



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



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 Ökostrom-erzeugung

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



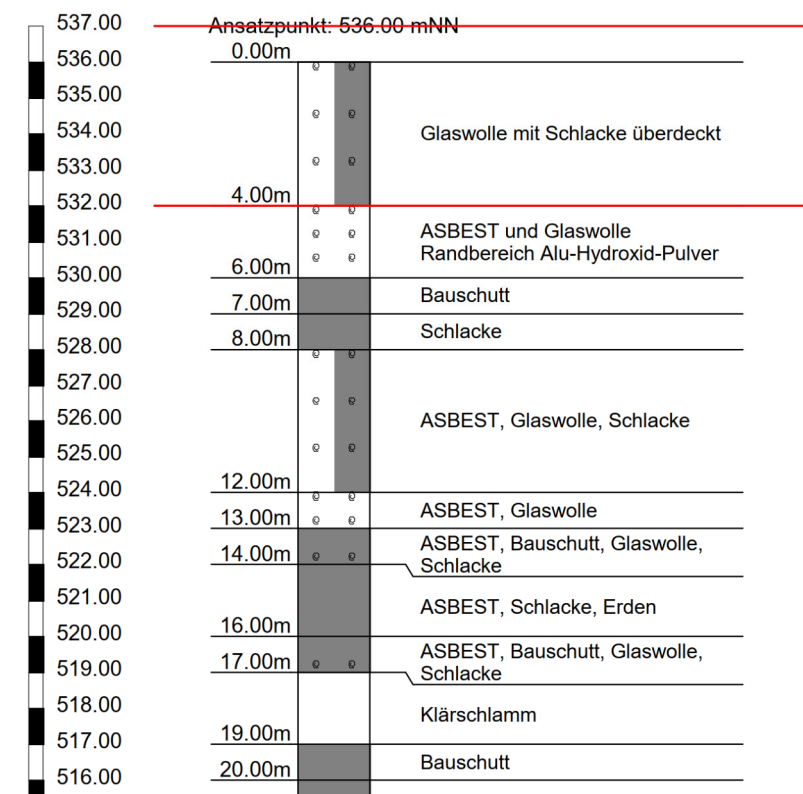
© Peter Rintisch

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

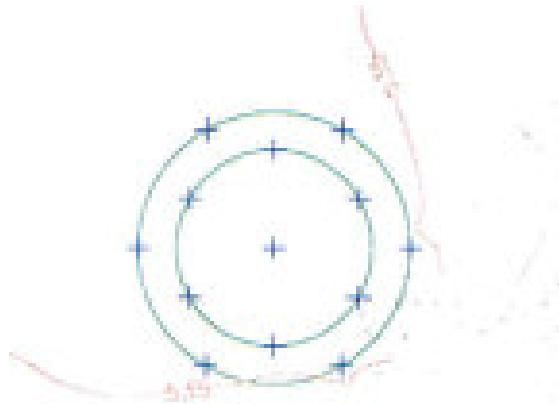
Beispiel eines abgeleiteten Baugrundprofils



Deponieaufbau und -erkundung

Zweite Erkundungsphase – Drucksondierungen

- 18 CPT über Aufstandsfläche der WEA verteilt



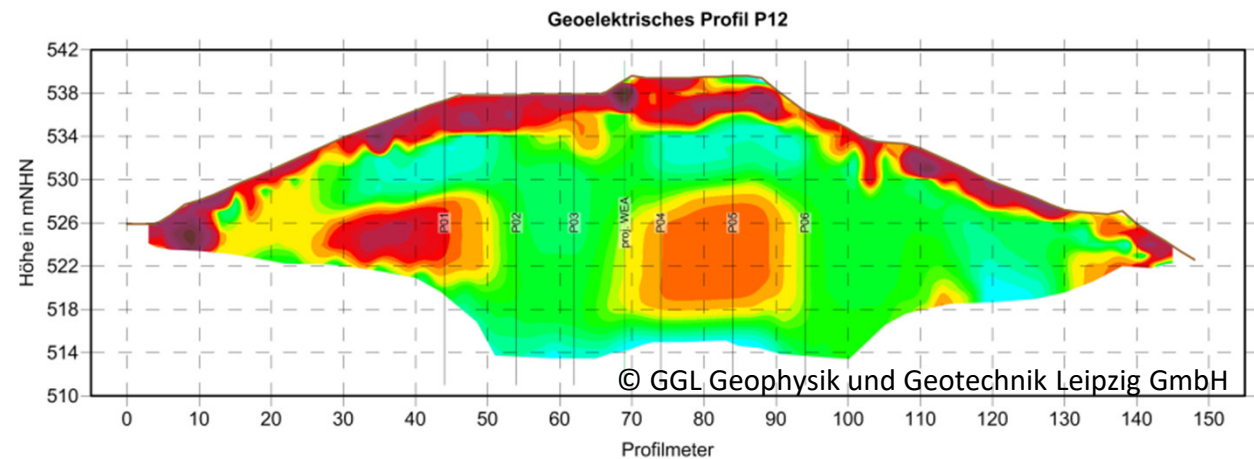
→ Sehr hohe Sondierwiderstände im oberen Bereich (erreichte Tiefen < 6 m)

Deponieaufbau und -erkundung

Dritte Erkundungsphase – Geophysikalische Erkundung

Verfahrenskombination

- gravimetrische Messung
- geoelektrische Messung

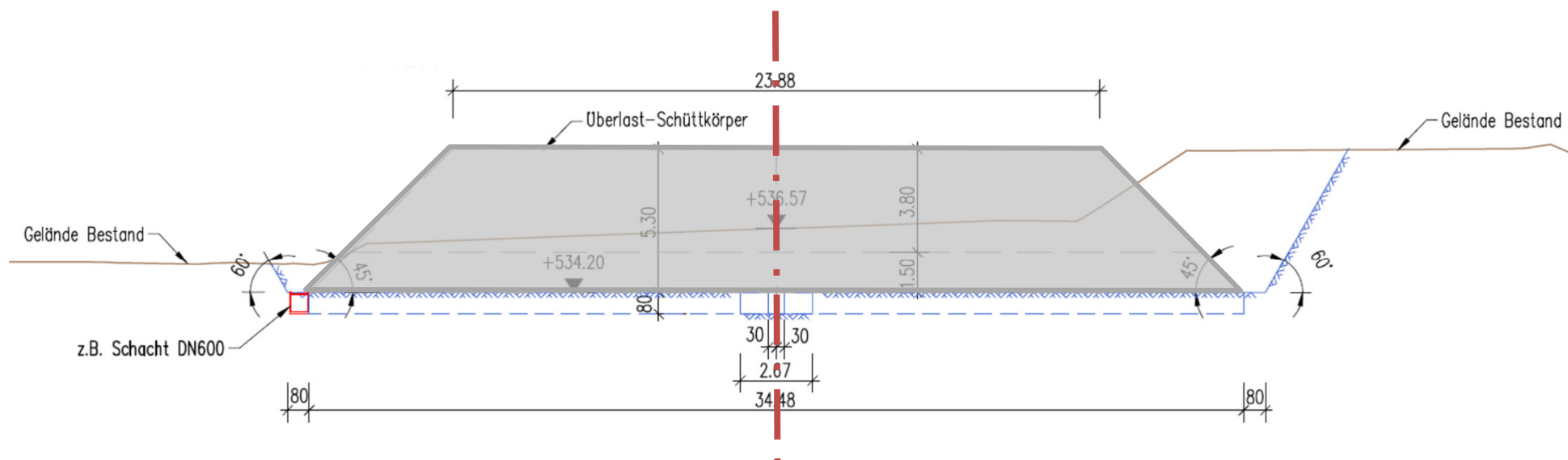


→ Am vorgesehenen Standort ist vermutlich erst ab 10 m unter Gründungskote mit verfüllten Kassetten zu rechnen

Deponieaufbau und -erkundung

Vierte Erkundungsphase – Belastungsschüttung

■ Ausführung: Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM)

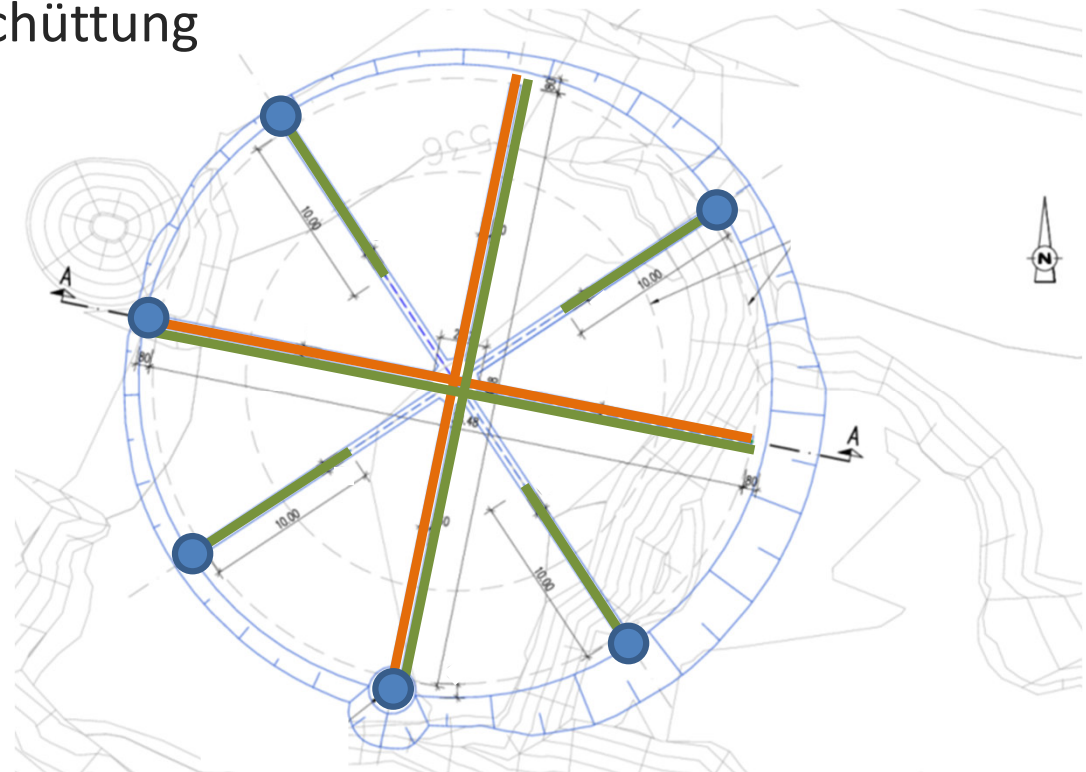


Turmachse

Deponieaufbau und -erkundung

Vierte Erkundungsphase – Belastungsschüttung

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

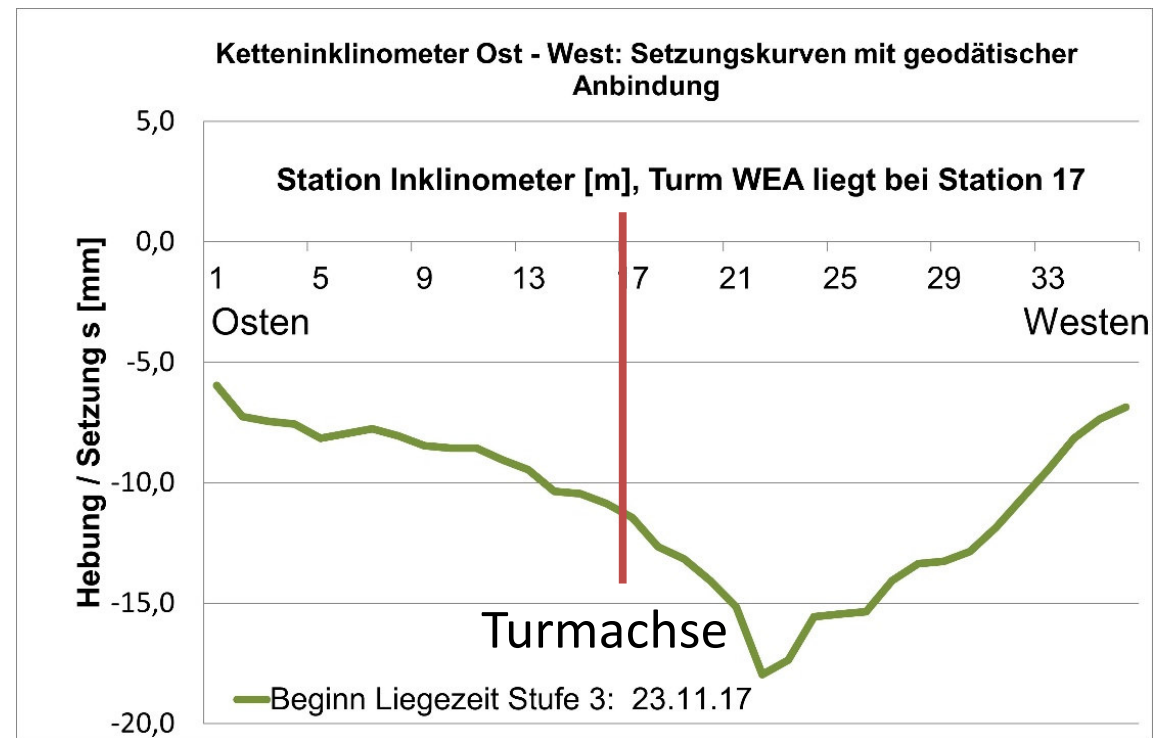


Deponieaufbau und -erkundung

Vierte Erkundungsphase – Belastungsschüttung

- Schütthöhe 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

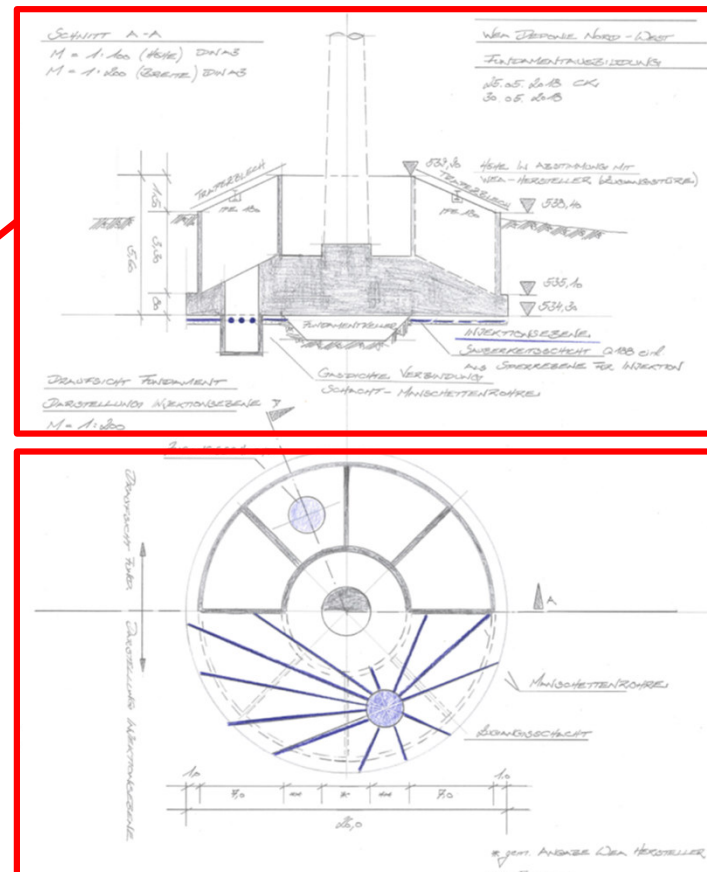
Grundüberlegungen

- 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



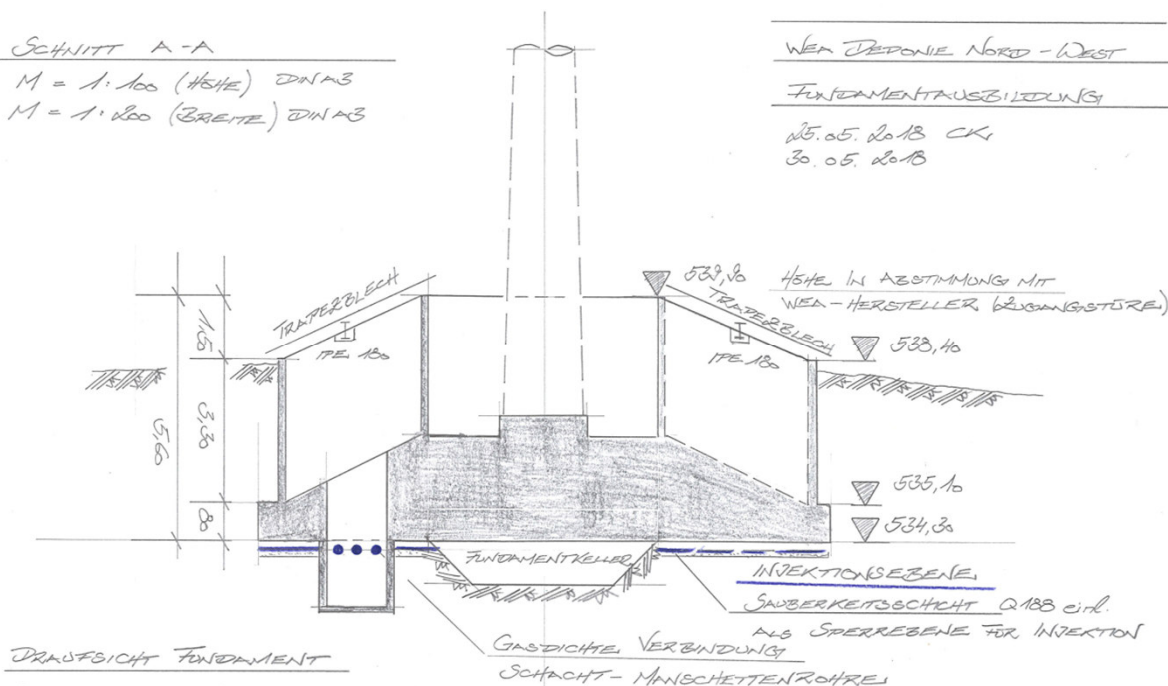
2-stufiges Konzept zum Ausgleich von Schiefstellungen

Erste Entwurfsskizzen - Ballastieren und Hebungsinjektion

Schnitt

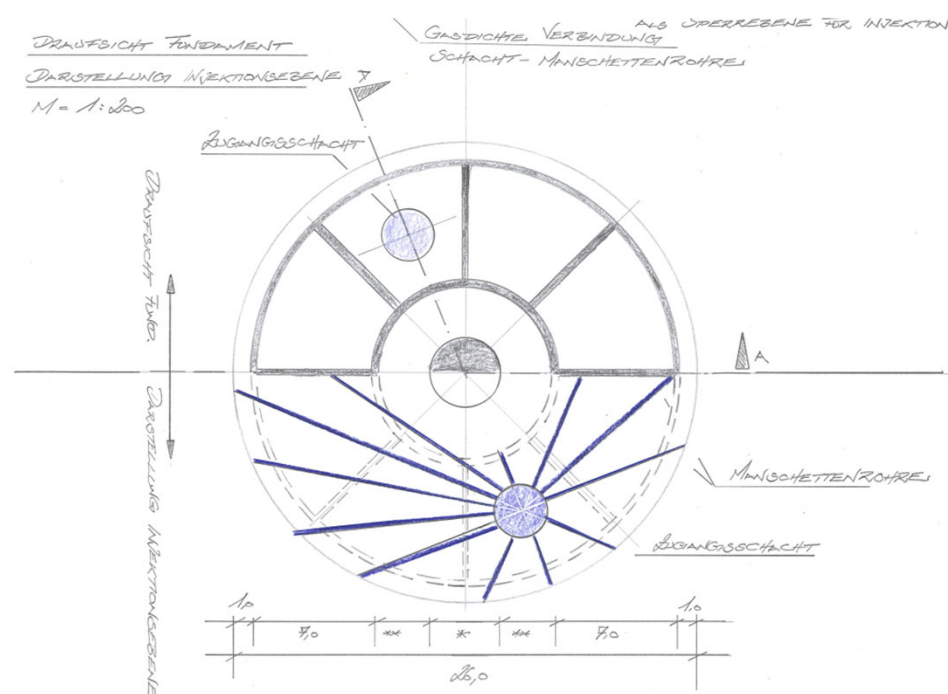
SNITT A-A

M = 1:100 (HÖHE) DIN A3
M = 1:200 (BREITE) DIN A3



DRAUSSICHT FUNDAMENT

Grundriss



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

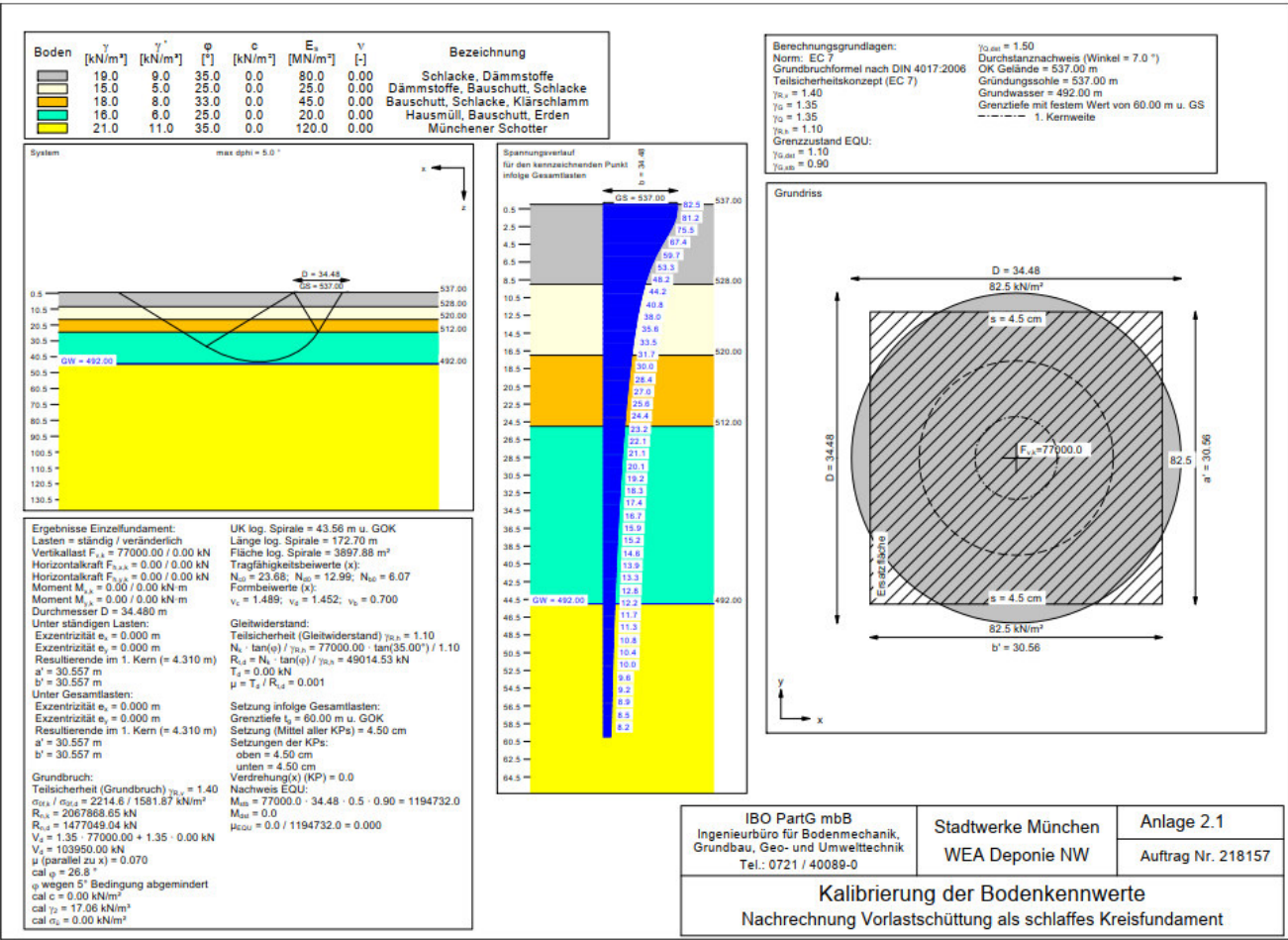
Erdstatische Nachweise

- 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)
- Bettungsausfall infolge von Inhomogenitäten
- Einfluss Gründung auf Standsicherheit der Deponieböschungen (GEO-3)

Hier maßgebend

Kalibrierung der Baugrundkennwerte

Nachrechnung der Vorbelastung (GGU-FOOTING):



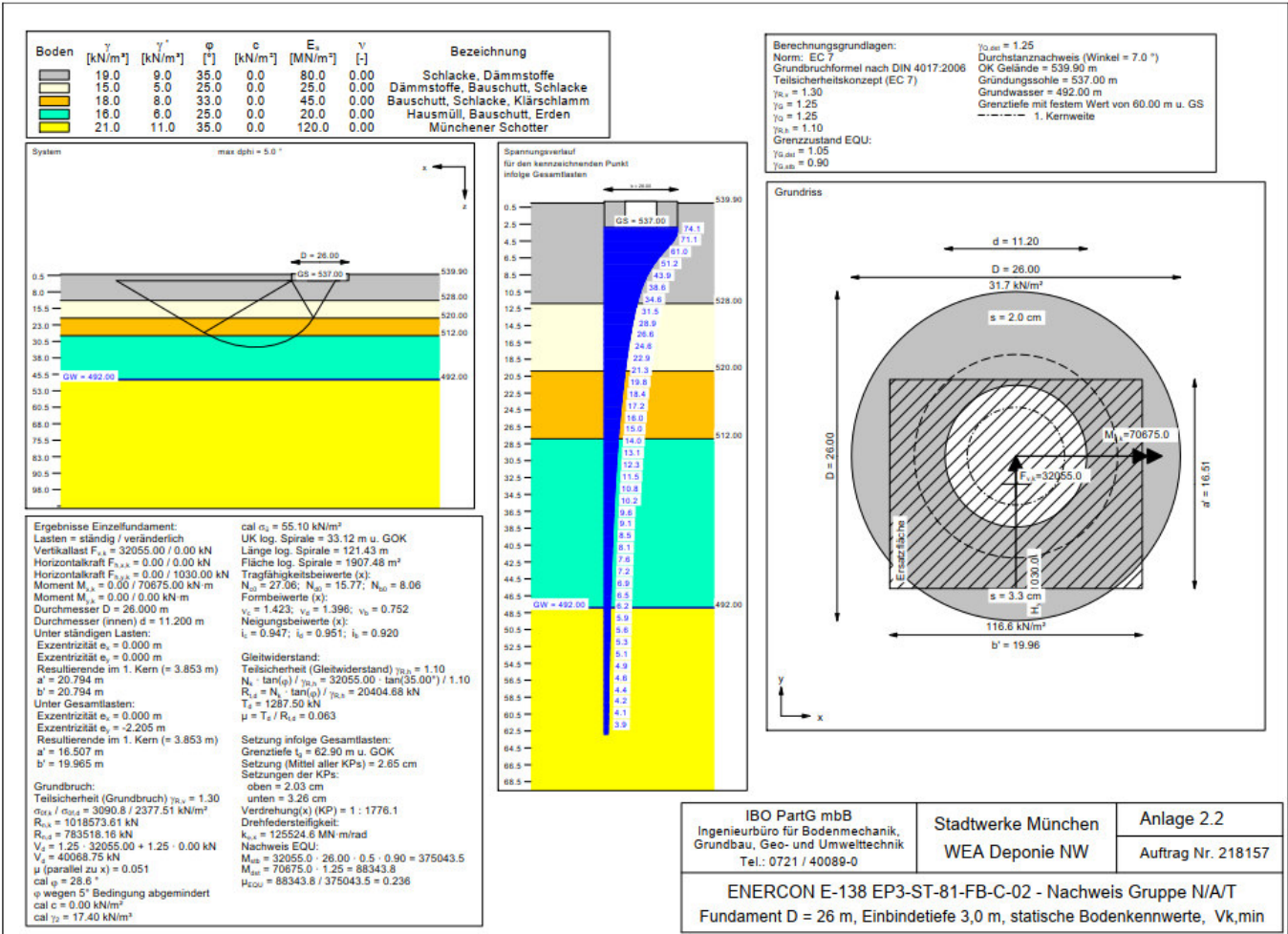
Kalibrierung der Baugrundkennwerte

Abgeleitete Bodenkennwerte:

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

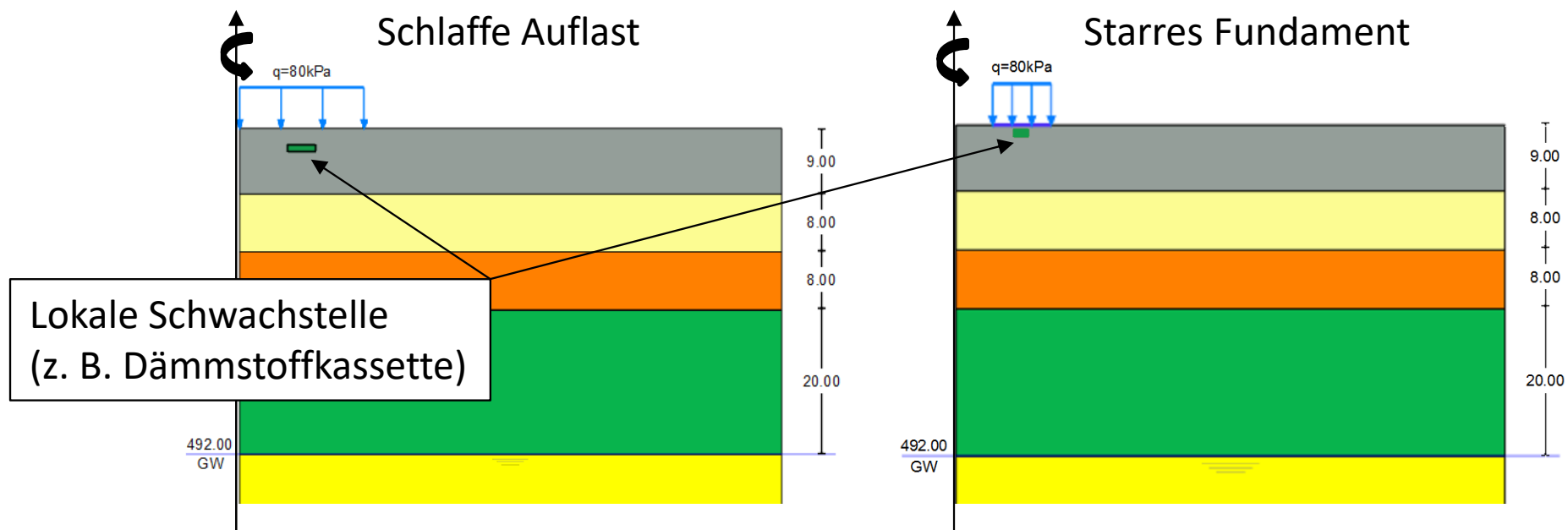
Erdstatische Nachweise

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



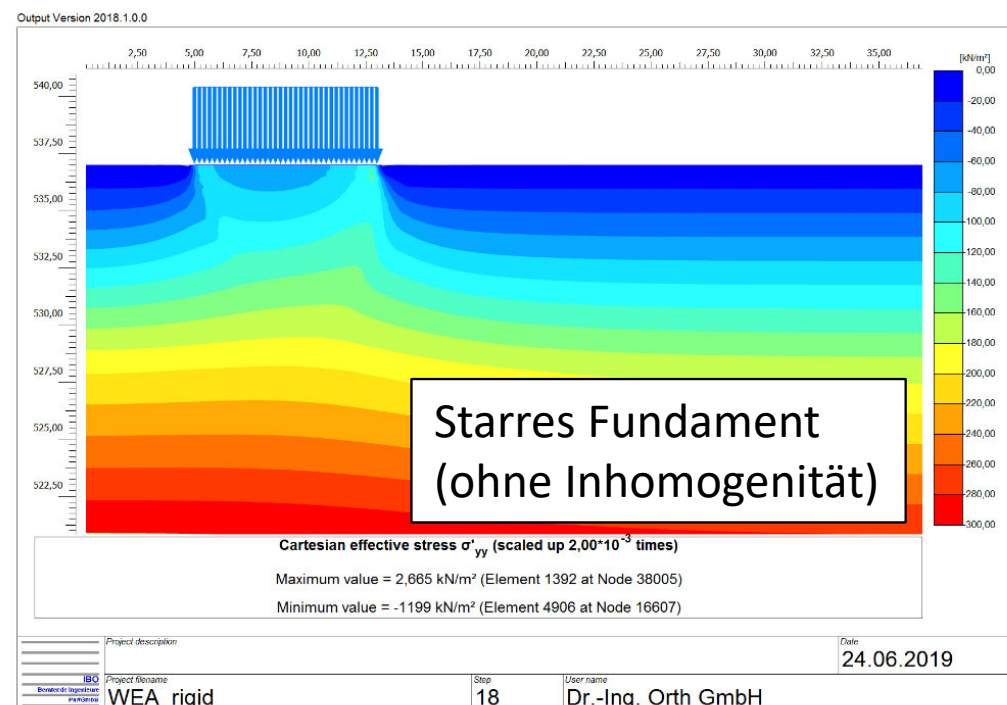
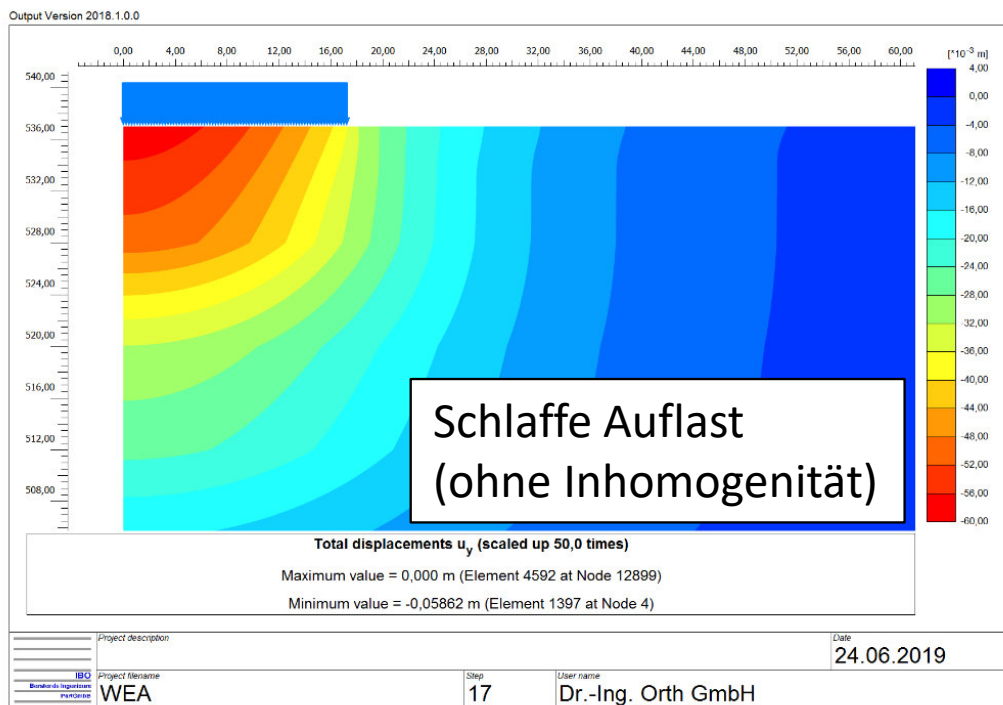
Erdstatische Nachweise

Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



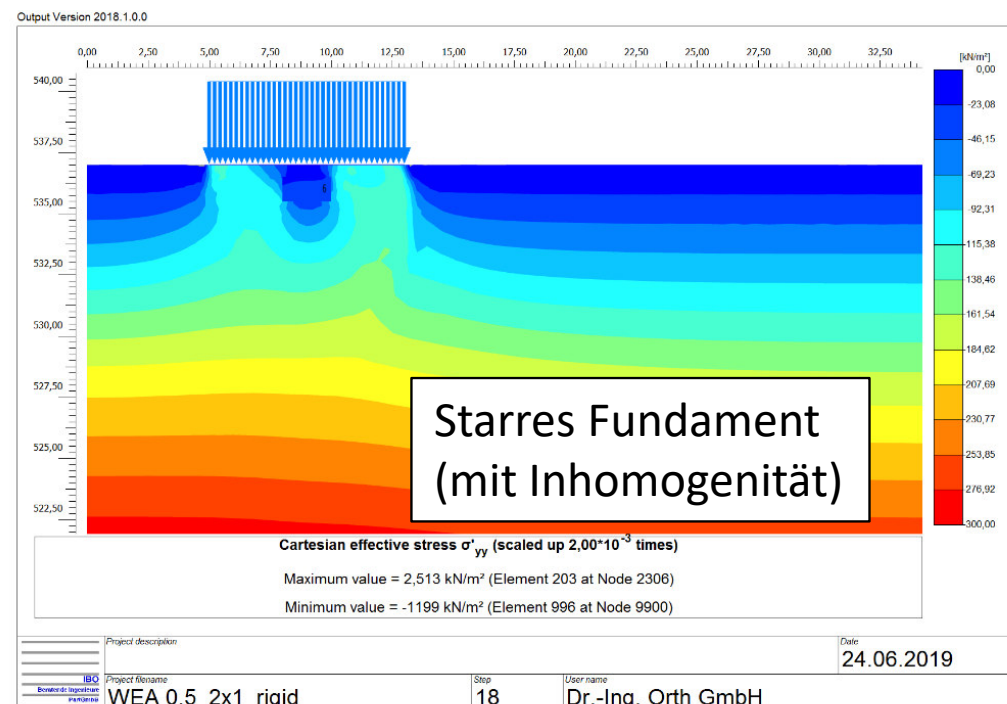
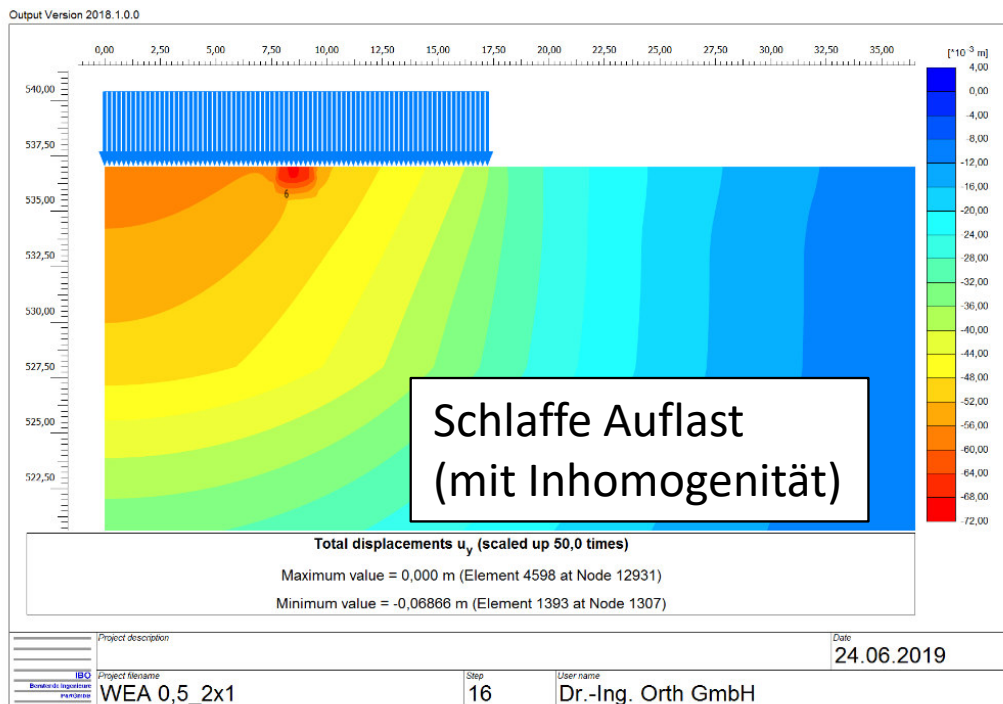
Erdstatische Nachweise

Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



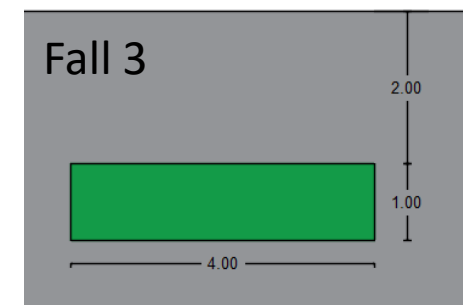
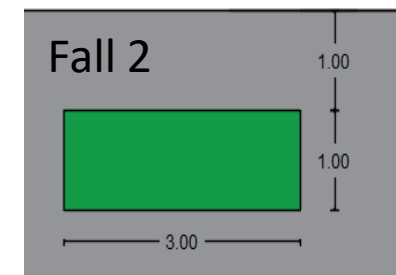
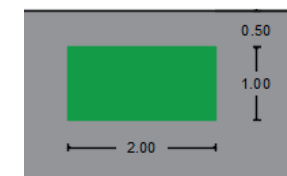
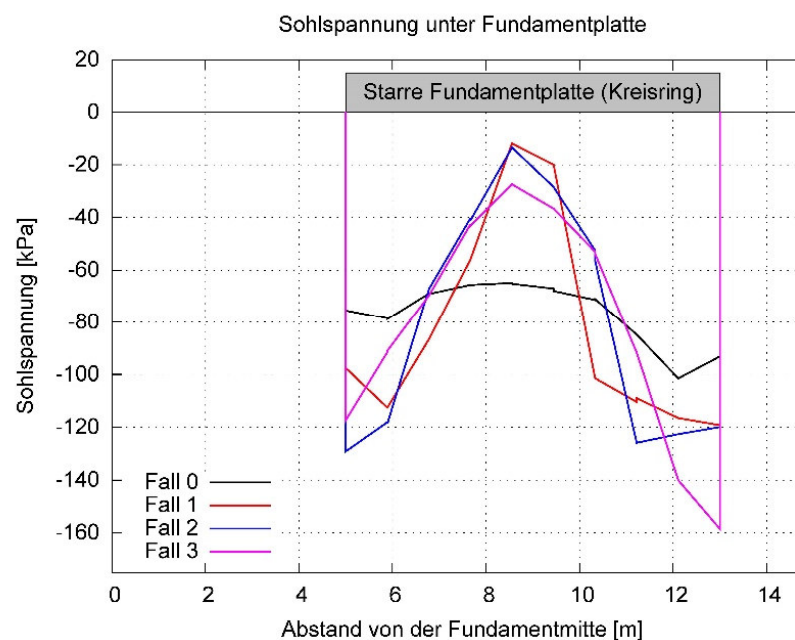
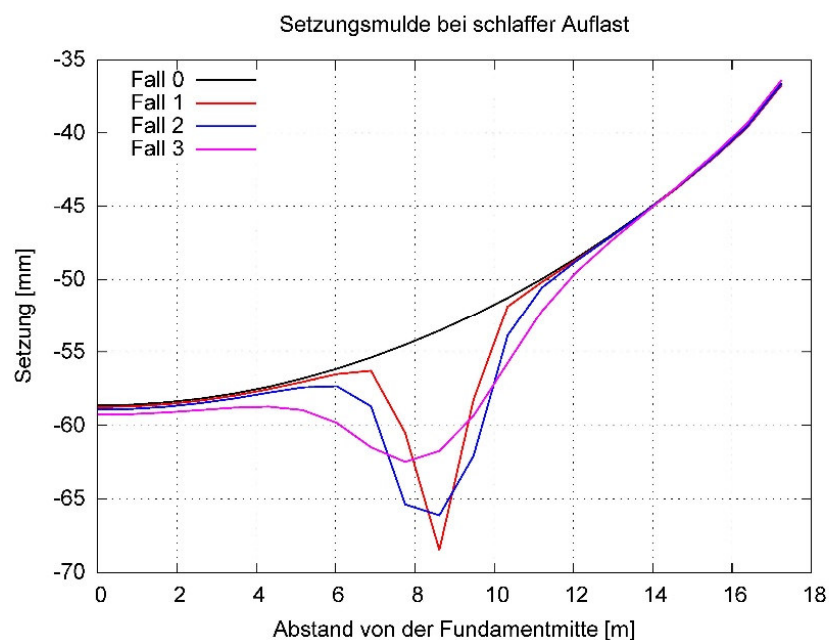
Erdstatische Nachweise

Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



Erdstatische Nachweise

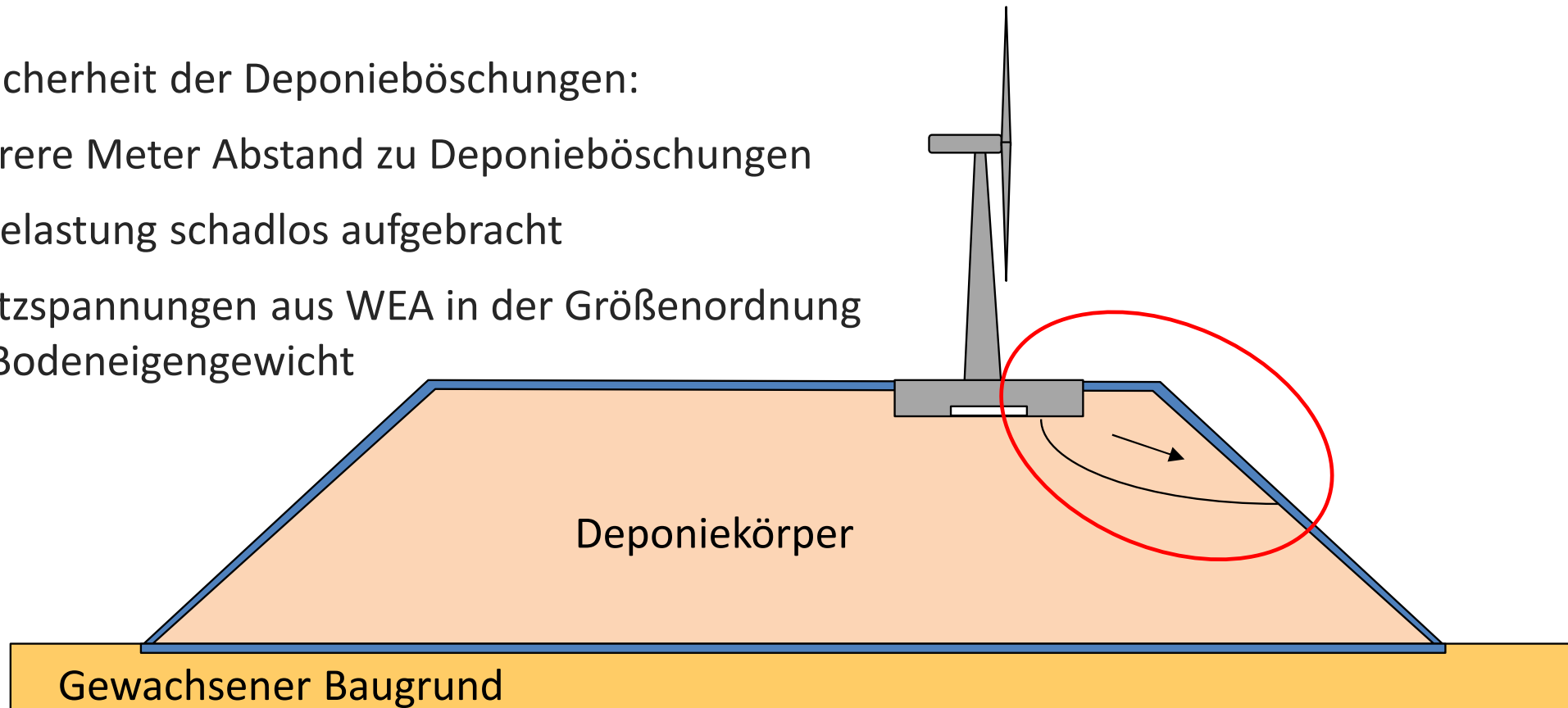
Bettungsausfall / lokaler Grundbruch (PLAXIS):



Erdstatische Nachweise

Standicherheit der Deponieböschungen:

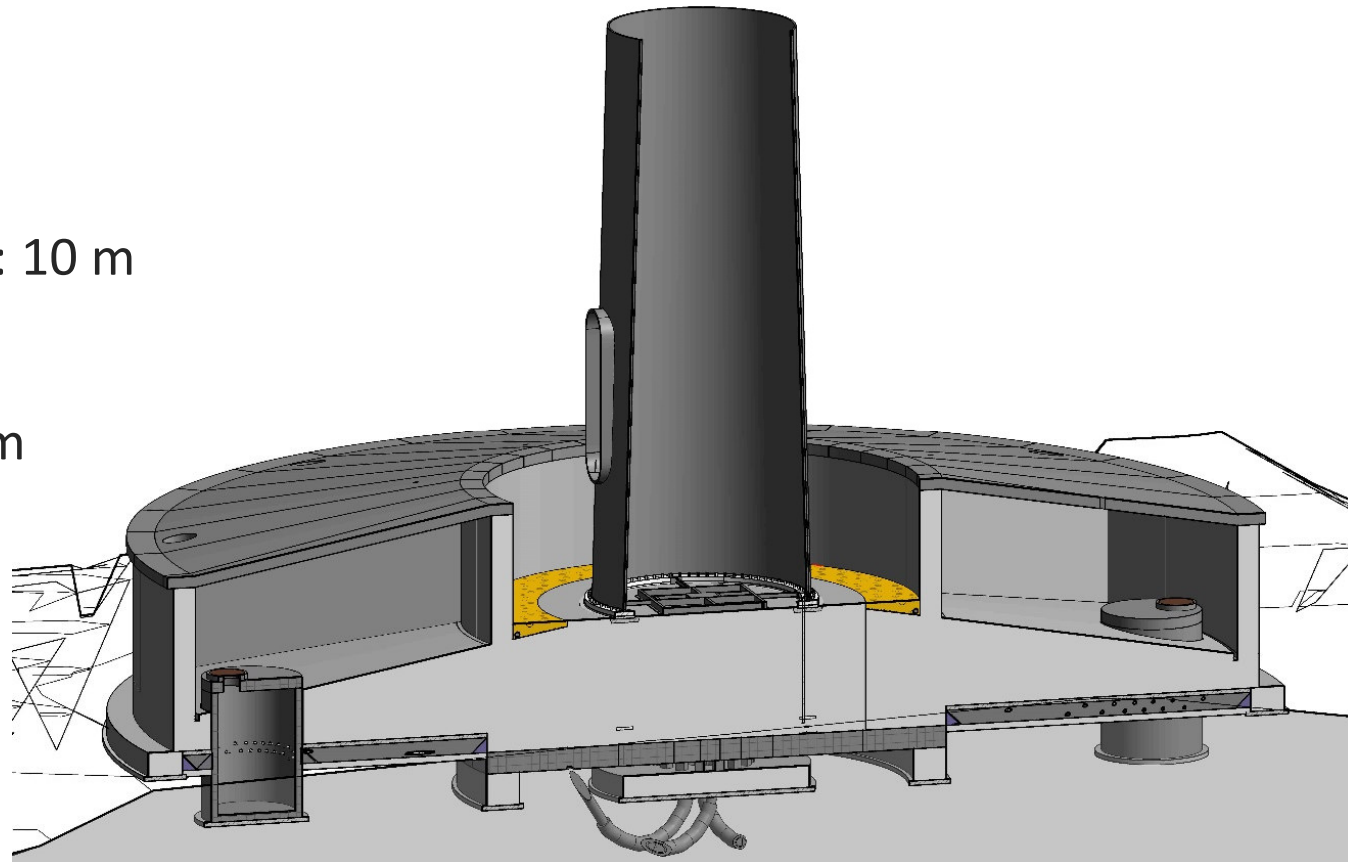
- Mehrere Meter Abstand zu Deponieböschungen
- Vorbelastung schadlos aufgebracht
- Zusatzspannungen aus WEA in der Größenordnung wie Bodeneigengewicht



Fundamentdesign der Ausführungsplanung

3D-Fundamentmodell

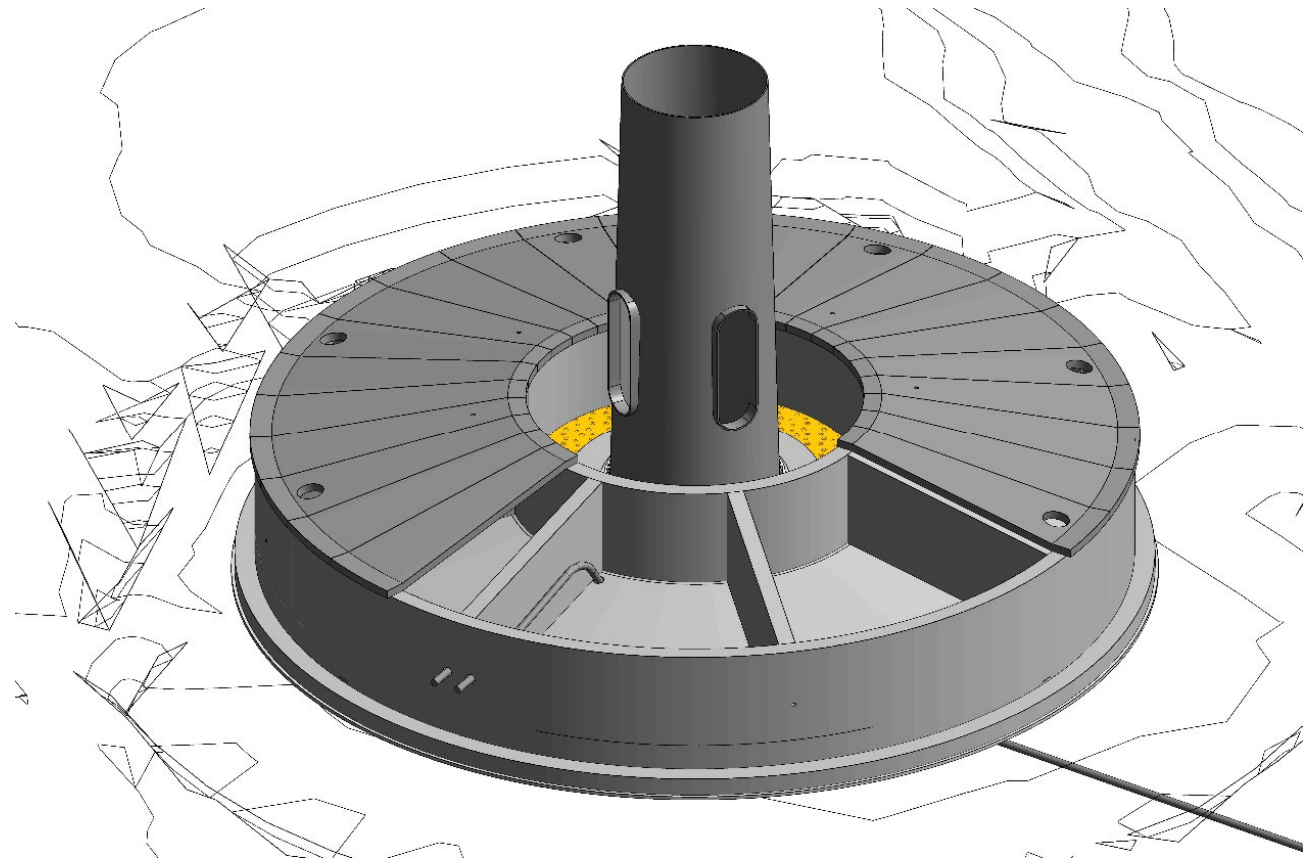
- Fundamentdurchmesser: 26 m
- Durchmesser lastfreier Bereich: 10 m
- Fundamenthöhe
 - Mitte unter Turmfuss: 2,8 m
 - äußerer Rand: 0,8 m
- Innenhöhe Kammerwand: 3 m



Fundamentdesign der Ausführungsplanung

Fundamentkammern

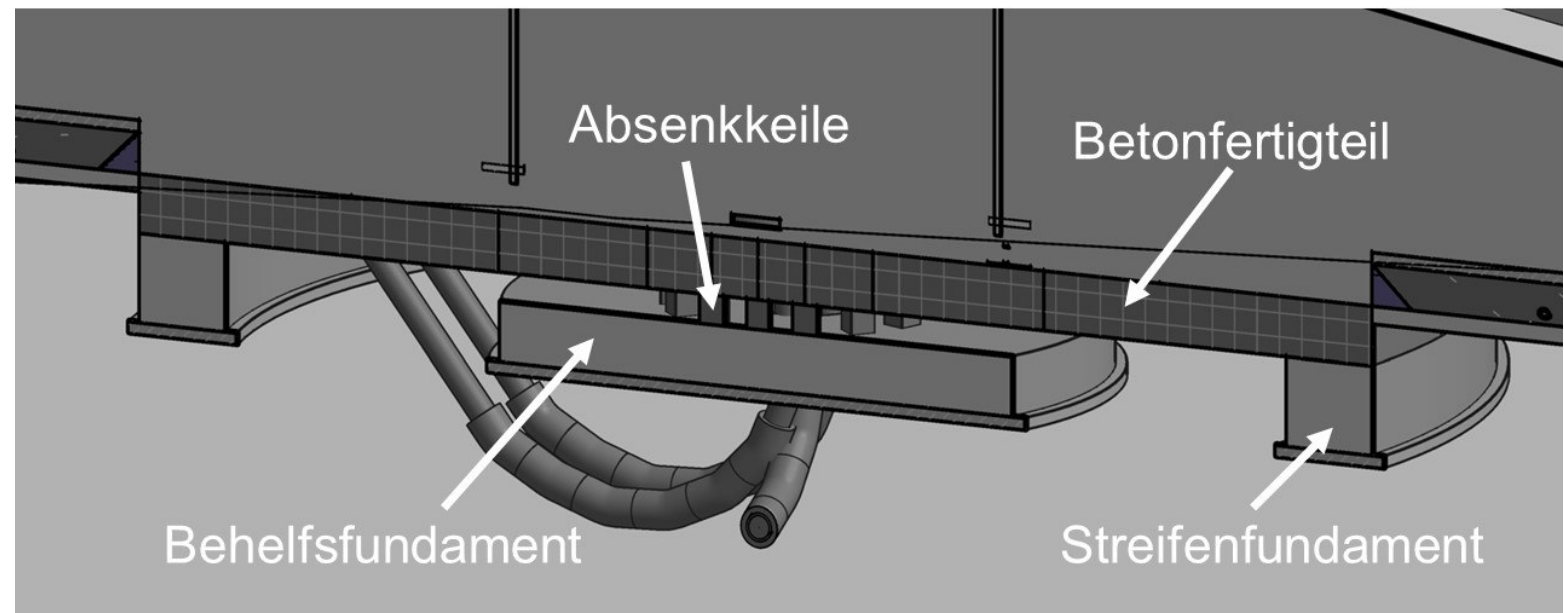
- 8 Segmente
- Ballaststerrvolumen je Segment
 - flüssig: ca. 430 m³
 - Feststoff: ca. 560 m³



Fundamentdesign der Ausführungsplanung

Aufstandsfläche und Fundamentkeller

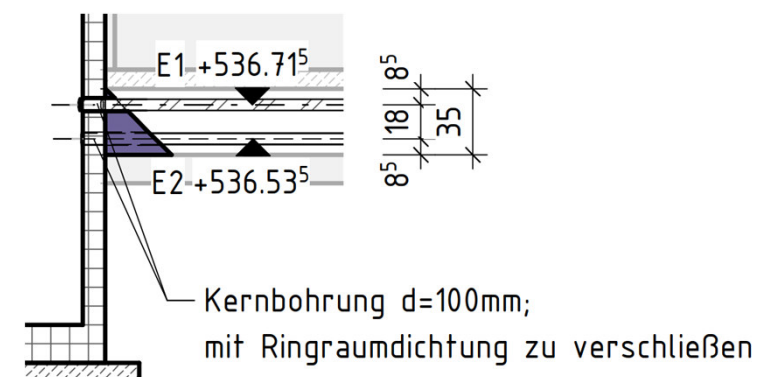
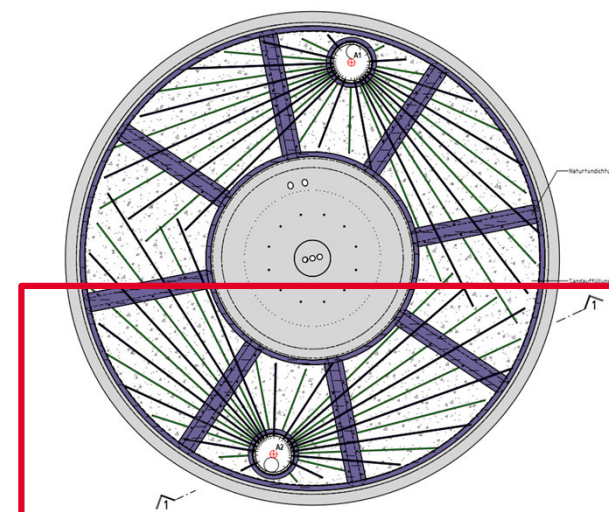
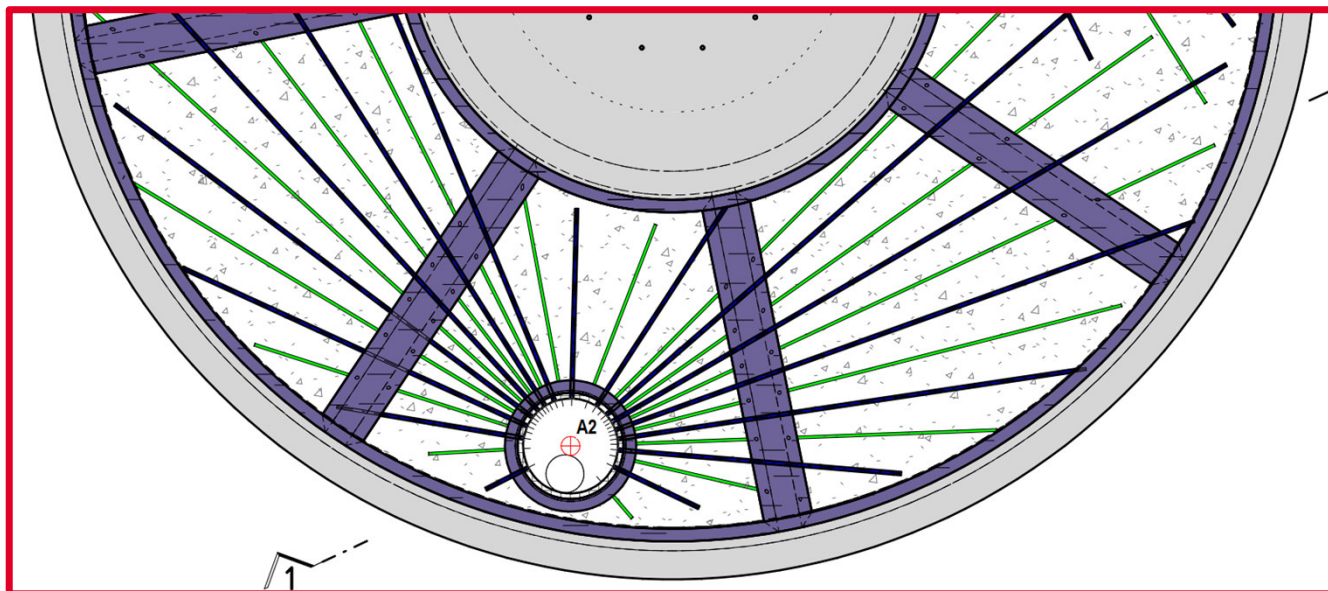
- Lastfreier Bereich über Fundamentkeller
- Kabeleinführungen



Fundamentdesign der Ausführungsplanung

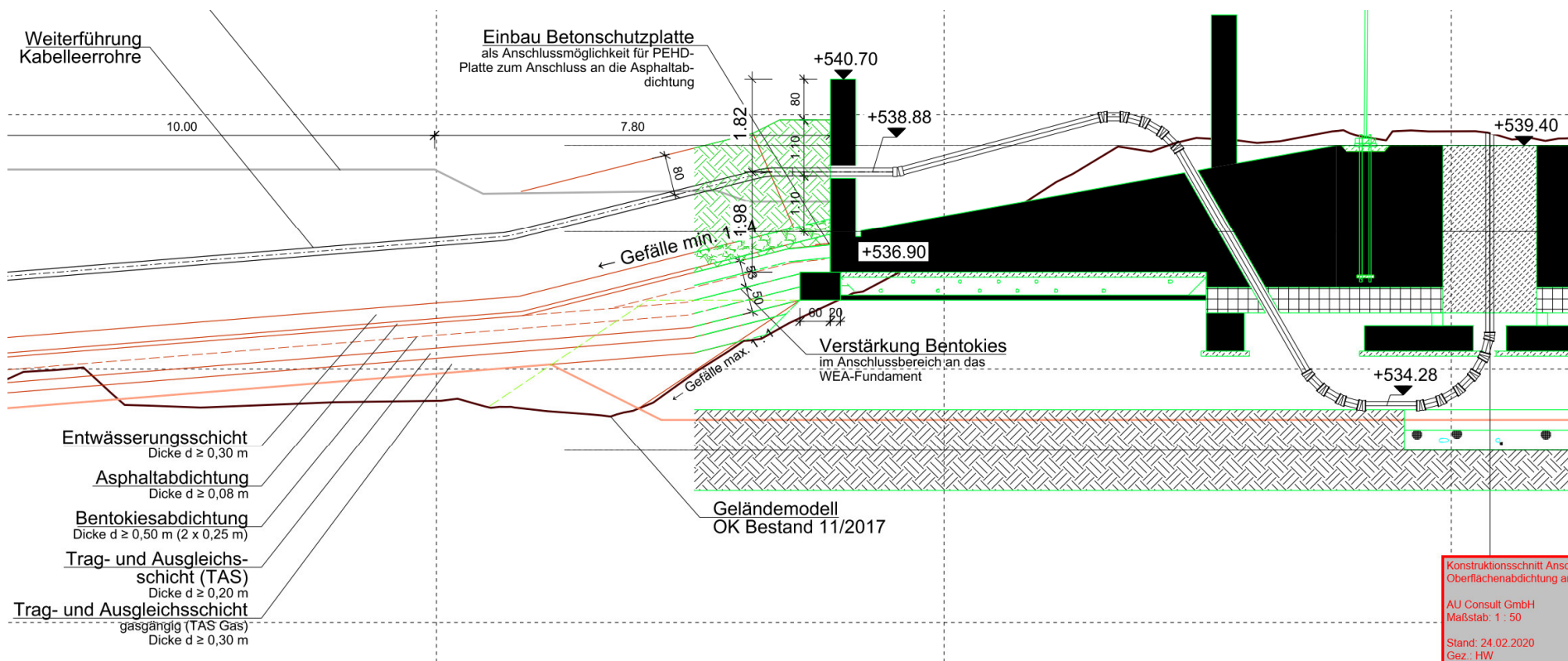
Injektionsebene

- Manschettenrohre in 2 Ebenen
- Unterteilung in Sektoren



Fundamentdesign der Ausführungsplanung

Integration in Deponieabdichtung



Fotos der Bauausführung

Aufstandsfläche



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



Fotos der Bauausführung

Fundamentkeller



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



Fotos der Bauausführung

Herstellung Injektionsebene



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



Fotos der Bauausführung

Fundament – Bewehrung und Betonage



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



© Peter Rintisch

Fotos der Bauausführung



© Peter Rintisch

Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München

17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

Fotos der Bauausführung

Herstellung Kammerwände



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



Fotos der Bauausführung

Abdeckung geschlossen



Windenergieanlage auf der Deponie Nord-West in München



17.10.2024 – 34. Karlsruher Deponie- und Altlastenseminar

Ergebnisse Verformungsmessungen

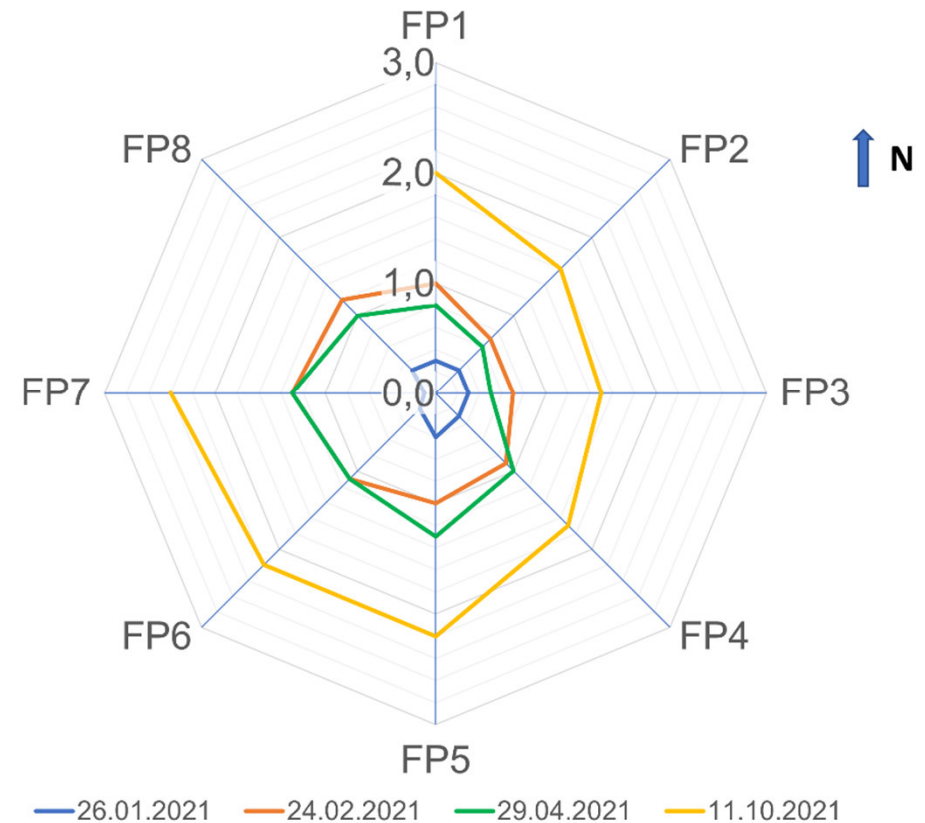
- Überlagerung von 2 Arten von Setzung
 - kontinuierliche Eigensetzung der Deponie
 - lastabhängige Setzungen der WEA
- Geodätische Vermessungen
- kontinuierliche Messung durch Inklinometerketten bis Ende 2022

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

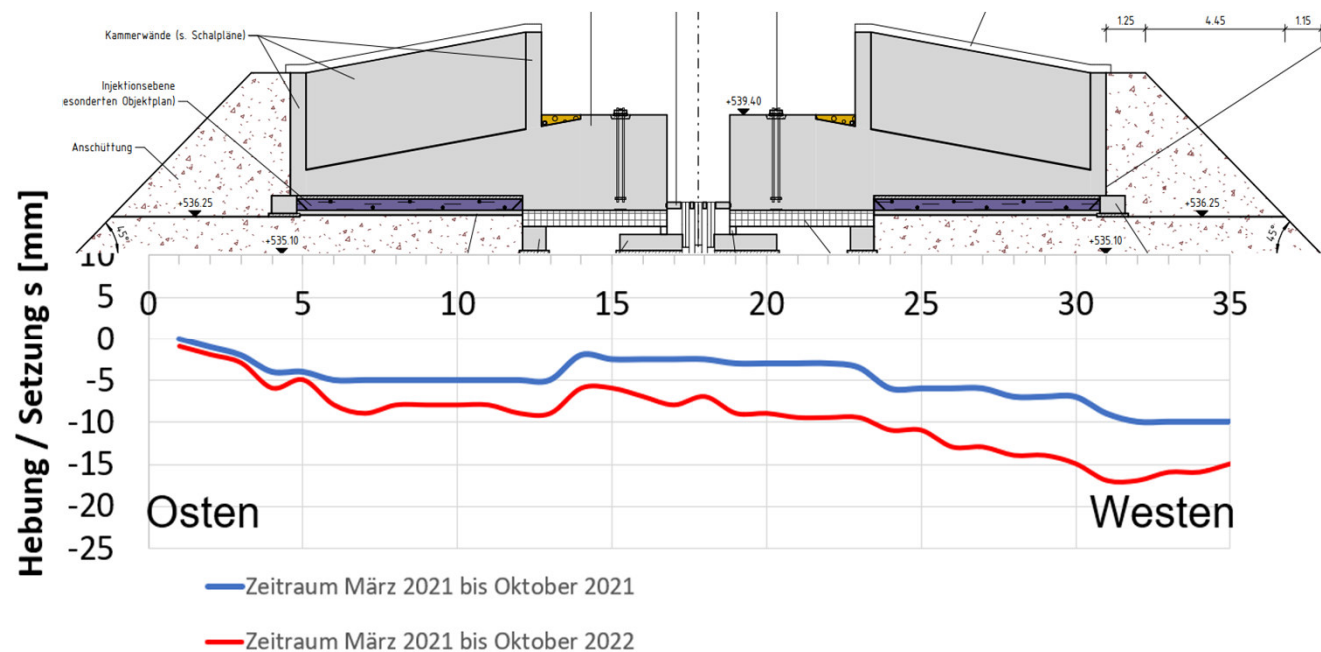
■ Differenzverformungen in Ost-West-Achse bis Oktober 2022

■ 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

Telefon: 089 547112-547