Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 90 (1972)
Heft: 17

Artikel: Berechnung eines Hochregallagers nach der Theorie zweiter Ordnung
Autor: Schlaginhaufen, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85185

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

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

Berechnung eines Hochregallagers nach der Theorie zweiter Ordnung

Von **R. Schlaginhaufen**, Frauenfeld

DK 725.35:621.874.4:624.04

Etwa Mitte der sechziger Jahre haben die rasch ansteigenden Kosten in der Lagerung und dem Umschlag von Roh- und Fertigwaren zu ganz neuen Wegen in der Lagertechnik geführt, in deren Folge zahlreiche Hochregallager bei Industrie- und Handelsunternehmen entstanden sind. Das Lagergut wird dabei auf Normalpaletten gestellt und mit eigens dafür entwickelten, in den Gestellfluchten laufenden Stapelmaschinen in die oft bis 30 m hohen Regale gebracht bzw. daraus entnommen (Bild 1). Dieser Vorgang kann sich manuell abwickeln, indem der Bedienungsmann auf der Stapelmaschine mitfährt, oder auch vollautomatisch durch elektronische Steuerung. Dies ist bei grossen Lagern die Regel. Ein solches Lager ist menschenleer; die Bewegungen der Stapelmaschine werden von einem Pult ausserhalb des Lagerraumes ferngesteuert oder sie laufen über Lochstreifen nach einem vorgewählten Programm ab. Die Vorteile eines solchen kompakten Hochlagers sind offensichtlich: geringer Bedienungsaufwand, schneller Umschlag durch kurze Wege, wenig Baulandbedarf.

Hochregallager werden im allgemeinen gebäudetragend ausgeführt, d.h. die Dachkonstruktion wird auf die Palettgestelle abgestützt, und die Randgestelle müssen die Windlasten aufnehmen und auch als Unterkonstruktion für die Wandverkleidung dienen. Hochlager können sowohl in Stahl als auch in Beton gebaut werden. Im folgenden wird aber nur die Ausführung in Stahl betrachtet.

Dem Bauingenieur, der ein Hochlager in Stahl projektiert, stellen sich einige besondere Probleme:

1. Die vollautomatisch ausgeführten Bewegungen der Stapelmaschine, ohne die Möglichkeit korrigierend einzugreifen, bedingen eine besonders hohe Präzision in der Herstellung der Palettgestelle.
2. Aus dem gleichen Grunde müssen die elastischen Deformationen der tragenden Teile im Betrieb sehr eng begrenzt werden. Die Tragwerksteile sollen deshalb möglichst steif, mit grossem Verformungswiderstand gegen auftretende Kräfte wie Wind oder Nutzlast, ausgeführt werden.
3. Das Eigengewicht des Baukörpers in bezug auf die mögliche Nutzlast ist sehr klein. Bei einem 20 m hohen Lager beträgt es nur etwa 10% der Nutzlast. Das bedeutet, dass die Belastung der Fundamente bei vollem Lager rund das Zehnfache der Belastung des leeren Lagers betragen kann. Bei ungleicher und wechselnder Lagerfüllung sind entsprechende Fundamentbeanspruchungen und bei schlechtem Baugrund ungleiche Setzungen zu erwarten, deren Folgen für einen reibungslosen Betrieb untersucht werden müssen.
4. In Erdbebengebieten ist den zahlreichen Verbindungen der Einzelteile besondere Beachtung zu schenken, da sie beträchtlichen Krafteinwirkungen aus allen Richtungen ausgesetzt sein können.
5. Die Konstruktion setzt sich aus wenigen, aber in grosser Zahl vorkommenden Bauteilen zusammen, im wesentlichen aus den Randgestellen, den Mittelgestellen und den verbindenden Längsträgern. Eine Optimierung dieser wichtigsten Bauteile hinsichtlich Berechnung, Konstruktion und Herstellung ist für die Wirtschaftlichkeit der Konstruktion von grosser Bedeutung, da sich geringe Einsparungen am Einzelteil wegen der oftmaligen Wiederholung gesamthaft sehr stark auswirken.

Es soll nun anhand eines Beispiels aus der Praxis gezeigt werden, wie mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente und Anwendung des STRIP-Programmes ein kompliziertes mathematisches Problem rasch und genau gelöst werden kann. Es handelt sich um ein Hochlager für rund 10 000 Paletten, das auf sehr schlechtem Baugrund zu stehen kommt und bei ungleich verteilter Füllung ungleichen Setzungen unterworfen ist (Bild 2). Die sehr steife Bodenplatte ruht auf Pfählen – im Bild nicht angedeutet – und wird als praktisch starr angenommen. Bei einseitiger Belastung stellt sie sich schief und mit ihr die darauf stehenden Gestellrahmen. Ein solcher besteht aus zwei Stützen und ist durch die eingeschweissten Riegel zu einem hochgradig statisch unbestimmten Stockwerkrahmen verbunden. Derartige Rahmenkonstruktionen haben die Eigenschaft, verhältnismässig verformungsweich zu sein. Man könnte sie durch den Einbau eines Strebenzuges erheblich versteifen. Dies hätte aber bei der grossen Stückzahl solcher Rahmen bedeutende Mehrkosten zur Folge. Ziel der Untersuchungen war nun, aufgrund einer Vordimensionierung die genauen Spannungen und Deformationen des Stockwerkrahmens nach der Theorie zweiter Ordnung zu ermitteln und eine ausreichende Knickstabilität nachzuweisen.

In der Baustatik darf normalerweise angenommen werden, dass die elastischen Verformungen für die Berechnung der Schnittkräfte (Biegemoment, Querkraft, Normalkraft) vernachlässigbar klein sind. Diese Voraussetzung trifft im vorliegenden Fall eines schlanken Stahltragwerkes nicht mehr zu. In Bild 3 ist links das unverformte Tragwerk mit den auf die Knotenpunkte reduzierten angreifenden Kräften

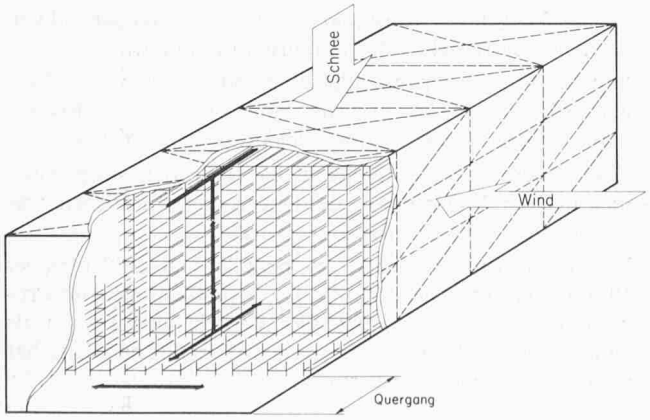

Bild 1. Schematische Darstellung eines Hochregallagers mit Bewegungslinien des Stapelkrans

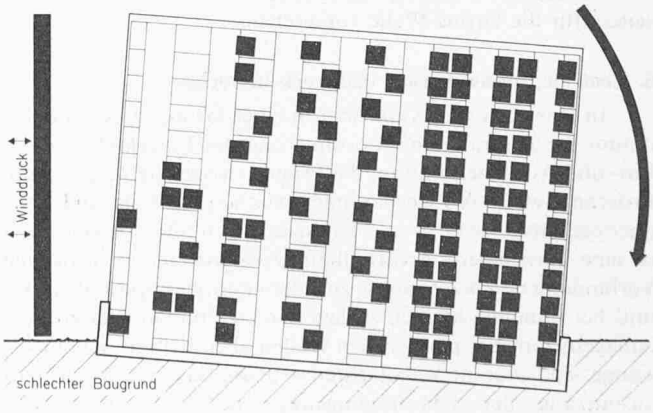

Bild 2. Hochregallager bei einseitiger Fundamentsetzung

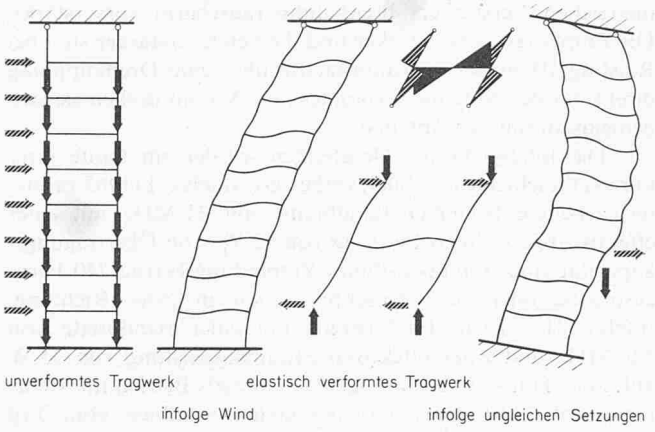

Bild 3. Deformationsformen eines Gestellrahmens

(Wind, Paletten) gezeichnet. Daneben sind mögliche Verformungszustände übertrieben dargestellt, zum Beispiel aus Wind oder ungleichen Setzungen der Fundamentplatte. Ähnliche Verformungszustände können auch bei Erdbebenwirkungen auftreten.

Wenn man diesen deformierten Zustand an einem Einzelgeschoss des Stockwerkrahmens näher betrachtet, stellt man fest, dass ursprünglich in Stabachse wirkende Kräfte am verformten Gebilde auch eine Komponente quer zur Stabachse aufweisen. Diese Querbelastung ruft zusätzliche Biegemomente hervor. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Stab von Anfang an auf Biegung beansprucht war oder nicht. Diese zusätzlichen Kräfte zweiter Ordnung bewirken ihrerseits weitere Verformungen und diese wiederum eine Vergrösserung der Biegemomente. Die Spannungen wachsen rascher an als die äusseren Kräfte. Es besteht keine lineare Proportionalität mehr zwischen Belastung und Spannung, was die Berechnung beträchtlich erschwert.

Ein derartiges Stabilitätsproblem zweiter Ordnung kann mathematisch durch ein Gleichungssystem erfasst werden, das um so umfangreicher wird, je hochgradiger statisch unbestimmt das Tragwerk ist. Für einen rund 20 m hohen Gestellrahmen ist das System über fünfzigfach statisch unbestimmt. Die Auflösung eines derartigen Gleichungssystems ist mit herkömmlichen Rechenhilfen ausserordentlich zeitraubend, wenn nicht unmöglich. Man könnte nun versucht sein, ein solches Problem durch vereinfachende Annahmen näherungsweise zu lösen, wie das in der linearen Statik oft und mit ausreichender Genauigkeit gemacht wird. Bei Problemen zweiter Ordnung kann dieser Weg leicht zu falschen Ergebnissen führen, wie der Vergleich mit einer Vorberechnung im vorliegenden Fall gezeigt hat. Die Anwendung des STRIP-Programmes erlaubt eine genaue Lösung mit tragbarem Aufwand nach der Methode der schrittweisen Näherung. Zu einer geschätzten anfänglichen Ausbiegung f_0 rechnet der Computer die durch die äussere Druckkraft bewirkte zusätzliche Ausbiegung f_1. Diese hat eine weitere Ausbiegung f_2 zur

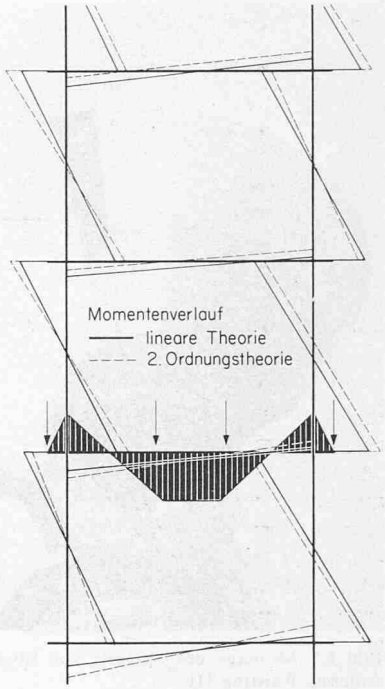

Bild 4. Momentverlauf nach linearer Theorie und Berechnung zweiter Ordnung

Folge, und so weiter, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist. Zu diesem Gleichgewichts- oder Endzustand gehören die gesuchten effektiven Schnittkräfte, welche sich wesentlich unterscheiden können von den nach der ersten Ordnung berechneten. Mathematisch ausgedrückt bedeutet das Erreichen des Gleichgewichtszustandes ein Konvergieren der Iteration. Der Computer bricht den Rechenlauf ab, sobald eine vorgegebene Genauigkeit erzielt ist.

Bild 4 zeigt schematisch den Momentenverlauf nach der linearen Berechnung ohne Berücksichtigung der Verformungen und die sich nach der Theorie zweiter Ordnung ergebenden Biegemomente. Die Auswirkung des Unterschiedes zwischen linearer und zweiter Ordnungsberechnung auf die Bemessung hängt natürlich von den Steifigkeits- und Belastungsverhältnissen in jedem einzelnen Fall ab.

Das STRIP-Programm gestattet mit Hilfe des Computers die schnelle Lösung eines komplizierten Problems zweiter Ordnung unter Anwendung der bekannten baustatischen Überlegungen. Der Ingenieur wird dadurch von rechnerischer Kleinarbeit befreit und veranlasst, sich intensiver mit den Zusammenhängen in planerischer, konstruktiver und wirtschaftlicher Hinsicht zu befassen und den Blick auf das Ganze zu wenden.

Adresse des Verfassers: *R. Schlaginhaufen*, dipl. Ing. ETH/SIA, Direktor in Fa. Gebr. Tuchschmid AG, Speicherstrasse 52, 8500 Frauenfeld.

Neue Antenne der Satelliten-Erdefunkstelle Raisting

DK 654.022:621.396.677

Die Satelliten-Erdefunkstelle Raisting/Oberbayern wird während der Olympischen Sommerspiele 1972 dafür sorgen, dass farbige Live-Übertragungen des sportlichen Geschehens in und um München von Fernsehgeräten in Amerika, Asien, Afrika und Australien empfangen werden können. Bisher steht Raisting über zwei Antennenanlagen mit je einem Intelsat-Satelliten über dem Atlantischen und dem Indischen Ozean in Verbindung. Da jedoch für den Satellitenfunkverkehr über den Atlantik heute schon zwei Satelliten eingesetzt sind, braucht Raisting eine weitere Antennenanlage, um auch diejenigen Stationen der Atlantikregion zu erreichen, die über den zweiten Atlantiksatelliten Nachrichten austauschen. Siemens errichtet deshalb im Auftrag der Deutschen Bundespost eine dritte Antennenanlage. Raisting III wird Mitte 1972 im Rahmen des internationalen Fernmeldesatellitensystems Intelsat, an das bereits 80 Länder angeschlossen sind, in Betrieb genommen.