

*Dipl. Ing Tormod Olav Dyken
Brückenabteilung der
Staatlichen Norwegischen
Strassenverwaltung*

Brückenbau der anderen Dimensionen

Brückenbau der anderen Dimensionen

Einleitung

Wie in den meisten anderen Ländern mit reichlichem Zugang zu Holz, hat man auch in Norwegen von alt her Holzbrücken gebaut. Mit dem Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts ist aber der Holzbrückenbau allmählich von Stahl- und Betonbrücken verdrängt worden. Unterschiedlich von zum Beispiel in der Schweiz und in den USA, wurde in Norwegen die Holzbrückentradition völlig unterbrochen. Erst mit der Einführung von Brettschichtholz in den sechziger Jahren wurden einige neue Holzbrücken gebaut.

Die ersten Brücken waren Fußgängerbrücke, meistens als einfache trogförmige Balken ausgebildet. Die Details und der konstruktive Holzschutz war meistens schlecht wegen der fehlenden Tradition. Um die notwendige Dauerhaftigkeit zu erreichen, verließ man sich vielfach nur auf Holzschutz durch Salzimprägnierung (CCA). Diese Brücken sahen nach einigen Jahren nicht mehr gut aus und Holz kam deshalb bald in Verruf als Baumaterial für Brücken.

Die olympischen Winterspiele 1994 in Lillehammer in Norwegen hatten als tragende Idee für das Bauen der Anlagen die Umweltfreundlichkeit. Vielfach wurden Stein und Holz als Baumaterialien benützt. Dies führte in Norwegen auch zu einem erneuerten Interesse für Holzbrücken. Seit 1992 wurde eine große Anzahl von Holzbrücken gebaut, zuerst hauptsächlich Fußgänger- und Radwegbrücken, aber in den letzten Jahren zunehmend auch Strassenbrücken.

Holzbrückenbau in Norwegen

Der Holzbrückenbau in Norwegen unterscheidet sich vielleicht von den meisten anderen Ländern dadurch, daß er von der staatlichen Strassenverwaltung gefördert wird. Besonders war die Strassenverwaltung der Provinz Hedmark durch ihre Forstwirtschaft und Holzverarbeitungsindustrie sehr daran interessiert, die Entwicklung voranzutreiben. Sie haben es als Bauherr gewagt, immer kühnere Brückenbauwerke zu bauen.

Auf der anderen Seite hat sich die Brückenabteilung der zentralen Behörde, das Strassendirektorat, auch aktiv an der Entwicklung der modernen Holzbrücke beteiligt. Sie nimmt sowohl finanziell als auch praktisch an Forschungs- und Entwicklungsarbeiten teil. Besonders muss das große nordische Forschungsprojekt „Brücken aus Holz“ genannt werden. Das Vorhaben wird gemeinsam von den nordischen Ländern durch das Projekt „Nordic Wood“ von den nationalen Strassenbehörden und von den Industrieteilnehmern finanziert. Es läuft schon seit mehreren Jahren und ist jetzt in der Phase III.

Die Hauptziele dieses Projekts sind es, zu zeigen, daß Holzbrücken dauerhaft und umweltfreundlich sind, neue konstruktive Lösungen zu entwickeln, die den Gebrauch von Holz als Baustoff für Brücken fördern können, und Kenntnis von Holzbrücken unter Konstrukteuren, Produzenten und Käufern zu verbreiten. Durch dieses Projekt werden die Grundlagen für die Erweiterung und Verbesserung von Projektierungsregeln gelegt. Das Programm besteht aus einer Mischung von Laborversuchen, theoretischen Studien und Messungen an bereits gebauten Brücken. Die gewonnenen Erkenntnisse werden unter anderem durch einen Beratungsdienst des Strassendirektorats an Provinzbehörden, Gemeinden und Ingenieurbüros weitergegeben.

Man wird sich vielleicht fragen, warum die Strassenverwaltung sich so an der Entwicklung von Holzbrücken beteiligt und dies nicht der Industrie überläßt. Die Antwort ist einfach. Wir möchten die Menge der für den Brückenbau zur Auswahl stehenden Baustoffe erweitern, um dadurch eine größere Vielfalt von Brückenkonzepten erreichen; gleichzeitig neue Möglichkeiten schaffen, ästhetisch hochwertige Brücken zu bauen und nicht zumindest durch verstärkte Konkurrenz niedrigere Preise zu erreichen.

Die normale Holzbrücke in Norwegen muss nämlich gegenüber Stahl- und Betonalternativen preismässig wettbewerbsfähig sein. Dadurch hat man, nach meiner Auffassung, moderne, ästhetisch hochwertige „Alltagsbrücken“ entwickelt. „Alltagsbrücken“ in Gegensatz zu schönen, statisch interessanten, modernistischen oder vielleicht nostalgischen Brücken, die das gemeinsam haben, daß sie sehr teuer sind und Einzelstücke für besondere Anlässe bleiben müssen.

Entwicklungstrende im norwegischen Holzbrückenbau

Ein Hauptziel des norwegischen Holzbrückenbaus ist es, die besonderen Eigenschaften von Holz als Baumaterial aktiv auszunützen. Manch ein Konstrukteur, der das Arbeiten mit Holz nicht gewöhnt ist, hat eigentlich eine Stahl- oder Betonbrücke entworfen, bei der lediglich das gewohnte Baumaterial mit Holz ausgetauscht ist. Eine besonders günstige Eigenschaft des Holzes ist das niedrige Eigengewicht und die Möglichkeit des Vorfabrikierens. Das ergibt sehr kurze Montagezeiten, was sich oft kostenmässig sehr günstig auswirkt.

Eine andere für den Brückenbau wichtige Eigenschaft ist die gute Formbarkeit von Holz. Bögen aus Brettschichtholz können zum Beispiel sehr einfach und kostengünstig hergestellt werden. Dadurch ergeben sich neue Möglichkeiten für Variation und Ästhetik im Brückenbau.

Ein besonderes Merkmal der neueren norwegischen Holzbrücken ist, daß das Tragwerk sichtbar ist. Man wünscht keine Einkleidung der Tragkonstruktion. Man muss deshalb andere Wege des Holzschutzes ausnützen. In Norwegen ist der Gebrauch von chemischen Holzschutzmitteln wie CCA-Salzen und Kreosot nicht verboten, sondern es werden lediglich einige Restriktionen für den Gebrauch auferlegt. CCA-imprägniertes Holz muss noch dazu bei der Beseitigung als Sondermüll behandelt werden.

Diese Umstände haben dazu geführt, daß eine Doppelimprägnierung die derzeit bevorzugte Lösung für die Tragkonstruktionen der Brücken ist. Doppelimprägnierung bedeutet, daß zuerst das BS-Holz aus CCA-druckimprägnierten Lamellen hergestellt wird und dann das, mit allen Löcher und Einschnitten, fertig verarbeitete Bauteil mit Kreosot druckimprägniert wird. Um zusätzlich die Oberseite von Balken und Bögen gegen die Witterung zu schützen und um zu verhindern, daß Wasser in vertikale Risse eindringt, werden in den letzten Jahren immer häufiger Blechabdeckungen verwendet. Es werden dabei meistens Kupferbleche benutzt. Das wirkt vielleicht teuer, ist es aber nicht, verglichen mit den Arbeitskosten. Außerdem gibt Kupfer ein besseres Aussehen als zum Beispiel Zink. Wir vermuten auch, daß, falls sich Kondenswasser auf der Unterseite der Kupferbleche bildet, wird es mit Kupferionen angereichert und erschwert so die Entwicklung von Pilzen.

Die Fahrbahnplatte wird in Norwegen heute für Strassenbrücken ausschließlich aus quervorgespannten Holzplatten hergestellt. Diese Konstruktionsweise sichert die erforderliche Steifigkeit der Decke. Als Feuchtigkeitsschutz wird eine Vergußmembrane verwendet und als Schutz- und Verschleißschicht wird normaler Strassenasphalt benutzt. Die Holzbretter für die Decke werden noch dazu ganz leicht mit Kreosot imprägniert.

Bei längeren Brücken wird die quervorgespannte Platte von Querträgern unterstützt. Die Platte, die meist eine Stärke von 223 mm hat, erlaubt einen Abstand von ungefähr 5,5 m zwischen den Querträgern. Die Querträger sind normalerweise aus Stahl, hauptsächlich, um die Bauhöhe niedrig zu halten, aber auch aus architektonischen Gründen.

Unter den statischen Systemen scheinen heute Dreigelenkbögen und Henge-Sprengwerke am beliebtesten zu sein. Bögen können sehr kostengünstig aus Brettschichtholz hergestellt werden. Ideal für die Dauerhaftigkeit der Tragkonstruktion und vielleicht architektonisch am günstigsten ist die obenliegende Fahrbahn. Aus geländemässigen Ursachen haben aber die meisten neueren, norwegischen Holzbrücken eine untenliegende oder zwischenliegende Fahrbahn. Bei diesen Brückentypen ist es meistens notwendig, den Bogen oberhalb der Fahrbahn gegen seitliches Ausknicken zu sichern. Für die Fälle, bei denen kein gegenseitiges Abstützen der Bögen wegen der Freihöhe der Fahrbahn möglich ist, hat man ein System entwickelt, bei dem stählerne Hängesäulen auf beiden Seiten mit einem Querträger zusammen einen U-förmigen Rahmen bilden.

Ein zweites Merkmal der norwegischen Holzbrücken ist, daß man möglichst einfache Lösungen anstrebt. Details, die bei Stahl- und Betonbrücken unerlässlich sind, wie zum Beispiel Dehnfugen in der Fahrbahn und Lagerkonstruktionen der Fahrbahnplatte sind nicht notwendig. In vielen Fällen werden Drainagerohre für die Fahrbahnentwässerung auch ausgelassen. Die 180 m lange Evenstad Brücke hat eine kontinuierliche, quervorgespannte Holzdecke über die ganze Länge ohne Dehnfugen an den Enden. Der Asphalt hat zwar einen Riß an den beiden Enden der Decke, aber die Bewegungen sind minimal. Diese Brücke ist mit Messinstrumente versehen, um Temperatur und Feuchte in sowohl Holz als auch der Umgebung zu messen. Außerdem werden auch Längsbewegungen der Brückenplatte und die Variation der Spannkraft gemessen.

Ein deutlicher Trend im norwegischen Holzbrückenbau ist heute nicht zumindest, daß man sich an größere Spannweiten für Strassenbrücken wagt. Die neue Tynset Brücke, die jetzt im Bau ist, hat einem Hauptspann von 70,0 m, was wahrscheinlich eine Weltrekord für modernen Holzbrücken ist, die für volle Verkehrslast bemessen sind. Zwar hat es in der Geschichte Holzbrücken mit größeren Spannweiten gegeben, aber sie waren alle nur für Pferd und Wagen bemessen. Die neue Brücke bei Tynset repräsentiert keinen Einzelfall. Eine neue Brücke in der Ortschaft Flisa ist auch schon in der ersten Planphase. Sie soll eine alte dreifeldrige Stahlfachwerkbrücke über den Fluß Glomma aus dem Jahre 1905 ersetzen. Um die existierenden Widerlager und Pfeiler, die sehr schön und im guten Zustand sind, auszunützen bekommt die Holzbrücke die ungleichen Spannweiten von 60,0 m, 55,5 m und 55,0 m, auch sehr beachtlich.

Planung und Bau der neuen Tynset Brücke

Das Bauen von Strassenbrücken hat mit kleineren Brücken an wenig befahrenen Seitenstrassen angefangen. Weil es in Norwegen seit mehreren Jahren nicht mehr unterschiedliche Brückenklassen gibt, müssen auch diese Brücken, wie alle Brücken, die für den öffentlichen Verkehr offen sind, für die volle Verkehrslast bemessen werden. Diese Brücken haben sich so weit sehr gut bewährt. 1996 wurde eine erheblich größere Brücke, die oben erwähnte Evenstad Brücke über den großen Fluß Glomma in Stor-Elvdal in der Region Hedmark gebaut. Die Fachwerkbrücke repräsentierte nicht nur durch ihre Spannweiten von 36 m und Gesamtlänge der Holzkonstruktion von 180 m einen neuen Schritt in der Entwicklung von Holzbrücken in Norwegen, sondern auch dadurch, daß die Brücke in einer Regionalstrasse liegt.

Ungefähr 100 km nördlich von Evenstad, bei Tynset, kreuzt eine Hängebrücke den gleichen Fluß Glomma. Die Brücke, 1943 gebaut, überspannt mit ihrer Spannweite von 128,5 m sowohl den Hauptlauf des Flußes als auch ein weites Überschwemmungsgebiet. Sie ist in einer schlechten Verfassung und ist zu schmal für die heutigen Verkehrsbedürfnisse der Reichsstrasse. Sie muss deshalb ersetzt werden. Nach einem Vorprojekt und einem Kostenvergleich mit anderen Alternativen, entschied sich 1999 die regionale Strassenverwaltung von Hedmark zugunsten einer Holzbrücke.

Man fühlte, daß die Zeit für eine erheblich größere Spannweite als bisher reif war. Gleichzeitig war dies eine gute Gelegenheit eine größere Holzbrücke zu bauen. Wie oft bei norwegischen Holzbrückenprojekten wurde eine Planungsgruppe unter Leitung des regionalen Brückenbauamtes als Bauherr gebildet. Die Gruppe bestand aus Repräsentanten der Strassenverwaltung der Region Hedmark, des Architekturbüros Plan Arkitekter AS, des Konstruktionsbüros Norconsult AS, des Holzbauunternehmens Moelven Limtre AS und des Strassendirektorats. Diese Arbeitsform hat sich auch bei früheren Projekten sehr bewährt, weil so allen Beteiligten frühzeitig die Möglichkeit gegeben wird, aktiv zu einer guten Lösung beizutragen.

Eine Inspektion der Holzpfähle der alten Brücke zeigte, daß sie in einem ausgezeichneten Zustand waren. Als die alte Brücke abgerissen und die neue Brücke in die gleiche Linie gelegt werden sollte, war es naheliegend, die alten Pfähle für die Gründung der neuen Brücke zu benutzen. Für die Holzbrücke wurde ein Hauptspann von 70,0 m über das Flußbett vorgesehen, sodaß sowohl der Brückenkopf als auch der Pfeiler an den Ufern gebaut werden konnte. Über das Überschwemmungsgebiet wurden zusätzlich zwei kleinere Felder von je 27 m dazugefügt, was der Brücke ein unsymmetrisches Aussehen gibt.

Das Hauptfeld wird von zwei zweigelenkigen Fachwerkbögen überspannt, deren Scheitel sich 17 m über die Widerlager erheben. Der Abstand zwischen Ober- und Untergurt beträgt in der Mitte 4 m und nimmt allmählich gegen null ab bei den Widerlagern wo der Untergurt mit dem Obergurt verbunden wird. Die Aufnahme des Horizontalschubes konnte entweder durch Zugbänder oder durch die Gründung erfolgen. Kostenmässig waren die Alternativen etwa gleich, aber aus montagemässigen Überlegungen entschied man sich letztlich für die Aufnahme durch die Gründung weil dies feste Lager erlaubte und dadurch die Montage erheblich vereinfacht wurde.

Die Obergurte der beiden Fachwerkbögen sind durch ein K-förmiges Windfachwerk miteinander verbunden und dabei auch gegen seitliches Ausknicken gesichert. Um auch den Untergurt gegen seitliches Ausknicken zu sichern, ist bei jedem zweiten K ein gelenkig befestigter Schrägstab eingeführt.

Der Ober- und Untergurt des Fachwerkbogens ist aus fünf gekrümmten Balkenelementen von etwa 15 m Länge zusammengesetzt. Alle Teile des Fachwerkbogens sind aus doppelt-imprägniertem Brettschichtholz hergestellt. Sie sind kraftschlüssig durch eingeschlitzte Stahlplatten und Stahldübel miteinander verbunden. Die Abmessungen des Obergurtes sind $B \times H = 700 \times 600$ mm, des Untergurtes $B \times H = 700 \times 560$ mm und die der Diagonalen $B \times H = 500 \times 400$ mm. Im unteren Bereich, gegen die Widerlager, sind die Gurte wegen des Lichtraumprofils nicht durch das Windfachwerk gegen seitliches Ausknicken gehalten. Es war deshalb notwendig, das Lagergelenk so auszuformen, daß der Obergurt gegen seitliches Biegen eingespannt wurde. Außerdem mußte die Breite des Obergurtes auf die untersten 10 m von 700 mm auf 1100 mm erweitert werden, um die notwendige Steifigkeit zu verleihen.

Eine besondere Schwierigkeit stellte die kraftschlüssige Einbindung des Untergurtes in den Obergurt dar. Das Problem wurde dadurch gelöst, daß die Diagonale des Fachwerkes durch längliche, eingeschlitzte Bleche gegen das Widerlager hin fortgesetzt wurde, um so die Schubkräfte aufzunehmen. Um die dünnen Stahlbleche gegen Ausknicken zu sichern, wurde der Zwischenraum zwischen Ober- und Untergurt mit BS-Holz ausgefüllt. Dieses Holzstück, das mit dem Untergurt fest verbunden wurde, bekam die gleiche Breite wie die Diagonale.

Der Brückenquerschnitt weist ein Lichtraumprofil von 10,0 m Breite und eine Höhe von 5,7 m auf und enthält zwei Fahrspuren von je 3,5 m und einen Gehsteig von 3,0 m Breite. Die Fahrspuren liegen auf einer quervorgespannten Holzplatte, während der etwas erhöhte Gehsteig aus BS-Holzträger mit einer Bretterdecke besteht. Der Übergang zwischen Gehsteig und Fahrbahnplatte geschieht dadurch, daß der BS-Holzträger nächst der Fahrbahn mit den Holzbrettern der Platte zusammengespannt ist.

Die Fahrbahnplatte und die Gehsteigträger sind auf Querträger aus Stahl aufgelegt. Die Querträger, die einen Abstand von 5,40 m haben, sind an Hängestangen aufgehängt, die oben gelenkig mit den eingeschlitzten Knotenblechen des Untergurtes verbunden sind.

In den zwei Seitenfeldern wird die Fahrbahnplatte von zwei Dreigelenkbögen getragen. Diese Bögen sind gewöhnliche Massivbögen aus BS-Holz. Um die Einheit der Brücke zu unterstreichen, wird der gleiche Querträgerabstand von 5,4 m wie im Hauptfeld weitergeführt. Der Horizontalschub der Bögen wird an den Widerlagern von etwa 15 m langen überschütteten Reibungsplatten aus Beton aufgenommen, während bei den Pfeilern der unausgeglichene Horizontalschub durch die Pfahlgründung aufgenommen wird.

Das Bauen der Brücke hat im August dieses Jahres angefangen und die feierliche Eröffnung ist für den Juni 2001 geplant. Die Gesamtkosten der Brücke betragen etwa 3,4 Millionen DM, was einem Quadratmeterpreis von ungefähr 2.700 DM/m² entspricht. Es wäre möglich, eine billigere Brücke zu bauen, aber nicht mit den gleichen ästhetischen Qualitäten.

Abschluss

Es ist ein ständig steigendes Interesse für Holzbrücken in Norwegen – nicht nur aus Gründen des Umweltbewusstseins oder Nostalgie, sondern hauptsächlich, weil es sich um eine wettbewerbsfähige Alternative handelt. Der Quadratmeterpreis von gut architektonisch ansprechenden Brücken mit einer Länge von 20 bis 35 m liegt im Bereich 2.000 bis 2.400 DM/m². Dazu kommt, daß sich in vielen Fällen die kurze Montagezeit preismässig sehr günstig auswirkt.

Man kann wirklich sagen, daß sich in Norwegen Holz als Baumaterial für Brücken sehr bewährt hat und gekommen ist, um zu bleiben. Eine Voraussetzung ist allerdings, daß die Vorteile des Holzes ausgenützt und die Nachteile durch gute konstruktive Lösungen minimalisiert werden.



Bild 1: Bogenbrücke mit zwischenliegendem Fahrbahn

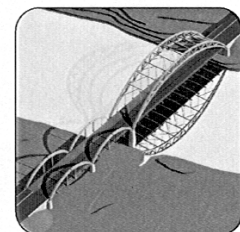
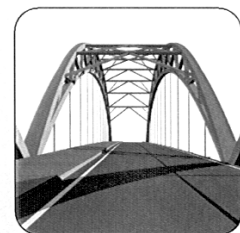
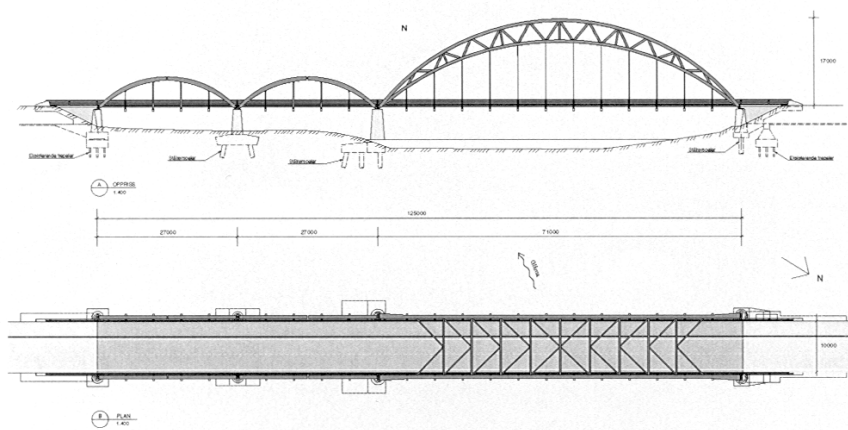


Bild 2: Die neue Tynset Brücke

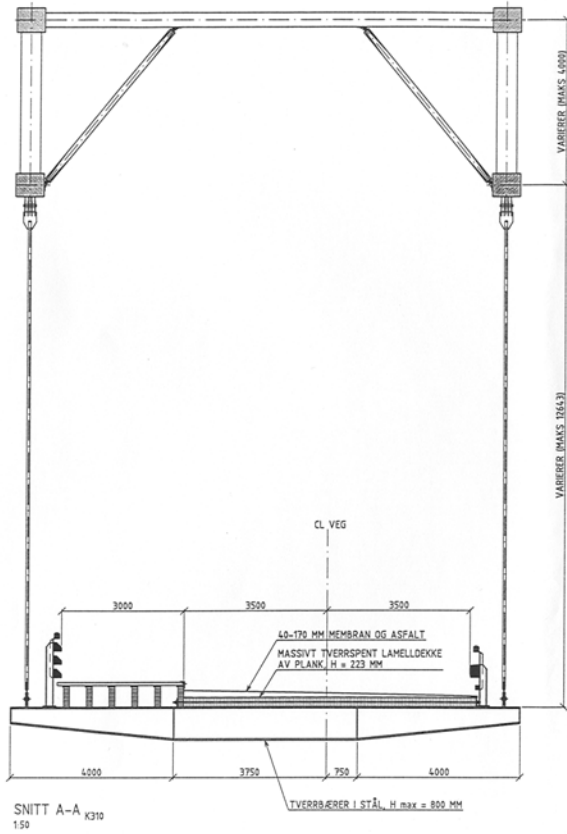


Bild 3: Querschnitt im Hauptspann



Bild 4: Detail des Fachwerkes am Auflager