Gerhard Hess

Aspekte zur Konstruktion und Bedienung von Kettenzug-, Schwungrutenzug- und Wippbrücken



Abb. 1. Burg Konradsheim, Zugbrücke zur Hauptburg (Foto: Verf., 2015).

Seit dem 12. Jahrhundert lassen sich Zugbrücken nachweisen[1]. Sie wurden als Wegsperre bzw. Annäherungshindernis bei Burgen, Festungen, Stadttoren (Bologna, Weimar) und Schlossbauten, aber auch an Türmen (Wernerseck und Olbrück) eingesetzt[2]. Bis in die heutige Zeit haben sich nur wenige Zugbrücken erhalten, da Tore überformt und bei der Entfestigung der Anlagen beseitigt wurden. Auch aus Gründen bequemerer Zuwegung wurden die Zugbrücken an sehr vielen Anlagen durch Steinbrücken ersetzt. Selbst bei den in späteren Zeiten nicht wesentlich überformten Anlagen haben Zugbrücken und deren Hebemechanismen – zumeist aus Holz gefertigt – aufgrund der Vergänglichkeit des Materials selten bis in unsere Zeit überdauert. Erhalten geblieben sind quasi als Negativabdruck der Zugbrücken Lagersteine, Mauerwerksblenden für die Aufnahme der Zugbrücke, Kettenschlitze sowie die Ausnehmungen für Schwungruten. Somit ist es in vielen Fällen möglich, die Zugbrücken zumindest ansatzweise bezüglich ihrer Konstruktion und ihrer Abmessungen zu rekonstruieren.

Gerade in der frühen Burgenforschung findet sich z. B. bei Piper eine umfangreiche Sammlung verschiedener Beispiele und unterschiedlicher technischer Ausführungen[3]. Auch Viollet-le-Duc präsentiert verschiedene Beispiele für Zugbrücken und deren Hebemechanismen, die jedoch vom Technikverständnis des 19. Jahrhunderts geprägt zu sein scheinen und zu teilweise komplexen technischen Lösungen kommen, die für mittelalterliche und frühneuzeitliche Verhältnisse kritisch zu betrachten sind[4]. Aktuelle Beiträge widmen sich ausführlich dem Thema Zugbrücke und Fallgatter mit einer Vielzahl an Beispielen[5]. Aber in Bezug auf die Handhabung einer Zugbrücke sind vorzugsweise nur in der frühen Burgenforschung Ansätze zu finden[6]. Im Folgenden wird daher versucht, aus Sicht der Technik die notwendigen konstruktiven Merkmale einer Zugbrücke aufzuzeigen und sie hinsichtlich ihrer Funktionalität mit Blick auf Bedienung und Handhabung zu bewerten.

Die Funktion einer Zugbrücke besteht darin, in abgesenkter Position den Weg über einen trockenen oder nassen Graben zu einem Bauwerk zu ermöglichen. In der aufgezogenen Position soll sie ein wirkungsvolles Annäherungshindernis bilden und eine gegebenenfalls direkt dahinter liegende Tordurchfahrt verschließen. Ob eine Zugbrücke regelmäßig oder nur bei Gefahr im Verzug hochgezogen wurde, hing sicher von der politischen Lage und dem Sicherheitsbedürfnis der Bewohner, nicht zuletzt aber auch von der Handhabbarkeit und dem personellen und zeitlichen Aufwand für die Bedienung ab.

Zugbrücken sicherten im Allgemeinen die Hauptzufahrt und mussten daher von ihrer Statik auf Belastung durch Pferde, Fuhrwerke und in späterer Zeit auch Kanonen ausgelegt sein. An einigen Toranlagen wurden zusätzlich zum Haupttor Pforten für Fußgänger mit jeweils eigener Zugbrücke angelegt (Haupttor des Heidelberger Schlosses; Tor zur Hauptburg von Schloss Büdingen; äußeres Tor der Henneburg/Prozelten), die von der Bauweise entsprechend ihrer geringeren Belastung leichter ausgeführt werden konnte. Dies gilt ebenso für die an Türmen verwendeten Zugbrücken.

Die Drehachse der Zugbrücken befindet sich üblicherweise auf der dem Tor zugewandten Grabenseite. Da eine Zugbrücke aus Gründen der Statik und Handhabung nur mit begrenzter Spannweite ausgeführt werden konnte, waren bei Gräben mit größerer Breite entweder Dämme oder feste Brücken aus Holz oder Stein für das feldseitige Auflager erforderlich. Wenn die Brücke durch Fuhrwerke befahren werden soll, muss das eigentliche Auflager zudem um die Stärke der Zugbrückenlängsträger sowie des Bohlenbelags tiefer als das Wegniveau liegen, um eine Stufe zwischen festem und beweglichem Teil der Zugbrücke zu vermeiden. Dies gilt in gleicher Weise für den Übergang zwischen Brücke und Torschwelle bzw. Torweg. Auch ist zu berücksichtigen, dass je nach Ausbildung des Lagers und Anordnung der Lagerzapfen bzw. der Drehachse ein Spalt zwischen Brückenhinterkante und Torschwelle erforderlich ist. Das feldseitige Auflager und der Übergang zum Torweg liegen allerdings nicht immer auf gleicher Höhe, sodass die



Abb. 2. Burg Freudenberg, Lagerstein der ehemaligen Wippbrücke am äußeren Tor (Foto: Verf., 2013).

Abb. 3. Burg Vischering, Lager der ehemaligen Schwungrutenbrücke am Tor zur Vorburg (Foto: Verf., 2014).



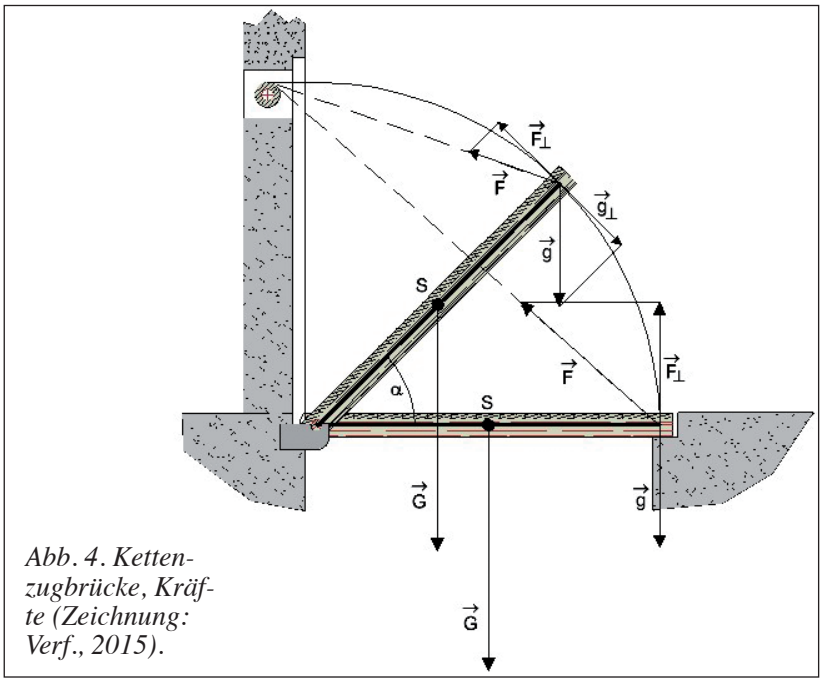

Abb. 4. Kettenzugbrücke, Kräfte (Zeichnung: Verf., 2015).

Brückenbahn der herabgelassenen Zugbrücke auch zum Tor hin eine deutliche Steigung aufweisen kann (Abb. 1). Die Zapfen der Drehachse stehen beiderseits der Brücke vor und liegen mitunter in vorkragenden Auflagern. Die Lager sind häufig als Hakensteine mit nach oben gerichteter halbzylindrischer Ausnehmung zur Aufnahme der Zapfen ausgebildet (Abb. 2). Abweichend zu dieser Ausführung sind am Tor zur Vorburg der Burg Vischering in Lüdinghausen in Nordrhein-Westfalen Lagersteine mit durchgehender ebener Oberfläche eingebaut, auf die ein eisernes Lager mit kleiner halbkreisförmiger Ausnehmung zur Aufnahme des Lagerzapfens aufgesetzt ist (Abb. 3).

Die Zugbrücken sind in zwei unterschiedlichen Konstruktionsformen zu finden: Zum einen ist dies die entsprechend der Terminologie von Piper bezeichnete Klappbrücke, bei der sich die horizontale Drehachse auf der dem Tor zugewandten Seite der Brücke befindet (Abb. 4).

Bei der zweiten Form ist die horizontale Drehachse zur Mitte der Zugbrücke verschoben, wobei diese Form auch entsprechend Piper im Folgenden als Wippbrücke bezeichnet wird.

Klappbrücke

Ein Beispiel für die Konstruktion einer Klappbrücke ist heute noch am Torhaus des Heidelberger Schlosses zu finden: Während die Hauptzugbrücke durch eine gemauerte Brücke ersetzt wurde, blieb die Fußgängerbrücke erhalten. Die Konstruktion besteht aus zwei Längsbalken, die an den Enden mit Kopfbalken verbunden sind. Hierauf sind Bohlen quer verlegt.

Bezüglich des Einbaues einer Klappbrücke sind keine besonderen konstruktiven Anforderungen an den Torbau zu stellen: Dieser kann aus einer einfachen Mauer, aber auch aus einem Torhaus oder einem Torturm bestehen. In vielen Fällen ist in die Mauer um das Torgewände eine rechteckige Blende eingearbeitet, die die Brücke in aufgezogener Position vollständig aufnehmen kann (Heidelberger Schloss: Torhaus und Torturm; Schloss Büdingen: Tor zur Hauptburg; Henneburg/Prozelten: Äußeres Tor, Linn/Krefeld: Tor zur Hauptburg, Burg Vischering/Lüdinghausen: Tor zur Hauptburg; Burg Olbrück: Wohnturm). Welche Funktion diese Blende hat, wird in der Literatur eher spekulativ diskutiert: Einerseits wird vermutet, dass die Brücke innerhalb der Blende besser gegen Witterungseinflüsse geschützt ist, andererseits sollen Angreifer daran gehindert werden, die Brücke mittels Haken herunterzureißen[7].

Hebevorrichtung

In Deutschland ist die Kettenzugbrücke am häufigsten anzutreffen[8]. Hierbei sind üblicherweise rechts und links an der Brücke nahe der feldseitigen Kante Ketten befestigt, die durch Schlitze seitlich oberhalb der Toröffnung über Rollen zur Torinnenseite geführt werden. In vielen Fällen haben sich diese Schlitze teilweise mit den Rollen erhalten oder sind noch deutlich zu erkennen, auch wenn sie in späterer Zeit bei der Beseitigung der Zugbrücke zugesetzt worden sind. Bei Fußgängerbrücken war aufgrund der geringen Breite auch durchaus nur eine Kette an einer Seite ausreichend, wie sich in verschiedenen Beispielen anhand des einen asymmetrisch angeordneten Kettenschlitzes ablesen lässt (Schloss Büdingen: Tor zur Hauptburg). In sehr wenigen Fällen haben sich in Deutschland in den Torbauten Hebemechanismen erhalten (Altes Schloss Meersburg, Burg Breuberg, Veste Otzberg). Es finden

sich selten Spuren oder Hinweise auf das ehemalige Vorhandensein solcher Hebemechanismen. Zudem sind die Platzverhältnisse für den Einbau von Hebemechanismen oftmals sehr beengt. So ist entgegen der Annahme, die Brücken wären zumeist mithilfe von Wellbäumen bewegt worden, zu vermuten, dass sie in vielen Anlagen ohne jegliche Hilfsmittel von der Mannschaft direkt an den Ketten hochgezogen werden mussten[9]. Für die Abschätzung des erforderlichen Kraftaufwands wird die Zugbrücke im Folgenden als einfaches physikalisches Modell eines einarmigen Hebels dargestellt.

Um die Kettenzugbrücke bis vor die Tormauer bzw. in die Blende hochziehen zu können, müssen die Kettenbefestigungen bei hochgezogener Brücke genau auf Höhe der Schlitze mit den Führungsrollen liegen. Dies ist in Abb. 4 mit dem Viertelkreis angedeutet, den die Brücke beim Hochziehen beschreibt. Wenn man das Durchhängen der Ketten (gestrichelte Linien) vernachlässigt, hat man bei herabgelassener Brücke – von der Seite gesehen – ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Katheten durch die Brücke und die Torwand und dessen Hypotenuse durch die Kette gebildet werden. Um die Brücke anheben zu können, muss über die Ketten ein Drehmoment ausgeübt werden, das größer ist als das Drehmoment, das durch die im Schwerpunkt S der Brücke angreifende Schwerkraft G hervorgerufen wird. Das Drehmoment ergibt sich aus dem Hebelarm multipliziert mit der senkrecht auf den Hebel einwirkenden Kraftkomponente (Index $\perp$ in Abb. 4). Zu Beginn des Hebevorgangs ist der Winkel zwischen der Kraft entlang der Kette und der Zugbrücke – also dem Hebelarm – mit ca. 45° am ungünstigsten, sodass nur eine kleinere Kraftkomponente senkrecht zur Brücke wirkt. Je weiter die Brücke hochgezogen wird, umso mehr nähert sich der Winkel zwischen Kette und Brücke dem 90°-Winkel und umso geringer ist die erforderliche Kraft F. Demzufolge muss während des Hebevorgangs eine Kraft aufgewendet werden, die zu Beginn am höchsten ist und danach stetig abnimmt. Der Kraftverlauf ist in Abb. 5 als Funktion des Winkels α dargestellt.

Die für das Anheben der Brücke erforderliche Kraft ist zudem von dem Hebelarm, also der Entfernung zwischen Lager und Kettenbefestigung, abhängig und wird umso kleiner, je größer der Hebelarm ist. Im Idealfall sind die Ketten also in Höhe der Brückenvorderkante befestigt. Für diese Konstellation ergibt sich unter der Annahme, dass der Schwerpunkt auf der Hälfte der Brücke liegt, ein Hebelverhältnis von 1:2. Aus Abb. 5 ergibt sich somit für das Anheben der Brücke aus der Horizontalen ($\alpha = 0°$) ein Kräfteverhältnis von $1{,}4 \div 2 = 0{,}7$, sodass die erforderliche Kraft dem 0,7-fachen der auf die Brücke wirkenden Schwerkraft entspricht. Für die weitere Abschätzung wurden die Maße der Mauerblende am Zugbrückentor der Hauptburg Linn mit ca. 2,60 m Breite und 3,00 m Länge zugrunde gelegt. Unter der Annahme von Längsträgern mit einem quadratischen Querschnitt von 10 cm x 10 cm sowie einem Bohlenbelag von 5 cm Dicke kommt man bei der Verwendung von Eichenholz mit einer Dichte von 740 kg/m³ für trockenes Holz auf eine Masse von 416 kg. Zum Anheben wird demnach anfangs eine Kraft von 2884 N benötigt, also umgerechnet der Gewichtskraft einer Masse von 294 kg. Hierbei sind weder die Masse der Ketten, die Reibung in den Lagern noch eine Gewichtszunahme der Brücke aufgrund von Feuchtigkeitsaufnahme des Holzes berücksichtigt. Diese Kraft kann keinesfalls von nur zwei Personen aufgebracht werden, wie Piper sie als ausreichend ansieht[10]. Bei Cohausen erfolgt keine Festlegung; er ist aber weit realistischer in seiner Einschätzung[11]. Nach Ansicht des Verfassers sind sechs Männer – also drei für jede Kette – erforderlich, um diese Brücke anzuheben. Beim Absenken der Brücke ist umgekehrt mit zunehmendem Kraftaufwand zu rechnen, wobei ein Fallenlassen der Brücke vermieden werden muss, um die Konstruktion nicht zu beschädigen.

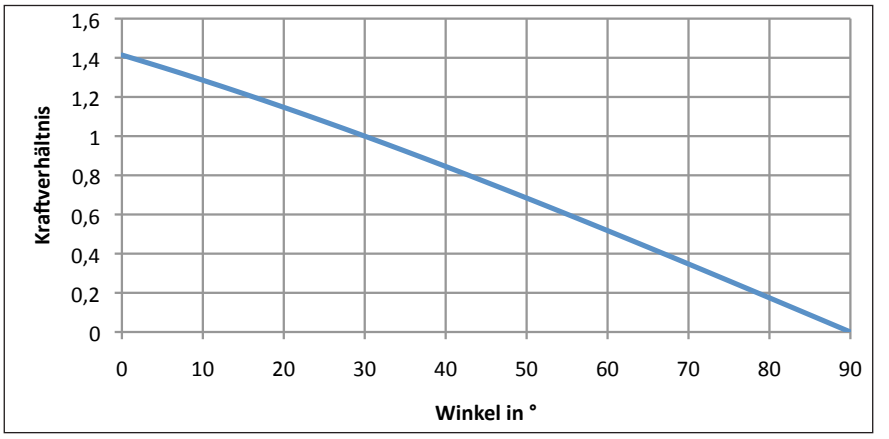

Abb. 5. Kettenzugbrücke, aufzubringende Kräfte als Funktion der Winkels α (Zeichnung: Verf., 2015).

Beim Hebevorgang ist außerdem darauf zu achten, dass beide Ketten gleich gezogen werden, da sich die Brücke ansonsten verwindet und gegebenenfalls einseitig aus einem Lager gehoben wird.

Je nach Anordnung des Lagerzapfens bzw. der Drehachse liegt der Schwerpunkt der vollständig aufgezogenen Brücke feldseitig vor dem Lager, genau über dem Lager oder zwischen Lager und Torwand. Im letzteren Fall wird die Brücke durch die Schwerkraft gegen die Torwand gedrückt und nimmt eine stabile Lage ein. Beim Herunterlassen muss die Brücke allerdings zuerst „abgedrückt" werden, bis sich der Schwerpunkt vor dem Lager befindet. Nimmt die hochgezogene Brücke keine stabile Lage ein, sollte eine Möglichkeit vorhanden sein, die Ketten anzuschlagen oder die Brücke zu verriegeln, um ein unbeabsichtigtes Absenken der Brücke zu verhindern.

Flaschenzüge

Nach Antonow konnte der Einsatz von Flaschenzügen zumindest beim Bau von Burgen bisher nicht nachgewiesen werden[12]. Im Blutturm des Londoner Towers wurden immerhin Flaschenzüge in Kombination mit einer Winde für das Heben/Absenken des Fallgatters eingesetzt[13]. Der Einsatz von Flaschenzügen für Zugbrücken wäre naheliegend, kann aber für Anlagen in Deutschland nicht belegt werden.





Abb. 6. Burg Breuberg, unteres Tor, Feldseite (Foto: Verf. , 2012).

Abb. 7. Burg Breuberg. Wellbaum im unteren Tor (Foto: Verf., 2012).

Kontergewichte

Aufgrund des sich während des Hochziehens der Brücke ändernden Kräfteverlaufs (Abb. 5) sind Kontergewichte an den Ketten nur von beschränktem Nutzen, da sie eine gleichbleibende Zugkraft auf die Ketten ausüben. Eine Rekonstruktion der Zugbrücke der Burg Dornsberg/Tarantsberg im Vinschgau/Südtirol mit Gegengewichten findet sich skizzenhaft bei Piper sowie detailliert mit Maßangaben bei Trapp[14]. Bei einer rekonstruierten Brückenlänge von 5,2 m und den gleichen Annahmen für die anderen Maße wie bei dem ersten Beispiel ergibt sich diesmal eine Masse von 693 kg. Der Scheitelpunkt der Holzrollen in der Tormauer liegt bei ca. 4 m, sodass die Ketten an der Brücke auch in dieser Entfernung zur Wand festgemacht sein müssen. Wiederum wird der Schwerpunkt in der Mitte der Brücke verortet, jedoch ist das Verhältnis der Hebelarme bei der 5,2 m langen Brücke deutlich schlechter als bei dem ersten Beispiel. Zum Anheben wird demnach anfangs eine Kraft von 6245 N benötigt, also umgerechnet der Gewichtskraft einer Masse von 637 kg!

Am Torbau der Burg Dornsberg war hofseitig ein ebenfalls mit Holz abgedeckter Schacht zur Aufnahme eines Kontergewichts vorgesehen. Es handelte sich um einen Holzkasten, der mit Steinen beschwert werden konnte und in Resten noch vorhanden ist. Die 11 m langen Zugketten laufen von den Rollen oberhalb des Tors schräg abwärts durch Öffnungen in der Schachtabdeckung und dort wiederum über Holzrollen zum Kasten.

Bei Aufsetzen der Gegengewichte auf dem Boden des 4,2 m tiefen Schachts war die Brücke nahezu zur Hälfte hochgezogen. Für das weitere Anheben wird in diesem Punkt eine Kraft von 2760 N benötigt, die der Schwerkraft einer Masse von 281 kg entspricht. Es müssen sich also mindestens 4 Personen mit einem Gewicht >70 kg an die Ketten hängen, um die Brücke vollständig hochzuziehen. Das Kontergewicht darf aber auch keine wesentlich größere Masse als diese 281 kg haben, da es ansonsten beim Ablassen der Brücke von der Mannschaft angehoben werden muss. Beim Herablassen muss die Mannschaft zum Schluss eine Kraft aufbringen, die als Gewichtskraft der Differenz von 637 kg – 281 kg = 356 kg entspricht, um die Brücke nicht unkontrolliert fallen zu lassen!

Winden

Wenige noch erhaltene Exemplare zeigen einen einfachen Aufbau in Form eines horizontal liegenden Wellbaums. Auf diesen Wellbaum werden die beiden Ketten parallel auf- und abgewickelt, sodass die Brücke beidseitig gleichmäßig hochgezogen oder abgesenkt wird, ohne sie zu verwinden. Die Lager müssen hierbei eine entsprechende Zuglast aufnehmen können. Der Wellbaum wird in ungefähr einer Höhe mit den Führungsrollen gelagert, damit diese ihre Funktion wahrnehmen.

Bei vielen Toren liegen aufgrund der Brückenlänge die Führungsrollen nur wenig oberhalb der Toröffnung, aber unterhalb der Decke, des Gewölbes bzw. des Dachs. So muss der Wellbaum in einer Höhe eingebaut werden, dass er einerseits den Weg für Passanten/Pferde und Fuhrwerke nicht allzu sehr einschränkt, andererseits aber für die Mannschaft noch erreichbar und handhabbar ist.

Im unteren Tor der Burg Breuberg hat sich der originale Wellbaum erhalten, die Zugbrücke hingegen wurde durch eine gemauerte Brücke ersetzt. Gleue ordnet diesen Torbau der zweiten Bauphase der Burg im 15. Jahrhundert zu, in der die Kernburg um eine Vorburg erweitert wurde[15]. In der Steinbrücke über den Torgraben ist eine Baunaht zwischen den beiden Bogen erkennbar. Die Lagersteine scheinen bei dem Brückenbau mit verwendet worden zu sein, wie der etwas tiefer in der Brückenwandung liegende Werkstein direkt über dem Ansatz des Brücken-Gewölbebogens andeutet (Abb. 6). Die gesamte Torhausfront ist aus sorgfältig gearbeiteten Werksteinen gefertigt. Die rundbogige Tordurchfahrt weist eine Blende auf, in deren oberen Ecken sich die Kettenschlitze erhalten haben. Der Wellbaum ist in der Tordurchfahrt direkt unterhalb des Stichbogengewölbes in größerem Abstand zum Tor in den beiden flankierenden Mauern gelagert (Abb. 7). Der Wellbaum hat durchgängig einen runden Querschnitt, wobei die äußeren Teile, auf die die Ketten aufgewickelt wurden, einen geringfügig größeren Durchmesser als der Mittel-



Abb. 8. Veste Otzberg. Feldseite des äußeren Torhauses (Foto: Verf., 2012).



Abb. 9. Veste Otzberg. Wellbaum im Tor (Foto: Verf., 2012).

teil aufweisen. Jeweils direkt neben der Verjüngung sind sich kreuzende querrechteckige Zapfenlöcher eingelassen. Es liegt nahe, dass zwei Personen jeweils wechselweise Spaken von unten in die Zapfenlöcher eingeschoben, den Wellbaum um einen Winkel von 90° verdreht, den Spaken herausgezogen und in das nächste Loch eingeschoben haben. Damit erweist sich das Hochheben/Absenken der Brücke als relativ mühseliges Unterfangen! Andererseits ist hierbei der Hebelarm sehr groß, da die Spaken von der Tordurchfahrt aus gehandhabt werden. Setzt man ein Hebelverhältnis zwischen Radius des Wellbaums und Spakenlänge von 1:20 an, so ist bei den gleichen Annahmen wie zuvor eine Kraft von 2884 N/20 = 144 N zu Beginn des Hebevorgangs aufzubringen, was wiederum einer Kraft entspricht, die erforderlich ist, um ein Gewicht von ca. 15 kg zu heben. Somit wird die Annahme über die Abfolge des Hebevorgangs untermauert, da eine Person ausreicht, um den Wellbaum zu drehen und auch in jeder Position zu halten, während die zweite Person den Spaken umsteckt. Eine Möglichkeit der Arretierung des Wellbaumes, um ein unbeabsichtigtes Absenken der Zugbrücke zu verhindern, ist hierbei nicht zu erkennen.

Interessant ist neben dem Wellbaum noch die Balkenkonstruktion direkt hinter der Torwand, bei der zwei Balken von den Kettenlöchern in Richtung des Wellbaums verlaufen und an der Torwand sowie kurz vor dem Wellbaum durch in die Seitenwände eingelassene Querbalken abgestützt werden. Die Funktion dieser kurz vor dem Wellbaum endenden Konstruktion ist nicht ersichtlich. Man könnte vermuten, dass die Ketten hierüber geführt wurden und somit nie herunterhingen oder dass eine Verstärkung des oberen Lagerbalkens der Torflügel erzielt werden sollte.

Beim Ausbau der Burg Otzberg zur Bergveste im ersten Viertel des 16. Jahrhunderts wurden rings um die Ringmauer Kanonenwälle gelegt und ein neues Torhaus vor das bisherige einfache Mauertor gesetzt[16]. Der weitgehend erhaltene Torbau wurde entsprechend einem Inschriftenstein über dem äußeren Torbogen um 1511 fertiggestellt. Der Torbogen wird feldseitig von einer Rechteckblende zur Aufnahme der Zugbrücke eingefasst, wobei die beiden Kettenschlitze mit den Führungsrollen seitlich neben der Korbbogenöffnung in situ erhalten sind (Abb. 8). Nach Gleue ist die Blende 2,75 m breit und 3,3 m hoch. Interessanterweise sind Pläne nicht realisierter Umbauten aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts erhalten geblieben, die die bauliche Situation mit der Zugbrückenwinde darstellen[17]: Der Wellbaum ist in einem Abstand von ca. 7 m hinter der Toröffnung eingebaut, wobei er zu beiden Seiten der Tordurchfahrt durch die Mauer in jeweils einen Raum für die Bedienung geführt ist (Abb. 9). Aus den Plänen lässt sich entnehmen, dass auf beiden Seiten des Wellbaums jeweils vier Speichen für die Handhabung vorhanden waren und dass der Wellbaum an den Stellen, an denen die Ketten aufgewickelt wurden, deutlich im Durchmesser gegenüber den Seiten und dem Mittelteil verjüngt war. Die Einbausituation ist bis heute nachvollziehbar, wobei sich jetzt ein Rundholz an dieser Stelle befindet.

Setzt man ca. einen Meter lange Speichen oder Spaken bei einem geschätzten Radius des Wellbaums von 10 cm an, erhält man ein Hebelverhältnis von etwa 10:1. Unter Zugrundelegung der von Gleue angegebenen Maße und bei Verwendung von Eichenholz ist zu Beginn des Hebevorgangs eine Kraft von ca. 3290 N/10 = 329 N an den Speichen aufzubringen, was der Gewichtskraft einer Masse von ca. 34 kg entspricht. Somit sollte die Zugbrücke von zwei Personen gut zu bedienen sein. Hierbei ist zu beachten, dass diese Kraft auch von nur einer Person aufgebracht werden kann, aber für ein Umgreifen eine zweite Person erforderlich wird. Da die Speichen in den Umbauplänen an den zwei Enden des Wellbaums in den beiden Räumen rechts und links der Durchfahrt eingezeichnet sind, muss vermutet werden, dass auch das Bedienungspersonal auf beide Räume verteilt war und gleichzeitig die Winde bedient hat. Dies wirft wiederum Fragen zur Kommunikation und Synchronisierung untereinander auf.

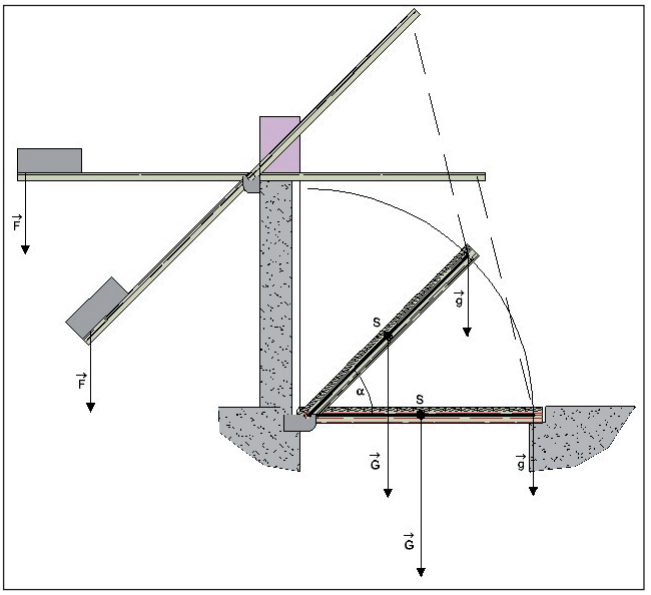

Abb. 10. Schema einer Schwungrutenzugbrücke. Im Schwerpunkt S greift die Schwerkraft G an (Zeichnung Verf., 2015).

Am alten Schloss in Meersburg ist das Haupttor um 1570 in der heutigen Form entstanden[18]. Das rustizierte Portal verfügt über eine rechteckige Blendnische um die mit einem Korbbogen überfangene Durchfahrt. Die Kettenschlitze mit den Führungsrollen sind auf Höhe des Torbogens in der Blende eingelassen. Der Wellbaum ist auf der Innenseite der Torwand direkt oberhalb der Tordurchfahrt angeordnet, hat an den Enden jeweils einen quadratischen Querschnitt und ist nur im Mittelteil abgerundet. An beiden Enden des Wellbaums ist ein hölzernes Rad, das eine mittig umlaufende Nut aufweist, mit vier Speichen befestigt. Anzunehmen ist, dass der Antrieb über ein endloses Seil oder eine endlose Kette – ähnlich wie bei einem modernen Kettenzug – erfolgte, wobei die Bedienungsmannschaft unterhalb des Wellbaums in der Tordurchfahrt stand. Eine grobe Vermessung eines Fotos ergibt ein Hebelverhältnis von ca. 7:1. In Ermangelung der Maße der Blende kann man als gute Näherung auch hier für die Zugbrücke eine Größe wie bei den vorherigen nicht sehr voneinander abweichenden Beispielen nehmen. Zu Beginn des Hebevorgangs ist eine Kraft von ca. 470 N an einer Kette aufzubringen, was der Gewichtskraft einer Masse von ca. 48 kg entspricht. Somit sollte die Zugbrücke von zwei Personen gut zu bedienen sein.

Schwungruten

Bei der sogenannten Schwungrutenzugbrücke wird die Brücke über einen gleicharmigen Hebel angehoben oder abgesenkt, der oberhalb der Toröffnung gelagert und mit der Zugbrücke über Ketten oder ein Gestänge mit Gelenken verbunden ist (Abb. 10). Der Hebel wird üblicherweise aus einem Paar paralleler Balken – eben den sogenannten Schwungruten – in einem Abstand, der der Breite der Zugbrücke entspricht, gebildet. Beide Balken sind zumindest in der Mitte durch einen Querbalken verbunden, an dessen beiden Enden die Lagerzapfen befestigt sind. Darüber hinaus ist am hinteren Ende zur Quersteifung und zur Befestigung von Kontergewichten ein weiterer Querbalken erforderlich. Bei Fußgängerbrücken kommt auch nur ein einziger Balken als Hebel zur Anwendung. Für die Handhabung sind an den hofseitigen Enden der Schwungruten jeweils Seile oder Ketten angebracht, an denen die Mannschaft die Brücke hochzieht oder ablässt.

Die feldseitigen Hebelarme der Schwungruten haben ungefähr dieselbe Länge wie die Zugbrücke. Ist die Zugbrücke hochgezogen, stehen die Schwungruten nahezu senkrecht. Die Lager der Schwungruten müssen also einen Mindestabstand zum Boden haben, der der Länge des hofseitigen Hebelarms entspricht. Die Ausbildung der Lager der Schwungruten ist abhängig vom Aufbau der Stützkonstruktion: Diese kann im einfachsten Fall aus einem hölzernen Rahmen bestehen, der aus zwei senkrechten Ständern mit darüber liegendem Tragbalken konstruiert ist. Die Ständerbalken sind üblicherweise abgesteift. Eine solche Konstruktion wurde vor allem in nachmittelalterlichen Anlagen in größerer Entfernung vor dem eigentlichen Tor als frei stehendes Annäherungshindernis eingesetzt.

Die Entwurfsplanung für eine „Schlag oder Aufstehe-Brücke“ für die Festung Wülzburg im bayerischen Weißenburg, eine Federzeichnung „gefertiget durch Johann Carl Zeuchmeister Und Ingenieur zue Nürnberg“ ist als perspektivische Zeichnung erhalten[19]. In der Zitadelle Wesel am Niederrhein, die ab 1687 erbaut wurde, existiert eine solche Zugbrücke als Rekonstruktion[20]. Bei der Burg Wildenstein an der Donau erfolgt die Zuwegung sowohl zur Vorburg als auch zur Hauptburg über Brücken, bei denen noch gemauerte Steinpfeiler vorhanden sind, die entsprechend einer Rekonstruktion von Josef Durm auch Schwungrutenzugbrücken getragen haben[21]. Die Burg Wildenstein ist im 13. Jahrhundert entstanden und wurde im Zeitraum zwischen 1520 und 1550 zur Festung ausgebaut[22]. Nach Meinung des Verfassers sind die Schwungrutenzugbrücken dieser Bauperiode zuzuordnen. Bei Schwungrutenzugbrücken als Bestandteil eines Tors fungiert die Zugbrücke auch als Torverschluss. Hierbei ist entsprechend dem Aufbau des Tors eine aufwendigere Konstruktion für den Einbau erforderlich. Bei einfachen Mauertoren sind zumeist Aussparungen für die Schwungruten auf beiden Seiten oberhalb der Toröffnung ausreichend. Ein schönes Beispiel dafür ist die Zugbrücke zur Vorburg der Wasserburg Vischering in Lüdinghausen im Münsterland. Für die Lagerung der Schwungruten sind hier auf der Rückseite der Tormauer ähnliche Lagersteine wie für die Zugbrücke eingebaut (siehe Abb. 12). Weitere Beispiele finden sich in rekonstruierter Form an einem Tor am Zwinger der Burg Linn in Krefeld sowie am Tor zur Hauptburg der Burg Bodenstein in Wintzingerode in Thüringen.

Beim Einbau einer Schwungrutenzugbrücke in ein Torhaus oder einen Torturm müssen oberhalb der Toröffnung Schlitze im Mauerwerk vorgesehen werden, in die die Schwungruten soweit einschwenken können, wie es für die vollständig hochgezogene Zugbrücke erforderlich ist. Bei Torhäusern und Tortürmen durchbrechen daher die Schlitze die Mauerfront üblicherweise vollständig und werden nur bei hochgezogener Zugbrücke durch die nahezu senkrecht stehenden Schwungruten geschlossen. Die Zugänglichkeit von Mauerpartien direkt

oberhalb der Toröffnung ist aufgrund der Schwungruten stark beschränkt, sodass Einrichtungen zur Frontalverteidigung des Tors sinnvollerweise erst oberhalb der Schwungruten angeordnet werden können. Während in Italien solche in Torhäusern oder Tortürmen eingebauten Schwungrutenzugbrücken relativ verbreitet waren (z. B. Castello Sforzesco, Abb. 13), gibt es in Deutschland nur sehr wenige Beispiele hierfür: Zum einen ist das äußere Tor der Küssaburg in der Gemeinde Küssaberg in Baden-Württemberg zu nennen, das eine Blendnische und darüber die Öffnungen der Schwungruten aufweist, wobei die Schwungruten in jüngster Zeit rekonstruiert worden sind. Nach Robert Feger stammt der Torbau aus der Zeit um 1529[23]. Ein zweites Beispiel bietet die Burg Hohenrechberg bei Schwäbisch Gmünd in Baden Württemberg, wobei der Torbau dendrochronologisch auf die Jahre 1438/39 datiert werden konnte[24]. Neben dem Haupttor mit zwei Schwungrutenschlitzen und einer Blendnische verfügt der Torbau über eine gesonderte Fußgängerpforte mit einem mittig angeordneten kurzen Schwungrutenschlitz und einer Blendnische.

Da bei dieser Konstruktion alle Kräfte unabhängig von der Stellung der Schwungruten im gleichen Winkel auf den Hebelarm einwirken, ändert sich die zum Anheben der Brücke aufzuwendende Kraft hierbei im Gegensatz zur Kettenzugbrücke nicht mit der Stellung der Brücke, sondern bleibt während des Hebevorgangs annähernd gleich groß (Abb. 10). Unter der Annahme, dass der hofseitige Hebelarm dieselbe Länge wie der feldseitige Hebelarm und damit wie die Zugbrücke hat, muss bei den Maßen aus dem ersten Beispiel der Kettenzugbrücke eine Kraft von 2884 N während des gesamten Hebevorgangs aufgebracht werden. Dies entspricht umgerechnet der Gewichtskraft einer Masse von 294 kg, würde also mindestens vier Männer erfordern, die sich hofseitig an die Ketten hängen. Dies wird bestätigt durch ein Foto einer Veranstaltung auf Burg Bodenstein, auf dem sieben Personen die Zugbrücke teilweise angehoben haben. Der große Vorteil der Schwungrutenzugbrücke liegt darin, dass bei dieser Konstruktion durch Anbringung von Gegengewichten an den hofseitigen Enden der Schwungruten die Masse der Zugbrücke sehr gut ausgeglichen werden kann. Dieser Massenausgleich kann so gut ausgeführt werden, dass nur noch die Reibungskräfte in den Lagern sowie die zusätzliche Masse durch sich ändernde Feuchtigkeit im Holz der Brücke überwunden werden müssen und demnach eine Person zum Anheben oder Ablassen ausreicht. Bei drohender Gefahr lässt sich die Zugbrücke damit auch sehr schnell hochziehen. Der Nachteil dieser Handhabung ist jedoch, dass eine solche Brücke mit entsprechend wenig Kraftaufwand von der Feldseite her mit Haken heruntergezogen werden kann, sodass Vorrichtungen für einen sicheren Verschluss der Toröffnung oder eine Arretierung der Schwungruten vorzusehen sind. Für das um 1675 entstandene Torhaus der Burg Stolpen über dem gleichnamigen Ort in Sachsen wurde die Hebevorrichtung mit Ketten, die über einklappbare Kragarme zu einer aufwendigen Windenkonstruktion führen, im Modell rekonstruiert[25]. Bei einer Darstellung des Torhauses um 1780 sind jedoch nur die üblichen Schwungruten abgebildet, an denen die Brücke abgehängt ist, und die in der Rekonstruktion über die Kragarme durch die Schlitze verlaufenden Ketten fehlen. So ist davon auszugehen, dass es sich hierbei anders als in der Rekonstruktion um eine einfache Schwungrutenbrücke gehandelt hat.

Abb. 11. Burg Vischering. Schwungrutenzugbrücke zur Vorburg. Feldseite (Foto: Verf., 2014).



Abb. 12. Burg Vischering. Schwungrutenzugbrücke zur Vorburg. Hofseite, Lagerung der Schwungruten (Foto: Verf., 2014).





Abb. 13. Castello Sforzesco, Mailand: Schwungrutenzugbrücke, Feldseite (Foto: Verf., 2015).

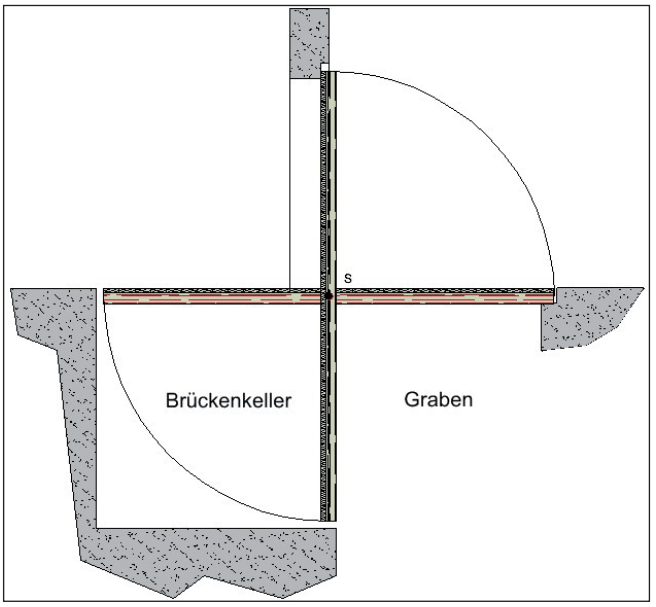

Abb. 14. Schema einer Wippbrücke. Die Lagerung erfolgt im Schwerpunkt S der Brücke (Zeichnung Verf,. 2015).

Wippbrücke

Bei einer Wippbrücke handelt es sich um eine Zugbrücke, bei der die horizontale Drehachse in die Mitte der Brücke gerückt ist. Aufgrund der konstruktiven Ausbildung ist hierbei ein Brückenkeller notwendig, in den der hintere Teil der Brücke abgesenkt wird (Abb. 14). Der Vorteil dieser Konstruktion liegt darin, dass ein idealer Massenausgleich erzielt werden kann, indem die Drehachse entweder exakt mit der Brückenmitte zusammenfällt oder dass Gegengewichte an dem ggf. kürzeren Brückenteil angebracht werden. Für das Aufziehen der Brücke sind somit die Reibungskräfte in den Lagern und die Gewichtszunahme des feldseitigen Brückenteils aufgrund von Feuchtigkeitsaufnahme des Holzes zu überwinden, wozu im Prinzip eine einzige Person ausreichen dürfte.

Der gute Massenausgleich bringt andererseits die Problematik, dass ohne weitere Vorrichtungen beim Betreten des hofseitigen Brückenteils die Brücke aufgrund der Hebelwirkung hochschwenken und die Passanten in den Brückenkeller stürzen würden. Dies gilt schon für eine Einzelperson mit 70 kg bis 80 kg Gewicht und erst recht für ein Pferd mit 600 kg bis 800 kg.

Viollet-le-Duc präsentiert eine Lösung, bei der mittels einer Holzkonstruktion der Torweg über den Brückenkeller bis zur Drehachse der Brücke verlängert ist[26]. Eine stabile Verriegelung der Brücke in abgesenkter Position dürfte aber ebenfalls ausreichen.

Der Brückenkeller ist üblicherweise auf der Feldseite nicht mit einer festen Wand versehen, sondern wird bei hochgezogener Brücke mit dem hinteren Brückenteil geschlossen (Abb. 15). Da die Drehachse der Brücke jetzt unterhalb der Brückenbahn liegt, legt sich die Brücke in hochgezogener Position aufgrund der Schwerkraft an die äußere Torwand an. Aber auch in dieser Position ist eine Verriegelung unabdingbar, da die Brücke sonst vom Gegner aus dem Graben heraus durch Ausübung geringer Kräfte auf den unteren (=hinteren) Brückenteil heruntergelassen werden könnte!

Über Hebemechanismen kann zurzeit keine Aussage getroffen werden. Viollet-le-Duc zeigt in der Rekonstruktion eine Winde im Brückenkeller, der allerdings zum Graben hin geschlossen ist[27]. Schwunguten könnten gegebenenfalls eingesetzt werden, jedoch ist zu bedenken, dass sie bei hochgezogener Brücke aufgrund des Torkellers schlecht erreichbar sind.

Diese relativ seltene Form einer Zugbrücke ist am äußeren bergseitigen Tor der Burg Freudenberg am Main sowie am Torbau der Burg Liebenstein am Rhein zu finden[28]. Bei der Burg Freudenberg ist nur noch eine Seite des Torgewändes erhalten, wobei die Blende noch in Resten identifizierbar ist und sich auf dieser Seite auch der Lagerstein in situ in guten Zustand erhalten hat. Beim Anlegen eines modernen Zugangs durch eine Stahlträgerbrücke ist ein Pfeiler innerhalb des Brückenkellers aufgemauert worden. Spuren einer Hebevorrichtung sind nicht erkennbar.

Unterhalb des Eingangs zum Wohnturm der Burg Wernerseck in der Gemeinde Ochtendung in Rheinland-Pfalz befand sich vor der letzten Restaurierung eine rechteckige Öffnung, die in Zusammenhang mit den beiden flankierenden Lagersteinen als Brückenkeller für eine Wippbrücke interpretiert werden kann[29]. Im Zuge der letzten Restaurierungsmaßnahmen ist die Öffnung vermauert worden, jedoch noch erkennbar.

Abb. 15. Burg Freudenberg am Main. Ehemalige Wippbrücke am bergseitigen äußeren Tor der Burg. Deutlich ist unterhalb der modernen Stahlträgerbrücke der zum Graben hin offene Brückenkeller erkennbar (Foto: Verf., 2013).



Resümee

Das Anheben oder Absenken einer Kettenzugbrücke mit einer einfachen Winde in Form eines Wellbaumes erfordert einen Mindesteinsatz von zwei Personen. Prinzipiell kann dieser Vorgang auch ohne jegliche spezielle Hebevorrichtung erfolgen, wobei sich der Personaleinsatz um ein Vielfaches erhöht. Der Einsatz von Kontergewichten am Ende der Ketten ist aufgrund der sich beim Hebevorgang ändernden Kräfteverhältnisse nicht zweckmäßig. Bei allen aufgeführten Beispielen erhaltener Winden sind diese bedingt durch die Länge der Brückenbahn innerhalb der Tordurchfahrt in erhöhter Position angeordnet und erfordern für ihre Bedienung entsprechende Konstruktionen. Die Bedienung einer Kettenzugbrücke erfordert gegenüber den anderen Konstruktionen den größten Aufwand.

Bei einer Schwungrutenzugbrücke kann durch Gegengewichte an den Schwungruten ein nahezu idealer Massenausgleich erreicht werden, sodass sie durch eine Person angehoben oder abgesenkt werden kann. Ohne die Gegengewichte ist hingegen ein der Zugbrückenmasse entsprechend hoher Personaleinsatz erforderlich.

Eine Wippbrücke ist bei mittig angeordneter Drehachse in sich austariert, sodass sie durch eine Person angehoben oder abgesenkt werden kann. Sie benötigt auch keine spezielle Hebevorrichtung wie eine Winde oder Schwungruten.

Alle Zugbrückenkonstruktionen müssen jedoch Vorrichtungen zur Arretierung in hochgezogener Position aufweisen, eine Wippbrücke auch zur Arretierung in abgesenkter Position.

Angesichts der geringen Besatzungsstärken der meisten Burgen im deutschen Sprachraum liegt es auf der Hand, dass sich der personelle Aufwand für die Bedienung des Tores in Grenzen halten musste. So finden sich die hier aufgeführten Beispiele von Hebemechanismen alle in Bauten der frühen Neuzeit, bei denen auch eine größere Besatzungsstärke vorausgesetzt werden kann.

Anmerkungen

[1] *Dieter Barz/Jan Salm*, Tortürme und Vorbauten. In: Dem Feind zum Trutz, Wehrelemente an mittelalterlichen Burgen (Veröffentlichungen der Deutschen Burgenvereinigung, Reihe B: Schriften, Bd. 14), Braubach 2015, S. 141 ff.

[2] *Matthaeus Merian*, Die schönsten europäischen Städte, Stuttgart 1963, S. 12 u. S. 30.

[3] *Otto Piper*, Burgenkunde, 1912[3], Nachdr. Frankfurt 1967, S. 310 ff.

[4] *Eugène Viollet-le-Duc*, Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle, Édition Bance-Morel de 1854 à 1868, Stichworte: Architecture Militaire, Pont und Port.

[5] *Barz/Salm*, Tortürme und Vorbauten (wie Anm. 1); *Christofer Herrmann*, Fallgatter und Zugbrücken. In: Dem Feind zum Trutz, Wehrelemente an mittelalterlichen Burgen (Veröffentlichungen der Deutschen Burgenvereinigung, Reihe B: Schriften, Bd. 14), Braubach 2015, S. 153 ff.

[6] *Piper*, Burgenkunde (wie Anm. 3), S. 311; *August v. Cohausen*, Die Befestigungsweisen der Vorzeit und des Mittelalters, 1898, Nachdr. Augsburg 1995, S. 214 ff.

[7] *Joachim Zeune/Stefan Uhl*, Fallgitter, Zugbrücke, Schwungrutenbrücke/Wippbrücke. In: Burgen in Mitteleuropa: ein Handbuch, hrsg. von der Deutschen Burgenvereinigung, Bd. I Bauformen und Entwicklung, Stuttgart 1999, S. 256: „Um im Belagerungsfalle ihr Herabziehen zu verhindern und sie besser vor der Nässe zu schützen, schlug sie am Tor in eine Blendnische ein."

[8] *Piper*, Burgenkunde (wie Anm. 3), S. 313 f. Nach der Definition im Glossarium Artis, München 1996[3], S. 98 handelt es sich bei einer Ketten(zug)brücke um eine „Zugbrücke, deren Brückenplatte am vorderen Ende an Ketten befestigt ist, die durch Mauerlücken seitlich über der Toröffnung geführt werden und zum Anheben der Platte im Torinnern auf einen Wellbaum gewickelt werden".

[9] *Zeune/Uhl*, Fallgitter, Zugbrücke (wie Anm. 7), S. 256: „Sie wurde zumeist über zwei Ketten- oder Seilzüge durch einen innen angebrachten Wellbaum bewegt."

[10] *Piper,* Burgenkunde (wie Anm. 3), S. 311: „Auch die schwerste Klappe konnte bei Burgtoren wohl ohne eine die Arbeit erleichternde Vorrichtung von zwei Männern aufgezogen werden".

[11] *Cohausen* (wie Anm. 6), S. 215: „Ketten, welche rechts und links am Vorderteil befestigt waren und über Rollen oben neben dem Thore liefen, genügten, falls die Brücke leicht war, diese durch einige Mann so zu heben, dass sie flach vor dem Thore aufrecht stand und festgeschlossen werden konnte."

[12] *Alexander Antonow*, Planung und Bau von Burgen im süddeutschen Raum, Frankfurt 1983, S. 316: „*Flaschenzüge* wurden von den Römern und danach erst wieder von den Wikingern verwendet. Ein Einsatz im mittelalterlichen Baubetrieb ist nicht belegt, so daß ihre Verwendung nur im Schiffbau vermutet werden kann."

[13] Der Tower zu London, hrsg. vom Ministry of Public Building and Works, London 1970[7], Abb. S. 7: „Fallgatter – Winde im Blutturm".

[14] *Piper,* Burgenkunde (wie Anm. 3), S. 312, Fig. 237; *Oswald Trapp*, Tiroler Burgenbuch, Bd. 8: Raum Bozen, Bozen 1989, S. 328, Abb. 248.

[15] *Axel W. Gleue*, Das Hoche Haus Breuberg und das Wasser für den täglichen Bedarf, Breuberg-Bund e.V., Breuberg 2008, S. 11, Abb. 5.

[16] *Axel W. Gleue*, Die Burg Otzberg. Vom Höhenring zur Bergveste, Otzberg 2011[2], S. 63–83.

[17] Ebd., Abb. 2-18, S. 69; 2-19.1 u. 2-19.2.

[18] *Michael Losse*, Burgen, Schlösser, Adelssitze und Befestigungen am Bodensee und am Hochrhein, Band 1.2, Petersberg 2013, S. 87.

[19] *Hartwig Neumann*, Festungsbaukunst und Festungsbautechnik. Deutsche Wehrbauarchitektur vom XV. bis XX. Jahrhundert, Bonn 1988, Abb. S. 54.

[20] Ebd., Abb. S. 363.

[21] *Carl Schuchhardt*, Die Burg im Wandel der Weltgeschichte, 1931, Nachdr. 1981, S. 320, Abb. 336.

[22] *Günter Schmitt*, Burgenführer Schwäbische Alb, Bd. 3, Donautal, Biberach 1990, S. 181 ff.

[23] *Robert Feger*, Burgen und Schlösser in Südbaden, Würzburg 1984, S. 154 ff.

[24] *Richard Strobel*, Die Burg Hohenrechberg. In: Burgen und Schlösser 3/2005, S. 168.

[25] *Einhart Grotegut*, Die Funktion der äußeren Zugbrücke der Burg Stolpen. In: Historische Bauforschung in Sachsen, Arbeitsh. 4, hrsg. vom Landesamt für Denkmalpflege Sachsen, Dresden 2000, S. 256–261.

[26] *Viollet-le-Duc,* Dictionnaire (wie Anm. 4), Stichwort „Pont".

[27] Ebd.

[28] *Michael Fuhr*, „Wer will des Stromes Hüter sein?", Regensburg 2005[2], S. 96. Siehe auch *Winfried Monschauer,* Burg Liebenstein über Kamp-Bornhofen (Rheinische Kunststätten, H. 506), Nuess 2008, insb. S. 20–21, Abb. 22.

[29] *Christofer Herrmann*, Wohntürme des späten Mittelalters auf Burgen im Rhein-Mosel-Gebiet (Veröffentlichungen der Deutschen Burgenvereinigung, Reihe A: Forschungen, Bd. 2), Espelkamp 1995, S. 236, Abb. 186.