

POTENZIALE, EINSATZBEREICHE UND KONSTRUKTIONSMÖGLICHKEITEN VON HOCHREGALLAGERN AUS HOLZ

Dipl.-Ing. Christopher Ludwig, Peter Glaser M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wi.-Ing. W. Günthner, Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

1 Einleitung 1.1 Hochregallager

Seit den sechziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts sind Hochregallager eine weit verbreitete Lager-einrichtung in Industrie und Handel. Sie können freistehend in der Halle oder in Silobauweise errichtet werden. Bei der Silobauweise trägt die Regalkonstruktion selbst-tätig Dach und Fassade, weshalb auch Gebäudelasten wie Schnee und Wind berücksichtigt werden müssen. Als Konstruktionswerkstoffe wurden in der Vergangen-heit Stahl bzw. Stahlbeton eingesetzt, wobei sich Trag-werke aus Stahl letztlich durchgesetzt haben und mitt-lerweile Standard sind.

Seit circa 10 Jahren werden Hochregallager nun auch erfolgreich aus Holz gebaut. Weltweit gibt es derzeit 8 Holz-Palettenregale, wobei laut Definition (siehe Ab-schnitt 1.2) 6 davon als Hochregale zu zählen sind. Das größte Lager wurde bei der Firma Alnatura GmbH in Lorsch (Hessen) errichtet und hat über 31.000 Stellplät-ze verteilt auf 9 Gassen (siehe Abbildung 1). Die maxi-male Bauhöhe von Hochregallagern aus Holz liegt im Moment bei 30 Metern.



Abbildung 1: Holz-Hochregallager, Alnatura GmbH, Lorsch
Foto: Marc Doradzillo, Alnatura

1.2 Begriffsdefinition

Für den Begriff "Hochregal" existieren mehrere Definiti-onen. Die meisten davon geben Höhengrenzen für die Regaloberkante an, ab der Regale als Hochregale zu zählen sind. Diese Einteilung erweist sich aufgrund der verschiedenen Höhenwerte (7,5-12 Meter) als wenig praktikabel. Im Folgenden werden Hochregale daher als Palettenregale in Silobauweise bezeichnet, welche durch Regalbediengeräte bedient werden.

1.3 Rechtliche Einteilung von Hochregalen

Regallager mit einer Oberkante Lagerguthöhe von mehr als 7,5 Metern gelten laut Musterbauordnung [1] als ungenehmigte Sonderbauten. Es handelt sich somit um genehmigungspflichtige bauliche Anlagen. Damit unter-liegen sie, unabhängig vom Regaltyp, dem öffentlich Baurecht und in weiterer Folge dem Bauordnungsrecht, also den Bauordnungen der einzelnen Bundesländer. Diese schreiben vor, dass zur Bemessung der Anlagen nur die Normen und Richtlinien verwendet werden dürfen, welche in der Liste der technischen Baube-stimmungen [2] aufgeführt sind. Für den Stahl- bzw. Holzbau sind dies der Eurocode 3 [3] bzw. 5 [4] incl. zugehörigem nationalem Anhang.

Die Bemessung mittels DIN EN 15512 [5] ist nur dann möglich, wenn die verwendeten Profile und Verbindun-gen versuchstechnisch nach den Angaben des An-hangs A zur DIN EN 15512 geprüft wurden und ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis dafür vor-liegt. Die DIN EN 15512 verwendet niedrigere Teilsi-cherheitsbeiwerte als die Eurocodes, wodurch eine schlankere und kostengünstigere Konstruktion möglich ist. Diese Vorgehensweise ist für Holz-Hochregale nicht bzw. nur bedingt möglich, da die Versuche nach DIN EN 15512 nur für Stahlregale ausgelegt sind.

Damit ein reibungsloser Betrieb des Regals gewährleis-tet werden kann, muss von den Herstellern bei der Angebotslegung meist noch die Einhaltung der FEM-Richtlinie 9.831 [6] nachgewiesen werden. Diese schreibt strenge Verformungsgrenzen für das Regal vor, verweist jedoch nur auf Tragwerke aus Stahl.

Für ungenehmigte Sonderbauten gibt es für die bauauf-sichtliche und brandschutztechnische Beurteilung keine bauaufsichtlich eingeführten Regelwerke. In der Muster-Industriebaurichtlinie werden für Regallager mit brenn-barem Lagergut und einer Oberkante Lagergut von mehr als 9 Metern weiterführende Anforderungen ge-stellt [7] (siehe Abschnitt 2.6).

1.4 Problemstellung

Bestehende Gesetze, Normen und Richtlinien für den Regalbau sind aufgrund der historischen Entwicklung nur auf Hochregale aus Stahl ausgelegt. Wegen der erst in jüngster Vergangenheit ansteigenden Entwick-lung sind bisher kaum Erfahrungen über den Bau und Betrieb von Holz-Hochregalen verfügbar.

Die Herangehensweise zur Bemessung von Hochregallagern sowie die erforderlichen Toleranzen für den Betrieb sind den Holzbau-Planern und -Firmen bisher weitestgehend unbekannt. Fehlende Erfahrungen und Wissenslücken machen es Unternehmen aus der Logistikbranche, aber auch dem Holzbau, schwer im Bereich der Holz-Hochregallager Fuß zu fassen. Ein wichtiger Punkt bei Neubauten sind die Investitionskosten. Über diese gibt es für Hochregallager aus Holz im Moment keine gesicherten Angaben. Aus dem Grund wird der Baustoff Holz meist nur auf ausdrücklichen Kundenwunsch bei der Planung bzw. Ausschreibung neuer Hochregallager berücksichtigt. Der allgegenwärtige Megatrend Nachhaltigkeit stellt derzeit den größten Anreiz für Unternehmer dar ihr Lager in Holz zu bauen. Aus anderen Anwendungen, wie zum Beispiel dem Bau von Holzhäusern, ist bereits das ökologische Potenzial des Werkstoffs bekannt. Jedoch gibt es noch keine Berechnungen bzw. Ökobilanzen zu Hochregallagern aus Holz. Somit ist die Hauptmotivation noch nicht ausreichend quantifiziert. Die beschriebenen Hürden sollen durch das Forschungsprojekt "wirtschaftliche und ökologische Potenziale von Hochregallagern aus Holz"¹ genommen werden.

2 Vorgehensweise

2.1 Allgemeines

Zu Beginn des Projekts wurden alle bestehenden Anlagen aus Holz analysiert und charakterisiert. Wichtig waren hier die Motivation der Bauherren für die Holzbaupweise, der Brandschutz, bisherige Erfahrungen im Betrieb sowie der Stand der Technik im Bereich der Konstruktion. Diese Erkenntnisse dienen als Basis für alle weiteren Arbeiten am Projekt.

2.2 Gründe für die Holzbaupweise

Angesichts des hohen und stetig steigenden Stahlpreises entschied sich im Jahr 2005 ein Verpackungsunternehmen aus Österreich zum Bau des ersten Hochregallagers mit Holzelementen. Zusammen mit dem Holzbauspezialisten Kaufmann Bausysteme (Reuthe, ebenfalls Österreich) wurde damals eine Holz-Stahl-Hybrid Konstruktion entwickelt, wobei die vertikalen Steher aus massivem Brettschichtholz und die horizontalen Palettenträger aus konventionellen Stahlprofilen gebaut wurden. Wären die Palettenträger ebenfalls aus Holz gefertigt worden, so hätten diese wegen der geringeren Festigkeit von Holz eine Höhe von Zentimetern höher ausgeführt

¹ Das IGF-Vorhaben 17959 N/1 der Forschungsvereinigung Intralogistik/Fördertechnik und Logistiksysteme e.V. (FG IFL.) wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

werden müssen als standardmäßige Stahlträger. Die Zusatzhöhe summiert sich über die einzelnen Ebenen auf und kann bei begrenzter Bauhöhe zum Verlust von Ebenen führen.

Ebenfalls im Jahr 2005 wurde für die Salinen Austria AG das erste reine Holz-Hochregallager aufgestellt, bei welchem nahezu alle Bauteile aus Holz bestehen. Grund war hier die stark korrosive Umgebung der Salzverarbeitung. Eine Stahlausführung wäre unter diesen Bedingungen nur mit mehrfacher Beschichtung möglich gewesen, welche nicht wirtschaftlich war.

Bei älteren Anlagen (Jahre 2005 bis 2007) war die Motivation für die Holzbaupweise hauptsächlich am hohen Stahlpreis begründet. Da dieser in den letzten Jahren wieder gesunken ist, hat sich der Fokus auf die Nachhaltigkeit der verwendeten Materialien verschoben. Bauherren der neueren Anlagen waren Firmen mit besonders ökologischer bzw. sozialer Unternehmenspolitik.

2.3 Ergebnisse Betreiberbefragungen / Datenauswertung

Es wurden Betreiberbefragungen durchgeführt, um Erfahrungen über den Betrieb von Hochregalagern aus Holz aufzunehmen. Die vier stellplatzmäßig größten Anlagen wurden dabei besichtigt und deren Betreiber befragt. Die durchschnittliche Betriebsdauer der betrachteten Anlagen betrug zum Zeitpunkt der Befragung knapp fünf Jahre, wobei das älteste Lager bereits seit 2005 betrieben wird.

Bisher konnten, bis auf eine Ausnahme, keine unzulässigen Verformungen an den Holz-Regalkonstruktionen festgestellt werden. Die automatische Bedienung durch die Regalbediengeräte funktioniert meist ohne Probleme. Auftretende Fehler bei Ein- und Auslagerungen liegen an der Fördertechnik. Die Ausnahme stellt das erste reine Holz-Hochregal dar. Hier wurden die Palettenträger durch eine reine Holzverbindung gestoßen, welche sich innerhalb der ersten Betriebsjahre lockerte. Dieses Problem konnte jedoch aufwandsarm durch zusätzliche Holzschrauben beseitigt werden. Die Regalverformungen liegen nun auch bei dieser Anlage innerhalb der geltenden Toleranzen.

Bei einem Holz-Hochregallager befindet sich unter den mittleren drei Regalzeilen jeweils ein Kommissioniertunnel. Diese werden von Staplern befahren. Die Lagergüter werden dabei direkt vom Regalbediengerät im Tunnel bereitgestellt. Im Kommissioniertunnel kam es bereits mehrfach zu Kollisionen von Staplern mit den Regalstützen. Aufgrund der massiven Holzbaupweise sind jedoch keine Schäden entstanden. Das Holz konnte den Aufprall ohne Gefährdung der Standsicherheit abfedern. Nachteil der massiven und vollflächigen Bauweise ist, dass große Sprüschatten für die Sprinklerung vorliegen. Es müssen vergleichsweise mehr Sprinkler verbaut werden, wodurch zusätzliche Kosten entstehen.

Sowohl von den Betreibern als auch von den Herstellern wurden umfangreiche Daten zu allen acht bestehenden Holz-Regalen zur Verfügung gestellt. Diese wurden analysiert, ausgewertet und anschließend mit Daten von funktionsgleichen Stahl-Hochregalen verglichen, um die Vor- und Nachteile der beiden Bauweisen sichtbar zu machen. Die nötigen Informationen zu den gleichwertigen Stahl-Hochregalen stammen vom Hersteller VoestAlpine Krems Finaltechnik GmbH, welcher sich bereit erklärt hat alle bestehenden Holz-Regalanlagen nochmals in Stahl zu planen. Ausgewählte Auswertungsergebnisse werden in den nachfolgenden Absätzen vorgestellt.

Im Moment werden die Steher bei Holz-Hochregalen aus einem Stück gefertigt und direkt mittels Spezialtransport zur Baustelle transportiert. Diese Bauweise bedingt höhere Transportkosten als bei Stahl-Hochregalen, aber auch eine verkürzte Montagezeit. Die Auswertung ergab, dass die Montagezeit im Schnitt 20% geringer war als bei funktionsgleichen Stahl-Hochregalen. Die verschiedenen Witterungsverhältnisse wurden dabei nicht berücksichtigt.

Aufgrund der geringeren Festigkeit von Holz im Vergleich zu Stahl mussten die meisten Elemente massiver ausgeführt werden. Die Querschnittszunahmen summieren sich über die Anzahl an verbauten Elementen auf und ergeben in Summe größere Lagerabmessungen. Sie liegen zwar nur im niedrigen einstelligen Prozentbereich, bedeuten aber dennoch Mehrkosten.

Bezüglich der Investitionskosten kann derzeit noch keine gesicherte Aussage getroffen werden, da die bestehenden Anlagen alle Prototypencharakter aufweisen und die Anzahl der gebauten Regale zudem sehr gering ist. Die momentanen Daten zeigen Mehrkosten von 3 bis 30 %. Nähere Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Holz-Hochregalen folgen im späteren Projektverlauf.

2.4 Baustoffeigenschaften von Holz

Nachfolgend werden in kurzer Form die wichtigsten Materialeigenschaften von Holz vorgestellt. Insbesondere sollen die Hauptunterschiede zum Werkstoff Stahl erörtert werden.

Bei Holz handelt es sich um einen natürlich gewachsenen Rohstoff. Holz kommt als Nadel- und Laubholz vor, wobei im Bauwesen bisher größtenteils Nadelholz eingesetzt wird. Aufgrund des Wuchses mit längsorientierten, stammparallelen Fasern ist Holz inhomogen und anisotrop. Dies bedeutet, dass die Eigenschaften von Holz, im Gegensatz zu homogenem Stahl, stark von der Belastungsrichtung abhängen. Ebenso spielt bei Holz die Zeitdauer der Belastung eine Rolle. Um Holz zu "homogenisieren" sowie in größeren Abmessungen herstellen zu können, wurden diverse

Holzprodukte entwickelt. Am gängigsten ist Brettschichtholz BSH, das aus in Faserrichtung aufeinander geklebten Brettern besteht. Die Regalstruktur der bisherigen Hochregallager wurde aus Brettschichtholz gefertigt. Bei Brettschichtholz handelt es sich um linienförmige Bauteile.

Ebenso können flächige Bauteile aus Holz hergestellt werden. Das sog. Brettsperrholz BSP (vgl. Abbildung 2) wird durch die kreuzweise Verklebung von mindestens drei Brettlagen realisiert.

Analog zum BSH bzw. BSP gibt es Furnierschichtholz FSH. Der Unterschied liegt in einer deutlich geringeren Materialstärke der verklebten Lagen. FSH ist als stabförmiges wie auch flächiges Bauteil zu erhalten.



Abbildung 2: Brettsperrholz BSP

Bezüglich der mechanischen Eigenschaften unterscheidet sich Holz ebenfalls deutlich von Stahl. Stahl hat eine höhere Festigkeit und Steifigkeit, aber auch eine vielfach größere Dichte. Vergleicht man jedoch die spezifische Festigkeit, so liegt die von Holz deutlich über der von Stahl. Durch die bereits erwähnte Anisotropie sind die Eigenschaften von Holz außerdem richtungsabhängig. In Bezug auf die Bemessung nach dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept resultieren aus der Inhomogenität von Holz höhere Teilsicherheitsbeiwerte auf Materialebene als bei Stahl.

Holz ist hygroskopisch, d. h. es hat die Fähigkeit Feuchtigkeit aufzunehmen und abzugeben. Holz steht dabei in einem dynamischen Gleichgewicht mit seiner Umgebung, was bedeutet, dass die Feuchtigkeit des Holzes sich nach einer gewissen Zeit auf einen Wert einstellt, der der Ausgleichsfeuchte entspricht. Wichtige Holzeigenschaften wie zum Beispiel die Festigkeit sind abhängig von der Holzfeuchte.

Weitere Informationen zu den Materialeigenschaften von Holz finden sich beispielsweise in [8].

2.5 Einsatzbereiche von Holzhochregalen

Der Werkstoff Holz ist von Natur aus korrosionsträge, d.h. er ist gegen chemisch aggressive Medien wie Säuren oder Laugen widerstandsfähiger als zum Beispiel Stahl. Dieser Vorteil kann für den Bau von Regalen in korrosiven Umgebungen genutzt werden. Die Lebensdauer von Holz unter chemischer Einwirkung unterliegt

zahlreichen Einflussfaktoren, welche in Abbildung 3 dargestellt sind.



Abbildung 3: Einwirkung chemischer Medien auf Holz, in Anlehnung an [9]

Neben den Charakteristika des einwirkenden Mediums sind die zuvor beschriebenen Umgebungsbedingungen sowie die Dauer der Einwirkung entscheidend. Bei der Schädigung des Holzes entsteht an der Oberfläche eine nicht tragfähige Randschicht. Diese kann für eine bestimmte Lebensdauer abgeschätzt werden und gleich wie beim Brandschutz bei der Bauteildimensionierung berücksichtigt werden. [9]

Gewisse Einsatzgrenzen für Holz sind durch die Gefahr von Pilz-, Schimmel- oder Insektenbefall bedingt. Bis zur Holzfeuchte von 20% ist mit ausreichender Sicherheit davon auszugehen, dass es zu keinem Pilz- oder Schimmelbefall kommt. Dies entspricht einer relativen Luftfeuchte von 85% bei einer Temperatur von 20°C. Ein Insektenbefall ist bei Brettschichtholz nicht zu erwarten, sofern es nicht dauerhaft der Witterung ausgesetzt ist. [10]

Dadurch ist unter normalen Bedingungen (12-25°C, rel. Luftfeuchte 45-65% [11]) in Hochregallagern mit keinem Pilz- oder Schimmelbefall zu rechnen.

Unter normalen Lagerbedingungen ist Holz als Konstruktionswerkstoff für Hochregallager gleich gut geeignet wie Stahl. Bei besonders hoher Luftfeuchte, wie zum Beispiel bei der Lagerung von schnell verderblichen Gütern wie Obst und Gemüse, ist es sinnvoller verzinkten Stahl einzusetzen. Für aggressive Medien wie Salze, Düngemittel oder Chemikalien ist hingegen Holz wirtschaftlicher.

2.6 Brandschutz

Bei richtiger Auslegung sind Konstruktionen aus Holz im Brandfall berechenbar und damit sicherer als Stahlkonstruktionen. Das Holzregal trägt zwar durch seinen eigenen Abbrand zur Brandlast bei, jedoch ist dieser

Beitrag gering im Vergleich zu den Brandlasten der Lagergüter. Der Vorteil von Holz ist seine geringe Wärmeleitfähigkeit. Auch wenn Holz an seiner Oberfläche brennt, so sind die inneren Bereiche davon relativ unberührt, sie behalten ihre Festigkeit. Holzkonstruktionen bleiben somit innerhalb dieses Restquerschnitts tragfähig. Zudem bildet sich im Laufe des Abbrands an der Oberfläche eine passivierende Kohleschicht, welche die weitere Abbrandgeschwindigkeit senkt. Bei Fichtenholz, welches hauptsächlich verwendet wird, beträgt die Abbrandgeschwindigkeit ca. 0,7mm/min. Es lässt sich daher relativ einfach errechnen und nachweisen wie lange eine Holzkonstruktion im Brandfall noch tragfähig ist. [12]

Im Vergleich zu Holz hat Stahl eine sehr große Wärmeleitfähigkeit. Die nur wenige Millimeter dicken Stahlprofile von Stahl-Hochregalen erwärmen sich im Brandfall innerhalb kürzester Zeit vollständig. Schon ab 500°C besitzt Stahl nur noch 50% seiner ursprünglichen Festigkeit, wodurch Stahltragwerke bei Bränden schnell an Tragfähigkeit verlieren und nicht mehr berechenbar sind.

Bei den zwei in Deutschland gebauten Holz-Hochregalen wurde für die brandschutztechnische Beurteilung die VDI-Richtlinie 3564 [13] "Empfehlungen für den Brandschutz in Hochregalanlagen" verwendet. Voraussetzung dafür ist, dass sich im Regelbetrieb keine Personen im Regalbereich aufhalten. Diese Bedingung wird durch die voll automatische Bedienung erfüllt. Die VDI Richtlinie 3564 erwähnt nur Tragwerke aus Stahl bzw. Stahlbeton, welche nicht brennbar sind. Tragwerke aus Brettschichtholz gelten nach DIN 4102-4 [14] "Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen" als normal entflammbar (Baustoffklasse B2). Diese Abweichung wird jedoch von den Behörden toleriert, sofern eine selbsttätige Feuerlöschanlage (Sprinklerung) nach CEA 4001 installiert wird [15].

Die meisten Lagergüter in Hochregalen sind zu Verpackungszwecken oder zur Ladungssicherung von Karton- oder Kunststoffschichten umgeben. Diese Stoffe sind leicht entflammbar und erzeugen eine außerordentlich hohe Brandlast. Hinzu kommt, dass die so verpackten Lagergüter dicht nebeneinander auf kleinem Volumen gelagert werden. Die Hohlräume zwischen den Gütern erlauben eine allseitige Luftzufuhr und erzeugen in vertikaler Richtung eine Art Kamineffekt. Dadurch kommt es im Brandfall zu einer besonders schnellen Brandausbreitung zur Gebäudedecke hin und durch die hohe Wärmestrahlung bzw. herabfallendes Brandgut auch auf alle umstehenden Regalbereiche (vgl. Abbildung 4). Ziel ist es Brände bereits in ihrer Entstehungsphase zu erkennen und zu löschen. Eine Brandlöschung von innen durch die Feuerwehr ist wegen der Gefahr von herabfallenden Teilen nicht möglich. Aus diesem Grund sind selbsttätige Sprinkleranlagen bei allen Hochregalen Standard.

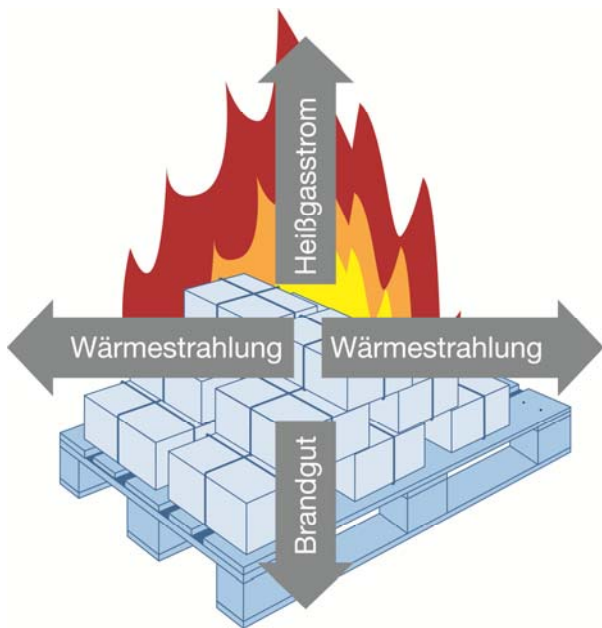


Abbildung 4: Brandausbreitung im Regallager, in Anlehnung an [16]

Hochregale werden somit unabhängig von ihrem Konstruktionswerkstoff mit einer selbsttätigen Feuerlöschanlage versehen, d. h. die behördliche Vorgabe zur Anwendung der VDI-Richtlinie 3564 für die brandschutztechnische Beurteilung von Holz-Hochregalen ist automatisch erfüllt.

2.7 Lagerdimensionen

Weiterführend wurden über 2200 Daten gebauter Hochregallagern analysiert. Der Betrachtungszeitraum umfasste die Jahre 1998 bis 2013. Ziel dieser Auswertung ist festzustellen, welche Lagerabmessungen in der Industrie am häufigsten Anwendung finden. Hieraus sollen nachfolgend günstige Ansätze für ein modulares System aus Holz abgeleitet werden. Besonders interessant ist die Entwicklung der Lagerhöhen im Untersuchungszeitraum.

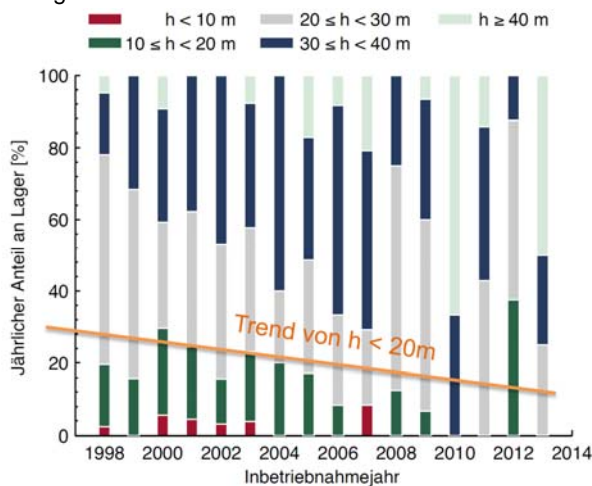


Abbildung 5: Entwicklung der Höhen der in Deutschland errichteten Hochregallager

Abbildung 5 zeigt, dass der Anteil der in Deutschland errichteten HRL mit einer Höhe von mehr als 20m bzw. 30m ansteigt, während im gleichen Zeitraum der Anteil der Hochregallager mit einer Höhe von weniger als 20m sinkt.

In weiteren Auswertungen konnte festgestellt werden, dass sich die Anzahl der neu gebauten Anlagen in Deutschland im Betrachtungszeitraum verringert hat. Gleichmaßen hat sich jedoch die durchschnittliche Größe der Lager in Bezug auf die Stellplatzanzahl in dieser Zeitspanne in etwa verdoppelt. Bezüglich der Ladehilfsmittel kommt mit über 75 % fast ausschließlich die Europoolpalette zum Einsatz. Der restliche Anteil entfällt nahezu komplett auf die Chemiepalette. Abweichende Maße der Ladehilfsmittel bzw. Stellplatzgrößen sind von untergeordneter Bedeutung und werden daher nicht weiter betrachtet.

2.8 Konstruktionsanalyse

Die in Kapitel 2.7 gewonnen Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Konstruktionsanalyse.

Um Holz als universelle Alternative zu Stahl im Bereich der Lagerstruktur einsetzen zu können, ist es erforderlich ein Konzept zu entwickeln, mit dem auch größere Lagerstrukturen aus Holz realisiert werden können. Die bisher gebauten Lager reichen nicht über 30m. Die Besonderheit der bestehenden Lager war, dass die Steher immer an einem Stück geliefert wurden. Dies stellt eine enorme logistische Herausforderung dar und erreicht bei größeren Abmessungen Grenzen bzw. wird unwirtschaftlich.

Aus diesem Grunde wird ein modulares System entwickelt, das durch die Implementierung eines Steherstoßes auch Lager aus Holz mit größeren Höhen ermöglicht. Eingesetzt werden soll bei diesem System Brettsperrholz, Brettschichtholz und Furnierschichtholz. Im Rahmen von Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass die Grenzwerte der zulässigen Verformungen nach [6] im Nachweis der Gebrauchstauglichkeit die Dimensionen des erforderlichen Systems maßgeblich beeinflussen (siehe Abbildung 6).

Die durch den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erforderlichen größeren Bauteilabmessungen bewirken aber gleichzeitig eine zusätzliche Sicherheit für den außergewöhnlichen Lastfall Brand.

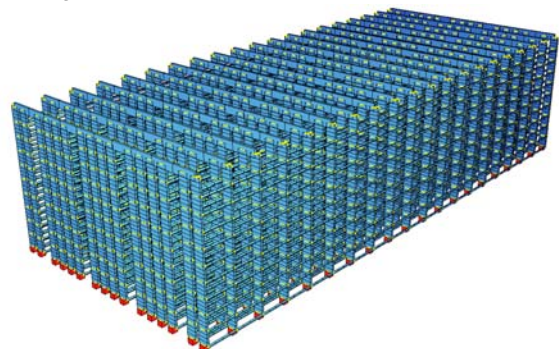


Abbildung 6: Modell zur Voruntersuchung von HRL aus Holz

3 Zusammenfassung

Hochregale werden derzeit fast ausschließlich als Stahlkonstruktionen errichtet. Eine interessante Alternative stellen Lagerkonstruktionen aus Holz dar. Erste Systeme wurden bereits errichtet und haben sich bewährt.

Holz zeichnet sich besonders durch seine kalkulierbaren Eigenschaften im Brandfall und seine Beständigkeit gegen chemische Einwirkungen aus, die in Bezug auf einzulagernde Stoffe interessant wird. Zuletzt ist Holz im Sinne der Nachhaltigkeit ein sehr attraktiver Baustoff.

Alternative Lösungsmöglichkeiten zu Stahl-Hochregallagern bedeuten außerdem eine gewisse Redundanz im Falle steigender Rohstoffpreise.

Anhand der Auswertung von Lagerstatistiken bezüglich Größe und Belastung, werden konstruktive Ansätze zu einem potenziell geeigneten, skalierbaren System entwickelt. Gerade im Hinblick auf die Entwicklung hin zu höheren Lagerstrukturen ist die Konstruktion eines neuen, modularen Systems notwendig. Besondere Bedeutung wird hierbei der Nachweis der Verformungen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit einnehmen.

4 Ausblick

Im weiteren Projektverlauf werden als sinnvoll erachtete Lagertypen entwickelt und hinsichtlich eines möglichen und wirtschaftlichen Einsatzes untersucht. Hierzu sollen im Anschluss geeignete Berechnungsansätze hergeleitet werden, um eine spätere Verbreitung der Holzbaweise von Hochregallagern zu fördern.

Um die Investitionskosten von Holz-Hochregalen zu quantifizieren, wird ein Modell zur groben Kostenabschätzung für beliebige Regalabmessungen entwickelt. Zum Vergleich der Umweltauswirkungen sind Berechnung von Ökobilanzen für Hochregallager aus Holz, Stahl und Holz-Stahl-Hybrid geplant.

5 Literatur

- [1] Musterbauordnung -MBO- Fassung November 2002. -ARGEBAU-, Berlin, 2002.
- [2] Muster-Liste der technischen Baubestimmungen - Fassung März 2014. Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2014.
- [3] DIN EN 1993-1-1 Eurocode3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten. Beuth Verlag, Berlin, 2010.
- [4] DIN EN 1995-1-1 Eurocode3: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Beuth Verlag, Berlin, 2010.
- [5] DIN EN 15512 Ortsfeste Regalanlagen aus Stahl - Verstellbare Palettenregale - Grundlagen der statischen Bemessung. Beuth Verlag, Berlin, 2010.
- [6] FEM 9.831-1 Basis of calculations for storage and retrieval machines - Tolerances, deformations and clearances in the storage system. VDMA, Frankfurt, 2012.
- [7] Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau - Stand Juli 2014. -ARGEBAU-, Berlin, 2014.
- [8] Niemz, P.: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. DRW-Verlag, Leinfelden-Echterdingen, 1993.
- [9] Erler, K.: Korrosion von Vollholz und Brettschichtholz. In: Bautechnik, Nr.75, 1998, S.530-538.
- [10] DIN 68800-1 Holzschutz - Teil 1: Allgemeines. Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- [11] Temperaturen im Hochregallager - Empfehlung 206.10. Schweizerische Gesellschaft für Logistik, Bern, 1996.
- [12] Scheer, C.; Peter, M.: Holz Brandschutz Handbuch. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2009.
- [13] VDI 3564 Empfehlungen für Brandschutz in Hochregalanlagen. Beuth Verlag, Berlin, 2011.
- [14] DIN EN 4102-4 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile. Beuth Verlag, Berlin, 1994.
- [15] Engel, M.: Hochregallager aus Holz: Beeindruckende Hochbauinnovation oder Spiel mit dem Feuer? In: Fachjournal Feuertrutz, Nr. 3, 2014, S. 12-15.
- [16] Meier-Spiering, J.: Vorbeugender Brandschutz in Hochregallagern in besonderer Betrachtung der Sicherheit des dort tätigen Personenkreises. Bachelorarbeit. Hamburg: HAW-Hamburg. 2013.