



TRAGWERKSERHALTUNG VON HISTORISCHEN BRÜCKEN IN DER INGENIEURAUSSCHULUNG

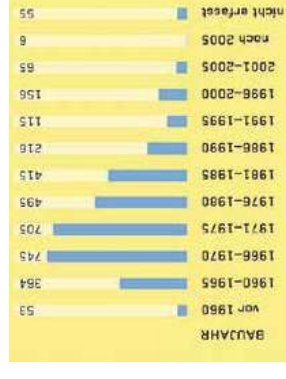
Felix Wenk und Martin Schindler

Die Erhaltung von bestehenden Bau- und Tragwerken wird immer wichtiger. Fachpersonen in Architektur oder Bauingenieurwesen können sich dem Thema kaum mehr entziehen. Es erhält deshalb auch in der Ingenieurausbildung an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil den ihm zustehenden Raum.

1 Die Eisenbahnbrücke in Wila ZH unter Gebrauchslast (Foto: Corneli Doswald, 2015)

Neubau und Erhaltung weisen zwar in fachlicher Hinsicht oft ähnliche Grundlagen auf, unterscheiden sich aber bezüglich der vorgegebenen Randbedingungen. Während zum Beispiel bei neuen Bauwerken die Geometrie und die Baustoffe mit den regelkonformen Toleranzen in der Planung berücksichtigt werden müssen, können die Abmessungen und die Materialeigenschaften von bestehenden Bauteilen genauer bestimmt werden. In der Schweiz wurde vor knapp zehn Jahren mit den Erhaltungsnormen SIA 269 eine planerische Basis für den ingenieurspezifischen Umgang mit bestehenden Tragwerken geschaffen. Es ist nun die Aufgabe der Ausbildung, die darin enthaltenen theoretischen und praktischen Erfahrungswerte den Studierenden zugänglich zu machen, damit sie für die herausfordernde Tätigkeit in der Bauwerkserhaltung gerüstet sind.

Stellenwert der Bauwerkserhaltung im Brückenbau
Es werden zwar immer wieder neue Brücken in der Schweiz gebaut. Die Altersstruktur der Brücken zeigt aber deutlich, dass es der Bestand ist, der die Arbeit von Brückenbauingenieuren in Zukunft hauptsächlich bestimmen wird (Abb.2). Während bei der Tragstruktur von Stahlbetonbrücken in der Regel eine Nutzungsdauer von 50 bis 100 Jahren vorgesehen ist, müssen Abdichtungen, Beläge, Entwässerungen, Fahrbahnübergänge und Geländer bereits früher erneuert werden. Die Erhöhung der Strassenverkehrslasten sowie die Ermüdung der Baustoffe führen oft zu Verstärkungsmaßnahmen. Korrosionsprobleme und Betonangriffe reduzieren die Dauerhaftigkeit und machen Instandsetzungsarbeiten notwendig. Erhaltungsmaßnahmen sind vielfach kostenintensiv und können oft nicht alle Aspekte des Bauens befriedigend lösen. Beispiels-



2 Altersstruktur der Brücken im Schweizer Nationalstrassennetz (lec21-15/2011)

weise kann die Ästhetik des instandgesetzten Bauwerks gegenüber demjenigen eines Ersatzbaus unvorteilhaft sein. Auch aus wirtschaftlichen Gründen kann eine neue Brücke interessant sein. Der Klimawandel und die zunehmende CO2-Problematik werden aber auch hier Zeichen setzen. Die graue Energie des Bestands ist sehr hoch und wird der Erneuerung von Bauten vermehrt den Vorzug geben. Bei historischen Brücken stellt sich die Frage nach

einem Ersatzbau in der Regel nicht. Aus der Sicht des Bauingenieurs können zwar analoge fachliche Überlegungen wie bei den Tragwerken aus dem 20. Jahrhundert gemacht werden. Allerdings können noch immaterielle Werte wie etwa die historisch-kulturelle Bedeutung hinzu. Die Diskussion des Erhaltungswerts wird dadurch komplexer und kann nicht mehr alleine durch Bauingenieurinnen und Bauingenieure geführt werden.

Tragwerkserhaltung in der Ausbildung

Aus den obgenannten Gründen muss die Erhaltung von Tragwerken in der Ausbildung von Bauingenieurinnen und Bauingenieuren einen Platz finden. Dabei sind u.a. auch die Unterschiede zum Neubau herauszustrichen. Die Abmessungen von Bauteilen können normalerweise problemlos erhoben werden. Für die Bestimmung der Materialkennwerte können vorhandene Materialprüfungen oder -spezifikationen verwendet werden. Fehlen solche, sind die entsprechenden Werte anhand von Probenentnahmen im Labor zu ermitteln. Vielfach sind die Bauwerksdokumentationen wie Pläne oder Beschriebe unvollständig oder nicht mehr vorhanden. Glücklicherweise gibt es heute verschiedene leistungsfähige Untersuchungsverfahren, die zerstörungsfrei oder -frei Daten für notwendige Informationen liefern. Das Tragverhalten, die Nutzung und die Gebrauchstauglichkeit können üblicherweise direkt am Bau überprüft werden. Vielfach genügen dafür eine visuelle Aufnahme oder einfache messtechnische Untersuchungen.

Im Studiengang Bauingenieurwesen an der Hochschule Rapperswil ist die Bauwerkserhaltung ein wichtiger Fachbereich geworden. Die angewandte Forschung und Entwicklung und die vielseitige Erfahrung bei komplexen Untersuchungsverfahren und Instandsetzungsverfahren werden nicht nur zur Unterstützung von Bauherren, Ingenieurbüros, Bauunternehmungen und Baustoffherstellern eingesetzt, sondern fließen auch direkt in die Lehre ein. Dort bestehen verschiedene Module, die sich die Erneuerung, Umnutzung oder Verstärkung zum Thema gemacht haben. Im Bereich Tragwerke stützt man sich auf die Erhaltungsnormen SIA 269ff. ab. In der Norm SIA 269 Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken werden neue Begriffe definiert, die für die Verständigung unter den Beteiligten wichtig sind. Beispielsweise müssen die Einwirkungen, die Abmessungen der Bauteile und die Baustoffeigenschaften aktualisiert werden. Der Erfüllungsgrad gibt das Verhältnis von Tragwiderstand zur Beanspruchung wieder. Die Verhältnismässigkeit von Massnahmen wird einerseits durch die Risikoreduktion und andererseits über die Sicherheitskosten bestimmt. Die Restnutzungsdauer gibt die noch verbleibende Betriebszeit an.

Die Studierenden befassen sich im Rahmen der einschlägigen Module mit Akten- und Literaturstudium, Vorbereitung und Planung der Zustandserfassung, Zustandsaufnahme, Auswertung und Beurteilung sowie Massnahmenplanung.

Akten- und Literaturstudium

In einer ersten Phase der Bestandesaufnahme sind die vorhandenen Bauwerksakten zu sichten. Dazu gehören Planunterlagen wie Schalungs- und Bewehrungspläne, Baubeschriebe, Leistungsverzeichnisse, Abrechnungen, Nutzungsvereinbarungen oder Projektbasen. Gerade bei älteren oder gar historischen Bauwerken sind in der Regel nur wenige bis keine Dokumente vorhanden. Manchmal wird man noch in der Literatur fündig (Abb. 3). Oft verfügen Herstellerfirmen über Unterlagen ihrer damals am Markt erhältlichen Produkte. Auch Fotos aus der Bauzeit können weiterhelfen.

Vorbereitung und Planung der Zustandserfassung
Basierend auf den Angaben aus dem Akten- und Literaturstudium können alle erforderlichen, aber noch nicht vorhandenen Informationen aufgelistet werden. Es stellt sich dann die Frage, wie man an diese herankommt. Möglich sind visuelle Inspektionen, zerstörungsfreie oder -arme Untersuchungen oder zerstörende Untersuchungen. Die visuelle Aufnahme kann sehr effizient sein, insbesondere wenn grosse Fachkenntnis und Erfahrung vorliegen. Sinnvollerweise erfolgt die Untersuchung zuerst und erstreckt sich über das ganze Bauwerk. Sichtbare Mängel und Schäden wie Risse, Abplatzungen, Verfärbungen oder Wasserspuren sind in Pläne einzutragen und mit Fotos zu dokumentieren. So können zeitliche Veränderungen festgehalten werden. Zerstörungsfreie oder -arme Untersuchungen sind aufwändiger und daher gezielt an repräsentativen Stellen oder Flächen durchzuführen. Zerstörungen oder Flächen wie Bohrkernentnahmen oder Sondagen sind möglichst sparsam anzunehmen. Wenn möglich sollten sie nur zur Kalibrierung oder Verifizierung der zerstörungsfreien Messungen eingesetzt werden. Die Zustandserfassung ist sorgfältig zu planen. Die daraus gewonnenen Informationen sollten einseitig notwendig und andererseits hinreichend für die Weiterbearbeitung sein.

Zustandserfassung

Mindestens bei der visuellen Aufnahme sollten Projektleitende beteiligt sein. Wenn der Gesamtkontext des Projekts den an der Zustandserfassung anwesenden Personen nämlich nicht bekannt ist, können vermutlich unwichtige Mängel oder Schäden unberücksichtigt bleiben und so vergessen gehen, was unliebsame Überraschungen bei der Umsetzung von Massnahmen zur Folge haben kann. Eine erste Auswertung von Untersuchungsdaten vor Ort kann hel-

	Zulässige Spannungen in kg/cm ²		Eisen auf	
	Druck	Zug	Aschewienne	Druck
Basel	30	15	1000	—
Bern	40	0	1000	—
Freiburg	25	0	1000	—
	(resp. 40)			
Lausanne	25–40 kg	—	800–1250	—
Zürich	36	1	1400–5% ₀	—
Entwurf	35	0	4	1500–5% ₀
				700

fen, zusätzlich erforderliche Messungen umgehend anzunehmen und somit Kosten und Zeit einzusparen.

Auswertung und Beurteilung

Bei der Auswertung der Untersuchungsdaten ist in einem ersten Schritt zu kontrollieren, ob sie aussagekräftig und vollständig sind. Ebenfalls ist zu klären, ob es keine inneren Widersprüche gibt. Falls die notwendigen Informationen auf diese Weise nicht gewonnen werden, sind ergänzende Untersuchungen vorzunehmen. Mit den erforderlichen und hinreichenden Informationen kann dann in einem zweiten Schritt eine Beurteilung des Bauwerkszustandes erfolgen. Üblicherweise werden dafür Zustandsklassen verwendet. Diese sind so unterteilt, dass eine sinnvolle Zuordnung von Massnahmen durchgeführt werden kann:

- Zustandsklasse 1: keine wesentlichen Mängel oder Schäden → keine Massnahmen erforderlich
- Zustandsklasse 2: kleinere Mängel oder Schäden → Instandhaltungsmassnahmen
- Zustandsklasse 3: grössere Mängel oder Schäden → Instandsetzungsmaßnahmen
- Zustandsklasse 4: sehr grosse Mängel oder Schäden → Bauwerk oder Bauteil ersetzen

Massnahmenplanung

Bei der Massnahmenplanung soll immer in Varianten gedacht werden. Für den Vergleich sind nicht nur die technischen Kriterien und die Baukosten zu berücksichtigen. Betreffend Ästhetik empfiehlt es sich, Musterflächen anzubringen. Die optimale Variante scheidet in der Regel auch bei der Dauerhaftigkeit und den Unterhaltskosten gut ab. Punkte Kosten sind die eigentlichen Baukosten, die Betriebskosten und die zukünftigen Instandsetzungskosten zu berücksichtigen. Bei Brücken sollten auch die Strassenutzerkosten beachtet werden.

Die erwähnten Phasen werden nachfolgend in drei Projekten, die im Rahmen von Studierendenarbeiten ausgeführt wurden, exemplarisch beschrieben. Es handelt sich um Beispiele aus dem Holzbau (Grubenmannbrücke in Rümliang ZH, Bachelorarbeit Adrian Schnell, 2014), aus dem Stahlbetonbau (Hebelbrücke in St. Gallenkappel SG, Projektarbeit Martin Schindler, 2015) und aus dem Stahlbau (Eisenbahnbrücke in Wila ZH, Masterprojektarbeit Uwe Dux, 2017).

3 Auszug aus Provisorische Normen für Projektierung, Ausführung und Kontrolle (SIA, 1903)

Beispiel Holzbau: Grubenmannbrücke in Rümliang ZH (1767)

Die Brücke in Rümliang ist die älteste von drei noch bestehenden Brücken der Baumeister Grubenmann, bestehend der Hundwilerobelbrücke über die Urnäsch (1778) und der Kubelbrücke bei St. Gallen (1780). Die Holzbrücke wurde 1767 von Johannes Grubenmann in Oberrätien erbaut und weist eine Spannweite von 28 Metern auf. 1923 erneuerte die Zürcher Firma Locher & Cie die Brücke, optimierte ihre Tragfähigkeit und verbreiterte den Fahstreifen. Weil sie dem zunehmenden Strassenverkehr nicht mehr gewachsen war, musste die Brücke 1950 verlegt und zwischen Rümliang und Kloten neu errichtet werden, wo sie noch heute dem land- und forstwirtschaftlichen Verkehr dient. Der Fahstreifen ist 2,5 Meter breit. Mit den Gehsteigen beträgt die gesamte lichte Breite knapp vier Meter. Im Vergleich zu den beiden Brücken im Appenzellerland sind die Dimensionen der Glarbrücke überwältigend. Durchgangshöhe und -breite sind jeweils etwa einen Meter grösser, wodurch auch die tragenden Holzstäbe einen deutlich grösseren Querschnitt haben.

Ein sechsstelliges Stabpolygon in der Form eines Bogens bildet das Haupttragssystem der Brücke. Es besteht aus drei übereinander angeordneten Balken, von denen die beiden unteren schubfest miteinander verbunden sind. Der dritte Balken ist zwecks Knicksicherung mit dem zweiteligen Bogen verschraubt. Johannes Grubenmann verwendete für das Polygon krumme Eichenbalken. Die Kräfte des Stab Bogens werden nicht direkt in die Auflager eingeleitet. Der Bogen ist über einen mehrfachen Versatz an den Streckbalken verbunden, wodurch der Horizontalschub des Bogens über Zugkräfte im Streckbalken übernommen wird. Massive Hängesäulen bilden mit den diagonalen Streben ein Fachwerk. Aufgrund der hohen Lasten wurden neben dem Stabpolygon auch die Hängesäulen, der verzahnte Streckbalken so-

4 Wiederaufbau der Brücke bei Rümliang ZH im Jahr 1950 (Foto: Tiefbauamt des Kantons Zürich)



wie ein Teil der diagonalen Fachwerksstreben aus Eichenholz gezimmert.

Beim Dach ist die Firstpfette durch Säulen auf den Querrägern abgestützt. Auf den Sparren ist eine Längslattung aufgenagelt; die Dachhaut besteht heute aus Ziegeln. In der mittleren Längsebene ist zusätzlich ein sechsstelliges Stabpolygon vorhanden, das die Dachlasten teilweise auf die Querböden, Portalböden leitet. Dieses Stabpolygon ist mit einem doppelten Versatz an den mittleren, verzahnten Längsträger verbunden. Es sind je zwei gekreuzte, horizontal liegende Windverbände montiert.

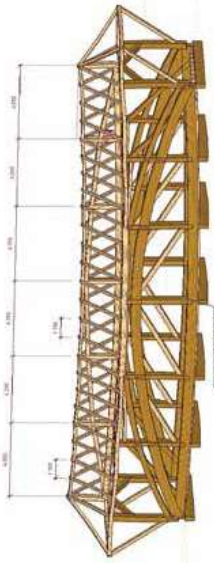
Glücklicherweise standen diverse Pläne und Fotos der Holzbrücke vor und nach deren Verlegung zur Verfügung (Abb. 4). So lagen die notwendigen Informationen zu den Verbindungen vor, die sonst mit relativ grossem Aufwand in einem zerstörungsfreien Verfahren hätten untersucht werden müssen, wie etwa mit einem mobilen Röntgengerät. Bei Holzkonstruktionen können die wichtigsten Informationen in der Regel visuell oder mit einfachen Messmethoden ermittelt werden. Im Untersuchungsprogramm wurden vor allem der Zustand und die Abmessungen der einzelnen Holzteile inklusive deren Verbindungen, die lokalen und globalen Verformungen, die Feuchtigkeitsverhältnisse und die Wirksamkeit des Witterungsschutzes berücksichtigt. Ein spezielles Augenmerk richtete man auf Risse, Eindrückungen, Wasserspuren, Verfärbungen, Pilze, Ausflugslöcher und Bohrmehlausschluss. Um die aus statischer Sicht kritischen Bereiche der Konstruktion im Vorfeld der Zustandserfassung zu erhalten, wurde das gemäss den Plänen vermutete Tragwerksmodell samt Einwirkungen im Computer statisch modelliert. Neben der mechanischen Beanspruchung konnten so auch die Verformungen und Schwingungsfrequenzen berechnet werden. Dieses Vorgehen erwies sich wegen der relativ grossen Streuung der Querschnittsabmessungen sowie der

Vielzahl von Rissen als effizient, weil sich damit eine detaillierte visuelle Aufnahme auf die statisch hoch beanspruchten Bauteile beschränkte.

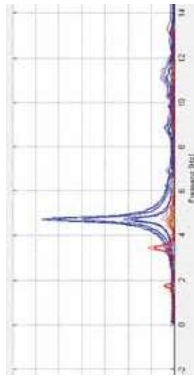
Die Zustandserfassung ergab beim Strickbalken und bei den Portalsäulen Holzwürmlöcher, die angesichts des fehlenden Bohrmehlauslasses bereits früher entstanden sein dürften. Im direkt bewitterten Teil wurde auch Braumfäule festgestellt. Die Holzfeuchtigkeit lag im Allgemeinen bei rund 18 Prozent, mit Ausnahme der Fahrbahn und der flusszugwandten Quert Träger, die mit fast 30 Prozent deutlich reduzierte Festigkeitswerte aufwiesen. Wasserspuren im Dachstuhl wiesen auf lokale Undichtigkeiten hin. Teilweise korrodierten die metallischen Verbindungen. Die mit einem Lasergerät gemessene Durchbiegung in Brückenmitte betrug 12 cm. Sie ist vermutlich auf einen relativ grossen Schlupf bei den Verbindungen zurückzuführen. Unter ständigen Lasten sollte sie gemäss computerunterstützter Berechnung langfristig und ohne Schlupf nur halb so gross sein. Die elastischen Verformungen bei der Belastungsprobe mit einem 2.6 Tonnen schweren Fahrzeug bestätigten die Berechnung. Zudem stimmten die mit Schwingungssensoren gemessenen Eigenfrequenzen relativ gut mit den Computersimulationen überein (Abb. 5). Zur Beurteilung der Tragsicherheit wurden die Verbindungssteifigkeiten zwischen den Holzteilen basierend auf Literaturangaben im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse variiert. Es zeigte sich, dass die normformale Sicherheit für den Lastfall Menschengedränge bei einzelnen Bauteilen und Verbindungen nicht mehr erfüllt war, insbesondere wegen reduzierter Festigkeitswerte infolge von Rissen, Feuchtigkeit und lokaler Fäulnis. Dementsprechend wurden als Massnahmen ein Ersatz oder die Verstärkung von Bauteilen und Verbindungen sowie weitestgehende Abklärungen empfohlen. In der Zwischenzeit wurden bis zur Instandsetzung der Brücke Nutzungsbeschränkungen angeordnet.

Beispiel Stahlbeton: Hebelobelbrücke in St. Gallenkappel SG (1908)

Die Fussgängerbrücke zwischen St. Gallenkappel und Urznach wurde 1908 durch das Planungsbüro Locher & Cie. erbaut. Der dreifeldrige Brückenüberbau ist zwischen den Widerlagern auf zwei leiterförmigen Pfeilern gelagert und weist Spannweiten von 9–12–9 Metern auf. Die Breite des Dreifeldbachbetts der Ranzach mit einer leichten Höhe von 9 Metern (Abb. 6). Bereits 1934 musste das südliche Pfeilerfundament wegen der Erosion durch die Ranzach unterfangen und instandgesetzt werden. Wegen Einsturzgefahr sperrte man die Brücke im November 2013 und prüfte, ob sie aus dem kantonalen Denkmalschutz entlassen und neu erstellt werden



5 Durchbiegungen und Schwingungsanalysen (Bachebearbeit Adrian Schnell, 2014)



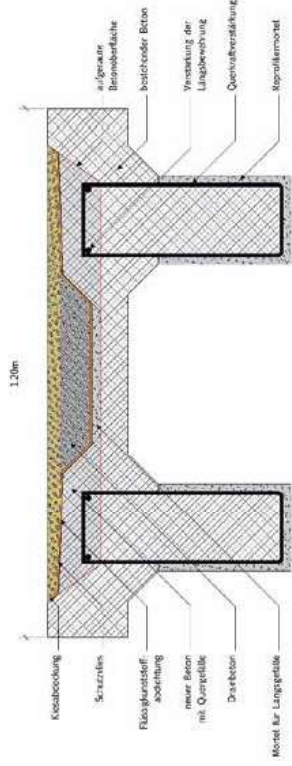
könne. Abklärungen ergaben jedoch, dass das Tragsystem des Plattenbalkens mit Stahlbleislagen aus Längsstäben und Bügeln zur Zeit der Erbauung neuartig war. François Hennebique (1842–1931) liess es nur sechs Jahre vor dem Bau der Hebelobelbrücke patentieren. Zudem könnte die Brücke mit ihren schlanken und leiterförmigen Säulen ein Prototyp für grössere Brücken gewesen sein. Dieses Stützensystem wurde erst später vermehrt eingesetzt, wie etwa 1914 beim Langwieser-Viadukt der Firma Züblin & Cie. Folgerichtig wurde die Hebelobelbrücke 2014 zum nationalen Baudenkmal aufgewertet.

Beim Brücken träger handelt es sich um einen zweistufigen Plattenbalken. Dieser ist monolithisch an die beiden Widerlager und Stützpfiler angeschlossen. Die trapezförmig angeordneten Säulen können durch ihre Schräglage horizontale wie auch vertikale Kräfte aus dem Brückenoberbau ableiten. Die horizontal verlaufenden Riegel verkleinern die Knicklänge der Säulen und steifen das Gesamtkonstrukt aus. Durch dieses System kann der Materialbedarf massgebend reduziert werden.



6 Die Hebelobelbrücke vor der Instandsetzung 2015 (Foto: Martin Schindler)

7 Regelschnitt der Plattenbalkenverstärkung über dem nördlichen Stützpfiler (Projektarbeit Martin Schindler, 2015)



Als Grundlage für Martin Schindlers Projektarbeit diente der Schalungs- und Bewehrungsplan aus der Bauzeit der Brücke. Das Untersuchungsprogramm musste sich nach den spezifischen Eigenheiten der Brücke richten, weshalb das statische System vorab durchdacht und die wesentlichen Bereiche definiert wurden. Die statischen Abklärungen ergaben, dass die Spannweiten zwischen den Säulen mit den Längen von 9–12–9 Metern und den dazugehörigen Lagerungen nicht zufällig gewählt worden sind. Mit diesem Spannweitenverhältnis wird erreicht, dass die Steifigkeiten des Brücken trägers beim Anschluss an die Stützpfiler beidseitig gleich gross sind und die Stützpfiler dadurch keine zusätzlichen Biegemomente erfahren. Bei der Zustandserfassung wurden vorwiegend zerstörungsfreie Untersuchungsverfahren angewandt. Mit der visuellen Untersuchung konnten die Bauteilabmessungen überprüft und schadhafte Stellen auf dem Plan verortet werden. Mit einem Bewehrungssuchgerät und einem Rückprallhammer wurden die Bewehrungsüberdeckungen und die Betondruckfestigkeiten ermittelt. Bei älteren Brücken sind die Bewehrungsüberdeckungen oftmals zu klein, was wegen der Karbonatisierung des Betons zu Ablplatzungen führt. Nach dieser Schädigung des Betongefüges resultieren durch die eindringende Feuchtigkeit meist Frostschäden.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Abmessungen der Brückenkonstruktion exakt mit dem Plan übereinstimmen, mit Ausnahme von grossen Abweichungen in der Brückengeometrie beim südlichen Stützpfiler, der sich durch die Ufererosion um circa 10 cm horizontal Richtung Bachbett verschoben hatte. Diese Verschiebung wirkte sich auf den Brückenoberbau aus, der sich im Bereich des Pfeilers leicht absenkte. Bei den exponierten Eckstäben und an den Bügelbewehrungen mit geringer Betonüberdeckung waren an der Betonoberfläche viele Ablplatzungen zu erkennen. Die Betondruckfestigkeit erwies sich trotz des verwendeten «Stampbetons» als erstaunlich hoch. Sie lässt sich ohne weiteres mit den Druckfestigkeiten der heute verwendeten Standardbetonsorten vergleichen.

Die statische Überprüfung ergab eine entscheidende Veränderung des einseitigen Kräfteflusses durch die Setzungen des südlichen Pfeilerfundaments, was einen Anstieg der Biegemomente und der Querkräfte im Brücken träger über dem nördlichen Pfeiler bewirkte. Wegen der korrosionsbedingten Durchmesserreduktion konnte der Biegemachweis des Plattenbalkens über dem nördlichen Pfeiler nicht mehr erbracht werden. Auch die Querkraftbewehrung war an mehreren Stellen unzureichend.

Bei der Massnahmenplanung wurde auf möglichst geringfügige und weitgehend unsichtbare Eingriffe geachtet. Ein Überbeton mit Längsbewehrung im Brücken träger sollte den Biegeverstand des Brücken trägers über dem nördlichen Pfeiler erhöhen (Abb. 7). Dabei konnten die Querkraftverstärkungen in die Betonkonstruktion eingelassen werden. Um künstige Frost- und Feuchtigkeitsschäden an der Brückenkonstruktion zu verhindern, sollte im Brücken träger mit Mörtel ein minimales Längsgefälle zu den jeweiligen Brückenabläufen erstellt werden, gefolgt von einer hochwertigen Abdichtung, einem Schutzwies mit höchstdruckwasserstrahl freigelegten und mit Mörtel nach der Brückenstruktur profiliert werden. Das erodierte Pfeilerfundament war zu sichern und durch grosse Blockscheite vor der Erosion durch die Ranzach zu schützen. 2015 wurde die Brücke in leicht modifizierter Form durch das renommierte Ingenieurbüro Conzett Bronzini Partner AG instandgesetzt.

Beispiel Stahlfachwerk: Eisenbahnbrücke in Wila ZH (1948)

Die Tössbrücke Wila wurde 1948 von den Schweizerischen Bundesbahnen erbaut. Sie befindet sich am Dorfausgang von Wila Richtung Turbenthal und überspannt die Töss mit zwei achtfeldrigen Fachwerkträgern in einem Winkel von 45 Grad. Die beiden genieteten Fachwerkträger weisen eine Höhe von 4 Metern sowie eine Spannweite von 36 Metern auf. Aufgrund der Diagonalmalierung sind sie in der Längsachse um 4.5 Meter versetzt, was eine

streifen erhoben an den kritischen Stellen während drei Tagen die Dehnungen (Abb. 8). Die gemessenen Werte lagen dabei deutlich unter den Berechnungsergebnissen. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde das ursprünglich gewählte Last- und Tragwerksmodell möglichst wirklichkeitsnah angepasst. Dabei zeigte sich, dass die aktualisierten Rechenwerte deutlich besser mit den Messwerten übereinstimmen. Die mit dem modifizierten Modell durchgeführten Ermüdungsnachweise belegen, dass die bei älteren Eisenbahnbrücken oft thematisierte Ermüdungsgrenze zurzeit kein Problem darstellt. Es darf von einer Restnutzungsdauer von über 100 Jahren ausgegangen werden. Als Massnahme ist mittelfristig in erster Linie die Erneuerung des Korrosionsschutzes anzugehen.

Durch die Stege der Quertträger wurden Verbindungsböle eingeschlitz, die mit den oberen Flanschen der Quertträger verbunden sind. Dies macht die Einfeldträger zu einem durchlaufenden Mehrfeldträger. Zwischen den beiden Längsträgern ist ein Längsverband eingebaut, dessen Aufgabe der Abtrag von Brems- und Anfahrkräften ist. Der geringste Abstand der Längsträger beträgt 1,8 Meter. Er wird von den Holzschnellen überbrückt, auf denen die Gleise liegen.

Der Oberbau wurde mit Holztragschwellen und Stahlfüllschwellen ausgeführt. Neben den Fahrschienen sind auf der Brücke die für offene Brücken vorgeschriebenen Fangschienen montiert.

Eine generelle Überprüfung der Tragfähigkeit diente als Vorbereitung für die Zustandsanalyse der Brücke. Basierend auf der Norm SIA 269/3 *Erhaltung von Tragwerken* – Stahlbau wurde als Material für Stahlprofile und Nieten Flussstahl mit einer charakteristischen Fließgrenze von 235 N/mm² angenommen. Als Einwirkungen wurden neben den ständigen Lasten die aktualisierten Bahnverkehrslasten gemäss Norm SIA 269/1 *Erhaltung von Tragwerken* – *Einwirkungen* angenommen. Als Gebrauchslast diente der Zugtyp Turbo GTW 2/6 (Abb. 1). Die Querschnittswerte entstammen den vorhandenen Planunterlagen. Die Tragheitsnachweise konnten mit diesen Angaben erfüllt werden. Zudem konnten mit den durchgeführten Berechnungen die kritischen Stellen mit den dazugehörigen Spannungen und Dehnungen ermittelt werden.

Neben der visuellen Aufnahme erfolgten im Rahmen der Zustandserfassung messtechnische Untersuchungen zu den vorhandenen Durchbiegungen und den Eigenfrequenzen der Brücke sowie zu den Dehnungen an ausgewählten Stellen einzelner Stahlprofile. Die mit Laserscan erfassten Durchbiegungen der unbelasteten Brücke ergaben eine hohe Übereinstimmung mit den Berechnungen. Auch die mittels Geophonen gemessenen Torsions- und Biegeschwingungen bestätigten die rechnerischen Werte. Magnetisch an die Stahlprofile gefehte Mess-

RÉSUMÉ: LA CONSERVATION DES STRUCTURES PORTEUSES DE PONTS HISTORIQUES DANS LA FORMATION DE L'INGÉNIEUR

La question de la conservation de structures portantes existantes acquiert de plus en plus d'importance. Les spécialistes en architecture et génie civil ne peuvent plus guère esquiver cette thématique. Même les ouvrages neufs doivent être intégrés au contexte, au point de vue de la construction et des matériaux. Comme la conservation et la rénovation de structures portantes diffèrent d'une construction nouvelle sur des points essentiels, il est important d'aborder la question dans la formation professionnelle. Il convient par exemple de connaître des méthodes d'expertise et leurs limites d'application, ainsi que de maîtriser l'actualisation des mesures d'arpentage, les propriétés des matériaux de construction et leurs effets. Il faudrait connaître en outre les procédés disponibles de réfection et de renforcement. Il est également important que les futurs ingénieurs et ingénieurs apprennent à se confronter avec l'objet construit et son histoire. Cela vaut tout particulièrement pour les bâtiments historiques.

RIASSUNTO:

MANUTENZIONE DELLE STRUTTURE PORTANTI DEI PONTI STORICI FORMAZIONE DEGLI INGEGNERI

La questione della conservazione delle strutture portanti e degli edifici storici assume un'importanza sempre maggiore. Gli specialisti in architettura e ingegneria civile non possono sottrarsi a questa tematica. Anche le nuove costruzioni richiedono di essere integrate nelle strutture esistenti in modo adeguato. Poiché la manutenzione e il rinnovo delle strutture tradizionali si differenzia per diversi aspetti essenziali dalle nuove costruzioni, è importante affrontare questo tema già nel corso della formazione dei tecnici. Ciò include, ad esempio, la conoscenza dei metodi di indagine sullo stato della sostanza edile e dei suoi limiti di applicazione, nonché un approccio corretto all'aggiornamento delle dimensioni, alle proprietà dei materiali di costruzione e ai loro comportamenti. Occorrono inoltre buone nozioni sui possibili metodi di riparazione e di consolidamento. I futuri ingegneri devono imparare a confrontarsi con l'oggetto e la storia della sua costruzione: di fronte a manufatti storici questo è particolarmente importante.

Bibliographie

- Schweizerische Ingenieur- und Architektenvereine (SIA):** Normenreihe 269 zur Erhaltung von Tragwerken. Zürich 2000.
- Schweizerische Ingenieur- und Architektenvereine (SIA):** Merkblatt 2017: Erhaltungswert von Bauwerken. Zürich 2000.
- Stefan Kun:** Gefährdete Strassenbrücken. In: tec 21 15/2011, 26-29.
- Provisorische Normen für Projektierung, Ausführung und Kontrolle von Bauten in armiertem Beton. SIA 1903.
- Joseph Koller:** Die Bauwerke der Baumeister Grubenmann. Zürich 1941.
- Adrian Schnell:** Grubenmannbrücke bei Rümlang. Bachelorarbeit HS Rapperswil. 2014.
- Martin Schindler:** Hebelobelbrücke. Projektarbeit im Bachelorstudium HS Rapperswil. 2015.
- Uwe Duk:** Eisenbahnbrücke bei Wila. Projektarbeit im Masterstudium HS Rapperswil. 2017.
- Denkmalpflege Kanton St. Gallen:** Beispielhafte Renovationen, Dokumentation. Online-Publikation 2015.

Felix Wenk

Prof., dipl. Baling. ETH, Dozent für Erhaltung im Bauwesen, HSR Hochschule für Technik Rapperswil
felix.wenk@hsr.ch

Martin Schindler

Bauingenieur BSc FHO, Projektleiter am Institut für Bau und Umwelt, HSR Hochschule für Technik Rapperswil
martin.schindler@hsr.ch

8 Sensoren und Verkabelung zur Messung der Dehnungen in den Stahlprofilen der Eisenbahnbrücke Wila (Projektarbeit Uwe Duk, 2017)

