswasseranlage mit zwei mit Kaskaden ausgerüsteten Speichern g<sub>1</sub> und g<sub>2</sub>

- a Dampfkessel
- a<sub>1</sub> Zusatzkessel für Abfallverfeuerung
- b Kaskadenvorwärmer
- b<sub>1</sub> Heizflächen-Wärmeaustauscher
- c Rücklauf-Ladepumpe
- d Vorlauf-Pumpe
- e Wärmeverbraucher
- f Speisepumpe zu a
- f<sub>1</sub> Speisepumpe zu a<sub>1</sub>
- g Schichtspeicher
- g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub> hintereinander geschaltete Schichtspeicher
- h Regulierventil
- k Dampfverbraucher
- m Expansionsgefäss
- n Rücklaufleitung
- o Regulierorgan zu n
- p Entsalzungspumpe
- q Leitung zu p

2. Heisswassererzeugung, 3. Wirkung als Expansionsgefäss, 4. Entgasung des Heisswassersystems. Von den Vorteilen einer wirkungsvollen Speicheranlage seien erwähnt:

1. Im Falle einer Störung in der Feuerung oder an den Armaturen kann während einer bestimmten Zeit weiterhin Wärme geliefert werden.
2. Der meist geringe Wärmebedarf in der Nacht lässt sich durch den Speicher decken, so dass der Dampfkessel abgestellt und Bedienungspersonal eingespart werden kann.
3. Es ist auch möglich, den Dampfkessel im Wirkungsgrad-Bestpunkt arbeiten zu lassen und ihn nach erfolgter Aufladung des Speichers abzustellen, wodurch sich Brennstoff-Einsparungen erzielen lassen.
4. Bei Nutzbarmachung von Überschusswärme (Abfallkessel oder

Elektrokessel) ist es möglich, den Unterschied zwischen Anfall und Bedarf auszugleichen.

Wegen diesen Vorteilen gehen immer mehr Betriebe, die über eine Heisswasserheizung verfügen, dazu über, einen Heisswasserspeicher einzubauen oder bestehende Speicheranlagen zu vergrössern. Die Firma Escher Wyss hat neuerdings Speicher mit Gesamtvolumen je Apparat bis 208 m<sup>3</sup> geliefert. Dass sich dabei interessante Transport- und Montageprobleme ergeben, ist aus den Bildern 6 und 7 zu sehen. Bild 7 zeigt einen Speicher von 208 m<sup>3</sup> und 13 atü Arbeitsdruck bei der Montage. Dieser musste an Ort und Stelle fertig geschweisst werden.

Adresse des Verfassers: Dr. R. Rugg, Escher Wyss AG, Hardstrasse 319, 8005 Zürich.

## Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf Festigkeitswerte von Armierungstählen

Von P. Lampert, dipl. Ing., A. Wegmüller, dipl. Ing., und Prof. Dr. B. Thürlimann, Institut für Baustatik, ETH, Zürich DK 620.172:691.873

### 1. Einleitung

Es ist schon lange bekannt, dass die Dehngeschwindigkeit bei Zugversuchen an Stahl-Prüfstäben einen bedeutenden Einfluss auf die Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit hat. Entsprechende systematische Versuche mit qualitativen Angaben für Baustähle sind z. B. in [1] und [2] zu finden. Im besonderen wird dort gezeigt, dass die Resultate aus konventionell durchgeführten Werk- und Laboratoriums-Versuchen im allgemeinen bis 15% über den entsprechenden statischen Werten liegen. Andererseits ist bekannt, dass diese konventionellen Versuchsergebnisse bis zu 25% unter den Festigkeitswerten liegen, die bei explosionsartig aufgebracht Belastung erzielt werden (siehe z. B. [3]).

Bei der Auswertung von statischen Versuchen an Bauteilen aus Stahl, Stahlbeton und Spannbeton stellt sich die Frage, welche Festigkeitswerte für die Stähle zu verwenden sind. Solche Versuche werden im allgemeinen nicht mit einer konstanten Dehngeschwindigkeit durchgeführt. Im elastischen Bereich ist es durchaus angebracht, auf einer gewählten Belastungsstufe die Last konstant zu halten, um die notwendigen Ablesungen vorzunehmen. Hingegen ist es im unelastischen Bereich viel zweckmässiger, auf einer Belastungsstufe eine bestimmte Verformungsgrösse (z. B. die Durchbiegung) konstant zu halten. Es können dann in aller Ruhe die Beobachtungen gemacht werden. Während dieser Zeit sinkt jedoch die Pressenkraft auf einen statischen Wert ab, der sich relativ rasch, d. h. innerhalb von zwei bis fünf Minuten stabilisiert. Selbstverständlich sind dabei langdauernde Kriechvorgänge nicht erfasst. Zur Auswertung der entsprechenden Versuchsergebnisse sind daher die statischen Festigkeitswerte der Materialien, insbesondere der Stähle notwendig.

Schliesslich werden diese Werte auch zur Berechnung der Tragfähigkeit von Bauteilen und Bauwerken benötigt, die durch statische Lasten beansprucht sind.

Aus diesen Gründen wurde vom Institut für Baustatik, Abt. Massivbau, eine Versuchsreihe mit vier in der Schweiz verwendeten Armierungstahlsorten durchgeführt. Erstens galt es, den Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf die Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit festzustellen. Zweitens sollte durch Vergleich die ungefähre Abweichung

zwischen den statischen Werten (Dehngeschwindigkeit null) und solchen aus konventionellen Routine-Prüfungen festgestellt werden.

### 2. Definitionen

Es werden die folgenden Begriffe gebraucht:

*Messstrecke*  $l_0$ : Ursprüngliche Länge des Abschnittes eines Prüfstabes, über den die Längenänderung  $\Delta l_0$  gemessen wird.

*Einspannlänge*  $l_e$ : Ursprüngliche Länge des Prüfstabes zwischen den Einspannbacken der Prüfmaschine. Die an den Prüfstäben angebrachten konischen Verbreiterungen oder angeschweissten Schrauben werden zu den Backen gezählt.

*Jochgeschwindigkeit*  $v_j$ : Distanzänderung  $\Delta l_e$  der Einspannbacken pro Zeiteinheit  $dt$ .

$$v_j = \frac{d}{dt} (\Delta l_e)$$

*Dehngeschwindigkeit*  $\dot{\epsilon}_e$ : Durch die Einspannlänge  $l_e$  dividierte Jochgeschwindigkeit  $v_j$ .

$$\dot{\epsilon}_e = \frac{v_j}{l_e} = \frac{1}{l_e} \frac{d}{dt} (\Delta l_e)$$

*Effektive Dehngeschwindigkeit*  $\dot{\epsilon}_0$ : Durch die Messstrecke  $l_0$  dividierte Längenänderung  $\Delta l_0$  der Messstrecke pro Zeiteinheit  $dt$ .

$$\dot{\epsilon}_0 = \frac{1}{l_0} \frac{d}{dt} (\Delta l_0) = \frac{d\epsilon_0}{dt}$$

*Fließspannung*  $\sigma_f$ : Spannung, bei der die Belastung trotz zunehmender Dehnung erstmals konstant bleibt. Diese Grenze tritt nur bei naturharten Stählen auf.

*Streckgrenze*  $\sigma_s$ : Spannung, bei der die bleibende Dehnung  $\epsilon_0 = 0,2\%$  der ursprünglichen Messstrecke  $l_0$  beträgt. Diese Grenze ist die «Ersatz-Fließgrenze» bei kaltverformten Stählen.

*Zugfestigkeit*  $\beta_z$ : Nominelle Spannung, bestimmt aus dem Quotienten aus Höchstlast  $P_{max}$  und Anfangsquerschnitt  $F_0$ .

*Dynamische Fließspannung*  $\sigma_{fa}$ , *dynamische Streckgrenze*  $\sigma_{sa}$ , *dynamische Zugfestigkeit*  $\beta_{za}$ : Fließ-, Streck-, Bruchgrenze bei einer bestimmten, von null verschiedenen Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_0$ .

*Statische Fließspannung*  $\sigma_{fs}$ , *statische Streckgrenze*  $\sigma_{ss}$ , *statische Zugfestigkeit*  $\beta_{zs}$ : Fließ-,

Streck-, Bruchgrenze bei der Dehngeschwindigkeit  $\dot{\epsilon}_0 = +0$ .

*Hydraulische Prüfmaschine*: Die Belastung wird durch eine hydraulische Presse erzeugt. Die Kraft kann aus dem hydraulischen Druck oder aus einem speziellen Dynamometer hergeleitet werden. Im allgemeinen eignen sich solche Maschinen nicht, um konstante Dehngeschwindigkeiten über dem gesamten Prüfbereich einhalten zu können.

*Mechanische Prüfmaschine*: Die Bewegung der Einspannjoche erfolgt mechanisch, normalerweise durch gegenläufiges Drehen von zwei Spindeln. Ist die Maschine starr gebaut, so lassen sich durch die Steuerung der Spindeldrehzahl entsprechende Dehngeschwindigkeiten einstellen, die über den ganzen Prüfbereich konstant sind. Die Kraftmessung erfolgt mittels eines Dynamometers.

### 3. Versuchsplanung

Um den Einfluss der Dehngeschwindigkeit auf die Fließspannung, Streckgrenze und Zugfestigkeit von Armierungstählen schweizerischer Provenienz zu erfassen, wurden Zugversuche auf einer mechanischen Prüfmaschine vorgesehen. Als einziger Parameter wurde die Dehngeschwindigkeit gewählt. Es wurden vier in der Schweiz gebräuchliche Armierungstähle verwendet, nämlich:

(B) Box-Stahl,  $\varnothing$  12 mm, naturhart

(C) Caron-Stahl, Caron-Abmessung 10,9 mm, kaltverformt

(R) Roto-Stahl,  $\varnothing$  12 mm, kaltverformt

(T) Tor-Stahl 42,  $\varnothing$  12 mm, kaltverformt

(Die Buchstaben in Klammern bedeuten die im folgenden verwendeten Abkürzungen)

Alle Stähle einer Gruppe weisen die selbe nominelle Querschnittsfläche auf und stammen aus der gleichen Charge. Pro Gruppe wurden 10 Prüfstäbe geprüft, wobei jeweils für zwei die Dehngeschwindigkeit die selbe war. Die geplanten Dehngeschwindigkeiten sowie die dazugehörige Numerierung der Stäbe sind aus Tab. I, Kol. 1 und 2, ersichtlich. Der grösste Wert entspricht der nach amerikanischen Bestimmungen [4] höchstzulässigen Dehngeschwindigkeit für den Fließbereich (bei Prüfung mit mechanischer Maschine). Die Dehngeschwindigkeit wurde je Stab während des ganzen Versuches konstant gehalten. Somit konnte zu jeder Geschwindigkeit ein dazu gehörendes Spannungs-