

## Erdbebengerecht, leicht und spielerisch

### Bauherrschaft

Stadt Neuenburg, Abteilung Stadtplanung

### Architekt

Andrea Bassi, Genf

### Tragwerksingenieur

Ingeni SA, Genf

### Baujahr

2005



Situationsplan M 1:2500

**Das Schulhaus Maladière in Neuenburg ist ein herausragendes Beispiel erdbebensicherer Bauweise in Stahl. Die tragende Gebäudehülle ist gleichzeitig eine erdbebensichere Rahmen-Struktur und ermöglicht grösste Gestaltungsfreiheit sowohl für die Fassade als auch im Innern. Der folgende Artikel geht detailliert auf die Erdbebenbemessung und Konstruktion dieses Bauwerks ein.**

Die Lage des Schulhauses im Park eines ehemaligen Friedhofes ist exquisit. Das Volumen geht deshalb durch eine differenzierte kubische Komposition auf die Vorzüge der Umgebung ein. Einmal bietet es durch einen Rücksprung des Sockelgeschosses einen grosszügigen, gedeckten Vorplatz für den Eingangsbereich, während im Obergeschoss eine Terrasse mit Weitblick entsteht. Das strenge Fassadenraster mit grosszügigen, quadratischen Öffnungen entspricht der tragenden Gebäudestruktur und bietet gleichzeitig den Rahmen für eine verspielte, farbige Flächengestaltung. Durch Stapelung der Räume über vier Geschosse bleibt viel von der Grundstücksfläche unverbaut. (siehe Dokumentation in Steeldoc 05/09).

Die Räume gruppieren sich um eine einzige offene Treppe. Die Turnhalle, der Kindergarten, der Mehrzwecksaal und die Hauswartwohnung sind in den unteren Geschossen untergebracht und verfügen über eigene Eingänge. Die Klassenzimmer befinden sich in den Obergeschossen. Die Erschliessung über einen zentralen Korridor und die versetzte Gliederung im Grundriss eröffnen unterschiedliche Ausblicke. Materialisierung und Farbgebung der vorgefertigten, glasfaserverstärkten Fassadenpaneele sollen die Schule zu einem spielerischen Objekt werden lassen.

### Generelles Tragwerkskonzept

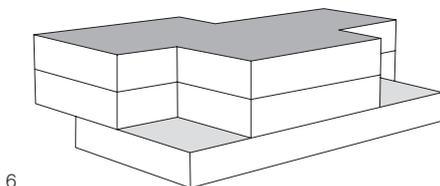
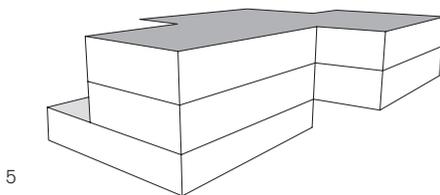
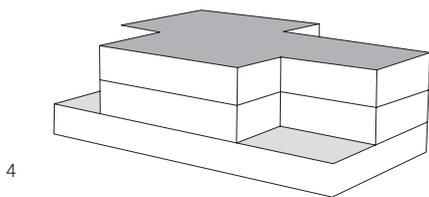
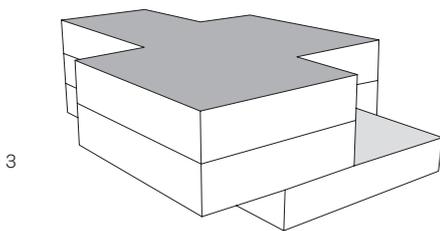
Über dem steifen Sockel der unterirdischen Geschosse erhebt sich das 5-geschossige Volumen aus einer Stahl-Beton-Verbundkonstruktion. Mit diesem von Ingenieur und Architekt gemeinsam gewählten Konzept konnten die Potenziale der beiden Materialien sinnvoll genutzt werden. Dank dieser leichten Kon-

struktion über dem Terrain konnten die Lasten reduziert werden, die von den von Geschoss zu Geschoss versetzten Tragelementen aufgenommen werden müssen. Die Stahl-Beton Verbundkonstruktion der Geschossdecken, deren gesamtes Eigengewicht einer 16 cm starken Betonplatte entspricht, erleichterte das Aufnehmen der Auskragung, der Decke über der Turnhalle sowie das Ableiten anderer indirekten Lasten zwischen den Tragelementen des Erdgeschosses und des 1. Obergeschosses. Diese Lösung erwies sich auch bezüglich der Erdbebenbemessung als sinnvoll, dank der verminderten Erdbebeneinwirkung aufgrund der geringeren Masse.





2



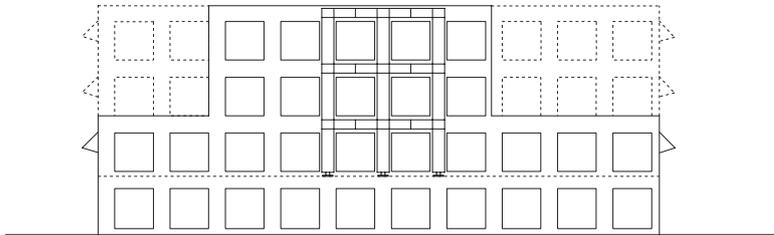
### Konzept der Erdbebensicherheit

Zwar liessen sich mit der Wahl einer leichten Tragstruktur die Beanspruchungen reduzieren, die durch Erdbebeneinwirkung (horizontal und vertikal) und Gravitation (vertikal) ausgelöst werden, damit allein waren aber diese beiden Hauptprobleme noch nicht gelöst. Das heisst, es musste ein Tragsystem gefunden werden, das die horizontalen Kräfte (Wind und Erdbeben) sowie die Auskragung aufnehmen kann ohne die architektonischen Qualitäten zu beeinträchtigen.

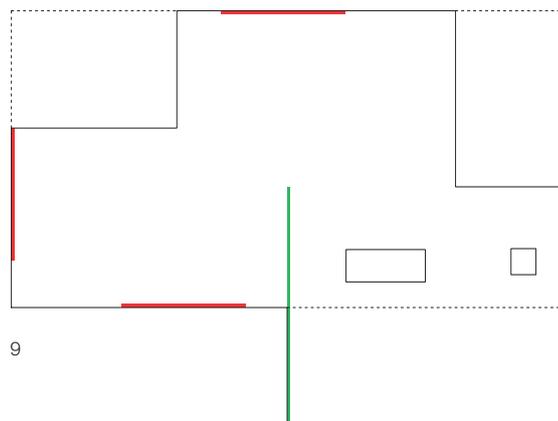
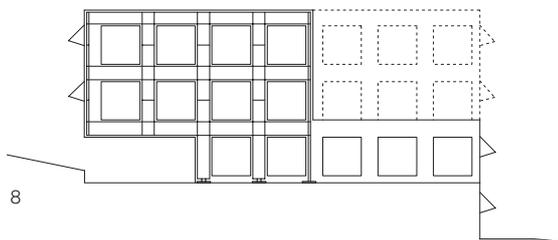
Von den diversen untersuchten Varianten wäre vermutlich ein Fachwerk am effizientesten gewesen für die Aufnahme der Auskragung. Die sichtbaren Diagonalen hinter den verglasten Partien hätten aber das Fassadenbild zerstört. Auch eine horizontale Aussteifung durch tragende Betontrennwände oder durch eine in die Innenwände integrierte Fachwerkkonstruktion wurde schnell verworfen, wegen der ungenügenden vertikalen Kontinuität, die sich aus der inneren Raumdisposition ergab.

Die Lösung, mit der beide Probleme gelöst werden konnten, bestand deshalb in einem System aus Stahlrahmen mit steifen Ecken (Vierendeel). Diese in die Fassaden integrierten Elemente ermöglichen das Aufnehmen der Auskragung und garantieren die horizontale Stabilität des Gebäudes. Gleichzeitig bleibt damit die Identität der Fassaden gewährt, und die Innenräume bleiben frei von jeglichen andern aussteifenden Elementen. Interessant ist dabei, dass sich hier das Tragwerk den durch die Fassaden vorgegebenen nicht transparenten Partien angepasst hat, und nicht umgekehrt.

- 1/2 Die Stahlrahmen übernehmen das prägnante Raster der Fassaden.
- 3-6 Das Volumen über Terrain



Rahmensystem zur horizontalen  
Stabilisierung und für die  
Kragarmkräfte M 1:500  
7 Westfassade  
8 Nordfassade  
9 Rahmensystem zur horizon-  
talen Stabilisierung und für  
die Kragarmkräfte



### Duktilitätskonzept, dissipatives Tragwerk

Erdbebeneinwirkung heisst, die Tragstruktur ist Bewegungen ausgesetzt, die sich aus horizontalen und vertikalen Komponenten zusammensetzen. Wegen des zyklischen und dynamischen Charakters dieser Bewegungen hängt der Beanspruchungsgrad durch Erdbebeneinwirkung vor allem von der Antwort der Tragstruktur ab, das heisst, von Ihrer Steifigkeit in horizontaler sowie in vertikaler Richtung. Eine Tragstruktur, die während eines Erdbebens im plastischen Bereich eine Verformung zulässt, wird «dissipativ» oder «duktil» genannt. Dank dieser Eigenheit können solche Tragstrukturen mit ihrem duktilen Verhalten über plastische Verformungen einen Teil der auf das Gebäude einwirkenden Energie dissipieren.

Die Überfestigkeit sowie der günstige Effekt, der entsteht, wenn ein Tragwerk die in Form von plastischen Verformungen zugeführte Energie dissipieren kann, werden in der SIA-Norm 263 in Form eines globalen

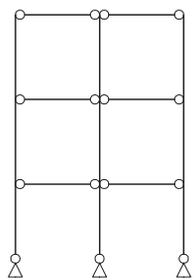
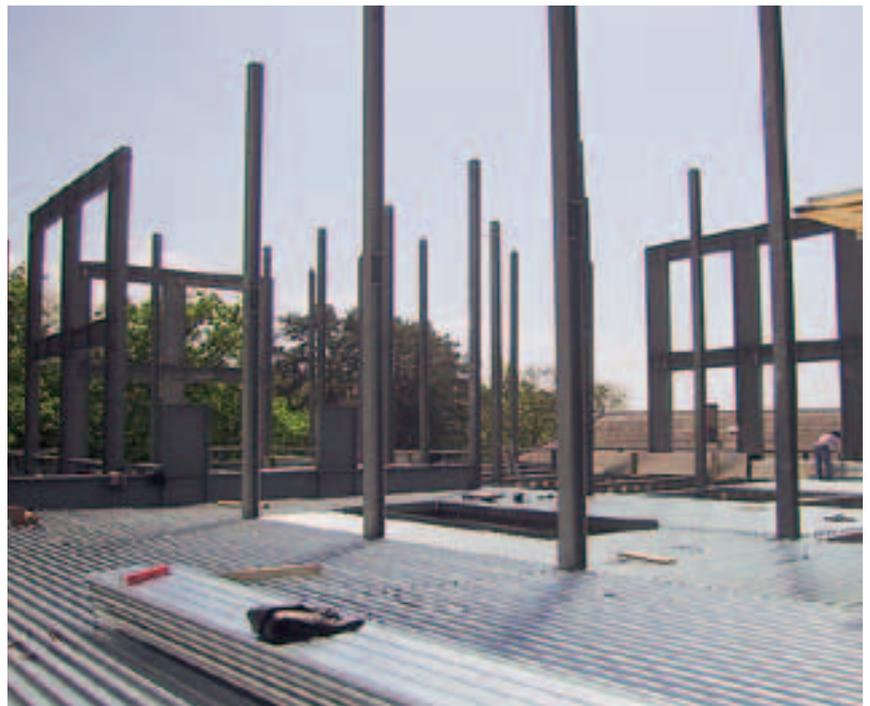
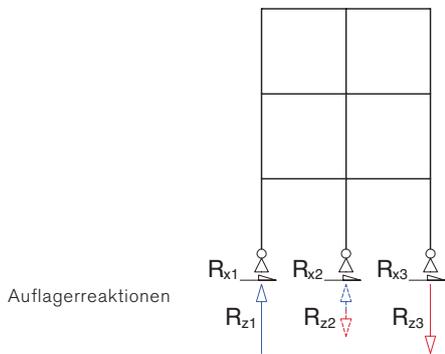
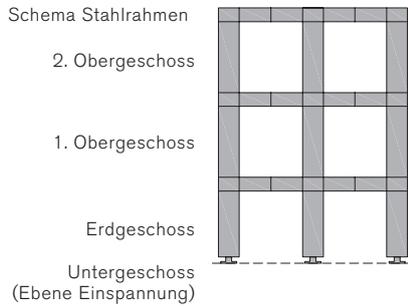
Faktors für die Reduktion des Widerstands, dem Verhaltensbeiwert  $q$ , berücksichtigt. Je besser die Tragstruktur die Energie in Form von plastischen Verformungen dissipieren kann, desto höher ist der Verhaltensbeiwert. Der Verhaltensbeiwert  $q$  kommt im Bemessungsspektrum zur Anwendung, um die elastische Erdbebenersatzkraft und damit die Kräfte in der Tragstruktur zu reduzieren. Es muss auch darauf verwiesen werden, dass die auf dem Bemessungsspektrum basierenden Verschiebungen der Tragstruktur, reduziert um den Verhaltensbeiwert, dem elastischen Teil der realen elasto-plastischen Verschiebung entsprechen. Die Definition der Verhaltensbeiwerte basiert auf der Hypothese identischer Verschiebungen in der realen (elastoplastischen) Tragstruktur und in der elastischen Referenzstruktur. So errechnen sich die «effektiven» Verschiebungen entsprechend der Erdbebeneinwirkung, indem die durch das reduzierte Bemessungsspektrum erhaltenen Verschiebungen mit dem Verhaltensbeiwert multipliziert werden.

Um eine ausreichende Duktilität der Tragelemente zu gewährleisten, wichtigste Bedingung für jegliches «dissipative» Tragwerk, legt die SIA Norm 263 zusätzliche Anforderungen fest (siehe Kasten).

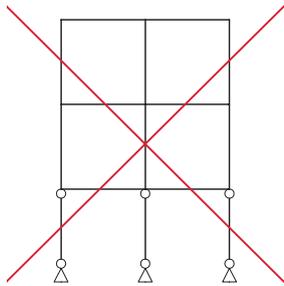
### Bemessungsfaktoren

Erdbebenzone	Z1 (Neuenburg)	$a_{dg} = 0.6 \text{ m/s}^2$
Bauwerksklasse:	COII	$\gamma_f = 1.2$
Baugrundklasse	A (felsiger Untergrund)	
Verhaltensbeiwert (horizontale Einwirkung)	$q = 4$	
Verhaltensbeiwert (vertikale Einwirkung)	$q = 1,5$	

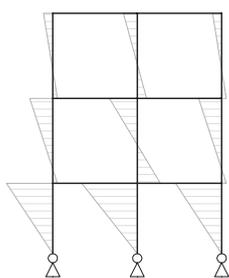
Die Überprüfung der vertikalen Komponente der Erdbebeneinwirkung ist in speziellen Fällen notwendig wie bei Auskragungen, Systemen mit grossen Spannweiten oder bei Trägern, auf denen Stützen aufliegen. In diesem Fall schreibt die SIA Norm 261 im Artikel 16.2.4.2 vor, dass der Verhaltensbeiwert  $q$  mit 1.5 einzusetzen ist, das heisst, einem nicht-duktilen Verhalten entspricht, und dass die Werte des Bemessungsspektrums mit dem Faktor 0,7 multipliziert werden müssen. (MB)



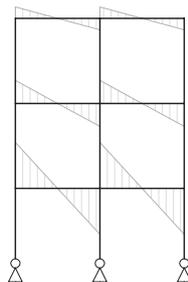
Richtiger plastischer Mechanismus für duktiles Verhalten



Falscher plastischer Mechanismus für duktiles Verhalten



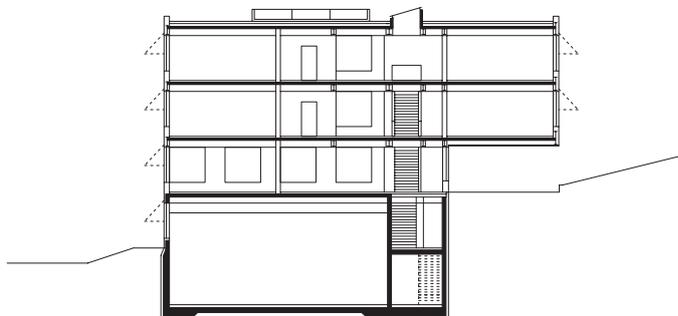
Biegemomente Stützen



Biegemomente Träger

Eigenfrequenzen und Eigenperiode der Struktur (Model 3D)

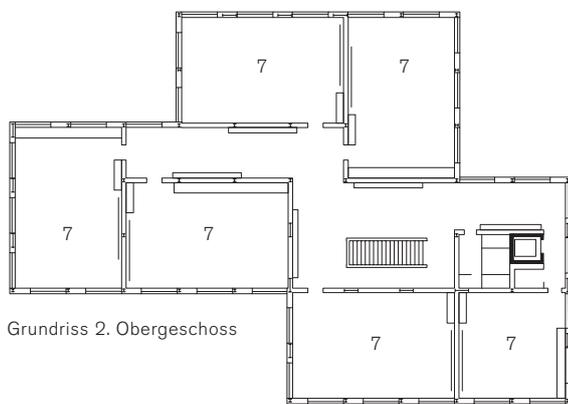
	Eigenperiode [sec]	Eigenfrequenz [Hz]	Beschreibung der Schwingungsformen
1	0.71	1.40	Die totale horizontale Schwingung in Längsrichtung. (Norden – Süden)
2	0.70	1.43	Die totale horizontale Schwingung in Querrichtung. (Osten – Westen)
3	0.46	2.19	Torsionale Schwingung um die eigene Achse.
4	0.23	4.38	Die vertikale Schwingung des Kragarmes
5	0.19	5.24	Die horizontale Schwingung in Längsrichtung (Norden – Süden)
6	0.15	6.53	Die vertikale Schwingung des Kragarmes



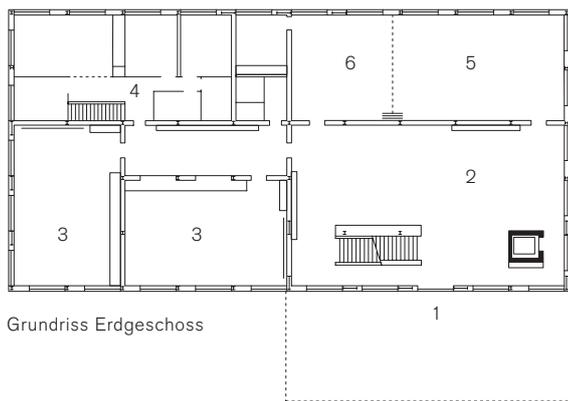
Querschnitt

Grundrisse, Querschnitt M 1: 500

- |                      |   |
|----------------------|---|
| 1 Eingang            | 5 Mehrzweckraum                               |
| 2 Foyer              | 6 Mehrzweckraum (Hausaufgaben, Krankenzimmer) |
| 3 Vorschulräume      | 7 Klassenzimmer                               |
| 4 Hausmeisterwohnung | 8 Turnhalle                                   |

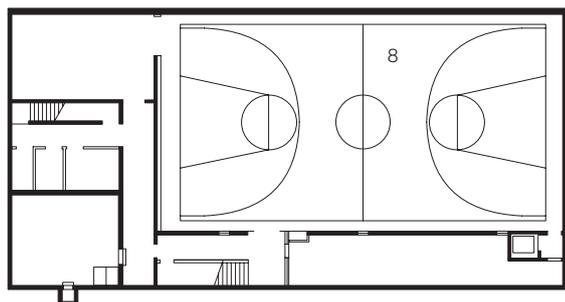


Grundriss 2. Obergeschoss



Grundriss Erdgeschoss

Grundriss 2. Untergeschoss



**SIA Norm 263**

Zusätzliche Anforderungen für eine ausreichende Duktilität der Tragelemente gemäss SIA Norm 263:

Der Stahl muss den Duktilitätsanforderungen des Artikels 3.2.2.3 entsprechen. Ausserdem müssen alle Schrauben mit Zugbeanspruchung vorgespannt werden und der Festigkeitsklasse 8.8 oder 10.9 entsprechen (siehe Art. 4.9.1.4)

Verbindungen sind auf einen um 20% erhöhten Wert der Tragfähigkeit der anzuschliessenden Teile zu bemessen. Querschnittsstösse mit durchgeschweissten Nähten der Bewertungsgruppe B erfüllen in der Regel diese Anforderung (siehe Art. 4.9.1.4)

Grundsätzlich sind Rahmensysteme so auszulegen, dass die Energiedissipation kontinuierlich über die Bauwerkshöhe erfolgen kann (siehe Art. 4.9.2.1)

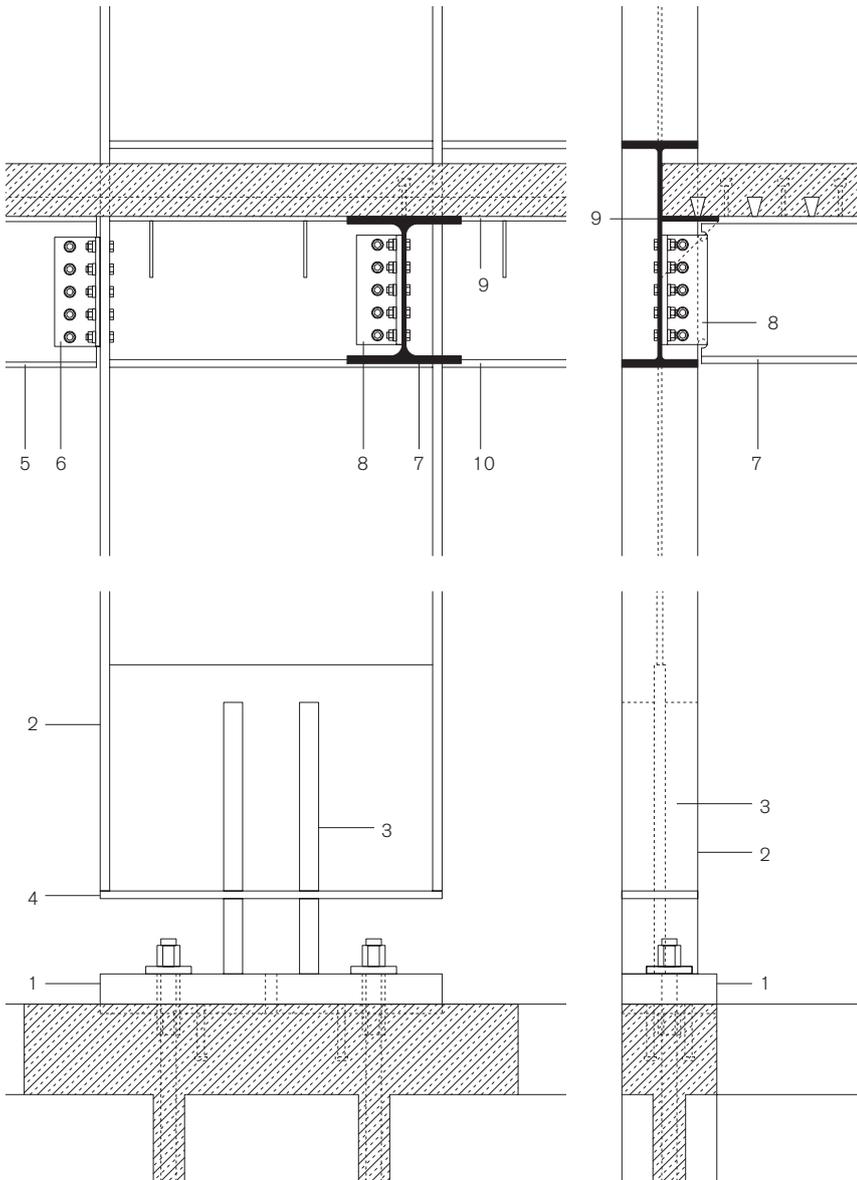
Aussteifende Rahmen sind so auszulegen, dass sich die plastischen Gelenke in den Trägern (Riegel) und nicht in den Stützen ausbilden. In mehrgeschossigen Rahmen sind plastische Gelenke nur an den Stützenfüssen und im obersten Geschoss zulässig (siehe Art. 4.9.2.2)

Begrenzung der Druckkräfte und Querkräfte für die plastischen Gelenke in den Trägern (siehe Art. 4.9.2.3)

Die Verankerungen der Stützen in das Gründungsbauwerk sind mit einer Erhöhung der Biegebeanspruchung von 20% zu bemessen, infolge seismischer Einwirkungen im Gefährdungsbild «Erdbeben» (siehe Art. 4.9.2.4)

Begrenzung des Bemessungswerts der Stützenquerkraft infolge Gefährdungsbild «Erdbeben» (siehe Art. 4.9.2.5)

Autor:  
Marcio Bichsel, Ingenieur HES, REG A SIA, Ingeni SA, Genf



Detailschnitte Rahmen M 1:20

- 1 Bodenplatte 250/900/80 mm
- 2 Stütze geschweisst 200/900 mm,  
Flansche 25/200 mm  
Steg unten 850/30 mm  
Steg oben 850/15 mm
- 3 Steifen 4 x 85/500/50 mm
- 4 Stahlplatte 200/900/20 mm
- 5 IPE 400
- 6 Anschlussprofil  
2 x L 120/80/12 mm
- 7 Träger HEA 400
- 8 Anschlussprofil  
120/120/15 mm
- 9 Auflager für Holoribblech  
150/12 mm
- 10 Träger geschweisst 200/600 mm  
Flansche 200/20 mm  
Steg 560/10 mm

**Ort** Faubourg du Lac 3, Neuenburg  
**Bauherrschaft** Stadt Neuenburg, section d'urbanisme  
**Architekt** Andrea Bassi, Genf  
**Tragwerksingenieur** Ingeni SA, Genf  
**Fassadenplaner** BCS, Neuenburg  
**Fassaden** Sottas, Bulle  
**Stahlbau** Steiner, La Chaux-de-Fonds  
**Volumen SIA** 14'500 m<sup>3</sup>  
**Baukosten** CHF 13.5 Millionen  
**Wettbewerb** 2000  
**Baubeginn** September 2003  
**Fertigstellung** Oktober 2005