

*Dipl. Ing. Dyken, Tormod  
Fachverantwortlicher  
Holzbrücken  
Staatlich Norwegische  
Straßenverwaltung  
Norwegen, Oslo*

## **Flisa Brücke – die größte Holzbrücke der Welt?**



# Flisa Brücke – die größte Holzbrücke der Welt?

## Zusammenfassung

Flisa Brücke wurde am 5. Juni 2003 eröffnet. Sie ersetzt eine alte Stahlbrücke und wurde auf den alten, erhaltungswürdigen Fundamenten gebaut. Die Brücke ist eine Straßenbrücke die für volle Verkehrslasten bemessen ist. Vom Konzept her weist die neue Holzbrücke eine Reihe Besonderheiten auf die im Folgenden beschrieben wird.

## Einleitung

Die größte Holzbrücke der Welt – wie kann man das behaupten? Ist es die *längste* Holzbrücke? Nein. Sie ist zwar 196 m lang, aber es sind mehrere Holzbrücken die länger sind als das – wie zum Beispiel die alte überdachte Rheinbrücke in Säckingen mit ihre 200 m. Ist es die Holzbrücke mit der *größten Spannweite*? Nein. Ihre größte Spannweite ist 70,3 m und auch das ist kein Weltrekord. In Norwegen gibt es zum Beispiel eine Fußgängerbrücke aus Holz mit einer Spannweite von 92 m. In USA wurde einmal eine Holzbrücke mit einer Spannweite von 104 m gebaut. Sie wurde „The Colossus“ genant, existiert aber nicht mehr. So, wie macht sich die Flisa Brücke zu der Bezeichnung „größte Holzbrücke der Welt“ verdient?

Die Flisa Brücke ist eine Straßenbrücke, die für volle Verkehrslasten bemessen ist. Sie hat zwei Fahrspuren und einen Gehweg – hat also eine lichte Weite von 9 m. Man kann deswegen sagen, dass sie jedenfalls die hölzerne Straßenbrücke mit der größten Spannweite der Welt ist und wahrscheinlich auch die längste ist die heute existiert. Das ist aber alles eigentlich nicht so wichtig. Sie ist auf alle Fälle eine sehr große und recht interessante Holzbrücke.



**Bild 1** Die neue Flisa Brücke



**Bild 2** Die alte Stahlbrücke

## Lage

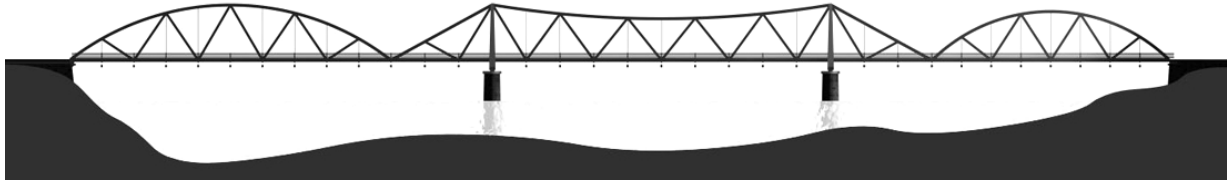
Der Ortschaft Flisa liegt in der Gemeinde Åsnes in Hedmark, 145 Strassen-km nördlich von Oslo, nicht weit von der Grenze zu Schweden. Sie überquert den Fluss Glomma, den größten Fluss Norwegens, wie auch die zwei anderen großen Holzbrücken von Norwegen, Evenstad Brücke (1996) und Tynset Brücke (2001). Der Glomma fließt in dieser Gegend ruhig in nord-südlicher Richtung und hat, an der Brückenstelle eine Breite von ungefähr 185 m.

## Wahl der Brückenlösung

Die Brücke ersetzt eine ältere Stahlbrücke die zu eng und schwach geworden war. Die Stahlbrücke hatte aber schöne und gut erhaltene Widerlager und Pfeiler, gemauert aus sauber verarbeiteten Granitblöcken. Es war deshalb nahe liegend die alten Fundamente zu benutzen, vorausgesetzt, dass sie imstande waren die erforderlichen Lasten zu tragen. Die Alternative wäre eine vollständig neue Brücke Strom aufwärts zu bauen. Den gesparten Fundamentierungskosten bei Ausnutzung der alten Fundamente standen natürlich die Kosten der Verkehrsumleitung in der Periode vom Abbruch der alten Brücke bis zur Eröffnung der neuen entgegen.

Eine andere Voraussetzung kam auch noch dazu. Es sind beide Ufern verhältnismäßig flach, so dass ein Tragwerk unterhalb der Fahrbahn eine kostspielige Erhöhung der Strasse beiderseits der Brücke notwendig machen würde. Auf dem Westufer mündet die Strasse wenige Meter nach der Brücke in eine andere Strasse, so dass eine Erhöhung des Straßenniveaus aus diesem Grunde auch noch schwierig sein würde. Man kann deshalb sagen, dass hier Beton- oder Stahlkastenträger oder Balkenbrücken von Haus aus ausscheidet. Zurück blieben oben liegende Tragwerke, wie Bögen, Fachwerke, Hängwerke und des Gleichen in Stahl oder Holz. Beton scheidet bei solchen Konstruktionen Heute zu Tage aus, hauptsächlich wegen der hohen Schalungskosten.

Aus den Kostenvergleichen ergab sich, dass Holzbögen und Fachwerke in Stahl oder Holz, alle mit quer vorgespannter Holzdecke, am kostengünstigsten waren. Um hauptsächlich Gewicht zu sparen und dadurch Gründungskosten, wurde auch das Stahlfachwerk mit einer Holzdecke statt, wie üblich, einer Betondecke versehen. Am Ende wurde aber das Holzfachwerk gewählt.



**Bild 3** Das Haupttragwerk der neuen Brücke

## Formgebung

Als erst ein Fachwerksystem gewählt war, kam schnell der Gedanke auf ob wir ein Gerbersystem, wie bei der alten Stahlbrücke, wählen sollten. Ein solches System würde mehr aufgelockert wirken als ein durchlaufender Fachwerksträger mit konstanter Höhe. Die Zielsetzung wurde dann eine neue, moderne Brücke zu konstruieren in der man aber die ästhetischen Qualitäten der alten Stahlbrücke wiederfindet.

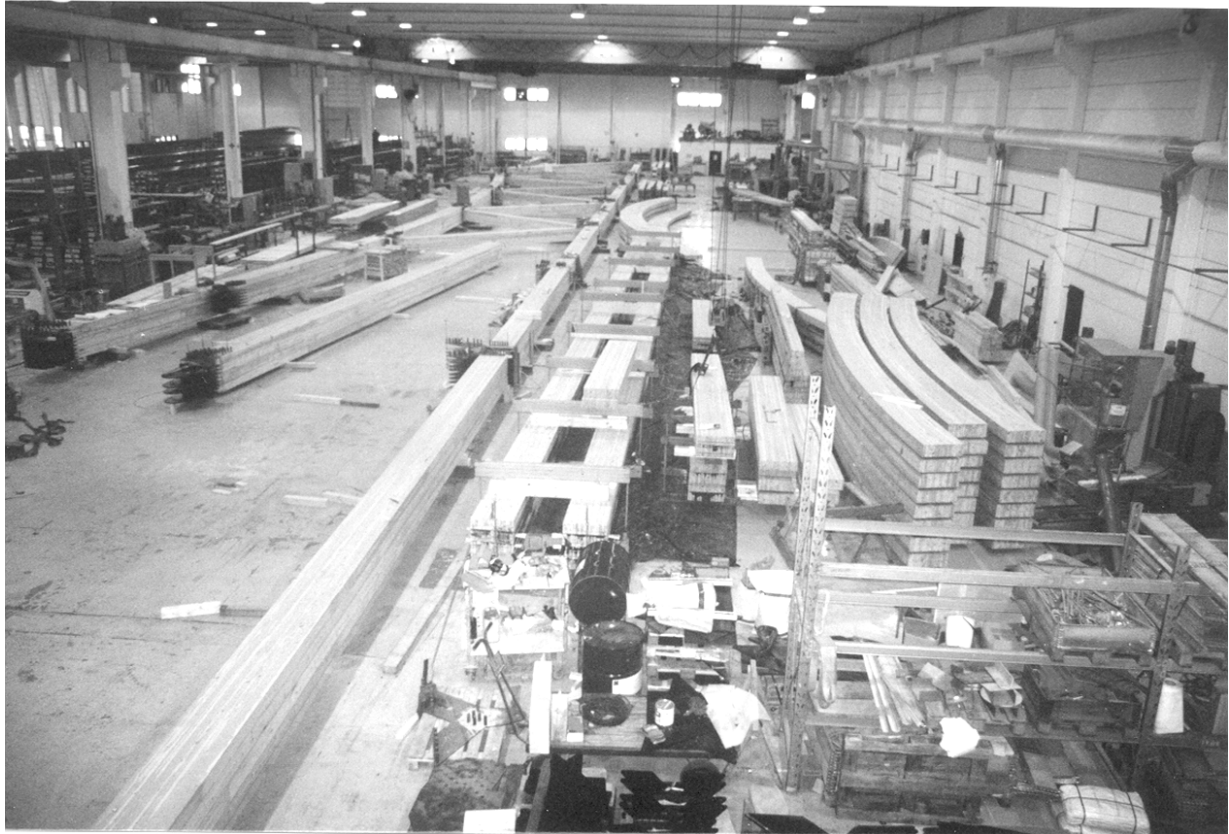
Um die Kosten bei en Fachwerk aus Brettschichtholz niedrig zu halten ist es vor allem wichtig die Anzahl der Knotenpunkte niedrig zu halten. Das Brettschichtholz an sich ist nicht sehr teuer, aber die Verarbeitungs- und Montagekosten an den Knotenpunkten machen relativ viel aus. Das Holzfachwerk wird deshalb einen größeren Ausdruck haben als ein entsprechendes Stahlfachwerk.

Grundlegend für die Einteilung in Fächer ist der optimale Achsabstand der querträger. Wenn man sich für eine QS-Decke aus Schnittholz der Güte C24 entscheidet – das ist normalerweise in Norwegen in Bezug auf das Verhältnis Kosten zur Leistung günstig – wird sie bei einem Querträgerabstand von 5,5 bis 5,6 Meter voll ausgenutzt. Als die Querträger am besten in den Fachwerksknoten aufgehängt werden, ergibt sich ein Horizontalabstand der Knoten von 5,5 bis 5,6 Meter. Der Querträgerabstand wird also, so zu sagen, ein Grundmodul der Brücke.

Unter den oben erläuterten Bedingungen war es unmöglich das Gerbergelenk in der statisch optimalen Lage zu bekommen. Die beiden Auskragungen sind deshalb etwas zu groß geraten, was zu etwas größeren Stützmomenten und zu etwas kleineren Feldmomenten führen. Der Unterschied bedeutet aber kostenmäßig kaum etwas.

Das alte Stahlfachwerk war aus geraden Stäben zusammengesetzt. Auch die beiden eingehängten Einfeldträger mit schwach gebogenen Obergurten wurden aus geraden Stäben gebaut. Um ein ähnliches Fachwerk in BS-Holz zu bauen fällt es natürlich größere und stetig gekrümmte Elemente zu benutzen. Die Seitenträger haben deshalb einem bogenförmigen Obergurt bekommen. Die Bogenform der Obergurte verleiht die eingehängten Seitenträgern eine leichtere Erscheinung, akzentuieren die Gelenkpunkte und erlaubt freie Seitensicht zwischen durch.

Aus den bogenförmigen Seitenfeldern folgte logisch die Frage ob das Mittelfeld ein Parallelfachwerk haben sollte – wie bei der alten Brücke – oder ob wir auch hier die Möglichkeiten des BS-Holzes ausnutzen sollten und der Obergurt eine Krümmung geben sollte. Wegen der beiderseitigen Auskragungen sind in diesem System die Stützmomente deutlich größer als das Feldmoment. Die Statik erlaubt deshalb eine niedrigere Konstruktionshöhe in der Feldmitte. Hauptsächlich aus ästhetischen Gründen – vielleicht etwas von der Glienickerbrücke zwischen Potsdam und Berlin inspiriert, aber auch logisch begründet durch die Statik, entschieden wir uns für ein nach unten gebogenem Obergurt. Die Ausnutzung des Materials ist dadurch annähernd konstant, was aber kostenmäßig von wenig Bedeutung war.



**Bild 4** Das Haupttragwerk beim Auslegen in der Halle von Moelven Limtre AS

## Haupttragwerk

Das Haupttragwerk hat eine sehr unregelmäßige Spannweiteinteilung bekommen. Die ist, durch der Ausnutzung der alten Fundamente, von der alten Brücke übernommen worden. Die Spannweiten des Haupttragwerkes sind deshalb  $55,2\text{ m} + 56,0\text{ m} + 70,34\text{ m}$ . Der schnelle Rechner will mögliche weise einwenden, dass das eine Gesamtlänge von  $181,54\text{ m}$  ergibt und nicht  $196\text{ m}$  wie eingangs behauptet. Die Erklärung ist, dass die Brücke selbst, an beiden Enden, gut  $7\text{ m}$  länger ist als das Haupttragwerk in dem die Brückenbahn über die Widerlager hinweg geführt wird.

Als die neue Brücke mehr als doppelt so breit ist wie die alte Brücke, kommt die Lage der Tragwände des Haupttragwerkes weit außerhalb der Fundamente zu sein. Die Exzentrizität ist beiderseits ungefähr drei Meter. Das erfordert kräftige Querträger an jedem Auflagerpunkt, die die Auflagerkraft an geeigneten Lagerpunkten der alten Fundamente bringen können.

Auch die alten Widerlager waren zu schmal. Anstatt das alte Widerlager in ein neues zu begraben wurden auch hier die Auflagerkräfte des Haupttragwerkes mittels eines auskragenden Querträgers in das alte Widerlager geführt. Die Brückenbahn wurde dabei weitergeführt, über ein leichten Querträger, bis an eine neu gebaute Auflagerbankette in beton.

Die Windkräfte werden meistens bei oben liegenden Tragkonstruktionen durch einen biegesteifen Rahmen zur Fundament geführt. So auch hier – nur hier sind die Rahmen U-förmig, auf den Pfeilern platziert. Die Querträger die die beiden Fachwerkwände tragen sind jede mit zwei Stahlsäulen biegesteif verbunden. Die Säulen geben das Fachwerk an der höchsten Stelle ein seitlichen halt. Durch diese riesige „Gabellagerung“ wird für Seitenstabilität gesorgt ohne, dass Zwängungen entstehen.



**Bild 5** Auslegen der quer vorgespannten Decke

Die Gerbergelenke sind als echte Bolzengelenke ausgeführt auch wenn die Rotationen im Gelenk nicht sehr groß sind. Es waren jedenfalls zwei Gründe dazu: Erstens möchten wir das Gerbersystem für den Betrachter dadurch verdeutlichen und zweitens ergab es Vorteile bei der Montage.

### Holztechnische Aspekte

Die Fachwerkskonstruktion bot, wegen ihrer Größe, auf einigen holztechnischen Herausforderungen. Speziell muss noch die hoch belasteten Druckstöße der Fachwerksgurte erwähnt werden. An einigen Stellen war der Holzquerschnitt auf Druck so hoch ausgenutzt, dass ein Stossen mit eingeschlitzten Platten und Dübeln nicht sinnvoll zu machen war. Auch ein Druckstoß mit Direktübertragung Holz zu Holz oder Holz zu Stahl wurde, wegen der Größe der Druckflächen (533x610 mm), als zu unsicher eingeschätzt. Weil in den Druckstößen, in einigen extremen Lastzuständen, auch noch Zug zu übertragen war, waren eingeschlitzten Platten mit Dübeln an diesen Stellen auch erforderlich. Eine ungleichmäßige Spannungsverteilung in der Druckfläche würde zu größeren Deformationen führen und wiederum zu einer Überlastung der Dübeln führen.

Für ähnlichen Fällen in Hallenbindern hat sich das Ausgießen der Druckfuge mit einer Acrylmasse bewährt. Dadurch wird eine volle und gleichmäßige Kraftübertragung gesichert. Acryl ist außerdem einfach zu handhaben und erhärtet auch bei Kälte. Das schien auch ideal für Flisa Brücke. Nur eine Brücke wird für eine Lebensdauer von 100 Jahren bemessen und eine solche Fuge wird wechselnden Lasten ausgesetzt. Es müsste deshalb die Frage des statischen Kriechens und Ermüdungskriechen beantwortet werden. Ein Kriechen der Acrylfuge würde eine Umlagerung der Druckkräfte von der Fuge zu den Dübeln bewirken mit dem Ergebnis, dass die Dübeln allmählich überlastet und zerstört werden.

Es wurden deshalb Kriechversuche an der Norwegisch Technisch Naturwissenschaftliche Universität (NTNU) in Trondheim bestellt. Es zeigte sich bald, dass keine zuverlässigen Informationen über die Druckfestigkeit und der E-Modul des Materials vorlagen. Die Werte für Kunststoffe sind meistens für ganz andere Zwecke als bautechnische geprüft worden.

Als wir auf das Ergebnis nicht 100 Jahre warten könnten, müssten die Kriechversuche beschleunigt durchgeführt werden. Die Versuche wurden deshalb mit erhöhten Spannungen durchgeführt. Die Versuche zeigten ein erhebliches Kriechen bei höheren Spannungen, aber es nahm, mit fallender Spannung, stark ab und bei dem aktuellen Spannungsniveau könnte es vernachlässigt werden.

Die Fachwerkwände wurden alle, in der großen Halle von der BSH-Produzent Moelven Limtre AS, flach liegend vollständig zusammengestellt. Die größten Einheiten waren die mittleren Fachwerksteile die, einschließlich der beiden Kragarmen, fast 90 m lang und 10 m breit waren. Die Gurtbreiten von 610 mm und 710 mm forderte höchste Genauigkeit beim Bohren der Dübellöcher. Nach dem Zusammenbauen und Vermessen wurde alles wieder auseinander genommen und zum Kreosotimprägnierung gesandt. Auf dieser Weise wurde gesichert, dass alle Schlitzten und Bohrungen Kreosot aufnehmen.

## Holzschutz

Der wichtigste Holzschutz bei Flisa Brücke, und eigentlich bei jeder Brücke, ist der konstruktive Schutz in Form von guten Details. Besonders bei einem Fachwerk, mit seinen vielen Knotenpunkten, ist es eine große Gefahr für Punkte wo Wasser gefangen wird und stehen bleibt. Bei Flisa Brücke, wie bei den meisten neueren Holzbrücken in Norwegen, die Oberseite von allen Teilen des Haupttragwerkes mit Kupferblechen abgedeckt. Das geschieht nicht nur wegen der stärkeren Witterung auf der Oberseite, sondern um Risse abzudecken die in massiven Konstruktionen immer spalten entstehen und Wasser ins Inneren des Querschnittes leiten können. Dazu sollten die Lamellen des BS-Holzes mit dem Kernholz nach oben orientiert werden, so dass die Risse in den Seitenflächen die Öffnung nach Unten haben und Wasser nicht hineindringt. Besonders wichtig bei einem Fachwerk ist, dass ein deutlicher Spalt zwischen der Oberseite des Untergurtes und das Hirnholz der Diagonalen. Es muss genügend Platz vorhanden sein um die Abdeckbleche des Untergurtes in den Spalt hineinzuführen und gegen den Knotenblechen aufzubiegen.

Um den erforderlichen Lebensdauer von 100 Jahre zu erreichen sind die tragenden Holzteile noch chemisch geschützt. Jede Lamelle des BS-Holzes ist CCA-imprägniert um das Innere des Querschnittes gegen Fäule zu schützen die schwer zu entdecken ist. Zum Schluss werden die fertigen Konstruktionsteile mit allen ihren Schlitzten und Löchern mit Kreosot imprägniert. Das Kreosot dient bei großen BSH-Querschnitten als ein dauerhaften, wasserabweisend Oberflächenschutz.

## Bauablauf

Vor der Montage der Fachwerke müssten die alten Pfeiler und Widerlager etwas verstärkt werden. Es wurden in jedem der zwei Pfeiler und in den beiden Widerlagern zwei Stahlkernpfähle gesetzt. Die Löcher wurden mittels Odex-Ausrüstung vertikal gebohrt. Die Bohrung ging durch das Gestein der Fundamente, durch die alte, noch gut erhaltene, Holzpfahlgründung bis gut unterhalb der alten Gründung. Auf diese Weise wurde die alte Gründung etwas geschwächt aber alles im allen an Tragfähigkeit gewonnen.

Die Montage von solchen Brücken wird in Norwegen meist im Winter mit niedrigem Wasserstand and und mit Eisdecke vorgenommen. Es wurde auch temporär  $\frac{2}{3}$  des Flusses mit einem breiten Streifen zugefüllt und geebnet. Das erlaubte große Mobilkräne bis zur Mitte des Flusses zu operieren, welches die Montage der beiden Mittelteile des Fachwerkes sehr erleichterte. Als erstes wurden auf jedem Pfeiler der große Querträger aus Stahl montiert und befestigt. Von den Stahlsäulen, die mit dem Querträger zusammen ein U-förmiger Rahmen





**Bild 6** Temporäre Damm für den Bauzustand

bilden sollten, wurde zunächst nur die eine montiert. Die erste große Fachwerkswand könnte dadurch leicht eingehoben werden und an den Stahlsäulen gesichert werden. Danach wurde die zweite Fachwerkswand eingehoben und vom Kran gesichert bis die beiden anderen Stahlsäulen festgeschraubt waren.

Die kleineren Einhängefachwerke in den beiden Endfeldern waren nicht größer als, dass die auf dem Boden fertig zusammengebaut werden könnten und in einem Hob ins Position gebracht werden.

Die 196 m lange quer vorgespannte Holzdecke wurde in laufe von wenigen Tagen ausgelegt und vorgespannt. Alles im allen ist der Bauablauf einer solchen Brücke, durch den hohen Grad an Vorfabrizierung, sehr rasch und effektiv durchzuführen.

## Abschluss

Flisa Brücke repräsentiert ein Meilenstein in Holzbrückenbau. Nicht nur wegen ihre Länge und Spannweite und auch nicht ihr ungewöhnliches statisches Systems wegen aber hauptsächlich weil es, in Wettbewerb mit Stahl und Beton, eine kostengünstige Lösung für eine so große Brücke darstellt.



**Bild 7** Die Flisa Brücke nach der Eröffnung

### Daten der Flisa Brücke

Baujahr:	2003
Bauherr:	Staatlich Norwegische Straßenverwaltung, Region Ost
Entwurf:	Projektgruppe bestehend aus: Norconsult AS (Beratende Ingenieure), Plan Arkitekter AS (Architekten), Moelven Limtre AS und Staatlich Norwegische Straßenverwaltung (Berater)
Hersteller des Überbaus:	Moelven Limtre AS
Bauausführung:	Mesta AS
Gesamtlänge:	196 m
Stützweiten:	3,650 + 3,600 + 55,200 + 56,00 + 70,340 + 3,600 + 3,650 m
Lichte Weiten:	Fahrbahn 6,500 m + 2,500 m Gehweg
Lasten:	Schwerfahrzeug 630 kN + Flächenlast 3 kN/m <sup>2</sup>
Statisches System:	Fachwerkträger über 3 Felder mit Gerbergelenke in den beiden Endfeldern.
Fahrbahn:	Holzplatte aus 48x223 mm Bohlen quer vorgespannt mit Ø15 mm Dywidag Gewindestäbe im abstand 600 mm – Länge 196 m, Breite 6,86 m, wasserdichte Gussmembrane 15 mm polyestermodifizierte Bitumen (Topeka 4S), Fahrbahnbelag 40 bis 170 mm Asphalt.
Holz:	Total fast 900 m <sup>3</sup> Kiefer: BS-Holz GI36c, Schnittholz C24
Baukosten:	Gesamtkosten 3,6 Mill. €