



# Biogas Storages and Wind

attempt to compare different  
approaches for the statical analysis of  
biogas storages



# Biogas storages – in general



# statical analysis – one goal two paths

- first approach

- without computer possible
- formula to calculate stress in warp and weft

→ DIN 4134

- second approach

- based around FEM programs
- apply area loads on 3D models

→ DIN EN 1991-1-4

# statical analysis – with new foundings

- third approache
    - like second approache
    - different windloads
- obtained by my own windtunnel tests

# Windtunnel tests at Laboratory of Building and Environmental Aerodynamics

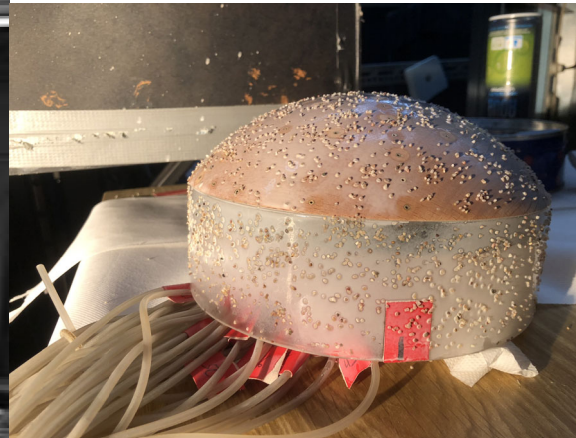
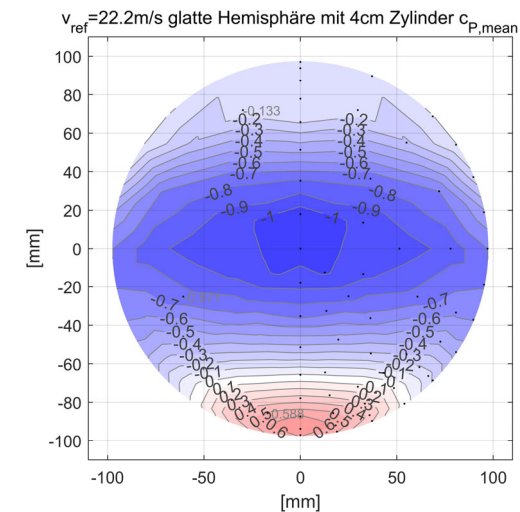


Abbildung 3.7 rechts: elektronische Druckscanner ESP-32/HD verkabelt  
links: DTC Initium System mit PSI's Model 91FC

Supervised by:

- Prof. Eiff
- Prof. Wagner
- Mr. Gromke



# my models

scale-factor 1:100

all calculations made with:

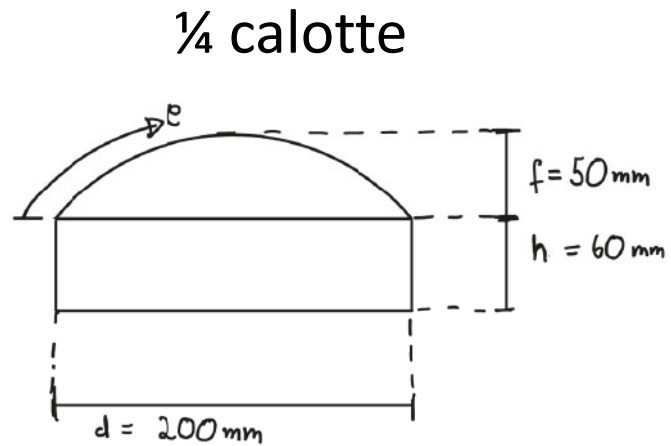
hemisphere

$d=20m$   $h=4m$   $f=10m$

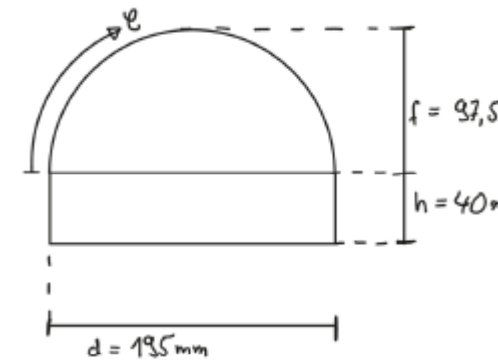
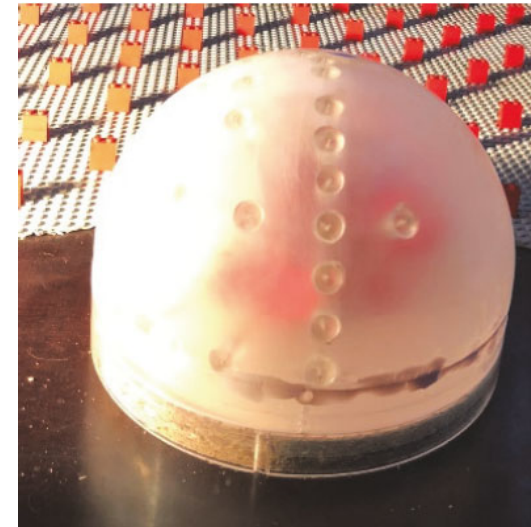
$\frac{1}{4}$  calotte

$d=20m$   $h=6m$   $f=5m$

→ results only for these geometrie valid



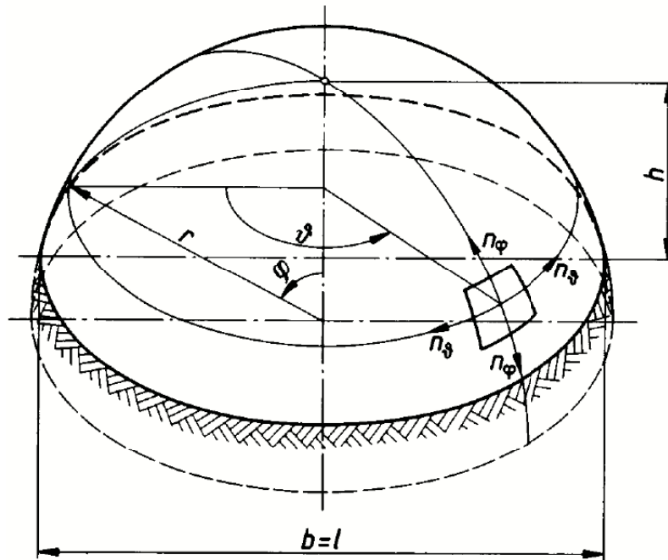
hemisphere



# DIN 4134

published in 1980s

→ calculation by hand



Für Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrund und kugelförmige Membrane:

$$n_{\varphi, w} = \alpha_{\varphi} \cdot q \cdot r$$

$$n_{\varphi, p} = p_i \cdot \frac{r}{2}$$

$$n_{\vartheta, w} = \alpha_{\vartheta} \cdot q \cdot r$$

$$n_{\vartheta, p} = p_i \cdot \frac{r}{2}$$

2.

5. Beiwerte  $\alpha$  für die Membrankräfte aus Lastfall Wind von zylinderförmigen Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreisgrundriß und von kugelförmigen Membranen

1.	¼ calotte 0,5		$\frac{h}{r} \cdot 1,2^2$ 0,75		hemisphere 1	
	$\alpha_{\varphi}$	$\alpha_x$ bzw. $\alpha_{\vartheta}$	$\alpha_{\varphi}$	$\alpha_x$ bzw. $\alpha_{\vartheta}$	$\alpha_{\varphi}$	$\alpha_x$ bzw. $\alpha_{\vartheta}$
Zylinderteil	0,9	1,3	1,0	1,3	1,1	1,3
Abschlußkuppel	1,5	1,2	1,6	1,3	1,6	1,3
Zylinderteil	0,8	1,2	0,9	1,2	1,0	1,2
Abschlußkuppel	1,4	1,1	1,4	1,1	1,5	1,2
Zylinderteil	0,7	1,1	0,9	1,1	1,0	1,2
Abschlußkuppel	1,3	1,0	1,4	1,1	1,5	1,2
Kugel	1,3	1,0	1,4	1,1	1,5	1,2

Definition von  $b, l, h$  und  $r$  siehe Bilder 1 und 2.  
Nennwerte geradlinig einschalten.

## 6 Sicherheitsnachweise

### 6.1 Festigkeitsnachweise für die Hülle und ihre Verbindungen

Für die Hülle sowie ihre Verbindungen und Anschlüsse sind folgende Nachweise zu führen:

A („Wintersturm“):

$$1,0 n_g + 1,1 n_p + 1,6 n_w \leq \text{zul } n_o$$

B („Sommergewitter“):

$$1,0 n_g + 1,1 n_p + 0,7 n_w^2 \leq \text{zul } n_{\vartheta}$$

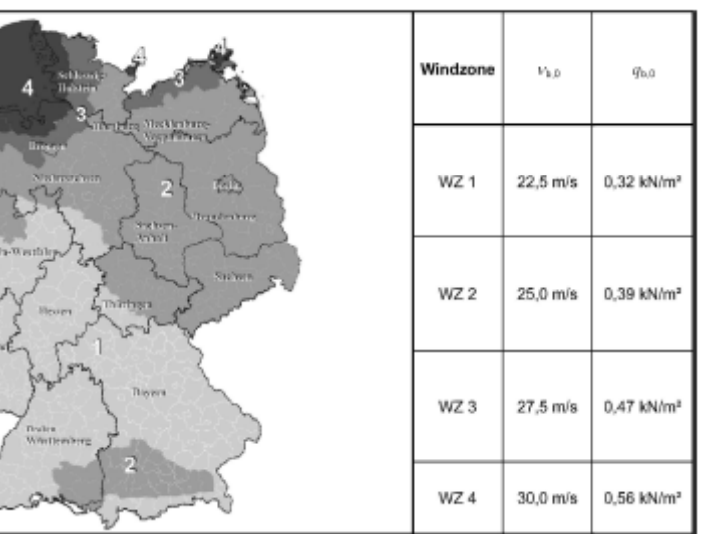
C („Dauerbeanspruchung“):

$$1,0 n_g + 1,3 n_p \leq \text{zul } n_t$$

3.

# DIN EN 1991-1-4

- wind pressure at roof top of building given by wind zone and wind profile
- $c_p$ -values given by geometry



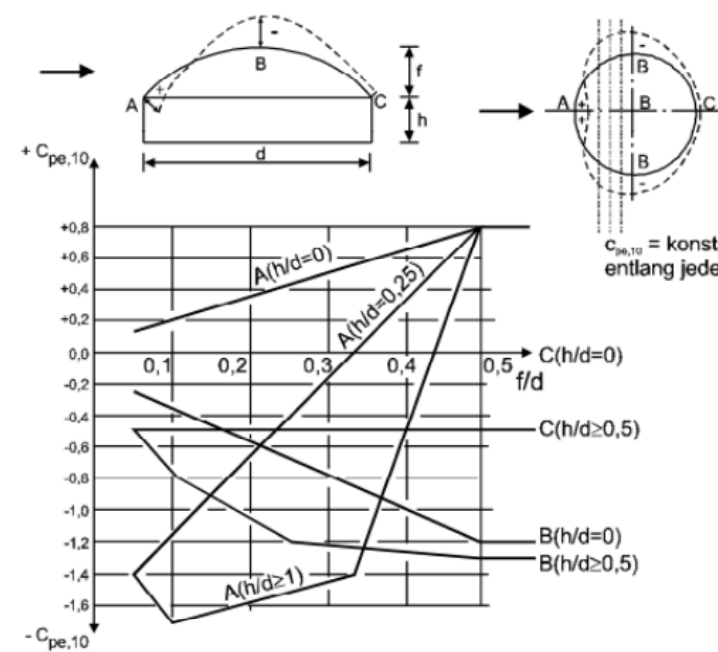
— Windzonenkarte für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland

Windzone	$v_{b,0}$	$q_{b,0}$
WZ 1	22,5 m/s	0,32 kN/m <sup>2</sup>
WZ 2	25,0 m/s	0,39 kN/m <sup>2</sup>
WZ 3	27,5 m/s	0,47 kN/m <sup>2</sup>
WZ 4	30,0 m/s	0,56 kN/m <sup>2</sup>

Tabelle N.A.B.1 — Geländekategorien

<p><b>Geländekategorie I</b></p> <p>Offene See; Seen mit mindestens 5 km freier Fläche in Windrichtung; glattes, flaches Land ohne Hindernisse</p> <p>Rauigkeitslänge <math>z_0 = 0,01</math> m</p> <p>Proflexponent <math>\alpha = 0,12</math></p>	
<p><b>Geländekategorie II</b></p> <p>Gelände mit Hecken, einzelnen Gehöften, Häusern oder Bäumen, z. B. landwirtschaftliches Gebiet</p> <p>Rauigkeitslänge <math>z_0 = 0,05</math> m</p> <p>Proflexponent <math>\alpha = 0,16</math></p>	
<p><b>Geländekategorie III</b></p> <p>Vorstädte, Industrie- oder Gewerbegebiete; Wälder</p> <p>Rauigkeitslänge <math>z_0 = 0,30</math> m</p> <p>Proflexponent <math>\alpha = 0,22</math></p>	
<p><b>Geländekategorie IV</b></p> <p>Stadtgebiete, bei denen mindestens 15 % der Fläche mit Gebäuden bebaut sind, deren mittlere Höhe 15 m überschreitet</p> <p>Rauigkeitslänge <math>z_0 = 1,05</math> m</p> <p>Proflexponent <math>\alpha = 0,30</math></p>	

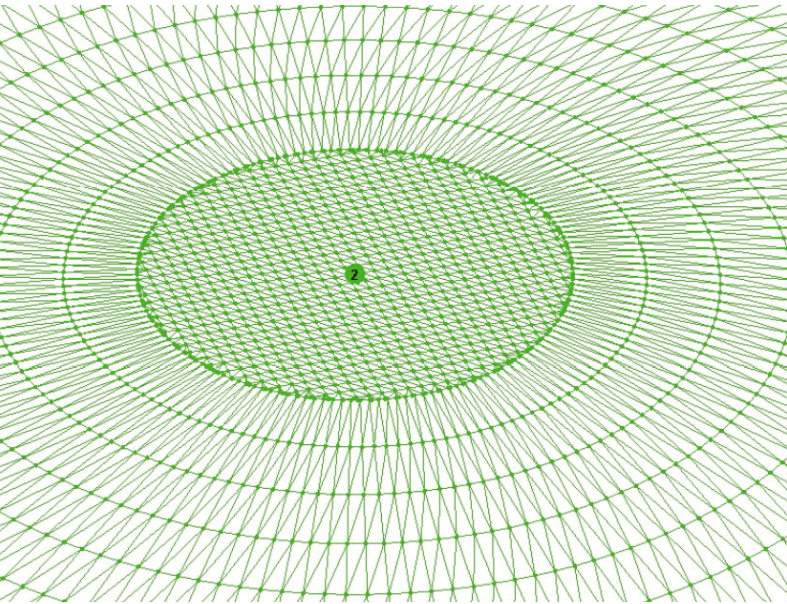
DIN EN 1991-1-4:2010-12  
EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010 (D)



Der  $C_{pe,10}$ -Wert ist entlang der Kreisbogenabschnitte, die durch den Schnitt der Schale mit einer Ebene Anströmrichtung definiert sind, konstant. Er kann als erste Näherung durch lineare Interpolation zwischen entlang windparalleler Kreisbögen für die Bereiche A, B und C ermittelt werden. In gleicher Weise können durch lineare Interpolation anhand des obigen Bildes für den Bereich A ermittelt werden, wenn  $0 < h/d < 0,5$  oder C, wenn  $0 < h/d < 0,5$  gilt.

# calculations via Easy – some impressions

membran at rooftop  
"top cover"  
stiffness

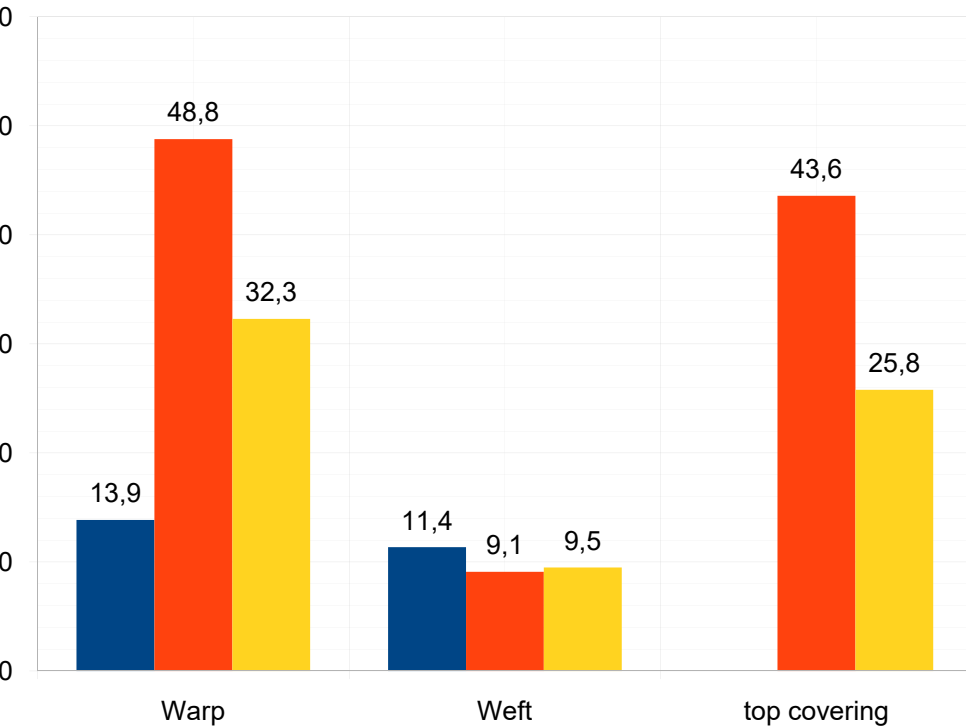


wind loadzones in Easy

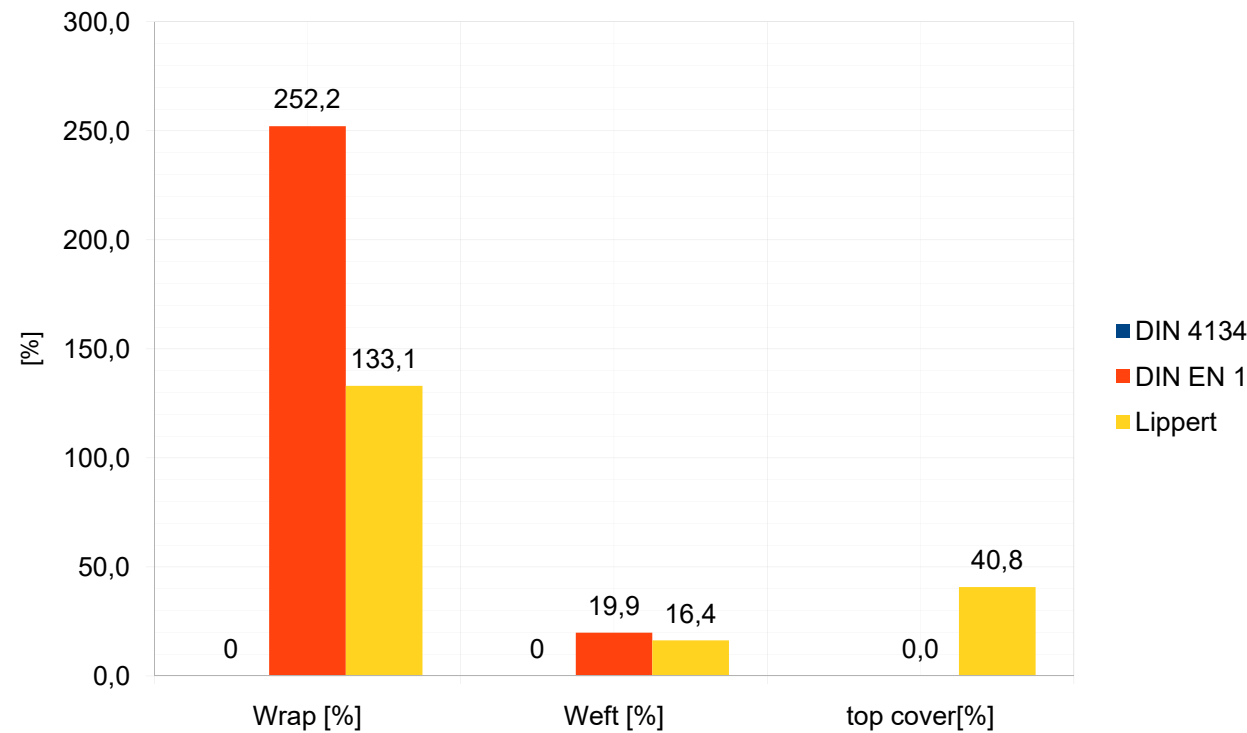
exp.:  
windpressure \* cp-value

# comparison results - hemisphere

stress in membran

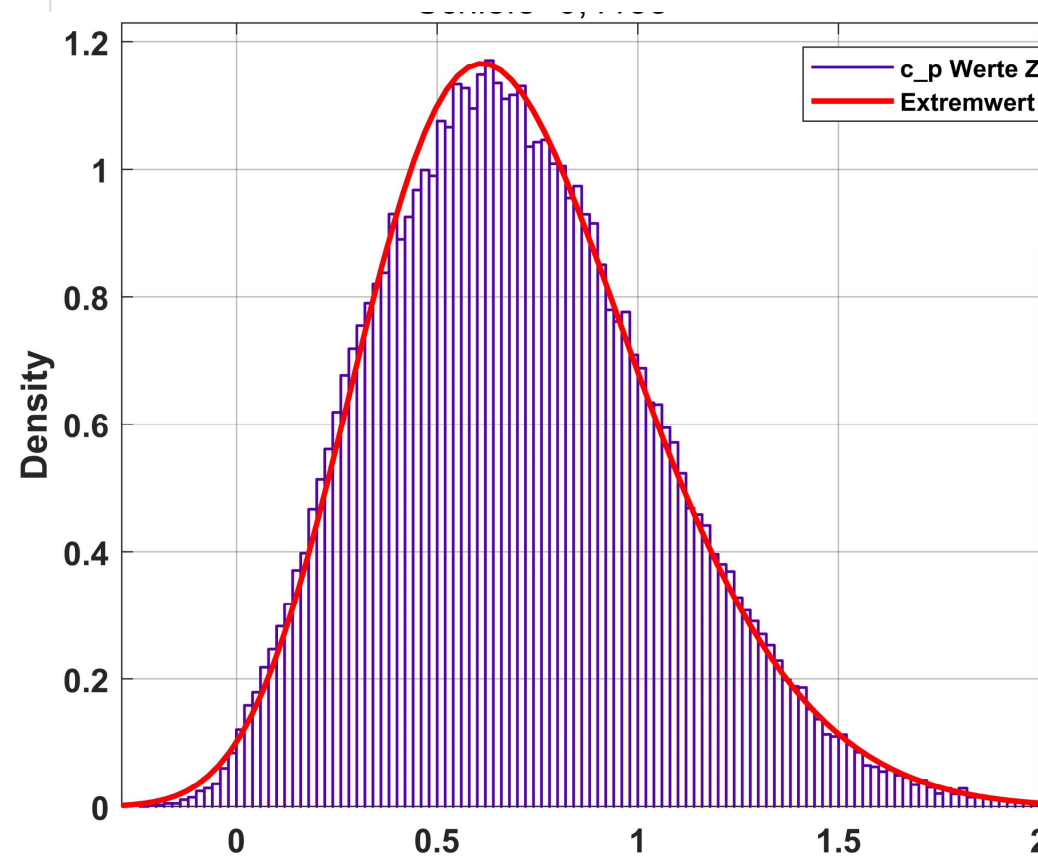
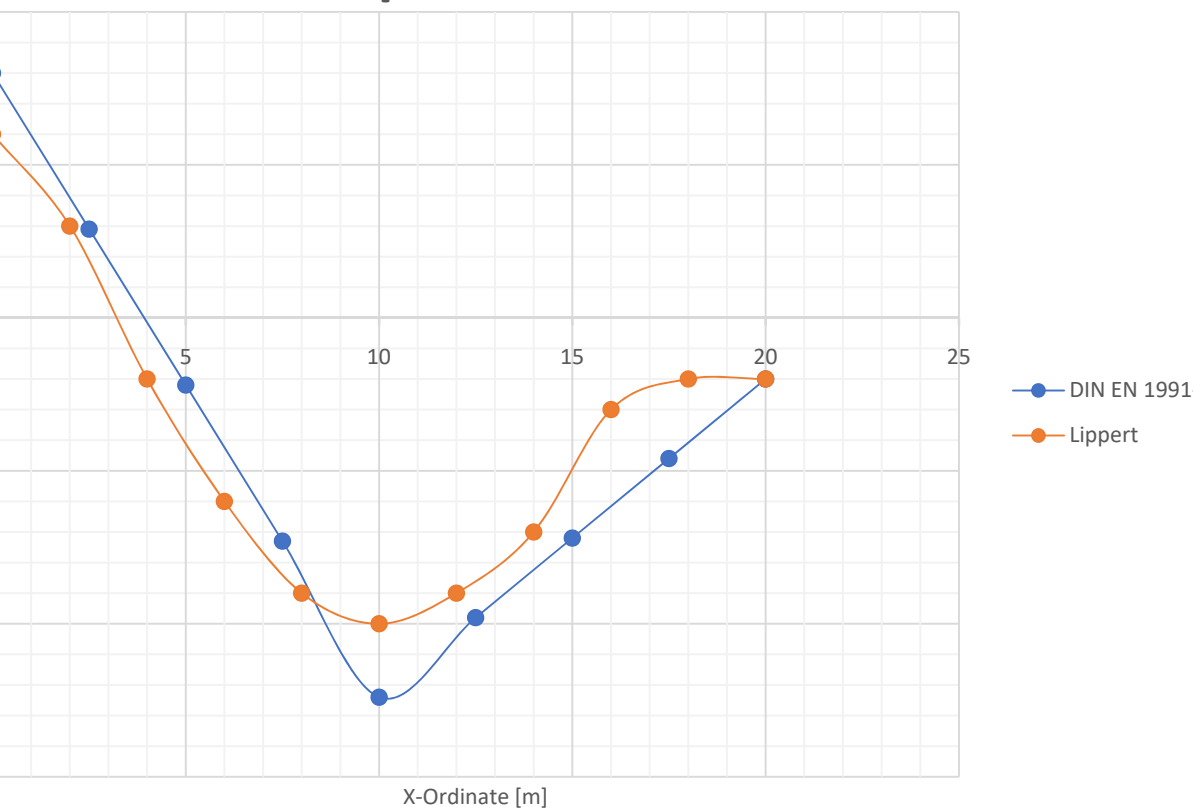


[%]-differences to DIN 4134



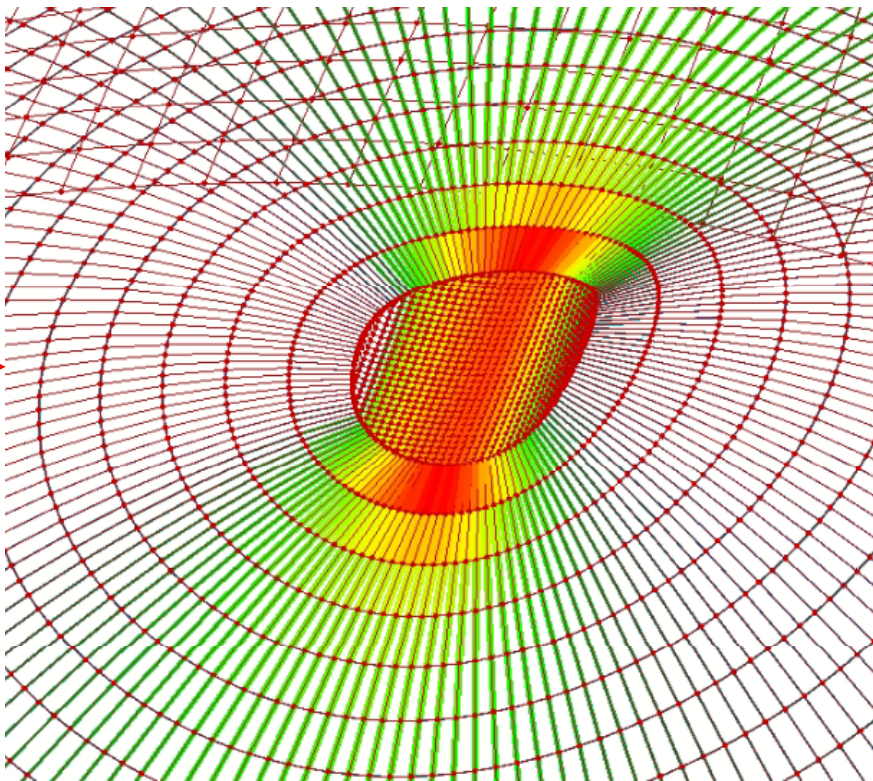
# Comparison results - differences DIN EN and Lippe

## hemisphere comparison of cp-values



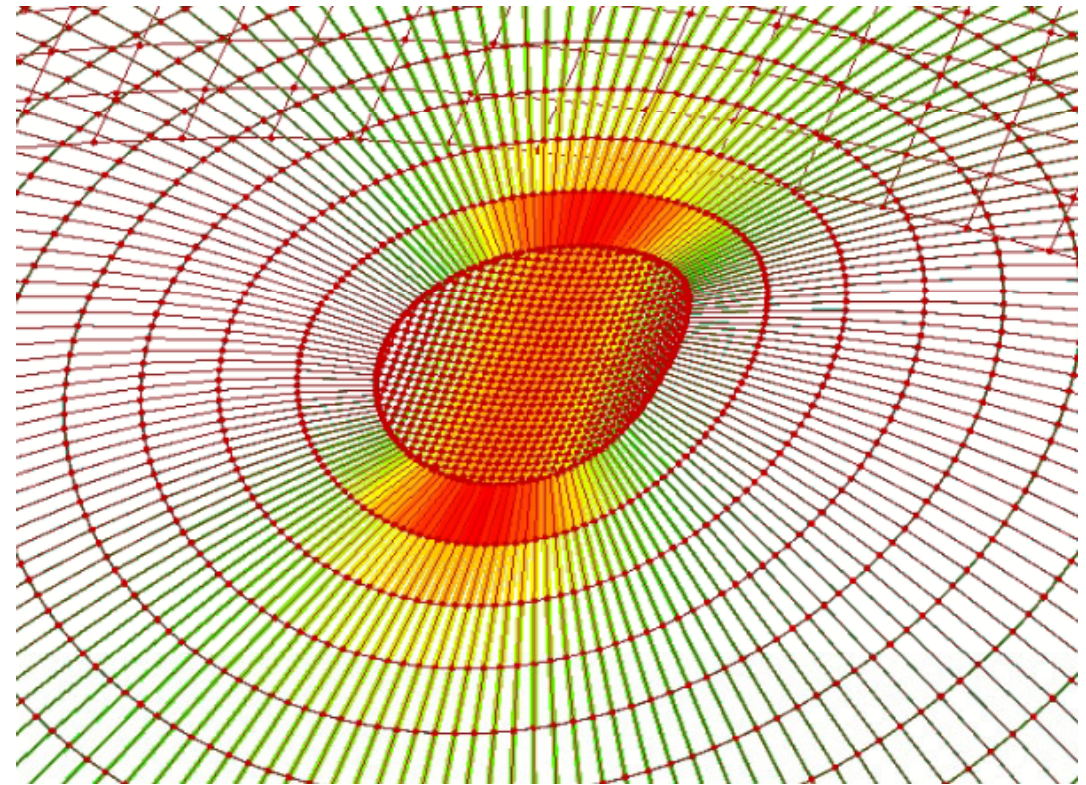
# comparison results - hemisphere

stress DIN EN 1991-1-4



Warp = 48,8 kN/m  
Weft = 9,1 kN/m  
Top cover = 43,6 kN/m

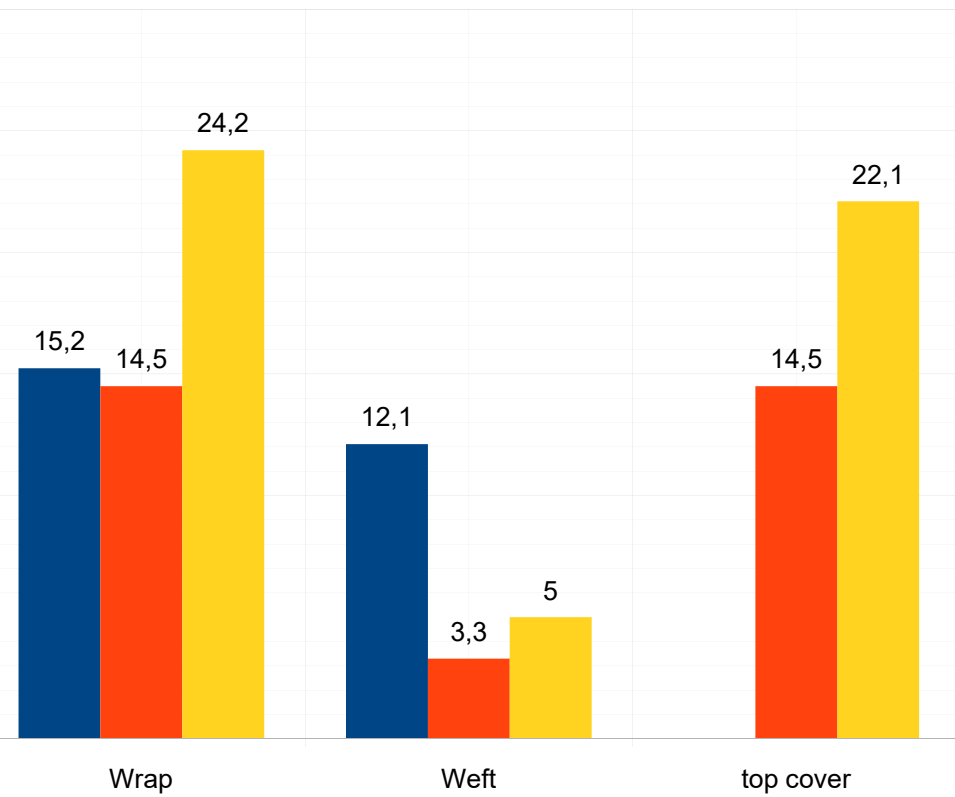
stress Lippert



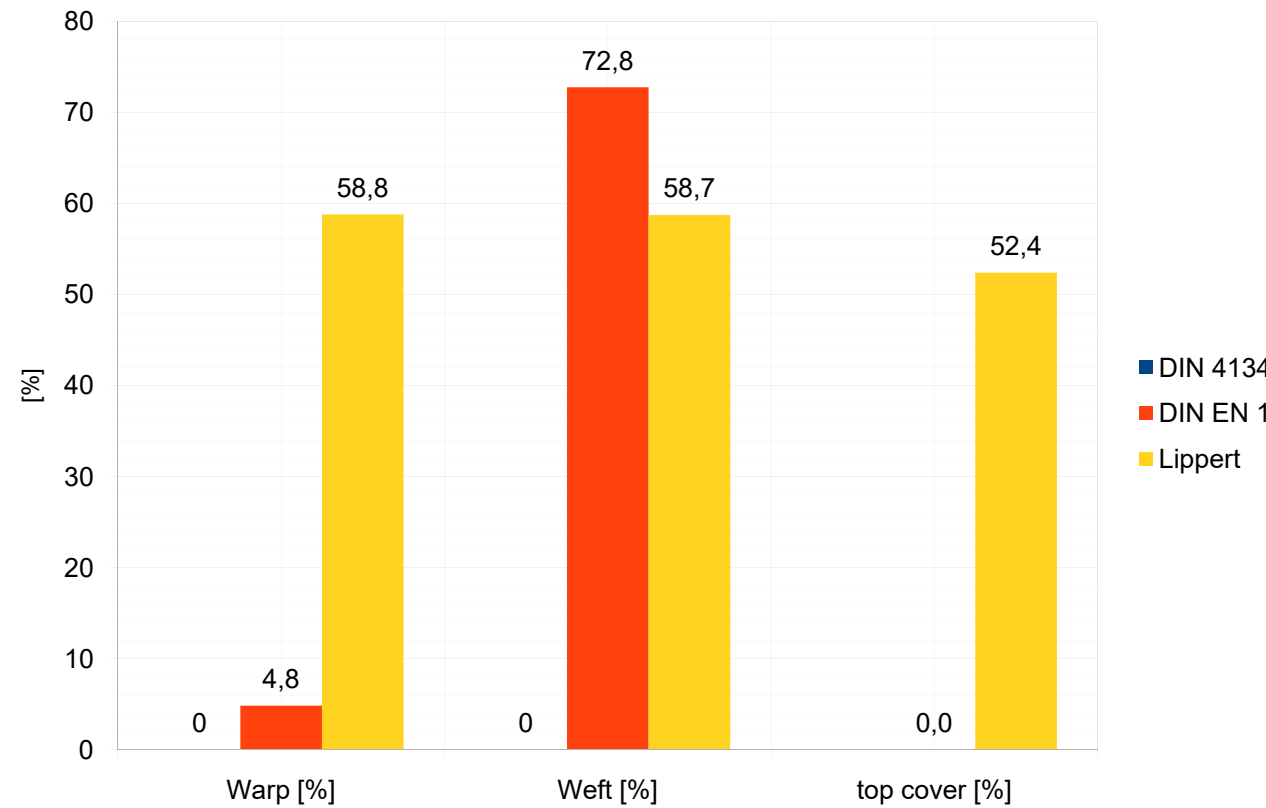
Warp = 32,2 kN/m  
Weft = 9,5 kN/m  
Top cover = 23,8 kN/m

# comparison results - 1/4 calotte

## stress in membran

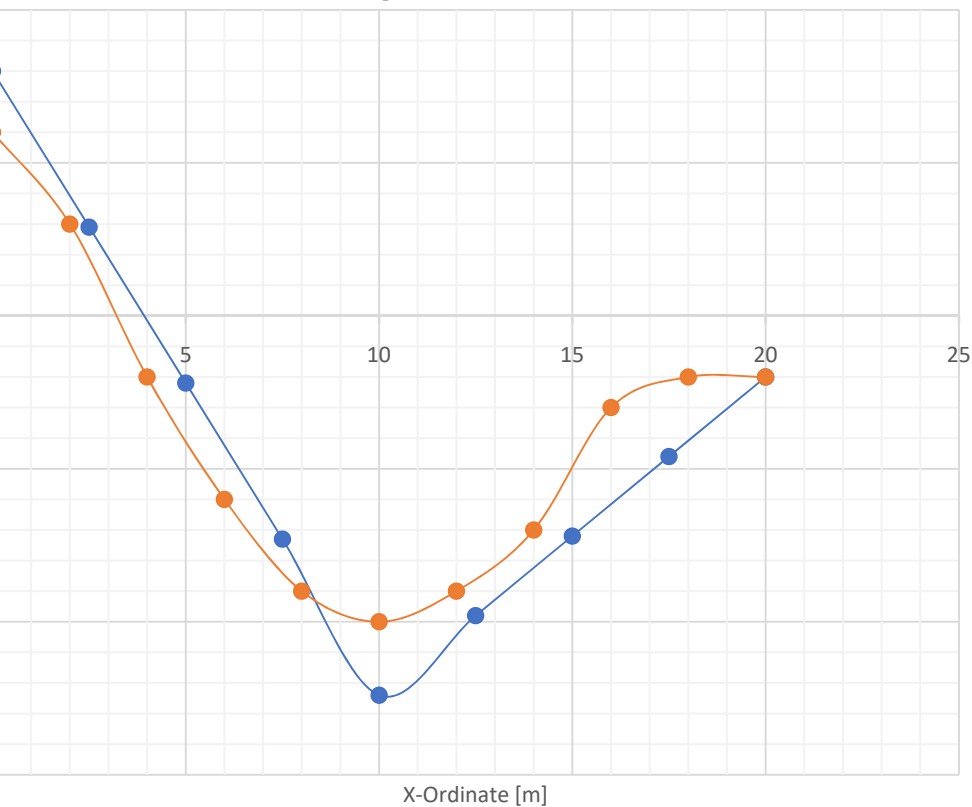


## %-difference to DIN 4134

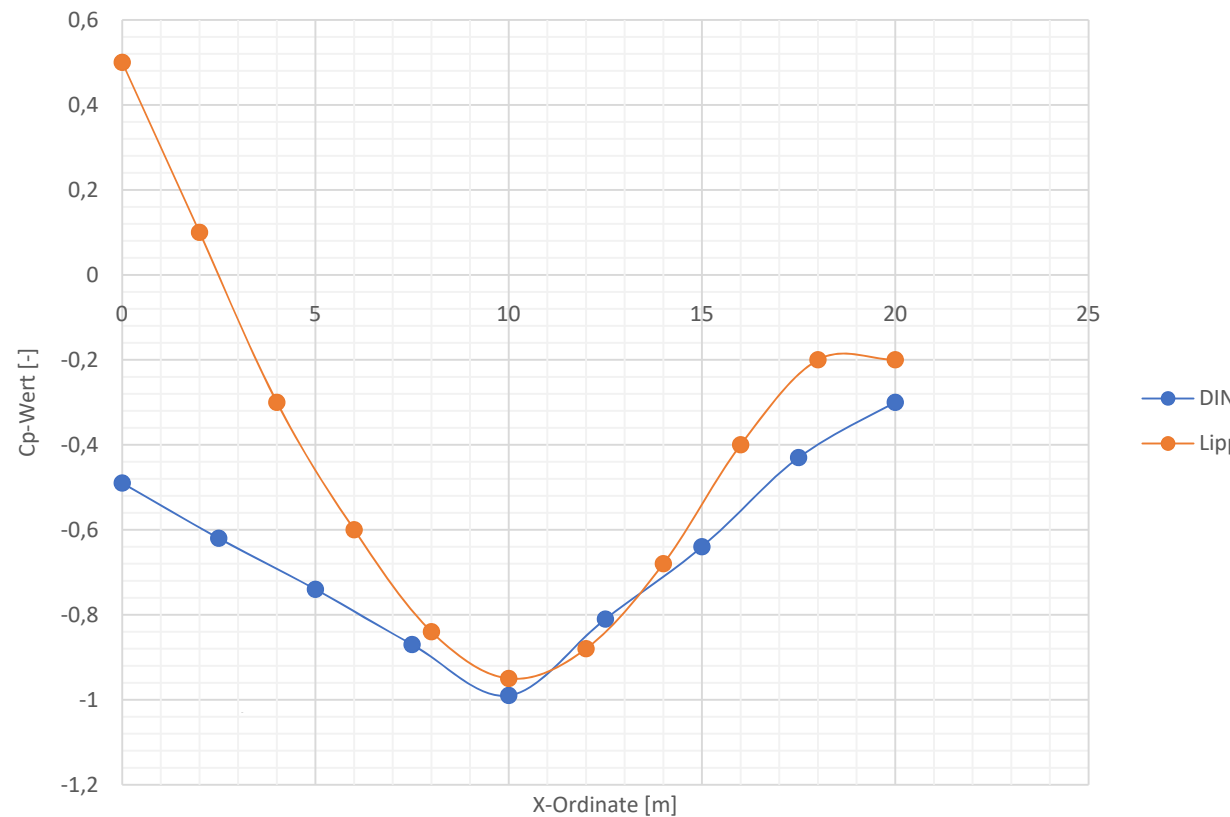


# Comparison results - differences DIN EN and Lippe

## hemisphere comparison of cp-values



## 1/4 calotte comparison of cp-values



# conclusion - results

DIN 4134 is outdated

→ stress is lower

→ top cover is not taken into account

windtunnel results for given geometry!

→ for  $\frac{1}{4}$  calotte highest stress

→ with safety factor also for hemisphere  
highest stress

- DIN EN 1991

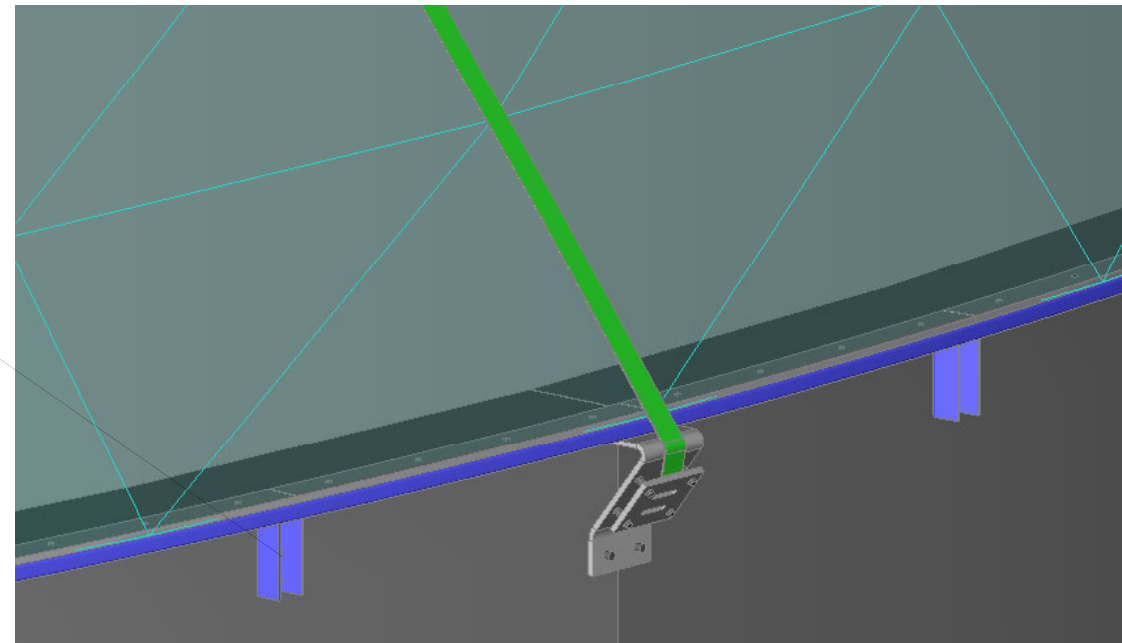
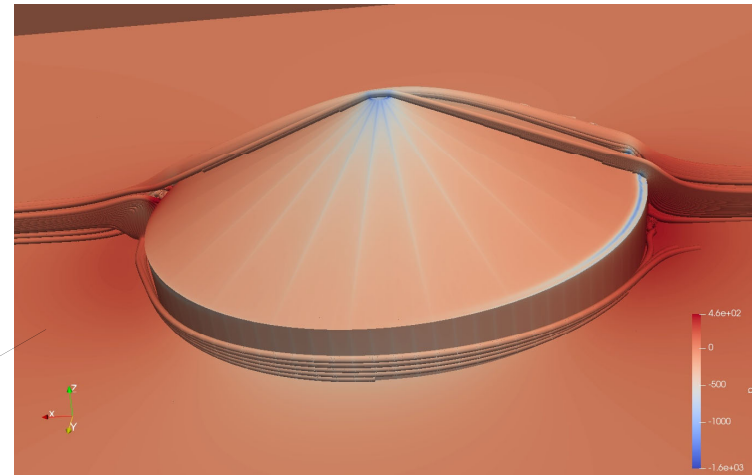
- → for hemisphere precise

- → for  $\frac{1}{4}$  calotte questionable



# conclusion – Future

- EasyStatic:
  - double layer gas storages
  - digital windtunnel
  - exact calculation of anchoring
  - with structural support
  - account for imperfection  
→ (DVGW-Paper)





Questions?