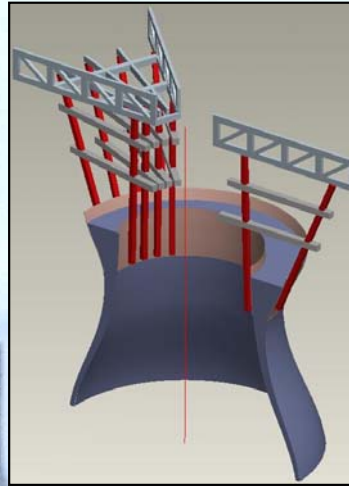


Geometrische Verfahren in der Gleitschalungstechnik

Geometric Control of Slip Forming

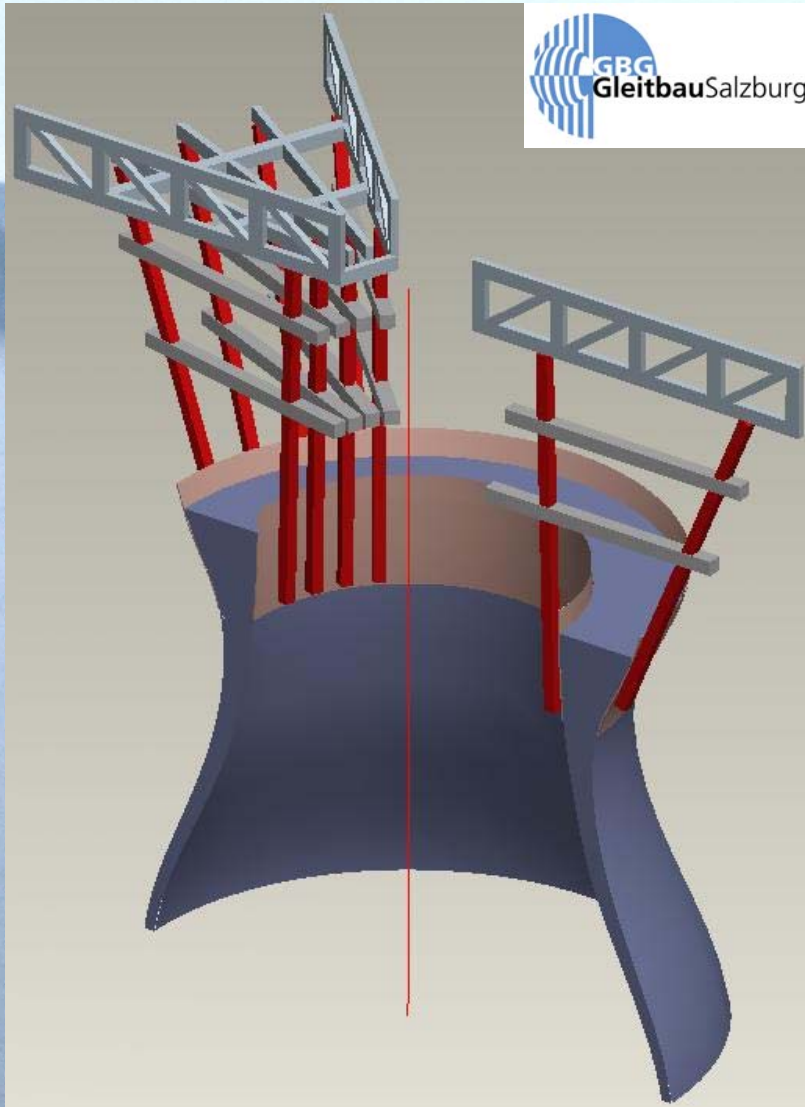


Aufgabenstellung

[illegible]

Konische Gleitschalung

Conical Slip Forming

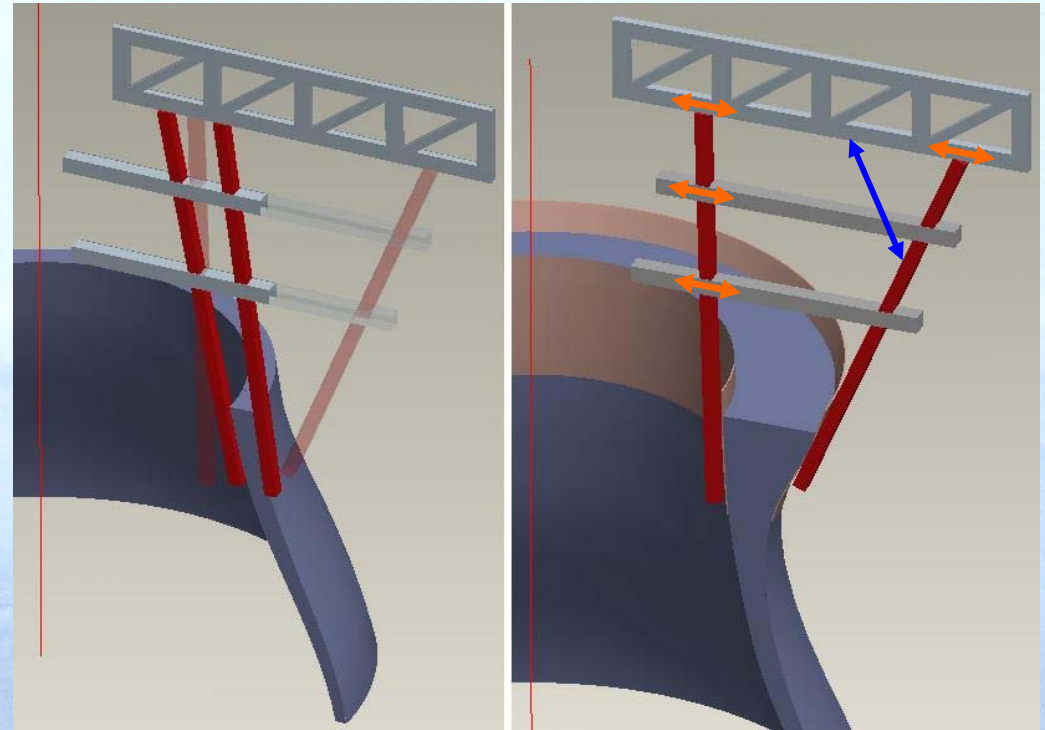


- Betonbau - Technik
- fugenfrei → wasserdicht, gasdicht

Elemente

- Schalung (*formwork*)
- Trägerrost (*lattice truss*)
- Joche (*yokes*)
- oberer / unterer Jochträger (*upper / lower carrier plate*)

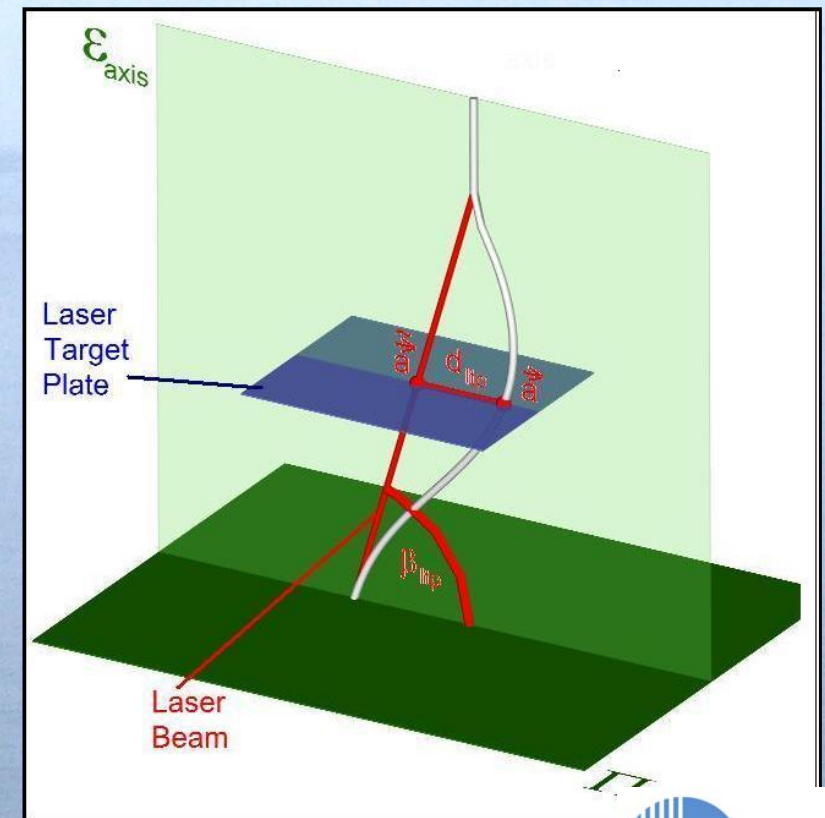
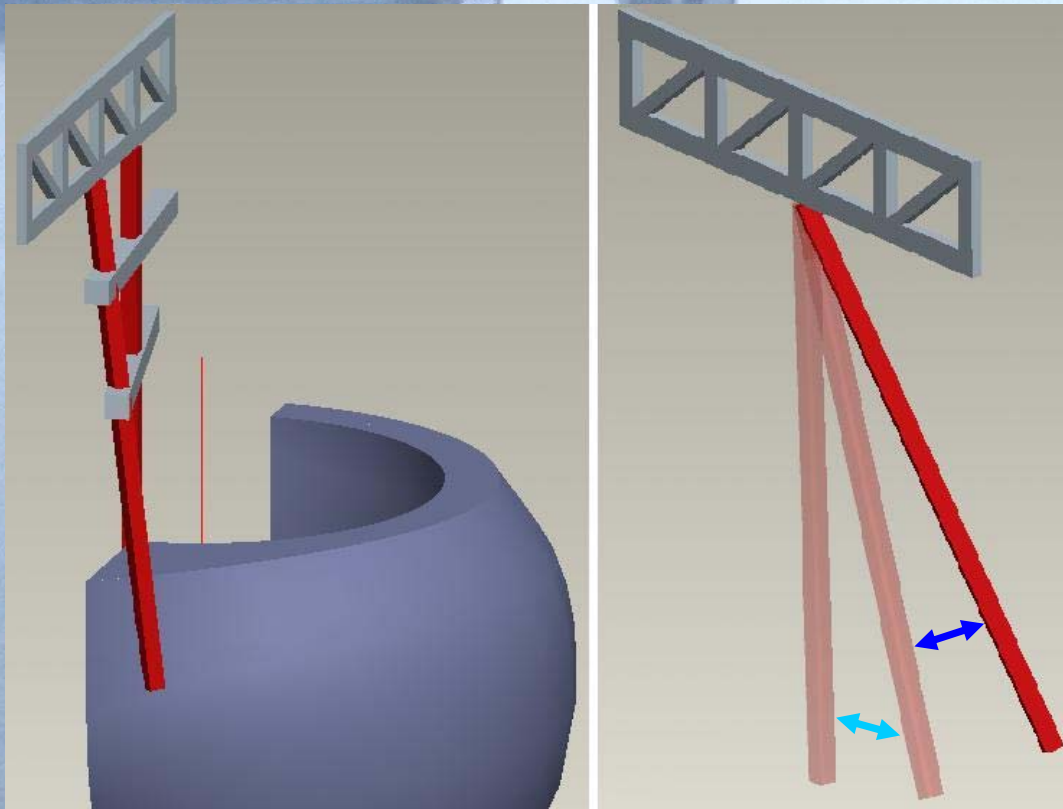
Patentiertes Parallelogrammprinzip



- TRUK-spindeln
- radialer Winkel (radial angle)
- Wandstärke-Spindeln (wall thickness spindles) - Wandstärke stetig veränderbar
- Umfang-Spindeln (circumference spindles) - nicht dargestellt

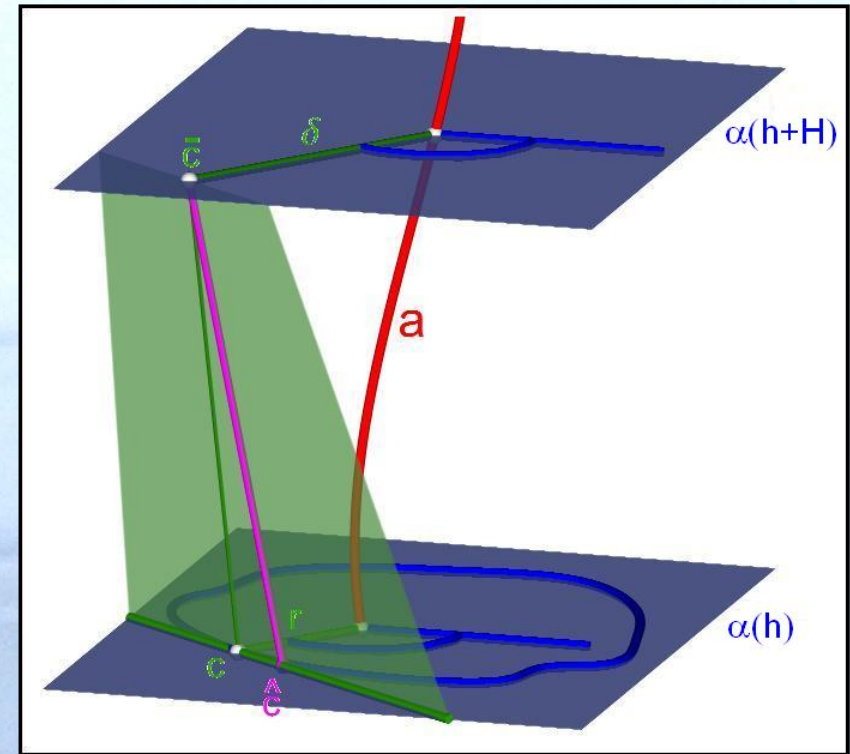
Patentiertes Parallelogrammprinzip

- Tangentiale Winkel
- Zwischenjochabstützung (*intermediate yoke support*) – nicht dargestellt
- Laser Target Plate



Erste Ergebnisse

geg.: Fläche $\Phi \dots \vec{\Phi}(\varphi, h)$
 Raumkurve $a \dots \vec{a}(h)$



Polarkoordinatensystem P_h in waagrechter Ebene $\alpha(h)$:

P_h : Ursprung ... $a(h)$

Winkel φ

Erste Ergebnisse

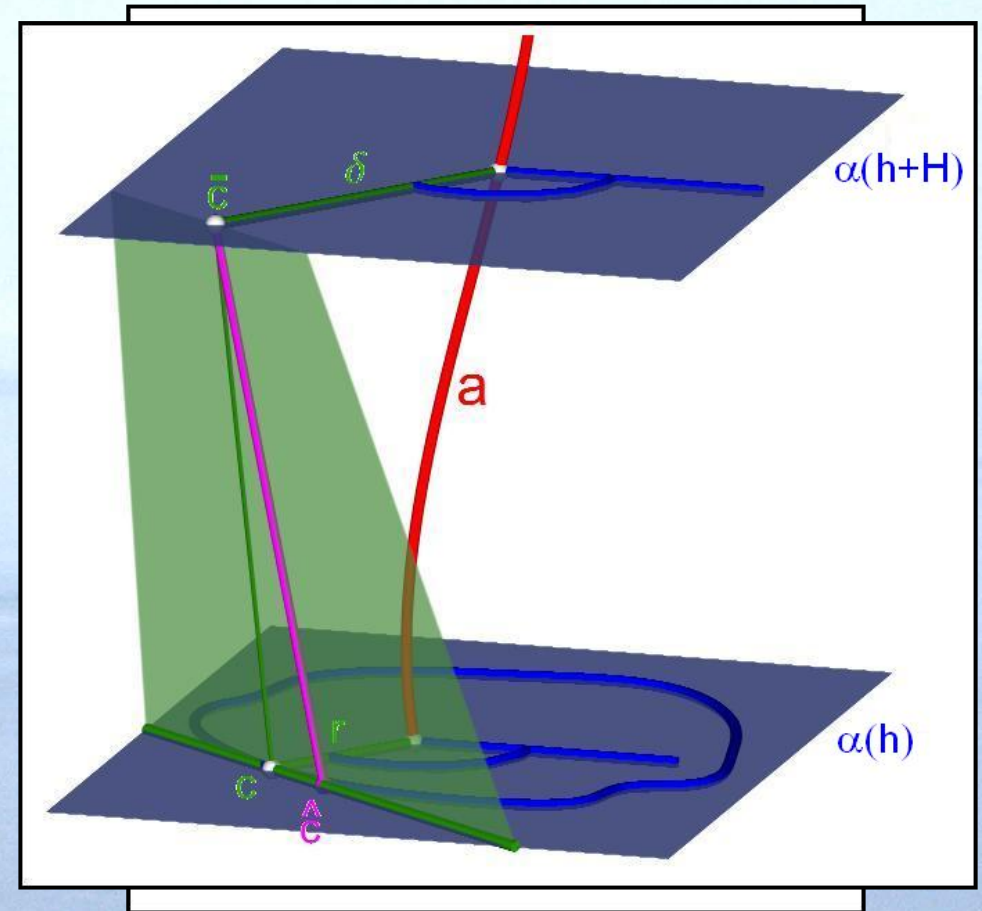
h-Linie: $h=h_0$ const.

$$\vec{c}(\varphi, h) = \Phi(\varphi, h)$$

Streifen: $(\vec{c}(\varphi, h), \tau_{\vec{c}}(\varphi, h))$

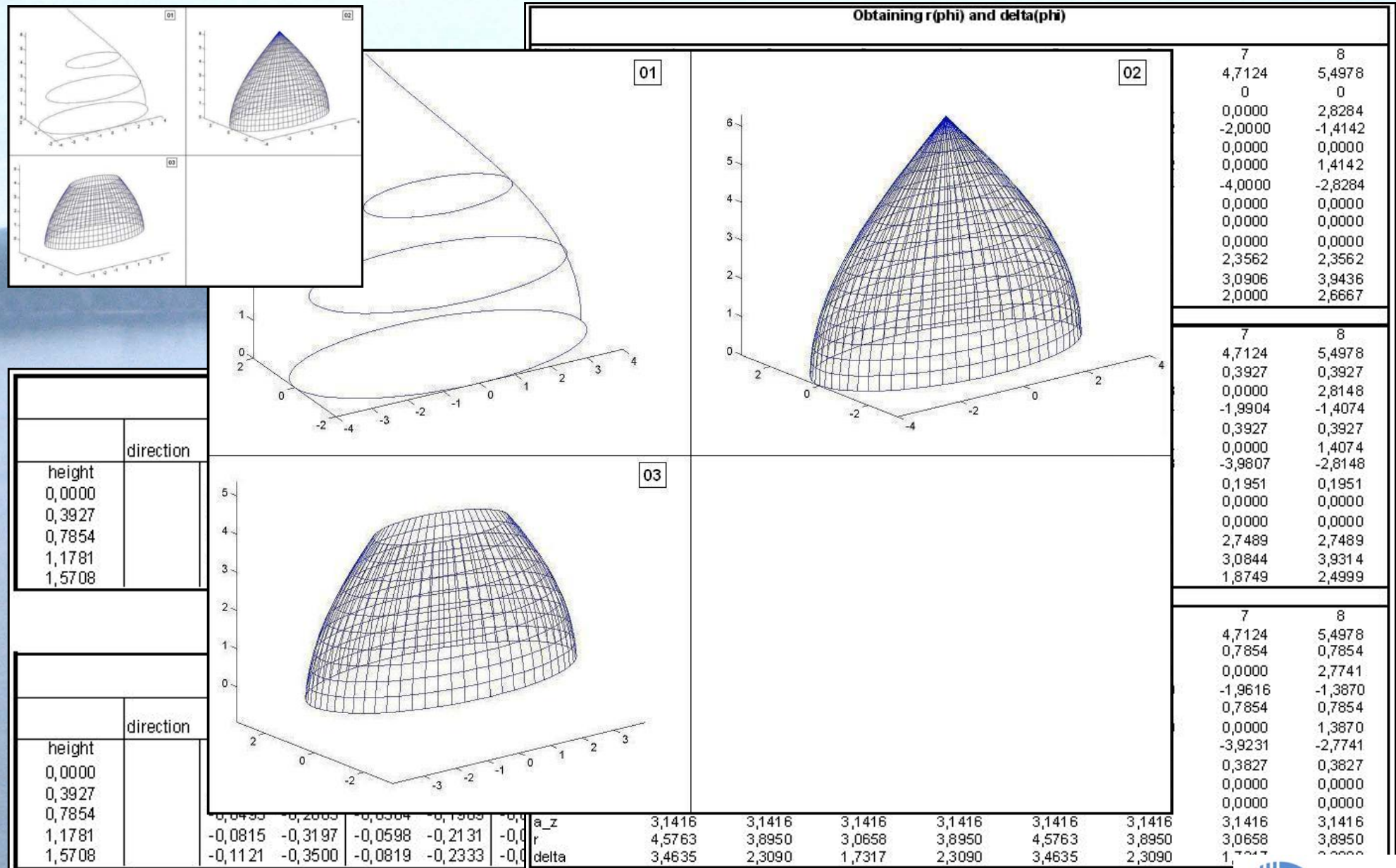
$$\vec{c}(\varphi, h) \dots (r(\varphi, h) \cos \varphi, r(\varphi, h) \sin \varphi, h)^T$$

$$\dot{\vec{c}}(\varphi, h) \dots \begin{pmatrix} \dot{r} \cos \varphi - r \sin \varphi \\ r \sin \varphi + \dot{r} \cos \varphi \\ \dot{h} \end{pmatrix}$$



$$(\vec{c}(\varphi, h), \tau_{\vec{c}}(\varphi, h)) \leftrightarrow (r(\varphi, h), \delta(\varphi, h))$$

Ein erstes Beispiel



Erste „Spindellisten“

rounded distances delta									
d2	0,04								
	direction	1	2	3	4	5	6	7	8
height									
0,0000		4,0000	2,6400	2,0000	2,6400	4,0000	2,6400	2,0000	2,6400
0,3927		3,7200	2,4800	1,8400	2,4800	3,7200	2,4800	1,8400	2,4800
0,7854		3,4400	2,2800	1,7200	2,2800	3,4400	2,2800	1,7200	2,2800
1,1781		3,1200	2,0800	1,5600	2,0800	3,1200	2,0800	1,5600	2,0800
1,5708		2,7600	1,8400	1,3600	1,8400	2,7600	1,8400	1,3600	1,8400

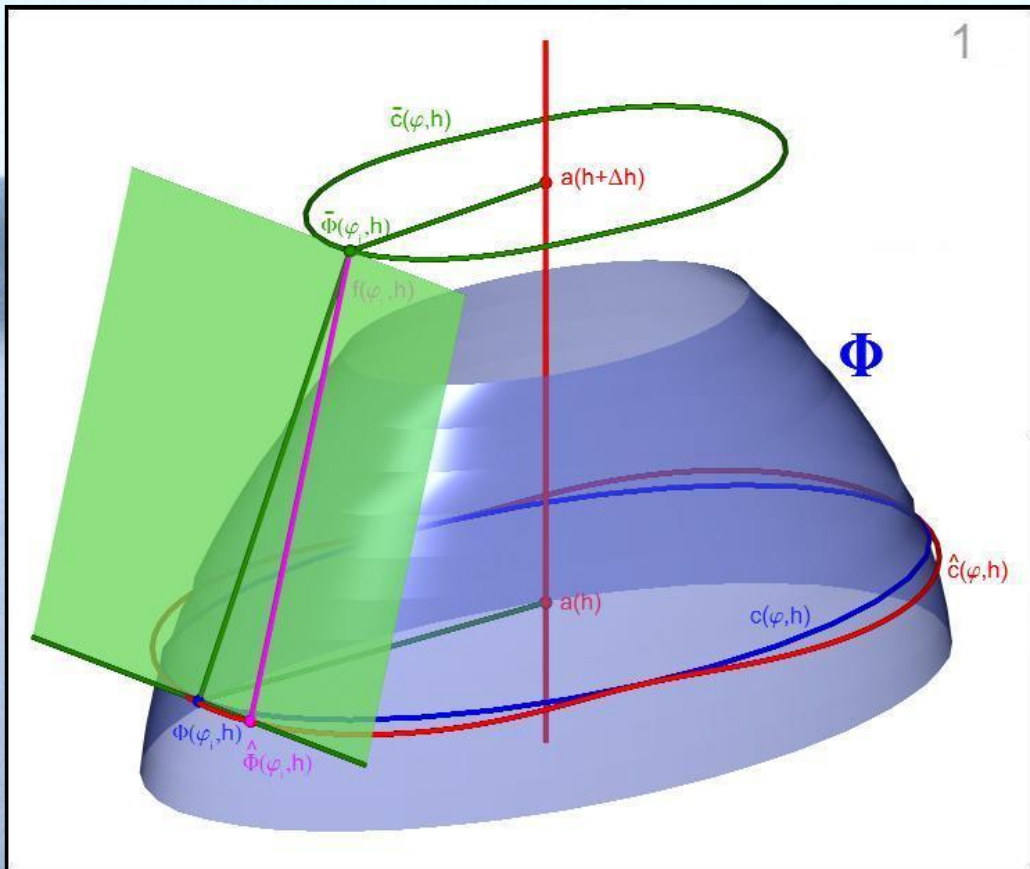
required adjustments for approximating the distances									
	direction	1	2	3	4	5	6	7	8
height									
0,0000									
0,3927		-7	-4	-4	-4	-7	-4	-4	-4
0,7854		-7	-5	-3	-5	-7	-5	-3	-5
1,1781		-8	-5	-4	-5	-8	-5	-4	-5
1,5708		-9	-6	-5	-6	-9	-6	-5	-6



$$\bar{\delta}(\varphi, h) = \left[\frac{\delta(\varphi, h)}{u} \right]_G \cdot u$$

$$adj(\varphi, h) = \frac{\bar{\delta}(\varphi, h) - \bar{\delta}(\varphi, h - \Delta h)}{u}$$

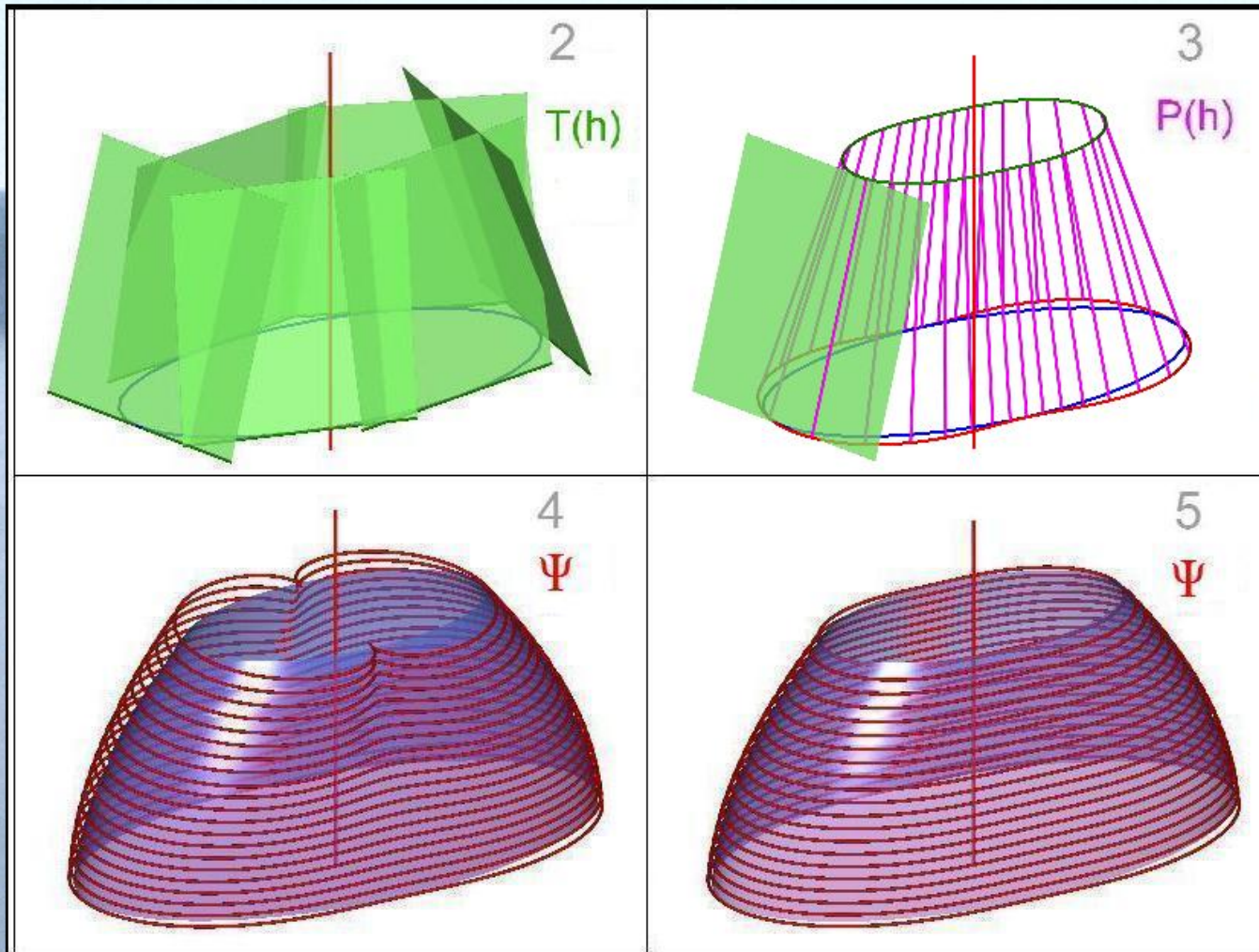
Ersatzflächen Ψ zu Flächen Φ



Algorithmus:

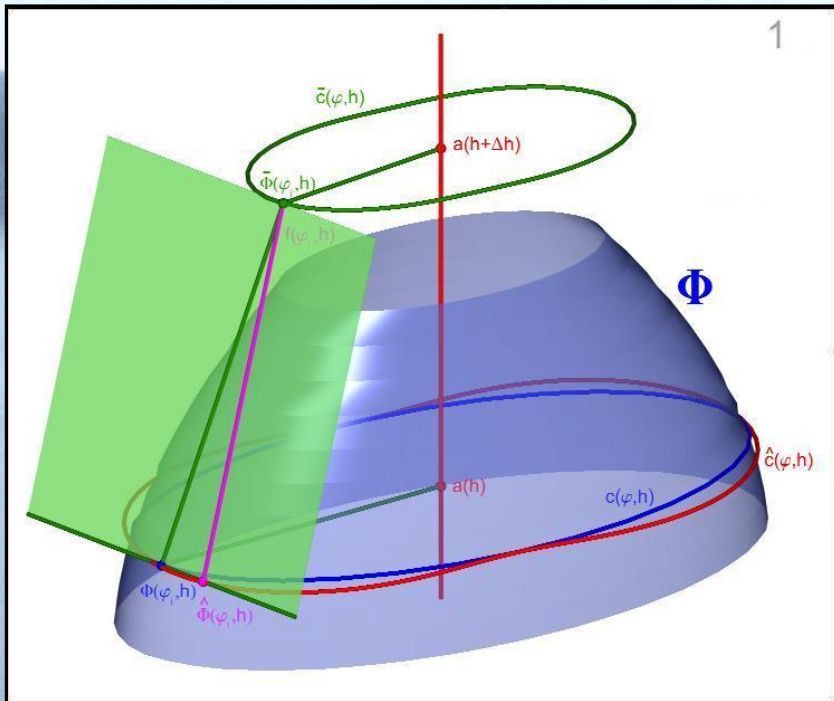
- h-Linie $\vec{c}(\varphi, h)$... Streifen
- $\rightarrow \bar{c}(\varphi, h)$
- Falllinie $f \in \tau_c$, f durch \bar{c}
- $f \cap \alpha(h) \Rightarrow$
Parameterlinie $\hat{c}(\varphi, h)$

Ersatzflächen Ψ zu Flächen Φ



- Schar von Torsen $T(h)$
- Schar von Regelflächen $P(h)$
- Ersatzfläche Ψ
- i.A. gilt: $\Phi \neq \Psi$

Ersatzflächen Ψ zu Flächen Φ analytische Darstellung



- $\Psi(\varphi, h) : \hat{c}(\varphi, h) = \vec{c} + \vec{a} + \vec{b}$

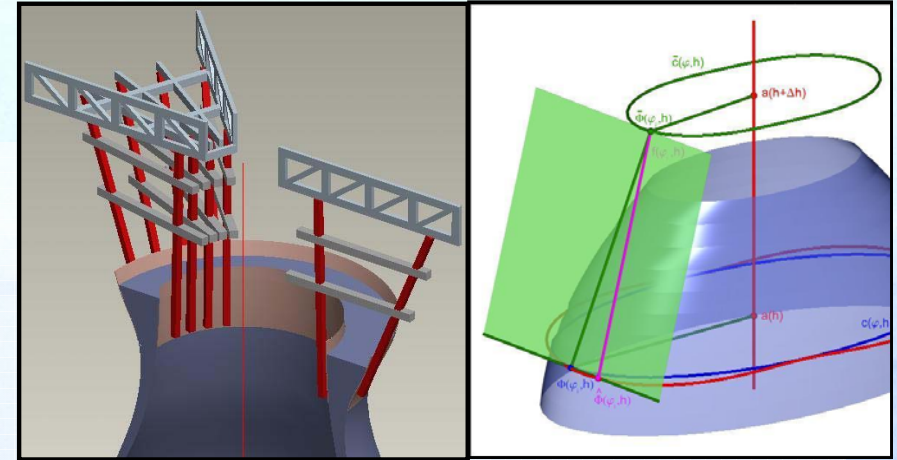
mit $\vec{c} + \vec{a} = \vec{c}$

$$\vec{b} = \lambda \cdot \vec{f}$$

- $\Psi(\varphi, h) : \hat{c}(\varphi, h) = \vec{c} + \lambda \cdot \vec{c},_{\varphi}$

Geometrische Interpretation der Konischen Gleitschalung

- geg: $\Phi \dots \Phi^i, \Phi^o$
- Höhe h : $\Phi \cap \alpha(h) \dots c^i(\varphi, h), c^o(\varphi, h)$
- Tangentialebenen umhüllen Torsen $T(h)$
- Trägerrost wird in Höhe $h+\Delta h$ fixiert, Joche in entsprechenden Punkten der Tangentialebenen
- Grundsätzliche Annahme:
Joche drängen durch die Gravitation in die Position der Falllinien

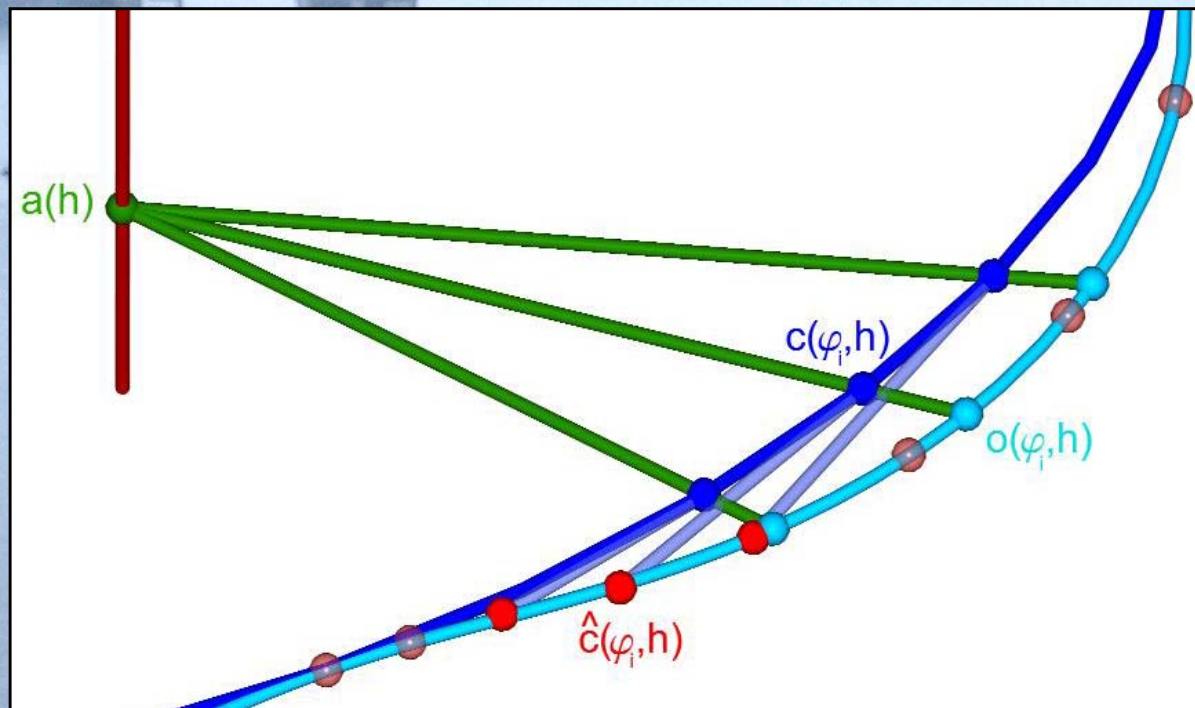


Geometrische Interpretation der Konischen Gleitschalung

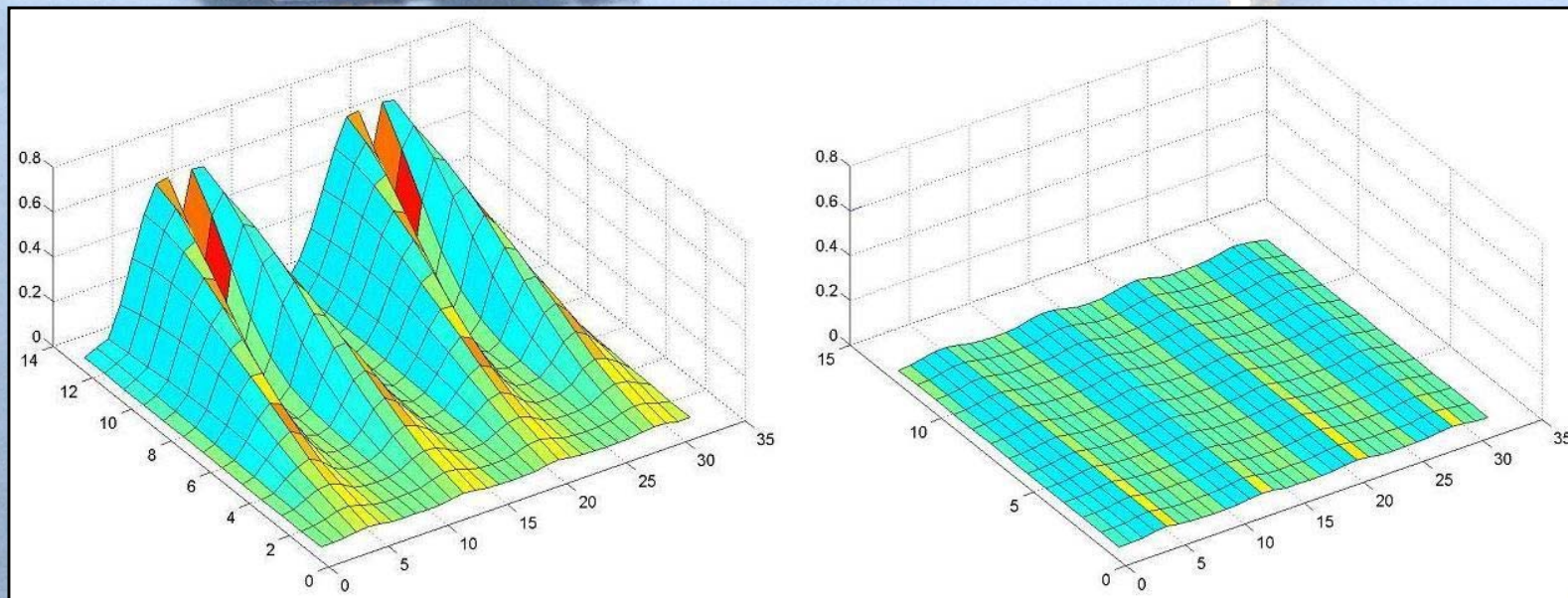
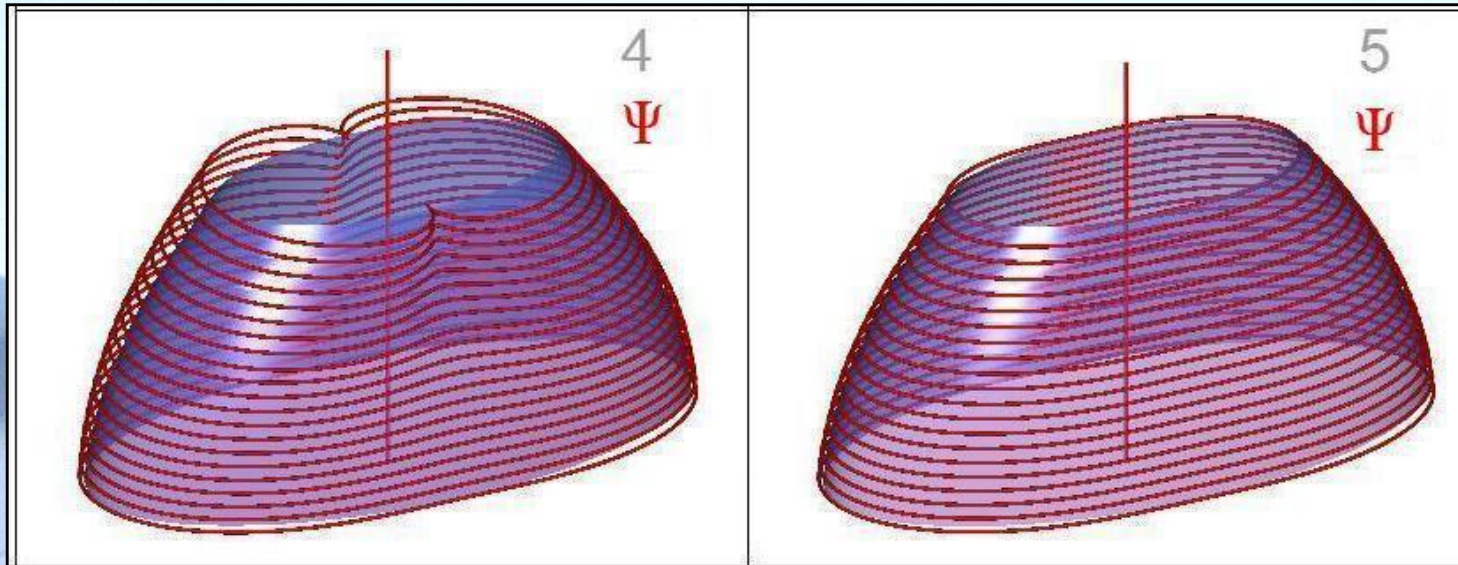
- Oberfläche der Schalung durch Joche bestimmt
- Man baut nicht Φ sondern eine Ersatzfläche Ψ
- Ψ kann analog zu vorher erhalten werden

Vergleich der Flächen Φ und Ψ

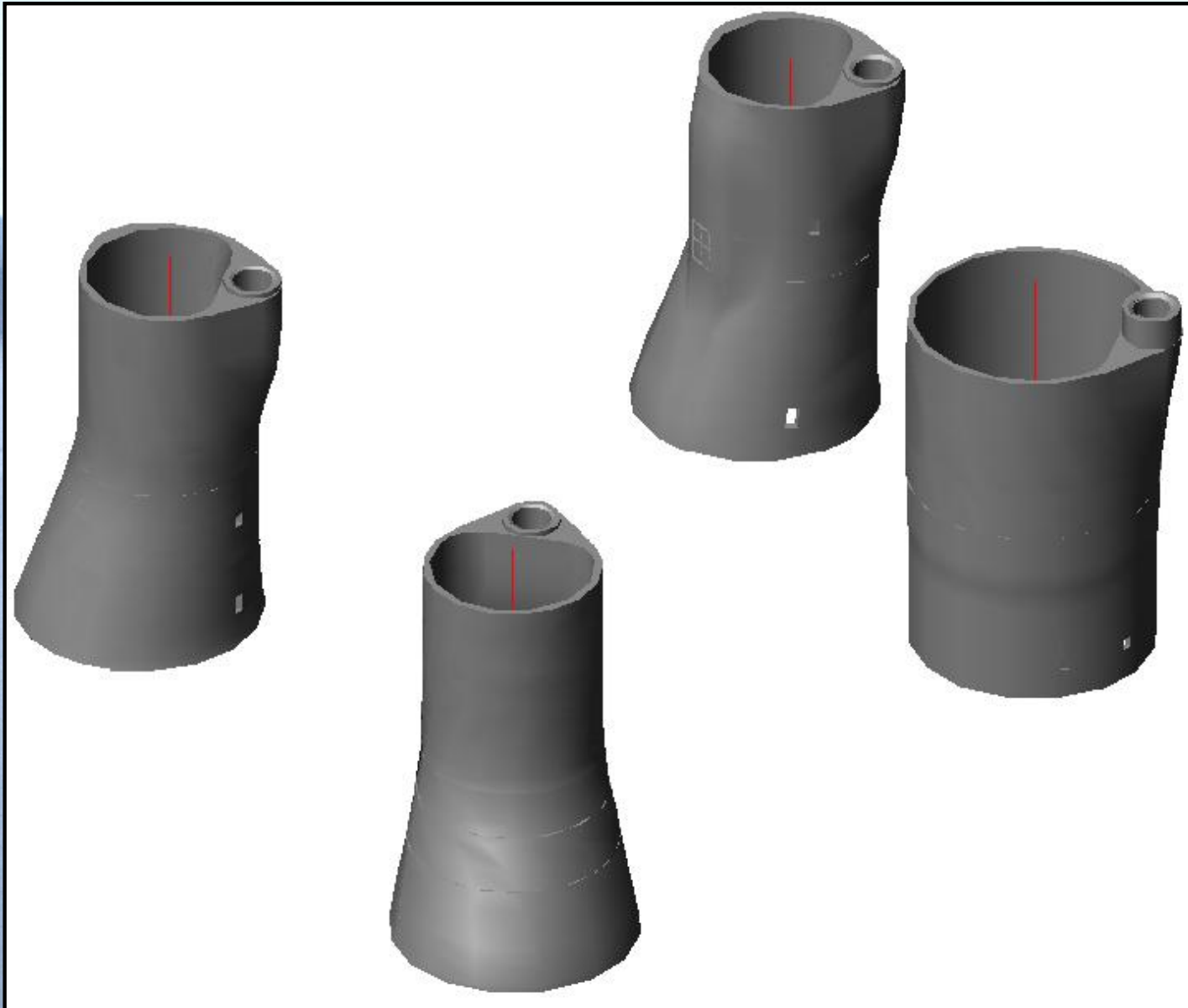
- Vergleich der Parameterlinien c und \hat{c}
- dazu Overhauser-Subsplines durch die Punkte $\hat{c}(\varphi, h)$



Beispiele zum Vergleich von Φ und Ψ




Algorithmus: Input ... AutoCad 3d-File





Der Techniker benötigt ...

- Spindellisten:

					Adjustments: TRUK spindle adjustment: 10 mm Height: 17,050 to 21,300										Project: Sakhalin Shaft: Utility-Shaft Platform: PA-B Client: xxx										Developer: xxx Number: xxx							
Height SOK	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
20,100	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
20,150	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
20,200	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
20,250	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
20,300	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

- Kontrollmaßlisten:

 GleitbauSalzburg							Reference Dimensions I		
							Height: 17,050 to 21,300		
Height SOK 17,300									
Yoke	radius SOK ins.	radius TRUK	radial angle inside	radial angle outside	tang. angle inside	tang. angle outside	Wall Thickness		
							SOK	unt. J-Tr.	ob. J-Tr.
1	10,407	10,800	-30	-31	-33	-33	0,700	0,985	0,984
2	10,406	10,810	-20	-21	-17	-17	0,700	1,110	1,110
3	10,405	10,935	-17	-18	0	0	0,700	1,110	1,110
4	10,405	9,851	30	31	17	17	0,700	1,110	1,110

 GleitbauSalzburg							Reference Dimensions II		
							Height: 17,050 to 21,300		
Height SOK 17,300									
Yoke	Distance		real height SOK	Wall Thickness Intermediate					
	circ. Ins	circ. Out			WT 1	WT2			
1-2	1,939	2,227	-0,135	2	0,701	0,701			
2-3	1,938	2,223	-0,136	2	0,701	0,701			
3-4	1,938	2,223	-0,136	2	0,701	0,701			
4-5	1,939	2,227	-0,135	2	0,701	0,701			

Algorithmus zur Erstellung der Listen

(1) Ermittlung der Daten der Fläche Φ mit AutoCAD und einer AutoLisp-Applikation → liefert Datendatei

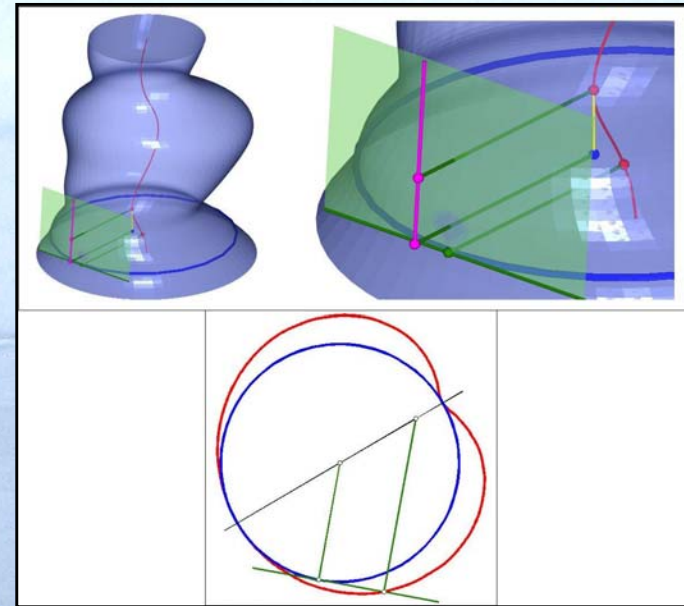
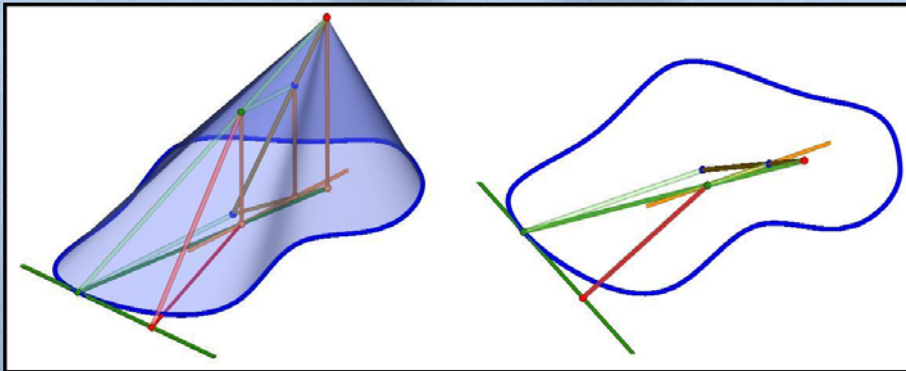
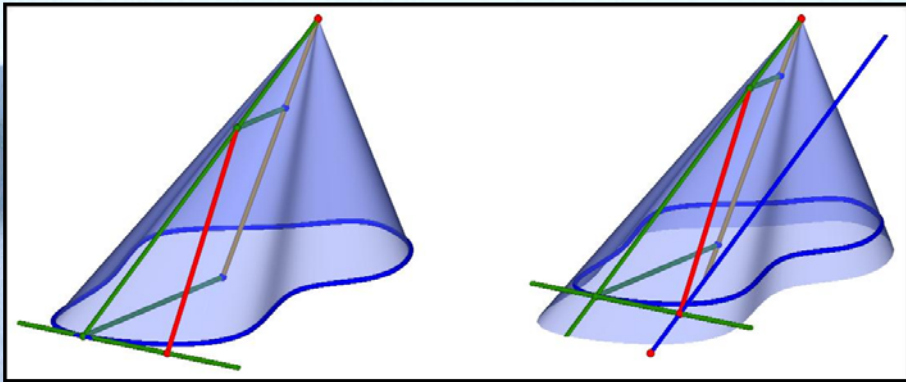
(2) Excel-Datei: Einfügen der Daten → alle Berechnungen automatisch
Output-Tabellenblätter können direkt gedruckt werden

→ nahezu auf beliebige Flächen anwendbar

→ Anwendung ohne besondere geometrische oder mathematische Kenntnisse möglich

Spezielle Ersatzflächen

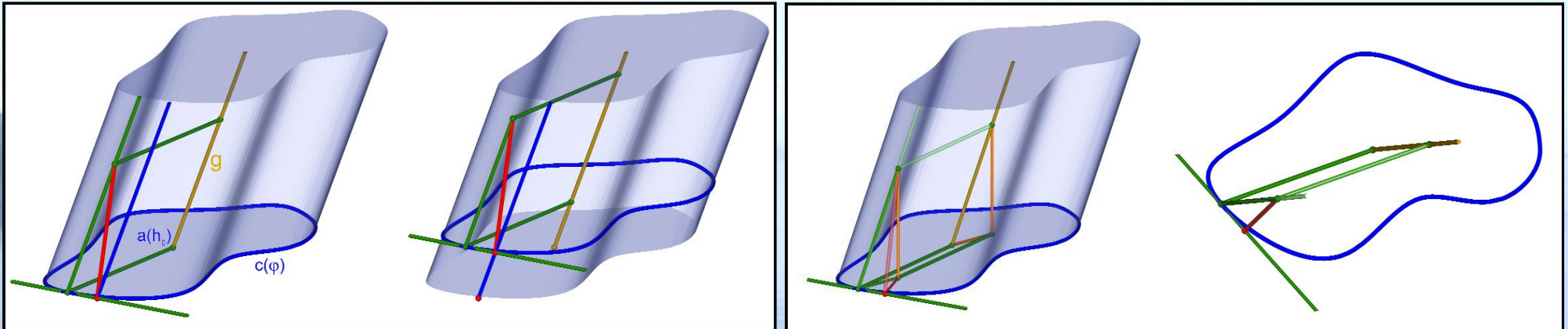
Some specific substitute surfaces



Wann gilt: $\Phi = \Psi$

Spezielle Ersatzflächen

(1) Allgemeine Zylinderflächen

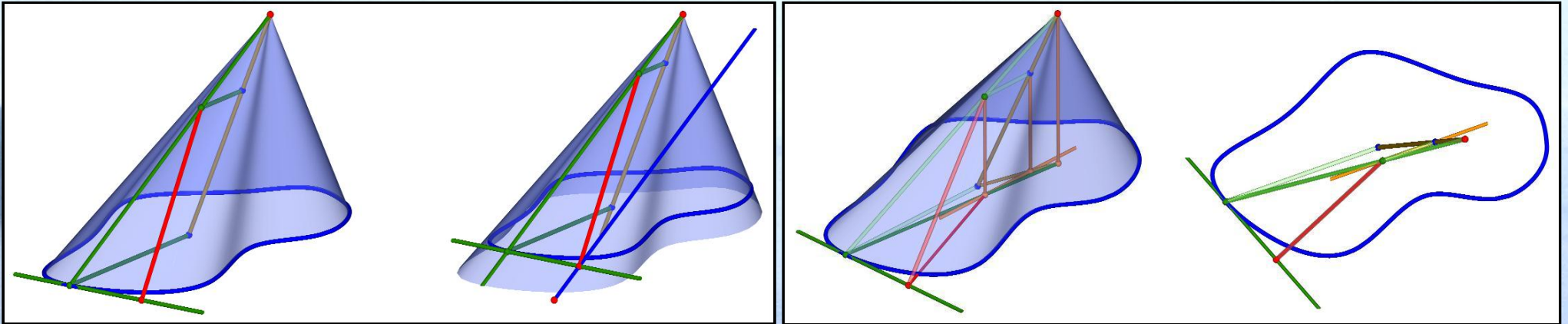


Satz: Die Ersatzfläche Ψ eines allgemeinen Zylinders ζ ist wieder ein allgemeiner Zylinder. Seine Erzeugenden sind parallel zur Erzeugendenrichtung von ζ .

Planimetrische Konstruktion der Parameterlinien \hat{c} von Ψ .

Spezielle Ersatzflächen

(2) Allgemeine Kegelflächen

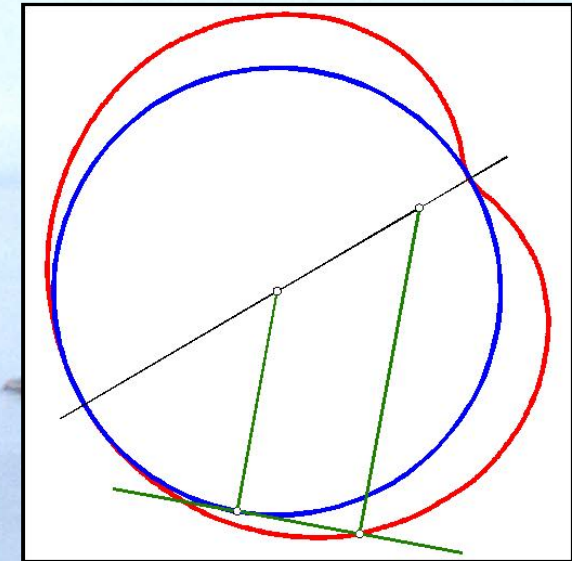
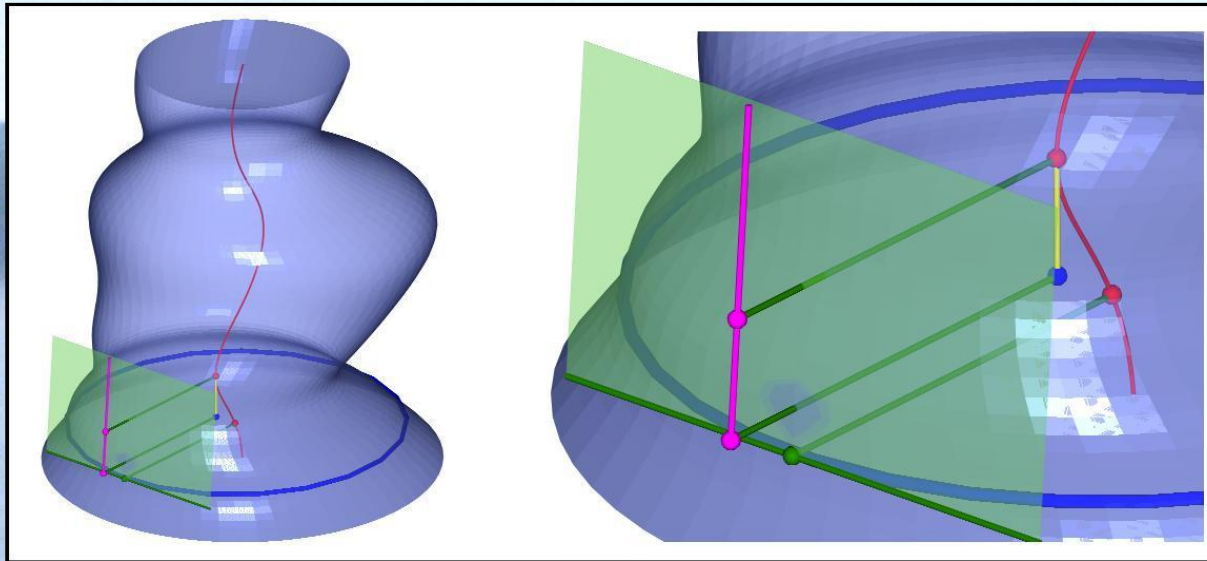


Satz: Die Ersatzfläche Ψ eines allgemeinen Kegels γ ist eine Regelfläche. Ihre Erzeugenden sind parallel zu den entsprechenden Erzeugenden der Ausgangskegelfläche γ .

Planimetrische Konstruktion der Parameterlinien \hat{c} von Ψ .

Spezielle Ersatzflächen

(2) Zyklische Flächen



Satz: Die Parameterlinien \hat{c} der Ersatzfläche Ψ einer zyklischen Fläche Φ sind im Allgemeinen **Pascal-Herz-Kurven** (Pascal-Schnecken-Kurven).

Wann gilt: $\Phi = \Psi$?

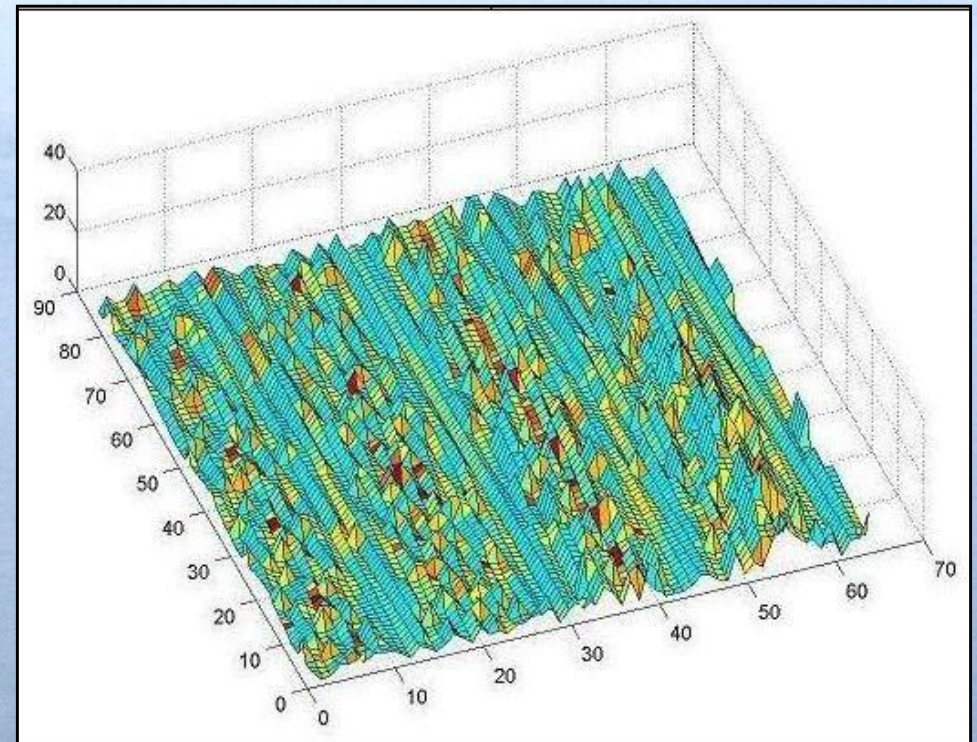
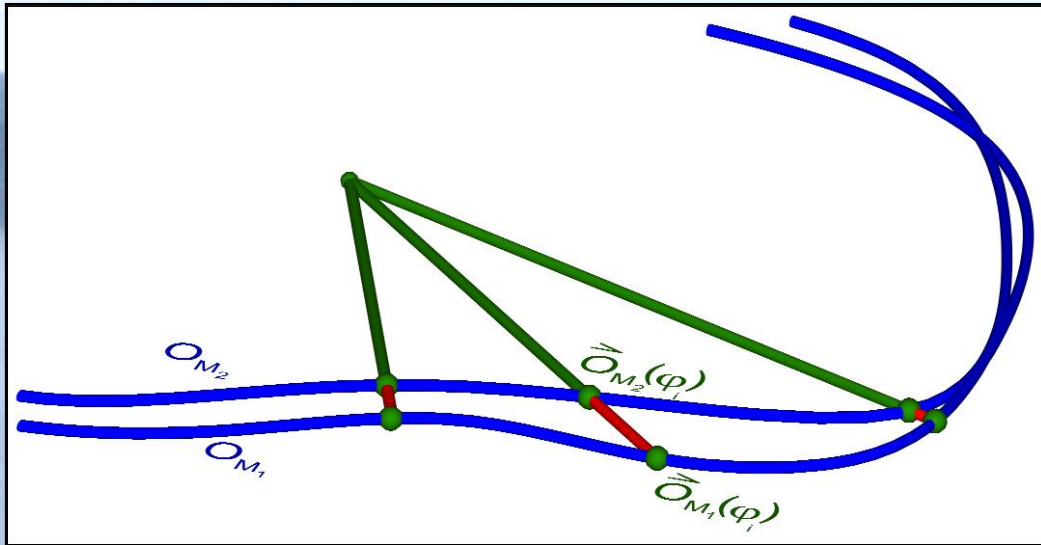
$$\vec{c} \in f \Leftrightarrow \{\vec{f}, (\vec{c} - \bar{c})\} \text{ linear abhängig}$$

$$\Leftrightarrow \|\vec{f} \times (\vec{c} - \bar{c})\| = 0$$

$$\|\vec{f}(\varphi, h) \times [\vec{c}(\varphi, h) - \bar{c}(\varphi, h)]\| = 0 \quad \forall(\varphi, h)$$

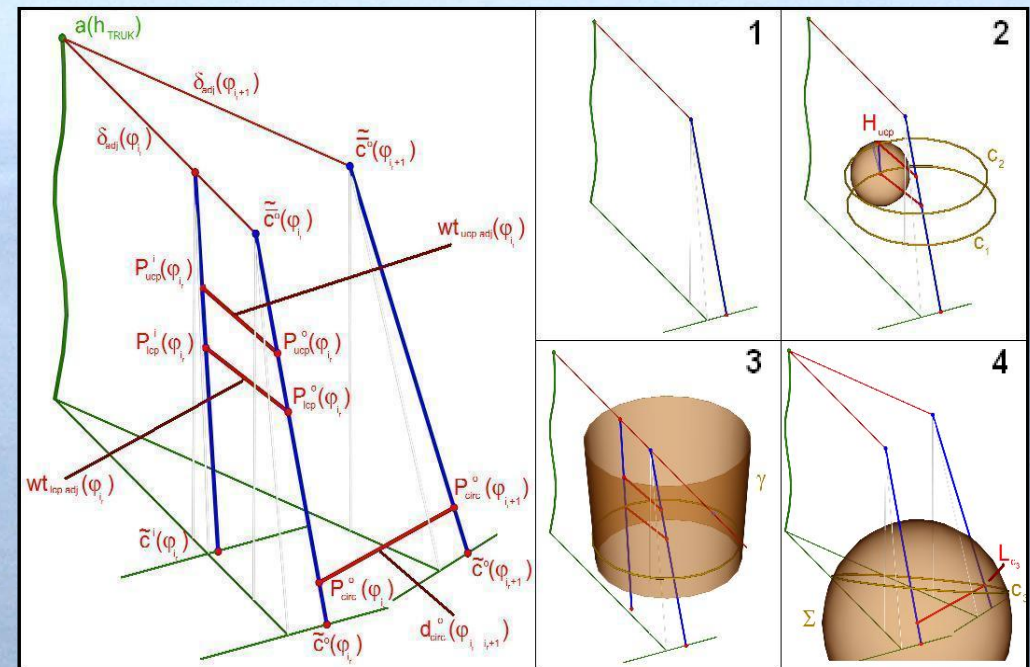
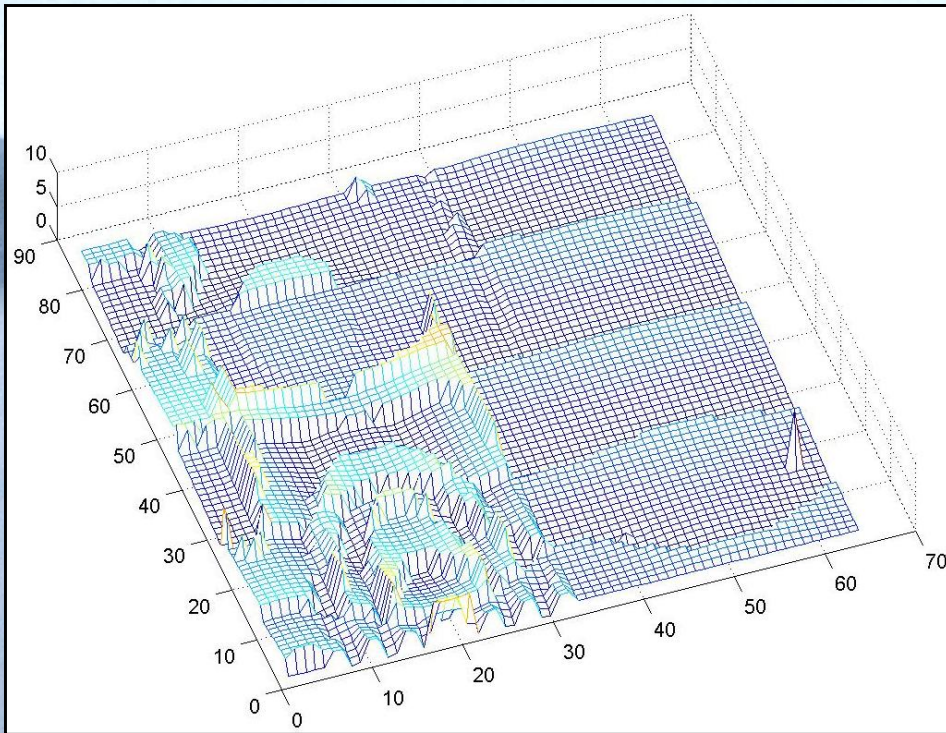
Vergleich einzelner Vorgehensweisen

Comparing different methods numerically



Genauigkeitskontrollen – Kontrollflächen

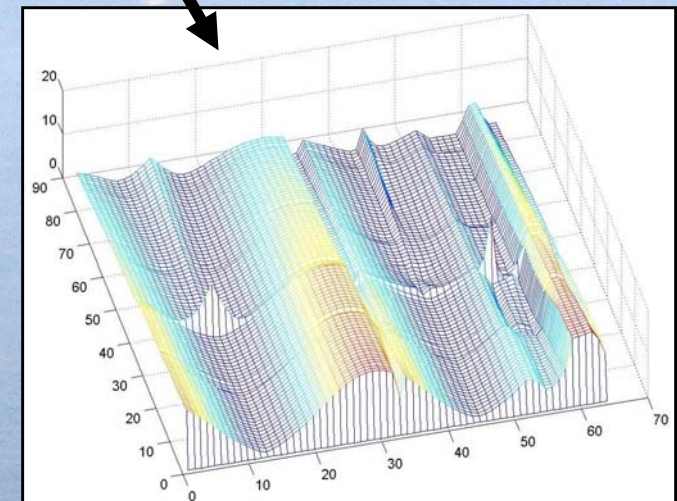
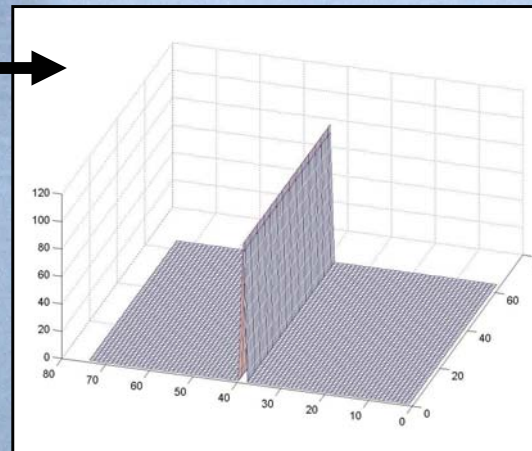
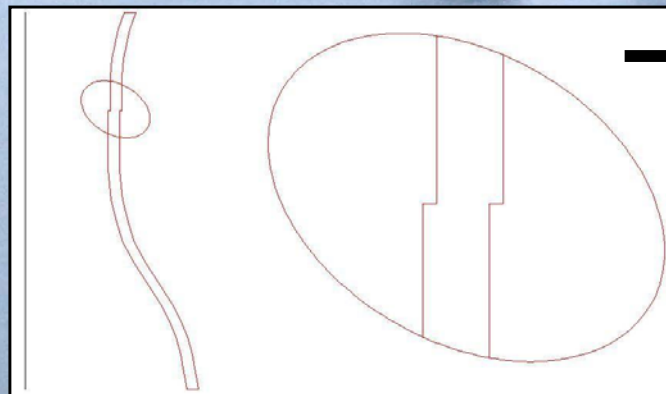
Checking for consistency



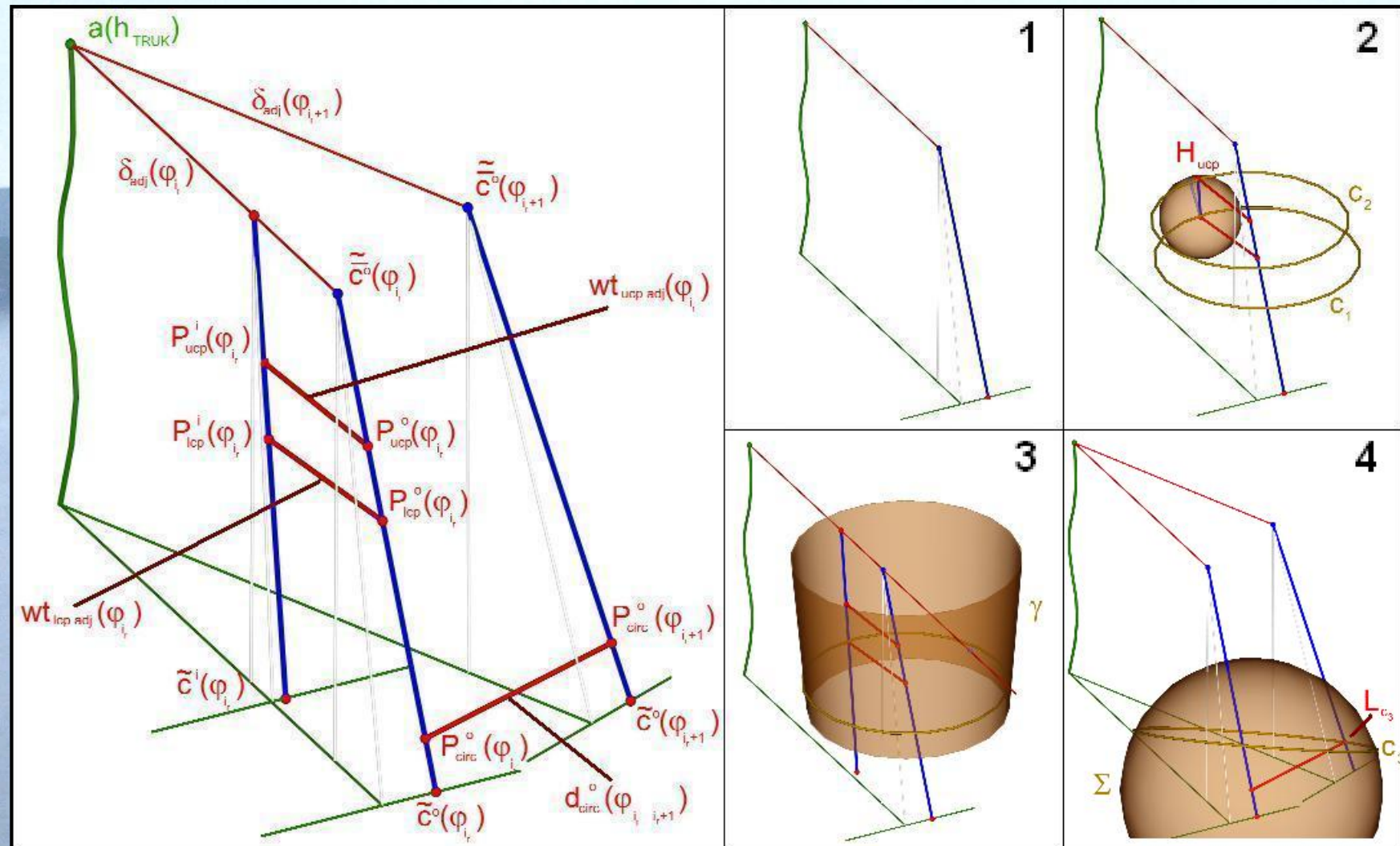
Fehler in 3D-Files

30,150	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	0	0	1	3	4	5	0	0	0	0	5	0
30,200	-2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	6	0	0	0	1	6	1
30,250	-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	2	3	4	5	0	0	0	1	5	0
30,300	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	3	4	5	1	0	0	1	6	1
30,350	-2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	2	3	4	6	0	0	0	2	5	0
30,400	-1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	5	1	0	1	2	6	1
30,450	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	2	3	4	5	4	0	0	1	4	1

31,400	4	4	2	2	2	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	2	2	4	4	4	3	1	1	3	-1	4	4
31,450	4	4	2	2	2	1	1	1	1	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	1	1	3	4	4	4	2	1	1	3	-2	4	5
31,500	4	4	3	2	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0	2	2	3	5	5	3	0	1	4	-1	6	5	
31,550	4	4	3	3	2	2	1	1	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	1	2	5	5	6	3	-1	1	5	-2	6	6
31,600	-21	-17	-15	-17	-18	-21	-22	-23	-22	-20	-17	28	-13	-18	-16	-15	-13	-11	-9	-7	-12	-18	-21	-22	-22	-10	-4	-15	-22	-2	-18	-22
31,650	1	0	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	3	2	7	4	3	2	1	1	0	0	0	0	1	1	2	2	-1	0	2	1	1
31,700	0	1	0	1	1	1	2	3	4	6	7	3	4	5	5	3	2	1	0	0	0	1	1	1	1	3	2	0	-1	2	1	1
31,750	1	0	0	0	0	2	2	3	5	5	7	3	11	6	4	3	2	1	1	0	1	1	1	2	2	3	2	0	0	2	1	1
31,800	4	4	0	0	4	4	2	2	2	5	6	2	7	5	4	2	2	4	0	0	0	4	4	4	2	2	0	0	4	2	4	0

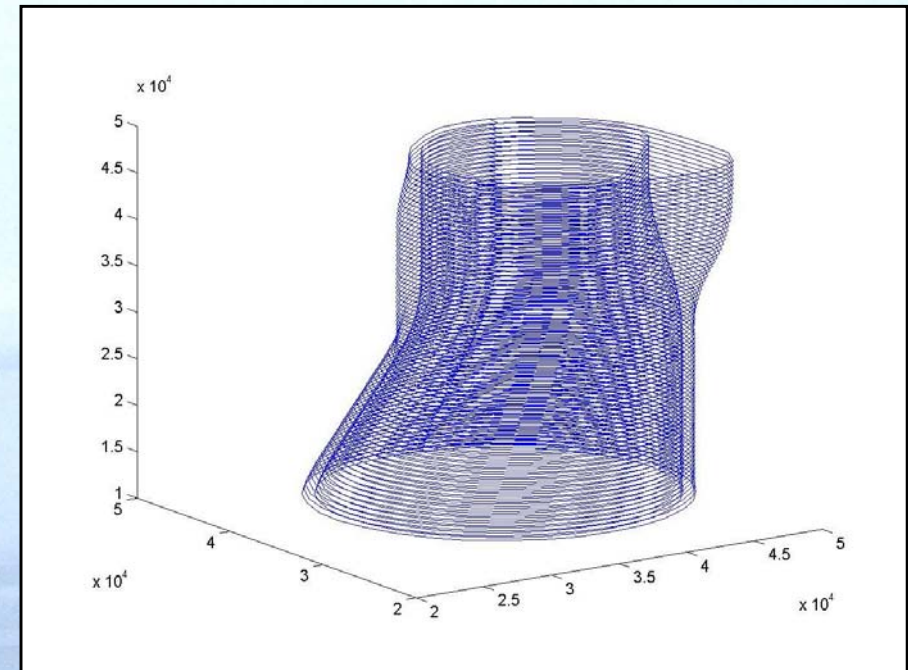
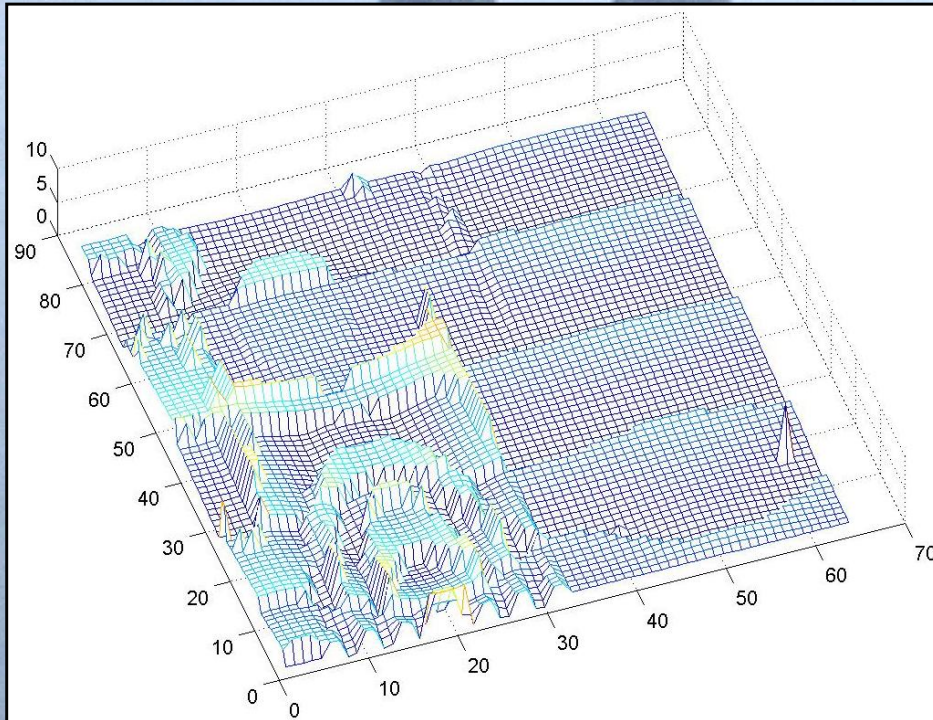


Kontrollflächen



Kontrollfläche und Genauigkeitskontrolle

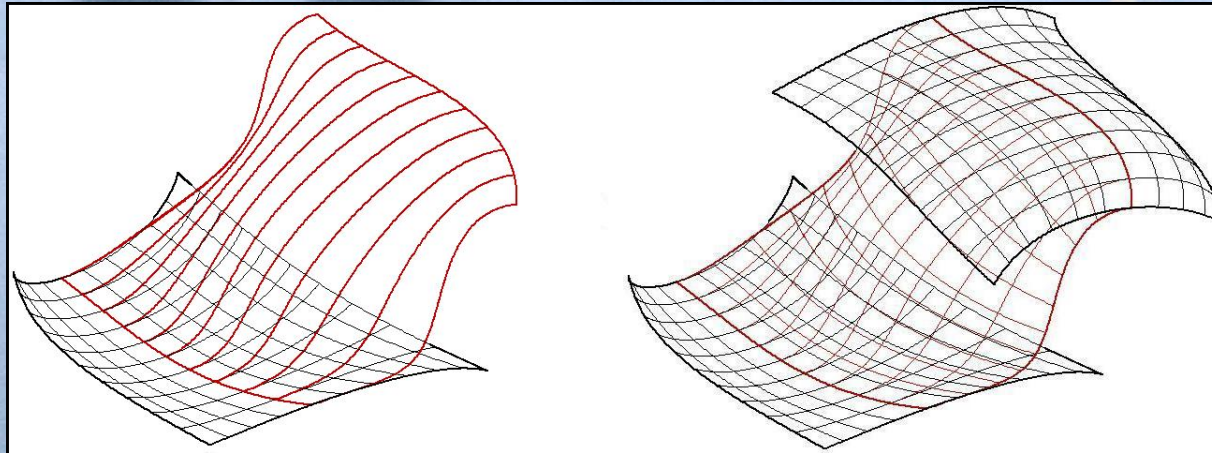
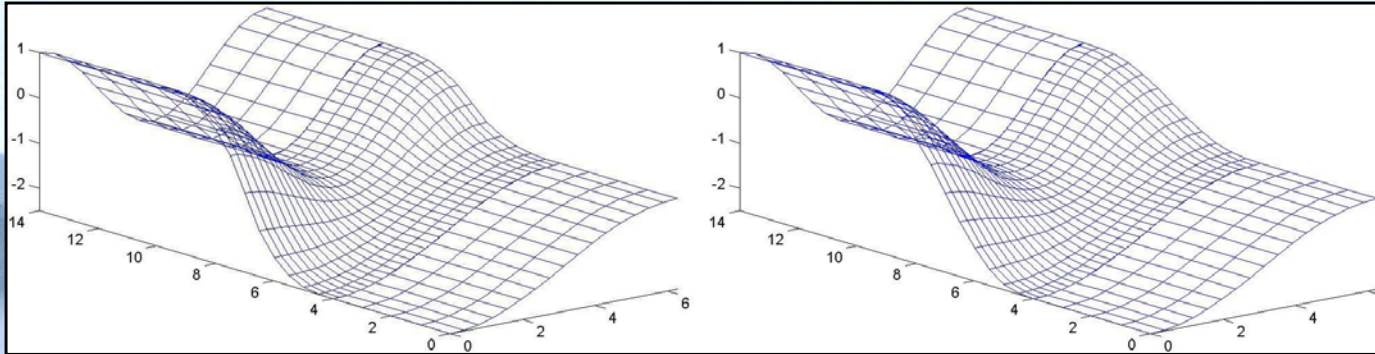
Plotten der Kontrollfläche $\tilde{\Phi}$



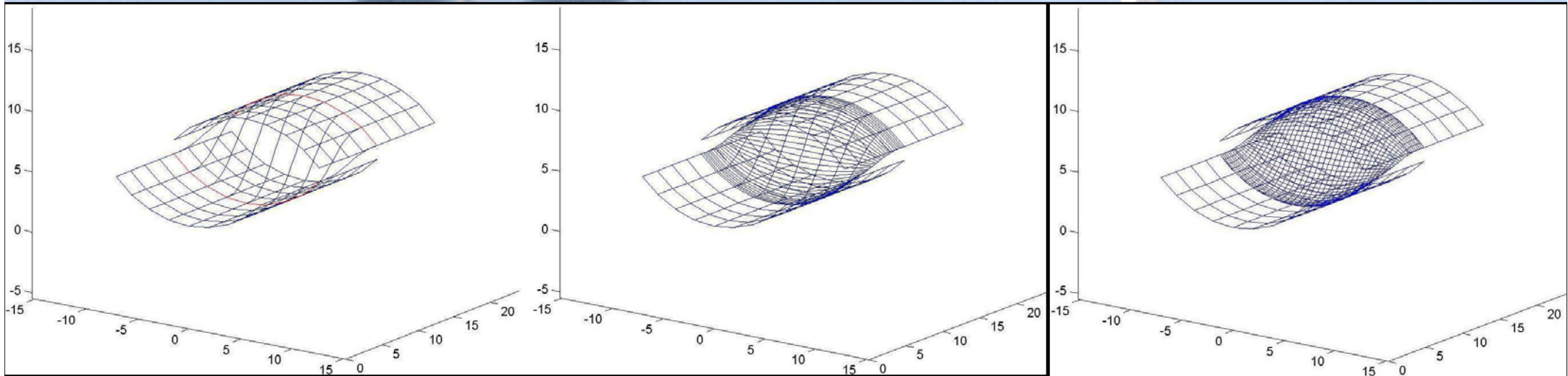
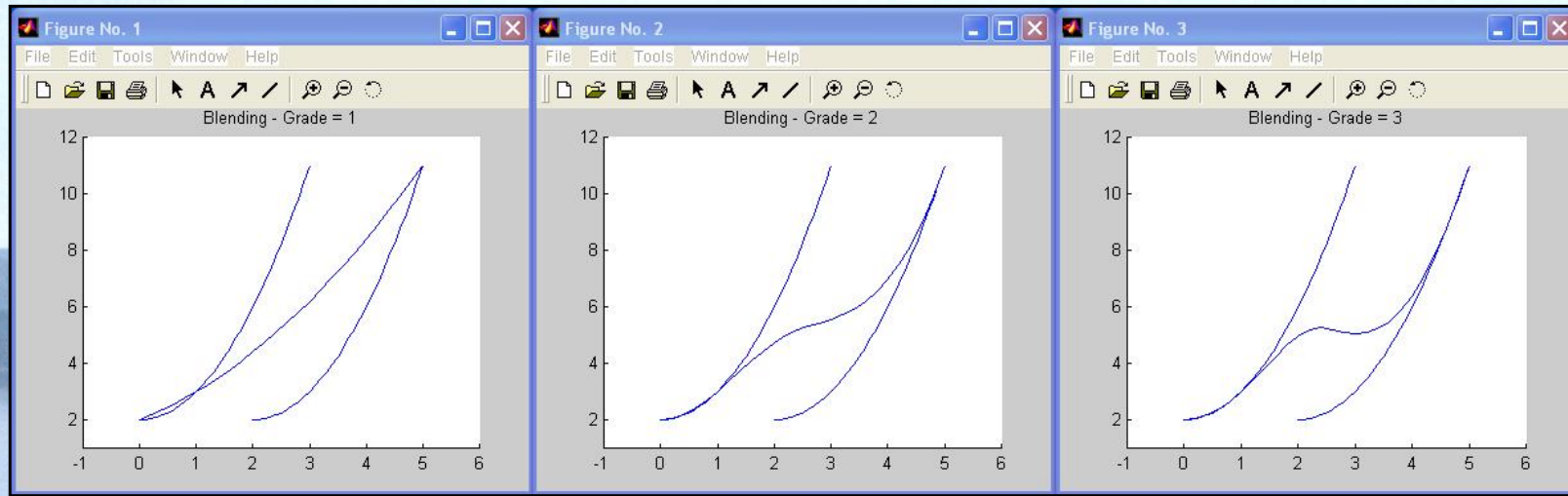
Graphische Darstellung der **Unterschiede** zwischen der Originalfläche Φ und der Kontrollfläche $\tilde{\Phi}$

Unerwünschte Abweichungen

Dealing with deviations

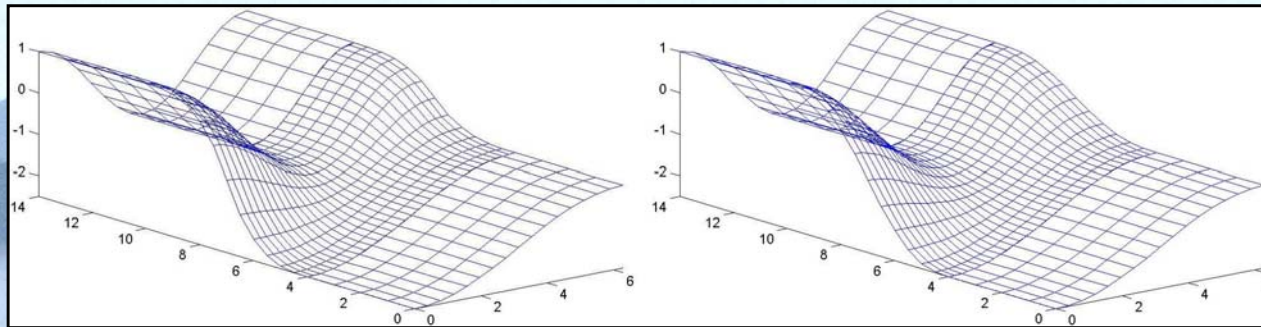


Die Blending Funktionen $b_p(\varphi)$ und $\alpha_{lm}(h)$

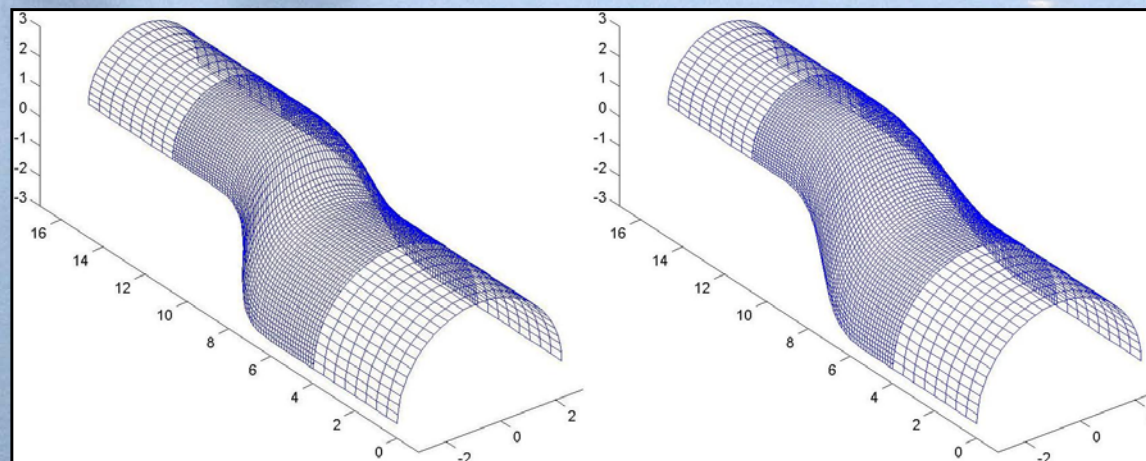


Vergleich der Ergebnisse von $b_p(h)$ und $\alpha_{lm}(h)$

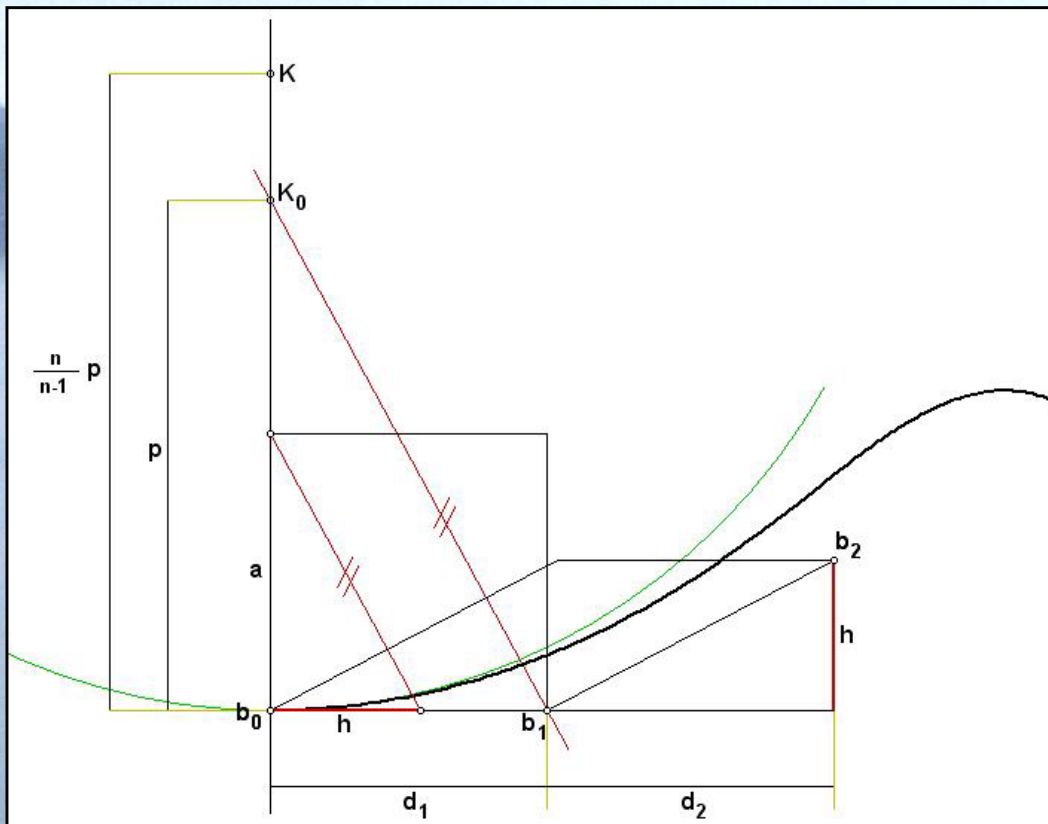
$b_3(h)$ vs. $\alpha_{22}(h)$: Selbe Stetigkeit an Übergangskurven, aber Unterschied erkennbar



$b_8(h)$ vs. $\alpha_{77}(h)$: selbe Stetigkeit, deutlicher Qualitätsunterschied



Blendings mittels Bezier Kurven



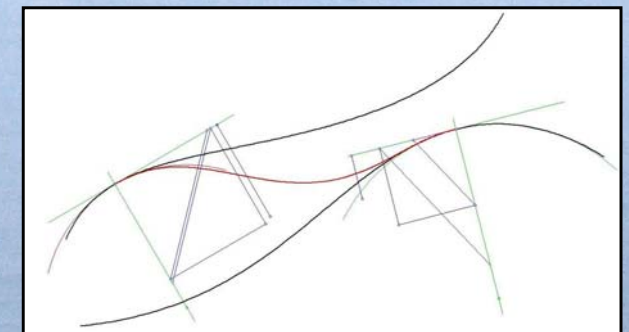
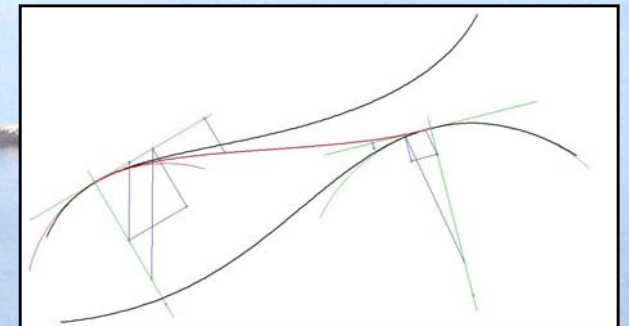
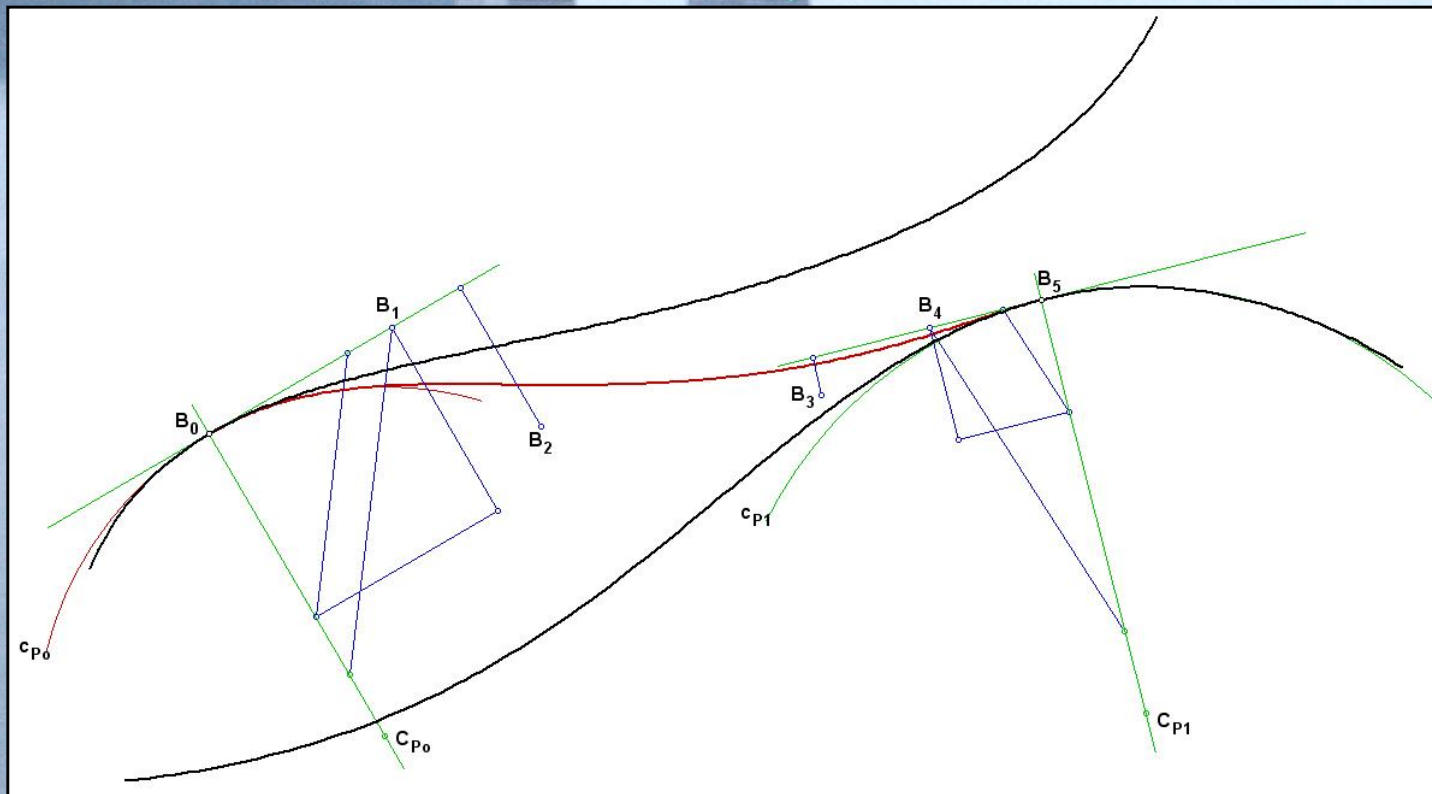
Krümmungskreis in einem Punkt:

Einfacher Algorithmus:

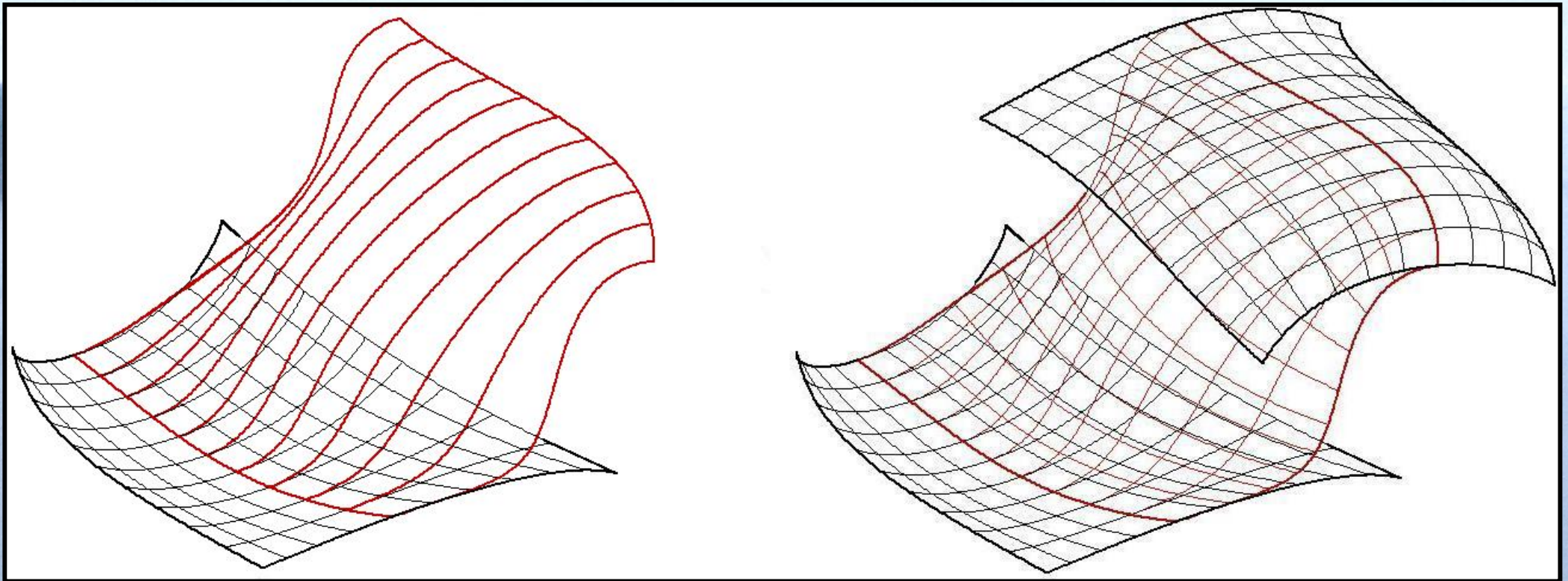
- Quadrat über $[b_0b_1]$
- h auf Tangente von b_0 aus abschlagen
- Parallelen liefern K_0
- K durch zentrische Streckung

Fortsetzung einer Kurve mittels einer Bezier Kurve

- Krümmung/Krümmungskreis in Endpunkt bekannt
- Algorithmus von vorher umkehren
- Übergang zwischen zwei Kurven analog



Blendings mittels Bezierkurven

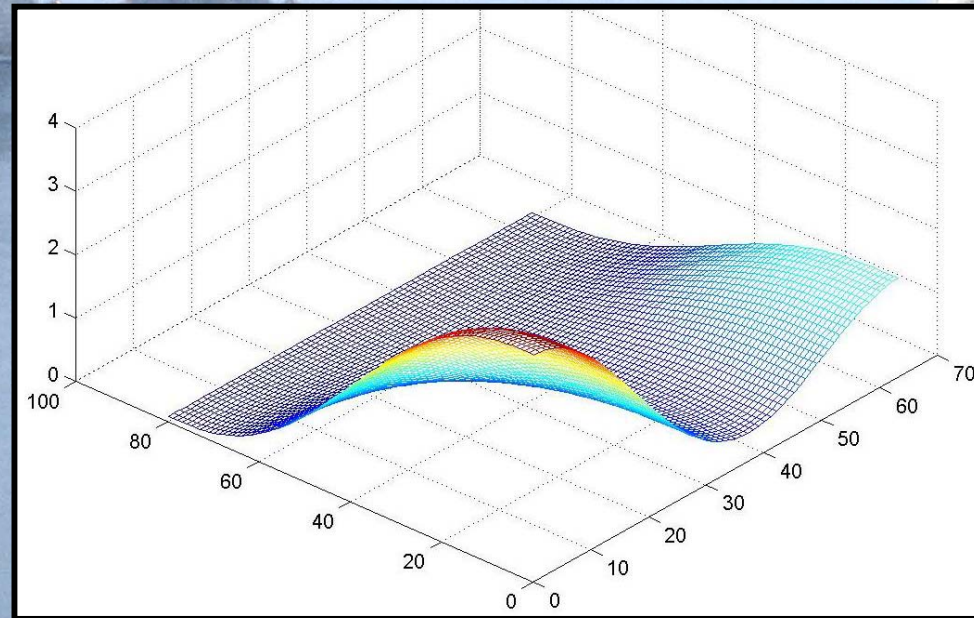


Fehler ausbessern

Mit geeigneter Methode:

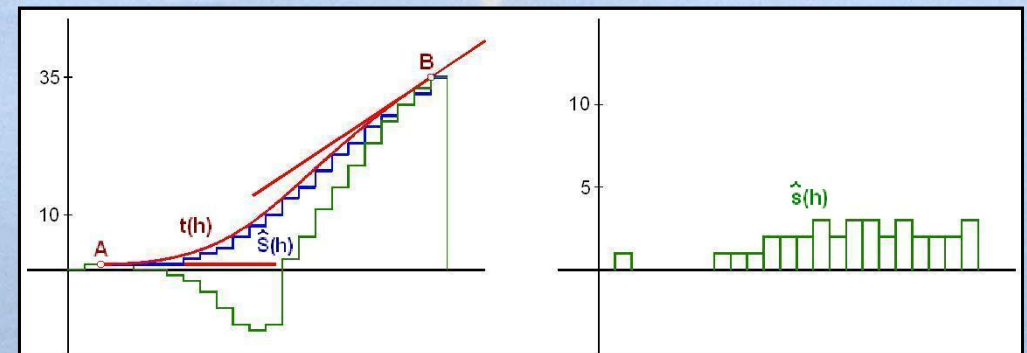
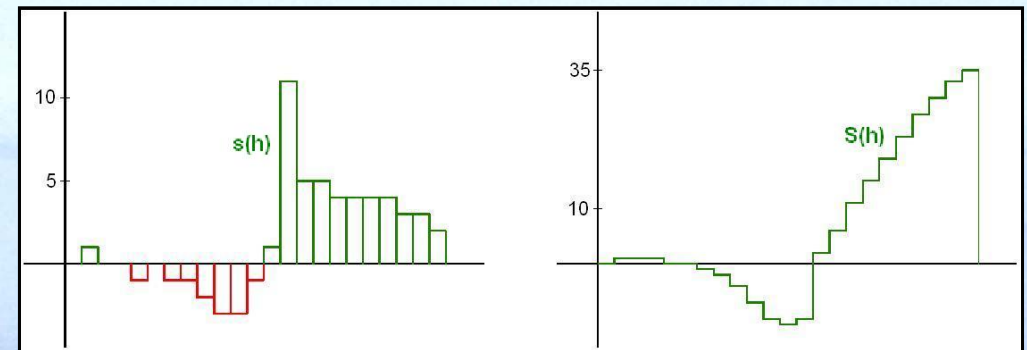
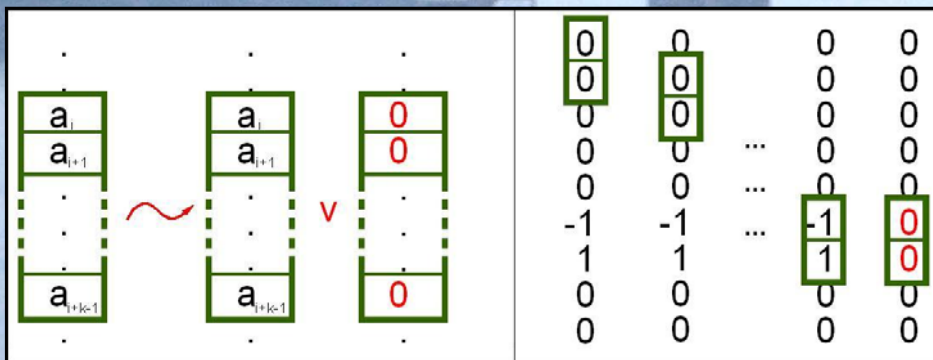
Übergang von der fehlerhaften Fläche Φ_1 zur Sollfläche Φ_2

graphische Darstellung der Abnahme des Fehlers:

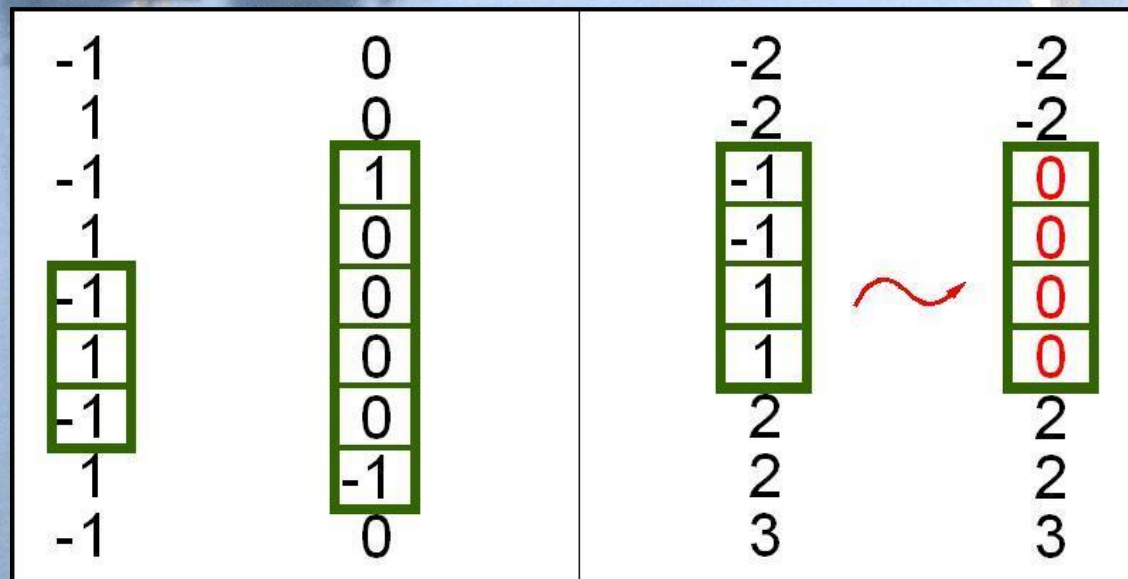
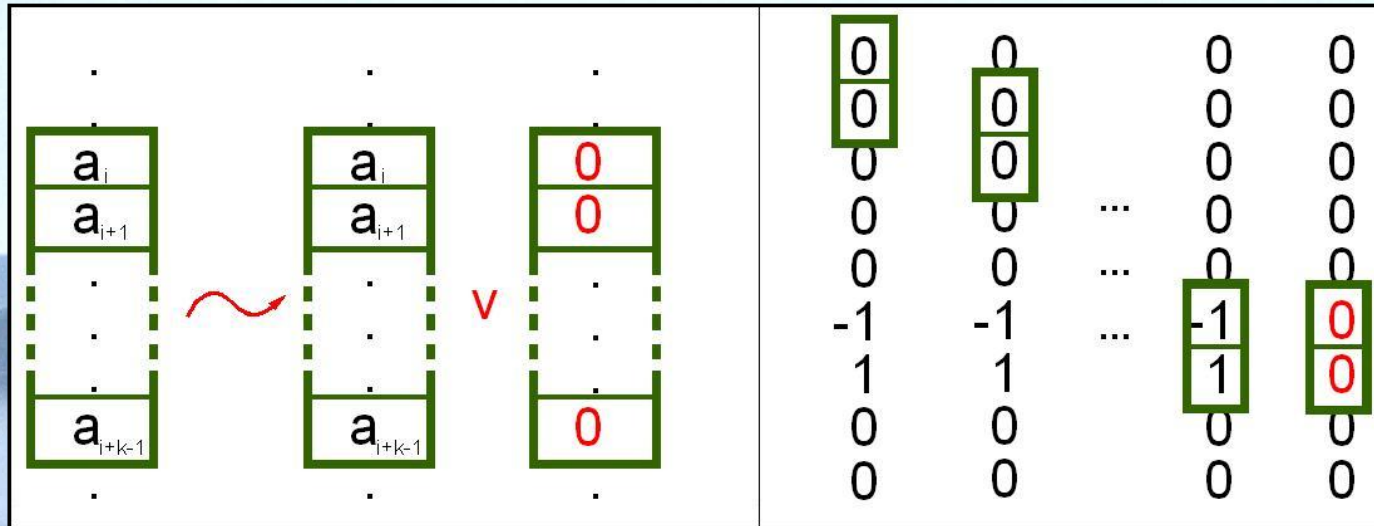


Überarbeiten der Spindellisten

Working over the outcome



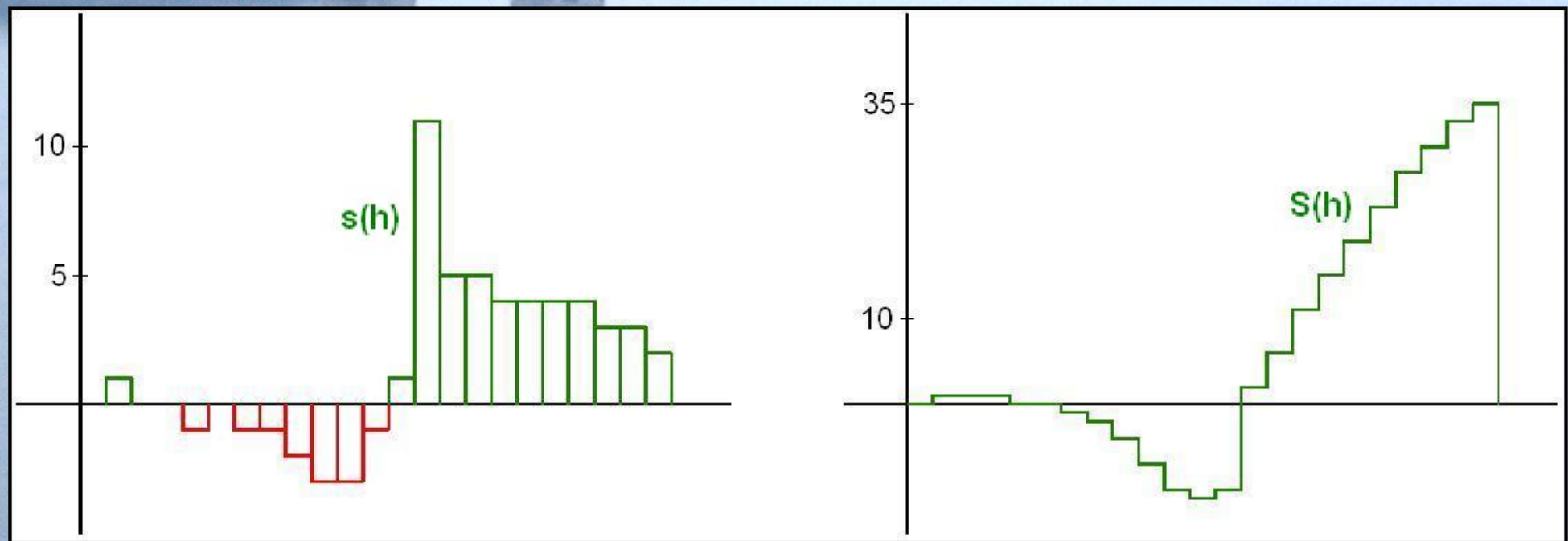
Der „k-Kamm“



Ein Blending-Algorithmus

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & -1 & -2 & -3 & -3 & -1 & 1 & 11 & 5 & 5 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 & 3 & 2 \end{pmatrix}$$

L impliziert Treppenfunktionen $s(h)$ und $S(h)$



Ein Blending-Algorithmus

Steigung einer Treppenfunktion

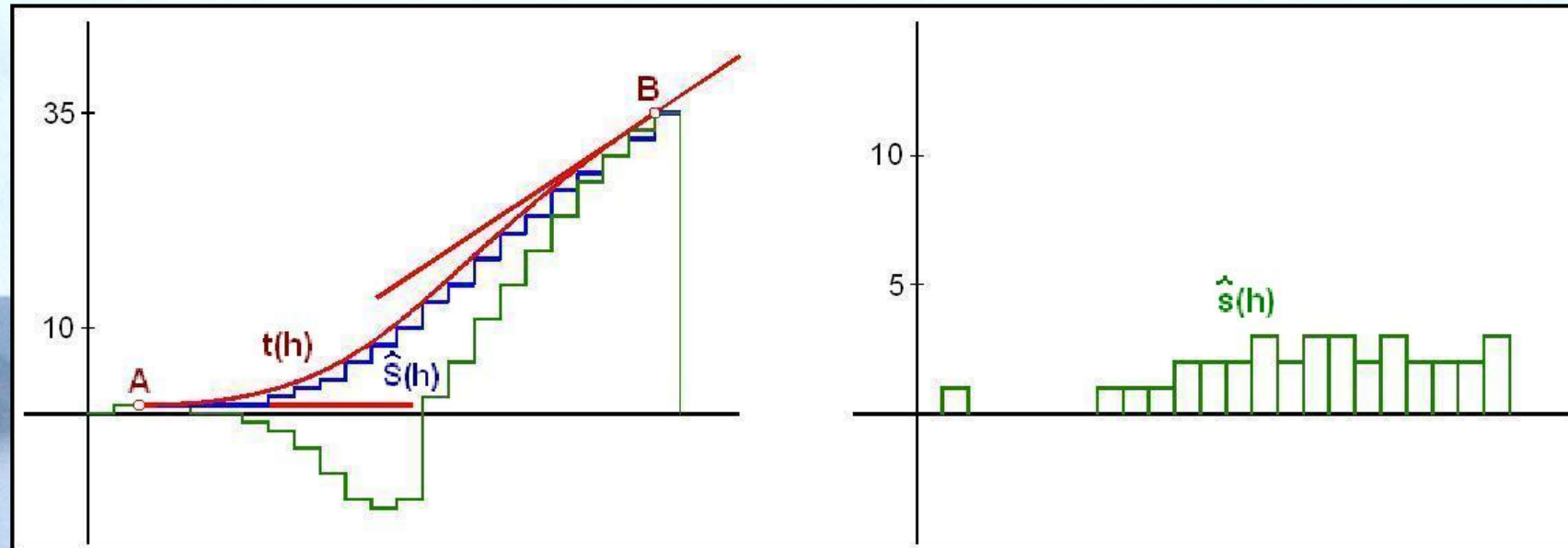
Treppenfunktion $\sigma(h)$: auf $[h_0, h_n]$ definiert mit $h_0 < h_1 < \dots < h_n$

$$\sigma(h) = a_i \text{ for } h \in [h_i, h_{i+1})$$

Definition der Steigung einer Treppenfunktion:

$$k_{\sigma(h)} = \begin{cases} \frac{a_i - a_{i-1}}{h_i - h_{i-1}} & \text{if } h = h_i \in \{h_1, \dots, h_n\} \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Ein Blending-Algorithmus



- In diesem Fall: $k_{\sigma(h)} = s(h)$ in den Sprungstellen h_i
- dadurch: Tangente in Start- und Endpunkt definiert
- \rightarrow Übergangsstück $t(h)$ mit beliebigem Blending-Algorithmus
- \rightarrow Treppenfunktion $\hat{S}(h)$ mit $\hat{S}(h) := [t(h_i)]_G \rightarrow \hat{s}(h)$

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & -1 & -2 & -3 & -3 & -1 & 1 & 11 & 5 & 5 & 4 & 4 & 4 & 4 & 3 & 3 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 2 & 2 & 2 & 3 & 2 & 3 & 3 & 2 & 3 & 2 & 2 & 2 & 3 \end{pmatrix}$$

Reale Beispiele

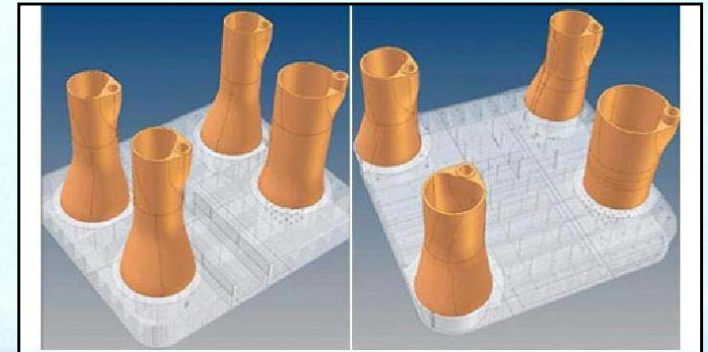
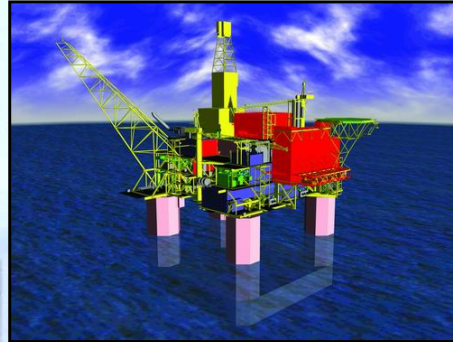
spindle_matrix =

0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	0
0	-1	-1	-1	1	1	-1	0	-1	0
0	0	0	0	1	0	-1	-1	0	-1
-1	0	-1	0	1	0	-2	-1	-1	0
0	-1	0	-1	1	-1	-1	-1	0	0
0	0	0	0	1	0	-1	-1	-1	0
0	0	-1	0	0	-1	-1	0	0	-1
-1	0	0	-1	1	-1	-1	-1	0	0
0	-1	0	0	2	-1	0	0	-1	0
0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	2	-1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	0	0	2	11	0	1	1	0
1	0	0	1	2	5	2	1	0	1
0	0	1	0	2	5	1	0	1	0
0	0	0	0	2	4	1	2	0	0
1	1	1	1	2	4	2	1	1	0
0	0	0	0	2	4	2	1	1	1
0	1	1	1	2	4	2	1	1	0
1	0	0	0	2	3	2	0	0	1
0	1	1	1	2	3	1	1	1	0
1	0	0	1	2	2	1	1	0	1
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

result_matrix =

0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0
0	0	0	0	2	0	-2	-2	0	0
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	2	1	-1	-1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	-1	0	0
0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
0	0	0	0	2	1	1	1	0	0
0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
0	0	0	0	2	3	1	0	0	0
1	0	0	1	1	2	0	1	1	1
0	0	0	0	2	2	1	1	0	0
0	0	0	0	1	2	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	2	0	0	0
0	0	0	0	0	2	3	1	0	0
0	0	0	0	1	2	0	1	0	0
0	0	0	0	2	2	1	0	0	0
0	0	0	0	1	2	1	0	0	0
0	0	0	0	2	2	0	1	0	0
0	0	0	0	1	2	1	0	0	0
0	0	0	0	0	1	2	0	0	0
0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
0	0	0	0	1	2	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

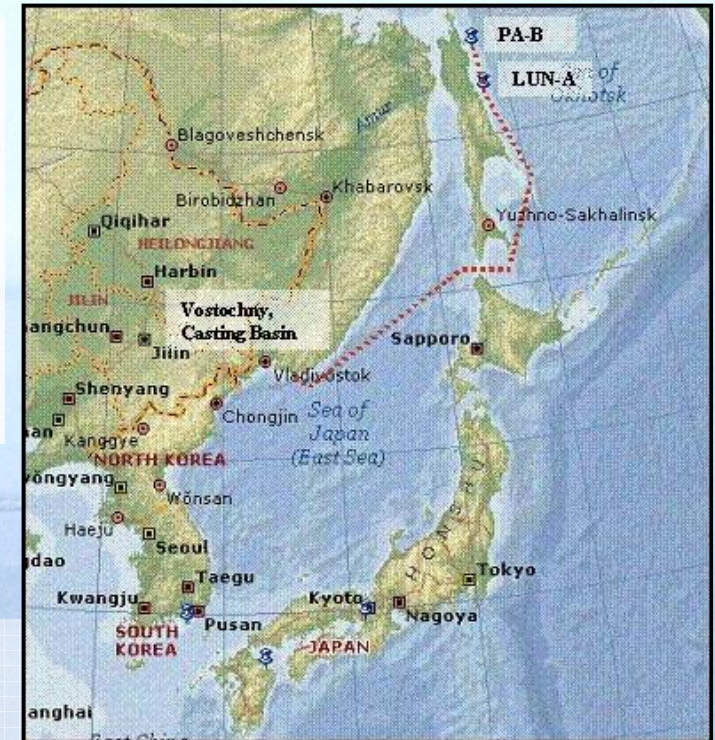
The Sakhalin II Project



The Sakhalin II Project

- Kosten: ca. 20 Mrd. USD
- Öl- und Gasförderung
- fördert 9,6 Mio. Tonnen Gas (LNG) pro Jahr
- weltweit größtes Einzelprojekt der Firma Shell

- Vostochny - Okhotsk offshore Sakhalin Island
- 6 Monate im Jahr mit Eisschollen bedeckt
- 2 Plattformen für 2 Felder (Lunskoye, Piltun-Astokhskoye)
- Reserven: 140 Mio. Tonnen Öl – 550 Mrd. m³ LNG



Konstruktion der Plattformen

- QuattroGemini Ltd. (Fin), Aker Kvaerner (Nor) und AS RROffshore Ltd. (Fin)

Gleitbau Salzburg → Erstellung der 8 Türme

- Vostochny Port von Nakhodka
- Ausheben von 1,2 Mio. m³ Erdmasse
- Errichten des Unterbaus aus Beton



Konstruktion der Plattformen

- 15.09.2004 – 29.01.2005 - **Gleitbau Salzburg** errichtet 8 Türme
anhaltende Bauarbeiten bei Tag und Nacht – auch bei Schneesturm



- 16.04.2005 - Damm unter Wasser gesetzt
Beginn der Arbeiten für den Abtransport



Konstruktion der Plattformen

- 13.06. bzw. 16.07.2005 - Abtransport der Plattformen über 1500 Seemeilen



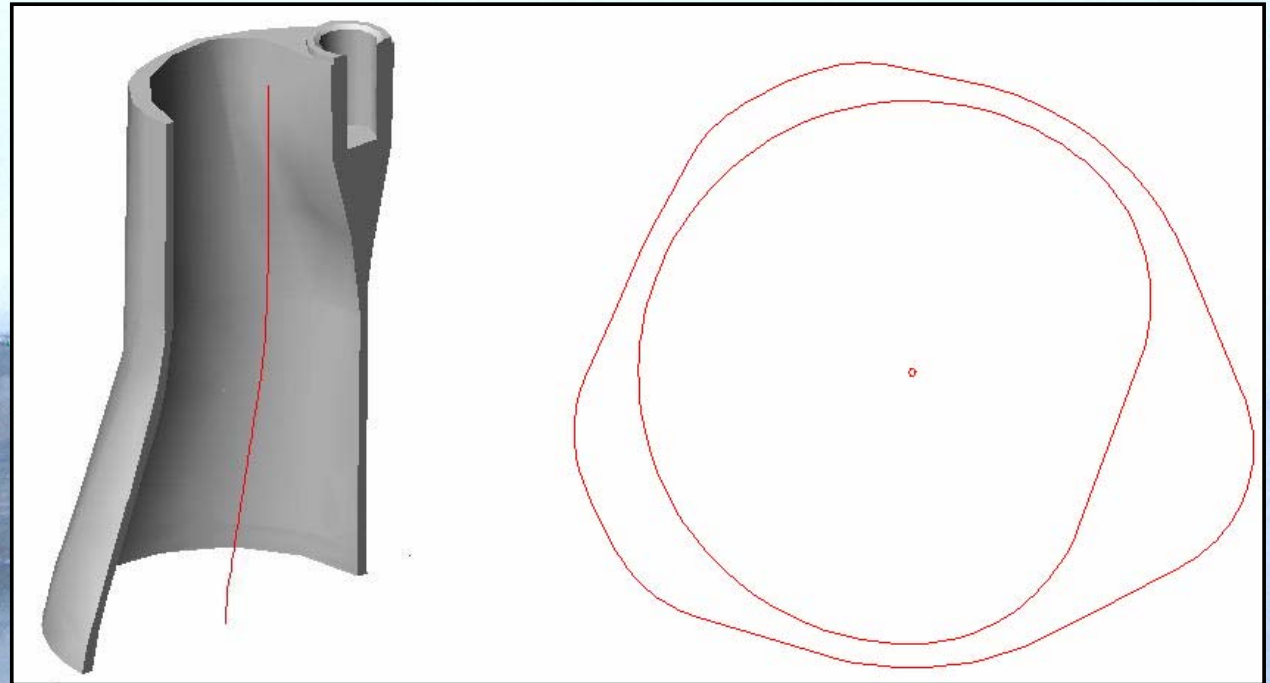
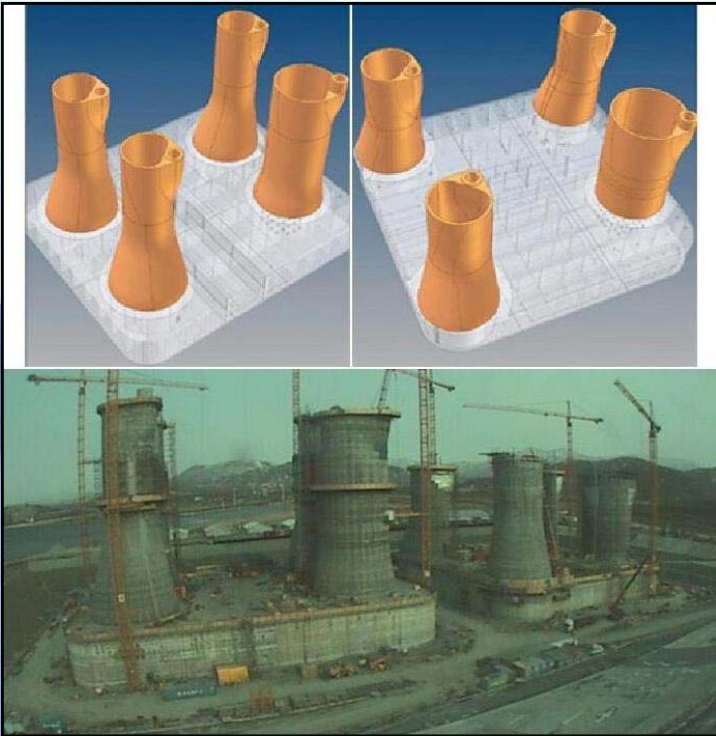
- Versenken der Plattformen
- Installation der Stahlplattformen (2006)



Daten der Plattformen

Concrete Structure:	LUN-A	PA-B
Assignment:	Gas production Platform	Oil and gas production Platform
Concrete volume:	34500 m^3	27400 m^3
Measures:	105 $m \times 88 m$	94 $m \times 91 m$
Height of the caisson:	13.50 m	11.50 m
Height of the shafts:	55.70 m	39.00 m
Diameter of the shafts:	26.33 – 22.20 m	24.20 – 17.20 m
General Wall thickness:	0.70 m – 0.50 m	0.60 m – 0.50 m
Total weight:	109000 t	89000 t
Reinforcement:	15800 t	13800 t
Post tensioning:	1040 t	900 t
Structural steel:	2500 t	1900 t
Mechanical Outfitting:	2700 t	1800 t
Topside's operating weight:	26000 t	33000 t
Offshore location water depth:	48.2 m	30.8 m

Erstellung der Türme



- 8 Türme grundsätzlich zyklische Flächen
- Achsenneigung mehr als 10°
- Oberfläche der Türme teilweise mehr als 20° Neigung
- Wandstärkenzunahmen von 0,6 bis 5,89m – Blisters, LMU (Leg Mating Unit)

Erstellung der Türme

David Greer (Sakhalin Energy's deputy chief executive):

This particular achievement is a great example of ingenuity. The unique shape and **complex geometry** of the Lun-A and PA-B concrete structures and the need for them to withstand the harsh climate and ice conditions offshore Sakhalin places them **amongst the most complex concrete construction projects ever** undertaken anywhere in the world.