

Berücksichtigung von Erdbebenlasten bei Regalanlagen

Bei einem Erdbeben entladen sich plötzlich und ruckartig Kräfte, die sich über Jahrhunderte im Spannungsfeld zwischen flüssigheißem Kern und erkalteter, in sich zerrissener Erdkruste - unseres Baugrundes - geraten dabei mit erheblichen Beschleunigungen in Bewegung; darauf befindliche Massen - z.B. aus Eigengewichten und Verkehrslasten von Bauwerken - werden zu gefährlichen Schwingungen angeregt, die von der Erregerfrequenz des Bebens und der komplexen Gebäudekonstellation - Baugrund, Gründung, statisches System, Massenverteilung - abhängig sind.

Für den planenden Ingenieur in Deutschland wird die Naturgewalt eines Erdbebens kalkulierbar, die Standsicherheit seines Tragwerkes für den Erdbebenfall nachweisbar durch **DIN 4149: „Bauten in deutschen Erdbebengebieten; Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.“**

1. Der Inhalt der DIN 4149

Die Norm bietet ein einfaches Instrumentarium zur

- Einstufung der Erdbebengefahr für ein konkretes Bauvorhaben,
- Reduzierung der dynamischen Beanspruchung auf einen Lastfall mit horizontal wirkenden Ersatzlasten,
- Berücksichtigung des Erdbebenlastfalles im Rahmen der Nachweise zur Standsicherheit.

Die Beurteilung der Gefährdung - und damit der Umfang der als notwendig erachteten Vorsorgemaßnahmen - erfolgt in Abhängigkeit vom vorgesehenen Standort und von der vorgesehenen Nutzung des Bauwerkes.

Als gefährdet eingestuft werden nur die wenigen Gebiete Deutschlands mit seismisch aktiver Vergangenheit. Gestützt auf Meßwerte über Verlauf und Intensität geschichtlicher Beben konnten 6 Erdbebenzonen festgelegt werden, die dem vorhandenen Gefahrenpotential differenziert Rechnung tragen (Karte der deutschen Erdbebenzonen oder Beiblatt zu DIN 4149). Charakteristische Rechengröße ist der in Abschn. 7.2.1 zonenabhängig festgelegte ‚Regelwert der Horizontalbeschleunigung a_0' ‘. (Größenordnung: $0,25 \leq a_0 \leq 1.0 \text{ m/s}^2$)

Der Regelwert a_0 ist auf den ‚Modellfall‘ normiert, daß der Baukörper mit dem sog. Grundgebirge direkt verbunden ist ($K=1$). Ungünstige Baugrund- und Bodenverhältnisse als Zwischenschichten führen zu einer manchmal erheblichen Vergrößerung der Erdbebenbeschleunigungen; der Einfluß wird über den ‚Baugrundfaktor K (=Kappa)‘ erfaßt. Er darf für ‚Normalfälle‘ nach Abschn. 7.2.2.1 abgeschätzt werden. (Größenordnung: $1.00 \leq K \leq 1.4$; in Sonderfällen auch größer)

Mit der Art der Nutzung gehen steigende Ansprüche an die Widerstandsfähigkeit des Tragwerkes einher, die reziproportional durch die Einführung des ‚Abminderungsfaktors a' ‘ berücksichtigt werden. Die Mindestforderung zielt auf ausreichenden Personenschutz; keine Abminderung ($\alpha = 1$) wird nur für solche Bauwerke in der

höchstgefährdeten Zone 4 vorgeschrieben, deren Funktion im Katastrophenfall für die Allgemeinheit von besonderer Bedeutung ist. (Größenordnung: $0.5 \leq \alpha \leq 1.0$)

Die genannten Einflüsse werden für die weitere Berechnung zusammengezogen zum ‚Rechenwert der Horizontalbeschleunigung cal_a' ‘: $cal_a = a_0 \cdot K \cdot \alpha$

In Abschnitt 8 der DIN 4149 werden Verfahren vorgestellt, die eine Simulation der dynamischen Bauwerksbeanspruchung infolge Erdbeben durch die Einführung von horizontal wirkenden Ersatzlasten als Bruchteil der Vertikallast gestatten.

Insbesondere das Näherungsverfahren nach Abschn. 8.2 - dem die Zusammenhänge entnommen sind - bietet die Möglichkeit, rasch und ohne großen numerischen Aufwand zu weiterverwertbaren Ergebnissen zu kommen; seine Voraussetzungen werden von normalen Regalanlagen in der Regel erfüllt.

Danach darf die horizontale Ersatzlast, die an einem Massenpunkt - oder im Schwerpunkt von zusammenfaßbaren Massen - anzusetzen ist, ermittelt werden mit der Beziehung:

$$HE = 1.5 \cdot (G+P) \cdot \beta(T1) \cdot cal_a/g \cdot z/h$$

Darin bedeuten im einzelnen:

(G+P): Summe aus ständigen Lasten und Verkehrslasten

$\beta(T1)$: Beiwert des ‚normierten Antwortspektrums‘ gem. Bild 2/ DIN 4149 für die Eigenschwingdauer der Grundschwingung zur Berücksichtigung des dynamischen Bauwerkverhaltens

z: Höhe des betrachteten Massenpunktes über der Fundamentsohle

h: Höhe des obersten Massenpunktes über der Fundamentsohle

Bei einer über die Tragwerkshöhe gleichmäßig verteilten Vertikalbelastung ergibt sich demgemäß ein von 0 (in Höhe der Fundamentsohle) linear auf den Maximalwert ansteigender Verlauf der horizontalen Ersatzlasten.

Die Schnittgrößen können problemlos mit den üblichen Methoden der Statik ermittelt werden.

Der Nachweis der Standsicherheit - in der Norm wird von einem Nachweis der Sicherheit gesprochen - ist für die Schnittgrößenkombination aus ‚regelmäßigen Lasten und Erdbeben-Ersatzlasten‘ zu führen.

Lasten für Verkehrsflächen sollen mit wirklichkeitsnahen, wahrscheinlichen Werten angesetzt werden, weil sie das Schwingungsverhalten des Tragwerks beeinflussen; am Rande sei erwähnt, daß Schneelasten nur mit den halben Werten gem. DIN 1055 berücksichtigt zu werden brauchen und Windlasten für den Erdbebennachweis nicht heranzuziehen sind.

Die ermittelten Spannungen aus der o.g. Schnittkraftkombination dürfen die Streckgrenze des eingesetzten Stahls nicht überschreiten (zul $\sigma \leq \beta_s$ oder Sicherheitsfaktor 1).

Bei Stabilitätsnachweisen (die vorliegende Ausgabe der DIN 4149 bezieht sich noch auf DIN 4114; der ‚Sicherheitsanspruch‘ kann jedoch auf die Verfahren nach DIN 18800, T.2 übertragen werden) darf

- der auf das 0.75fache reduzierte Sicherheitsbeiwert der DIN 4114 für den Lastfall HZ verwendet werden und
- beim Omega-Verfahren 80 % der Streckgrenze des eingesetzten Stahls als zulässige Spannung ausgenutzt werden.

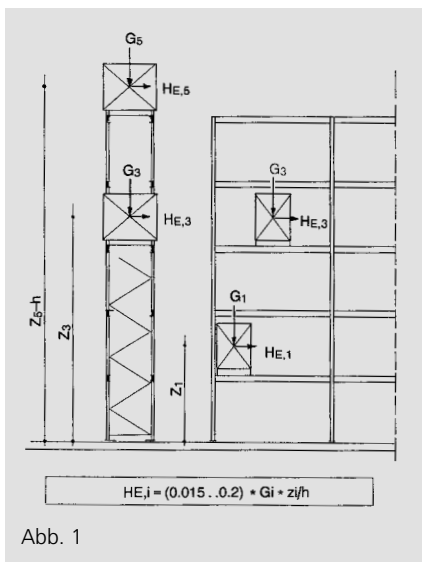


Abb. 1

Auf die Erhöhung der zulässigen Werte für Verbindungsmittel wird im Rahmen dieser Abhandlung nicht weiter eingegangen.

2. Konsequenzen für Bemessung und Ausführung von Regalanlagen

Ungeachtet einer Verordnung, die seine Produkte ausdrücklich von der allgemeinen Genehmigungspflicht freistellt, ist der Hersteller von Regalanlagen gehalten, die ‚anerkannten Regeln der Technik‘ bei Planung, Bemessung und Ausführung zu beachten. Nach allgemeiner Auffassung gehören dazu - neben speziellen fach- und branchenspezifischen Richtlinien - die Normen des DIN als bauaufsichtlich eingeführte technische Bau Bestimmungen.

Demnach sollte der planende Ingenieur von Regalanlagen in der Lage sein, sein System in bestimmten Fällen für den obenstehend skizzierten Erdbebenlastfall nachzuweisen. Die darin ausgewiesenen Extremwerte ergeben sich aus den standort- und nutzungsabhängigen Parametern bei der Berechnung von cal_a . Die Notwendigkeit, jeweils lokale Einflußgrößen berücksichtigen zu müssen, läuft der heute gängigen Vorgehensweise in Regalbau - Nachweis durch eine geprüfte ‚Systemstatik‘, die üblicherweise zu leicht handzuhabenden Anwendungstabellen oder -diagrammen aufgearbeitet ist - natürlich konträr entgegen. Außerdem kann z.B. der Baugrundfaktor vom Regalbauer nicht selbständig abgeschätzt werden.

Ein Ausweg deutet sich in Abschnitt 6 ‚Erforderliche Nachweise‘ an: Danach genügt bei Gebäuden der Bauwerksklasse 1 der allgemeine - nicht rechnerische - Nachweis, daß bestimmte konstruktive Anforderungen eingehalten sind. Dieser könnte systembezogen, ggf. mit Angabe bestimmter Randbedingungen zu Aufstellungsgeometrie, Belastung und Umfeld, formuliert werden als einmalige Ergänzung zur statischen Berechnung.

Die Einstufung von Regalanlagen in die Bauwerksklasse 1 entspricht sicher der Zielsetzung der DIN 4149, die den Vorsorgeaufwand in erster Linie von der

Anzahl der gefährdeten und zu schützenden Personen abhängig macht.

Der ‚Katalog der konstruktiven Anforderungen‘ in Abschnitt 5 der Norm steht allerdings in mancher Hinsicht der typischen Bauweise moderner Regale entgegen.

3. Produkthaftung für Regalanlagen in Erdbebengebieten

In einer Stellungnahme für den ‚Verband für Lagertechnik und Betriebs-einrichtungen‘ kommen die Rechtsanwälte Ehlers, Eichelberg, Voss & Ehlers im Endergebnis zu der Empfehlung, ‚daß der Produzent (von Regalanlagen) nur dann kein Risiko eingeht, wenn er die DIN (4149) bei Lieferung in erdbebengefährdete Gebiete beachtet‘. Begründet wird u.a. mit dem tendenziellen Bestreben der neuen Produkthaftung, ‚für vorhersehbare Schäden einen Ausgleich zu schaffen‘. Und Vorhersehbarkeit wird im Erdbeben-Schadensfall allein durch die Existenz der Norm nachzuweisen sein. Relativiert werden kann das Risiko, von dem die Rede ist, durch folgende Überlegungen:

Die Vorsorgemaßnahmen der DIN 4149 zielen bei den für Regalanlagen in Frage kommenden Bauwerksklassen nur auf einen Mindestschutz für Personen. In den Erläuterungen zur Norm wird der Lastfall ‚Erdbeben‘ als echter Katastrophenlastfall eingestuft. Zur Sicherheitsphilosophie wird ausgeführt: ‚Man geht davon aus, daß die Gebäude sehr starke Beschädigungen erleiden, so daß sie nach dem Erdbeben nur mit aufwendigen Reparaturen weiterverwendet werden können oder daß sie unter Umständen sogar abgerissen werden müssen.‘

Damit dürfte der Hersteller von Regalanlagen zumindest für den Bereich der Sachschäden von der sogenannten Produkt- und Produzentenhaftung entlastet sein.

Zum Schluß soll noch eine für eine DIN ungewöhnliche Empfehlung an den Bauherrn erwähnt werden, durch entsprechende Wahl des Abminderungsfaktors a eine weitergehende Sicherung des Bauwerks anzustreben.