

3. Auflage



Lager im Bauwesen

Tobias Block
Helmut Eggert
Wolfgang Kauschke

Tobias Block
Helmut Eggert
Wolfgang Kauschke

Lager im Bauwesen

3. Auflage

Lager im Bauwesen

**Tobias Block
Helmut Eggert
Wolfgang Kauschke**

Dr.-Ing. *Tobias Block*
Technische Universität Dortmund
Architektur und Bauingenieurwesen
Lehrstuhl Betonbau
August-Schmidt-Str. 8
44227 Dortmund

Dr.-Ing. *Helmut Eggert*
Lenzelpfad 32
12353 Berlin

Dipl.-Ing. *Wolfgang Kauschke*
Bismarckstr. 12A
42781 Haan

Titelfoto: TGV Viadukt Avignon, Frankreich
Quelle: Maurer Söhne GmbH & Co. KG, München, www.maurer-soehne.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2013 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstr. 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgend ein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsmaschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other means – nor transmitted or translated into a machine language without written permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, daß diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: Sonja Frank, Berlin
Produktion: HillerMedien, Berlin
Satz: Uta-Beate Mutz, Leipzig
Druck: AZ Druck- und Datentechnik GmbH, Berlin
Bindung: Stein + Lehmann, Berlin

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

3. vollständig überarbeitete Auflage

Print ISBN: 978-3-433-02921-3
ePDF ISBN: 978-3-433-60321-5
ePub ISBN: 978-3-433-60323-9
mobi ISBN: 978-3-433-60322-2
oBook ISBN: 978-3-433-60320-8

Vorwort

Zum Inhalt

Dieses Buch soll möglichst erschöpfende Antworten auf die Fragen geben, die beim Entwurf und bei der Konstruktion von Brücken stets auftreten, wie z. B.:

Wie muss das Bauwerk gelagert werden? (Kapitel 2)

Welche Kräfte wirken vom Bauwerk auf das Lager? (Kapitel 3)

Welche Lager gibt es überhaupt? (Kapitel 4)

Welche technischen Regeln sind zu beachten? (Kapitel 5)

Über Zulassungen informiert das Kapitel 6.

Forschungsberichte, die sich mit wissenschaftlichen Problemen im Zusammenhang mit Lagern befassen, sind im Kapitel 7 zusammengestellt. Dieses Kapitel enthält auch die Geschichte der modernen Lagertechnik.

Die Literatursammlung – Kapitel 8 – wurde aktualisiert.

Das Buch wendet sich gleichermaßen an den entwerfenden und an den ausschreibenden Ingenieur, an den konstruierenden, rechnenden und prüfenden Ingenieur und an die ausführende Baufirma sowie an „Lehrende und Lernende“.

Es ist in der Regel so, dass mit dem Entwurf eines Bauwerkes bereits gewollt oder ungewollt die Lagerung gewählt ist. Fehlt die Kenntnis dieses Zusammenhangs, so kann dies die eigentliche Ursache späterer Bauschäden sein, etwa deshalb, weil sich die erforderliche Lagerung nicht verwirklichen ließ.

Das Wort „Lager“ hat nicht nur in der deutschen Sprache allgemein, sondern auch in der Technik, sogar in der Bautechnik, verschiedene Bedeutungen.

Dieses Buch befasst sich mit dem in einer Fertigungsstätte hergestellten Bauteil, das in einer Brücke in aller Regel zwischen Unterbau und Überbau eingebaut wird. Es leitet Kräfte definiert weiter und ermöglicht Bewegungen, Verdrehungen und Verschiebungen. Die Bezeichnung der verschiedenen Lagerarten erfolgt zum einen nach der Funktion, zum anderen auch nach dem wesentlichen Werkstoff (s. Abschn. 1.2.4).

Im Glossar – Kapitel 9 – sind die Bezeichnungen genauer definiert. Etwa 350 Stichwörter werden erklärt und die englische Übersetzung angegeben. Nicht in diesem Buch behandelt werden Lager im Sinne von „Magazin“ und „Deponie“ sowie die Bauwerke „Widerlager“. Schwerpunkt des Buches ist der Brückenbau, das „klassische“ Anwendungsgebiet der Lagertechnik. Außerdem beschränken wir uns weitgehend auf den „nicht dynamischen“ Bereich.

Danksagung

Dank gilt einer Reihe von Kollegen für die Unterstützung, insbesondere

Dr.-Ing. *Christian Braun*, München

Dr.-Ing. *Joachim Braun*, Uslar

Frau Professor Dr.-Ing *Ursula Freundt*, Weimar

Frau Dipl.-Ing. *Ines Hoppe*, Berlin

Dr.-Ing. *Karl-Heinz Reinsch*, Berlin und Dr. *Christian Meinhardt*, Berlin
(Verfasser von Abschnitt 3.5)

Bochum/Berlin/Haan, Mai 2013

Tobias Block/Helmut Eggert/Wolfgang Kauschke

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|------------|---|----|
| 1 | Einleitung und allgemeiner Überblick | 1 |
| 1.1 | Entwicklungsgeschichte | 1 |
| 1.2 | Begriffe und Bezeichnungen | 2 |
| 1.2.1 | Lagerung und Lager als Teil des Tragwerks | 2 |
| 1.2.2 | Abwälzen, Gleiten, Verformen | 4 |
| 1.2.3 | Lager, Gelenk, Pendel | 6 |
| 1.2.4 | Lagerbezeichnungen | 7 |
| 1.3 | Grundsätze zur Wahl der Lagerung | 7 |
| 1.4 | Auflagerbewegungen | 9 |
| 1.4.1 | Allgemeines | 9 |
| 1.4.2 | Verschiebungen infolge Temperatur | 13 |
| 1.4.3 | Verschiebungen infolge Vorspannen, Kriechen und Schwinden | 14 |
| 1.4.4 | Auflagerverschiebungen infolge äußerer Lasten | 14 |
| 1.4.5 | Auflagerdrehwinkel | 15 |
| 1.5 | Lagersymbole | 17 |
| 1.6 | Verdrehungswiderstand | 17 |
| 1.6.1 | Anfangsmoment | 17 |
| 1.6.2 | Rückstellmoment und Verdrehung | 18 |
| 1.6.3 | Weitere Abhängigkeiten | 20 |
| 1.6.4 | Einfluss der Horizontalkräfte | 20 |
| 1.6.5 | Auswirkung des Rückstellmomentes auf die Konstruktion | 21 |
| 2 | Bauwerk und Lagerungsplan | 23 |
| 2.1 | Allgemeines | 23 |
| 2.2 | Brücken | 24 |
| 2.2.1 | Einfluss der Brückenquerschnitte | 24 |
| 2.2.2 | Einfluss des Brückengrundrisses | 27 |
| 2.2.2.1 | Einfeldträger (orthogonal) | 27 |
| 2.2.2.2 | Einfeldträger (schief) | 28 |
| 2.2.2.3 | Zweifeldträger (orthogonal) | 29 |
| 2.2.2.4 | Zweifeldträger (schief) | 30 |
| 2.2.2.5 | Durchlaufträger (orthogonal) | 30 |
| 2.2.2.6 | Durchlaufträger (gekrümmt) | 31 |
| 2.2.3 | Lagerungsbeispiele | 34 |
| 2.2.3.1 | Einfeldträger (orthogonal) | 34 |
| 2.2.3.2 | Zweifeldträger (schief) | 35 |
| 2.2.3.3 | Durchlaufträger (orthogonal) | 35 |
| 2.2.3.4 | Durchlaufträger (gekrümmt) | 36 |
| 2.2.4 | Einfluss des Baugrundes | 45 |
| 2.2.5 | Von der Ausschreibung bis zum Einbau der Lager | 46 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 3 | Bauwerk und Lagerkräfte | 49 |
| 3.1 | Vom Gelenk zum Lager | 49 |
| 3.2 | Berechnung von Brücken | 50 |
| 3.2.1 | Allgemeines | 50 |
| 3.2.2 | Abtragung vertikaler Lasten | 54 |
| 3.2.3 | Abtragung horizontaler Lasten in Brückenlängsrichtung | 56 |
| 3.2.4 | Abtragung horizontaler Lasten in Brückenquerrichtung | 58 |
| 3.2.5 | Kräfte in Abhängigkeit von der Lagerart | 59 |
| 3.2.6 | Lagerbewegungen | 61 |
| 3.2.7 | Lagesicherheit | 61 |
| 3.2.8 | Sicherheitsbetrachtungen unter Berücksichtigung der Lagereigenschaften | 63 |
| 3.3 | Einfluss der Lager auf die Stabilität der Bauwerke | 67 |
| 3.3.1 | Allgemeines | 67 |
| 3.3.2 | Rand- und Zwischenbedingungen für Lager | 68 |
| 3.3.3 | Knicklängen von Pfeilern | 72 |
| 3.3.3.1 | Allgemeines | 72 |
| 3.3.3.2 | Einzelpfeiler | 73 |
| 3.3.3.3 | Gerade Brücken mit beliebigen Pfeilern | 73 |
| 3.3.3.4 | Gerade Brücken mit nur zwei Pfeilertypen | 76 |
| 3.3.3.5 | Gerade Brücken mit Kipplagern | 78 |
| 3.3.3.6 | Gekrümmte Brücken | 78 |
| 3.3.3.7 | Elastische Einspannung, variable Biegesteifigkeit und Längskraft | 79 |
| 3.3.4 | Nachweis der Sicherheit am Gesamtsystem | 80 |
| 3.4 | Nachweis nach Theorie II. Ordnung | 80 |
| 3.5 | Schwingungsschutzmaßnahmen für Brücken | 83 |
| 3.5.1 | Dynamische Einwirkungen | 83 |
| 3.5.1.1 | Personeninduzierte Schwingungen | 84 |
| 3.5.1.2 | Dynamische Einwirkungen bei Erdbeben-Anregung | 85 |
| 3.5.1.3 | Windinduzierte Schwingungen | 86 |
| 3.5.2 | Maßnahmen zur Reduzierung von Schwingungen | 88 |
| 3.5.2.1 | Schwingungsisolierung | 89 |
| 3.5.2.2 | Konstruktionselemente zur Schwingungsreduzierung | 93 |
| 3.5.3 | Projektbeispiel: Elastisches Lagerungssystem zum Schutz vor Schienenverkehrserschütterungen und Körperschall – Xizhimen Brücke, Peking, China | 102 |
| 3.5.4 | Projektbeispiel: Elastisches Lagerungssystem zum Schutz vor personeninduzierten Schwingungen – Südbrücke Oberhavel, Berlin, Deutschland | 103 |
| 3.5.5 | Projektbeispiel: Applikation diskreter Dämpfungselemente zum Erdbebenschutz – Flughafen-Brücke Sotchi, Russland | 104 |
| 3.5.6 | Projektbeispiel: Einbau von Tuned Mass Control Systemen zum Erdbebenschutz – Puente Oriente, Guadalajara, Mexiko | 105 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.5.7 | Projektbeispiel: Applikation von Schwingungstilgern zur Reduktion von wirbelinduzierten Schwingungen – Muiderbrug, Amsterdam, Holland | 106 |
| 3.5.8 | Projektbeispiel: Applikation von Schwingungstilgern zur Reduktion von fußgängerinduzierten Schwingungen – Millennium Bridge, London, Großbritannien | 107 |
| 4 | Lagerarten | 109 |
| 4.1 | Grundsätzliches | 109 |
| 4.2 | Werkstoffe – Allgemeine Konstruktions- und Bemessungsregeln | 110 |
| 4.2.1 | Werkstoffe | 110 |
| 4.2.1.1 | Stahlsorten für Bauteile | 110 |
| 4.2.1.2 | Verbindungsmittel für Schraubenverbindungen | 111 |
| 4.2.1.3 | Schweißen | 114 |
| 4.2.2 | Schnittgrößen und Freiheitsgrade | 115 |
| 4.2.3 | Bemessungsregeln | 116 |
| 4.2.3.1 | Lagerplatten | 116 |
| 4.2.3.2 | Schraubenverbindungen | 116 |
| 4.2.3.3 | Schweißverbindungen | 119 |
| 4.2.3.4 | Pressung in den Lagerfugen | 120 |
| 4.2.3.5 | Nachweis der Lagesicherheit | 123 |
| 4.2.3.6 | Konstruktive Hinweise zur Aufnahme der Horizontalkräfte in den Lagerfugen | 124 |
| 4.2.3.7 | Verankerung durch Kopfbolzendübel | 126 |
| 4.2.3.8 | Korrosionsschutz | 128 |
| 4.3 | Feste Lager | 129 |
| 4.3.1 | Allgemeines | 129 |
| 4.3.2 | Stahl-Punktkipplager | 133 |
| 4.3.2.1 | Werkstoffe und Konstruktion | 133 |
| 4.3.2.2 | Konstruktions- und Bemessungsregeln | 135 |
| 4.3.3 | Topflager | 139 |
| 4.3.4 | Kalottenlager | 145 |
| 4.3.5 | Feste Verformungslager | 148 |
| 4.3.5.1 | Vorbemerkung | 148 |
| 4.3.5.2 | Zapfenlager | 148 |
| 4.3.5.3 | Topf-Verformungslager | 150 |
| 4.4 | Gleitlager | 152 |
| 4.4.1 | Allgemeines | 152 |
| 4.4.2 | Gleitlagersystem | 154 |
| 4.4.3 | Bemessung der Lagerplatten | 155 |
| 4.4.3.1 | Gleitplatte und Gleitwerkstoffaufnahme | 155 |
| 4.4.3.2 | Bemessung der Gleitwerkstoffaufnahme | 158 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 4.4.4 | Punktkippleitlager | 161 |
| 4.4.4.1 | Allgemeines | 161 |
| 4.4.4.2 | Konstruktions- und Bemessungsregeln | 161 |
| 4.4.4.3 | Bemessung der Gleitwerkstoffaufnahme | 162 |
| 4.4.4.4 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis der Beanspruchungen in der Gleitwerkstoff-Gleitfläche | 164 |
| 4.4.5 | Topfgleitlager | 165 |
| 4.4.5.1 | Allgemeines | 165 |
| 4.4.5.2 | Konstruktions- und Bemessungsregeln | 166 |
| 4.4.5.3 | Grundlagen zur Bemessung der Gleitwerkstoffaufnahme | 166 |
| 4.4.5.4 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis der Pressung in der Gleitwerkstoff-Gleitfläche | 168 |
| 4.4.5.5 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis in der oberen und unteren Lagerfuge | 169 |
| 4.4.6 | Kalottenlager | 169 |
| 4.4.6.1 | Allgemeines | 169 |
| 4.4.6.2 | Konstruktions- und Bemessungsregeln | 170 |
| 4.4.6.3 | Bemessung der Gleitwerkstoffaufnahmen | 171 |
| 4.4.6.4 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis der Beanspruchungen in den Gleitwerkstoff-Gleitflächen | 171 |
| 4.4.6.5 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis in der oberen und unteren Lagerfuge | 172 |
| 4.4.6.6 | Beanspruchung der Gleitwerkstoff-Führungsflächen | 172 |
| 4.4.7 | Verformungsgleitlager | 172 |
| 4.4.7.1 | Allgemeines | 172 |
| 4.4.7.2 | Konstruktions- und Bemessungsregeln | 173 |
| 4.4.7.3 | Grundlagen zur Bemessung der Gleitwerkstoffaufnahme | 174 |
| 4.4.7.4 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis der Pressung in der Gleitwerkstoff-Gleitfläche | 176 |
| 4.4.7.5 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis in der oberen und unteren Lagerfuge | 177 |
| 4.4.8 | Elastomer-Gleitlager | 177 |
| 4.4.8.1 | Allgemeines | 177 |
| 4.4.8.2 | Konstruktions- und Bemessungsregeln | 178 |
| 4.4.8.3 | Bemessung der Gleitwerkstoffaufnahme | 178 |
| 4.4.8.4 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis der Pressung in der Gleitwerkstoff-Gleitfläche | 179 |
| 4.4.8.5 | Lastexzentrizitäten für den Nachweis in der oberen und unteren Lagerfuge | 179 |
| 4.5 | Verformungslager | 179 |
| 4.5.1 | Aufbau und Herstellung | 179 |
| 4.5.2 | Physikalische Eigenschaften | 180 |
| 4.5.2.1 | Allgemeines | 180 |
| 4.5.2.2 | Gummielastizität | 181 |
| 4.5.2.3 | Schubmodul | 183 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 4.5.2.4 | Elastizitätsmodul und vertikale Verformung | 186 |
| 4.5.2.5 | Verdrehwiderstand | 187 |
| 4.5.2.6 | Mullins-Effekt | 189 |
| 4.5.2.7 | Stabilität | 190 |
| 4.5.2.8 | Thermische Eigenschaften | 190 |
| 4.5.2.9 | Kriechen und Relaxation | 193 |
| 4.5.2.10 | Haftreibung | 194 |
| 4.5.3 | Elastizitätstheoretische Spannungsermittlung | 196 |
| 4.5.3.1 | Allgemeines | 196 |
| 4.5.3.2 | Druckverformung | 196 |
| 4.5.3.3 | Auflagerverdrehung | 199 |
| 4.5.3.4 | Schubverformungen | 201 |
| 4.5.3.5 | Aufnahme der Schubspannungen – Beanspruchung der Bewehrung | 202 |
| 4.5.4 | Bemessung bewehrter Elastomerlager | 203 |
| 5 | Regelwerke / Normen | 207 |
| 5.1 | Allgemeine Situation | 207 |
| 5.2 | Die Europäische Lagernormreihe DIN EN 1337 – Lager im Bauwesen | 208 |
| 5.2.1 | DIN EN 1337-1: 2001-02 Lager im Bauwesen Teil 1: Allgemeine Regelungen | 209 |
| 5.2.2 | DIN EN 1337-2: 2004-07 Lager im Bauwesen Teil 2: Gleitteile | 235 |
| 5.2.3 | DIN EN 1337-3: 2005-07 Lager im Bauwesen Teil 3: Elastomerlager | 255 |
| 5.2.4 | DIN EN 1337-4: 2004-08 Lager im Bauwesen Teil 4: Rollenlager | 280 |
| 5.2.5 | DIN EN 1337-5: 2005-07 Lager im Bauwesen Teil 5: Topflager | 282 |
| 5.2.6 | DIN EN 1337-6: 2004-08 Lager im Bauwesen Teil 6: Kipplager | 297 |
| 5.2.7 | DIN EN 1337-7: 2004-08 Lager im Bauwesen Teil 7: Kalotten- und Zylinderlager mit PTFE | 308 |
| 5.2.8 | DIN EN 1337-8: 2008-01 Lager im Bauwesen Teil 8: Führungslager und Festhaltekonstruktionen | 320 |
| 5.2.9 | DIN EN 1337-9: 1998-04 Lager im Bauwesen Teil 9: Schutz | 331 |
| 5.2.10 | DIN EN 1337-10: 2003-11 Lager im Bauwesen Teil 10: Inspektion und Instandhaltung | 335 |
| 5.2.11 | DIN EN 1337-11: 1998-04 Lager im Bauwesen Teil 11: Transport, Zwischenlagerung und Einbau | 349 |
| 5.3 | Weitere Richtlinien | 359 |
| 5.3.1 | Allgemeines | 359 |
| 5.3.2 | Richtzeichnungen Lag | 359 |
| 5.3.3 | ZTV-ING | 374 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 5.3.4 | DIN-Fachbericht (FB) 101 Anhang O | 374 |
| 5.3.5 | Nationaler Anhang von DIN EN 1990:2010-12 Anhang NA.E Grundlegende Anforderungen an Lagersysteme von Brückentragwerken | 374 |
| 6 | Zulassungen | 375 |
| 6.1 | Einleitung | 375 |
| 6.1.1 | Vorgeschichte und derzeitige nationale Situation | 375 |
| 6.1.2 | Europäische Situation | 376 |
| 6.1.3 | Zulassungsbestand/Antragsteller | 376 |
| 6.2 | Ausstattungszulassungen | 378 |
| 6.2.1 | Vorbemerkung | 378 |
| 6.2.2 | Tabelle der Ausstattungszulassungen | 380 |
| 6.2.3 | Standardtext – Zulassungsgegenstand: Ausstattung von Brückenlagern, Besondere Bestimmungen | 382 |
| 6.2.4 | Anlagen | 392 |
| 6.3 | ETAs für Lager | 399 |
| 6.3.1 | Vorbemerkung | 399 |
| 6.3.2 | Übersicht | 399 |
| 6.3.3 | Standardtext | 400 |
| 6.4 | Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen (abZ) | 405 |
| 6.4.1 | Vorbemerkung | 405 |
| 6.4.2 | Verformungsgleitlager – Besondere Bestimmungen (Auszug) | 405 |
| | Anlagen | 420 |
| 6.4.3 | Führungslager – Besondere Bestimmungen (Auszug) | 424 |
| | Anlagen | 426 |
| 6.4.4 | Topfgleitlager – Besondere Bestimmungen (Auszug) | 429 |
| | Anlagen | 431 |
| 6.4.5 | Kalotten- und Zylinderlager – Besondere Bestimmungen (Auszug) | 435 |
| | Anlagen | 442 |
| 6.5 | Schwingungsisolatoren | 448 |
| 6.5.1 | Vorbemerkung | 448 |
| 6.5.2 | Besondere Bestimmungen (Auszug ohne Anlagen 2 bis 8) | 448 |
| 6.5.3 | Anlagen | 456 |
| 7 | Wissenschaft und Forschung | 459 |
| 7.1 | Dissertationen | 459 |
| 7.2 | Forschungsberichte | 482 |
| 7.2.1 | Übersicht | 482 |
| 7.2.2 | Gleitlager | 483 |
| 7.2.3 | Elastomerlager | 492 |
| 7.2.4 | Lagerplatten | 499 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 7.2.5 | Reibung ohne Gleitwerkstoff | 504 |
| 7.2.6 | Bauteile und Bauwerke | 508 |
| 7.2.7 | Sonderfragen | 514 |
| 7.3 | Brückenlagertechnik in Deutschland / Die Geschichte einer technischen Revolution | 522 |
| 7.3.1 | Vorbemerkungen | 522 |
| 7.3.2 | Alte Technik | 523 |
| 7.3.3 | Elastomerlager | 528 |
| 7.3.4 | Vielrollenlager (Nadellager) und Kugellager | 532 |
| 7.3.5 | Topflager | 533 |
| 7.3.6 | Stahl-Beton-Lager | 537 |
| 7.3.7 | Ein-Rollen-Lager | 539 |
| 7.3.8 | Gleitlager | 546 |
| 7.3.9 | Kalottenlager | 554 |
| 7.3.10 | Verformungsgleitlager | 557 |
| 7.3.11 | Festhaltekonstruktionen | 558 |
| 7.3.12 | Die technischen Regeln (Normen und Zulassungen) | 559 |
| 7.3.13 | Zeittafel für die Geschichte | 560 |
| 8 | Literatur | 563 |
| 8.1 | Kurzkomentare zu einigen Veröffentlichungen | 563 |
| 8.1.1 | Allgemeines | 563 |
| 8.1.2 | Historisch interessantes Schrifttum | 566 |
| 8.1.3 | Versuchsberichte | 568 |
| 8.1.4 | Praktische Anwendungen | 569 |
| 8.1.5 | Berechnung, Statik | 574 |
| 8.2 | Zitierte Literaturstellen | 579 |
| 9 | Glossar | 593 |
| 10 | Stichwortverzeichnis | 619 |

1 Einleitung und allgemeiner Überblick

1.1 Entwicklungsgeschichte

Allgemein wird die Auffassung vertreten, dass die erste bahnbrechende Erfindung des Menschen das Rad war, denn dazu findet sich kein Analogon in der Natur (siehe auch [199]). Die Lager jedoch sind durchweg bereits von der Natur vorgegeben, und zwar sowohl in Erscheinungen außerhalb der lebenden Körper – der runde Stein als Kugel- oder Kipplager, der gefällte runde Baumstamm als Rollenlager – als auch in den Lebewesen selbst. Das Problem gegenseitiger Bewegungen von harten Teilen musste evolutionär gelöst werden. Dies gelang, wenn auch manche Lösungen wie Bandscheiben und Hüftgelenke ihre Schwächen haben und oft nicht ein ganzes Leben lang ihre Funktionen erfüllen.

Gleitlager waren in früheren Zeiten aus Hartholz gefertigt. Gleitlager Stahl auf Stahl werden in [123] wie folgt beschrieben:

„Bei den Gleitlagern ruht das Trägerende auf einer gut abgehobelten, gefetteten Platte und muss bei der Bewegung die gleitende Reibung überwunden werden.“

Solche Gleitlager sind aus heutiger Sicht nur für temporäre Zwecke denkbar, weil die Gleitfuge relativ schnell durch Korrosion unbrauchbar wird. Das Fett wird durch Gleitbewegung weggeschoben.

Das klassische, bewegliche Lager war noch in der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts das 2-Rollenlager mit einer Kippplatte, und zwar als „bewegliches Kugelkipplager“, wenn die Platte eine Punktkippung vorsah, andernfalls als „bewegliches Linienkipplager“. Es gab auch allseitig bewegliche Lager, indem zwei Rollenlagerpaare übereinander angeordnet wurden.

Ein 1933 begonnenes Normungsvorhaben (DIN 1038, DIN 1039) wurde nie zu einem Abschluss gebracht. Diese Normen waren nach heutigem Sprachverständnis Typisierungen: Die Maße für „bewegliche Kugelkipplager“ und „feste Linienkipplager“ von „75 t bis 300 t Auflagerkraft“ wurden detailliert festgelegt und die Gewichte angegeben (das größte Lager wog 2280 kg).

Die „schwimmende Lagerung“ als unheimlicher Gedanke ist alt.

Zitat aus [123]: „Zuweilen hat man alle Lager beweglich konstruiert. In diesem Falle müssen Vorsichtsmaßregeln getroffen werden, um ein Herabrollen der Lager zu verhüten, da in Folge von Zufälligkeiten selbst bei gleicher Konstruktion nicht immer beide Lager in gleicher Weise wirken.“

Die Vorstellung, dass bei Brücken im Gefälle das feste Lager am unteren Widerlager sein muss, obwohl es bei ordnungsgemäß, d. h. horizontal verlegten Lagern dafür eigentlich keine Begründung gibt, ist sehr alt und hat sich über die Generationen bis heute noch nicht verflüchtigt.

Zitat aus [123]: „Nur wenn die Brücke im Gefälle liegt, ordnet man meist das feste Lager am unteren Ende an, da der auftretende Schub vom Widerlager leichter als von einem Zwischenfeiler aufgenommen werden kann.“

In diesem vor mehr als 100 Jahren erschienenen Buch werden übrigens bereits Verformungslager („Kautschukplatten“) erwähnt, und zwar als Alternative zu Bleiplatten, die somit als deren Vorläufer eingestuft werden können.

1.2 Begriffe und Bezeichnungen

Mit der teilweisen Einführung von Eurocodes und der weiteren Gültigkeit deutscher Normen existieren heute in den verschiedenen Regelwerken unterschiedliche Begriffe für die gleiche Sache.

In diesem Buch gilt Folgendes:

Soweit vorhandene Regelwerke wiedergegeben werden oder auf sie verwiesen wird, hat die Bezeichnung in diesen Regelwerken Priorität.

Wenn für in sich geschlossene Darstellungen Sonderregelungen getroffen werden, wird dies besonders vermerkt.

Als Achsenrichtungen werden stets x für die Hauptrichtung (Längsrichtung bei Brücken), y für die horizontale Querrichtung und z für die andere (lotrechte) Richtung, rechtwinklig zu x und y , genommen.

Wenn von vertikalen und horizontalen Lasten, Flächen, Bewegungen etc. die Rede ist, dann bezieht sich dies stets auf den Normalfall, dass die ständige Last eine lotrechte Richtung hat. Ist dies nicht der Fall, wie z. B. beim Kämpfergelenk einer Bogenbrücke, so werden die Begriffe „normal zur Lagerebene“ und „in Lagerebene“ benutzt.

1.2.1 Lagerung und Lager als Teil des Tragwerks

Die Darstellung eines Balkens auf mehreren Stützen als statisches System erfolgt mittels der Symbole „Gerade“ (für den Balken), „Dreieck“ (für die Unterstützung), „Strich unter dem Dreieck“ (für die horizontale Beweglichkeit) (Bild 1.1).



Bild 1.1 Symbolische Darstellung eines Mehrfeldbalkens

Diese Darstellung ist eine extreme Vereinfachung der wirklichen Situation. Für das Ziel der Statik – Ermittlung der Schnittgrößen des Balkens (Biegemomente, Querkräfte und Normalkräfte) – ist sie ausreichend. Das reale Tragwerk ist jedoch immer ein räumliches Gebilde, das in einfachen Fällen aus einem Überbau (Brückenüberbau, Dachdecke, Rahmenbinder) und einer Anzahl Unterbauten (Pfeiler und Widerlager bei Brücken, Stützen und Wänden bei Hochbauten) besteht.

Der Übergang zwischen Überbauten und Unterbauten – in der Skizze des Balkens auf mehreren Stützen ist das nur ein Punkt – kann auch allseitig biegesteif erfolgen. Die Berechnung des Bauwerks erfolgt dann als Gesamttragwerk und die Unterstützungen des Balkens sind nur statisch definierte Punkte. Konstruktionen dieser Art interessieren im Rahmen dieser Abhandlung nicht (Bild 1.2).

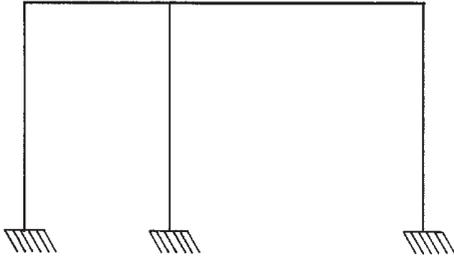


Bild 1.2 System eines Tragwerks ohne Lager – kein Thema dieses Buches!

Wenn man für Unterbauten und Überbauten verschiedene Baustoffe verwendet, ist ein biegesteifer Anschluss schwierig oder unmöglich (z. B. bei Stahlbetondecken auf Mauerwerk). Wenn die Überbauten große horizontale Ausdehnungen haben, sind biegesteife Anschlüsse unwirtschaftlich (z. B. meist bei Brücken). In solchen Fällen bietet es sich an, Bauteile zwischen dem Überbau und den Unterbauten anzuordnen, die einen Bewegungsausgleich (Verdrehung = Rotation; Verschiebung = Translation) ermöglichen. Solche Bauteile nennt man Lager. Sie werden in der Regel von Spezialfirmen gefertigt.

Lager sind also Bauteile, die zwischen Bauwerksteilen angeordnet werden, um in der statischen Berechnung vorausgesetzte Rand- oder Zwischenbedingungen zu erfüllen.

Es gibt natürlich auch andere Alternativen zur Einspannung, zum Beispiel Betongelenke oder das einfache Auflegen des Überbaus auf den Unterbau.

Betongelenke realisieren immerhin weitgehend eine definierte Bedingung, nämlich einen Momentennullpunkt.

Das einfache Auflegen, obwohl es für Hochbauten die Regel ist, erzeugt im Auflagerbereich komplizierte, von den jeweiligen Baustoffen, Toleranzen, Belastungen etc. abhängige Beanspruchungen und führt dort in vielen Fällen zwangsläufig zu irreparablen Schäden wie z. B. Abplatzungen und Biegerissen.

Die statischen Zustände in den Auflagerbereichen nennt man **Lagerung**, unabhängig davon, ob Lager verwendet werden oder nicht.

Jedes erdgebundene Tragwerk besitzt somit eine Lagerung. Die falsche Einschätzung der Lagerung eines Tragwerks verursacht viele Schäden, wobei Risse den ersten Rang einnehmen.

In Bild 1.3 sind beispielhaft 3 Lagerungen dargestellt, und zwar

- a) biegesteifer Deckenanschluss,
- b) einfaches Auflager der Decke,
- c) Lager zwischen Decke und Wand.

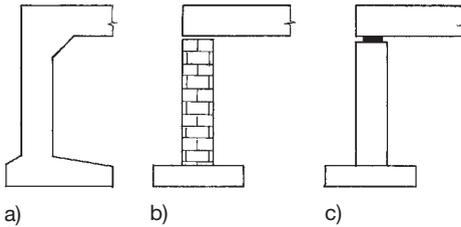


Bild 1.3 Hochbaulagerung
a) biegesteif, b) einfache Auflagerung, c) mit Lager

1.2.2 Abwälzen, Gleiten, Verformen

Wenn sich ein Bauteil (I) auf ein zweites Bauteil (II) abstützt, so ist eine gegenseitige **Verdrehung** (Rotation) auf 3 verschiedene Arten realisierbar:

- durch gegenseitiges Abwälzen von Berührungsflächen mit ungleicher Krümmung (Kugel, Zylinder, Ebene) (Bild 1.4),
- durch gegenseitiges Verschieben (Gleiten) von Berührungsflächen gleicher Krümmung (Kugel, Zylinder, Ebene) (Bild 1.5),
- durch Verformen zwischengeschalteter Medien (Bild 1.6).

Die Verdrehung (= Rotation) wird bei jedem Lager mindestens um eine Achse realisiert. Die Rotation um eine Achse (Linienkipfung) wird jedoch zugunsten der allseitigen Kippung bei Neubauten nicht mehr angewandt. Im Klartext: Rollenlager und Linienkipplager sind ausgestorben. Sie werden deshalb in den nachfolgenden Kapiteln nicht behandelt.

Die Verschiebung (Translation) zwischen 2 Bauteilen (I und II) lässt sich – völlig analog zur Verdrehung – ebenfalls auf 3 verschiedene Arten verwirklichen:

- durch Rollen (Bild 1.7),
- durch Gleiten (Bild 1.8),
- durch Verformen (Bild 1.9).

Ein Lager, bei dem die Verschiebung (Translation) nicht möglich ist, nennt man (bei allseitiger Fixierung) festes Lager oder Fixpunktlager. Bei einseitiger Fixierung wird es als einseitig bewegliches Lager bzw. Führungslager bezeichnet.

Für die Begriffe einseitig und allseitig werden auch die Bezeichnungen „einachsrig“ und „zweiachsrig“ verwendet. Die Verwirklichung von Translation und Rotation durch Wälzen, Gleiten oder Verformen lässt sich in der Form einer Matrix darstellen, s. Tabelle 1.1.

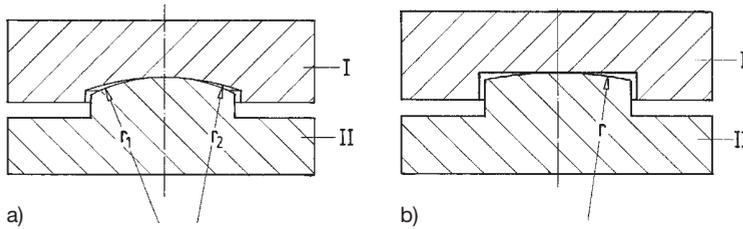


Bild 1.4 Verdrehbarkeit durch Abwälzungen
a) Kugel konvex/konkav, b) Kugel/Ebene

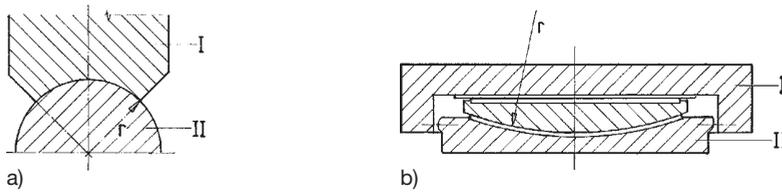


Bild 1.5 Verdrehbarkeit durch Gleitungen
a) einfaches Gleitgelenk, b) Kalottenlager

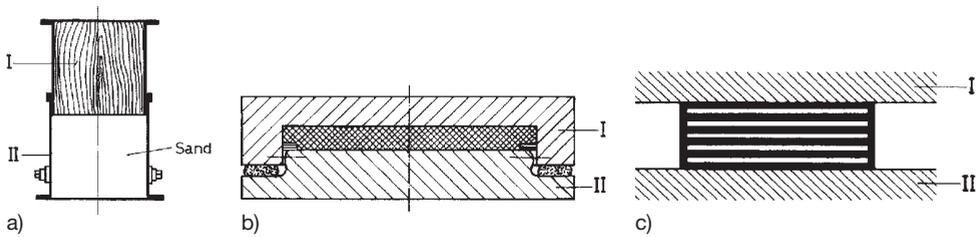


Bild 1.6 Verdrehbarkeit durch Materialdeformation
a) Sandtopf, b) Gummitopf, c) Verformungslager

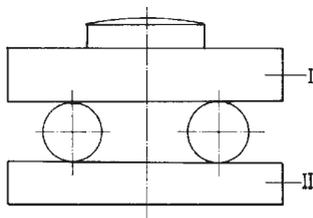


Bild 1.7 Verschiebbarkeit durch Rollen oder Kugeln (2-Rollenlager mit Kippleiste)

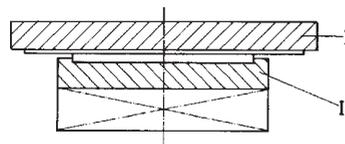


Bild 1.8 Verschiebbarkeit durch Gleiten (Brückengleitlager)

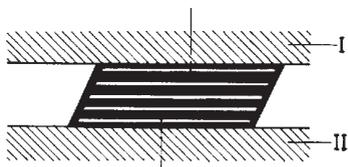


Bild 1.9 Verschiebbarkeit durch Materialdeformation (bewehrtes Elastomerlager)

Tabelle 1.1 Lagerungsmatrix

| Bewegungsart | Translation | Rotation |
|--------------|-----------------------|--|
| Wälzen | Rolle, Kugel | Flächen mit ungleicher und mit konstanter Krümmung |
| Gleiten | Ebenen | Flächen mit gleicher und mit konstanter Krümmung |
| Verformen | deformierbarer Quader | Topf; deformierbarer Quader |

1.2.3 Lager, Gelenk, Pendel

In der Statik kommen die Begriffe „gelenkige Lagerung“ und „Schnittkraft“-Gelenk (für die Schnittkräfte Normalkraft, Querkraft, Biege- und Torsionsmoment) nebeneinander vor. Sie bedeuten stets, dass in der Berechnung eine Schnittkraft an der Stelle des Gelenks zu null angenommen wurde. Im Gegensatz dazu steht die „Einspannung“, bei der alle Schnittkräfte endliche Werte haben.

Die Realisierung eines Gelenks zur Erfüllung der statischen Annahmen kann auf verschiedene Weise erfolgen. Eine häufige Methode ist die Einschnürung einer Stahlbetonstütze zu einem Betongelenk. Im Stahlbau gibt es sogar die Möglichkeit, rechnerisch ein festes Moment als maximal mögliche Schnittkraft anzunehmen. Es ist dann von einem Fließgelenk die Rede.

Das Zwischenschalten von Lagern zwischen die zu verbindenden Bauteile ergibt ebenfalls ein Gelenk. Dieses Buch handelt ausschließlich von solchen Lagern.

Die Definition findet sich DIN EN 1337 Teil 1 Abschn. 3.1.1 (s. Abschn. 5.2).

Zum Begriff Lagerung – siehe DIN EN 1337 Teil 1 Abschn. 3.1.2 – zählt man alles, was baulich getan wird, um die angenommenen Randbedingungen eines Bauteils zu erfüllen. Die Gründung eines Bauwerks („Bettung“) gehört genauso dazu wie die Verankerung von Abspannungen, ebenso die Einspannung des Überbaus in den Unterbau.

Lager sind eine Möglichkeit, die Lagerung planmäßig zu realisieren. In einen Lagerungsplan gehören somit nicht nur die Darstellung der Lager, sondern – sofern vorgesehen – auch die Angabe weiterer Maßnahmen. Konkret ist deshalb ein Symbol für die Einspannung – X – unverzichtbar, obwohl es, weil es kein Lagersymbol ist, in den Regelwerken für Lager fehlt.

Pendel- und Stelzenlager werden häufig begriffsmäßig nicht auseinandergehalten.

In Deutschland ist es üblich geworden, die „ausgehungerten“ Rollenlager, bei denen nicht benötigte Segmente abgeschnitten werden (in Großbritannien noch üblich), „Stelzenlager“ zu nennen. Bei ihnen fallen – anders als bei Pendeln – Krümmungsmittelpunkt und Mitte zusammen. Ein Pendel liegt vor, wenn ein Bauteil von 2 Gelenken begrenzt wird. Das Pendel ist also einem Fachwerkstab gleichzusetzen, die Gelenke können Kipplager sein.

1.2.4 Lagerbezeichnungen

Bezeichnung nach der Funktion bzw. Form

Punktkipplager, Gleitlager, Topflager, Kalottenlager, Verformungslager, Feste Lager, Bewegliche Lager, Festhaltekonstruktionen und Horizontalkraftlager sind heute üblich, im Industriebau auch Vielkugellager.

In Deutschland veraltet sind Rollenlager, Stelzenlager, Nadellager und Linienkipplager.

Bezeichnung nach dem wesentlichen Baustoff

Man unterscheidet Bleilager (veraltet), Stahllager, Gleitwerkstofflager und Elastomerlager (Gummilager), bewehrt und unbewehrt (für den Hochbau).

Kombinationsbezeichnungen

Punktkippleitlager, Topfgleitlager, Kalottengleitlager und Verformungsgleitlager sind ebenfalls gebräuchliche Bezeichnungen.

1.3 Grundsätze zur Wahl der Lagerung

Sieben Grundsätze zur Wahl der Lagerung, die sich aufgrund elementarer Überlegungen unter Berücksichtigung der allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik ergeben, sind zu beachten, wenn Schäden auf Dauer vermieden werden sollen:

1. Die Lagerung eines Bauwerks sollte zwängungsarm sein.

Eine zwängungsarme Lagerung eines Bauwerks wird erreicht, wenn nur **ein** festes Lager, **ein** einseitig bewegliches Lager mit Bewegungsrichtung zum festen Lager und im Übrigen nur allseitig bewegliche Lager vorgesehen werden. Alle Lager müssen Auflagerdrehungen in alle vorkommenden Winkelrichtungen gestatten. Jede Abweichung von diesem Schema erzeugt Zwängungen, die durch alle Bauteile einschließlich der Lager verfolgt werden müssen. Einfache Rollen- und Linienkipplager können diese Forderung nicht erfüllen. Bei nicht zwängungsfreier Lagerung von Brücken können Zwangskräfte infolge der Verwölbung des Überbaus ein Mehrfaches der übrigen Zwangskräfte betragen und dürfen daher nicht vernachlässigt werden.

2. Statische Berechnungen sollten stets auf der sicheren Seite liegen.

Wenn Zwängungskräfte aus Formänderungen, also die Reibungskräfte bei beweglichen Lagern und die Rückstellkräfte und -momente bei Gummilagern und bei Gummitopflagern als obere Fraktilwerte gegeben sind, so sind diese Kräfte nicht anzusetzen, wenn sie günstig wirken, da der mögliche untere Grenzwert erheblich kleiner sein kann und für bewegliche Lager sogar nahe bei null liegt, für Verformungslager kann er bei einem Bruchteil des Größtwertes liegen.

3. Die geometrischen und kinematischen Gegebenheiten müssen berücksichtigt werden.

Bei gekrümmten Brücken, bei torsionsweichem Überbau und wenn der Verschiebeweg nicht rechtwinklig zur Kippachse des Überbaus liegt, sind einfache Rollenlager und Linienkipplager ungeeignet. Dies gilt auch für Lager, bei denen Rotation und Translation nicht entkoppelt sind.

4. Die rechnerischen Bauwerksverformungen bei einfachen Einwirkungen können in voller Größe auftreten.

Werden Schnittgrößen aufgrund von Bauwerksverformungen unter einfachen Lasten ermittelt, so ist die Sicherheit durch den Abstand zu den Widerstandsschnittgrößen gegeben. Ist die Verformung selbst Bemessungsgröße, wie beim Verschiebeweg von beweglichen Lagern und beim Kippwinkel von Topflagern, so müssten konsequenterweise Sicherheitszuschläge zu diesen Verformungswerten berücksichtigt werden. Bei Topflagern ist der Kippwinkel eine wichtige Bemessungsgröße. Wird er nur einmal im Laufe der Lebensdauer des Bauwerks überschritten, so kann dies wegen des herausquellenden Gummis unangenehme Folgen für das Bauwerk haben. Die Topflager sollten daher stets mit einem auf der sicheren Seite liegenden Kippwinkel unabhängig von der sonstigen statischen Berechnung dimensioniert werden. Das ist besonders dann zu beachten, wenn eine exakte Bestimmung des Kippwinkels nicht möglich erscheint. Bei krummen und schiefen Überbauten aus Spannbeton ist die Größe der Lagerverschiebung abhängig von der Größe der Vorspannung und dem zeitlichen Abfall infolge Schwindens und Kriechens, die Verschieberichtung ist dagegen abhängig von der Lage des Festpunktes und von der Spanngliedführung. Bei größeren Brücken mit abschnittsweiser Überbauerstellung ist eine genauere, aufwendige Berechnung dieses Vektors unerlässlich für die Bemessung und Einstellung der Lager. Die modernen Regelwerke (Eurocodes, DIN EN) berücksichtigen die dargelegte Sicherheitsproblematik.

5. Hochwertige Lager funktionieren nur bei ordnungsgemäßem Einbau

Durch Einbaumängel, wie nachfolgend aufgeführt, können sich die lagerimmanenten Zwängungen vervielfachen: geneigter Einbau von beweglichen Lagern, teilweises Einbetonieren von Gummilagern und Abweichung der Beweglichkeit des einseitig beweglichen Lagers von der planmäßigen Richtung.

Einbaufehler können im Extremfall die Zerstörung der Lager verursachen.

6. Lager sind Bauteile, die einer Kontrolle und Wartung bedürfen.

Der Kippspalt beim Topflager und der Gleitpalt bei allen Gleitlagertypen müssen funktionsfähig bleiben. Bewegliche Lager funktionieren nicht mehr planmäßig, wenn sie verschmutzt sind. Stahllager dürfen dort, wo der Querschnitt für die Tragfähigkeit benötigt wird, nicht korrodieren. Außerdem kann es durchaus wirtschaftlich sein, einmalige oder auch seltene Bewegungen nicht durch Bewegungsfreiheit, sondern durch Positionskorrektur der Lager zu ermöglichen. Das gilt besonders für aus dem Baugrund stammende Relativbewegungen, deren Größe sehr schwierig ausreichend genau schätzbar ist, und die deshalb meist viel zu groß geschätzt werden. Voraussetzung für diese Möglichkeit sind regelmäßige und zuverlässige Beobachtungen sowie Anhebbarkeit des Bauwerks. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit muss die Wahrscheinlichkeit der Bewegungen bekannt sein.

7. Die Lager sind als Verschleißteile zu betrachten.

Moderne Lager sind seit ca. 1965 im Einsatz. Für die zeitlich davor eingesetzten Rollenlager aus durchgehärtetem Edelstahl hat sich gezeigt, dass sie nicht dauerhaft sind. Wenn man davon ausgeht, dass die Lebensdauer der Bauwerke größer ist als die der Lager, die in der Regel als Verschleißteile anzusehen sind, so ist es unerlässlich, die

Möglichkeit einer späteren Auswechselbarkeit der Lager bereits im Entwurf vorzusehen. Diese Überlegung entspricht auch deshalb der heutigen Auffassung von Grundanforderungen an Bauwerke (Stichwort: Robustheit), weil der Aufwand für diese Möglichkeit relativ klein, der spätere Nutzen aber sehr groß ist.

1.4 Auflagerbewegungen

1.4.1 Allgemeines

Am Bauwerk auftretende Auflagerbewegungen begründen die Notwendigkeit des Einbaus von Lagern.

Im Allgemeinen sind Verschiebungen in einer Ebene, der Lagerebene, zu ermöglichen. Verschiebungsmöglichkeiten rechtwinklig zu dieser Ebene werden bisweilen gefordert, doch entsprechende „höhenverstellbare“ Lager gibt es bisher nur als injizierbare Topflager, wenn man die Verwendung von Futterblechen nicht als Lagerkonstruktion bezeichnen will. Horizontallager haben ebenfalls eine Bewegungsmöglichkeit rechtwinklig zur Lagerebene (als Nebeneffekt).

Auflagerdrehwinkel sollten bei modernen Lagern in 3 zueinander rechtwinkligen Achsen berücksichtigt werden.

Vor der Ermittlung der Auflagerbewegungen ist zunächst – abhängig von der Auflast und als vorläufige Annahme – der Lagertyp (Verformungslager oder Gleitlager) festzulegen.

Wird der Einbau von Bewegungslagern (Gleitlager, früher auch Rollenlager) vorgesehen, so sind Sicherheitszuschläge zu den rechnerischen Bewegungen des Unterstützungspunktes u. a. zur Berücksichtigung der Einbau-Imponderabilien erforderlich.



Bild 1.10 Lager der ca. 100 Jahre alten Eisenbahnbrücke über die Eider bei Friedrichstadt: 3-Rollenlager. Verstoß gegen die Lagerungsgrundsätze 1 und 6

Für grobe Schätzungen kann man folgende Verschiebungswege annehmen, die sich auf die Entfernung zum nächsten ruhenden Punkt (Festlager) beziehen:

| | |
|---------------------|-----------------|
| Stahlbauwerke: | $\pm 0,50$ mm/m |
| Stahlbetonbauwerke: | + 0,30 mm/m |
| | - 0,60 mm/m |
| Spannbetonbauwerke: | + 0,30 mm/m |
| | - 1,20 mm/m |

Für die Auflagerdrehwinkel kann man normalerweise als obere Grenze 1% ansetzen.

Wird der Einbau von Verformungslagern (Gummilagern) geplant, so sind Zuschläge wie bei Bewegungslagern nicht erforderlich. Bei Verformungslagern sind die durch Verformung entstehenden Zwängungskräfte den Wegen proportional wie bei Bauteilen aus Beton oder Stahl. Es empfiehlt sich deshalb, die Verformungslager als Bauteile in das statische System des Bauwerks zu integrieren. Diese Erkenntnis wurde bereits 1960 von *Desmonsablon* [19] ausführlich behandelt.

Eine eingespannte Stütze mit einem auf ihr liegenden Verformungslager kann beispielsweise im Kraftgrößenverfahren über die Gleichung

$$F_H = \frac{f}{\frac{T}{AG} + \frac{L^3}{3EI}} \quad (1.1)$$

| | |
|-----------|------------------|
| T | Lager-Nettodicke |
| A | Lagerfläche |
| G | Schubmodul |
| L, E, I | Stützenwerte |
| F_H | Horizontalkraft |

genügend genau eingeführt werden (Bild 1.11).

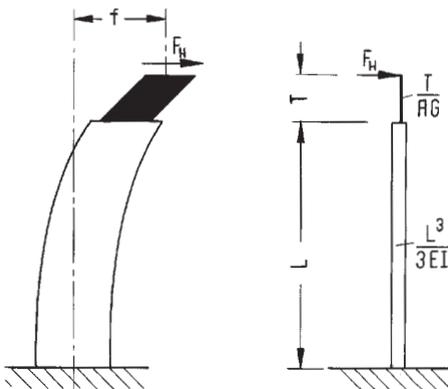


Bild 1.11 Steifigkeit einer Stütze mit Verformungslagern

Bei normalen Hallenstützen oder schlanken Brückenpfeilern wird man vielfach feststellen, dass die Steifigkeit des Verformungslagers durchaus in der gleichen Größenordnung wie die Steifigkeit der Stütze liegt. In derartigen Fällen wird das gesamte

statische System verfälscht, wenn man die Auflagerbewegungen ohne Berücksichtigung der diesen Wegen proportionalen Zwängungen ermittelt und mit Sicherheitszuschlägen versieht, wie sie bei der Verwendung von Bewegungslagern erforderlich sind.

Bei der Verwendung von Bewegungslagern muss man stets mindestens ein festes Lager anordnen, womit der ruhende Punkt des Bauwerks bekannt ist. Bei Verwendung verformbarer Bauteile als Lager ist ein festes (unverschiebliches) Lager dann nicht unbedingt erforderlich, wenn konsequent konstruiert und bemessen wird. Der ruhende Punkt des Bauwerks für Zwängungsverformungen (Kriechen, Schwinden, Temperatur) ergibt sich aus der Verteilung der Lagersteifigkeiten (Bild 1.12). Der konstruktive Festpunkt – der, wenn er sich auf einem Brückenpfeiler befindet, ohnehin eine Illusion ist – fehlt also, der tatsächliche Festpunkt ist nicht ortsfest.

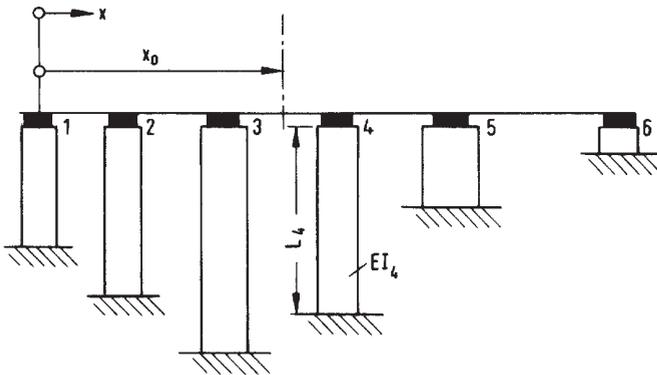


Bild 1.12 Ruhepunkt eines mehrfeldrigen Bauwerks auf Verformungslagern

Beträgt die Lagersteifigkeit S_i unter konsequenter Einbeziehung der Stützen nach Bild 1.11

$$\frac{1}{S_i} = \frac{T_i}{A_i G} + \frac{L_i^3}{3 E I_i} \quad (1.2)$$

so wird die Abszisse des Ruhepunktes

$$x_0 = \frac{\sum_i x_i S_i}{\sum_i S_i} \quad (1.3)$$

Sofern nicht vernachlässigbar, ist die Fundamentverdrehung zusätzlich zu berücksichtigen.

Beim Einwirken äußerer Kräfte gibt es bei dieser Lagerung normalerweise keinen ruhenden Punkt. Die Verschiebung w des gesamten Bauwerks lässt sich aus der Steifigkeit der stützenden Bauteile ermitteln zu

$$w = \frac{F_H}{S_i} \quad (1.4)$$

Auch bei Bewegungslagern ist es zweckmäßig, die Verformbarkeit der Unterbauten in die Untersuchungen einzubeziehen. Entgegen jedem gefühlsmäßigen Urteil liegen

die Rückstellkräfte von Bewegungslagern (Gleitreibung, Rollreibung) durchaus in der Größenordnung der Rückstellkräfte von Verformungslagern. Der rechnerische Reibungsbeiwert $\mu = 0,03$ entspricht beispielsweise der rechnerischen Schubverformung eines Gummilagers $\tan \gamma = 0,45$ bei einer Belastung mit $15 G$:

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma} \quad \sigma = 15 G \quad (1.5)$$

$$\tau = \tan \gamma \cdot G$$

$$\tan \gamma = 0,03 \cdot 15 = 0,45$$

Die durch Reibung entstehenden Verformungen der Unterbauten vermindern zunächst die Verschiebungswege in den Lagern (Bild 1.13). Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass ein Teil der Verformungen irreversibel (Kriechen) ist und dann bei gegenläufigen Bewegungen ungünstig wirkt. Außerdem kann bei geringer oder schwingender Belastung der Reibungswiderstand so klein werden, dass ein Schlupf im Lager auftritt.

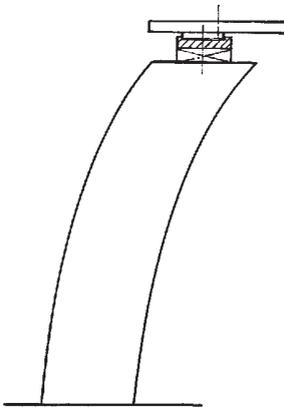


Bild 1.13 Gleitlager auf elastisch nachgiebiger Stütze

Man muss nach heutiger technischer Regel Lager und Bauwerk so ausbilden, dass die Lager nach Inbetriebnahme des Bauwerks jederzeit inspiziert werden können. Eine Lagekorrektur des Lagers, falls die Verschiebungen nicht den Rechenannahmen entsprechen, sollte jedoch nur im Ausnahmefall und nur vom Lagerhersteller selbst und unter dessen Verantwortung vorgenommen werden.

Die Prüfung der Lager nach dem Einbau ist auf jeden Fall sinnvoll, um evtl. Einbaufehler rechtzeitig zu erkennen.

Die Möglichkeit der Lagekorrektur der Lager sollte man auf jeden Fall dann in die Überlegungen einbeziehen, wenn besonders schwer erfassbare und gleichzeitig große Verschiebungen aus Baugrundbewegungen zu erwarten sind.

Wenn die Sicherheitszuschläge tatsächlich einmal durch Abnormitäten im Verformungsverhalten des Bauwerks in Anspruch genommen werden, so ist es nicht erforderlich, die Reserven durch eine Lagekorrektur wieder herzustellen, wenn nicht erneut außergewöhnliche Verschiebungen befürchtet werden müssen.

Die Ursachen (Einwirkungen), die zu einer Verformung (Relativbewegung) eines festen Körpers – und damit zur Notwendigkeit der Verwendung von Lagern – führen, lassen sich in 5 Gruppen aufteilen:

- a) äußere Kräfte (Eigengewicht, sonstige ständige Lasten, Nutzlasten),
- b) Temperaturänderungen,
- c) innere Stoffumwandlungen (Feuchtigkeit bei Holz, Schwinden bei Beton),
- d) innere Kräfte (Vorspannung, Kriechen),
- e) Verformungszwang von außen (Bodensetzungen, Erdbeben, Vorspannung).

Werden diese Einflüsse den verschiedenen Bauwerksarten zugeordnet, so lässt sich hinsichtlich der Lagerung ihre Relevanz darstellen (Tabelle 1.2).

Tabelle 1.2 Einwirkungsrelevanz für verschiedene Bauwerksarten hinsichtlich der Lagerung

| Bauwerksart | Bewegungsursache | | | | |
|--------------------|------------------|---|---|---|---|
| | a | b | c | d | e |
| Betonbrücken | o | x | x | x | x |
| Stahlbrücken | x | x | – | – | x |
| Flachdachbauten | o | x | x | o | o |
| Fertigteilbauten | o | x | o | o | – |
| Betonbehälter | x | o | o | x | o |
| Stahlbehälter | x | x | – | – | o |
| Holzkonstruktionen | o | o | x | x | o |

Die Symbole bedeuten:

- x quantitativ berücksichtigen
- o qualitativ berücksichtigen
- vernachlässigbar

Nachfolgend werden einige Einflüsse noch etwas genauer betrachtet. Die Konsequenzen für die statische Berechnung enthält Kapitel 3.

1.4.2 Verschiebungen infolge Temperatur

Obwohl Temperaturbewegungen von Bauwerken seit den Anfängen des Bauingenieurwesens bekannt sind und berücksichtigt werden, sind erst in jüngerer Zeit direkte Messungen an Bauwerken durchgeführt worden. Hierüber wird im Kapitel 7 berichtet.

Aus solchen Messungen ergab sich, dass die Bauwerkstemperaturen den Lufttemperaturen nachlaufen. Die positiven bzw. negativen Extremwerte treten somit nie am gleichen Tag auf und nicht einmal im gleichen Temperaturzyklus. Die extremen Betontemperaturen brauchen zu ihrer Entwicklung viele warme oder kalte Tage – ein einzelner besonders heißer oder kalter Tag ändert die Betontemperatur nicht wesentlich.

Abschließend noch ein kurzer Hinweis auf die Aufstelltemperatur, die ja zumindest bei Ortbetonbauwerken ein etwas problematischer Begriff ist. Während des „Aufstellens“ erreicht der eben erstarrte Beton Temperaturen bis zu 60 °C. Die Lager sind zu diesem Zeitpunkt häufig noch arretiert und das Lehrgerüst hat ein oft ausgeprägtes eigenes Temperaturverhalten. Auch bei Fertigteilbrücken und bei Stahlbrücken hat die meist gemessene Lufttemperatur wegen des Temperaturnachlaufes wenig mit der Aufstelltemperatur des Bauwerks zu tun.

Eine angenommene „Aufstelltemperatur“ von +10 °C ist also nur eine Vereinbarung, die dem entwerfenden Ingenieur die Arbeit erleichtern soll. Sie hat mit realen Temperaturen allenfalls die Größenordnung gemein.

1.4.3 Verschiebungen infolge Vorspannen, Kriechen und Schwinden

Kriechverformungen treten an allen Betonbauteilen auf, die einer Druckbeanspruchung ausgesetzt sind, also durchaus nicht nur an Spannbetonbauteilen.

Durch Kriechen vervielfacht sich die elastische Verformung des Bauteils, die zunächst ermittelt (und am Lager berücksichtigt) werden muss.

Die bezogene elastische Verformung ist bekanntlich $\varepsilon = \sigma/E_b$, wenn σ die (Druck-) Spannung des Betons und E_b der zugehörige Elastizitätsmodul ist.

Die Größenordnung der elastischen Verschiebungen (= Verkürzung eines vorgespannten Balkens) von Spannbetonbauteilen infolge Vorspannens liegt im Allgemeinen bei 0,15 mm/m.

Bei zentrisch gedrückten Stahlbetonstützen ist dieser Wert weitaus größer und er ist im Allgemeinen auch von größerem Einfluss auf die Konstruktion als die meist vernachlässigbare Nachgiebigkeit der Lager unter zentrischem Druck.

Aus der elastischen Verformung (Dehnung) ergibt sich die Kriechverformung mit

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_b} \cdot \varphi_t \quad (1.6)$$

Schwindverformungen treten ausnahmslos an allen im Freien liegenden Bauteilen aus Beton auf. Die Kriechzahl φ_t und das Schwindmaß ε_s ist den Regeln (EC 2) zu entnehmen.

1.4.4 Auflagerverschiebungen infolge äußerer Lasten

Bei Verwendung von beweglichen Lagern werden äußere Horizontallasten durch feste (unverschiebliche) Lager aufgenommen. Diese Lager sind aber nur bedingt unverschieblich, weil sie zum einen ein konstruktives Bewegungsspiel haben, und zum anderen, weil sie auf meist elastisch verformbaren Bauteilen ruhen. Für die beweglichen Lager des Bauwerks sind also das konstruktive Spiel und die Verformbarkeit der das feste Lager stützenden Bauteile zu berücksichtigen.

Die Verschiebungen von verformbaren Lagerkonstruktionen (z. B. Gummilagern) wurden bereits im Abschnitt 1.4.1 behandelt.