

Netzwerkbogenbrücken: Entwicklungen in Europa

Univ.-Prof.- Dipl.-Ing. Dr. techn. Josef Fink

TU Wien

Institut für Tragkonstruktionen/Stahlbau

Vortragsinhalte

- **Die Evolution vom Langer'scher Balken zum Netzbogen**
- **Vergleich der Tragmechanismen**
- **Netzgenerierung**
- **Zur Ursache der Massenreduktion bei Netzbogenbrücken**
- **Erfahrungen Deutsche Bahn AG mit Netzbogenbrücken**

Die Evolution
vom
Langer'scher Balken zum Netzbogen

Josef Langer, 1859
Langer'scher Balken



EÜ Gessentalbrücke Ronneburg
 $L = 78 \text{ m}$, $h_{VT} = 2,5 \text{ m}$



Straßenbrücke Vilshofen Deutschland

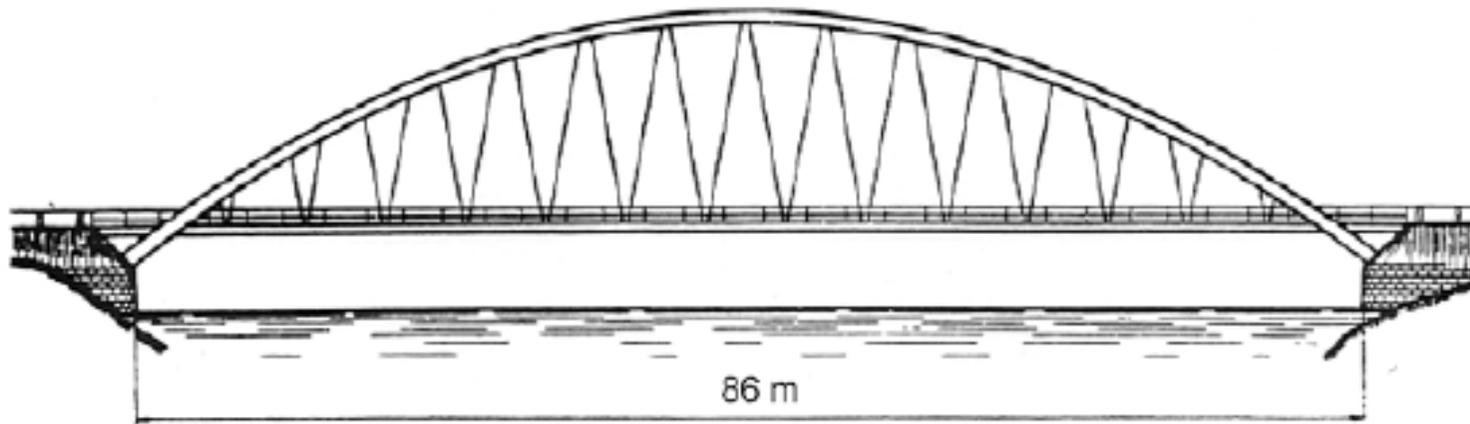


Apollobrücke Bratislava

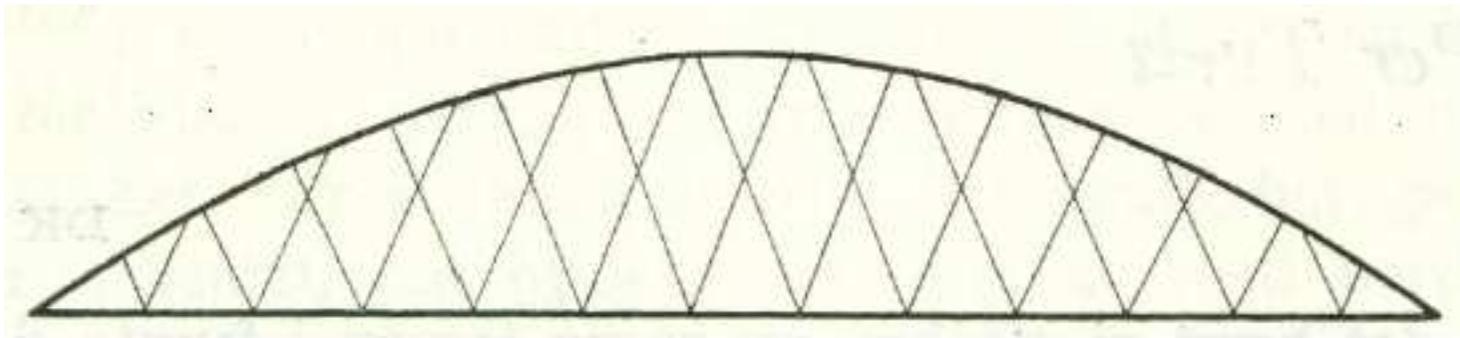
Slovakei



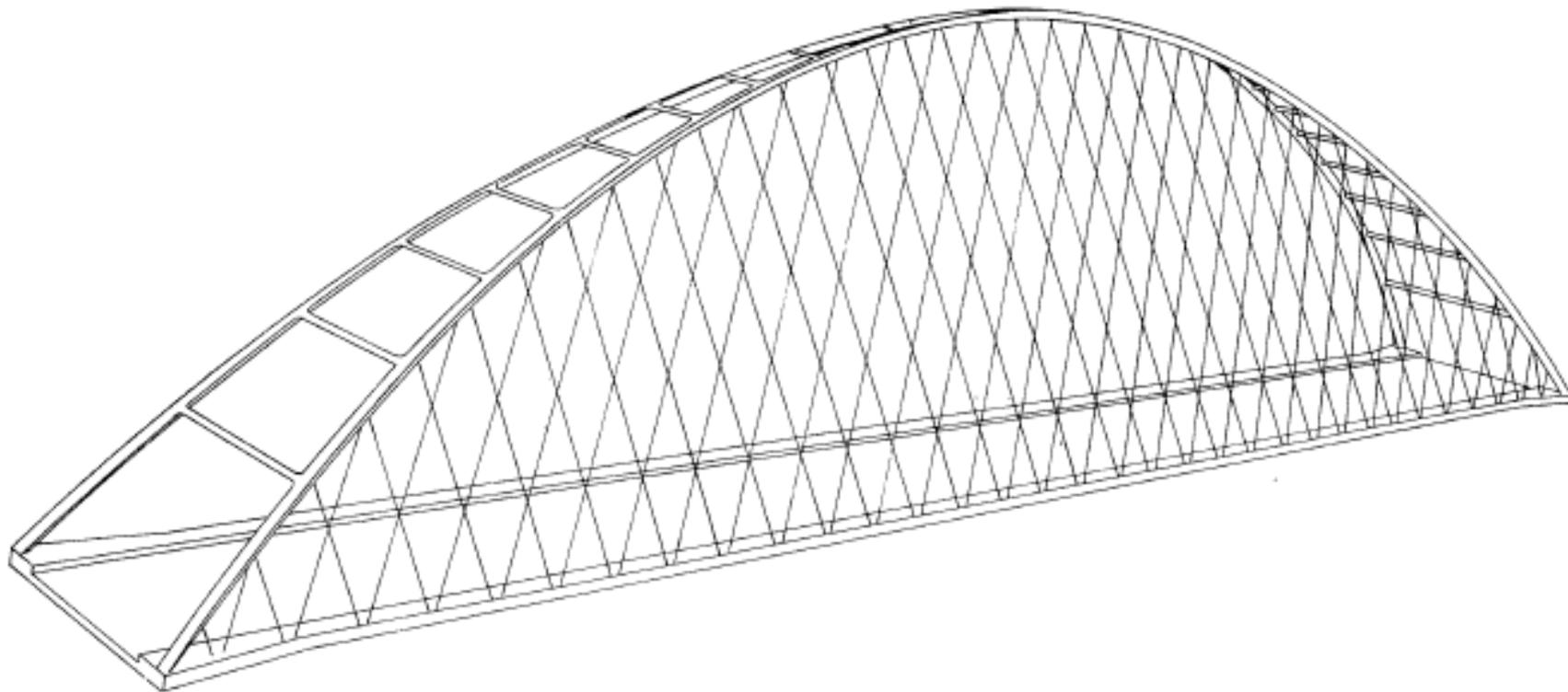
Niehlsen – Brückentyp
1929 – 1936: 60 Brücken in Schweden



Patentschrift Niehlsen, 1926
Anwendungsbeispiel



Per Tveit, Netzbogenbrücke
Dissertation 1959



Fehmarnsundbrücke, 1963, L = 248 m



Rosenbachtalbrücke Plauen, 2008, L = 89 m
1. Netzbogenbrücke DB AG

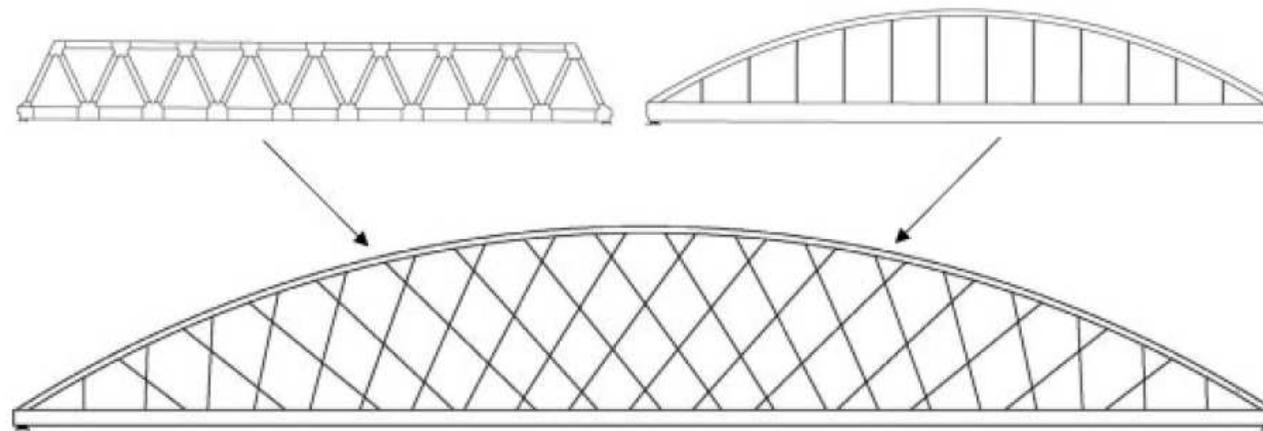


Vergleich der Tragmechanismen

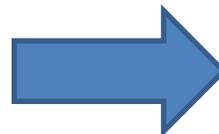
Stabbogen - Netzwerkbogen

Erläuterung Tragfunktion

Netzwerkbogenbrücken vereinen die statischen Vorteile einer Fachwerkbrücke mit denen einer Stabbogenbrücke



- viele Hänger
- Einzelhänger mit geringem Querschnitt
- viele Hängerkreuzungen



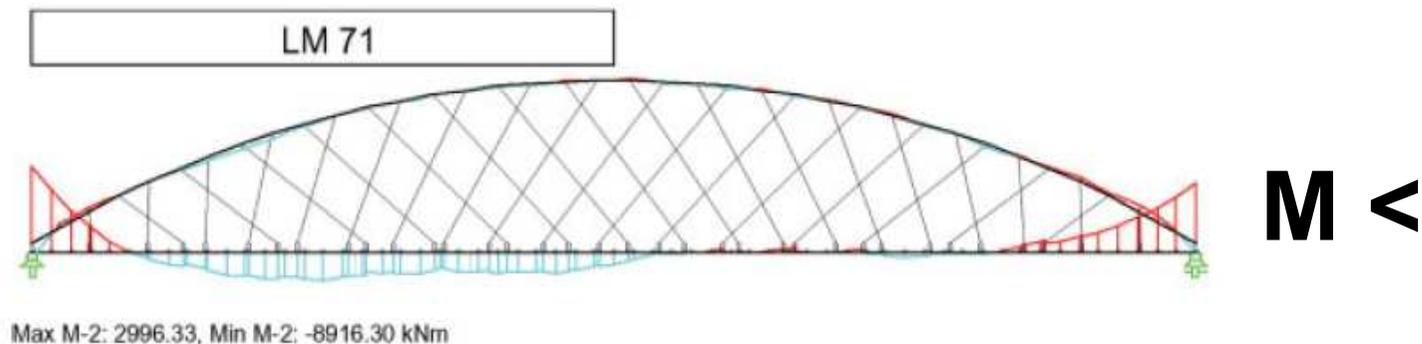
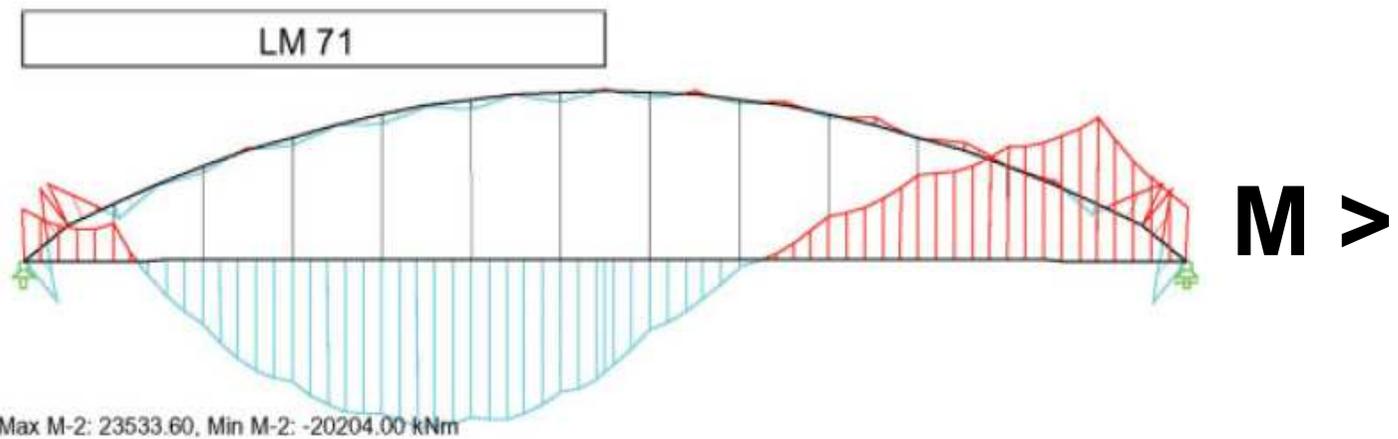
- steifes Tragwerk
- Reduktion Konstruktionshöhe Bogenquerschnitt
- Reduktion Konstruktionshöhe Versteifungsträger
- **Reduktion Stahlmasse**

Josef Langer, 1859
Langer'scher Balken



Vergleich der Momente Stabbogen - Netzwerkbogen

Halbseitige Belastung



Vergleich des Verformungsverhaltens Netzwerkbogen - Stabbogen

Fachwerk-System

- schubfeste Verbindung
- geneigte Hänger behindern seitliches Ausweichen

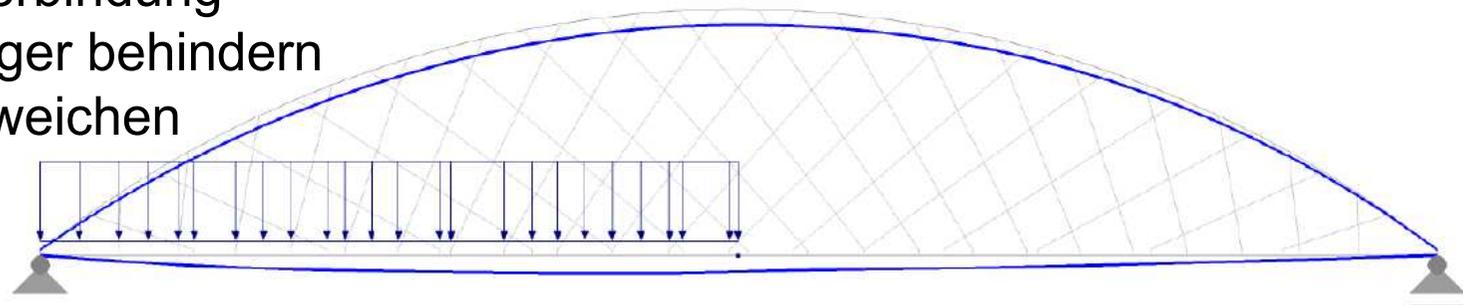


Abbildung 3 Verformung einer Netzwerkbogenbrücke unter einer halbseitigen Belastung

Virendeel-System

- keine schubfeste Verbindung
- Bogen weicht seitlich aus

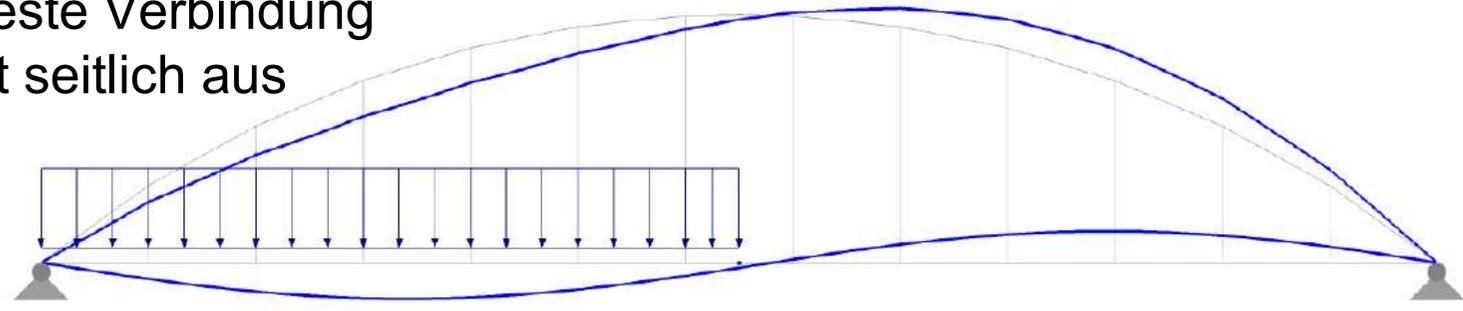


Abbildung 4 Seitliches Ausweichen des Bogens unter halbseitiger Belastung bei einem Langer'schen Balken

Netzgenerierung

- Rautennetz
- Radiale Hängeranordnung
- Hängeranordnung mit variabler Hängerneigung

Netzgeometrie

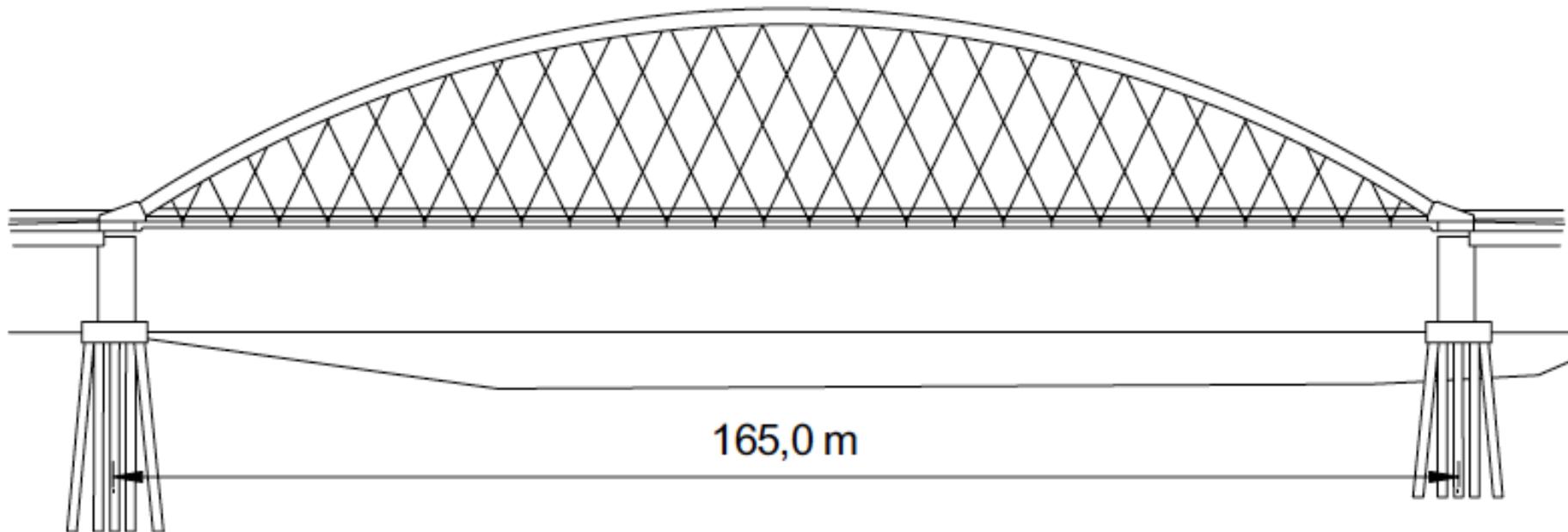
Wesentliche Planungsziele – Optimierungsziele

- **Kleine Biegemomente im Bogen und Versteifungsträger**
- **geringe Unterschiede in den max. Hängerkräften**
- **Gleichmäßiges und ästhetisch wirkendes Netz**
- **Vermeidung Hängerausfall** durch Druckkräfte

zu beachten:

- **Wirtschaftlichkeit wird durch Montageverfahren dominiert**
- **Erforderliche Durchtrittsöffnungen beeinflussen Netzgeometrie**
- **Einbau der Hänger erfordert hohe Genauigkeit – höherer Aufwand als bei Stabbogenbrücken**

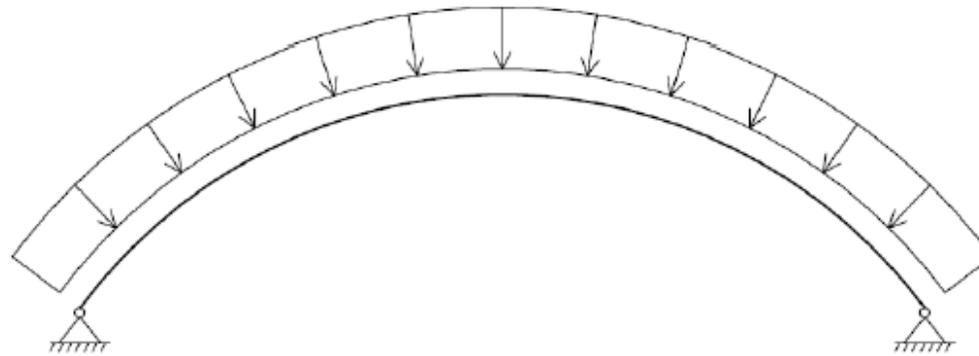
Rautennetz



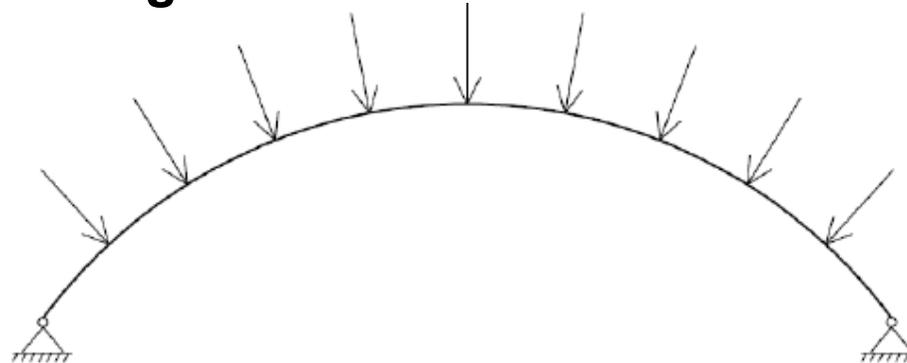
- + einfache Netzgenerierung (Empfehlung: Neigung 50° - 55°)
- große Unterschiede in den max. Hängerkräften
- hohes Potential Hängerausfall

Radiale Hängernordnung – Grundgedanke Stützlinie

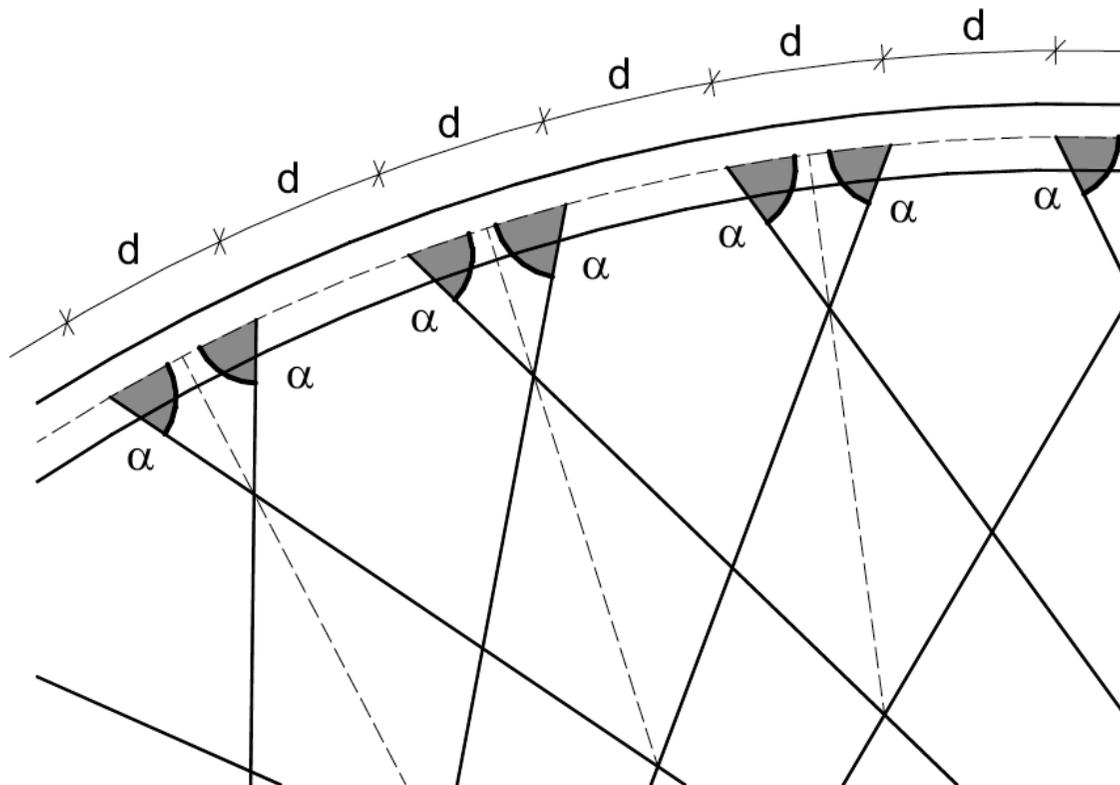
Kontinuierliche radiale Lasten - nur Druckkräfte im Kreisbogen



Diskretisierung der Gleichlast mit vielen Einzellasten



Generierungsgesetz für radiale Hängeranordnung



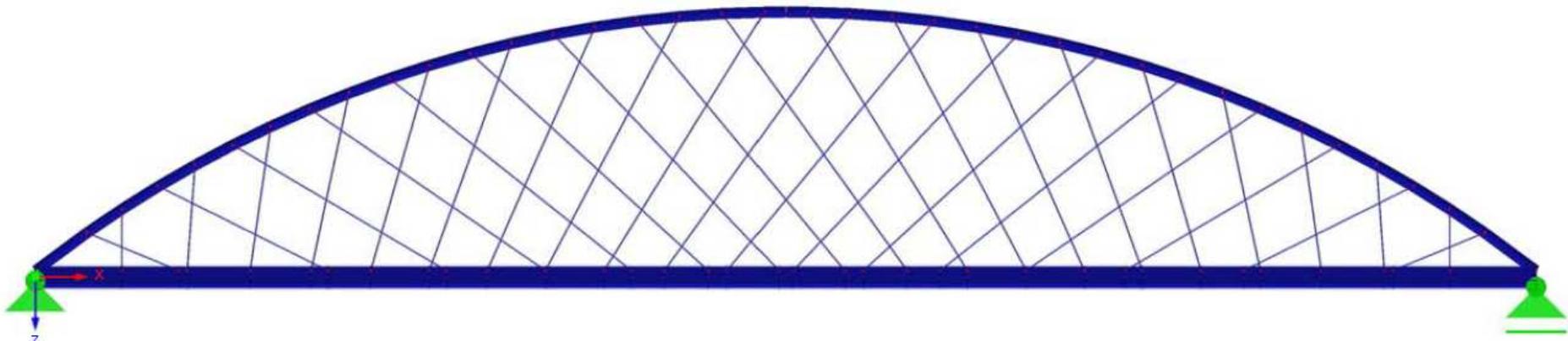
Kenndaten:

- allgemein: $45^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ$
- optimal: $55^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$
- kleine Winkel α bei geringer Hängeranzahl
- kleine Winkel α bei großem p/g - Verhältnis

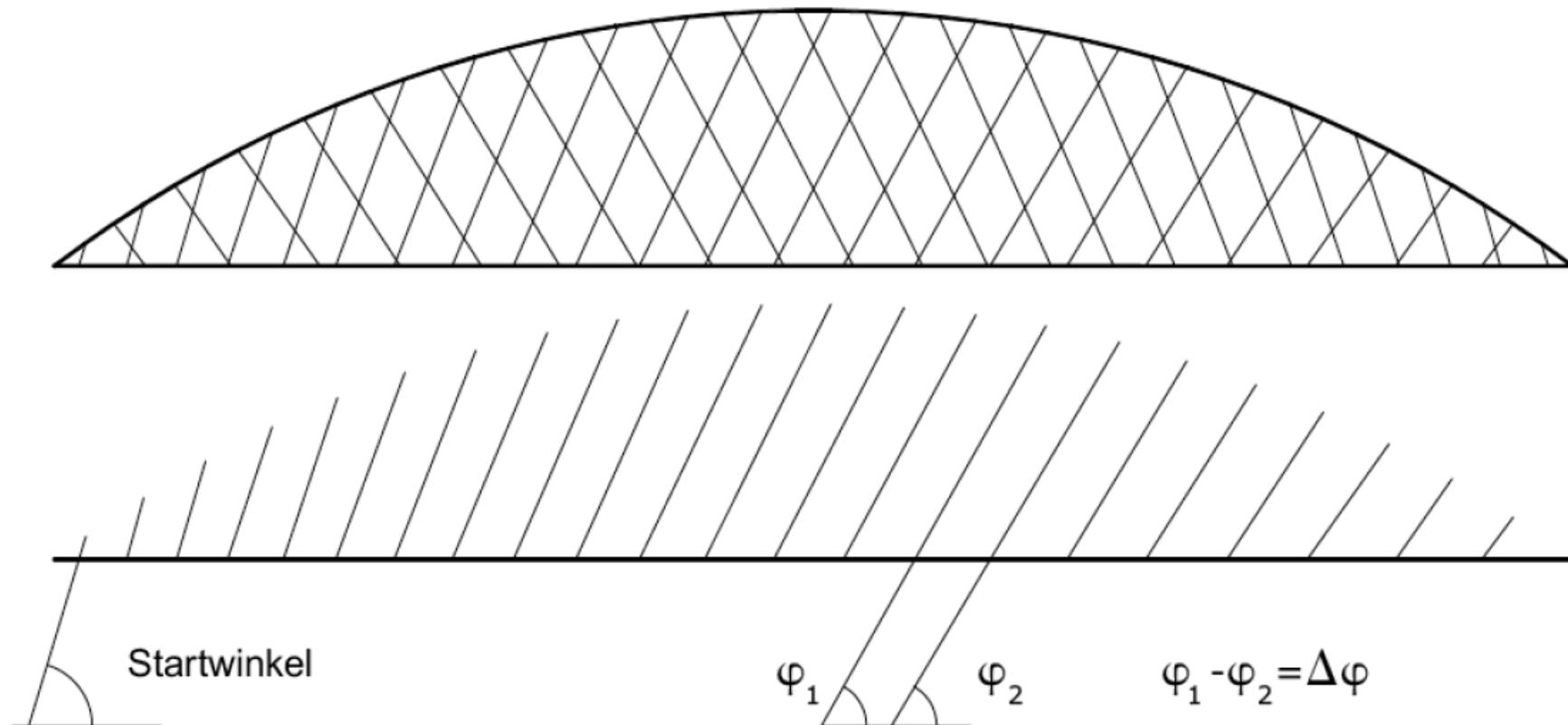
Radiale Hängeranordnung

Grundgedanke: Kreisbogen = Stützlinie radial gerichtete Linienlast

- jede Hängerachse bildet mit der jeweiligen Bogenachse einen konstanten Winkel
- nahezu radiale Belastung des Bogens



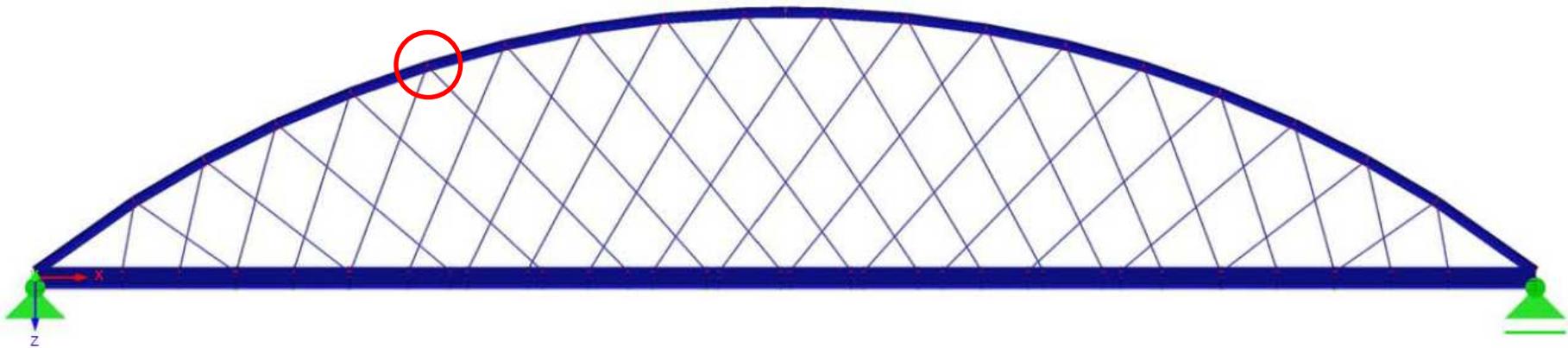
Konstante Hängerneigungsänderung $\Delta\varphi$ je Hängerset



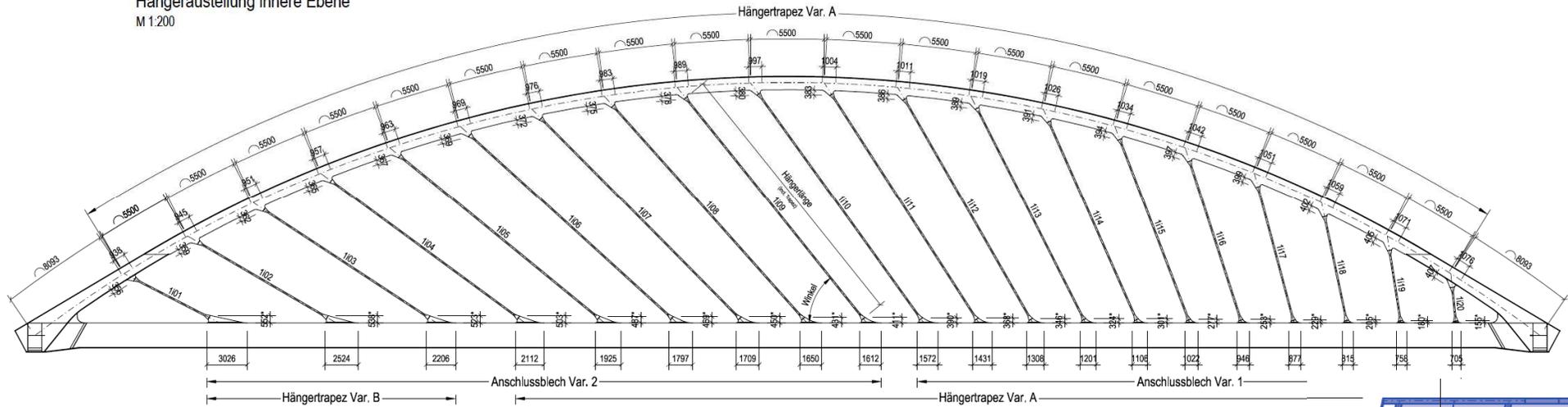
- Hängerwinkel in Brückenmitte $\varphi=55^\circ - 60^\circ$
- Startwinkel $\varphi_0=80^\circ$

$$\Delta\varphi = \frac{2 * (\varphi_0 - \varphi)}{n_H}$$

Variante zur konstanten Hängerneigungsänderung

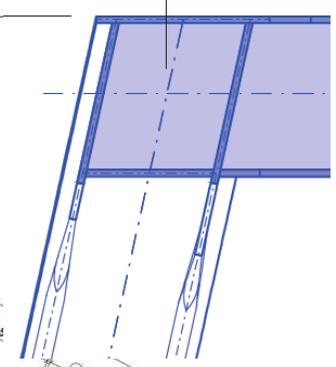
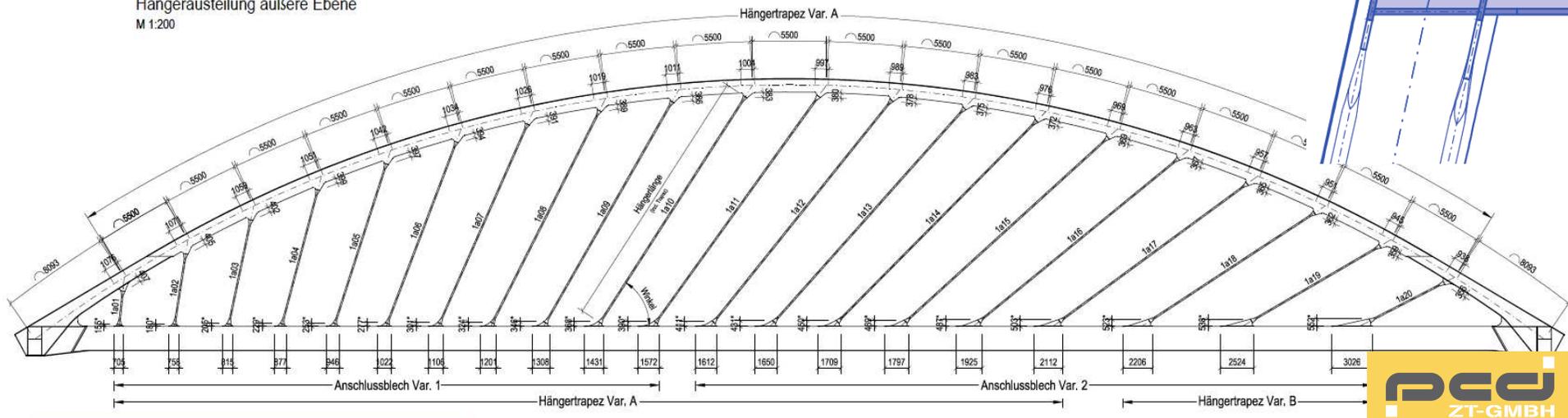


Hängerausteilung innere Ebene
M 1:200



Hängerteilung je Bogenebene

Hängerausteilung äußere Ebene
M 1:200



Vorgangsweise Netzgenerierung und Optimierung

- Wahl Netztyp (Empfehlung: radial oder kont. Neigungsänderung)
- Händische Netzanpassung zur Optimierung

Optimierung führt zu:

- deutliche Masseneinsparung
- Vermeidung Hängerausfall

Zur Ursache der Massenreduktion bei Netzbogenbrücken

Studie Per Tveit, 2000, L = 200 m

Alternative Per Tveit, 2000:

- Spannbetonplatte
- 670 to Stahl (gesamt)

Donaubrücke Straubing, 1977:

- Orthotrope Platte
- 1330 to Stahl

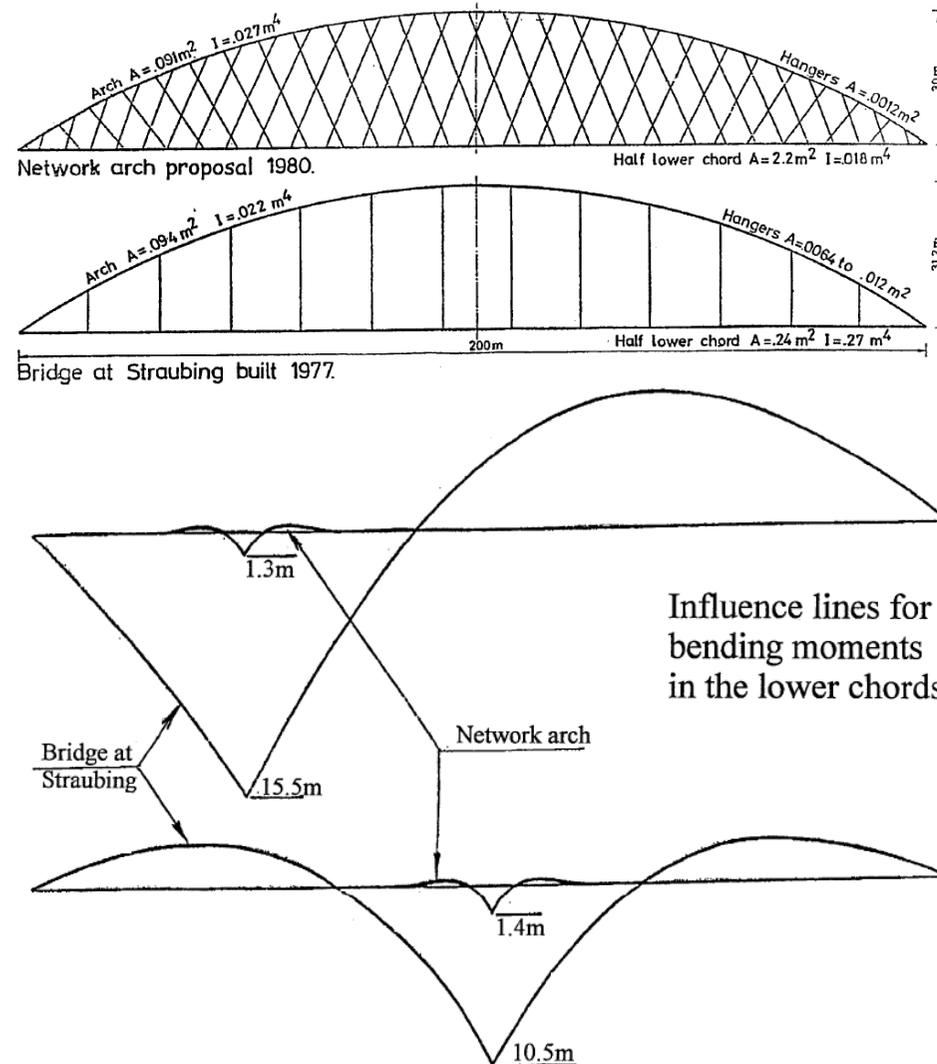
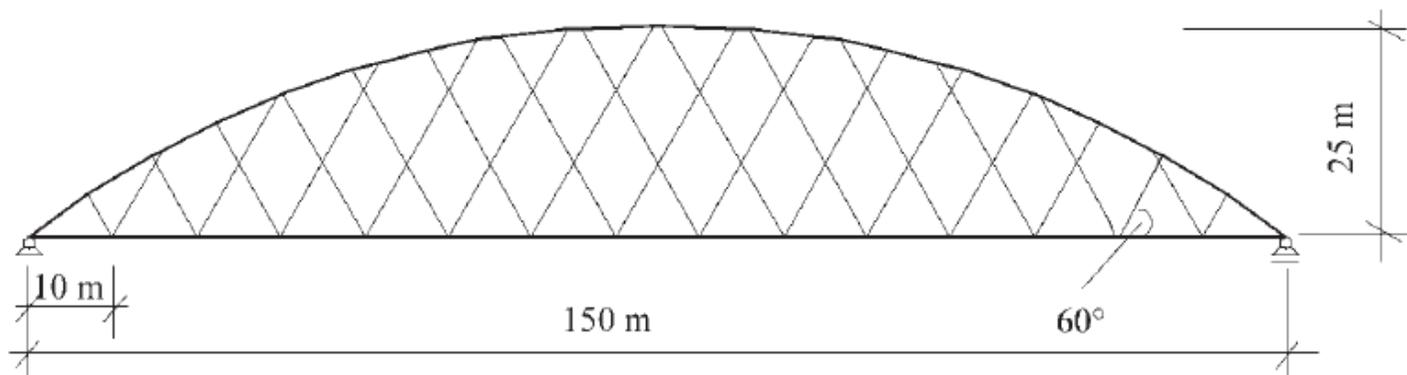
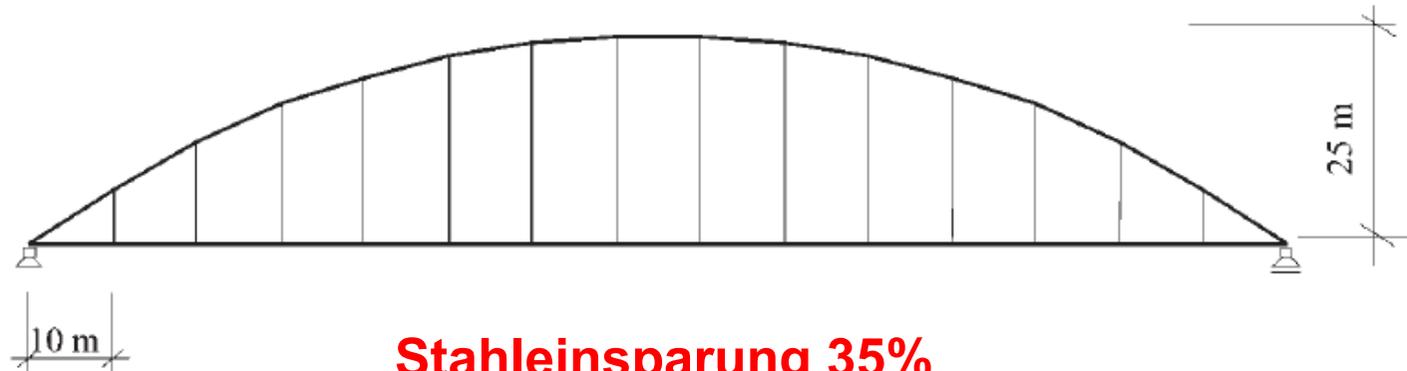


Fig. 22. Influence lines for two arch bridges.

Untersuchungen TU Dresden 2000 – 2002
ohne Netzoptimierung
zweigleisige EBBR, orthotrope Platte



Vergleich Stabbogen - Netzwerkbogen



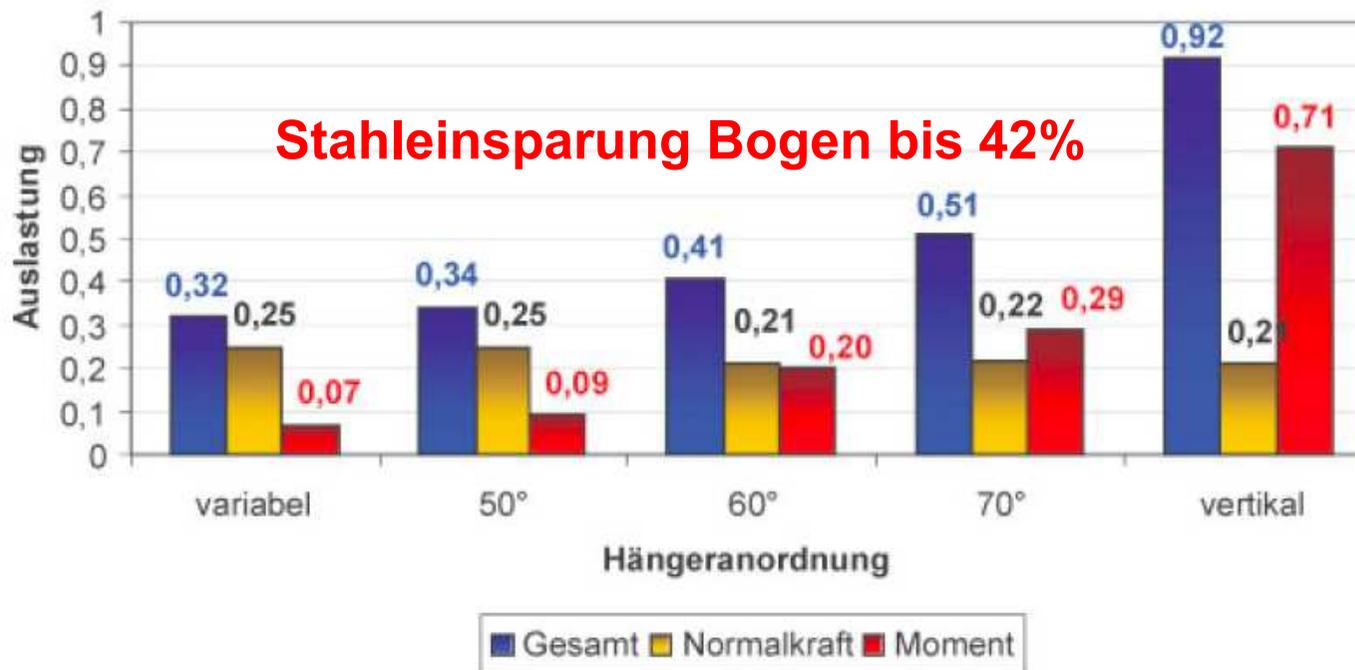
EÜ
Mittellandkanal –
Vahldorf
L = 146 m



EÜ
Mittellandkanal –
Flora
L = 136 m

Untersuchungen TU Dresden 2000 – 2002 mit Netzoptimierung EBBR L = 100 m, orthotrope Platte

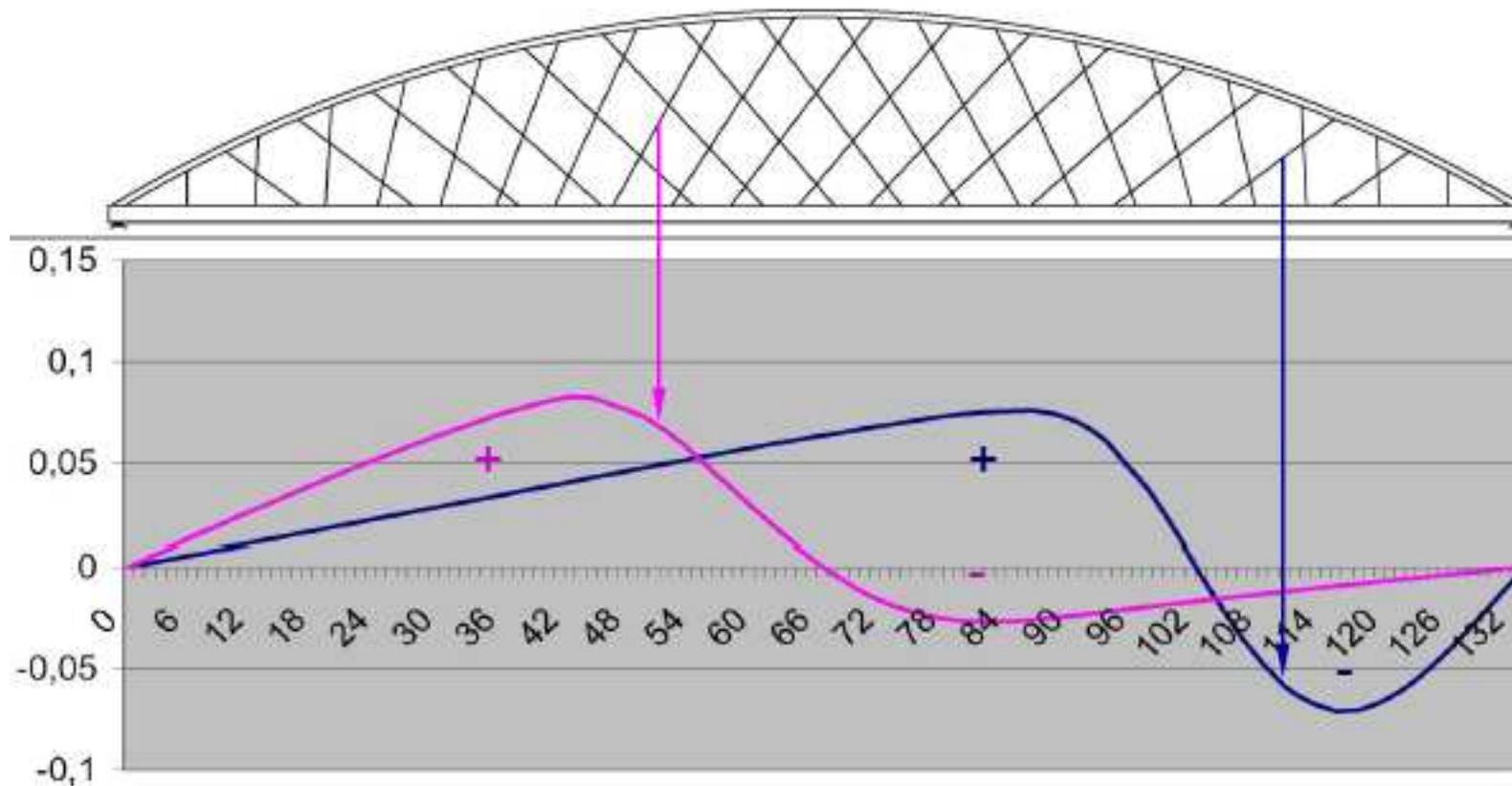
Vergleich der Spannungsauslastung im Bogen



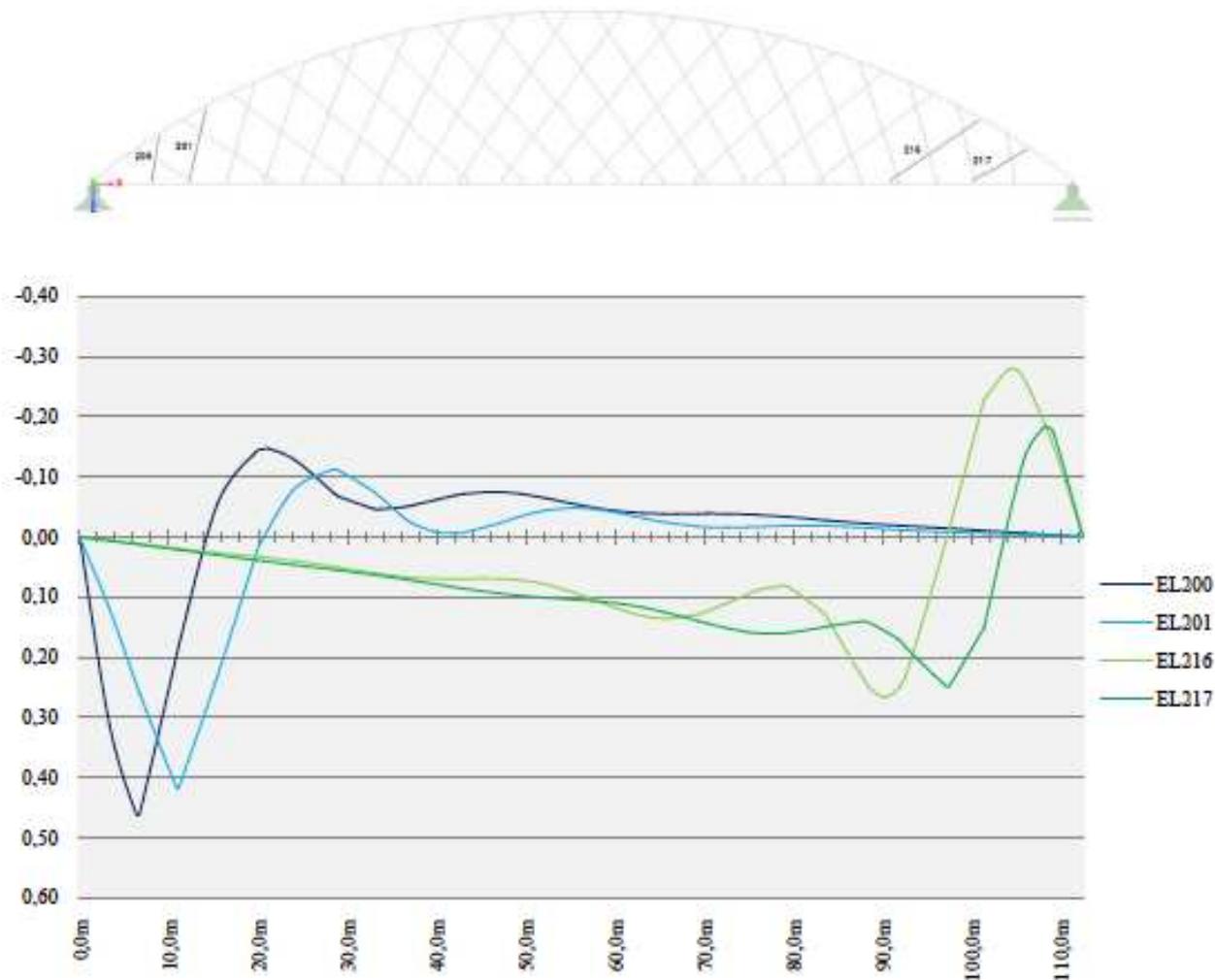
| Hängeranordnung | variabel | 50° | 60° | 70° | vertikal |
|-------------------|----------|-------|-------|-------|----------|
| Bogenstahlgewicht | 120 t | 127 t | 128 t | 135 t | 208 t |

Thema Hängerausfall bei Netzbogenbrücken

Vermeidung Hängerausfall wesentliches Planungsziel



Einflusslinie – Normalkräfte im Hänger (Parameterstudie Diplomarbeiten TU Wien)



Diplomarbeit TU Wien - Ergebnisse der Parameterstudie Netzbogenbrücke Wien mit 90 Netzstudien (Pisan Schweighofer, Weidinger)

- Hängeranzahl: > 36 bringt keine entscheidenden Vorteile
- Hängerneigung: je flacher desto besser
- Netztyp: nur geringe Unterschiede zwischen den 3 Anordnungsvarianten:
 - Radiale Hängeranordnung: $n=36$; $\alpha=56^\circ$
 - Konstante Hängerneigungsänderung: $n=36$; $\varphi=54^\circ$
 - Hängeranordnung nach PCD-ZT: $n=36$; $\varphi=54^\circ$

ULS – Normalkräfte (min.) im Hänger Parameterstudie Diplomarbeit TU Wien

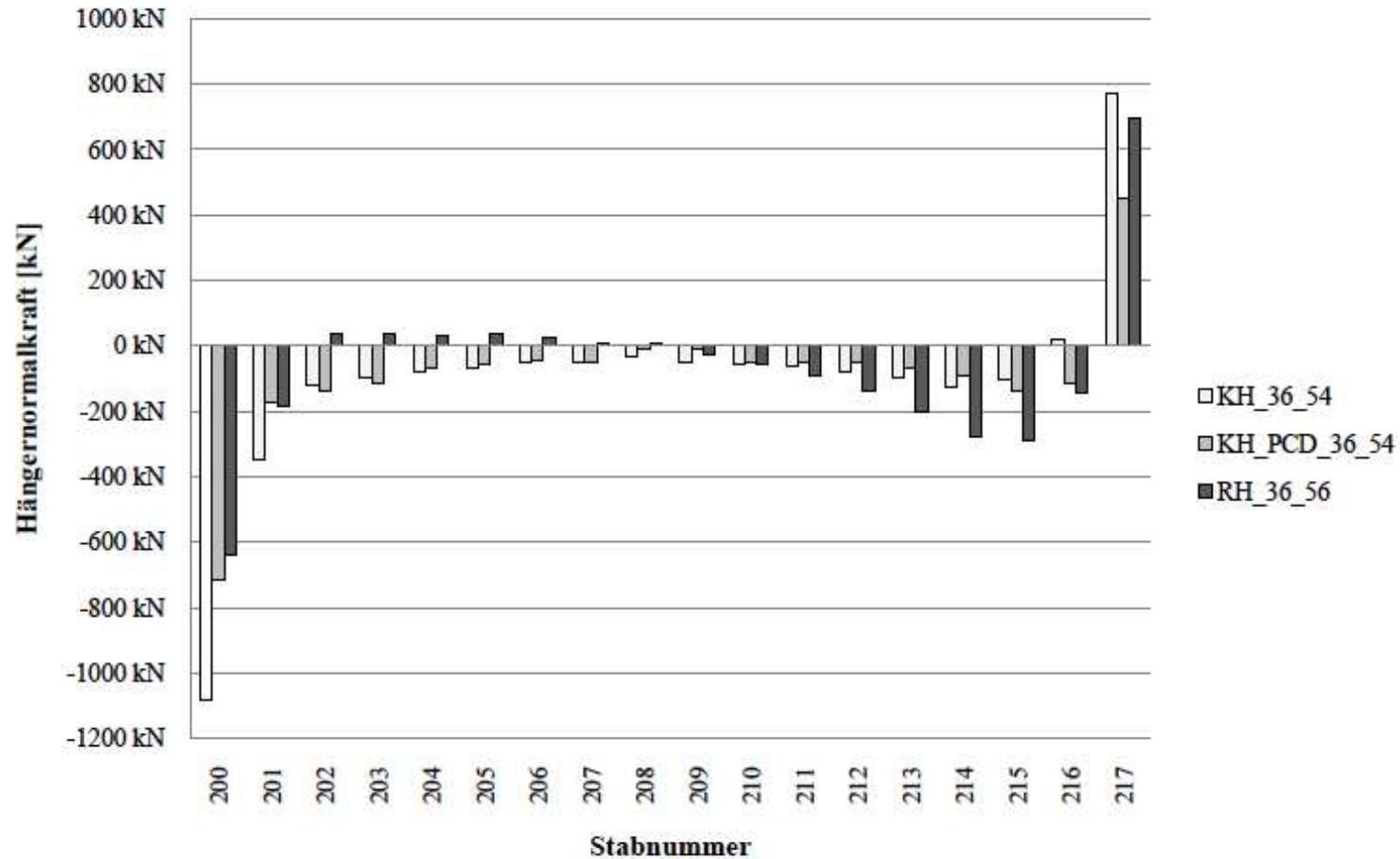


Diagramm 92 Minimale Hängernormalkräfte im ULS für die ausgewählten Netzgeometrien

FLS – Normalkräfte (min.) im Hänger Parameterstudie Diplomarbeit TU Wien

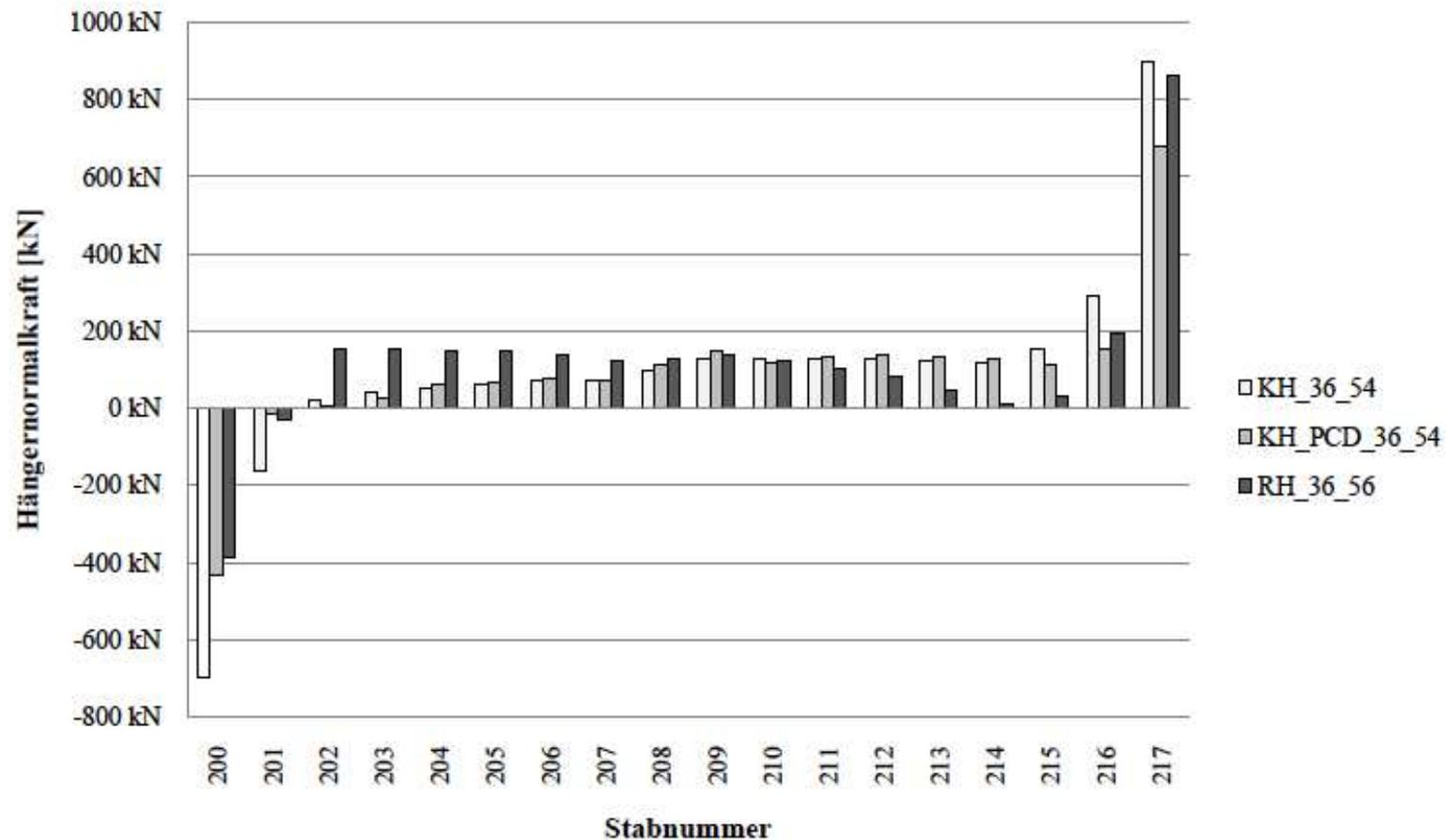


Diagramm 89 Minimale Hängernormalkräfte im FLS für die ausgewählten Netzgeometrien

Grundsätzliche Maßnahmen gegen Hängerausfall (Ergebnisse der Parameterstudie TU Wien)

• Alternatives Bemessungskonzept:

- **FLS und SLS: kein Hängerausfall**
- **ULS: Hängerausfall zulassen, jedoch Nachweis der Tragfähigkeit mit nichtlinearer Systemberechnung**
- **Eigengewicht erhöhen: Wechsel von OP auf Verbundplatte**
- **Vorspannen Kämpferbereich**

Erfahrungen mit Netzbogenbrücken

Deutsche Bahn AG

(ausgewählte Projekte)

Rosenbachtalbrücke Plauen, 2008, eingleisig

1. Netzbogenbrücke DB AG

$L = 89 \text{ m}$, $h_{VT} = 1,6 \text{ m}$, (7,1 to/m Gleis)

(Tonnage Stabbogen minus 20%)

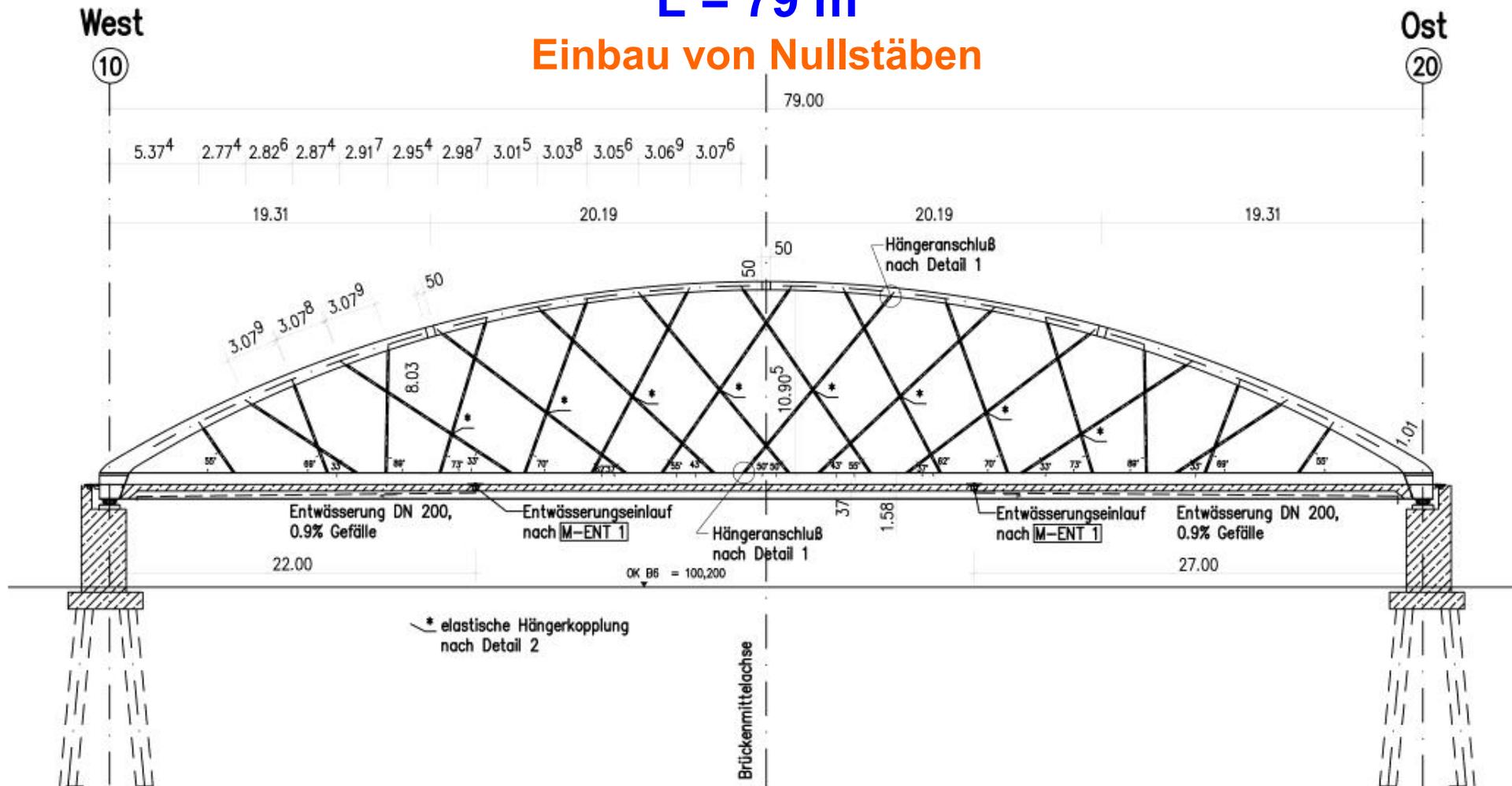


Oderbrücke, 2008, zweigleisig
L = 104 m, 1000 to (4,8 to/m Gleis)
(Tonnage Stabbogen minus 30%)



EÜ B6 Halle/Saal, eingleisig, Betonplatte L = 79 m

Einbau von Nullstäben



EÜ B6 Halle/Saale

Hängernetz nicht optimiert - Einbau von Nullstäben



EÜ B6 Halle/Saale
Einbau von Nullstäben



Charakteristik Netzwerkbogenbrücken

Endzustand: sehr effektives Tragsystem
Montagezustand: sehr empfindliches Tragsystem
(je nach Montageart)

Wirtschaftlichkeit ist daher in der Summe zu sehen!



erfolgreiches netzwerken

+

Danke

für Ihre Aufmerksamkeit!

Josef Fink