Wasserführende Stahlkonstruktion für Hochregallager

Autor(en): **Maurer, Alfred**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 20

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75459

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Wasserführende Stahlkonstruktion für Hochregallager

Von Alfred Maurer, Luzern

Hochregallager werden heute in verschiedensten Industriezweigen eingesetzt. Für deren Konstruktion bietet die Stahlbauweise einige Vorteile, da mit Hohlprofilen das Lagergestell, die Heizung und der Brandschutz im selben Element ausgebildet werden kann. Bekannt sind ausgeführte Bauten mit eckigen Hohlprofilen. Im vorliegenden Artikel zeigt der Autor eine Vereinfachung mittels Stahlrohren, die sowohl für Gestellrahmen als auch für Palettenträger verwendet werden können.

Trend zu Hochregallager

Die neuzeitliche Technik der Warenlagerung ist noch keine zwanzig Jahre alt und verzeichnet einen Vormarsch, der nur mit der Wirtschaftlichkeit und Übersichtlichkeit dieser neuen Methode verständlich ist. Lagerhäuser der früheren Konzeption waren einstöckige Flächenlager oder Lagerhäuser mit verschiedenen Stockwerken. Mit den zunehmend *grösseren Lagerhaltungen* wurde diese Art der Lagerhaltung zu arbeitsintensiv und zu unübersichtlich. Bedenkt man, dass bei Stockwerklagern die Vertikaltransporte mit Warenlifts für die Ein- und Auslagerungskapazität massgebend sind, so wird verständlich, dass derartige Anlagen nur für beschränkte Warenumsätze und Warenvolumen verwendbar sind. Dasselbe gilt für Flächenlager, bei denen der Weg der Horizontal-Tansporte bei grösseren Warenlagern unverhältnismässig gross wird.

Das Hochregallager ist nicht als Lagerhaus, sondern als *Lagermaschine* anzusprechen, bei der die Lagergestelle und die Lagerbedienungsgeräte die Hauptrolle spielen. Die Lagergestelle (Bild 1–3) bilden das statische Gerüst des Lagers, an das die Fassadenkonstruktion wie auch das Flachdach befestigt werden. Solche Anlagen können in beliebiger Grösse erstellt werden, was aber ein sehr grosses Volumen zur Folge hat, so dass von der Brandgefahr her Bedenken angebracht sind. Ein Lager mit beispielsweise 10 000 Pool-Paletten erfordert einen umbauten Raum von etwa 45 000 m³. Solche Dimensionen ergeben schwer zu bewältigende Probleme für die *Beheizung bzw. Kühlung* und, wie schon erwähnt, für die *Brandsicherheit*.

Konstruktion der Lagergestelle

Für die Realisierung von *Hochregallagern* haben wir folgende baulichen Möglichkeiten:

- Ausführung der Lagergestelle in Walzprofilen
- Ausführung der Lagergestelle in Beton, wobei die Palettenträger in Walzprofilen ausgeführt werden
- Ausführung der Lagergestelle in Hohlprofilen
- Ausführung der Lagergestelle in Rohren.

Lagergestelle in Walzprofilen

Diese Ausführungsart ist wohl *noch die häufigste;* sie ist auch wirtschaftlich. Das geringe Gewicht der Gebäudekonstruktion erleichtert die Fundationsarbeiten, da dieses in der Regel nur etwa 15% des Gewichtes der eingelagerten Ware ausmacht. *Beheizen* kann man nur mit kleinen Heizflächen, was hohe Vorlauftemperaturen bedingt. Die *Brandsicherheit* ist trotz der Sprinkleranlage problematisch, denn bei Stahltemperaturen von über 600 °C ergeben sich Festigkeitsverluste. Am meisten gefährdet sind die Palettenträger infolge der kleinen Dimensionen, denn wenn diese zusammenbrechen, kann die Sprinkleranlage infolge von Rohrbrüchen ausfallen.

Lagergestelle in Beton

Auch bei Lagergestellen in Beton werden die Palettenträger mit Walzprofilen ausgeführt. Diese Konstruktion wird heute vermehrt angewandt im Hinblick auf die Feuersicherheit, welche auch hier problematisch ist. Solche Lager werden ausgeführt:

- mit Gleitschalung
- mit Steigschalung
- im Elementenbau

Das *Gewicht* der Gebäudekonstruktion entspricht ungefähr dem Gewicht der eingelagerten Ware, was sich auf die Fundation auswirkt. Für die *Beheizung*

Bild 1. Stahlrahmen mit Wassereinspeisung. Grundriss

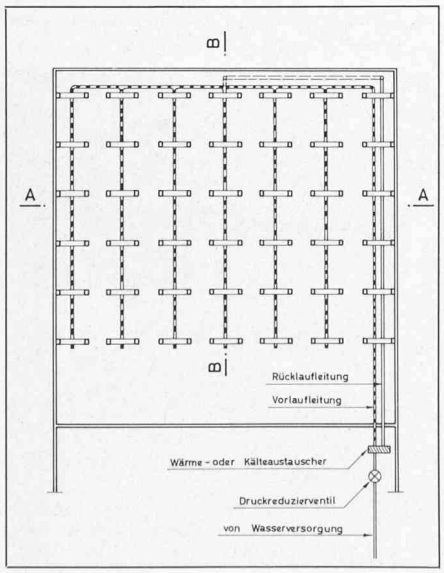


Bild 2. Stahlrahmen mit Wassereinspeisung. Schnitt A-A

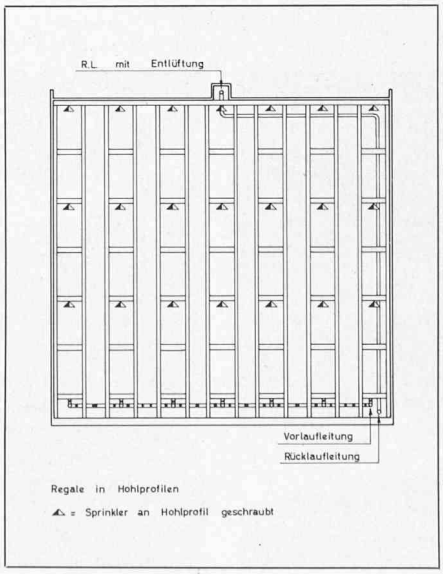
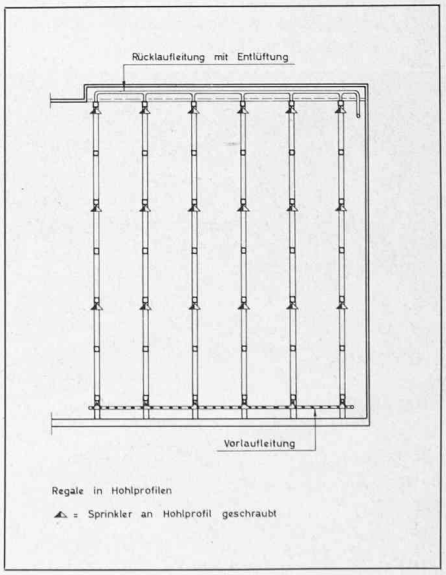


Bild 3. Stahlrahmen mit Wassereinspeisung. Schnitt B-B



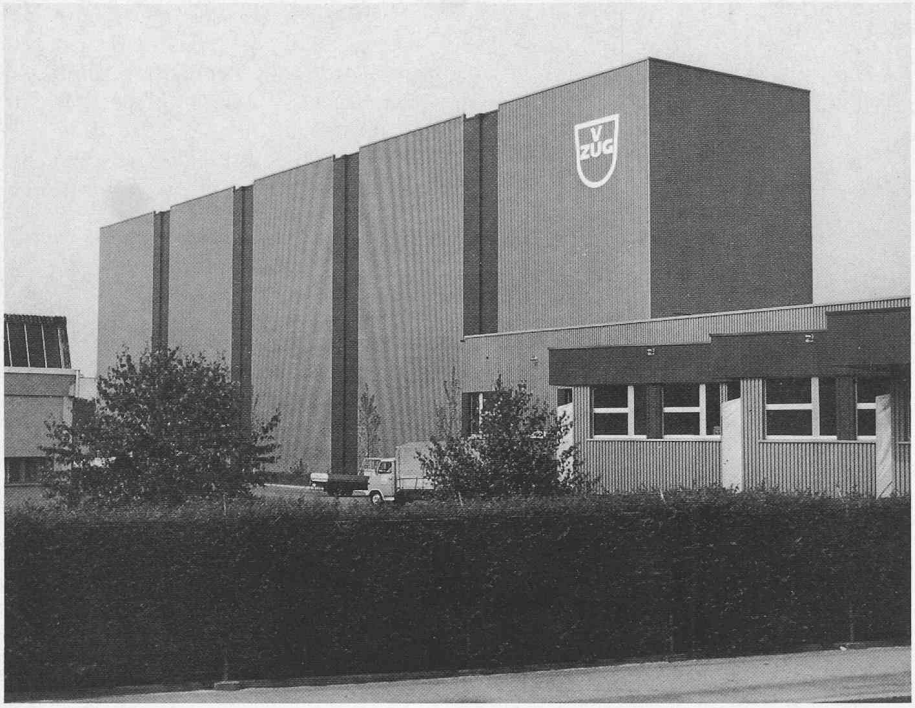


Bild 4. Hochregallager der Verzinkerei Zug

gilt dasselbe, wie unter Lagergestellen in Walzprofilen angeführt wurde. Durch die Betonwände der Lagergestelle ist eine Unterteilung in *kleinere Brandabschnitte* gegeben, was zur Lokalisierung des Brandes führen kann. Fraglich ist die Standfestigkeit der vertikalen Stahlbeton-Konstruktion gegen Hitze, wenn man bedenkt, dass die Armierung nur etwa 1,5 cm unter der Betonoberfläche liegt. Da die Palettenträger in der Regel aus leichten Walzprofilen sind, gilt hier dieselbe Feststellung wie bei den Lagergestellen aus Walzprofilen.

Lagergestelle aus Hohlprofilen

Beispiele für Hochregallager mit rechteckigen Hohlprofilen sind:

- Amstutz-Produkte in Eschenbach/LU
- Verzinkerei Zug (Bild 4)
- Ciba-Geigy, Lager Pfersee bei Augsburg.

Die Lagergestelle werden aus Hohlprofilen vorfabriziert und entsprechend den Bildern 1, 2 und 3 montiert. Über ein Druckreduzierventil wird die Tragkonstruktion *an das Leitungsnetz der Wasserversorgung* angeschlossen. Die Vorlaufleitung speist die Rahmen *von unten* an, wodurch die Tragkonstruktion unter dem erforderlichen Druck steht, um die Sprinkler bedienen zu können. Die *Sprinklerdüsen* werden direkt an die Rahmen angeschlossen, so dass infolge der grossen Querschnitte der Hohlprofile die auftretenden geringen Reibungsverluste vernachlässigt werden können.

Das Öffnen von Sprinklerdüsen (Bild 5a) über einem Brandherd ergibt einen *Wasserzufluss durch die Hohlprofile* von unten her. So werden die Hohlprofile gekühlt und laufen nicht Gefahr, an Festigkeit zu verlieren. Das ganze Verteilnetz zu den Sprinklerdüsen entfällt, was zu Einsparungen führt.

Über die Dachträger, die mit Rohrbogen an die Rahmen angeschlossen werden (Bild 5b), kann das Wasser in die Sprinklerzentrale zurückgeführt werden. Dort wird ein Wärme- oder Kälteaustauscher eingesetzt, um das Wasser auf die gewünschte Temperatur zu bringen. Wie bei einer Zentralheizung wird die Zirkulation mit einer Umlaufpumpe bewerkstelligt.

Die Erfahrung bei den erwähnten drei Lagern hat gezeigt, dass mit *Vorlauftemperaturen* von 22–26 °C die Lagertemperatur im Winter auf 15 °C gehalten werden kann.

Infolge der grossen, im ganzen Lager gleichmässig verteilten Heizflächen sind die gemessenen Temperaturunterschiede bei Lagerhöhen von 25 m nur etwa 2 °C. Pro m² umbauter Raum ergeben sich etwa 0,30 m² Heizfläche. Da bei konventionellen Lagern die Temperaturdifferenzen 5–7 °C von unten nach oben betragen, und da infolge der geringen Heizflächen mit hohen Vorlauftemperaturen beheizt wird, ergeben sich auch höhere Heizkosten.

Schwachstellen dieser Ausführungsart sind die in Walzprofilen ausgeführten Palettenträger, wie dies bereits erwähnt wurde bei der Ausführung in Walzprofilen und Beton. Infolge der hohen Kosten und der Erschwerung in der Montage musste eine Ausführung der Palettenträger in Hohlprofilen fallengelassen werden.

Aus den Bildern 1–3 ist das Funktionieren von Heizung und Feuerschutz ersichtlich. Die Einspeiseleitung von der Wasserversorgung kann beliebig hohen Druck haben, denn durch ein *Druckre-*

Bild 5a. Anschluss der Sprinklerdüsen an Hohlprofil (Werkphoto Total Walther Feuerschutz GmbH, Köln)

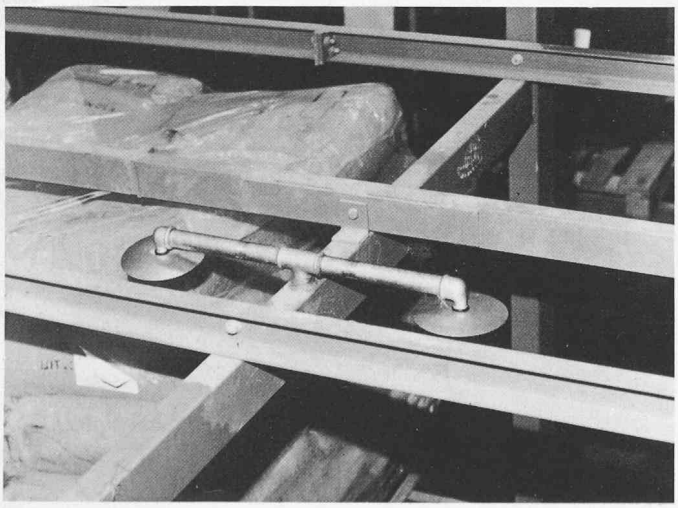


Bild 5b. Rohrverbindung von den wasserführenden Vertikal-Rahmen zu den Dachträgern (Werkphoto Total Walther Feuerschutz GmbH, Köln)



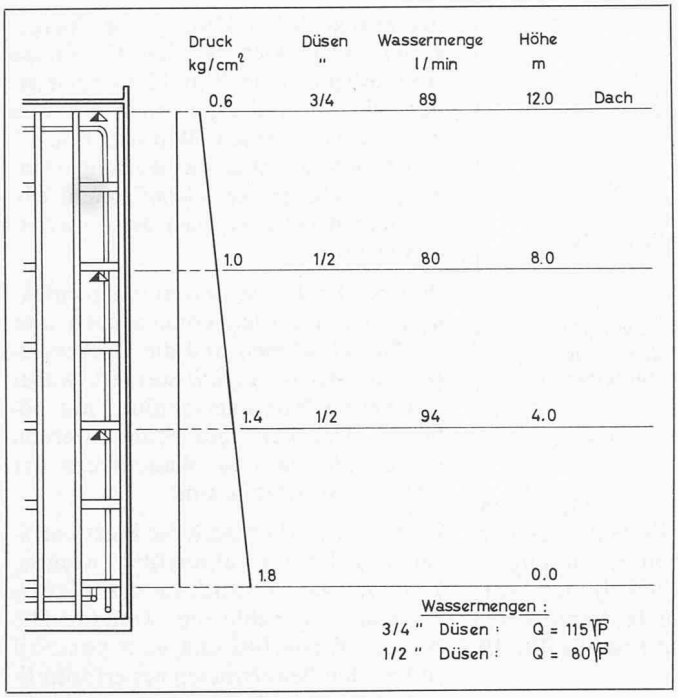


Bild 6 (links). Leistung der Sprinklerdüsen

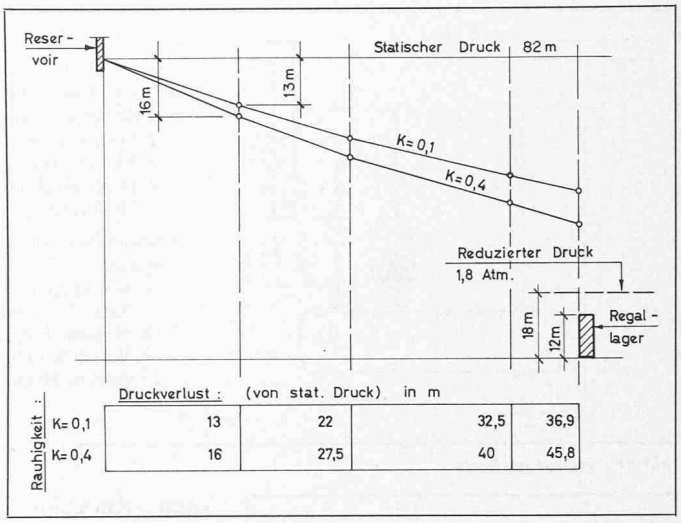


Bild 7 (oben). Druckdiagramm bei max. Löschwassermenge

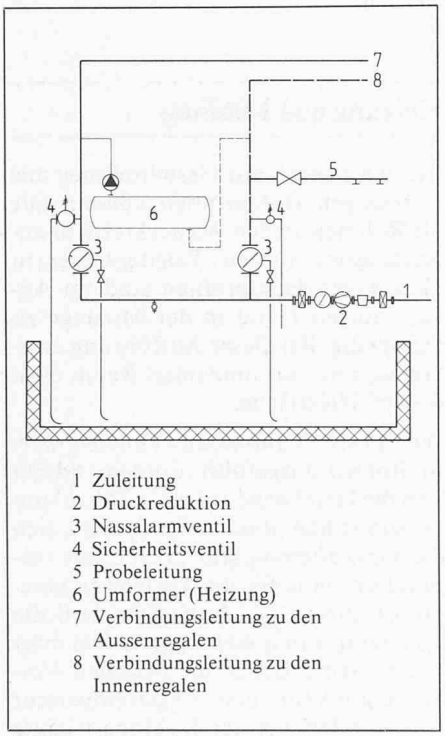


Bild 8 (oben). Sprinklerzentrale

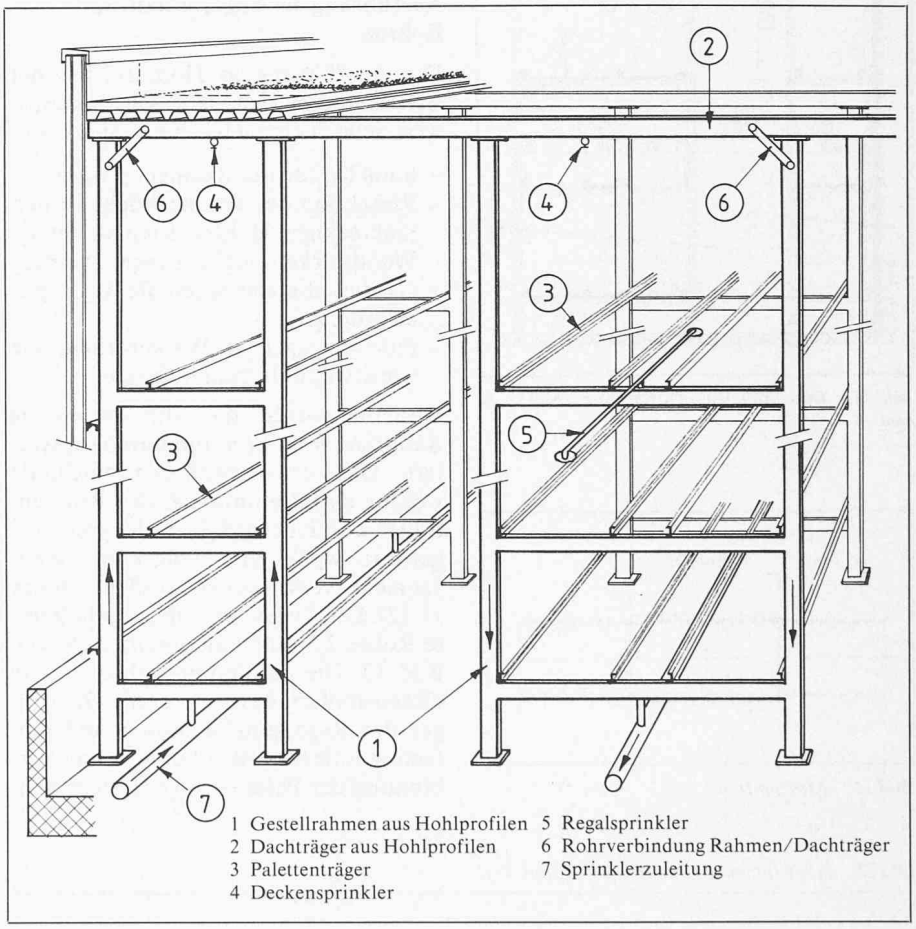
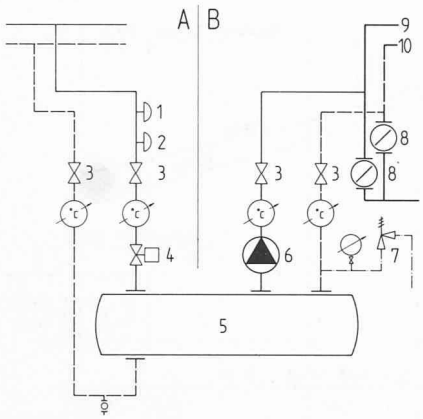


Bild 9 (rechts). Regalkonstruktion

duzierventil wird er so herabgemindert, dass die viereckigen Hohlprofile nicht ausbauchen können. Bild 6 zeigt an einem Beispiel, dass der Druck auf 1,8 bar reduziert wurde. Bei dem 12 m hohen Lager erhalten die Deckensprinkler noch 0,6 bar, was bei einem ¾"-Sprinkler eine Wassermenge von 89 l/min ergibt, vgl. Bild 7. Aus Bild 5a ist die Anordnung von Sprinklerdüsen ersichtlich, die durch Rohrverbindungen an der Stahlkonstruktion angeschlossen sind.

Nach dem Druckreduzierventil wird eine *Sprinklerzentrale* eingebaut, wie sie schematisch aus Bild 8 ersichtlich ist.

Die mit Wasser gefüllten Hohlprofile der Gestellrahmen werden durch *flexible Rohrverbindungen* an die Deckenträger angeschlossen, die ebenfalls aus viereckigen Hohlprofilen bestehen (Bilder 5, 9). Die Dachträger sind durch eine Rücklaufleitung verbunden, so dass das Wasser in den Gestellrahmen und Dachträgern wie bei einer Zentralheizung in Umlauf gebracht werden



A Primärkreislauf Heizung/Umformer
1 Sicherheitsthermostat
2 Vorlauffühler
3 Keilschieber
4 Durchgangsventil
5 Umformer

B Sekundärkreislauf Umformer/Regalsystem
6 Umwälzpumpe
7 Sicherheitsventil
8 Nassalarmventil (Sprinkleranlage)
9 Vorlaufleitung in Aussenregale
10 Rücklaufleitung aus Innenregalen

Bild 10. Heizungsschema

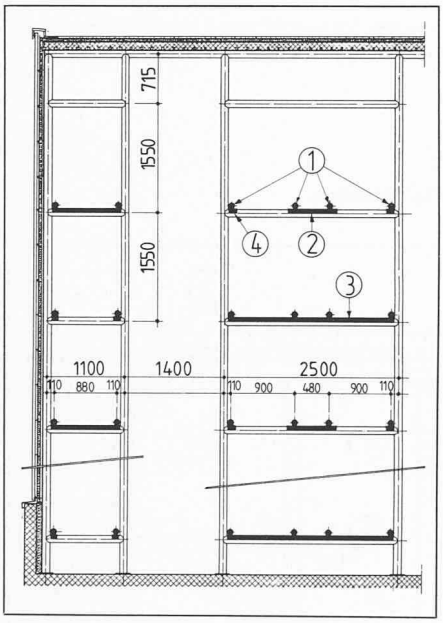


Bild 11. Gestellrahmen. Querschnitt (Masse in mm)

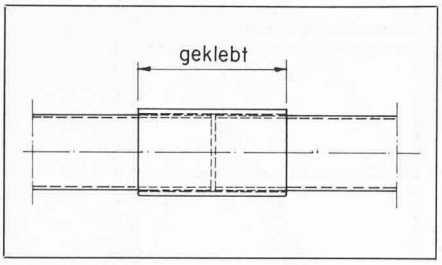


Bild 13. Klebemuffen

kann. Rücklauf und Vorlauf, durch einen Wärme- oder Kälteaustauscher verbunden, ermöglichen es, die Lagertemperatur zu regulieren (Bilder 1–3). Für das Hochregallager der Verzinkerei Zug ist das Heizungsschema aus Bild 10 ersichtlich.

Ausführung der Lagergestelle in Rohren

Die Ausführung in Hohlprofilen hat sich grundsätzlich sehr gut bewährt, weist jedoch einige Nachteile auf, wie:

- hohe Kosten der Rechteckprofile
- Reduktion der Wasserdrücke in den rechteckigen Hohlprofilen, damit die Wandstärken nicht grösser werden, als dies die statischen Bedingungen erfordern,
- Palettenträger in Walzprofilen, die wie erwähnt hitzeanfällig sind.

Deshalb wurde die *Ausführung in Stahlrohren* studiert und durchkonstruiert. Die oben erwähnten Nachteile werden damit eliminiert. Die Palettenträger werden ebenfalls in Rohren ausgeführt, wobei vier Träger zu einem Element verschweisst werden (Bilder 11,12). Die Träger 1 werden auf halbierte Rohre 2,3 und 4 aufgeschweisst, vgl. Bild 12. Die halbierten Rohre sind so dimensioniert, dass sie auf die Querträger der Regalgestelle passen und einfach montiert werden können. Die Verbindung der Palettenträger untereinander erfolgt durch Muffen, die übergestülpt und verklebt werden. Die Stösse sind entsprechend Bild 12 so versetzt, dass die Verbindungen nicht auf Zug beansprucht werden. Wie aus Bild 13 ersichtlich ist, haben die Muffenverbindungen sehr grosse Klebeflächen, wobei aber wichtig ist, dass diese wasserdicht sind.

Wie bei der Konstruktion mit rechtekkigen Hohlprofilen können auch hier die Gestellrahmen und die Deckenträger *mit Wasser gefüllt* werden, wobei infolge des Rohrquerschnittes mit höheren Drücken gearbeitet werden kann, ohne dass die Wanddicken der Rohre zu verstärken sind.

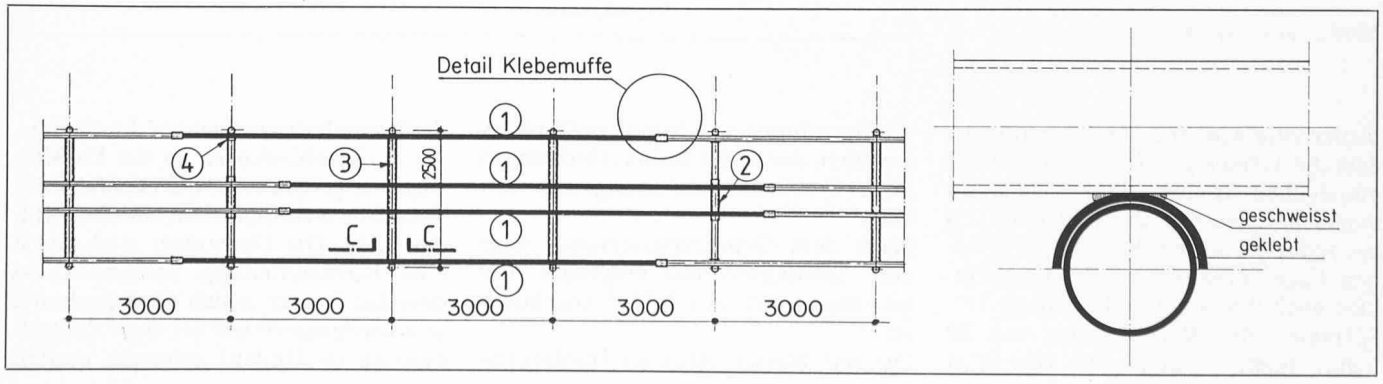
Da nun zusätzlich auch die Palettenträger aus Rohren ausgeführt werden, können diese *ebenfalls an den Wasserkreislauf* angeschlossen werden. Die Art der Wasserführung wird von Fall zu Fall den Bedürfnissen des erforderlichen Heiz- oder Kühlsystems angepasst werden.

Heizung und Kühlung

Bei den Lagern mit Gestellrahmen aus viereckigen Hohlprofilen können nur die Rahmen an den Wasserkreislauf angeschlossen werden. Palettenträger in viereckigen Hohlprofilen sind im Ankauf zu teuer und in der Montage zu aufwendig. Bei dieser Ausführung ergeben sich pro m³ umbauten Raum etwa 0,30 m² Heizfläche.

Wenn *Gestellrahmen und Palettenträger in Rohren* ausgeführt werden, erhöht sich die Heizfläche auf etwa 0,50 m² pro m³ umbauten Raum, damit wird sich die Vorlauftemperatur noch etwas vermindern. Je tiefer die Vorlauftemperatur ist, um so gleichmässiger wird die Temperatur in hohen Lagern. Die möglichst kleine Differenz zwischen Vorlauftemperatur und Lagertemperatur ist besonders bei der Kühlung wichtig wegen der Bildung von Kondenswasser. Eine Kühlung ist nur vorgesehen, um

Bild 12. Gestellrahmen. Grundriss und Schnitt C-C



auch im Sommer die gleiche Raumtemperatur wie im Winter zu haben. Die mögliche Kühlung hängt mit der erforderlichen Luftfeuchtigkeit zusammen, denn Kondenswasserbildung ist unerwünscht. Wie bei einer Zentralheizung wird das Wasser mit einer Pumpe in Umlauf gebracht.

Da bei konventionellen Heizungen in Hochregallagern mit hohen Temperaturen gearbeitet werden muss, ergeben sich Unterschiede im Temperaturgefälle von oben nach unten bis zu 7 °C. Wird hingegen das Hochregallager in *wassergefüllten Hohlprofilen* ausgeführt, so haben wir infolge der geringen Heiztemperaturen nur ein *Temperaturgefälle* von höchstens 2 °C, was sich auf eine Reduktion der Heizkosten auswirkt.

Brandschutz

Nach den Brandvorschriften müssen Gebäude mit mehr als einem Stockwerk die *Feuerwiderstandsklasse F90* aufweisen, d.h., die Gebäudekonstruktion soll bis 90 Minuten nach dem Ausbruch des Schadenfeuers noch die volle Tragfähigkeit gewährleisten. Hochregallager sind trotz ihren grossen Höhen nur eingeschossig, denn sie haben keine durch Decken getrennte Stockwerke. Trotz dieser Eingeschossigkeit wird eine erhöhte Feuersicherheit angestrebt, wie sie bei mehrgeschossigen Bauten üblich ist. Der Wunsch nach erhöhter Feuersicherheit ergibt sich durch die grosse Warenkonzentration.

Angenommen, die die *Stahlstützen* umgebende Temperatur betrage 1000 °C, so darf die Stützentemperatur gemäss Einheitstemperaturkurve nach 90 Minuten höchstens 450 °C betragen. Diese Bedingung ist im Stahlbau zu erfüllen, wenn mit *wassergefüllten Hohlprofilen* gearbeitet wird. In Deutschland, England und Amerika stehen Bauten, deren Tragkonstruktion aus Hohlprofilen ausgeführt wurde, die durch ein Rohrleitungssystem zu einem geschlossenen Kreislauf verbunden sind und Wasser enthalten. Ein Vorratshochbehälter auf dem Dach sorgt für den konstanten Wasserstand. Dieses System entspricht dem Naturumlauf einer Zentralheizung: Sollte ein Brand das System aufheizen, so erwärmt sich das Wasser in der Stütze und steigt nach oben. Kaltes Wasser strömt nach und kühlt die Stahlkonstruktion, so dass die zulässige Stahltemperatur auch bei hohen Wärmestromdichten nicht erreicht wird.

Brandversuche zum Nachweis der geforderten Werte der Brandschutzvorschriften wurden am Gebäude des Betriebsforschungs-Institutes des Vereins deutscher Eisenhüttenleute in Düsseldorf durchgeführt. Bei einer Brandkammertemperatur von 1000 °C, gemessen nahe der Oberfläche des Hohlprofiles, erwärmte sich der Stahl nach 90 Minuten Branddauer auf 200 °C, ein Wert, der nicht einmal die Hälfte des zulässigen Wertes für Stahl von 450 °C erreichte (Bild 14).

Im Gegensatz zu dieser üblichen Ausführung mit Vorratsbehälter, wobei das erhitzte Wasser sich nach oben bewegt und kaltes Wasser nachfliesst, hat man beim Konzept des Hochregallagers eine *Anspeisung durch die Wasserversorgung*. Tritt ein Brand auf, so öffnen sich die über dem Brandherd liegenden Sprinklerdüsen; dadurch wird die Stahloberfläche von aussen gekühlt. Weil die Anspeisung von unten erfolgt, erhalten wir in den Hohlprofilen eine Strömung durch den Brandherd. Da pro Düse etwa 100 l/min verbraucht werden, erhält man je nach Grösse des Brandherdes einen entsprechenden Wasserdurchfluss, was zur Kühlung der Stahlkonstruktion beiträgt.

Die Verwendung von Rohren (anstelle der viereckigen Hohlprofile) ergibt eine Verminderung der Stahloberfläche um etwa 15%, so dass die Kühlung wirksamer wird. Mit Hilfe der für die Heizung eingesetzten *Umlaufpumpe* kann das Wasser auch im Brandfall in Umlauf gehalten werden, was eine Messung der Rücklauftemperatur erlaubt. Steigt diese zu hoch an, so kann über die Probeleitung (Bild 8) heisses Wasser abgelassen werden und über die Zuleitung kaltes Wasser zugeführt werden. Mit dieser Vorrichtung hat man während eines Brandfalles die Wassertemperatur und damit die *Stahltemperatur unter Kontrolle*.

Die Stahlverbindungen mit Muffen und Halbschalen (Bild 11) sind so konstruiert, dass auch diese infolge der grossen Kontaktflächen gekühlt werden.

Stahlverbindungen

Zur Vereinfachung der Montage wird nach Möglichkeit *alles vorfabriziert*, wie Gestellrahmen (Bild 11) und Palettenträger (Bild 12). Die Verbindungen können *geschweisst* oder *geklebt* werden. Es gibt heute Araldit-Klebestoffe, die bis 140 °C noch eine Zug-Scher-Festigkeit von 6 N/mm² aufweisen. Bei den grossflächigen Klebeverbindungen genügt dies den statischen Anforderungen. Nach 140 °C verflüssigt sich der Klebstoff, beim Abkühlen erhält er wieder die ursprüngliche Klebeeigenschaft.

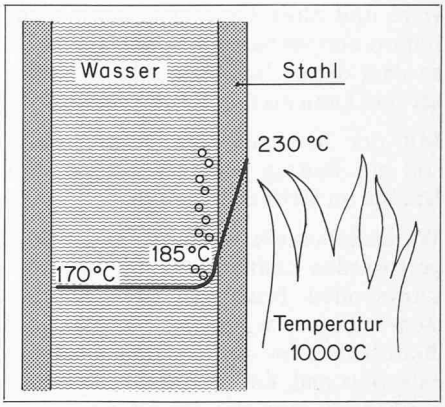


Bild 14. Typische Temperaturverteilung in einem wassergefüllten Hohlprofil ohne Zwangsumlauf

Ein Zusammenbrechen des Lagers tritt nicht ein, weil die Verbindungsmuffen nicht auf Zug beansprucht werden. Die Palettenträger können infolge der Halbschalen nicht von den Querträgern der Rahmen abgehoben werden, dies um so mehr, wenn sie durch Paletten noch belastet sind.

Korrosions- und Gefriergefahr

Da das ganze System geschlossen ist und *kein Sauerstoff* Zugang findet, hat man gleiche Verhältnisse wie bei Zentralheizungen, so dass ein Rosten von innen her nicht zu befürchten ist. Bestehen Bedenken, so können dem Wasser Chemikalien beigegeben werden, die jegliche Rostgefahr ausschliessen. Bei den ausgeführten Anlagen hat man jedoch darauf verzichtet.

Bei einem Energiezusammenbruch könnte die Heizung ausfallen, so dass im Winter Frostgefahr besteht. Für einen solchen kaum zu erwartenden Zustand besteht die Möglichkeit, das Wasser für die kritische Zeit abzulassen oder Frostschutz beizugeben. Mit Hilfe eines Thermostates kann die kritische Temperatur signalisiert werden.

Schlusswort

Das Hochregallager hat sich innert kurzer Zeit so entwickelt, dass *Warenkonzentrationen* möglich sind, die geschützt werden müssen. Ist der Gebäudeschutz nicht optimal, so besteht Einsturzgefahr, und die auf Paletten gelagerten Waren fallen chaotisch übereinander. Die Sprinklerleitungen werden zerstört, so dass der Löschvorgang im Innern des Lagers ausfällt. Auch die Löschmannschaft kann nicht mehr ins Lager eindringen und nur noch von aussen her wirken. Waren und Gebäude werden auf diese Weise grösstenteils zerstört. Ein Unternehmer ohne Lager-

ware und ohne Lagerhaus kann nicht liefern und verliert somit Marktanteile, so dass dieser Nachfolgeschaden grösser sein kann als der Brandschaden.

Mit der beschriebenen Konstruktion soll ein Beitrag geliefert werden, um Brände im Griff zu behalten.

Waren sollen aber auch schonend gelagert werden können, was mit dem wirkungsvollen Heizungs- bzw. Kühlsystem möglich wird. Da *Heizung und Brandschutz in der Stahlkonstruktion integriert* sind, und da die Konstruktion einfach ist, sind die Erstellungskosten günstig. Infolge der grossen Heizflächen wird mit kleinen Vorlauftemperaturen gearbeitet, so dass im Lager relativ ausgeglichene Temperaturen herrschen. Daraus ergeben sich auch günstige Beheizungskosten.

Adresse des Verfassers: *A. Maurer*, dipl. Bau-Ing. ETH/SIA, Dreilindenhöhe 13, 6006 Luzern.

Schrifttum

[1] *Hotchkiss, J.C.:* «Hauptverwaltungsgebäude der US-Steel Corporation in Pittsburgh (USA)». Acier Stahl Steel CBLIA Brüssel 32 (1967), S. 357–364.

[2] *Ehm, H.; Bongard, W.:* «Feuerwiderstandsfähigkeit von wassergefüllten Stahlstützen». Der Stahlbau 37 (1968) S. 161–164.

[3] *Mommenrtz, K.H.; Polthier, K.; Weineck, H.:* «Brandschutz von Stahlstützen durch Wasserkühlung». Stahl und Eisen. VDEh Düsseldorf, 90 (1970), S. 1234–1242.

[4] *Pulthier, K.:* «Wassergefüllte Stützen im Stahlbau». Beratungsstelle für Stahlverwendung, Düsseldorf. Merkblatt 467 (1973).

[5] *Maurer, A.:* «Wenn alles brennt, das Lager steht». Materialfluss. Juli/August 1980, S. 48–53.

[6] *Maurer, A.:* «Neuentwicklung über Brandschutzmassnahmen im Hochregallagerbau». Sonderdruck aus planen + bauen (CH)

[7] *Witte, H.:* Bericht über einen Brandversuch bei der Fa. Geilinger (Schweiz), unveröffentlicht.

[8] *Bachem, R.; Teleman, P.:* «Water-fillable Structures». Firmenschrift der Fa. Bassem Brs., Brüssel 1977.

[9] Anonym: Erste Anwendung einer Stahlkonstruktion mit wassergefüllten Konstruktionselementen in Frankreich. Acier Stahl Steel, CBLIA Brüssel 34 (1970), S. 544–546.

[10] *Mommertz, K.A.; Polthier, K.:* «Brandversuch an einer wassergefüllten Stahlstütze». Der Stahlbau 42 (1973), S. 65–71.

[11] *Witte, H.:* «Wasserkühlung für den baulichen Brandschutz». Acier Stahl Steel 4/1981.

[12] *Witte, H.:* «Brandschutz durch Wasserkühlung». Industrie-Anzeiger, 20.1.1982.

[13] Ciba-Geigy-Magazin: «Brandschutz und Heizung in einem», 1/1982

[14] *Hönyck, H.:* «Walther-Sprinkleranlage für Hochregallager mit wasserführender Stahlkonstruktion». Techn. Mitt. Krupp, Werkberichte, Bd. 41/H.2.

Das Erdbeben in Lüttich vom 8. November 1983

Von Walter Ammann und Armin Ziegler, Zürich

Ein Erdbeben der Magnitude M = 5,0 erschütterte am 8. November 1983 die Stadt Lüttich und Umgebung. Das Erdbeben forderte 2 Tote und 10 Verletzte und richtete nach ersten offiziellen Schätzungen Sachschäden von annähernd 100 Mio sFr. an. Rund 120 Häuser mussten aus Sicherheitsgründen evakuiert werden. Einige Wasserleitungsbrüche sowie kurzfristige Unterbrüche im lokalen Elektrizitäts- und Telefonnetz wurden registriert. Eine Beurteilung der aufgetretenen Schäden lässt auf eine maximale Intensität von I_{MSK} = VII schliessen.

Einleitung

Belgien gehört zwar nicht zu den seismisch aktivsten Gebieten Europas, doch haben sich hier immer wieder *kleinere und mittlere Erdbeben* ereignet. In der Nacht vom 7. auf den 8. November 1983 (00:49:34.4 Uhr Ortszeit) wurde Lüttich und dessen Umgebung von einem Erdbeben der Magnitude 5,0 erschüttert. Am 12. November 1983 besichtigten die beiden Autoren das Schadengebiet. Einer der Hauptgründe hiefür war die Tatsache, dass auch in der Schweiz ein Erdbeben dieser Stärke möglich ist und wegen der ähnlichen Bausubstanz gute Vergleichsmöglichkeiten in bezug auf Schadenausmass und Art der Schäden erwartet werden konnten. Dem Beschreiben der beobachteten Schäden und dem *Vergleich* mit schweizerischen Verhältnissen soll deshalb im folgenden besondere Beachtung geschenkt werden. Vorgängig wird aber die seismische Aktivität und die seismotektonische Situation Belgiens kurz dargestellt.

Seismizität und Seismotektonik

Historische Seismizität

Belgien ist bereits in früheren Jahrhunderten vereinzelt von stärkeren Erdbeben erschüttert worden. Allerdings überstiegen deren Schadenauswirkungen nie die maximale *Intensitätsstufe* von I_{MSK} = VII. In Bild 1 sind die Epizentren der stärksten Beben sowie die Umhüllenden der Isoseisten aller früheren Beben dargestellt. In der im Osten an Belgien angrenzenden Gegend zwischen Aachen und Köln wurden bereits maximale Intensitäten von I_{MSK} = VIII beobachtet. Die zugehörigen Daten dieser Beben sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Bild 2 zeigt die *Intensitäts-Häufigkeits-Korrelation* für Belgien und dessen Grenzgebiete aufgrund des Datenkatalogs von *Van Gils* und *Zaczek* [2]. Dieser Datenkatalog umfasst 540 Erdbeben zwischen den Jahren 330 und 1970. Davon wiesen total 48 Ereignisse eine maximale Intensität von I_{MSK} = VII auf,

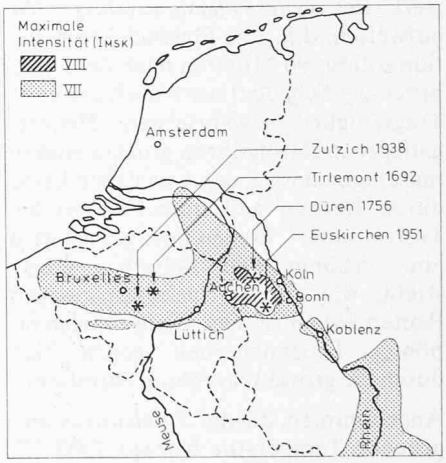


Bild 1. Intensitätskarte Belgiens und angrenzender Gebiete mit den Epizentren der 4 stärksten Erdbeben (nach [1])

wobei nur 21 ihr Epizentrum in Belgien selbst hatten. Wegen des unterschiedlichen Vollständigkeitsgrades des Datenkatalogs in den verschiedenen Beobachtungszeiträumen musste in Anlehnung an [3] eine entsprechende Korrektur eingeführt werden. Bild 2 zeigt die durchschnittliche Anzahl Beben pro 100 Jahre. Beispielsweise wurde die Intensität I_{MSK} = VII durchschnittlich 15mal pro 100 Jahre erreicht oder überschritten. Zum Vergleich ist auch die Intensitäts-Häufigkeits-Korrelation für die Schweiz dargestellt (basierend auf [4]). Diese Kurve ist weniger stark gekrümmt und liegt mit Ausnahme der Intensität I = VII höher als die Kurve für Belgien. Dies bedeutet, dass in Belgien schwächere Beben (I_{MSK} < VII) weniger häufig sind, mittlere Beben (I_{MSK} = VII) etwa mit derselben Häufigkeit auftreten und stärkere Beben mit I_{MSK}