

ENTWICKLUNG DER BRÜCKENLAGER - GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK

Volker Wetzke

In: Bautechnik 83 (2006), H.10, S.721-732. ISSN 0932-8351

Abstrakt

Die systematische Auswertung historischer und aktueller Literatur bildet die Grundlage für den nachfolgenden Abriss zur Entwicklung der Brückenlager. Er folgt der chronologischen Ausbildung verschiedener Generationen von Brückenlagern: von den ersten Lagern aus Holz, über eiserne und stählerne Lager hin zur Verwendung von Kunststoffen für die heutige Brückenlagertechnik und begrenzt sich auf die für die Gesamtentwicklung wesentlichen Lagertypen. Die Geschichte der Brückenlager reflektiert zum einen den technischen Fortschritt der letzten zwei Jahrhunderte, zum anderen auch die Möglichkeit, auf technische Herausforderungen durch veränderte Sichtweisen und Konstruktionsmethoden zu reagieren.

1 EINLEITUNG

Die Auflagerung der frühen Brückentragwerke war problemlos. Bei den steinernen Bogenbrücken verschmolzen Bogen und Pfeiler zu einem homogenen Ganzen. Bei den hölzernen Konstruktionen erforderten weder der Werkstoff Holz noch die erreichten Spannweiten besondere Lösungen. Mit der Einführung des Eisens als Konstruktionswerkstoff wurden jedoch neue Dimensionen im Brückenbau möglich. Immer größere Spannweiten gingen einher mit stetig wachsender Belastung. So wurde es ein Gebot der Sicherheit, die beim Entwurf angesetzten Lagerungsbedingungen am realen Tragwerk auch zu verwirklichen und durch spezielle Lagertechnik den Erfordernissen des Tragwerks zu entsprechen.

Die ersten Brückenlager waren noch ganz einfacher Natur. Bald jedoch reifte im Schatten des Eisenbahnbooms des 19. Jahrhunderts eine eigenständige Brückenlagertechnik mit einer ganz individuellen Konstruktionssprache. Mit Bolzen, Walzen und Zapfen hielten Elemente des Maschinenbaus Einzug in den Brückenbau. „Das Bauwerk, vordem ein unbewegter starrer Körper, wird als bewegliche Maschine erkannt“ [19]. Die im Sog dieser Entwicklung entstandenen eisernen und stählernen Lager sollten bis weit ins 20. Jahrhundert im Brückenbau dominieren. Erst die Etablierung neuer Werkstoffe führte zu einem Generationswechsel in der Lagerungstechnik.

Nachfolgend wird nach einer kurzen Begriffsdiskussion und der Darstellung vorindustrieller Brückenlager die Notwendigkeit einer neuen Lagertechnologie beschrieben. Die Verfeinerung der neuen Technik zur Realisierung gezielter Lagerungsbedingungen wird anschließend am Beispiel der Auflagerung von Balkenbrücken dargestellt.

2 BEGRIFFE

2.1 „Brückenlager“

Das Studium vor allem historischer Literatur zeigt, dass Bezeichnungen wie *Auflager*, *Widerlager*, *Brückenlager* oder einfach nur *Lager* oft nebeneinander ohne eindeutige Abgrenzung gebraucht wer-

den. Darüber hinaus hat sich als *Lager* einer Gelenkbogenbrücke das *Gelenk* als Begriff aus der Bau- statik etabliert. Was genau sind Lager bzw. Brückenlager?

Nachfolgende Abhandlung orientiert sich an unserem heutigen Verständnis von einem *Lager* im konstruktiven Ingenieurbau und bezieht sich auf Bauteile, die zwischen Bauwerksteilen angeordnet werden, um bei der Weiterleitung von Stützlasten gewünschte Randbedingungen zu erfüllen. *Brückenlager* sind demnach Bauteile, welche diese Funktion an Brückenbauwerken übernehmen.

2.2 „Eisen“ und „Stahl“

Die Verwendung der Begriffe *Eisen* und *Stahl* ist nach wie vor vom individuellen Zugang jedes Einzelnen abhängig und national wie international von Eindeutigkeit entfernt. Der Verfasser orientiert sich am Gebrauch im Bauwesen und nutzt...

- einerseits den Begriff *Eisen* - im Kontext aller Werkstoffe (z.B. Holz, Eisen, Beton,...) – als Sammelbegriff für *alle* Eisen-Kohlenstofflegierungen.

- Andererseits wird jedoch – im Kontext der Eigenschaften eiserner Werkstoffe - unterschieden zwischen *eisernen* (gusseisernen) und *stählernen* (aus Walzstahl bzw. Stahlguss) Brückenlagern.

3 ANFÄNGE IN HOLZ

Brückenlager im Sinne der Definition fanden sich bereits an vorindustriellen Holzbrücken in Form von einfachen Schwellen – üblicherweise aus Hartholz. Sie sollten die Konstruktion „trocken“ lagern und so die Balken des eigentlichen Tragwerks vor dem Verrotten schützen. Die Schwellen konnten bei Bedarf vergleichsweise problemlos ersetzt werden. Neben der lastverteilenden Wirkung ermöglichten diese Schwellen auch die Durchbiegung des Tragwerks, ohne dabei zu Kantenpressungen zwischen Untergurt und dem gemauerten Auflagerrand zu führen. **(Bild 1)**

Darüber hinaus vermochten hölzerne Auflager durch ihr dämpfendes Materialverhalten die Erschütterungen des Verkehrs auf das Tragwerk und den Unterbau zu reduzieren. Eine willkommene Eigenschaft, derer man sich gern auch bei den ersten Eisenbahnbrücken bediente, z.B. für die stoßempfindlichen gusseisernen Balkenbrücken des frühen 19. Jahrhunderts. Großer Auflagerdruck aus Eisenbahnverkehr wurde bei Bedarf durch gusseiserne Balkenschuhe verteilt. Die Ausdehnung des Materials durch Temperaturschwankungen hatte bei diesen ersten eisernen Balkenbrücken noch keine Relevanz. Das Problem als solches war jedoch bekannt.

4 PROBLEME MIT EISEN ALS KONSTRUKTIONSWERKSTOFF

4.1 Die Ursache: Temperatur

Schon im 17. Jahrhundert war bekannt, dass Materialien bei Temperaturveränderung ihr Volumen anpassen. Der Einfluss dessen auf die damals üblichen Brückentragwerke war jedoch unbedeutend. Hölzerne Brücken waren in der Spannweite begrenzt oder aber durch mehrere Balken zusammengesetzt. An den Verbindungsstellen konnten sich Längenänderungen problemlos ausgleichen, die jedoch auf Grund der Materialeigenschaften des Holzes eher durch Wechsel der Umgebungsfeuchte als durch Änderung der Temperatur erfolgten. Bei den steinernen Gewölbebrücken verhinderte - damals wie heute - deren massive Bauweise ein schnelles Aufheizen oder Abkühlen und somit eine unmittelbare Antwort des Tragwerks auf veränderte Außenbedingungen. Die Bauteiltemperatur folgte weniger den kurzzeitigen Temperaturgradienten zwischen Tag und Nacht als vielmehr den jahreszeitlichen

Schwankungen zwischen Sommer und Winter. In der kalten Jahreszeit auftretende Risse schlossen sich im Sommer wieder.

Louis Vicat (1786-1861) untersuchte an seiner 1824 fertig gestellten massiven Gewölbebrücke in Souillac als einer der ersten das periodische Öffnen und Schließen der Fugen in Abhängigkeit von der Temperatur [42]. Wenngleich diese Bewegungen zu einer Änderung des Schubes auf die Widerlager führen mussten, so wurden daraus doch keine Probleme für die Standsicherheit des Tragwerkes abgeleitet [25].

Mit der Adaption eiserner Werkstoffe für Brückenbauwerke gab es jedoch Bedenken bezüglich des Einflusses der Temperatur auf das Tragwerk, zum einen in Hinblick auf die Festigkeit des Materials, zum anderen betreffs der zu erwartenden Bewegungen und der daraus resultierenden Risiken für die Standsicherheit. Dass die Bedenken berechtigt waren, zeigten frühe Schäden an den wenigen bereits errichteten eisernen Brücken. An der 1796 gebauten Buildwas Brücke über den Severn zum Beispiel gab es ständig Probleme durch Temperaturbewegungen an den eisernen Bögen [12]. Und an dem 1803 vollendeten Pont des arts in Paris wurden ganze Steine durch die Verlängerung der eisernen Stäbe vom Platze gerückt [35]. Die Brückenbauer wurden vorsichtig.

Wenngleich *John Rennie d.Ä.* (1761-1821) für die 210-240-210 Fuß (64-73-64 m) spannenden guss-eisernen Bögen der Southwark- Brücke (1813-1819) noch keine direkten Vorkehrungen für den Ausgleich von Temperaturverformungen traf, so untersuchte sein Sohn schon in der Bauphase akribisch den Effekt der Temperatur auf die Bögen [4]. Bei 25 K Temperaturerhöhung hob sich der Bogenscheitel um 31 mm. Ein Versuch, das gesamte Tragwerk zur Unterbindung der Temperaturbewegungen zwischen die Pfeiler zu keilen, endete mit dem Bruch des Widerlagermauerwerks, das daraufhin erneuert werden musste [12]. Gefahren für die Sicherheit der Bögen und Widerlager sah *Rennie* aber offenbar nicht – oder doch...?

4.2 Die Lösung: Beweglichkeit

Zumindest suchte er kurz nach Fertigstellung der Southwark- Brücke für eine nur 80 Fuß (24 m) span nende Aire- Überführung in Leeds nach anderen Lösungen. Seine beiden Vorschläge im Juli 1820, eine Ketten- und eine Bogen-Zugband- Brücke, waren jeweils so konstruiert, „... dass Ausdehnung und Zusammenziehung ohne Einfluss auf die Pfeiler bleiben (...), welche nur die lotrechten Lasten aus dem Überbau abzutragen haben“ [33]. Die strukturelle Trennung sollte durch “bewegliche Bereiche“ ermöglicht werden. Woran dachte *Rennie* konkret - an Gleitlager? Solche wären jedoch nicht neu gewesen...

Im August des gleichen Jahres vollendete der Ingenieur und Architekt *Ralph Dodd* (c.1756-1822) den Bau einer nur 30 Fuß (9 m) weiten Brücke über die Chelmer bei Springfield - der Fachwelt als „...die schönste jemals im Königreich oder anderswo errichtete...“ vorgestellt [9]. Auch aus konstruktiver Sicht blieb diese nicht unbeachtet. Schmiedeeiserne Bogen-Zugband-Binder ruhten allein auf röhrenförmigen, in das Ufer gerammten Gussstützen. Beide Techniken waren vergleichsweise neu. Neu waren auch die „...Rillen (grooves) auf den Stützenköpfen, durch welche die ganze Brücke die Möglichkeit zum Zusammenziehen und Ausdehnen bekommt, erforderlich gerade in diesem Klima mit seinem Wechsel von Hitze und Kälte, was Schäden an anderen eisernen Brücken ohne diese Vorkehrungen auch zeigen.“ [9] Offenbar wurde damit an der Chelmer- Brücke das erste Mal die Idee eines beweglichen Lagers ausgesprochen und auch verwirklicht. Leider war der Überbau maßlos unterdimensioniert und musste bereits kurz nach der Fertigstellung zusätzlich gestützt und später schließlich erneuert werden. Trotz alledem wies sie neue Wege für den Brückenbau, auch bezüglich des Um-

gangs mit den aus Temperatur zu erwartenden Belastungen für das Tragwerk. Während *Rennie* seine Southwark- Brücke noch fest zwischen die massiven Pfeiler zu spannen versuchte und sich entsprechende Sicherheiten mit sehr viel verbauter Masse erkaufte, legte Dodd das Tragwerk frei auf und lies es „atmen“ – ein Ansatz, der sich schließlich im Brückenbau durchsetzen sollte. Ein Paradigmenwechsel kündigte sich an - mehr Sicherheit durch mehr Beweglichkeit. [19]

4.3 Die Methode: Brückenlager

Für größere Spannweiten sollten im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts noch die Bogenbrücken den Eisenbrückenbau dominieren. Durch neue konstruktive Details wurde den Bauwerken zunehmend mehr Beweglichkeit zugestanden. 1822 erhielt *Joh. Dowell Moxon*, ein Schiffseigentümer und Kaufmann aus Liverpool, ein Patent auf die „Verbesserung im Baue der Brücken und ähnlicher Gebäude“. Laut Patentschrift - ohne Zeichnung schwer nachzuvollziehen - sollten seine Brückenbögen offenbar aus verklammerten ineinander gesteckten Rippen bestehen, „die den abwechselnden Ausdehnungen und Zusammenziehungen bei dem Wechsel der Temperatur weniger unterworfen...“ sind [24]. Die *Gebrüder Leather* führten ab Mitte der 1820er Jahre spezielle Lager ein – im Bogenbrückenbau allgemein als „Gelenk“ bezeichnet. **(Bild 2)** Bei mehrfeldrigen Tragwerken, z.B. bei der 1832 vollendeten Dunham Brücke, trennten sie die einzelnen Überbauten jeweils konstruktiv, so dass diese unabhängig auf Temperaturveränderungen reagieren konnten. Mit diesen neuen konstruktiven Lösungen waren um 1830 die Weichen gestellt, dem Bogenbrückenbau in Eisen neue Dimensionen zu eröffnen – bei gleichzeitiger Verträglichkeit mit wechselnden Temperaturbedingungen.

Ähnlich innovativ waren die Ingenieure beim Bau von Hängebrücken. Solche kamen seit jeher zur Anwendung, wenn Tragwerke aus Holz, Stein – später auch Eisen – auf Grund der großen Spannweite oder anderer örtlicher Bedingungen zu teuer oder schlichtweg unmöglich schienen. Im frühen 19. Jahrhundert entstanden Ketten- und Drahtseilbrücken mit immer größerer Spannweite, die letztlich zur Einführung spezieller Lagersättel auf den in der Regel gemauerten Pylonen führten. Ausschlaggebend dafür war insbesondere die sich ändernde Form der Ketten oder Seile bei wechselnder Belastung. Durch die Lagersättel sollten diese jederzeit die der Belastung entsprechenden Form annehmen können, ohne dabei nennenswerte Horizontalkräfte in die Pylonspitze einzuleiten. **Bild 3** zeigt ausgewählte Anwendungen, die in ihrer konstruktiven Ausbildung für die später typischen Lager gewöhnlicher Balkenbrücken Pate stehen sollten.

5 ENTWICKLUNG EINER TECHNOLOGIE - AM BEISPIEL DER LAGER FÜR BALKENBRÜCKEN

Bei den Balkenbrücken hatte es ähnliche Innovationen noch nicht gegeben. Die Spannweiten waren allgemein zu klein und nach wie vor von Holz oder gusseisernen Balken überspannt, für die sich hölzernen Schwellen bestens bewehrten.

Die Randbedingungen für die Lagerung balkenförmiger Brücken änderten sich signifikant erst in den 1840er Jahren. Die Etablierung des Puddelstahls als Konstruktionsmaterial sowie die Einführung neuer Trägersysteme führten zu größeren Spannweiten, wodurch sich die Belastung für die beliebten Holzschwellen erhöhte. Die Unterzüge größerer Brückenträger legte man zunehmend direkt auf gusseiserne Unterlagsplatten. Es begann die Entwicklung einer neuen Lagergeneration für Balkenbrücken, die Generation der eisernen und stählernen Brückenlager.

5.1 Flächenlager

Die erste Form eiserner Brückenlager waren Flächenlager. Ober- und Unterteil der Lager berührten sich hier flächig in einer Ebene oder blieben – im Falle zwischengelegter Lagerrollen – im planparallelen Abstand, bestimmt durch den Rollendurchmesser. Wenngleich das Problem der Materialausdehnung aus Erfahrungen beim Bau von Bogen- oder Hängebrücken bekannt war, so sollte sich die Notwendigkeit beweglicher Lager auch für Balkenbrücken erst allmählich durchsetzen. So wurden anfänglich oft sämtliche Träger einer Brücke mit Lagerplatte und Unterbau fest verankert. Stellvertretend sei hier die erste große Gitterträgerbrücke - die Royalkanal- Brücke bei Dublin von 1845 - erwähnt, deren 140 Fuß (42 m) spannende Träger beidseitig zur Erhöhung der Tragfähigkeit praktisch eingespannt worden waren. Die Auswirkungen von Temperaturveränderungen auf das Tragwerk wurden oft noch unterschätzt oder einfach ignoriert. Verformungen des Tragwerks und Risse des Mauerwerks im Auflagerbereich waren allgemein die Folge. **(Bild 4)**

Gleichwohl finden sich früh schon Hinweise auf bewegliche Auflager, zum Beispiel *Dodd's* Gleitlager von 1820, aber auch auf erste Rollenlager, durch die sich der Einfluss der Reibung auf die Konstruktion minimieren ließ. Das Prinzip war nicht neu und im Brückenbau von den Lagersätteln der Hängebrücken bekannt. Die Anwendung gestaltete sich einfach, je größer die Brücke, desto mehr Rollen – auch *Walzen* genannt - wurden untergelegt. Die Elastizität des Holzes wirkte bei Bedarf ergänzend, sowohl als „Stoßdämpfer“ als auch zur Ermöglichung geringer Formänderungen der Trägerenden.

Die Flächenlager erlebten ihren Höhenpunkt bei *Robert Stephenson's* (1803-1859) Conway- und Britannia- Brücke, eröffnet 1848 bzw. 1850. Nicht nur die Größe der Lager war außergewöhnlich, sondern auch die zusätzliche Aufhängung des Obergurtes auf beidseitigen Reihen mit „kanonenmetallenen“ Kugeln. **(Bild 5)**

Ein ganz wesentlicher Mangel der Flächenlager zeigte sich bei Verformungen des Überbaus. Die Lastübertragungsfläche reduzierte sich dann auf einen kleinen Bereich an der vorderen Auflagerkante. Nicht nur die Statik von Unterbau und Lager wurden damit beeinflusst, sondern je nach Träger auch deren Tragfähigkeit. **(Bild 6)** Das Problem war bekannt, allein die Lösungen waren unterschiedlich. *Carl Lentze* (1801-1883) zum Beispiel diskutierte es 1855 für seine im Bau befindlichen Gitterträgerbrücken bei Dirschau und Marienburg: An den Mittelauflagern vertraute *Lentze* wegen der vergleichsweise geringen Formänderungen des Durchlaufträgers auf die Elastizität(!) der gusseisernen Lagerplatten. An den diesbezüglich stärker beanspruchten Endauflagern schlug er hölzerne Schwellen als Zwischenlage vor [16]. Anders die Idee bei einer weiteren Großbrücke jener Zeit, der Kölner Dombrücke (1856-1860): Hier sollten die Endauflager so justiert werden, dass die der Öffnung zugewandten Rollen unter Eigengewicht frei lagen und sich erst bei weiterer Durchbiegung des Überbaus unter Verkehr am Lastabtrag beteiligten [28]. Aber egal welche Lösung, es blieben Versuche, den gewachsenen Ansprüchen des Tragwerks mit einer inzwischen überholten Lagertechnik zu entsprechen. Dem Streben der Ingenieure nach konstruktiver Klarheit konnten die herkömmlichen Flächenlager nicht mehr genügen.

Auch der Ort des Geschehens wechselte. Großbritannien verlor zur Jahrhundertmitte seine Vormachtstellung im Brückenbau. Vor allem bezüglich der theoretischen Grundlagen und konstruktiven Durchbildung der Brückenträger sollten die Impulse bald aus Deutschland kommen.

5.2 Kiplager

Kiplager ermöglichten durch eine besondere Vorrichtung die Durchbiegung des Überbaus. Zwei unterschiedliche Lösungen bestimmten dabei die Lagertechnik, die Berührungs- und die Zapfen- Kipla-

ger. Erstere waren bezüglich der zu überwindenden Reibung überlegen und wurden - nach Art der „Berührung“ - in Linien- bzw. Punkt-Kipplager unterschieden.

Die Zapfen- Kipplager hatten ihren Ursprung bei den Gelenkbolzenbrücken, bei denen zur Verringerung der Nebenspannungen die Konstruktion als Ganzes oder in Teilen mit Bolzenknoten gekoppelt wurde. Was lag näher, als den Endbolzen des Trägers gleichzeitig als Kippbolzen für das Lager zu nutzen. Kipplager dieser Art fanden sich gepaart mit einem Gleitteil zum Beispiel am Crumlin-Viadukt (1853-1857) in Süd-Wales, oder mit Rollen an der Günzbrücke bei Günzburg von 1853, der vielleicht ersten Anwendung von Rollenlagern in Deutschland. **(Bild 7)** Als man später zu genieteten Fachwerkknoten überging, hatten sich die Bolzen als Lagerdetail fest etabliert und fanden sich als Drehpunkt bei den so genannten Zapfen- Kipplagern. In Anlehnung an die Zapfenform bezeichnete man diese Lager Zylinderzapfen- Kipplager. **Bild 8** zeigt typische Ausbildungen solcher Lager, sowohl mit Voll- als auch vereinfacht mit Halbzapfen, ergänzt durch eine frühe Anwendung an der Brahe- Gelenkbolzenbrücke bei Czernsk (1861) von *Johann Wilhelm Schwedler* (1823-1892). Zapfen- Kipplager sollten bis ins 20. Jahrhundert hinein im Brückenbau Anwendungen finden.

Mit größer werdenden Tragwerken erhöhte sich aber die Zapfenreibung, woraus die Verschiebung des theoretischen Auflagerdruckes resultierte. Sollte die Reibung verringert werden, erhielten Lagerober- und -unterteil unterschiedliche Radien. Die „Berührungs“- Fläche reduzierte sich dann im unbelasteten Zustand theoretisch auf eine Linie. Gegenüber der für Zapfen- Kipplager typischen gleitenden Reibung der Flächen untereinander kam es nun zu wälzender Reibung - typisch für die Berührungs- Kipplager, der zweiten prinzipiellen Ausführungsform von Kipplagern. Solche hatte *Johann Ludwig Werder* (1808-1885) bereits bei der Großhesseloher Isarbrücke (1851-1857) in vollkommener Weise ausgeführt. *Werder* hatte auch die Vorteile von Stelzen gegenüber Rollen erkannt. Stelzen erlaubten bei gleicher Baulänge eine insgesamt größere Kontaktfläche für den Lasttransfer vom Über- in den Unterbau der Brücke. **(Bild 9)**

Mit der zur Verfügung stehenden Lagertechnik schienen die Probleme aus Temperaturbewegung bzw. zwängungsarmer Trägerdurchbiegung gelöst. Doch die Überbauten wurden nicht nur immer länger, sondern auch breiter. Zweispurige Tragwerke waren zur Regel geworden. In Brückenquerrichtung konnten Temperaturbewegungen und Durchbiegungen nicht mehr ohne weiteres vernachlässigt werden.

An der Moselbrücke bei Bullay (1876-78) zum Beispiel ermöglichte ein zusätzlicher Zapfen die Querdurchbiegung, wenngleich planmäßig nur für den Bauzustand. Konsequenter waren diesbezüglich die Kugelzapfen- Kipplager, wo die Kugelform des Zapfens allseitige Überbauverdrehungen dauerhaft erlauben sollte, wie zum Beispiel an der Halle-Sorau-Gubener Bahn um 1871. Die für diese Lagergeneration so typische zweite Stelzen- oder Walzenreihe zur Berücksichtigung der Querausdehnung des Überbaus wurde vermutlich erstmals an der zweiten Weichselbrücke bei Dirschau (1889-1891) verwirklicht. **(Bild 10)**

Dadurch vergrößerten sich aber die ohnehin schon wuchtigen Lagerkörper. *Claus Köpke* (1831-1911) begegnete diesem Problem an dem in vielerlei Hinsicht innovativen „Blauen Wunder“ bei Dresden (1891-1893) durch nur eine - aber diagonal gelegte Walzenlage, welche Temperaturbewegungen in Längs- und Querrichtung erlaubte. *Köpkes* Lager waren Punkt- Kipplager. Solche hatten sich durch Verwendung ungleicher Radien für die Schalen aus den Kugelzapfen- Kipplagern entwickelt und gestatteten eine zwängungsarme allseitige Überbauverdrehung. **(Bild 11)**

5.3 Zwischenlösungen

Alle genannten Lager hatten einen Nachteil – die große Bauhöhe, was insbesondere bei zwei Walzen- oder Stelzenreihen zusätzliche Kosten in der Herstellung verursachte und zu Problemen bei der Übertragung der Windkräfte auf die Pfeiler führte. Bald sollten die wuchtigen Lagerkörper auch aus ästhetischen Gründen vermieden werden. Für eine Reduzierung der Höhe lag nichts näher, als die Walzen- oder Stelzenreihen durch den geometrischen Grundkörper für eine allseitige Verschiebung zu ersetzen – die Kugel.

Allseitig bewegliche Kugellager waren nicht neu und kamen im Brückenbau vermutlich schon im 19. Jahrhundert zur Anwendung. *Robert Schönhöfer* (1878-1954) entwickelte die Idee weiter und schlug 1940 ein Vielkugel-Lager vor, wobei er viele kleine Kugeln den wenigen Kugeln großen Durchmessers früherer Anwendungen bevorzugte [36]. Aus dem Vielkugel-Lager entwickelte *Schönhöfer* das Vielrollen-Lager mit Rollen kleinen Durchmessers, auch doppelreihig für eine allseitige Beweglichkeit. Wenngleich anfangs vermutlich nur wenig gebaut, sollten diese Lager in den 1960er Jahren als „Nadellager“ in Kombination mit dem noch zu erwähnenden Gummi- Topflager eine Renaissance erleben. **(Bild 12)**

Mit der Vielzahl von kleinen Rollen bedeuteten *Schönhöfers* Entwicklungen in gewisser Weise eine Abkehr von dem Bestreben, möglichst wenige, dafür große Rollen zu verwenden. Als es in Deutschland Anfang der 1920er erste Versuche zur Vereinheitlichung von Brückenlagern gegeben hatte, wurden Lager mit drei und mehr Rollen aufgrund der statischen Unbestimmtheit bei der Lastverteilung auf die Rollen schon außer Acht gelassen. Als Grundform eines Rollenlagers sollte nur das Zweirollenlager normiert werden, darüber hinaus das Einrollenlager für kleinere Brücken und für Dachbinder. [13] Einrollenlager stellten die einfachste Form beweglicher Brückenlager dar und ermöglichten bei geringer Bauhöhe einen definierten Lastabtrag, Längsverschiebungen und gleichzeitig Durchbiegungen des Überbaus. Auf Grund ihrer Einfachheit hatten Einrollenlager eine lange Tradition. Frühe stählerne Varianten wurden bereits in den 1880er Jahren bei der Berliner Stadtbahn eingebaut [29]. Ab den 1930er Jahren gab es sie als „Gepanzerte Betonrollenlager“ und ab ca. 1960 als „hochgezüchtete“ Lager aus Edelstahl oder mit Auftragsschweißung. Die Edelstahllager führten allerdings zu einer Vielzahl von Schadensfällen. Interessanterweise finden sich Beispiele auch schon früh im Hochbau, zum Beispiel gusseiserne Einrollenlager im Dach der Walhalla, gebaut zwischen 1830 und 1842 bei Regensburg [20]. **(Bild 13)**

5.4 Verformungslager

Im erweiterten Sinne gelten als Verformungslager schon ganze Brückenpfeiler, die auf Grund ihrer Höhe und Elastizität in der Lage sind, Bewegungen des Überbaues nachzugeben. In diesen Fällen sind Pfeiler und Überbau fest miteinander verbunden. Längenänderungen des Überbaus werden mehr oder weniger zwängungsfrei durch Verformungen der ganzen Pfeiler ausgeglichen. Im eigentlichen Sinne werden als Verformungslager jedoch Bauteile bezeichnet, bei denen die geringe Eigensteifigkeit des Lagermaterials Relativbewegungen zwischen Über- und Unterbau durch Verformungen ausgleicht.

Als Verformungslager haben sich Gummilager – auch Elastomerlager genannt – durchgesetzt. Versuche mit Blei als Verformungsmaterial zum Ausgleich sich wiederholender Bewegungen bewährten sich nicht. Zu schnell kam es zu Abwälzungen und damit zu klaffenden Fugen. Für „Einmal-Verformungen“ eignete sich Blei allerdings bestens und kam lange als Ausgleichsschicht zwischen

Lagerplatte und Mauerwerk zur Vermittlung gleichmäßiger Auflagerpressungen zur Anwendung. Diesbezüglicher Einsatz reicht weit zurück in die Brückenlagertechnik des 19. Jahrhunderts.

Gummilager wurden aus Kautschuk hergestellt. Früh gab es Überlegungen, Kautschukplatten wegen ihrer hervorragenden schwingungsdämpfenden Eigenschaften als Stoßdämpfer einzusetzen. Schon die Schienen der Britannia- und Conway- Brücken sollten zur Verhinderung von Vibrationen auf ca. 5 cm dicke Gummiplatten gelegt werden [27]. Nur kurze Zeit später – um 1853 – bediente man sich der elastischen Eigenschaften des Kautschuks auch in der Brückenlagertechnik, als bei der Saaleüberbrückung bei Grizehna ganz frühe Verformungslager entstanden: „Die Hauptträger lagern auf (...) gußeisernen Sohlplatten (...). Diese Platten ruhen auf Quadern festen Sandsteins der Brückenpfeiler und erhalten dabei, zur Vermittlung eines durchaus gleichmäßigen Auflagers und Druckes, jede eine ½ Zoll starke Unterlagplatte von vulkanisiertem Kautschuk, welche auch noch den Zweck erfüllen, sowohl die Trägersausdehnung durch die Temperatur zu vermitteln und auf die Quader-Unterlage unwirksam zu machen, als auch das durch Passieren der Bahnzüge veranlasste heftige Vibrieren des Eisenwerks zu vermindern.“ [39]

Die Idee des Verformungslagers sollte sich jedoch erst nach den Weltkriegen durchsetzen, nachdem es gelang, durch geeignete Zwischenlagen die Querkontraktion der weichen Gummimasse zu verhindern. **(Bild 14)** Damit waren vergleichsweise dicke Gummiquader herstellbar, die bei Belastung nicht nennenswert nachgaben. *Eugene Freyssinet* (1879-1962) ließ sich dafür 1954 Zwischenlagen aus Bewehrungsmatten patentieren. Der Durchbruch gelang aber erst mit eingelegten und verklebten Blechplatten. Trotz Querversteifung der Quader eigneten sich Gummilager nur für den Abtrag kleiner Lasten, andernfalls wären große Lagerflächen erforderlich geworden.

Die Anwendung des Gummis auch für schwere Lasten glückte durch Adaption des bereits seit Jahrhunderten bekannten Sand-Topflagers. Die Idee war einfach und genial zugleich. Sand wurde durch Gummi ersetzt. **(Bild 15)** Der umschließende Topfrand verhinderte gänzlich das seitliche Ausweichen des Gummis. Und die Materialeigenschaften des Gummis - wie Elastizität und Inkompressibilität - ergaben ein einfaches und dazu noch relativ billiges Verformungslager für große Lasten, über dessen Anwendung schon 1960 beim Bau der Düsseldorfer Hochstraße „Pariser Straße“ berichtet wurde [1]. Im Gegensatz zu den erstgenannten Gummilagern ließen Gummi-Topflager nur Verformungen des Überbaus im Sinne von Kippungen zu, also keine Längs- oder Querverschiebungen. Dafür musste es mit entsprechenden Gleit- oder Rollelementen kombiniert werden, zum Beispiel mit *Schönhöfers* Naddellager.

5.5 Generationswechsel

Die Generation der „alten“ Brückenlager aus Eisen und Stahl dominierte für mehr als ein Jahrhundert den Brückenbau, ab ihrem Erscheinen in den 1840ern bis zum Zweiten Weltkrieg – erst als Flächenlager, später als Kipplager. Selbst in der Nachkriegszeit bediente man sich beim provisorischen Wiederaufbau zerstörter Brücken möglichst der alten Lager, die auf Grund ihrer Robustheit oft geborgen und wieder verwendet werden konnten.

Ab Mitte der 1950er Jahre wurde innerhalb weniger Jahre eine neue Generation von Brückenlagern geschaffen, welche die herkömmlichen eisernen Lager inzwischen nahezu vollständig verdrängt hat. Voraussetzung für den Generationswechsel war die Etablierung neuer Werkstoffe in der Lagertechnik, allen voran die bereits beschriebenen Gummilager.

Erst aber die Einführung des in den Nachkriegsjahren entwickelten Polytetrafluoräthylen – PTFE oder kurz *Teflon* – komplettierte die neue Lagergeneration. Die hervorragenden Eigenschaften dieses

Kunststoffs mit extrem glatter Oberfläche führten zu einer Renaissance der Gleitlager als bewegliche Lager. Stählerne Gleitlager waren inzwischen für den Großbrückenbau wegen der hohen Reibung ungeeignet geworden. Mit den neuen Teflonlagern waren wieder Reibungsbeiwerte unter 0,05 – also 5 % der Auflast - möglich, sie lagen damit im Bereich von Rollenlagern. Im Gegensatz zu diesen sank aber bei Teflonlagern die Reibungszahl mit zunehmender Auflast – eine wunderbare Eigenschaft, mit der sich die neuen Lager ausdrücklich für große Tragwerke empfahlen. Darüber hinaus gestattete die Teflongleitschicht bei geringster Aufbauhöhe eine allseitige Verschieblichkeit, war korrosionsbeständig, standfest unter hohen Pressungen und frei von kritischen Lasteinschnürungen. Um Überbauverdrehungen zu erlauben, musste das Teflon- Gleitteil um ein Kippteil ergänzt werden. So entstanden Topf-, Verformungs- sowie Punktkipp- Gleitlager. **(Bild 16)**

Erst Teflon ermöglichte auch die Entwicklung des Kalottenlagers, bei dem Überbauverdrehungen durch gleitende Verschiebungen in einem Kugelgelenk realisiert wurden. Das Prinzip des Kugelgelenks war bereits beim Kugelzapfen- Kipplager verwirklicht worden, allerdings mit hoher Reibung bei vergleichsweise kleiner Kraftübertragungsfläche. Ganz anders beim Kalottenlager. **(Bild 17)** Die Radien der zusammenwirkenden Flächen wurden deutlich vergrößert und damit der flächige Lasttransfer optimiert. Das Problem der Reibung war dank Teflon gelöst. Noch heute - fast ein halbes Jahrhundert später – gibt es im Großbrückenbau für diese Lager keine Alternative. Die so entstandenen Lagertypen repräsentierten im Wesentlichen die neue, noch heute übliche Generation von Brückenlagern.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Geschichte der Brückenlager ist die Geschichte eines kleinen Details, dessen Entwicklung den technischen Fortschritt der letzten zwei Jahrhunderte reflektiert. Taktgeber ist der Brückenbau gewesen. Hier verlangten immer größere Tragwerke die passende Antwort auf neue Problemstellungen.

Die ursprünglichen Aufgaben der Brückenlager waren noch einfacher Natur, z.B. die trockene Lagerung des Überbaus, Lastverteilung, Dämpfung... Gewöhnliche hölzerne Schwellen genügten lange diesen Aufgaben. Angewendet bis weit hinein ins 19. Jahrhundert müssen sie als erste Generation von Brückenlagern bezeichnet werden.

Die Einführung der eisernen Lagergeneration ging einher mit der Adaption des Eisens für den Bau von Brücken. Neue, ungeahnte Dimensionen eröffneten sich dem Brückenbau. Dimensionen, die auch ein neues Denken der Ingenieure erforderten, denn bald zeigten sich die Grenzen herkömmlicher Konstruktionsmethoden. Bewegungen der eisernen Überbauten – insbesondere aus Temperaturveränderungen – versuchte man nicht mehr, durch Masse zu unterbinden, sondern ließ diese gezielt zu. Walzen, Bolzen, Zapfen entwickelten sich innerhalb weniger Jahre zum festen Bestandteil der neuen Lagertechnik. Diese zweite Lagergeneration wurde zum Spiegel eines neuen Denkens. Ziel war die Beweglichkeit des Tragwerks, erst nur in Brückenlängsrichtung, später auch in Querrichtung, je mehr desto besser. Teilweise verzichtete man gänzlich auf feste Lager. Die Entwicklung dieser Generation war im Wesentlichen zum Ende des 19. Jahrhunderts abgeschlossen, sie sollte jedoch bis nach dem Zweiten Weltkrieg fester Bestandteil im Brückenbau bleiben.

Die Neuerungen vor und zwischen den Weltkriegen waren Übergangslösungen, die sich nicht dauerhaft im Brückenbau etablieren konnten. So brachte die aufkommende Eisenbetonbauweise bewehrte Betonlager hervor, der Entwicklung hochfester Stähle entsprangen die „hochgezüchteten“ Lagerarten. Aus welchem Material auch immer, diese „Zwischenlösungen“ müssen als Fortschreibung der zweiten Lagergeneration gesehen werden. Ohne eine eigene spezifische Konstruktionsprache versuchten

sie, das Prinzip der nunmehr alten eisernen Lager mit vermeintlich besserem oder preiswerterem Material umzusetzen.

Erst die Anwendung von Kunststoffen wie Gummi und Teflon ermöglichte eine neue, dritte und auch die aktuelle Generation von Brückenlagern. Nach dem „Gleiten“, „Rollen“ und „Kippen“ der Vorgänger wird jetzt die „Deformation“ als weitere Möglichkeit zum Ausgleich von Bewegungsdifferenzen genutzt. So bilden die Verformungslager auch das kennzeichnende Element dieser Generation. Zusammen mit Teflon als „Gleitpartner“ revolutionierten sie die Lagertechnik.

Und die vierte Generation...? Wie wird es weitergehen?

Rückblickend fällt auf, dass die beiden „großen“ Lagergenerationen des industriellen Zeitalters in Zeiten wirtschaftlichen Aufschwungs entstanden. Stellte der Boom im Eisenbahnbau die Voraussetzungen für die eisernen Lager, so brachte der rasante Ausbau des Straßennetzes in den Nachkriegsjahren die „Kunststofflager“ hervor. Mag sein, dass erst ein neues Netz von Verkehrswegen die Notwendigkeit einer vierten Lagergeneration schafft. Vielleicht mit ganz neuen, besseren Materialien. Vielleicht aber auch als Null-Lösung, mit einem gänzlichen Verzicht auf Lager. Schließlich kosten Einbau und Wartung viel Geld. Auch der Austausch, denn oft wird dem Dauerhaften das Billige vorgezogen, das wiederum später – mit noch mehr Geld – durch das Richtige ersetzt werden muss [7]. Technisch vorstellbar wäre ein Verzicht. Doch wird er technisch immer sinnvoll und wirtschaftlich auch vertretbar sein? Die Zukunft wird es zeigen ...

(Dieser Aufsatz wurde in ähnlicher Form auf dem *Second International Congress on Construction History* – veranstaltet von der *Construction History Society* – in Cambridge 2006 vorgestellt und in den Proceedings zum Kongress veröffentlicht [44])

LITERATUR

- [1] Beyer, E., Wintergerst, L.: Neue Brückenlager, neue Pfeilerform. Bauingenieur 35 (1960), S.227
- [2] Burkhardt, E: Gepanzerte Betonwälzelenke, -pendel und -rollenlager. Bautechnik 17 (1939), S.230-235
- [3] Culmann, R.: Der Bau der eisernen Brücken in England und Amerika. Allgemeine Bauzeitung 17 (1852), S.163-222
- [4] Dutens, Par J.: Mémoires sur les Travaux Publics de l'Angleterre. Paris: de l'Imprimerie Royale 1819
- [5] Eggert, H., Kauschke, W.: Lager im Bauwesen. 2.Aufl. Berlin: Ernst & Sohn 1995
- [6] Eggert, H.: Topflager. Bautechnik 79 (2002), S.750-760
- [7] Eggert, H.: Brückenlagertechnik in Deutschland – Die Geschichte einer technischen Revolution. Weimar: Bauhaus – Universität, 2005
- [8] Eggert, H.: Bewehrte Elastomerlager. Bautechnik 83 (2006), S.6-15
- [9] F.M.: Iron Bridge on a new Construction. European magazine and London review 78 (1820), Sept.
- [10] Gerber: Die Isarbrücke bei Großhesseloh. Allgemeine Bauzeitung 24 (1859), S.82-92

- [11] Helas, V.; Zadnicek, Fr.; Griebel, M.: Das Blaue Wunder.
Halle: fliegenkopf 1995
- [12] James, J.G.: Some Steps in the Evolution of Early Iron Arched Bridge Designs. Transactions
59 (1988), S.153-187
- [13] Karig, J.: Vorschlag für ein einheitliches Brückenlager.
Bautechnik 1 (1923), S.357-360, 416-420, 428-433
- [14] Kauschke, W.: Entwicklungsstand der Gleitlagertechnik für Brückenbauwerke in der Bundes-
republik Deutschland. Bauingenieur 64 (1989), S.109-120
- [15] Kollmar, A.: Auflager und Gelenke. Die Spannungsverteilung und Wirkungsweise von Flä-
chenlagern, Bleigelenken, Kipplagern und Wälzgelenken.
Berlin: Ernst & Sohn 1919
- [16] Lentze: Die im Bau begriffenen Brücken über die Weichsel bei Dirschau und über die Nogat
bei Marienburg. Zeitschrift für Bauwesen 5 (1855), S.445-458
- [17] Leupold, J.: Schauplatz der Brücken und Brücken=Baues.
Leipzig: Christoph Zunkel 1726
- [18] Lewis, M.J.T.: Dunham bridge. A Memorial History.
Occasional Papers in Lincolnshire History and Archaeology 5 (1978)
- [19] Lorenz, W.: Die Entwicklung des Dreigelenksystems im 19. Jahrhundert.
Stahlbau 59 (1990), S.1-10
- [20] Lorenz, W., Rhode, A.: Building with Iron in Nineteenth Century Bavaria: The Valhalla Roof
Truss and its Architect Leo von Klenze.
Construction History 17 (2001), S.55-74
- [21] Malberg: Der Crumlin- Viaduct.
Zeitschrift für Bauwesen 8 (1858), S.17-30, Bl.12-14
- [22] Mehrten, G.: Der deutsche Brückenbau im XIX. Jahrhundert.
Berlin: Springer 1900
- [23] Mehrtens, G.: Vorlesungen über Ingenieurwissenschaften.
2. Teil. Eisenbrückenbau. 1.Bd. Leipzig: Engelmann 1908
- [24] Moxon, J.D.: Verbesserung im Baue der Brücken und ähnlicher Gebäude.
Dingler's Polytechnisches Journal 15 (1824), S.347-349
- [25] Müller, H.: Die Brückenbaukunde in ihrem ganzen Umfange.
Leipzig: Romberg 1860
- [26] N.N.: Hungerford Suspension Bridge.
Civil Engineer and Architect's Journal 8 (1845), S.165-166
- [27] N.N.: Menai and Conway Bridge. Builder 4 (1846), S.461
- [28] N.N.: Die Rhein-Brücke bei Cöln.
Zeitschrift für Bauwesen 13 (1863), S.175-196
- [29] N.N.: Die Berliner Stadteisenbahn.
Zeitschrift für Bauwesen 34 (1884), S.2-24, 114-140, 226-240, 350-376 sowie (1885), S.1-16,
297-332, 442-506
- [30] N.N.: Der Bau der neuen Eisenbahnbrücken über die Weichsel bei Dirschau und über die
Nogat bei Marienburg.
Zeitschrift für Bauwesen 45 (1895), S.236-266

- [31] Osborne, R.B.: Brief vom 13.12.1847. In: Report of the Commissioners appointed to inquire into the application of iron in railway structures, 1849, S. 413
- [32] Pollack, J.: Metallbrücke zur Übersetzung des Royalkanals bei Dublin. Allgemeine Bauzeitung 13 (1848), S.1-27, Bl. 148,149
- [33] Rennie, J.: MS report books in ICE Library. vol.11, S.226-229
- [34] Rieppel, A., Frentzen, G.: Konstruktion und Architektur neuerer deutscher Brückenbauten. Architektur und Ingenieurwesen 44 (1898), S.562-586
- [35] Rondelet: Theoretisch – praktische Anleitung zur Kunst zu Bauen. 1. Bd. Leipzig, Darmstadt: Karl Wilhelm Leske 1833
- [36] Schönhöfer, R.: Das Vielkugel-Auflager. Zentralblatt der Bauverwaltung 60 (1940), S.629-635
- [37] Schwedler, W.: Der eiserne Überbau der Brahe-Brücke bei Czersk, in der Bromberg-Thorner Eisenbahn. Zeitschrift für Bauwesen 11 (1861), S.579-602
- [38] Spohn: Kunstbauten der Moselbahn. Zeitschrift f. Bauwesen 34 (1884), S.49-78
- [39] Targé: Der Saale-Uebergang der Magdeburg-Leipziger-Eisenbahn bei Grizehna unfern Calbe an der Saale. Zeitschrift für Bauwesen 3 (1853), S. 479-84
- [40] Thul, H.: Brückenlager. Stahlbau 38 (1969), S.353-360
- [41] Topaloff, B.: Gummilager für Brücken. Bauingenieur 39 (1964), S.50-64
- [42] Vicat: Ueber eine an den Bogen der Brücke zu Souillac beobachtete periodische Bewegung. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen 4 (1825), S.156-160
- [43] Weißhaupt, Th.: Eisenkonstruktionen bei Eisenbahnbrücken. Allgemeine Bauzeitung 13 (1848), S.134-140, Abb.185-188
- [44] Wetzck, V.: Bridge Bearings – a Historical Survey. In: Dunkeld; Cambell; Louw; Tutton; Addis; Thorne (Hrsg.): Proceedings of the Second International Congress on Construction History. Vol.3. Cambridge: Construction History Society, 2006, S.3333-3355
- [45] Winkler, E.: Die Gitterträger und Lager gerader Träger. In: Winkler (Hrsg.): Vorträge über Brückenbau. Eiserne Brücken. Wien: Carl Gerold's Sohn 1875

Autor des Beitrages

Dipl.-Ing. Volker Wetzck

BTU Cottbus, Lehrstuhl Bautechnikgeschichte und Tragwerkserhaltung

PF 101344, 03013 Cottbus