

# **Die Geh- und Radwegbrücke zwischen Weil am Rhein (D) und Huningue (F): Ein (weit-) spannendes deutsch-französisches Projekt**

Wolfgang Strobl,      strobl@b.lap-consult.com

## Zusammenfassung:

Im Südwesten der Bundesrepublik entsteht bei Basel eine neue Fußgängerbrücke über den Rhein mit einer Spannweite von 229,4 m. Die Fertigstellung erfolgt voraussichtlich Ende 2006. Der Bericht beschreibt den Entwurf, die statisch-konstruktive Bearbeitung sowie einzelne Berechnungsaspekte.

## Summary:

In the Southwest of Germany a new pedestrian bridge across the river Rhine near Basel will be built. The bridge will have a main span of 229,4 m and will be finished by the end of 2006. The paper describes the design, the structure and some analysis aspects.

## 1 ALLGEMEINES

Im Juli 2001 wurde von der Stadt Weil am Rhein und der Communauté de Communes des Trois Frontières ein Wettbewerb zum Bau einer Brücke für Fußgänger und Radfahrer über den Rhein ausgeschrieben. Die Planungsgemeinschaft Leonhardt, André und Partner, Berlin / Feichtinger Architectes, Paris wurde als Gewinner des Wettbewerbs 2004 mit der weiteren Planung beauftragt. Geplanter Fertigstellungstermin: Ende 2006

## 2 ARCHITEKTONISCHES KONZEPT

Der grundlegende Entwurfsgedanke, den Rhein in einem Bogen zu überspannen, ist eine eindeutige Geste, die eine starke Verbindung zwischen den beiden Ländern Deutschland und Frankreich symbolisiert.

Ein möglichst geringer Bogenstich gibt der Form große Spannung und Eleganz – die technische Herausforderung wird ablesbar und spiegelt die Epoche wider – die Brücke wird zum Symbol unserer Zeit.

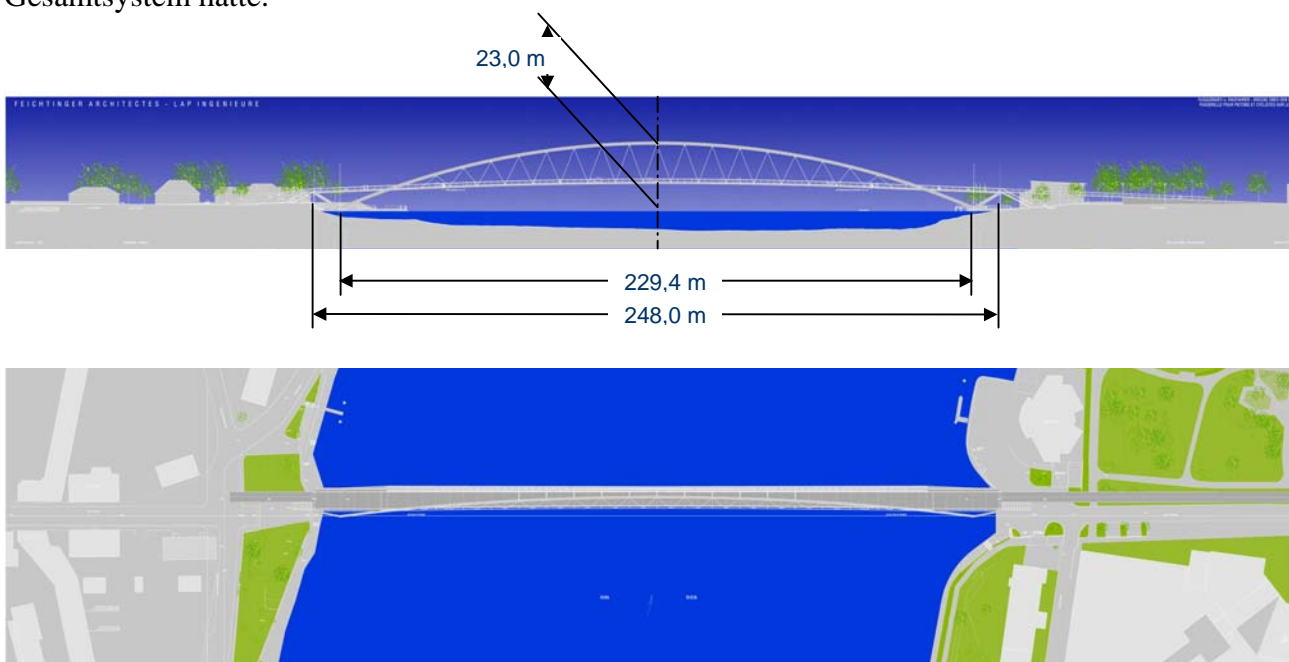


Wesentlich für die Wahl der Lage ist die Sichtbeziehung zwischen der „Hauptstraße“ in Weil am Rhein und der „Rue de France“ in Huningue mit dem historischen Turm im Hintergrund. Um diese Sichtbeziehung zu erhalten wird die Brücke neben diese Sichtachse gestellt. Sie rückt zur Seite und neigt sich zur asymmetrischen Querschnittsform mit einer „starken“ und einer „schwachen“ Seite.



### 3 STATISCH-KONSTRUKTIVE UMSETZUNG

Die technische Herausforderung ist ablesbar: Eine Bogenspannweite von 229,4 m mit einem Stich von nur 23 m entspricht 1/10. Zusätzliche Herausforderungen ergaben sich aus der großen Anzahl komplexer Details, deren Ausarbeitung immer wieder erhebliche Auswirkungen auf das Gesamtsystem hatte.



#### 3.1 Querschnitte

Bogen Nord: Doppel-Sechseck-Querschnitt B/H = 600/900 mm

Längsträger Nord: Sechseck-Querschnitt B/H = 434/600 mm

Bogen Süd: Rohr  $d_A = 609$  mm

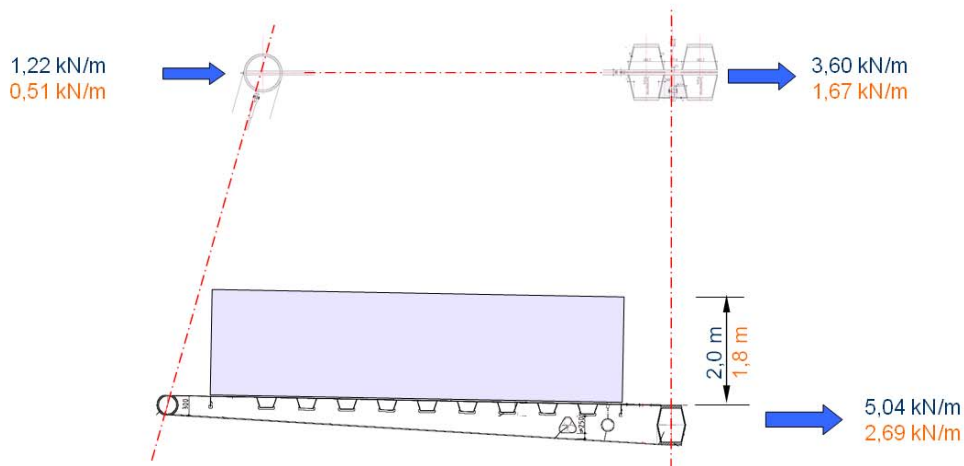
Längsträger Süd: Rohr  $d_A = 325$  mm

Das Brückendeck wird als orthotrope Platte mit einer variablen Breite der Querträger von 5,5 m (an der engsten Stelle in Brückenmitte) bis 7,0 m ausgebildet.

### 3.2 Windlasten

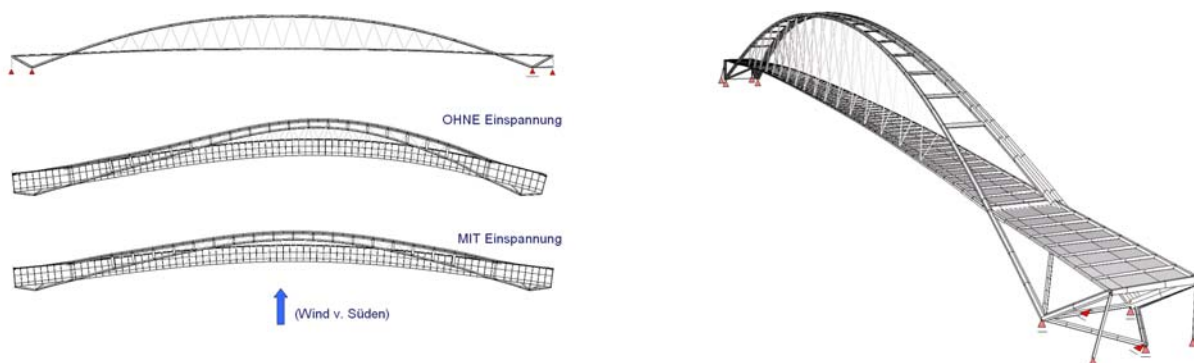
Für das schlanke Bauwerk ist die Größe der Windlasten entscheidend. In Absprache mit dem Prüfenieur wurden die Windlasten nach E-DIN 1055/4 mit einer durchgehenden Höhe des Verkehrslastbandes von 1,8 m angesetzt. Die Sechseckquerschnitte sind aufgrund der höheren c-Werte ungünstiger als die Rohre. Generell sind die Windlasten jedoch deutlich niedriger im Vergleich zum DIN FB 101.

- nach DIN-FB 101
- nach E-DIN 1055-4:8/2002

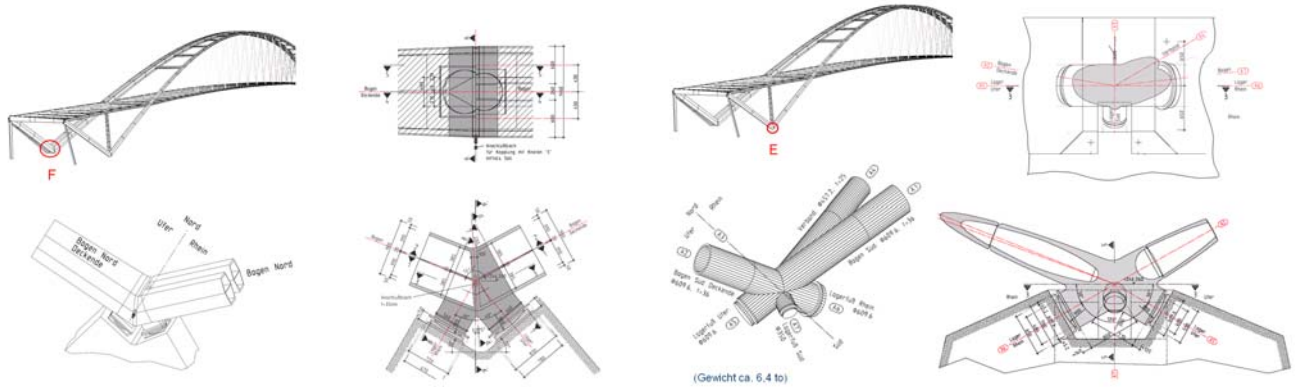


### 3.3 Knotenpunkte: Bogenfußpunkte, längsverschiebliche Dreheinspannung

Die ursprüngliche Idee, alle Bogenfußpunkte unverschieblich zu lagern, ließ sich bei näherer Betrachtung der Temperaturzwängungen nicht verwirklichen. Da aufgrund der Weichheit des Systems eine Grundrißeinspannung für Windlasten zwingend erforderlich ist, werden die Bogenfußpunkte auf der Seite Weil als drehsteife, längsverschiebliche Konstruktion in Form einer Deichsel ausgebildet.

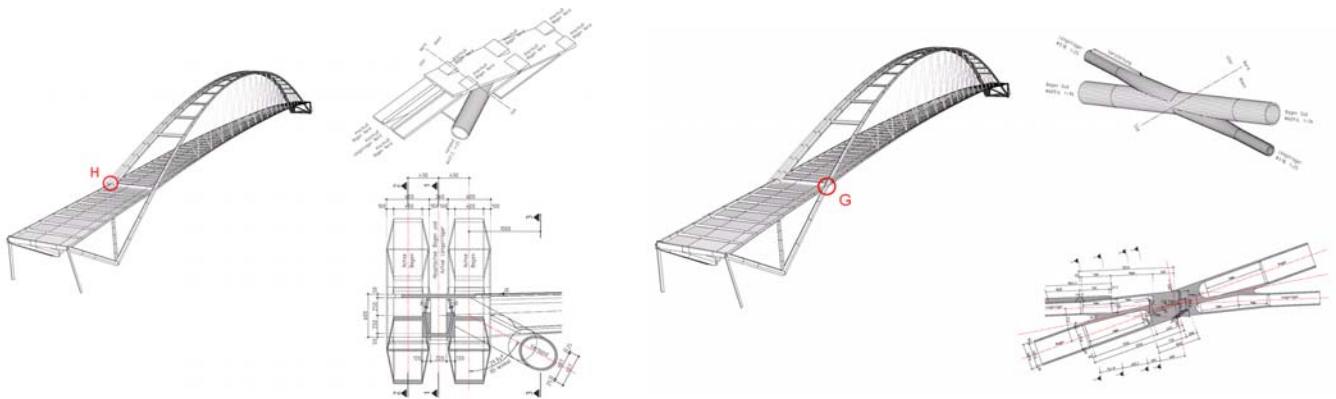


Die drehsteife, unverschiebliche Lagerung der Bogenfußpunkte auf der Seite Huningue wird beim nördlichen Bogen durch zwei, beim südlichen Bogen durch drei allseits verschiebliche Kalottenlager, die sich auf unterschiedlichen Radien, jedoch um einen gemeinsamen Mittelpunkt drehen, realisiert (Knoten F, E).



### 3.4 Weitere Knotenpunkte

Der Schnittpunkt der Rohre zwischen Bogen und Fahrbahnträger Süd (Knoten G) wird als Gussteil ausgeführt. Aufgrund des flachen Schnittwinkels erhält der Knoten eine Länge von ca. 5 m. Die Durchdringung der Doppel-Sechsecke des nördlichen Bogens mit dem sechseckigen Fahrbahnträger (Knoten H) wird ebenfalls aus Guss hergestellt, wobei der Knoten aus mehreren Einzelteilen zusammengesetzt wird.



## 4 BERECHNUNGSASPEKTE

### 4.1 Geometrieänderung

Die ursprüngliche Bogenform einer quadratischen Parabel wurde in den Viertelpunkten um 40 cm angehoben – somit entstand die endgültige Geometrie in Form einer Polynomfunktion 4. Grades. Die Umstellung war aufgrund der parametrisierten Eingabe sehr einfach möglich:

```

+prog genf
$
$ Knoten Bogen NORD / QUADRATISCHE PARABEL
$
knot nr x y z
(501 503 1) (-$(lgesh) $(vorbog)/2) 0 (-$(hend) $(hend)/2)
(553 551 1) ($(lgesh) -$(vorbog)/2) 0 (-$(hend) $(hend)/2)
$
let#10 503 $knotennr
let#20 -$(swbog) $x
let#30 -$(hbog)+#20^2/$(bog2p) $z
loop 4+1
knot #10 #20 0 #30
let#10 #10+1
let#20 #20+$ (rastb)
let#30 -$(hbog)+#20^2/$(bog2p)
endloop
$

$
$ Knoten Bogen NORD / POLYNOM 4. GRADES
$
knot nr x y z
(501 503 1) (-$(lgesh) $(vorbog)/2) 0 (-$(hend) $(hend)/2)
(553 551 1) ($(lgesh) -$(vorbog)/2) 0 (-$(hend) $(hend)/2)
$
let#10 503 $knotennr
let#20 -$(swbog) $x
let#30 -$(hbog) + (abs(#20^4)*$(abog)+abs(#20^3)*$(bbog)+abs(#20^2)*$(cbog)) $z
loop 4+1
knot #10 #20 0 #30
let#10 #10+1
let#20 #20+$ (rastb)
let#30 -$(hbog) + (abs(#20^4)*$(abog)+abs(#20^3)*$(bbog)+abs(#20^2)*$(cbog)) $z
endloop
$

```

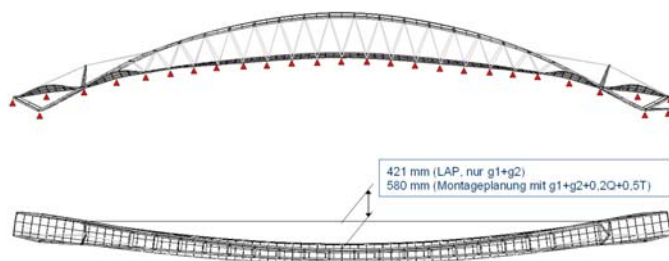
## 4.2 Geometrisch nichtlineare Berechnung

Grundsätzlich ist die Brücke eine „weiche“ Konstruktion, bei der geometrische Nichtlinearität zu berücksichtigen ist. Lastfälle können demnach nicht überlagert, sondern nur als Lastfallkombinationen betrachtet werden.

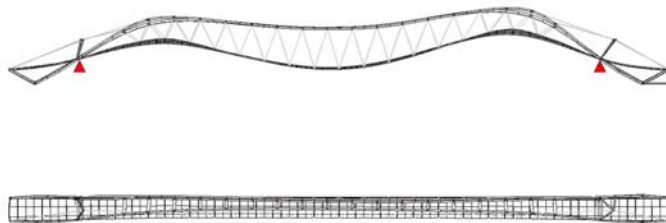
## 4.3 Bauablauf – Montage

Die gesamte Hauptbrücke wird auf einem Montageplatz vormontiert und anschließend eingeschwommen. Durch den statischen Systemwechsel „Vormontage – Einschwimmen – Endzustand“ werden Schnittkräfte eingefroren, die zu berücksichtigen sind (siehe ASE Input, LF 1 und LF 23)

Bauzustand: Aufstellen auf Vormontageplatz



Bauzustand: Einschwimmen auf Pontons

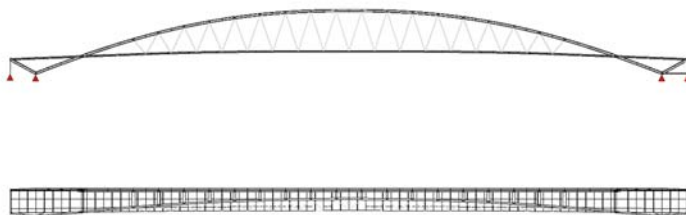


```
+prog ase $ BAUZUSTAND-Einschwimmen: g1*1.0
#include beg1
$
SYST PROB THII
$
GRUP (0 90 1) $ Bauzustand
GRUP 92 $ Bauzustand
$
lf 1 egz 1.000 bez 'BAUZUSTAND: g1*1.0'
$ gl zusätzlich
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.40*1.0
FLAS 1101 1180 1 TYP PZS P 0.40*1.0
FLAS 1201 1280 1 TYP PZS P 0.40*1.0
ende
```

Endzustand: Absetzen auf Bogenwiederlager  
Berücksichtigung von „eingefrorenen Schnittkräften“



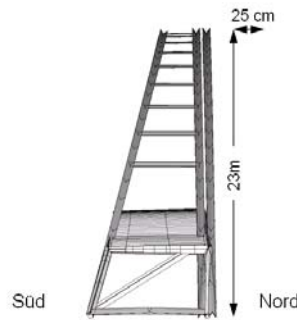
Soll - Lage



```
+prog ase $ (g1+g2)*1.35+qvoll*1.5+IMP
#include beg1
SYST PROB THII PLF 1
$
$ schiefstellung
$
SCHI SY -1/92 $ H = 23 m / 23/92 = 0.25m
GRUP (0 91 1) $ Endzustand
$
lf 23 egz 1.35 bez '(g1+g2)*1.35+qvoll*1.5+IMP'
$ gl zusätzlich
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.40*1.35
FLAS 1101 1180 1 TYP PZS P 0.40*1.35
FLAS 1201 1280 1 TYP PZS P 0.40*1.35
$ g2
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.125*1.35
.
```

#### 4.4 Ersatzimperfektionen

Nach DIN 18800 wurde für alle Lastfallkombinationen (außer LK Wind von Nord und LK halbseitiger Verkehr) eine Schiefstellung des Bogens aus der Ebene um 25 cm zugrunde gelegt. Diese Schiefstellung wurde sehr einfach mit dem Satz **SCHI** umgesetzt.

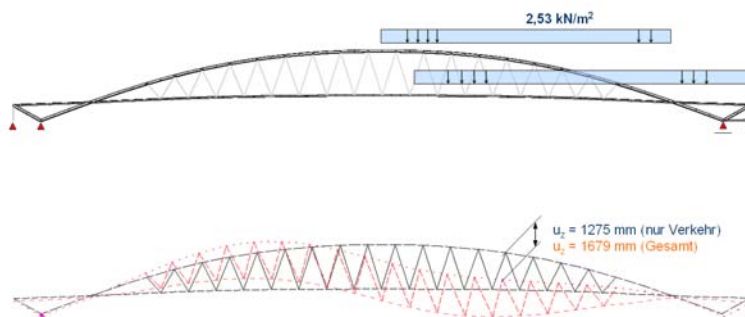


```
+prog ase $ (g1+g2)*1.35+qvoll*1.5+IMP
#include beg1
SYST PROB THII PLF 1
$
$ schiefstellung
$
SCHI SY -1/92 $ H = 23 m / 23/92 = 0.25m
GRUP (0 91 1) $ Endzustand
$
lf 23 egz 1.35 bez '(g1+g2)*1.35+qvoll*1.5+IMP'
$ g1 zusätzlich
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.40*1.35
FLAS 1101 1180 1 TYP PZS P 0.40*1.35
FLAS 1201 1280 1 TYP PZS P 0.40*1.35
$ g2
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.125*1.35
.
```

#### 4.5 Der Lastfall „halbseitiger Verkehr“

Der Lastfall „halbseitige Verkehrslast“ ist – neben den Windlastfällen – der maßgebliche Bemessungslastfall mit folgenden Besonderheiten:

- Die Ersatzimperfektion kann grundsätzlich sehr elegant aus einem bereits gerechneten LF „halbseitige Verkehrslast“ mit den Sätzen **SYST PLF** xy **FAKV** .... und **GRUP** (0 91 1) **FAKL** 0 **FAKP** 0 spannungslos übernommen werden.
- In diesem Fall musste jedoch der Bauzustand (Einschwimmen) zusätzlich berücksichtigt werden – die Funktion des Primärlastfalls **PLF** war damit bereits vergeben. Die Möglichkeit zur Berücksichtigung von 2 Primärlastfällen ist z.Z. nicht vorgesehen. Die Ersatzimperfektionen wurden daher – weniger elegant – durch Umlenkkräfte berücksichtigt.
- Zum Nachweis der Stabilität der Bögen unter halbseitiger Verkehrslast war die Berücksichtigung der Werkstattform (Soll-Lage unter  $g1+g2$ ) zwingen erforderlich. Aus q-halbseitig alleine ergab sich eine max. vertikale Durchbiegung von 1275 mm. Die max. Gesamtdurchbiegung ( $g1+g2+q$ -halbseitig) beträgt jedoch 1679 mm – eine Differenz von ca. 400 mm, die für den Nachweis der Stabilität entscheidend ist.



- Aufgrund der Asymmetrie des Brückenquerschnitts ist die Werkstattform eine komplexe räumliche Form, für deren Berücksichtigung folgende Überlegungen angestellt wurden:

1. „Korrektur“ der Verformungen für den Endzustand mit **FAKV**

```
+prog ase $ Endzust.(g1+g2)*1.0-SOLLFORM
#include beg1
SYST PROB THII PLF 1 FAKV 0.001
GRUP (0 91 1) $ Endzustand
$
lf 2 egz 1.000 bez 'Endzust.(g1+g2)*1.0-SOLLFORM'
$ g1 zusätzlich
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.40
FLAS 1101 1180 1 TYP PZS P 0.40
FLAS 1201 1280 1 TYP PZS P 0.40
$ g2
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.125
FLAS 1101 1180 1 TYP PZS P 0.125
FLAS 1201 1280 1 TYP PZS P 0.125
FLAS 101 180 1 TYP PZS ETYP stab P 0.53
FLAS 401 480 1 TYP PZS ETYP stab P 0.53
ende
```

D.h. die Vorverformungen aus LF 1 werden nicht spannungslos übernommen, sondern die Spannungen bleiben erhalten, die zugehörigen Verformungen werden jedoch zu Null gesetzt. Da am verformten System gerechnet wird (THII), stimmen genau genommen die Verformungen nicht mit den Schnittkräften überein. Der Fehler ist jedoch klein und akzeptabel, da nicht die Werkstattform an sich, sondern der Lastfall „halbseitige Verkehrslast“ unter Berücksichtigung des Bauzustandes und  $g_1+g_2$  in Soll-Lage berechnet werden soll.

2. Berechnung der Werkstattform nach I. Ordnung  
Bei geometrisch nichtlinearer Berechnung entstehen verschiedene Abtriebskräfte, die sich jedoch teilweise aufheben. Die Werkstattform ergibt sich somit aus einer Berechnung nach I. Ordnung mit der Ausgangsgeometrie.
3. Die Punkte 1 und 2 führten zu umfangreichen Diskussionen, so dass schlussendlich für die Berechnung des Lastfalls „halbseitige Verkehrslast“ eine iterativ ermittelte Werkstattform als Soll-Lage berücksichtigt wurde.  
1. Iteration: Ausgangskordinaten werden eingelesen, Koordinaten des Endzustandes unter  $g_1+g_2$  werden abgespeichert, in Excel eingelesen, verbesserte Ausgangskordinaten ermittelt und ausgelesen.

```
+prog ase $ Endzust. (g1+g2)*1.0-SOLLFORM
#include beg1
SYST PROB THII iter 40 PLF 1
GRUP (0 91 1) $ Endzustand
$
lf 2 egz 1.000 bez 'Endzust. (g1+g2)*1.0-SOLLFORM'
$ g1 zusätzlich
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.40
FLAS 1101 1180 1 TYP PZS P 0.40
FLAS 1201 1280 1 TYP PZS P 0.40
$ g2
FLAS 1001 1080 1 TYP PZS P 0.125
FLAS 1101 1180 1 TYP PZS P 0.125
FLAS 1201 1280 1 TYP PZS P 0.125
FLAS 101 180 1 TYP PZS ETYP stab P 0.53
FLAS 401 480 1 TYP PZS ETYP stab P 0.53
ende

+prog ase
kopf Systemupdate - verschiebt Knotenkoordinaten
SYST PLF 2 SPEI JA $ Speichert System mit neuen Koordinaten neu ab !!
ende
```

Weitere Iterationen:

```
+prog genf
#include beg1
syst raum
KNOT NR X Y Z
$
$BLOCK SET werk01.dat
$
.
```

Verbesserte Ausgangskordinaten werden eingelesen, die neuen Koordinaten des Endzustandes unter  $g_1+g_2$  werden ermittelt und abgespeichert, in Excel eingelesen, verbesserte Ausgangskordinaten ermittelt und ausgelesen.

Die Iteration konvergiert bereits nach wenigen Zyklen. Als Ergebnis ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung mit der deutlich weniger aufwendigen Berechnung nach Punkt 1.

## 5 BETEILIGTE

Entwurf und Genehmigungsplanung:

Leonhardt, Andrä und Partner, Berlin  
Feichtinger Architectes, Paris

Windgutachten: PSP - Prof. Sedlacek u. Partner

Prüfingenieur: Prof. Dr.-Ing. Ulrike Kuhlmann

Bauausführung: Max Bögl GmbH