



## Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München

Dipl.-Ing. Tobias Baumgärtel, Ingérop Deutschland GmbH, München

Prof. Dr.-Ing. Christian Kellner, Hochschule München

Dr.-Ing. Jakob Vogelsand, IBO PartG mbB, Ettlingen

Dr.-Ing. Jens Döbbelin, IBO PartG mbB, Ettlingen



IBO

Beratende Ingenieure

PartG mbB

Das erwartet Sie in den nächsten 25 Minuten

- | Projekt vorstellen
- | Deponieaufbau darstellen
- | Fundamentkonzept erläutern
- | Bauausführung zeigen
- | Ergebnisse auswerten

## Projektvorstellung

Ein weiterer Baustein der Stadtwerke München zum Ausbau der Ökostromerzeugung

- Lage: nördlich Allianz Arena
- Leistung: 3,5 MW
- Turmhöhe: 80 m
- Rotordurchmesser: 138 m
- Ausführungszeitraum:  
Juli 2020 bis Februar 2021



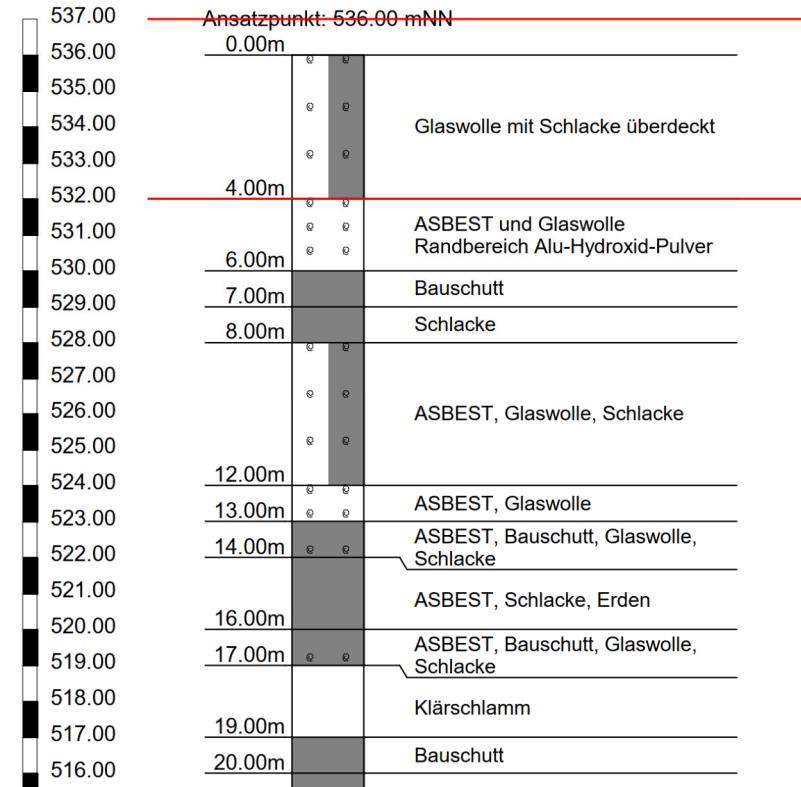
© Peter Rintisch

## Deponieaufbau und -erkundung

### Erste Erkundungsphase

- █ keine tiefen direkten Baugrundaufschlüsse möglich
- █ Auswertung von Daten aus der Deponieschüttung
  - sehr heterogener Aufbau
  - Deponiehöhe ca. 50 m
  - Basis bis 25 m: i.W. Siedlungsabfälle, Schlacke
  - ab 25 m: Schlacke mit eingelagerten Dämmstoffkassetten; Abmessung ca. 20 m x 20 m x 2 m
  - genaue Lage der Kassetten ist unbekannt

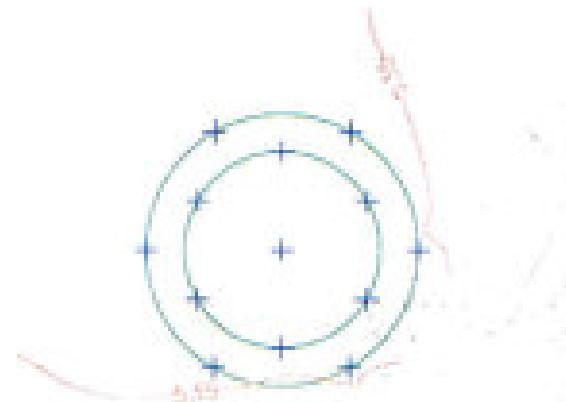
### Beispiel eines abgeleiteten Baugrundprofils



## Deponieaufbau und -erkundung

Zweite Erkundungsphase – Drucksondierungen

- 18 CPT über Aufstandsfläche der WEA verteilt



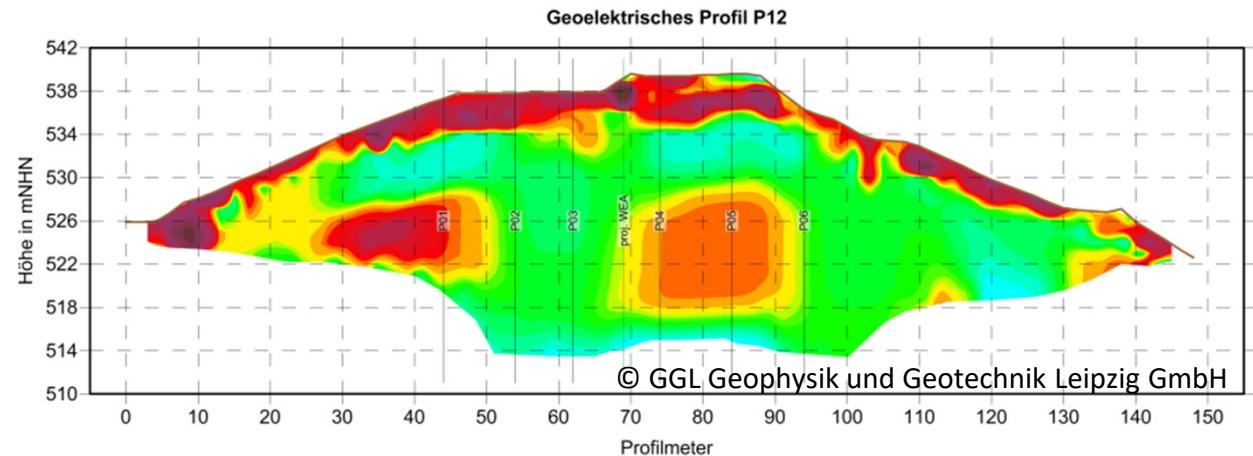
→ Sehr hohe Sondierwiderstände im oberen Bereich (erreichte Tiefen < 6 m)

## Deponieaufbau und -erkundung

### Dritte Erkundungsphase – Geophysikalische Erkundung

#### Verfahrenskombination

- | gravimetrische Messung
- | geoelektrische Messung

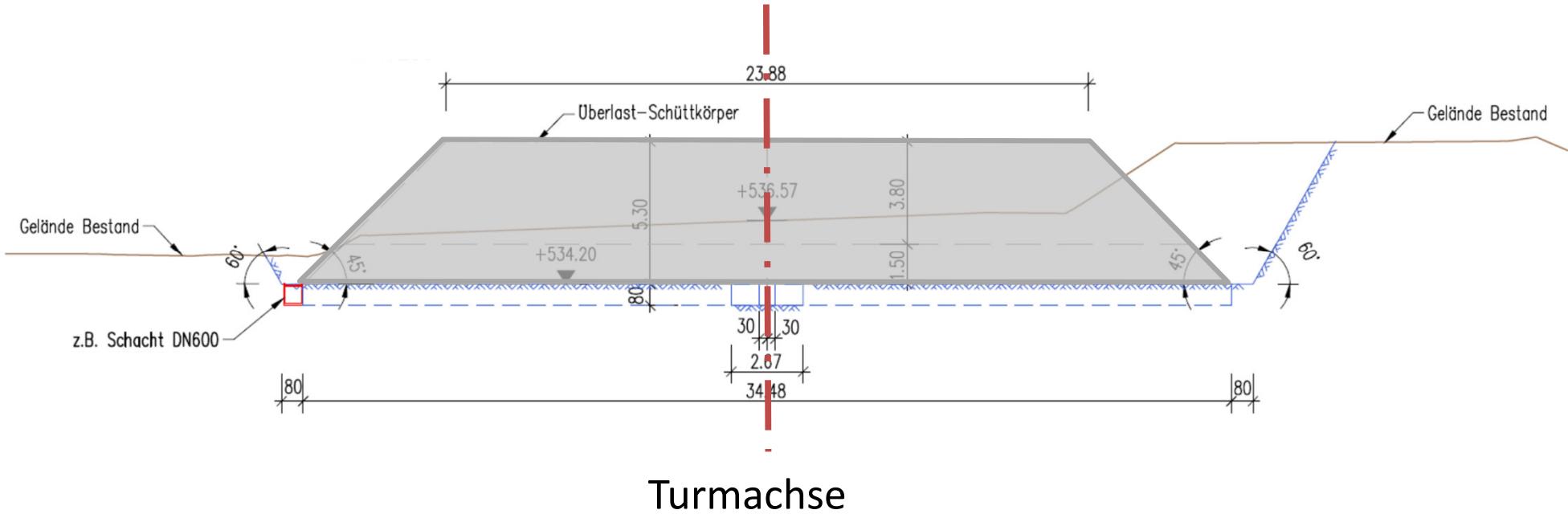


→ Am vorgesehenen Standort ist vermutlich erst ab 10 m unter Gründungskote mit verfüllten Kassetten zu rechnen

## Deponieaufbau und -erkundung

### Vierte Erkundungsphase – Belastungsschüttung

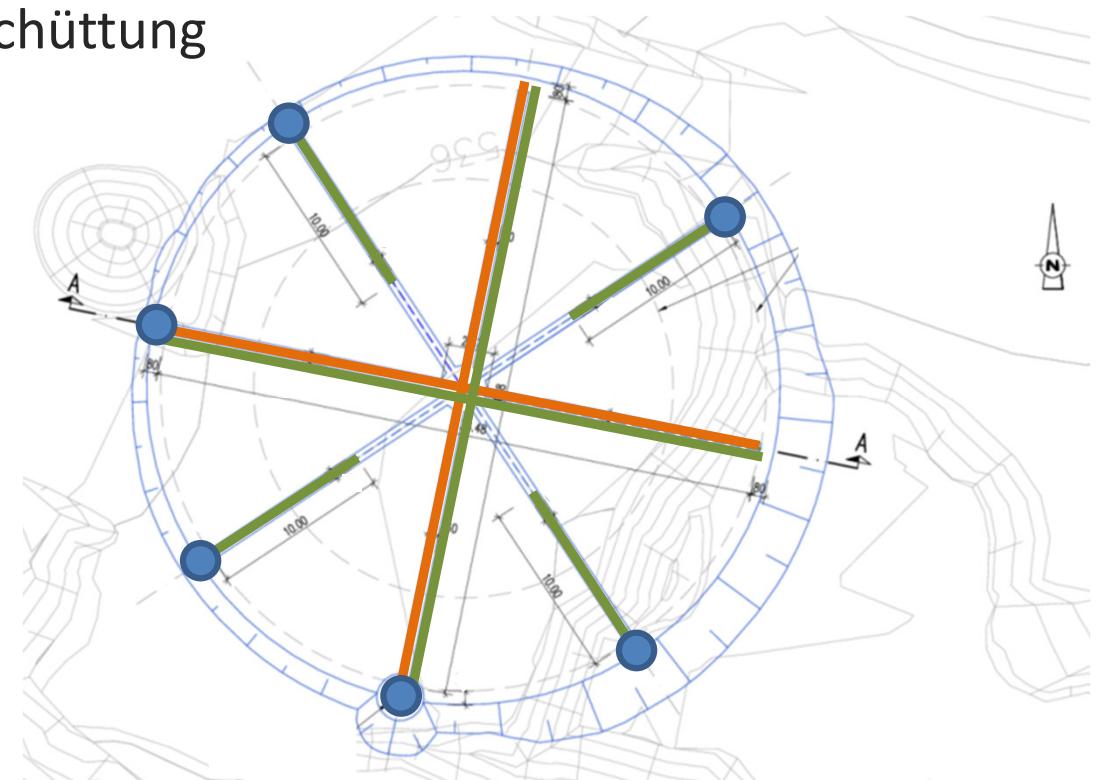
#### Ausführung: Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM)



## Deponieaufbau und -erkundung

### Vierte Erkundungsphase – Belastungsschüttung

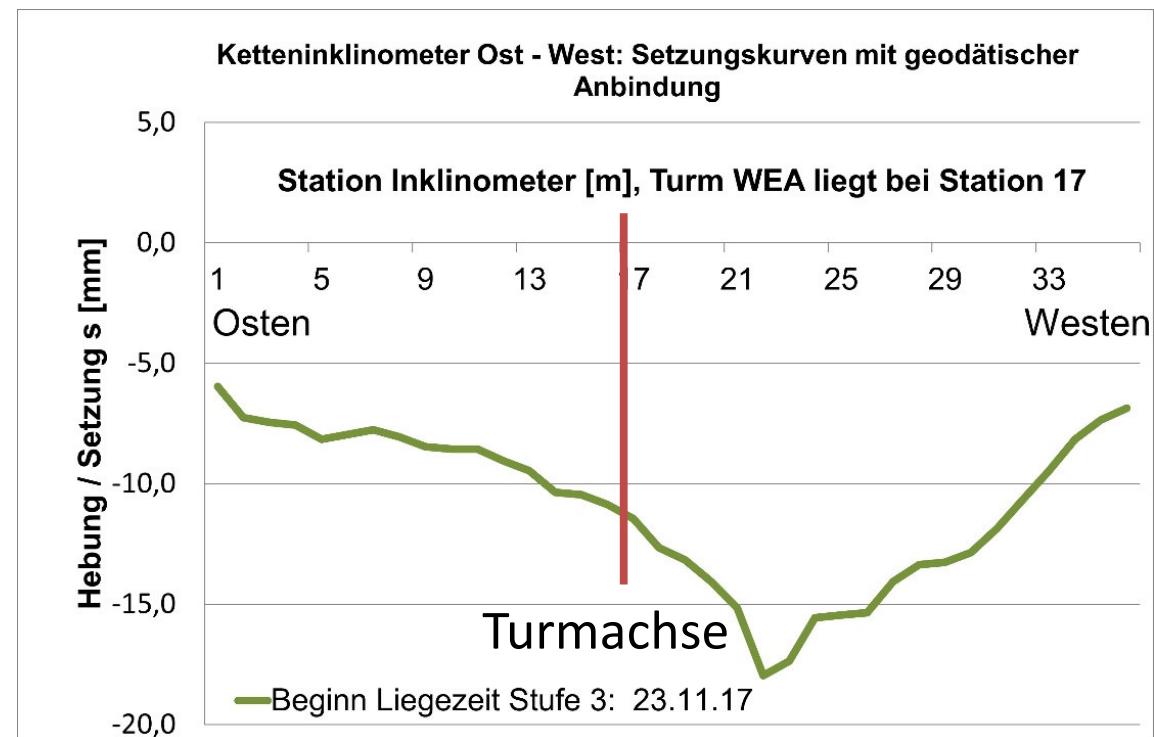
- | 2 Ketteninklinometer, 34 m lang
- | 2 Horizontalinklinometer, 34 m lang
- | 4 Horizontalinklinometer, 10 m lang
- | 6 Messschächte



## Deponieaufbau und -erkundung

## **Vierte Erkundungsphase – Belastungsschüttung**

- | Schütt Höhe ca. 5 m;  $\sigma_m \approx 75 \text{ kN/m}^2$
  - | Liegezeit 5 Monate
  - | Messinstrumentierung
    - max. Setzung ca. 15 – 17 mm
    - nach Endlastung ca. 10 – 12 mm
    - Baugrund deutlich steifer als zunächst angenommen
    - lokale Schwachstellen nicht ausgeschlossen



## Fundamentkonzept

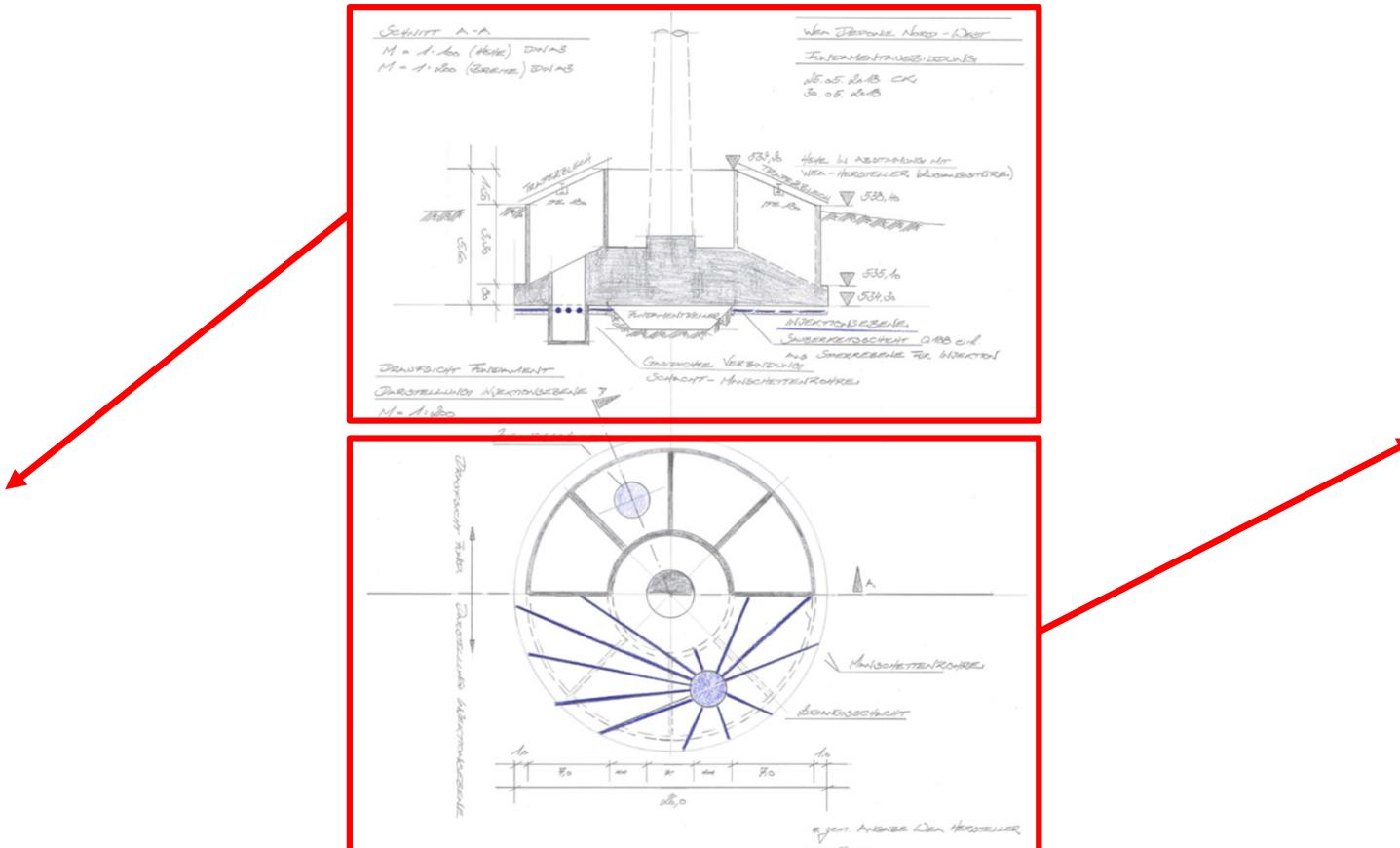
### Grundüberlegungen

- █ Ringfundament mit lastfreier Mitte zur Vermeidung von Sattellagerung
  - bereits bei vergleichbaren Bauvorhaben (Deponie West Karlsruhe) ausgeführt
- █ Möglichkeiten zum Ausgleich sich abzeichnender Schiefstellungen
- █ dauerhafte messtechnische Überwachung

### Besondere Randbedingungen

- █ Fundament wird Bestandteil der späteren Deponieabdichtung
  - Zugänglichkeit nur noch von oben gegeben
  - Anforderungen an Gasdichtigkeit

## 2-stufiges Konzept zum Ausgleich von Schiefstellungen



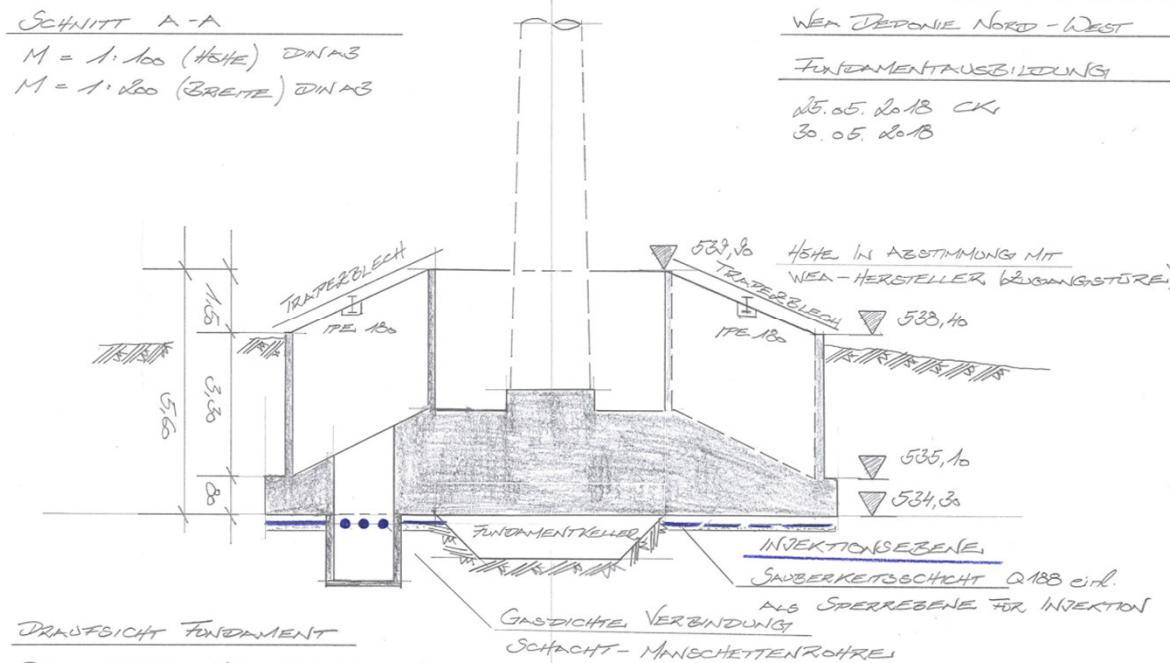
Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München

17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## 2-stufiges Konzept zum Ausgleich von Schiefstellungen

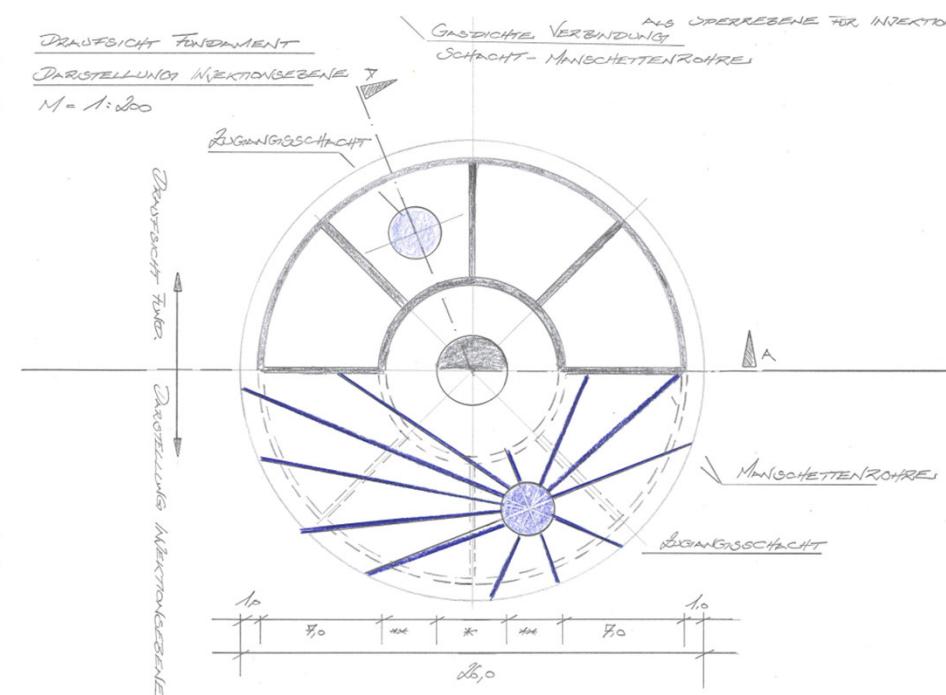
### Erste Entwurfsskizzen - Ballastieren und Hebungs injektion

Schnitt



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München

Grundriss



17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Baugrundmodell

### Vereinfachter Baugrundaufbau:

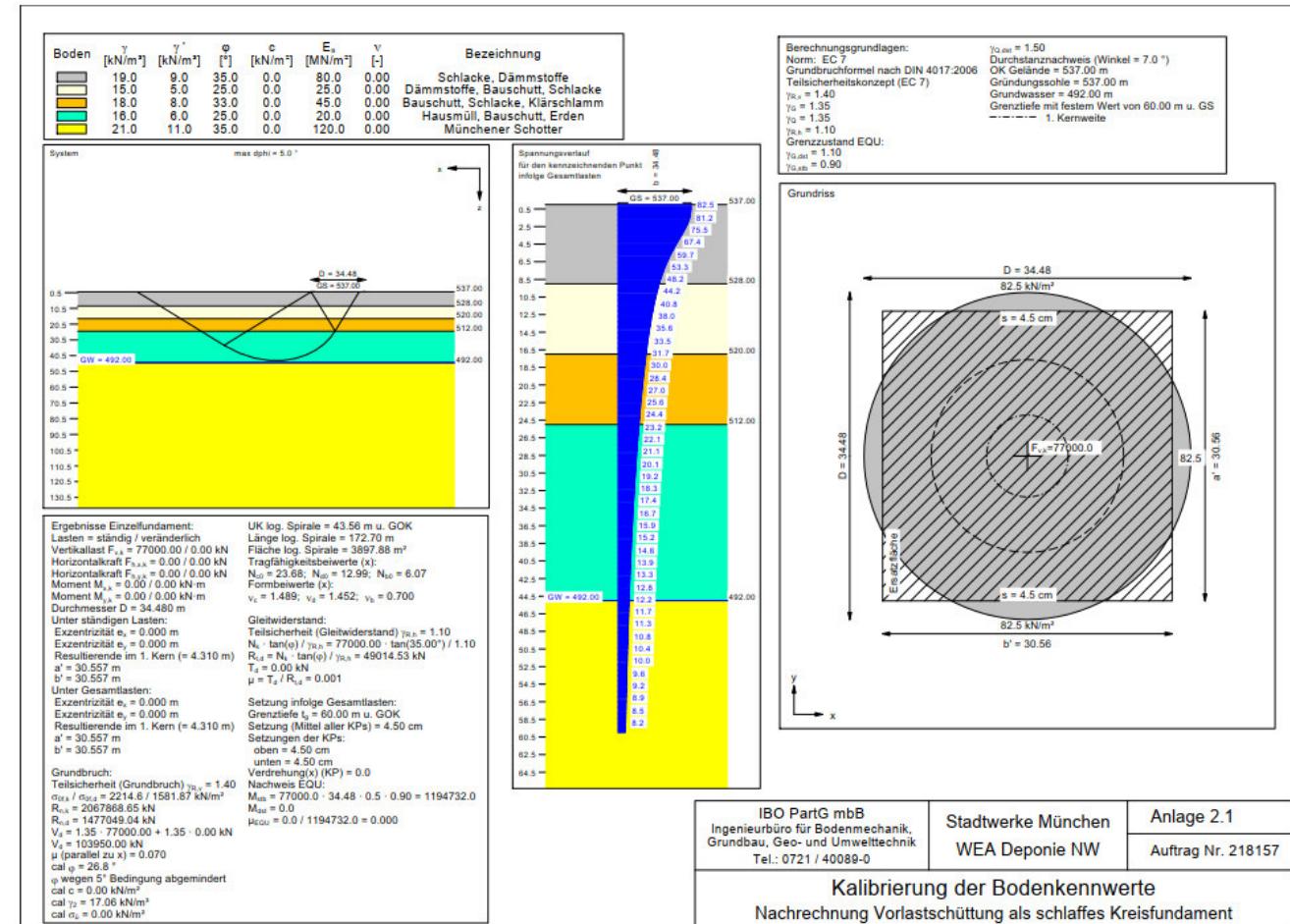
- Untergrund bis ca. 492 m NHN: Münchener Schotter
- 492 bis 512 m NHN: Hausmüll, Bauschutt, Erden, tlw. Klärschlamm, Asbest, Schlacke
- 512 bis 520 m NHN: Bauschutt, Schlacke, Klärschlamm
- 520 bis 528 m NHN: Dämmstoffe, Bauschutt, Schlacke
- 528 bis OK Deponie: Schlacke mit Dämmstoffkassetten/-bigbags

## Erdstatische Nachweise

- Gleitsicherheit (GEO-2)
- Kippsicherheit (EQU) und Nachweise der Ausmitte der Sohldruckresultierenden
- Grundbruchsicherheit (GEO-2)
- Erforderliche Drehfedersteifigkeit (SLS, spezifisch für WEA-Typ)
- Maximal zulässige Schiefstellung (SLS)Hier maßgebend
- Bettungsausfall infolge von Inhomogenitäten
- Einfluss Gründung auf Standsicherheit der Deponieböschungen (GEO-3)

## Kalibrierung der Baugrundkennwerte

Nachrechnung der Vorbelastung (GGU-FOOTING):



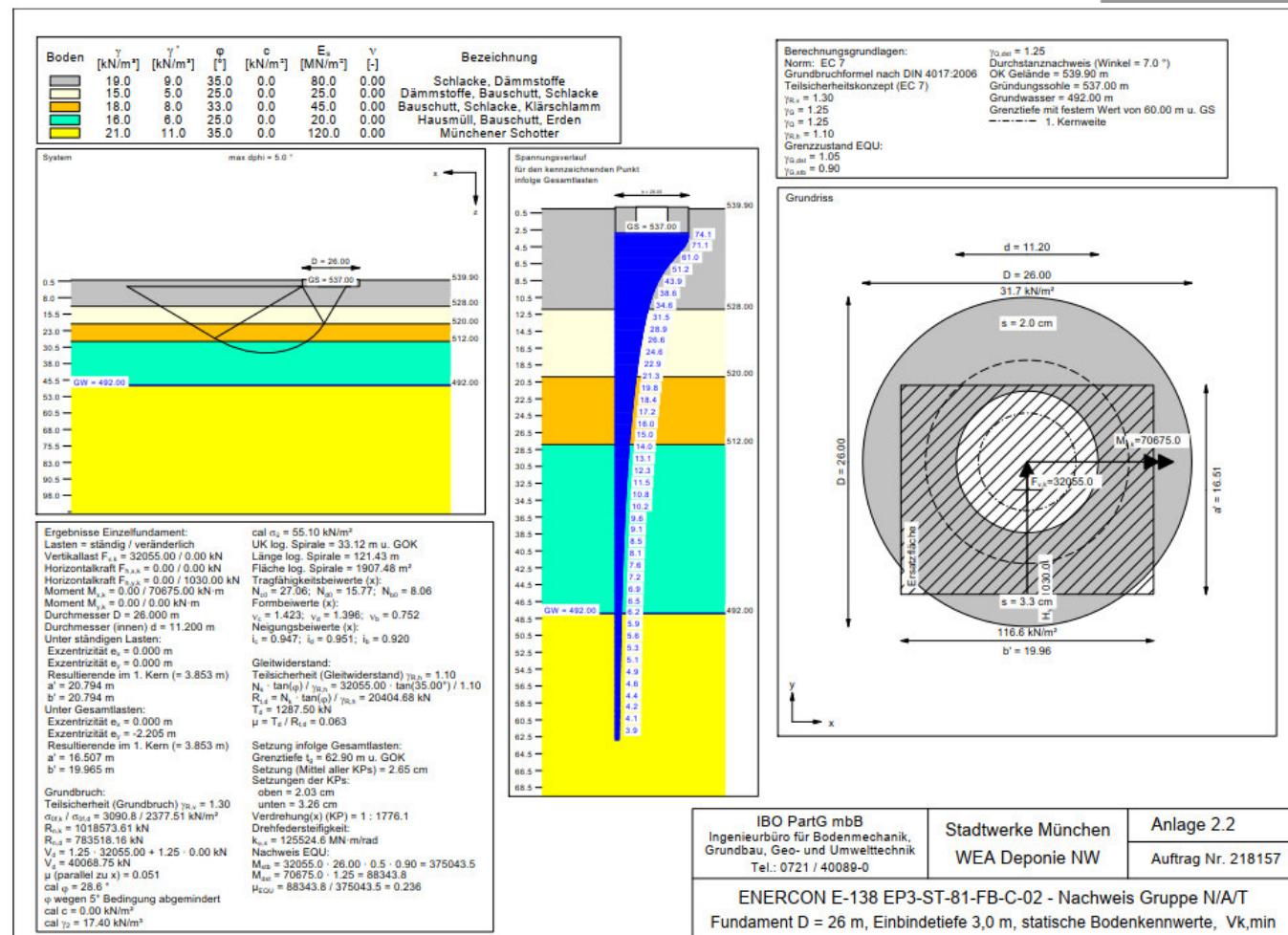
## Kalibrierung der Baugrundkennwerte

Abgeleitete Bodenkennwerte:

UK Schicht	Hauptbestandteile	$E_s,\text{statisch}$	$E_s,\text{dynamisch}$
Bis 528 mNN	Schlacke, Dämmstoffe	80 MN/m <sup>2</sup>	120 MN/m <sup>2</sup>
Bis 520 mNN	Dämmstoffe, Bauschutt, Schlacke	25 MN/m <sup>2</sup>	37,5 MN/m <sup>2</sup>
Bis 512 mNN	Bauschutt, Schlacke, Klärschlamm	45 MN/m <sup>2</sup>	67,5 MN/m <sup>2</sup>
Bis 492 mNN	Hausmüll, Bauschutt, Erden	20 MN/m <sup>2</sup>	30 MN/m <sup>2</sup>
Bis 512 mNN	Bauschutt, Schlacke, Klärschlamm	120 MN/m <sup>2</sup>	180 MN/m <sup>2</sup>

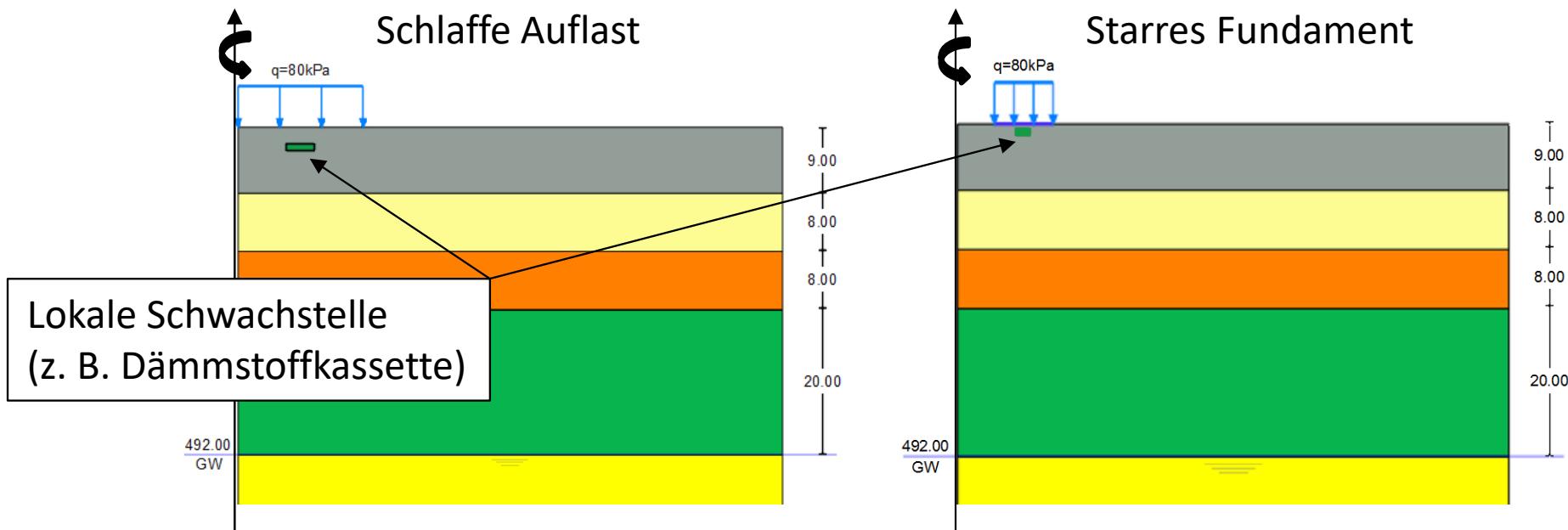
## Erdstatische Nachweise

Nachweis der Kipp-, Gleit- und  
Grundbruchsicherheit sowie  
Drehfedersteifigkeit:  
**(GGU-FOOTING)**



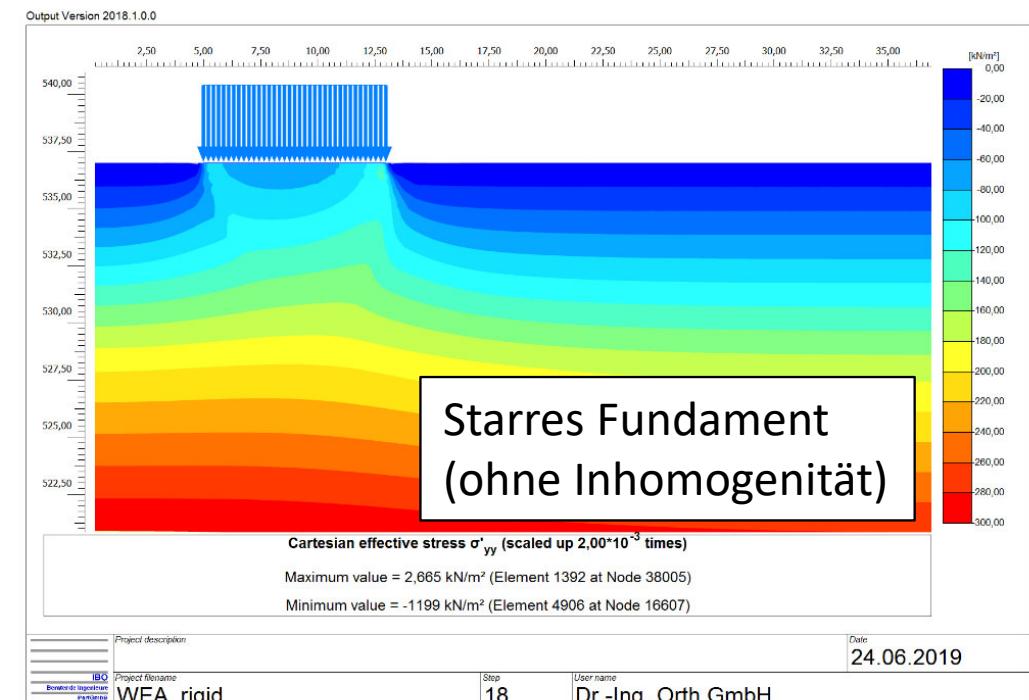
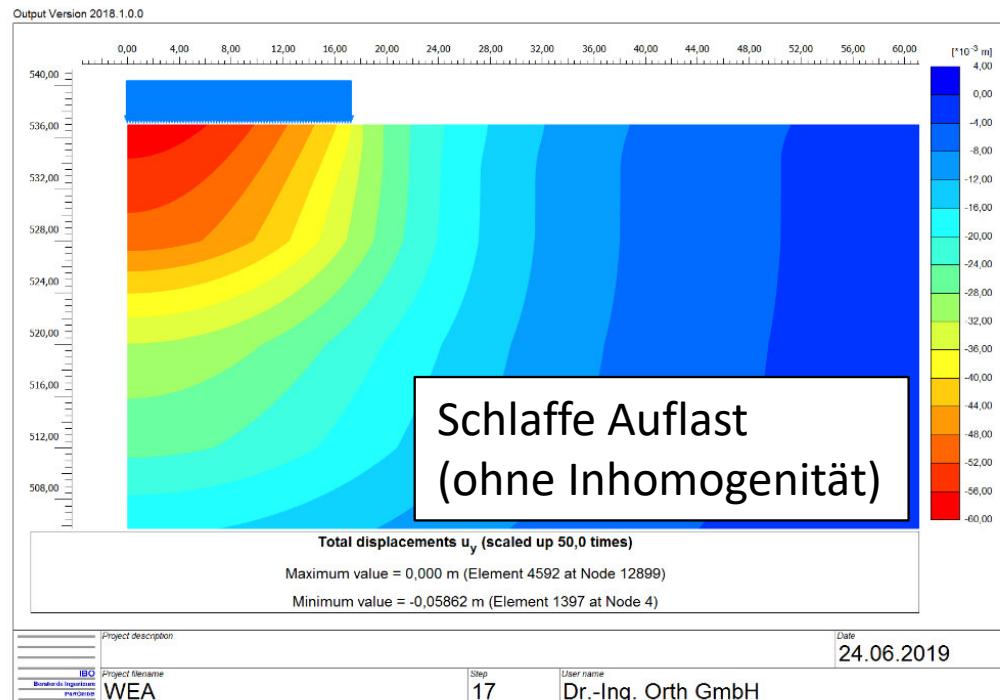
## Erdstatische Nachweise

Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



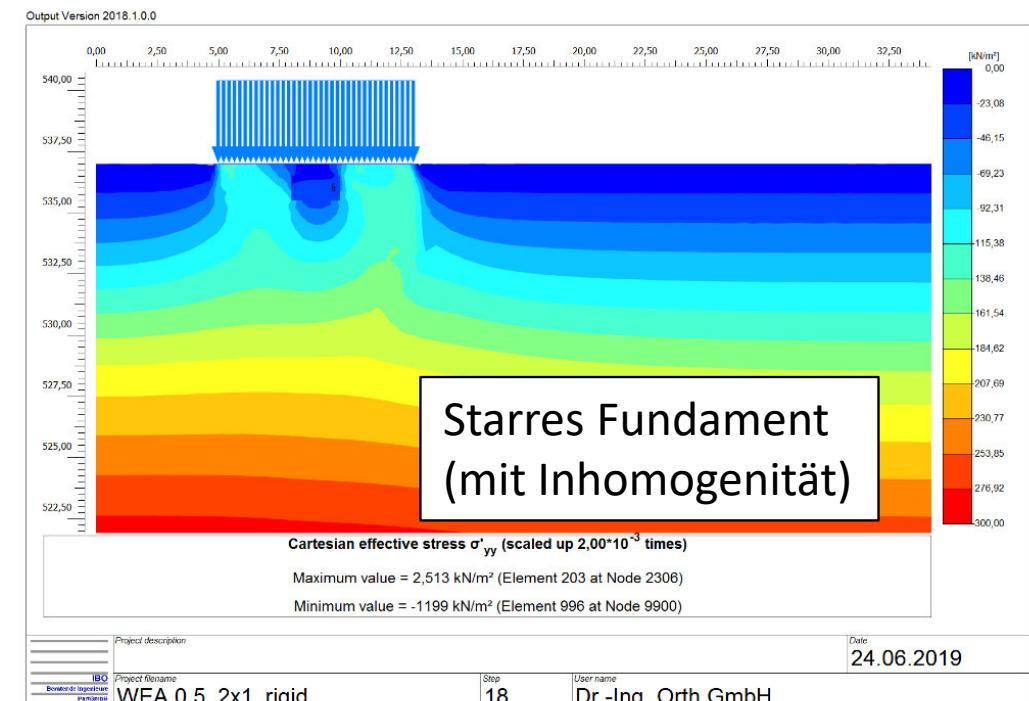
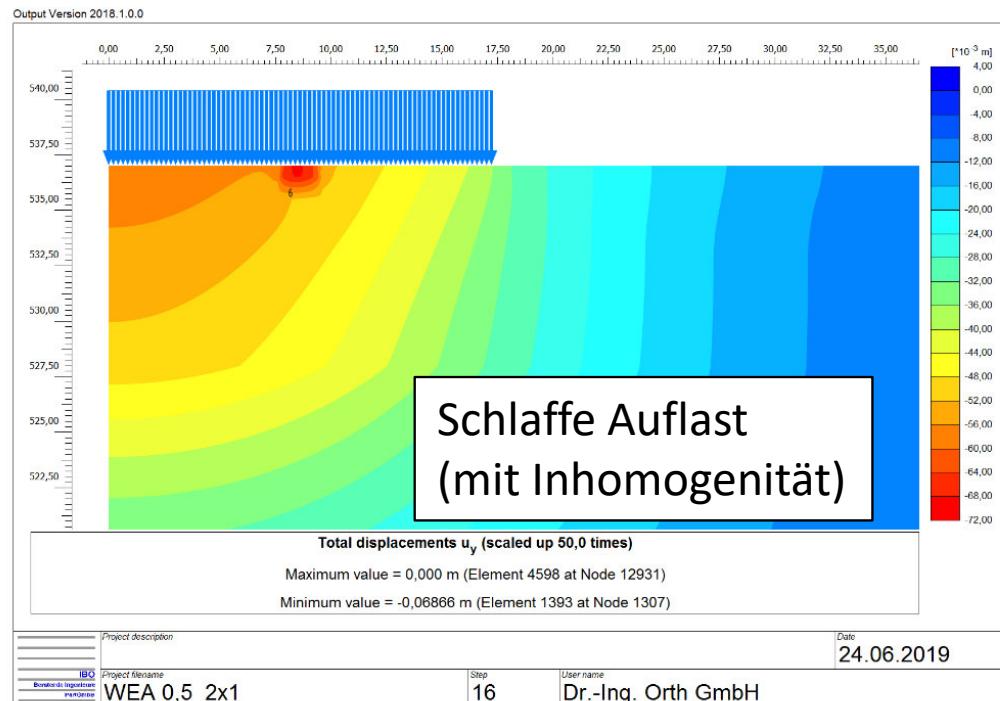
## Erdstatische Nachweise

### Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



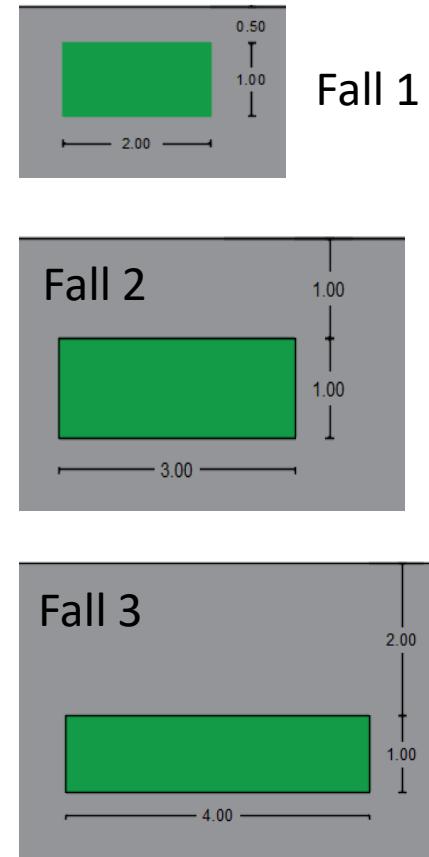
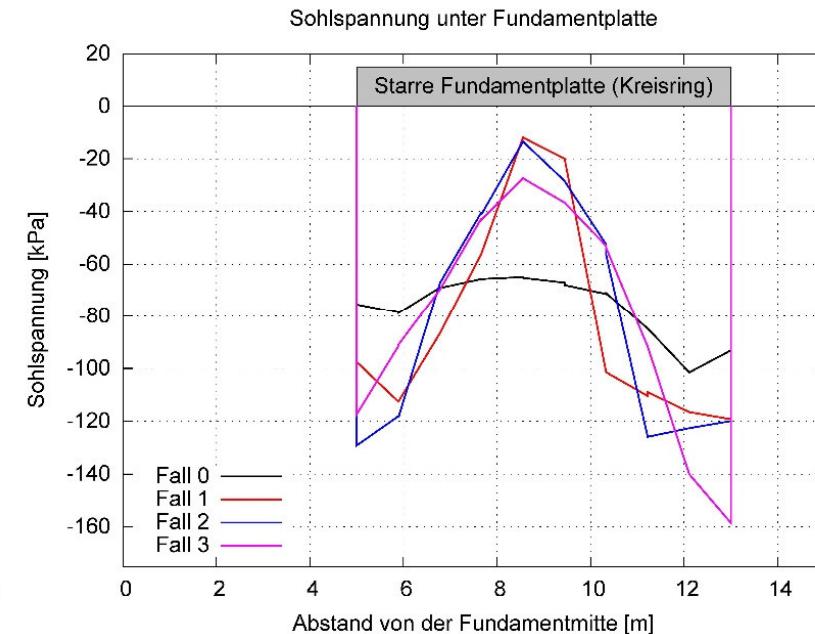
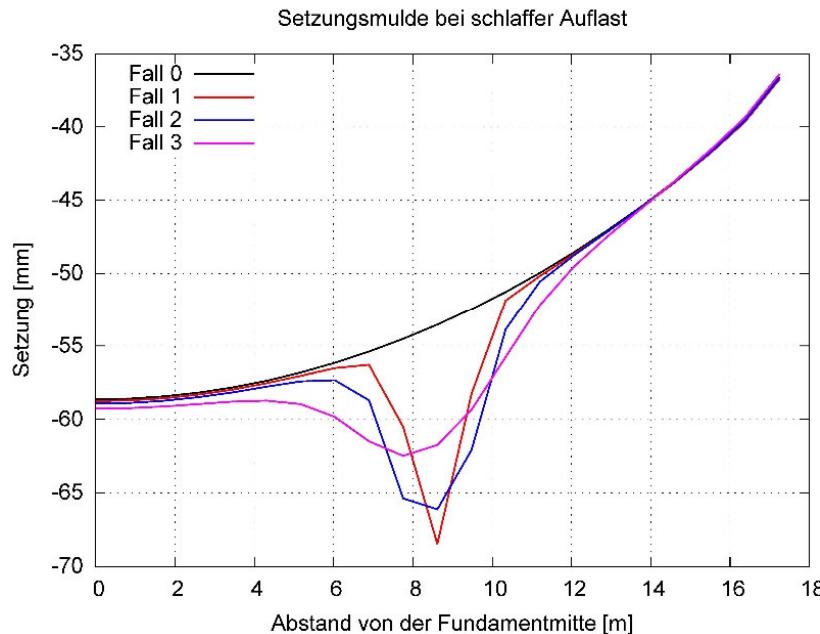
## Erdstatische Nachweise

### Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



## Erdstatische Nachweise

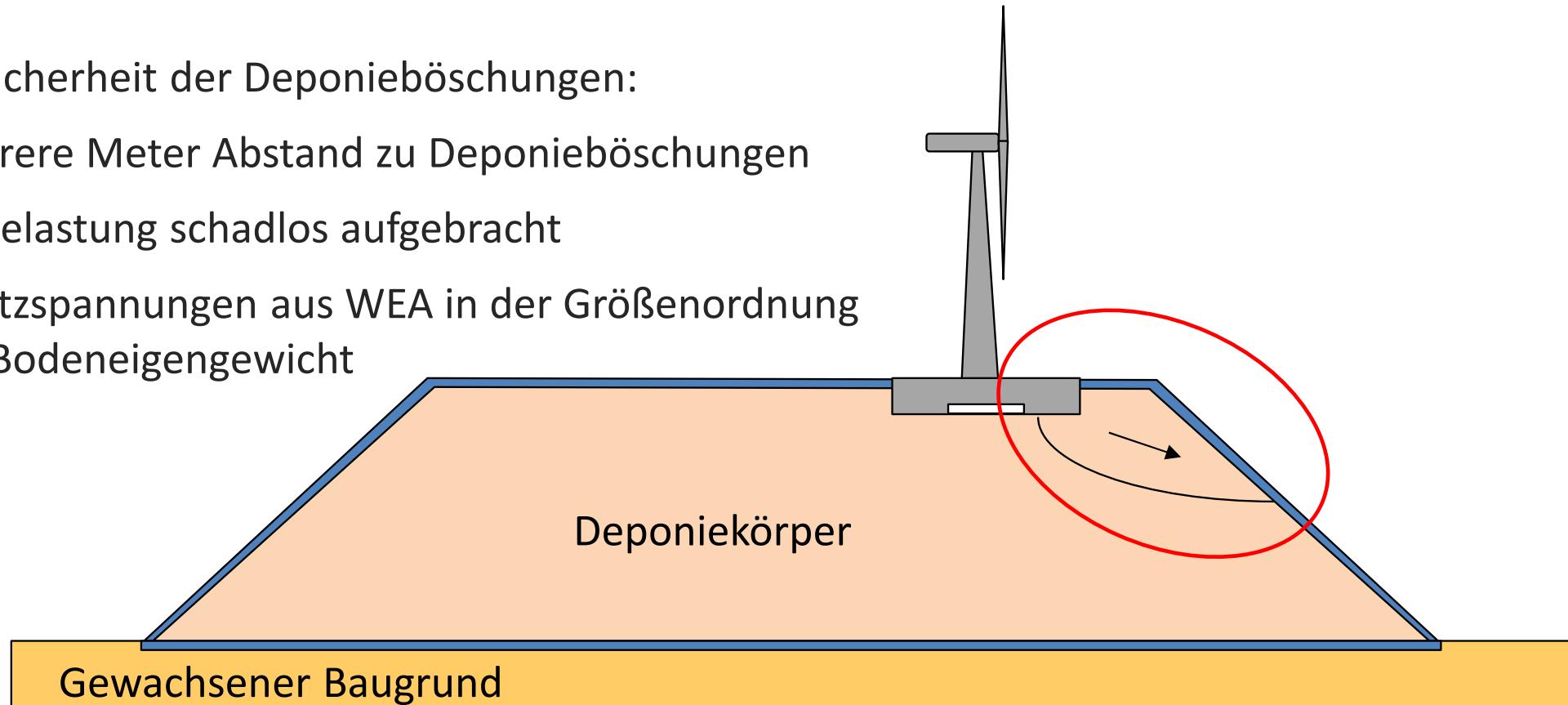
### Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



## Erdstatische Nachweise

Standsicherheit der Deponieböschungen:

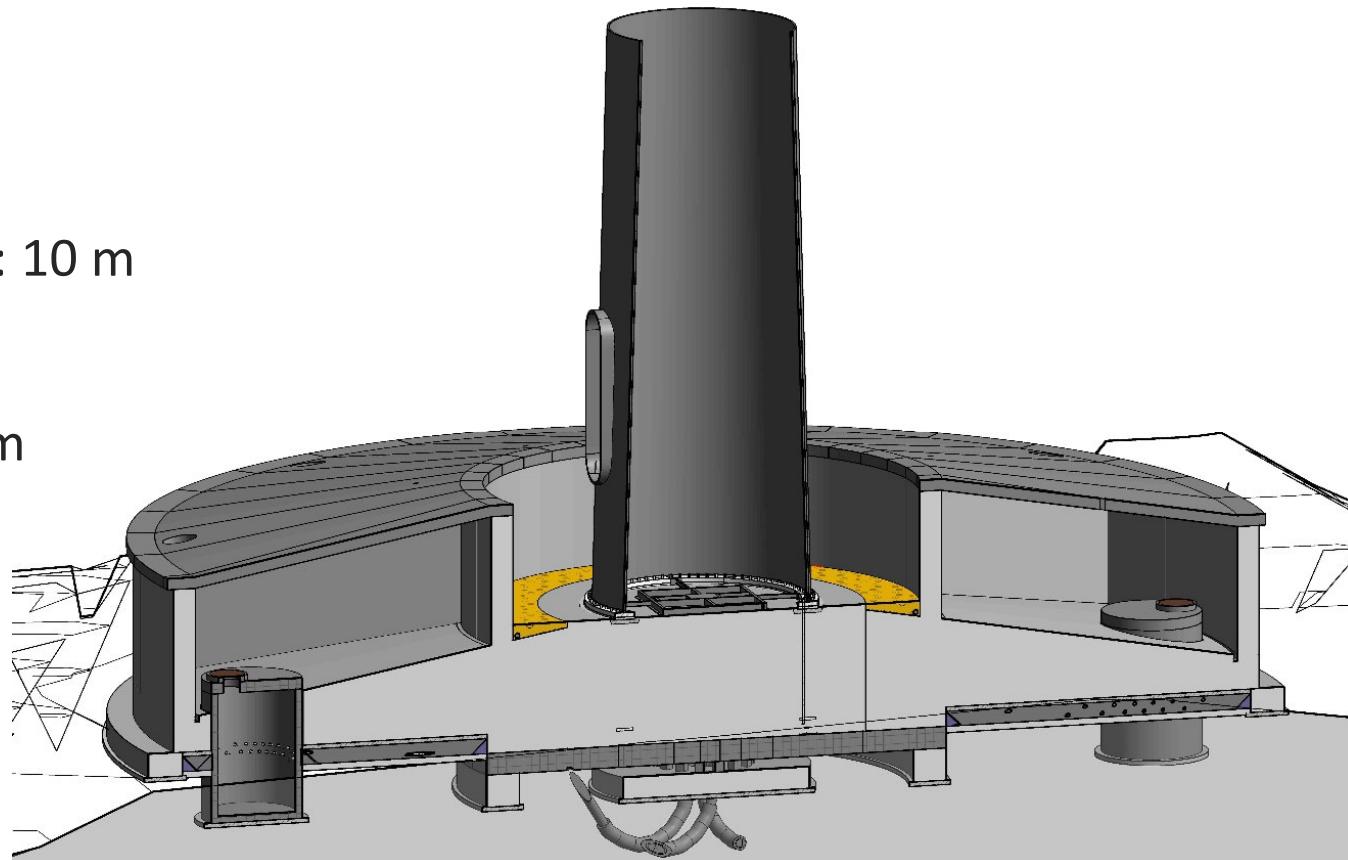
- Mehrere Meter Abstand zu Deponieböschungen
- Vorbelastung schadlos aufgebracht
- Zusatzspannungen aus WEA in der Größenordnung wie Bodeneigengewicht



## Fundamentdesign der Ausführungsplanung

### 3D-Fundamentmodell

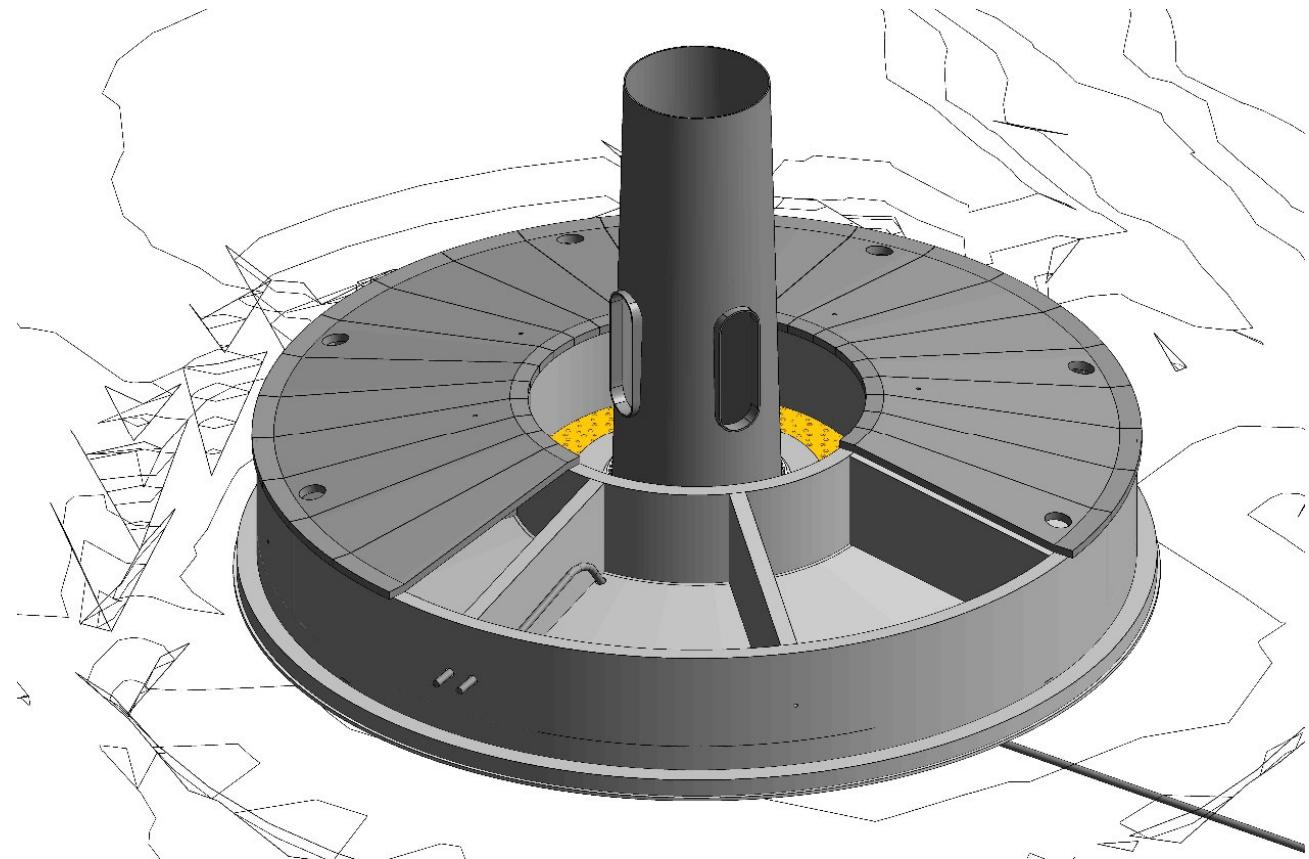
- | Fundamentdurchmesser: 26 m
- | Durchmesser lastfreier Bereich: 10 m
- | Fundamenthöhe
  - | Mitte unter Turmfuss: 2,8 m
  - | äußerer Rand: 0,8 m
- | Innenhöhe Kammerwand: 3 m



## Fundamentdesign der Ausführungsplanung

### Fundamentkammern

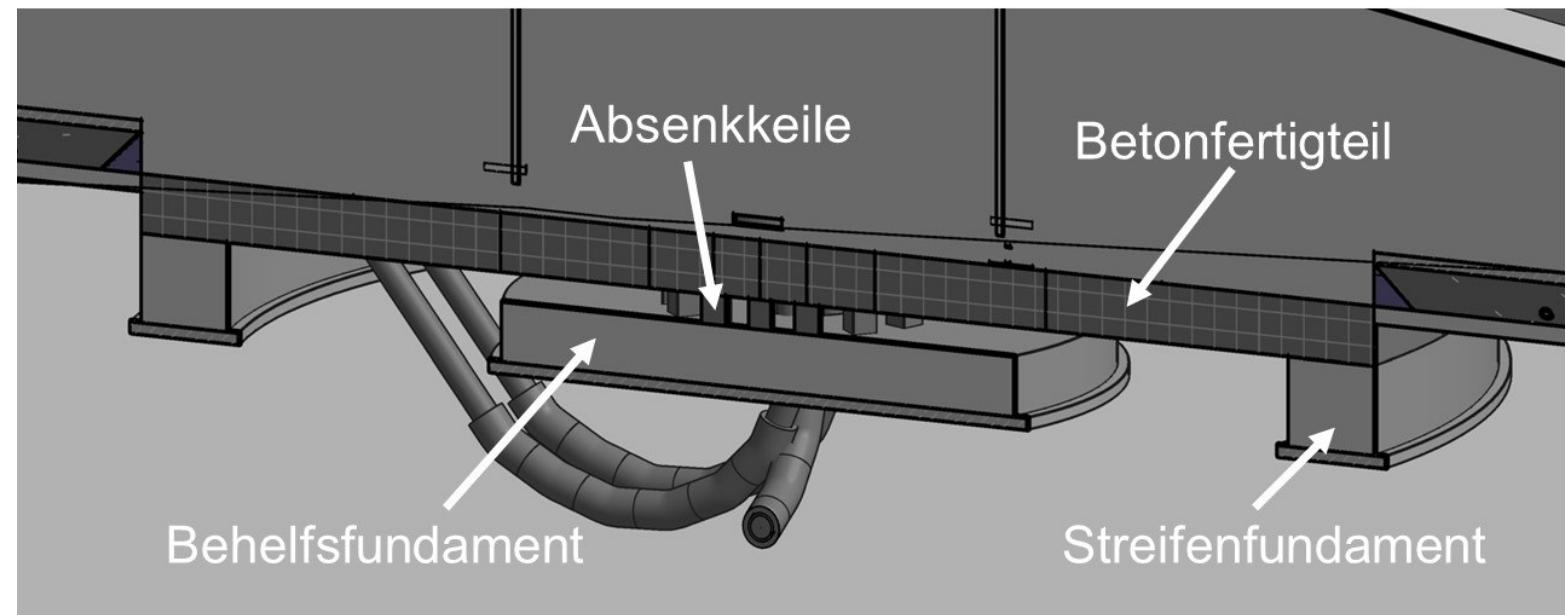
- | 8 Segmente
- | Ballastiervolumen je Segment
  - | flüssig: ca. 430 m<sup>3</sup>
  - | Feststoff: ca. 560 m<sup>3</sup>



## Fundamentdesign der Ausführungsplanung

### Aufstandsfläche und Fundamentkeller

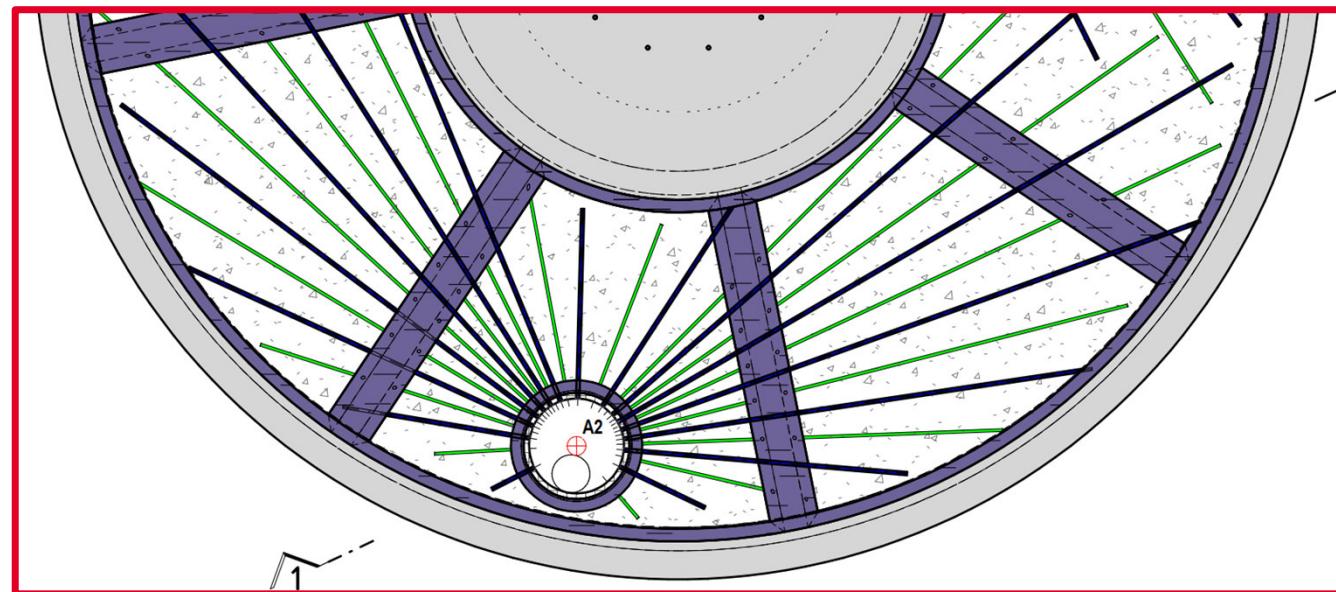
- | Lastfreier Bereich über Fundamentkeller
- | Kabeleinführungen



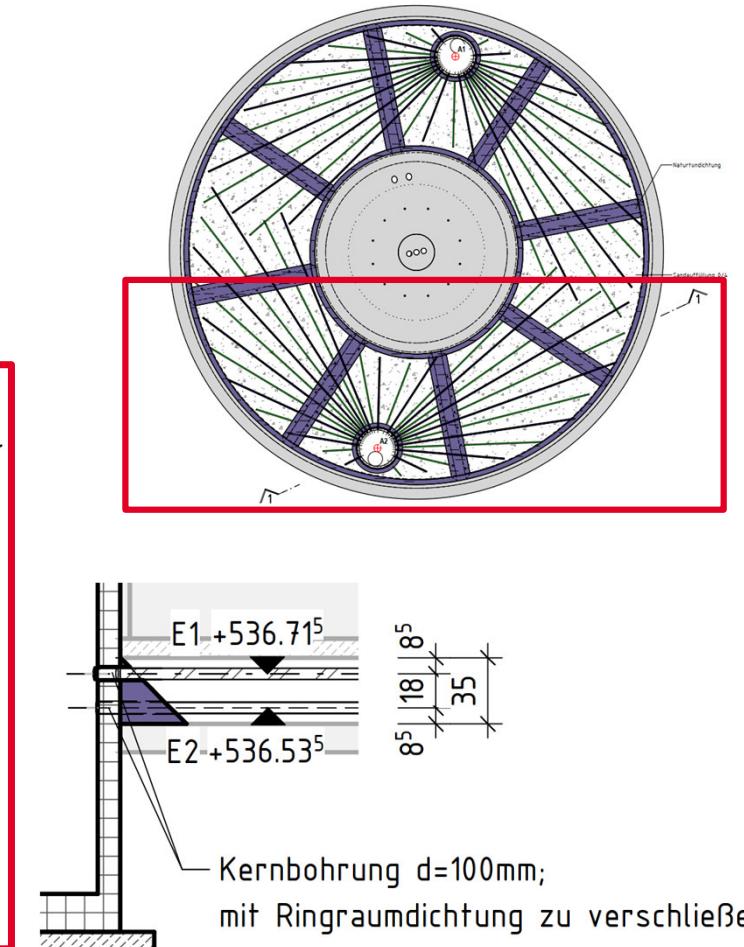
## Fundamentdesign der Ausführungsplanung

### Injektionsebene

- Manschettenrohre in 2 Ebenen
- Unterteilung in Sektoren



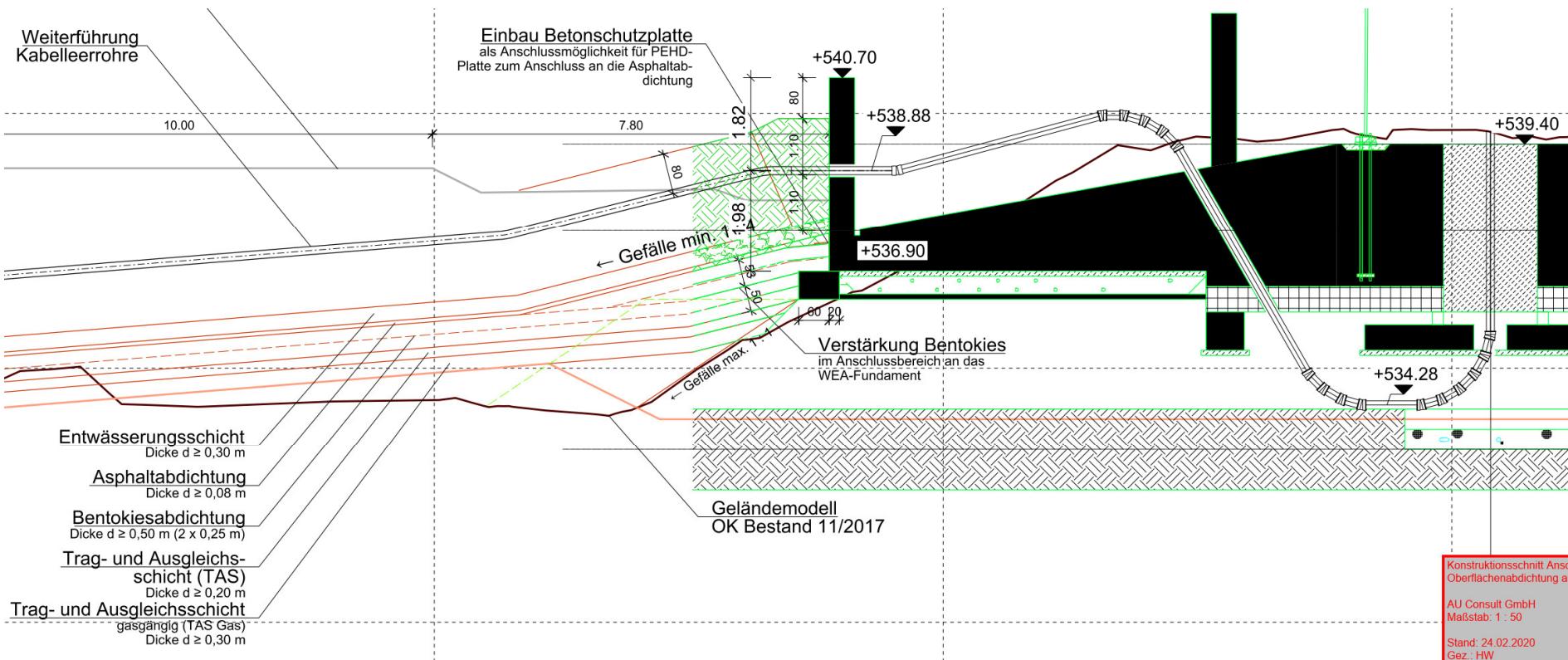
Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Fundamentdesign der Ausführungsplanung

### Integration in Deponieabdichtung



## Fotos der Bauausführung

### Aufstandsfläche



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



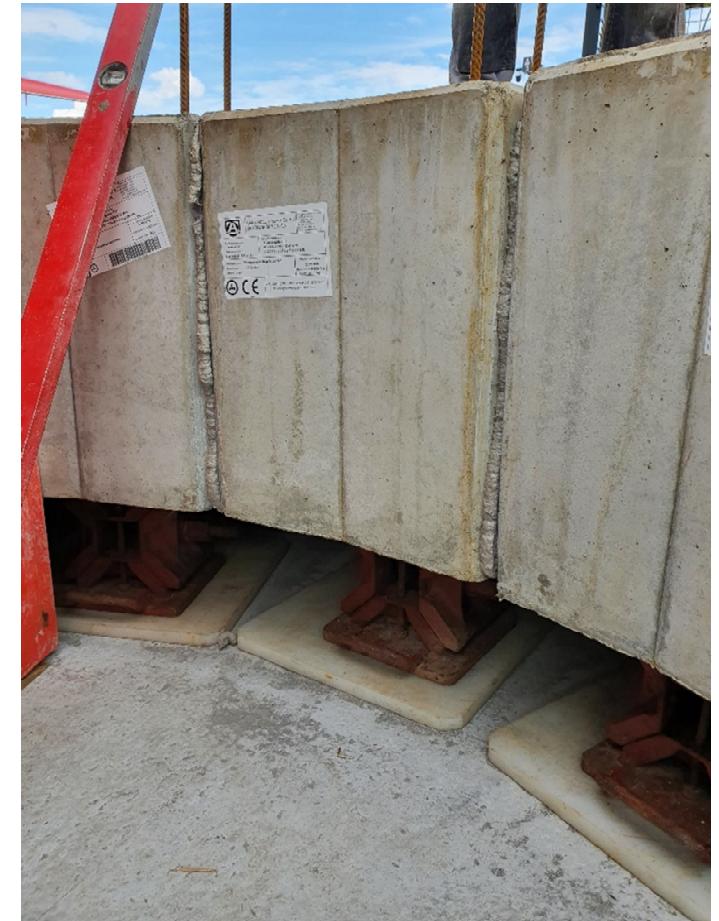
17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Fotos der Bauausführung

### Fundamentkeller



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Fotos der Bauausführung

### Herstellung Injektionsebene



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



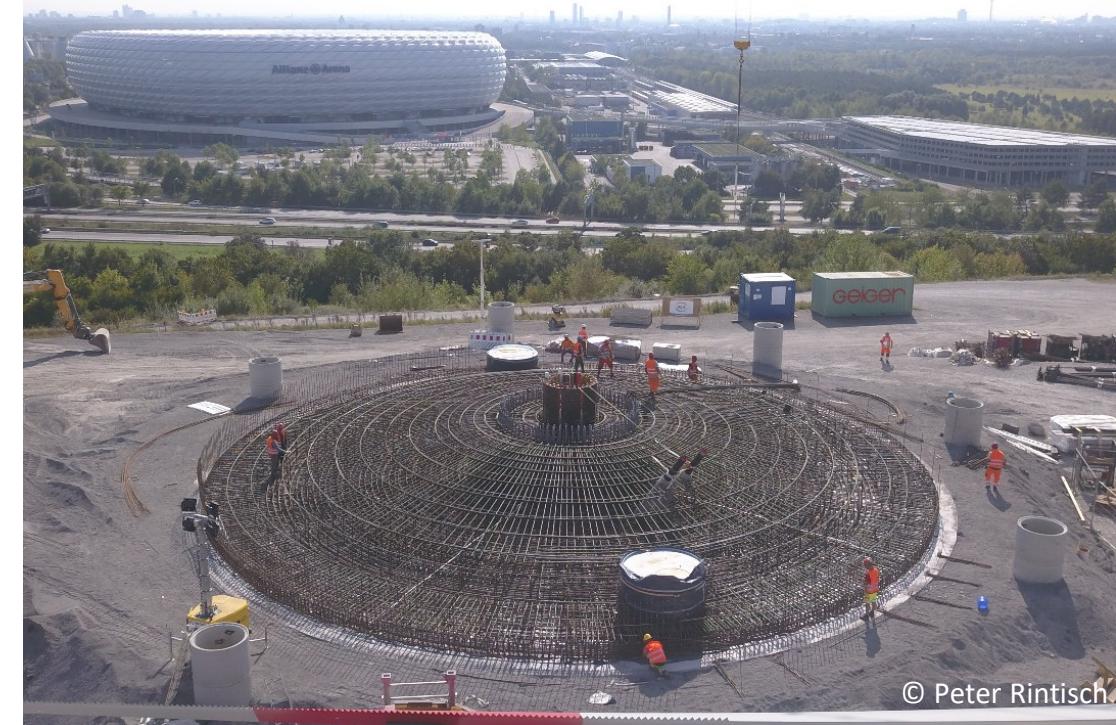
17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Fotos der Bauausführung

### Fundament – Bewehrung und Betonage



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

© Peter Rintisch

## Fotos der Bauausführung



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München

17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Fotos der Bauausführung

### Herstellung Kammerwände



© Peter Rintisch



© Peter Rintisch

Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München

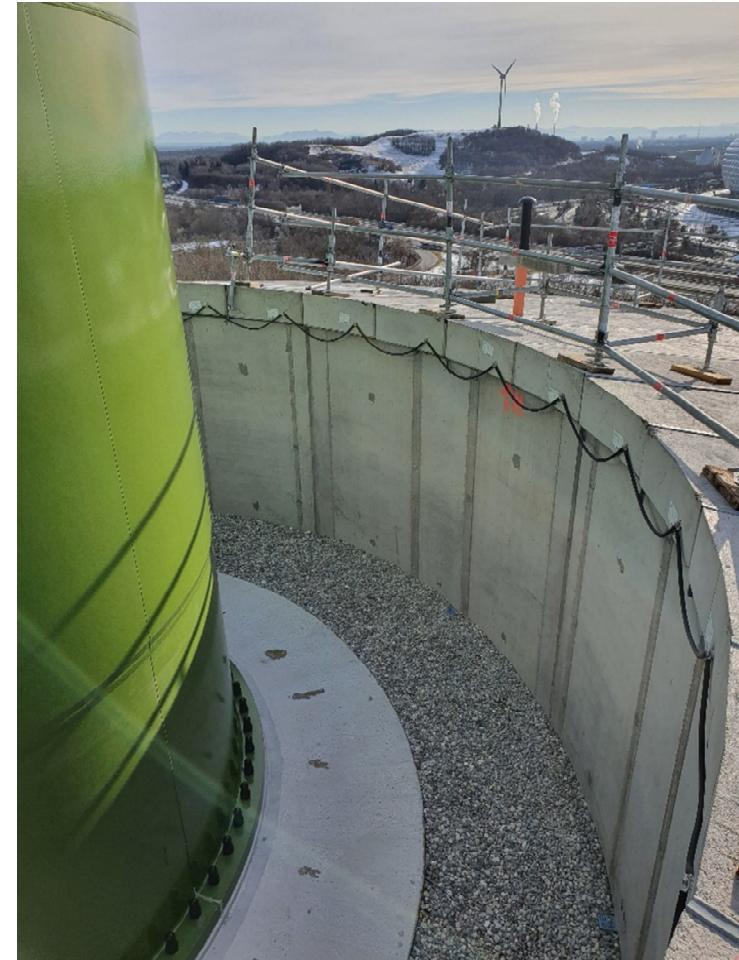
17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Fotos der Bauausführung

Abdeckung geschlossen



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

## Ergebnisse Verformungsmessungen

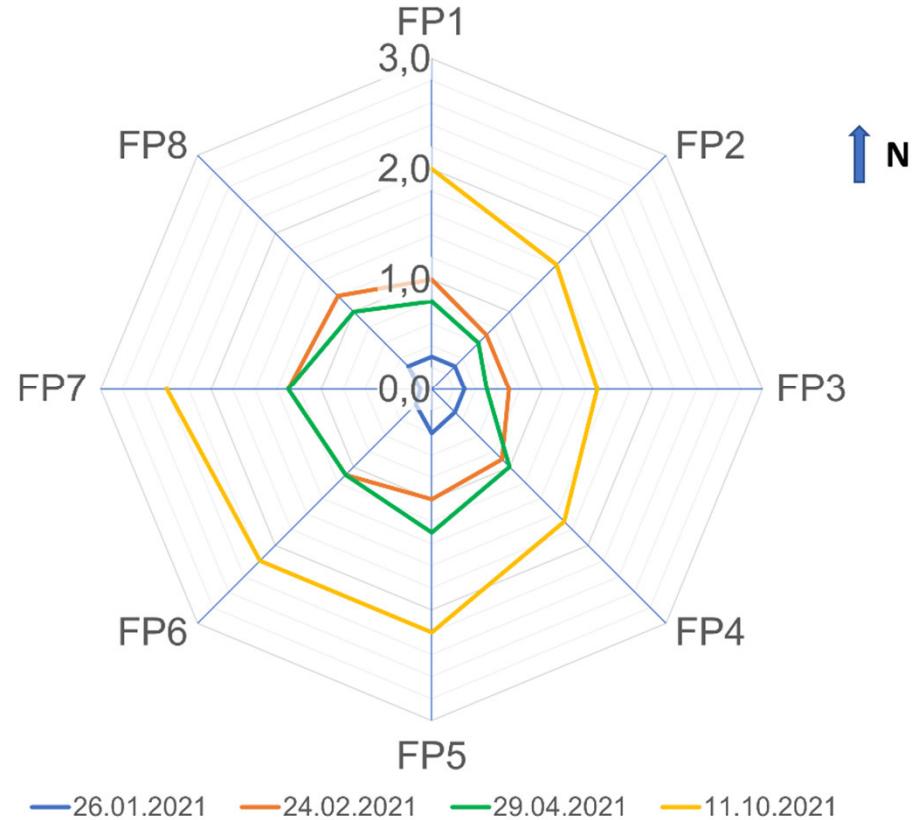
- Überlagerung von 2 Arten von Setzung
  - kontinuierliche Eigensetzung der Deponie
  - lastabhängige Setzungen der WEA
- Geodätische Vermessungen
- kontinuierliche Messung durch Inklinometerketten bis Ende 2022

## Ergebnisse Verformungsmessungen

### Geodätische Vermessungen

- Messzeitraum 01/21 bis 10/21
- Nord-Süd-Achse
  - gleichmäßige Setzung
- Ost-West-Achse
  - tendenzielle Setzungszunahme nach Westen; Differenz ca. 8 mm

Setzungen [cm] nach Herstellung Fundament



## Ergebnisse Verformungsmessungen

### Inklinometerketten

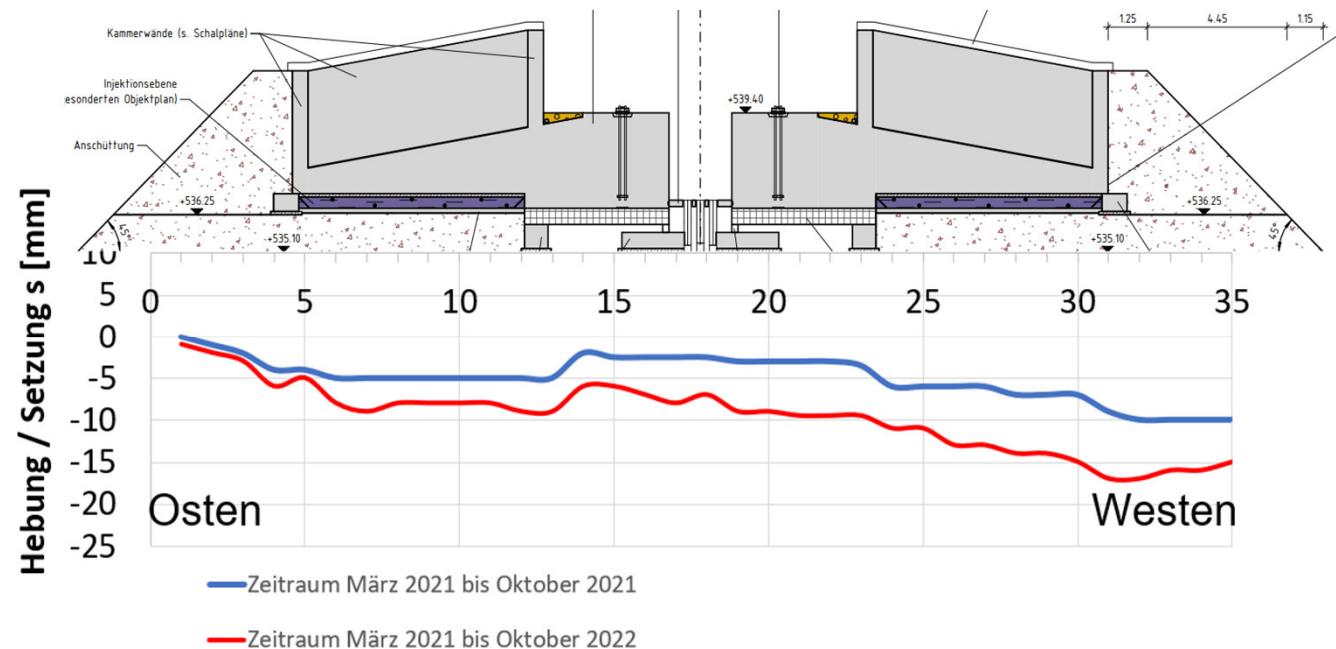
#### | Differenzverformungen in Ost-West-Achse bis Oktober 2022

| 03/21 bis 10/21:

ca. 2 mm

| 03/21 bis 10/22

ca. 5 - 6 mm



## Fazit

- | angestrebte Lastabtragung hat sich eingestellt
- | Differenzverformungen bisher unkritisch (zulässige Differenzsetzung ca. 75 mm)
- | Möglichkeiten zur Korrektur von Schiefstellungen bisher nicht erforderlich

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Tobias Baumgärtel  
e-mail: [tobias.baumgaertel@ingerop.de](mailto:tobias.baumgaertel@ingerop.de)  
Telefon: 089 547112-547