



*Rolf Bachofner  
Dipl. Holzbauingenieur HTL,  
Chur CH*

## **Das neue Lehrgebäude an der SH-Holz in Biel**



Die SH-Holz wird ihren Lehr- und Forschungsauftrag als Teil der Berner Fachhochschule zukünftig unter verbesserten Rahmenbedingungen erfüllen können. Als grösstes Bauobjekt der Erweiterung und Sanierung der Schulanlage wird zurzeit ein viergeschossiger Holzbau als neues Lehrgebäude erstellt.

Der vorliegende Text beschreibt zu unterschiedlichen Themen der Erweiterung und im speziellen zum Neubau des Lehrgebäudes die Sicht des ausführenden Ingenieurs. Der Schwerpunkt liegt dabei bei der Tragkonstruktion und den Hintergründen, warum sie gerade so und nicht anders entworfen und ausgeführt wurde.

1. Entwicklung von der Bedarfsabklärung bis zur Erstellung
2. Gebäudestruktur
3. Brandschutz
4. Materialeinsatz
5. Tragkonstruktion, nach Bauteilen aufgegliedert
6. Montage
7. Devisierung, Unternehmergespräche
8. Schlussbetrachtungen
9. Am Bau Beteiligte

## **1. Entwicklung von der Bedarfsabklärung bis zur Erstellung**

Im Jahr 1988 wurde von der Direktion der Schule und der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern ein Leitbild erstellt. Als Resultat daraus hat sich ergeben, dass die Schule ihre Leistungen ausbauen muss, damit sie ihre zukünftigen Aufgaben erfüllen kann.

Das Hochbauamt erarbeitete darauf eine Baustudie, die einen Nettobedarf von 11'000m<sup>2</sup> Fläche auswies. In dieser Studie wurde ebenfalls darauf hingewiesen, dass ca. 2/3 der bestehenden Bausubstanz saniert oder umgesetzt werden kann. Der restliche Bedarf an Fläche soll auf der vorhandenen Parzelle durch Neubauten realisiert werden.

In den Jahren 1990/91 wurde ein Projektwettbewerb nach SIA 152 ausgeschrieben, der vom Architekturbüro M. Meili & M. Peter, Zürich, in Zusammenarbeit mit dem Bauingenieur J. Konzett aus Chur, gewonnen wurde.

In den folgenden zwei Jahren wurde das Vorprojekt und die Kostenschätzung ausgearbeitet. Darin integriert wurde ein eingeladener Wettbewerb für Deckensysteme (siehe Kap. 5.3.5) und die Prüfung verschiedener Holzarten für die Fassade am 1:1 Modell im Gelände der Schule. Im Sommer 1993 genehmigte das Berner Stimmvolk den Baukredit. Eine vom Kanton Bern erlassene Kostenreduzierung von 10% erforderte kurz vor Baubeginn eine Überarbeitung der geplanten Gebäude und führte so zu einigen Kürzungen bei den Nebenbauten.

Die Bauaktivitäten wurden 1994 mit der Erstellung der Energiezentrale aufgenommen. Im November 1996 wurde der Aushub für das neue Lehrgebäude, die grösste Baute im Rahmen der Sanierung und Erweiterung, in Angriff genommen. Der Rohbau war im Dezember 1997 erstellt und die Ausbauarbeiten müssen bis im Sommer 1999 abgeschlossen sein. Noch in diesem Herbst wird mit den Arbeiten für die neue Fertigungs- und Verfahrenstechnikhalle begonnen, die ebenfalls bis im Sommer 1999 fertig sein wird.

Der Finanzaufwand für die gesamte Sanierung und Erweiterung der SH-Holz in Biel beträgt ca. 30 Mio. Fr.

## 2. Gebäudestruktur

Das Lehrgebäude weist eine Länge von 94m, eine Breite von 24m und eine Höhe von ca. 15m auf. Das Gesamtvolumen von 34'000m<sup>3</sup> verteilt sich zu 9'000m<sup>3</sup> auf den Massivbau und zu 25'000m<sup>3</sup> auf den Holzbau.

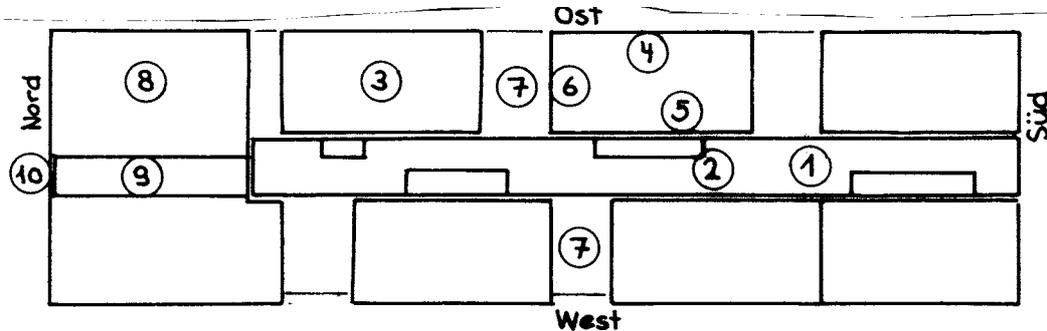


Abb. 1 Schematischer Gebäudegrundriss

|         |              |                        |
|---------|--------------|------------------------|
| Legende | 1 Betondecke | 6 Balkonwand           |
|         | 2 Betonkern  | 7 Balkon               |
|         | 3 Zelle      | 8 Kopfteil             |
|         | 4 Aussenwand | 9 C-Träger             |
|         | 5 Innenwand  | 10 vertikales Fachwerk |

Der Massivbau in der Gebäudemitte beinhaltet als horizontale Erschliessungszone die Korridore. In den vier vertikalen Betonkernen sind die Treppenhäuser, der Liftschacht und die sanitären Anlagen untergebracht. Als konstruktiver Gebäudeteil erfüllt der Massivbau quer- und längsaussteifende Aufgaben. Im Brandfall werden die Fluchtwege mit der Anforderung F60 über die Korridore und Treppenhäuser gewährleistet. Als einziger unterkellertes Bereich des Gebäudes sind im Untergeschoss Lager-, Archiv- und Technikräume angeordnet.

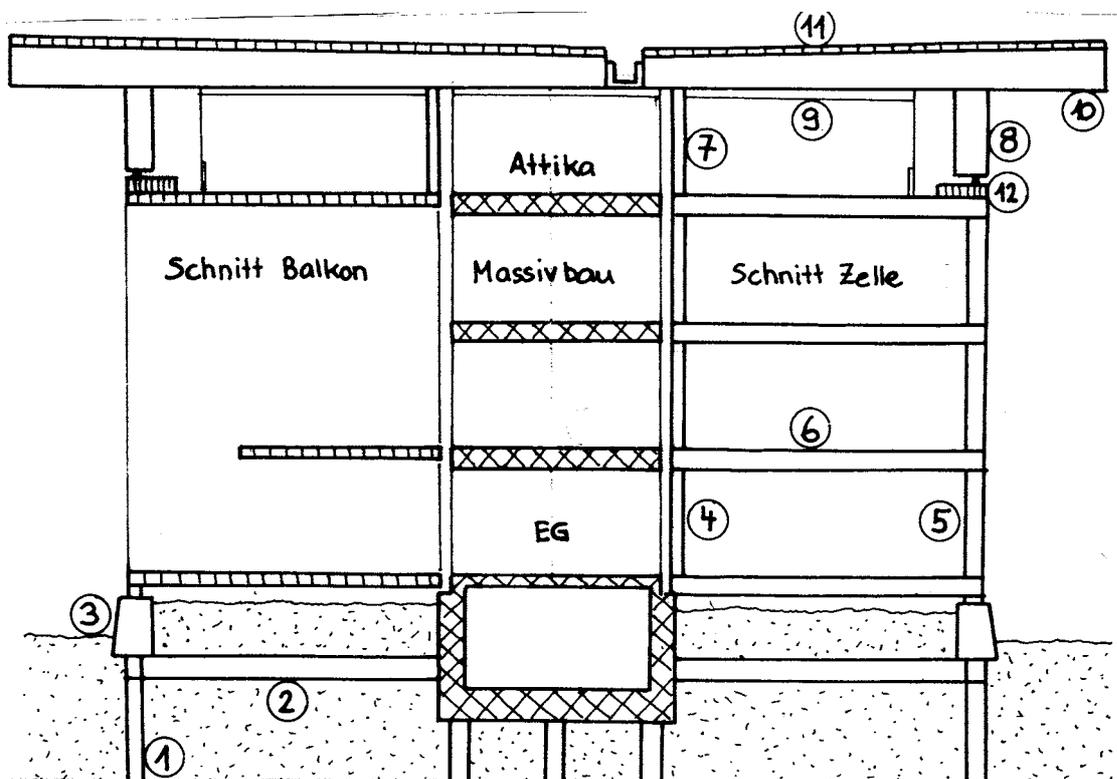


Abb. 2 Schematischer Querschnitt Zelle und Balkon

|          |                          |                                     |
|----------|--------------------------|-------------------------------------|
| Legende  | 1 Pfahl                  | 7 Pendelstütze                      |
| zu Abb.2 | 2 Betonriegel            | 8 Hohlkastenstütze                  |
|          | 3 Betonstütze/Stützmauer | 9 Attikadecke                       |
|          | 4 Innenwand              | 10 Binder                           |
|          | 5 Aussenwand             | 11 Dach                             |
|          | 6 Boden                  | 12 liegender Brettschichtholzträger |

Der Holzbau umschliesst den Massivbau von drei Seiten. Aus dem Grundriss sind die fünf "Holzkasten" (im weiteren als Zelle bezeichnet) erkennbar, die an den Massivbau angefügt sind. Eine Zelle ist in sich frei unterteilt: Zwei kleinere Klassenzimmer oder ein grosses Klassenzimmer mit abgetrenntem Gruppenraum. Zwischen den Zellen sind Balkone angeordnet, die durch ihre fließende Verbindung des Innen- und Aussenraumes die Fassade nicht als grosse Einzelfläche erscheinen lassen. Sowohl im Grundriss als auch in der Vertikalen (3 Geschosse) weisen die Zellen eine identische Tragstruktur, Verkleidung, Installation und Nutzung auf.

Im Kopfteil ergeben sich durch andere Funktionen der Räume (Foyer, Mehrzwecksaal) und dem fehlenden Mittelteil aus Beton veränderte Tragstrukturen bei zwei- bis dreifacher Raumhöhe.

Der Mastvieh, die Zellen und auch der Kopfteil mit ihren klar gegliederten Raumstrukturen werden durch das Attikageschoss überdeckt. Dieser Grundriss wird nicht durch Wände wie in den unteren drei Geschossen, sondern durch Stützen eingeteilt, die die Dachkonstruktion tragen. Somit ist eine flexible Anordnung von Trennwänden je nach gewünschter Bürogrösse gewährleistet.

### 3. Brandschutz

Das Hochbauamt hatte bei der Formulierung des Projektwettbewerbes mit der Gebäudeversicherung Kontakt aufgenommen und relevante Anforderungen frühzeitig in die Planung einfließen lassen. Für das Lehrgebäude hat die Gebäudeversicherung eine Reihe von objektspezifischen Ausnahmen zugelassen, die alle aufeinander abgestimmt sind. Für die Bodenelemente wurde an der EMPA in Dübendorf ein Brandtest durchgeführt, aufgrund dessen die Bewilligung dazu erst erteilt wurde.

Die Holztragkonstruktion weist eine Brandwiderstandsdauer von 30 Min. auf (F30bb). An das Attikageschoss sind diesbezüglich keine Anforderungen gestellt. Als zusätzliche Sondermassnahme ist im ganzen Gebäude (inkl. Massivteil und Attikageschoss) eine Sprinkleranlage installiert. Die bereits bestehenden Gebäude müssen teilweise mit einer Sprinkleranlage nachgerüstet werden.

Jede Zelle bildet pro Geschoss einen Brandabschnitt F30bb. Die Fluchtwege führen über die Korridore in die Treppenhäuser (Beton, F60) und über die untersten Balkone ins Freie. Bei einem Grossbrand kann eine Zelle einstürzen, ohne dass die benachbarten Zellen mitgerissen werden. Die Balkone wirken dabei als Brandbegrenzer und sollen so mithelfen, den Sachschaden in Grenzen zu halten.

Ein besonderes Augenmerk musste in der Planung der Korridorwand als brandabschnittsbildende Wand F60 geschenkt werden. In Absprache mit der Gebäudeversicherung durfte die Ständerkonstruktion mit einer zementgebundenen Holzspanplatte F60 und einer Dämmung 30mm verkleidet werden. Die Innenverkleidung auf der Korridorseite besteht aus einem Metallblech (nicht brennbar, keine eigene Brandlast), das an der Betonkonstruktion befestigt und so nicht mit der Holzkonstruktion verbunden ist. Die unabhängige Befestigung gewährleistet beim Einsturz der Zelle ein Geländer im Korridor.

#### 4. Materialeinsatz für das Lehrgebäude

Die Auflistung der eingesetzten Materialmengen lässt erahnen, welche Logistik hinter dem ganzen Bauablauf steht. Für den Rohbau des Lehrgebäudes wurden verwendet:

|           |   |                          |
|-----------|---|--------------------------|
| Massivbau | Beton   | 2000 m <sup>3</sup>      |
|           | Bewehrungsstahl   | 183 t                    |
|           | Vorspannstahl   | 24 t                     |
| Holzbau   | Brettschichtholz  | 430 m <sup>3</sup>       |
|           | Schnittholz (Balken/Bretter)                              | 80 m <sup>3</sup>        |
|           | Lignatur-Flächenelemente 8400m <sup>2</sup> $\cong$       | 1000 m <sup>3</sup>      |
|           | Holzwerkstoffplatten 4500m <sup>2</sup> $\cong$           | <u>130 m<sup>3</sup></u> |
|           | Total Holzeinsatz   | 1640 m <sup>3</sup>      |
|           | Dämmungen (Mineral-/Holzfaser) 7500m <sup>2</sup> $\cong$ | 600 m <sup>3</sup>       |
|           | Stahlteile (geschweisst/ungeschweisst)                    | 14 t                     |
|           | Verbindungsmittel (Nägels/Schrauben/Passbolzen,etc.)      | 10 t                     |
|           | Leim (exkl. Brettschichtholz und Lignatur)                | 200 kg                   |

Insgesamt wurden somit ca. 4300m<sup>3</sup> ( $\cong$ 6100t) Material in 10 Monaten verbaut. Eine interessante Zahl ist der Stahlverbrauch pro m<sup>3</sup>-Holz: Er beträgt ca. 15kg/m<sup>3</sup>. Diese im Vergleich zu anderen Bauten sehr tiefe Zahl kann damit begründet werden, dass die Lignatur-Flächenelemente ein grosses Holzvolumen aufweisen, aber durch die Verleimung praktisch keiner mechanischen Verbindungsmittel bedürfen.

#### 5. Tragkonstruktion

Im folgenden Kapitel werden die Konstruktionen einzelner Bauteile beschrieben. Die Bezeichnungen sind in den Abb. 1-3 aufgeführt. Die wichtigsten Konstruktionsgrundsätze können dabei folgendermassen zusammengefasst werden:

- Suche nach einer einfachen, aber nicht der erstbesten Konstruktion (die einfache Konstruktion ist in der Regel auch kostengünstig)
- Montage- und Arbeits-Sicherheitstechnische Überlegungen im ersten Entwurf berücksichtigen oder sogar aus ihnen heraus die Konstruktion entwerfen
- Wiederholungen gegenüber differenzierten (statisch möglichen) Abstufungen im sinnvollen Rahmen vorziehen (bezieht sich vorwiegend auf Balken- und Verbindungsmitteldimensionen)
- Materialgerechter Einsatz der unterschiedlichen Materialien unter Ausnützung ihres Leistungsvermögens
- Verwendung von möglichst lieferantenunabhängigen Handelsmaterialien
- Risikomanagement: den Entwurf bezüglich kritischen Stellen aus verschiedensten Blickwinkeln durchleuten, je nachdem auch wieder verwerfen und neu beginnen
- Gewährleistung der Nachrüstbarkeit von Installationen (Forderung des Bauherrn)

Zu den montagetechnischen Überlegungen lohnt es sich, noch einige Präzisierungen anzufügen. Der Montagereihenfolge kommt eine prioritäre Stellung zu. Stark beeinflusst wird sie durch den möglichen oder gewünschten Einsatz von Hilfskonstruktionen (Abspannungen, prov. Abstützungen), Hilfsmitteln (Kran, Gerüste, Hebebühnen) und die Arbeitssicher-

heit. Im Holzbau nicht zu vernachlässigen ist der Witterungsschutz, der in kürzester Zeit an jeder Stelle wirksam einsetzbar sein muss.

### 5.1 Foundation

Der Massiv- als auch der Holzbau sind auf Pfählen unterschiedlicher Länge fundiert. Ein Gitter aus Betonriegeln verhindert die horizontalen Verschiebungen der Pfahlköpfe. Die weichen Seekreideablagerungen in den oberen Bodenschichten haben es ermöglicht, das 70m lange Untergeschoss mit Hilfe einer Vorspannung ohne Schwindgasse auszuführen.

### 5.2 Massivbau

Die Tragkonstruktion besteht aus einem horizontalen Hohlkasten im UG, der die Torsionskräfte aus der Stabilisierung und die Normalkräfte auf die Pfähle verteilt. Die vertikalen Betonkerne (wiederum als Hohlkasten zu betrachten) dienen den weitgespannten Decken aus 45cm starkem Spannbeton als Auflager. Als räumliche Tragstruktur gewährleisten die Betonkerne und die Decken in symbioser Zusammenarbeit einen grossen Teil der Gebäudestabilität. Die Ausführung in Sichtbeton mit hohen Anforderungen an das ästhetische Erscheinungsbild haben den Ingenieur und den Unternehmer stark gefordert.

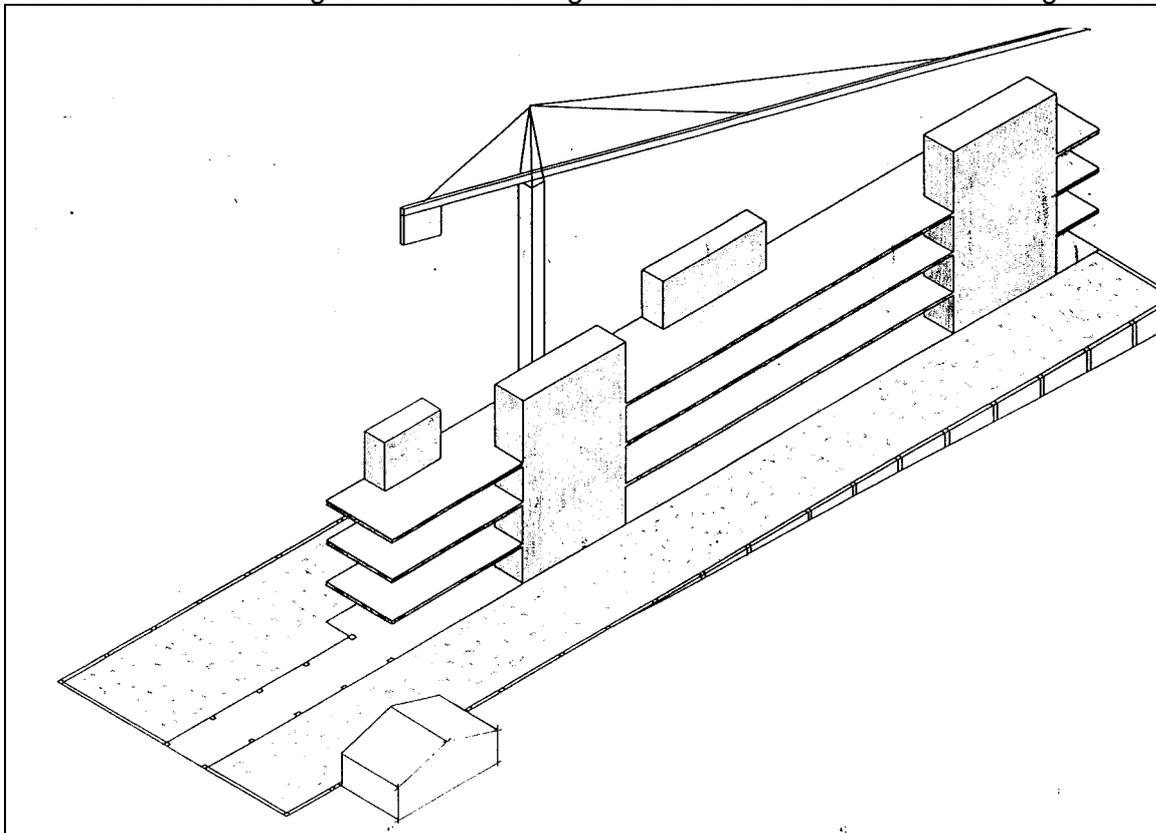


Abb. 3 Räumliche Tragstruktur des Massivbaus

Der Aufagerausbildung Holzbau-Massivbau kam sowohl in der Planung als auch in der Ausführung eine sehr grosse Bedeutung zu. Nur mit genauen Auflager für die Holzkonstruktion ist eine von drei absoluten Bedingung für eine reibungsfreie Montage von bis zu 10.50m hohen Elementen erfüllt. Diese Bedingung ist oft schwer zu erfüllen, weil sie die

Schnittstelle zwischen zwei Arbeitsgattungen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen darstellt. Die zwei anderen Bedingungen wie Masshaltigkeit und Rechtwinkligkeit der Elemente werden durch den Holzbauer allein beeinflusst.

Die Konstruktionsidee "vom ungenauen Bauteil (Foundation) bis zur Stahlplatte des Stützenfusses die Toleranzen in jedem Arbeitsschritt ständig zu minimieren" wurde konstruktiv so verwirklicht, dass sie am fertigen Gebäude ästhetisch nachempfunden werden kann. Auf die Pfahlköpfe der Foundation mit Toleranzen bis zu 100mm wurden die Riegel betoniert. Diese ermöglichten das fixieren der Schalung für die Betonstützen, (Abb.6) so, dass die Koten- und Lagetoleranzen kleiner als 20mm wurden. Auf die Stützenköpfe wurden durch den Geometer die Achsen eingezeichnet und anschliessend die Stahl-Stützenfüsse mit je vier Stellschrauben präzise versetzt. Durch das Untergiessen der Stützenfüsse wird die Normalkraftübertragung gewährleistet.

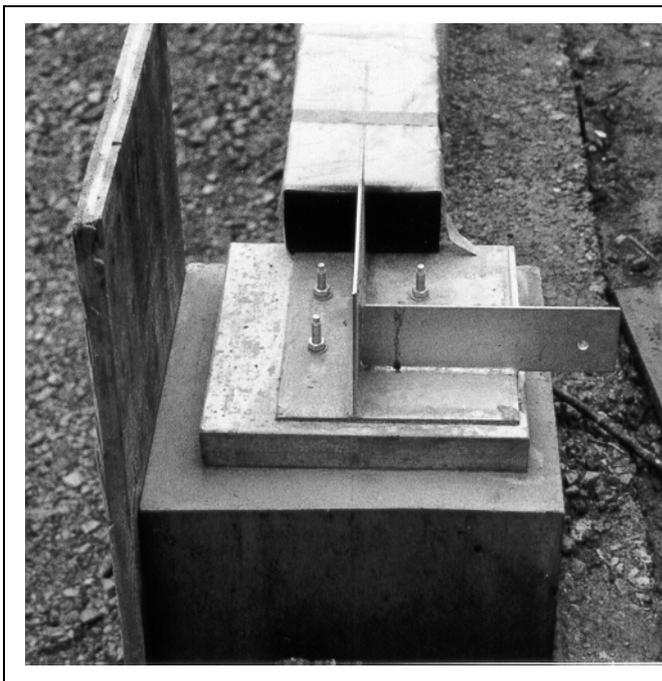


Abb. 4 Untergossener Stützenfuss



Abb. 5 Montierte Wandelemente

### 5.3 Holzbau

Die Tragstruktur einer Zelle besteht aus sechs Wandelementen pro Geschoss. Die Bodenkonstruktion aus Lignatur- Hohlkasten- Elementen ist zwischen das untere und obere Wandelement eingeschoben (Abb. 2). Die Dachkonstruktion wird durch Hohlkastenbinder gebildet, auf die als sekundäres Tragwerk ebenfalls Lignaturelemente aufgelagert werden.

#### 5.3.1 Aussenwände

Die Aussenwandelemente weisen eine Grösse von 9.70m /3.70m und ein Gewicht von ca. 1500kg auf. Sie sind mit einer Brettschichtholz- Ständerkonstruktion versehen, die innen mit einer 27mm starken Furnierschichtholzplatte (mit Nagelpressleimung) beplankt ist. Die Beplankung dient der Gebäudestabilisierung, verstärkt als Verbundquerschnitt die Stützen und schützt sie im Brandfall vor dem Abbrand. Die Dämmung aus Holzfaserplatten zwischen der Brettschichtholzkonstruktion wird aussenseitig durch eine bitumengetränkte Holzfaserplatte abgedeckt. Sie erfüllt die Aufgabe der Winddichtung und war während der Bauphase der Witterungsschutz für die Dämmung.

Die Tragstruktur wird durch die fünf Auflagerpunkte (Pfähle) pro Zelle stark geprägt. Die über diesen Punkten angeordneten Stützen werden bis unter die Dachbinder geführt. Alle Stützenstösse bei den horizontalen Elementfugen sind Stirnholzstösse mit eingeschlitzten Blechen und Passbolzen zur Sicherung, damit möglichst kleine Setzungen auftreten. Die grossen Fensteröffnungen werden durch einen Brettschichtholzträger im Bereich der Brüstung von Stütze zu Stütze überspannt. An diesen Trägern ist ein Sturzbalken mit Gewindestangen aufgehängt, auf dem die ganze Bodenkonstruktion gelagert ist. Diese Konstruktion erlaubt es, den Sturzbalken mit einer minimalen Höhe auszuführen und die natürliche Belichtung der 8m tiefen Räume mit einem hohen Fenster zu verbessern. Die im Attikageschoss fehlende Brüstung erforderte den Einsatz eines liegenden Brettschichtholzträgers mit einer dementsprechend grösseren Dimension. Als Zusatzaufgabe verbindet dieser Träger alle Zellen miteinander und verteilt so die horizontalen Windkräfte auf die ganze Fassadenlänge.

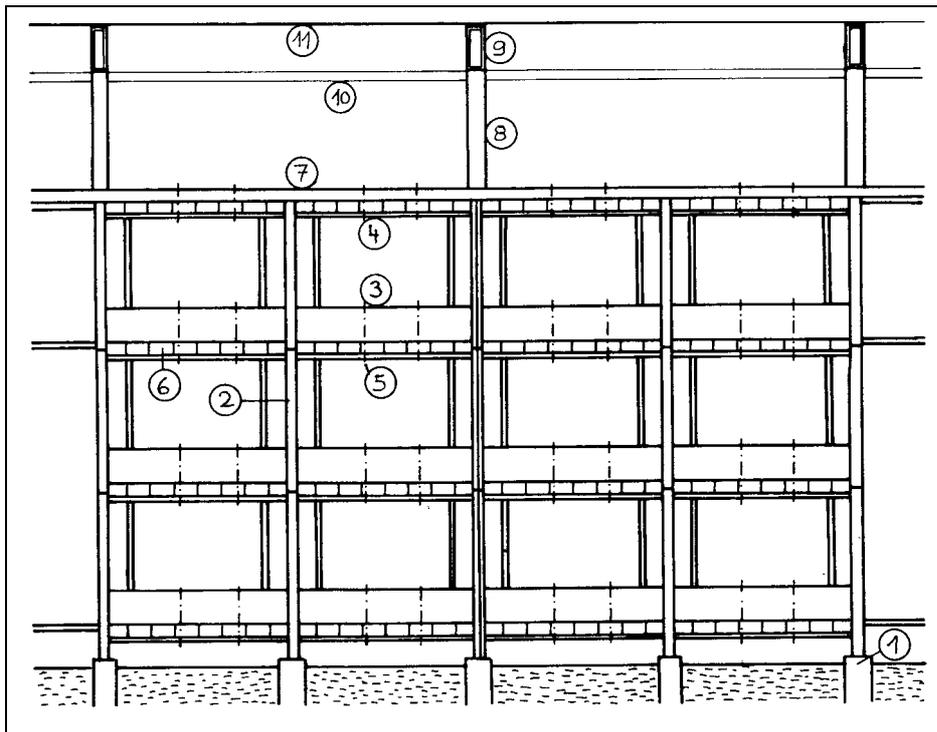


Abb. 6 Schematische Aussenwandansicht

- |         |  |                                    |
|---------|--|------------------------------------|
| Legende | 1 Betonstütze/Pfahl                        | 7 liegender Brettschichtholzträger |
|         | 2 Stützen mit Stirnholzstoss               | 8 eingespannte Hohlkastenstütze    |
|         | 3 Brettschichtholzträger als Brüstung      | 9 Dachbinder (Hohlkasten)          |
|         | 4 Sturzbalken                              | 10 Attikadecke                     |
|         | 5 Gewindestangen zur Sturzbalkenaufhängung | 11 Dach                            |
|         | 6 Bodenkonstruktion                        |                                    |

### 5.3.2 Balkonwände

Die Balkonwände weisen als selbsttragende Elemente eine Spannweite von 8.40m auf. Die nicht mögliche Kippstabilisierung und der daraus resultierende Kippfaktor von ca. 0,2 sowie das gewünschte Fenster haben keine Lösung mit einem Brettschichtholzträger zugelassen. Der Einsatz einer 69mm starken und raumhohen Scheibe aus Furnierschichtholz weist ein so grosser EI-Wert auf, dass die Verformungen sehr klein sind. Die Scheibe wird durch das jeweils erste Bodenelement am unteren und oberen Rand gegen Ausknicken und durch aufgeleimte Ständer gegen Ausbeulen gehalten. Die verstärkte Untergurte aus Brettschichtholz ermöglicht es, den gewünschten Fensterausschnitt in der Scheibe vorzunehmen.

Die hohe Tragfähigkeit dieser Scheibe ermöglicht es, die oberen zwei Balkonwände als einfache Ständerkonstruktion kostengünstig auszuführen.

### 5.3.3. Innenwände

Die Innenwände können auf ihrer ganzen Länge auf den Beton des Untergeschosses abgestellt werden. Sie bestehen aus Elementen der gleichen Grösse wie die Aussenwände. Die vertikale Lastabtragung wird durch eine herkömmliche Ständerkonstruktion mit Stützen, Schwellen und Einbindern erfüllt, die aus brandschutztechnischen Gründen mit einer zementgebundenen Spanplatte beplankt ist. Die Hauptstützen, durch die Dachbinder belastet, sind wie bei den Aussenwänden mit Stirnholzstössen ausgeführt. Somit kann ein analoges Setzungsverhalten erreicht werden. Die Innenwände erfüllen keine stabilisierenden Aufgaben. Sie sind mit Stahlwinkeln an den Betondecken befestigt. Die gleichen Stahlwinkel leiten die Windsog- und -Druckkräfte der Aussenwand (über die Bodenelemente verbunden) an den Beton ab.

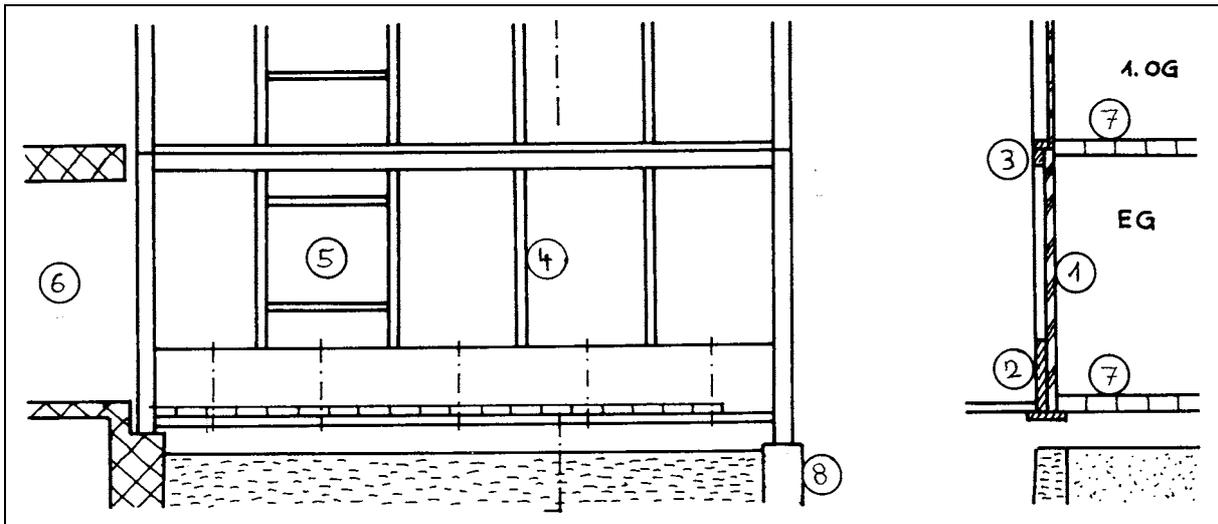


Abb. 7 Ansicht /Schnitt Balkonwand im Erdgeschoss

|         |                            |                          |
|---------|----------------------------|--------------------------|
| Legende | 1 Furnierschichtholzplatte | 5 Fenster                |
|         | 2 Untergurte               | 6 Massivteil in Beton    |
|         | 3 Obergurte                | 7 Bodenelemente          |
|         | 4 aufgeleimte Ständer      | 8 Betonstütze (Auflager) |

### 5.3.4. Kopfteil

Der Kopfteil auf der Nordseite des Gebäudes unterscheidet sich durch drei wesentliche Merkmale von den Zellen. Durch die Nutzung als Foyer und Saal sind die Decken höher angeordnet. Das Foyer weist die dreifache, der Saal die zweifache Raumhöhe der Zellen auf. Der fehlende Massivteil in der Gebäudemitte bedingt, dass sich der Holzbau selber stabilisieren muss. Als weiteres wesentliches Unterscheidungsmerkmal muss erwähnt werden, dass sich der Kopfteil über die gesamte Gebäudebreite erstreckt. Das hatte zur Folge, dass die Bodenkonstruktionen mit den grösseren Spannweiten und Belastungen als Durchlaufträger konzipiert werden musste. Die Ost- und Westwände mit den aufgehängten Bodenelementen wurden ausser einer stärkeren Brettschichtkonstruktion wie bei den Zellen belassen. Die Elemente weisen jedoch Grössen bis zu 4.80m x 10.50m auf. Die Stirnwände des Gebäudes auf der Nordseite verfügen analog wie bei den Balkonwänden über keine Zwischenaufleger. Die innere, vollflächige Beplankung ist mit den Stützen verleimt und bildet so ein vertikales Tragelement. Eine dem Querkraftverlauf entsprechende Verbindung der Elemente untereinander setzt sie zu einer tragenden Scheibe zusammen.

Im Entwurf hat der Ersatz des Massivteils mit einer Holztragkonstruktion am meisten Kopfzerbrechen verursacht. Die teilweise selbst auferlegten Bedingungen sahen folgendermassen aus:

- Schnelle Montage → wenige Abspriessungen infolge Wind, weil sofort weitergebaut werden kann; einfacher Witterungsschutz
- Hoher Montagekomfort → Verzicht auf Hilfskonstruktionen, Abspannungen, Gerüste; grosse Arbeitssicherheit
- Grosse, einteilige Elemente → viele Anschlüsse beeinflussen das Verformungsverhalten negativ
- Reaktionsmöglichkeiten auf unvermeidliche Bautoleranzen
- Kostengünstige Lösung

Der ursprüngliche Gedanke bestand darin, dass die vertikal vorgegebenen Stützen an einem Stück sein müssen, um das optimale Knickverhalten auszunützen. Aufgrund der komplizierten Montage der Stützen und der dazwischenliegenden, durchlaufenden Böden wurde diese Lösung aber verworfen.

Das ausgeführte Tragwerk besteht aus drei liegenden C-Trägern (Brettschichtholzgurten und aufgeleimte Furnierschichtholzplatten in einer Länge), die auf der Höhe jeder Betondecke angeordnet sind. Sie gewährleisten mit ihrer statischen Breite von 4.20m bei einer Spannweite von 20m kleine Verformungen und bieten bei der Montage eine grosszügige Arbeitsplattform. Die Brettschichtholzgurten dienen zusätzlich als Bodenaufleger. Die Stützen weisen nur noch eine Länge von 3.50m auf. Sie sind bei jedem C-Träger mit einem Stirnholzstoss zusammengeschlossen, der das seitliche Ausknicken des Stützenkopfes verhindert. Der C-Träger ist auf der einen Seite an der Betondeckenstirne befestigt und leitet so seine horizontalen Reaktionen an den Massivbau ab. Diese Stirne wurde kurz vor der Holzbaumontage eingemessen und die Furnierschichtholzplatte auf die effektive Geometrie (Länge und Winkel) zugeschnitten. In der Nordfassade werden die Reaktionen an ein vertikales Fachwerk abgegeben. Die zwei Fachwerksfüsse sind zug- und druckfest im Beton verankert. Für die Montage des Fachwerkes, der C-Träger und der anliegenden Wandelemente konnte dank der Einspannung in zwei Richtungen auf sämtliche provisorische Stabilisierungen verzichtet werden.

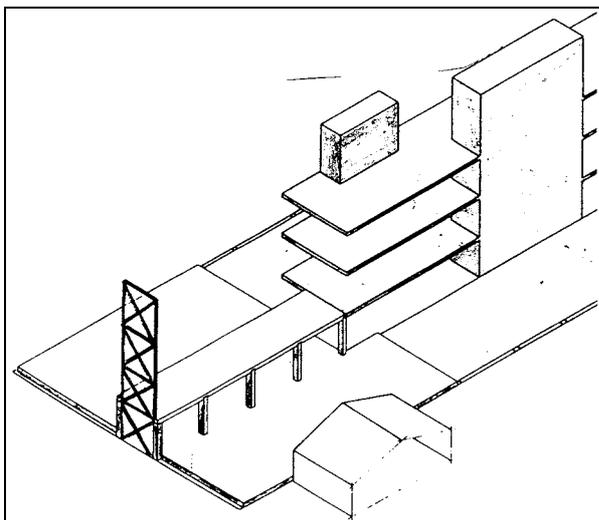


Abb. 8 Tragstruktur des Kopfteils mit dem Fachwerk und dem untersten C-Träger

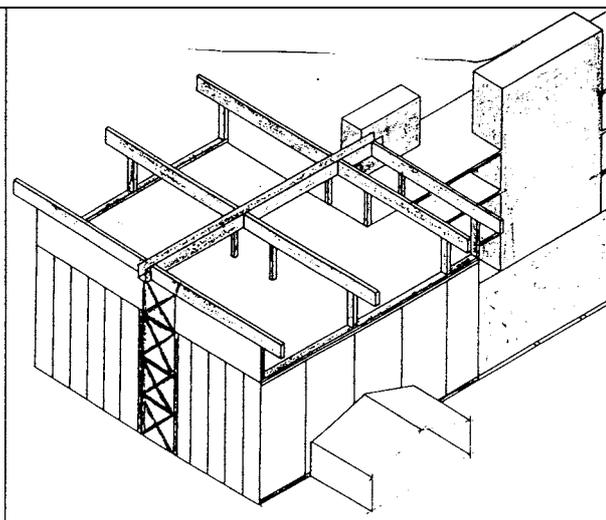


Abb. 9 Kopfteil mit der Dachkonstruktion

### 5.3.5 Böden

An die Bodentragkonstruktion werden hohe ästhetische, akustische, schalldämmende und brandschutztechnische Anforderungen gestellt.

Mit der Erteilung eines Studienauftrages an zehn Holzbauunternehmungen konnte eine Standortbestimmung von möglichen Konstruktionen vorgenommen werden. Aus den interessanten Vorschlägen wurden die Lignatur-Hohlkastenelemente der Firma Blumer AG, Waldstatt, ausgewählt. Mit den anschliessenden Modifizierungen und dem Brandtest wurde das System für seinen optimalen Einsatz am Lehrgebäude angepasst. Das Vorhandensein eines konkreten Bodentragwerkes hat die weitere Planung befähigt, den Entwurf der Wand-Tragkonstruktion und der Anschlussdetails weiterzubearbeiten.



Abb. 10 Fachwerk mit zwei montierten C-Trägern

Die aus sechs horizontalen Lamellen und vier Stegen zusammengeleimten, 3-zelligen Hohlkasten weisen eine Spannweite von 8.50m eine Höhe von 32cm auf. Als Besonderheit sind im Randbereich die unteren horizontalen Lamellen auf einer Länge von 1,20m herausgeschnitten. Die so entstehenden Hohlräume verbessern die Raumakustik so gut, dass auf weitere Massnahmen an den Wänden verzichtet werden kann. Die Tragfähigkeit musste infolge der Ausschnitte keine grosse Abstriche in Kauf nehmen. Demgegenüber wurde die aus dem Brandschutz erforderliche Bedingung F30bb stark betroffen. Aus diesem Grund wurde der Abbrandquerschnitt des Hohlkastenelementes rechnerisch bestimmt. In einem Brandtest wurden die Resultate bestätigt.

Die Bodenelemente im Erdgeschoss sind mit einer Holzfaserdämmung ausgefüllt. Alle Elemente in den oberen Geschossen sind hohl. Die Unterseite wird sichtbar belassen. Die 12cm breiten Fugen zwischen den Elementen strukturieren die ebene Fläche. Sie ermöglichen es auch, die Sprinklerleitung oberhalb der Deckenunterkante zu installieren und nur die Sprinklerköpfe in den Raum vorstehen zu lassen. Die Trittschalldämmung des Bodens wird durch einen mehrschichtigen Aufbau erreicht. Die Lignaturelemente werden mit einer Kunststoffolie abgedeckt und an den Rändern hochgezogen. Somit entsteht eine Wanne, die bei einem Sprinklereinsatz eine gewisse Wassermenge zurückhalten kann. Eine 6cm starke Kiessplittschicht bringt Masse in den Bodenaufbau. Diese Schicht wurde in der Mitte um die erwartete Verformung überhöht. Eine 20mm starke Trittschalldämmung aus Mineralfaser trägt eine 30mm starke Spanplatte. Der Steinholzboden mit einer Stärke von 3cm wurde

direkt auf die Spanplatte gegossen und bildet als einzige nichthölzige Oberfläche im Raum einen Kontrast zu den Wänden und der Decke.

Es hat sich gezeigt, dass eine hohe Masse für den Trittschall eine Verbesserung, für das Schwingungsverhalten aber eine Verschlechterung bringt. Um diese zwei Widersprüche optimal aufeinander abzustimmen, sind im Holzbau noch einige Anstrengungen erforderlich.

Im Kopfteil werden die Lignaturelemente als Dreifeldträger mit Spannweiten von 8.40m - 4.20m - 10.50m eingesetzt. Die aus der Produktion maximal vorgegebene Höhe von 32cm und Länge von 16m der Elemente erforderte die Ausbildung eines Gelenkes im Momentennullpunkt, damit die geforderte Verformung eingehalten werden kann.

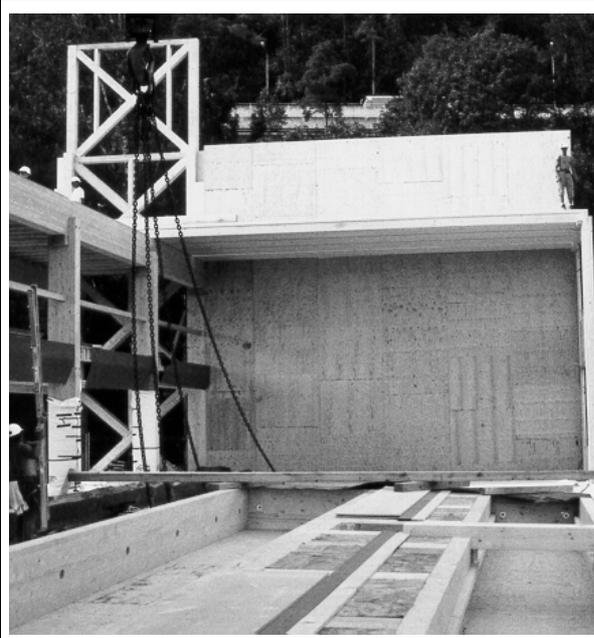


Abb. 11 Lignatur-Bodenelemente im Kopfteil



Abb. 12 Ausgeschnit. Lamellen im Randbereich (Zellen)

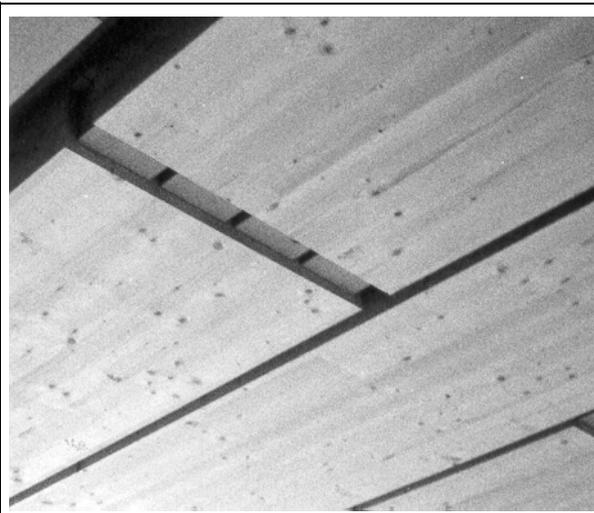


Abb. 13 Gelenk von unten mit sichtbarem Zapfen

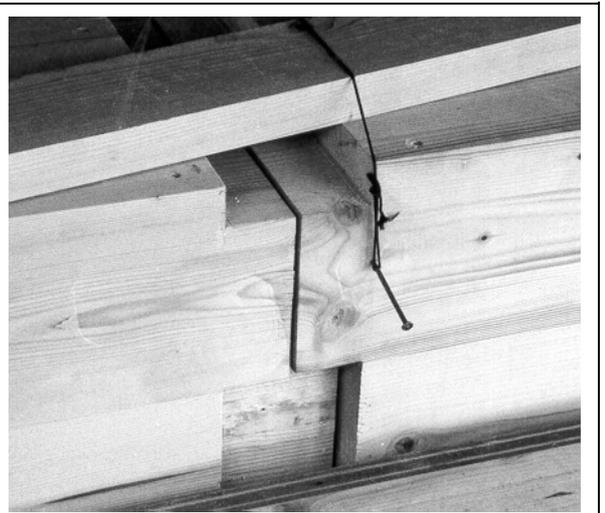


Abb. 14 Gelenk von der Seite

Zusätzlich wurden für diese weitgespannten Elemente Lamellen mit einem E-Modul von  $14'000 \text{ N/mm}^2$  aussortiert. Die grosse Gesamtmenge an Lamellen ergab eine genügende Ausbeute, so das keine zusätzlichen Lamellen eingekauft werden mussten und keine Restsortimente anfielen.

Der Architektenwunsch nach dem "sichtbar-werden-lassen" des Hohlkastens im Gelenk durch einen eingesetzten Zapfen, die Anforderung der Gebäudeversicherung nach einem rauchdichten Anschluss in horizontaler und vertikaler Richtung und die Gewährleistung der Tragfunktion haben sich am Anfang widersprochen. Die Ausbildung des Gelenkes mit einem geraden Blatt an eingeleimten Zapfen und den weggefrästen Lamellen in der unteren Kastenhälfte erlaubten es, die obigen Widersprüche und eine einfache Produktion unter einen Hut zu bringen.

#### 5.3.6 Dachkonstruktion / Attikageschoss

Das Attikageschoss erstreckt sich über die Zellen, die Balkone, den Massiv- und den Kopfteil und weist überall eine identische Konstruktion auf. Die Dachbinder im Abstand von bis zu 9,60m bestehen aus einer Brettschichtholzunter- und -Obergurte. Die beidseitig aufgeleimten 35mm starken Dreischichtplatten verleihen dem Hohlkasten sein wuchtiges Aussehen. Gelagert sind die Binder innenseitig auf einer Pendel-, aussenseitig auf einer eingespannten Hohlkastenstütze (Abb. 2). Der dadurch entstehende Halbrahmen trägt einen Teil zur Querstabilisierung des Attikageschosses bei. Der restliche Teil wird durch die Scheibenwirkung der sekundären Dachtragkonstruktion (Lignatur-Hohlkastenelemente) an die Betonkerne abgeleitet. Zimmermannsmässige, druck- und zugfest angeschlossene Windverbände gewährleisten in Zusammenarbeit mit den Betonkernen die Längsstabilität des Attikageschosses.

Die Tragkonstruktion für die Deckenverkleidung und Dämmung besteht aus einer Balkenlage parallel zu den Bindern. Sie ist indirekt über einen Querträger an den Bindern aufgehängt. Der zwischen Decke und Dach entstehende Hohlraum (Aussenklima) verbessert mit seinem stehenden "Luftpolster" den sommerlichen Wärmeschutz für das Attikageschoss.

## 6. Montage

Der Montagevorgang wurde bereits in der Planung einigen Grundsätzen unterworfen, die sich im Rückblick bestätigt haben. Der Witterungsschutz avancierte aufgrund der grossen Anzahl an sichtbaren Bauteilen (Bodenelemente) zum wichtigsten Montagegrundsatz:

"Abschluss der Montage einer Zelle vom EG-Boden bis und mit Unterdach, bevor die nächste Zelle in Angriff genommen wird". Mit dieser Strategie boten sich verschiedene Vorteile an:

- Der Witterungsschutz musste wiederverwendbar und dafür nicht auf die gesamte Gebäudegrundfläche ausgelegt werden. D.h. es können gute (auch aufwendigere) Witterungsschutzelemente erstellt werden. Dadurch konnte ein Abdecken mit Blachen, deren Einsatz bei grossen Flächen sowieso kritisch ist, vermieden werden. Im weiteren beschränkt sich ein möglicher Schaden bei einem Versagen des Witterungsschutzes maximal auf ca. 1/8 des Gesamtgebäudes
- Das Montagepersonal befindet sich in einem örtlich beschränkten Raum und ist darum effizienter zu führen. Die Verschiebung von Montagehilfsmaterialien (Werkzeuge, Hebebühnen, Vormontageeinrichtungen, etc.) konnte minimiert werden
- Die Montage der Fassade und Fenster konnte in einem Zeitabstand von ca. zwei Wochen in Angriff genommen werden, ohne dass die Sicherheit der Personen durch die Rohbaumontage beeinträchtigt wurde



Abb. 15 Fertig montierter Kopfteil vom EG-Boden bis zum Unterdach

Ein weiterer Grundsatz bestand darin, die Montage einer Zelle in möglichst kurzer Zeit abzuschliessen. Aus diesem Grund wurden viele Abschlussarbeiten wie Nachdämmen von Elementfugen, Montage der Decke im Attikageschoss, etc. so geplant, dass sie später ausgeführt werden konnten. Dies ist insofern wichtig, damit die Montageequipe (15 Personen) auch während Gewittern und Regentagen vor Ort beschäftigt und nicht auf andere Baustellen verlegt werden musste. Für alle mit dem Rohbau auszuführenden anderen Arbeiten (Sprinkler) wurden die Optionen der Nachmontage eingeplant, damit für den Holzbau diesbezüglich keine Zeitabhängigkeit entstehen konnte.

Eine für den Holzbau ungewöhnliche Voraussetzung wurde durch den Einsatz von Hebebühnen und dem Verzicht auf ein Fassadengerüst gestellt. Die Nachteile eines Fassadengerüsts bestanden in:

- Grosse Kosten durch eine lange Einsatzdauer
- Verfärbungen der Holzfassade auf der Höhe der Gerüstböden durch Spritzwasser
- Verhinderter Einsatz von Kranen für die Montage der Fassadenelemente und Fensterscheiben
- Zeitabhängigkeit und Verzögerungen des Holzbaus durch das Stellen des Gerüsts

Die Art der Hebebühnen konnte den jeweiligen Anwendungen angepasst werden. So wurden für die Montage der Tragkonstruktion selbstfahrende Hebebühnen mit grossen Reichweiten und kleinen Nutzlasten (nur zum Anbringen von Verbindungsmitteln erforderlich) eingesetzt. Für die Montage der Fassadenelemente wurde eine Scherenbühne mit einer 5m langen Plattform und grossen Nutzlasten als Montagegerät eingesetzt. Unterstützt wurde diese Montage durch einen selbstfahrenden Raupenkran.

Für eine optimale Arbeitssicherheit während der Montage wurde ein Konzept erstellt und mit einem Inspektor der SUVA besprochen. Für einige Massnahmen wurde eine Sondergenehmigung erteilt und so konnte der Versicherungsschutz vollumfänglich garantiert werden. Die Durchsetzung der Sicherheitsmassnahmen war nicht immer ganz einfach, doch mussten die angedrohten restriktiven Massnahmen nie angewandt werden.

Sowohl die beteiligten Kadermitglieder aller beteiligten Holzbauunternehmungen als auch das Montage- und Produktionspersonal wurden vor Beginn der Arbeiten umfassend durch eine Einführung vorbereitet. Das Ziel der Einführung bestand darin, ein Gesamtverständnis für die Gebäudestruktur, die Konstruktion, die Produktion und die Montage bei allen Beteiligten zu wecken und ein dementsprechendes Verhalten zu fördern. Dieses Vorgehen hat sich im nachhinein als absolut richtig bestätigt, weil die Mitarbeiter ihren Beitrag zur Erreichung eines übergeordneten Zieles (optimale Ausführung des Auftrages) als nur dasjenige ihrer Arbeit erkannten.

Die Montage wurde mit dem Kopfteil begonnen. Die "Unverbrauchtheit" des Montagepersonals konnte so für den schwierigsten Bauabschnitt genutzt werden.

Vor dem Einmessen der Stützenschuhe wurde eine Aufnahme der Betonkonstruktion mit dem Geometer erstellt. Aus diesen Aufzeichnungen wurden die Achsen und Koten für den Holzbau neu definiert. Diese Arbeit wurde dadurch erforderlich, weil der Holzbau auf vier Seiten mit der Betonkonstruktion in Verbindung tritt und nachträgliche Anpassungen nur schwierig zu verwirklichen gewesen wären. Grosse Beachtung wurde den Vormontagen wie dem Einbetonieren der Stützenfüsse und dem Setzen der Schwellen geschenkt. Als vorgezogene und teilweise auch undankbare Aufgaben müssen sie speziell bei hohen Gebäuden mit höchster Präzision ausgeführt werden, damit bei der Montage der Tragkonstruktion keine Komplikationen auftreten.

## 7. Devisierung und Unternehmergespräche

Die Ausschreibung wurde sehr detailliert erstellt und mit verschiedenen Beschrieben und Plänen ergänzt, damit die Unternehmer ihre Arbeiten möglichst genau erfassen und das finanzielle Risiko einschätzen konnten. Die Strukturierung der gesamten Ausschreibung sorgte dafür, dass kein Unternehmer irrtümlich wichtige Angaben übersehen konnte.

Mit dem Einverständnis der Bauherrschaft wurden nach der Offerteingabe Unternehmergespräche geführt. Der Zweck bestand darin herauszufinden, welche Unternehmer

- die Grösse des Gebäudes mit der erforderlichen Logistik
  - die zentrale Rolle des Witterungsschutzes
  - den Sinn des in groben Zügen vorgegebenen Montageablaufes
- richtig erfasst hatten.

Mit dem aus diesen Gesprächen mit 20 Fachleuten zusammengestellten Fragenkatalog beurteilten wir den an erster Stelle stehenden Unternehmer ein zweites Mal. Auf diese Weise konnte im Sinne einer seriösen Einschätzung des Unternehmers sehr viele mögliche Problemstellen vor der Vergabe geklärt werden. Die Ausführungsplanung wurde anschliessend auf den Unternehmer abgestimmt weitergeführt. Diese Gespräche wurden von den Unternehmern positiv aufgenommen, obwohl sie neben der Offerte einen zusätzlichen Aufwand bedeuteten.

## 8. Schlussbetrachtungen

Die untenstehenden Gedanken sollen meine persönlichen Erfahrungen darlegen. Meine am Anfang der Arbeit formulierten Zielsetzungen

- Erfüllung des Ingenieurauftrages im Sinne des Bauherrn
  - Unterstützung des Architekten im Entwurf und des Unternehmers in der Arbeitsvorbereitung und Ausführung
  - Arbeitssicherheitsbewusstes Denken und Handeln bei allen Beteiligten fördern
  - Offene und ehrliche Kommunikation praktizieren
  - die Uebersicht bis ins Detail von A bis Z behalten
  - alle möglichen Schwachstellen vor ihrem Auftreten erkennen und nicht entstehen lassen
- haben gezeigt, dass sie nicht falsch waren und sich ebenso als Leitplanke zur Zielerreichung einsetzen liessen.

Die Ausführungsplanung der Tragkonstruktion verursachte keine “unlösbare“ Probleme . Es hat sich aber deutlich gezeigt, dass die Fachplaner (auch gegen ihren Willen) frühzeitig eine definitive Ausführungsplanung erstellen müssen. Der Endtermin für diese Angaben ist dem Endtermin der Holzbauplanung und nicht dem Installationsbeginn gleichzusetzen.

Ein grosses Dilemma besteht immer in der Materialwahl. Mit dem Einsatz eines konkurrenzlosen Produktes können die Materialkennzahlen bestimmt werden, doch ist damit auch ein direkter Lieferauftrag verbunden. Der Umstand des somit fehlenden Konkurrenzpreises muss dem Bauherrn bekannt sein, damit später nicht auf Unternehmervarianten eingegangen und die Planung nochmals wiederholt werden muss.

Eine gezielte und umfassende Einführung des Unternehmers und seiner Hauptlieferanten haben dazu geführt, dass praktisch alle Startschwierigkeiten in jeder Ausführungsphase sehr klein waren. Durch häufige Kontrollen der Arbeiten konnte der Unternehmer wirksam unterstützt und allfällige Unklarheiten vor Ort direkt geklärt werden. Auf diese Weise war es mir möglich, stets auf dem aktuellen Stand der Ausführung zu sein und die oben angesprochene Schwachstellenanalyse ständig weiterzuführen.

Die gleichen Ansichten des Unternehmers, der Bauleitung und mir bezüglich Arbeitssicherheit haben stark dazu beigetragen, dass auch diese Zielsetzung mit grossem Erfolg umgesetzt werden konnte.

Eine sehr offen geführte Kommunikation hat dazu beigetragen, dass fast keine Missverständnisse aufgetreten sind. Die gemeinsam Devise “Diese Bauaufgabe lösen wir voraus im Kopf und nicht mit den Händen auf der Baustelle“ hat sich vollauf bewahrheitet und ist wärmstens weiterzuempfehlen.

## 9. Am Bau Beteiligte

|            |  |
|------------|--|
| Bauherr    | Hochbauamt des Kt. Bern, Reiterstrasse 11, 3011 Bern   |
| Architekt  | Markus Meili und Markus Peter, Heinrichstrasse 255, 8005 Zürich                                  |
| Bauleitung | Beat H. Huggler, Militärstrasse 5, 3600 Thun und<br>Gody Hoffmann, Muesmattstrasse 39, 3012 Bern |
| Ingenieur  | Branger, Conzett & Partner AG, Herrengasse 6, 7000 Chur  |
| Holzbau    | Bieler ARGE SISH, ppa Schertenleib & Lüdi AG, Lerchenweg 2, 2552 Orpund                          |