



**TÜVNORD**

---

# Justierbare WEA-Flachgründung in einem locker gelagerten Tagebau

**Christian Schümann, TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG, Essen**

---

---

# Inhalte der Präsentation

- 1. Einführung und Projektvorstellung**
- 2. Historie der Lokalität Winscales Moor**
- 3. Ausgeführte Untersuchungen und deren Ergebnisse**
- 4. Probleme, die gelöst werden mussten**
- 5. Realisiertes WEA-Fundamentdesign**
- 6. Fotos des Baustellenablaufes**
- 7. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

# 1. Einführung und Projektvorstellung

- **Winscales Moor liegt in der Grafschaft Cumbria und war in den 1970er Jahren ein etwa 90 ha großer offener Tagebau, in dem Kohle abgebaut wurde. 1980/81 erfolgte die Verfüllung, die 1986 abgeschlossen wurde.**
- **Aufzeichnungen in den britischen Archiven belegen, dass der Kohleabbau etwa bis in 60 – 70 m Tiefe erfolgte.**
- **Die Verfüllung erfolgte vorrangig mit dem Abraummaterail, aber auch andere Bodenmassen, inkl. organische Böden, wurden eingelagert.**
- **Die Verfülltiefe war anfangs unbekannt.**

Scale 1:100,000  
0 1 2 3km



Figure: 1.1  
Site Location Plan



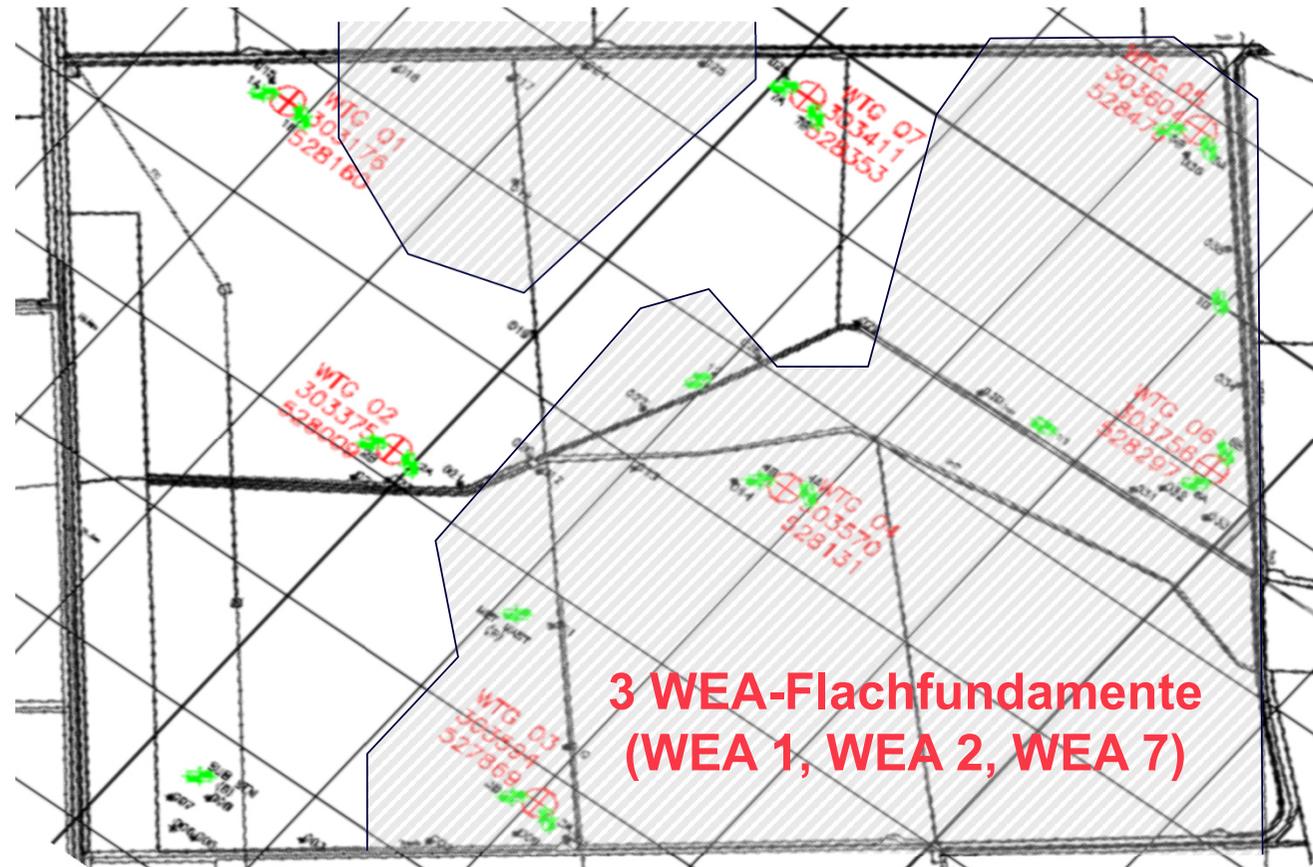
# 1. Einführung und Projektvorstellung

- Das Areal wurde nach der Verfüllung als Weideland genutzt. Es wurden keinerlei Lasten aufgebracht.
- Im Jahr 2007 begann die Planung des Windparks Winscales Moor (7 WEA). Die Fläche des Windparks umfasst 5 landwirtschaftliche Flächen (mit kleineren Gehölzen). Die Ausdehnung beträgt etwa 550 m x 700 m. Neben den 7 WEA, musste die Zuwegung, ein Windmessmast und die Trafostation errichtet werden.



## 2. Historie der Lokalität Winscales Moor

- Historischer Plan des Tagebaus

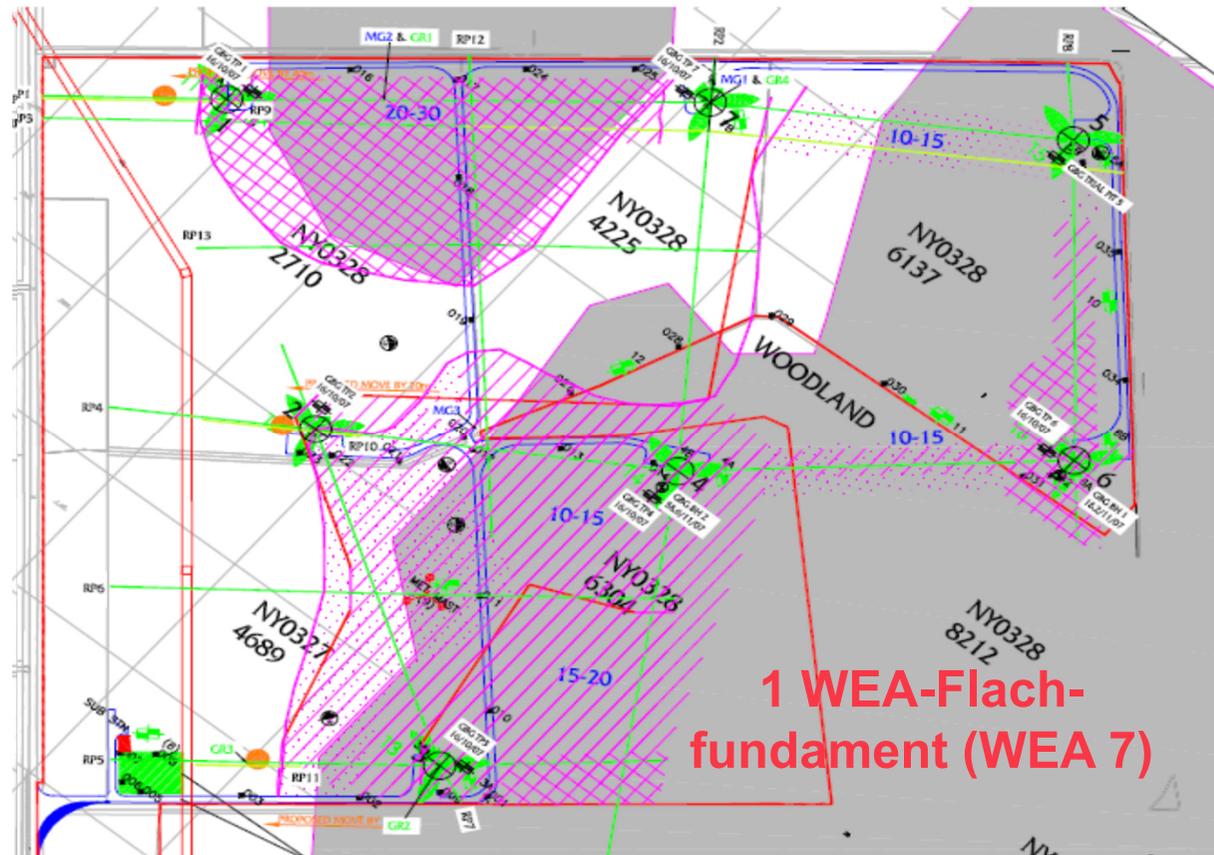


## 2. Historie der Lokalität Winscales Moor

- **Tatsächlicher Plan des Kohleabbaus**

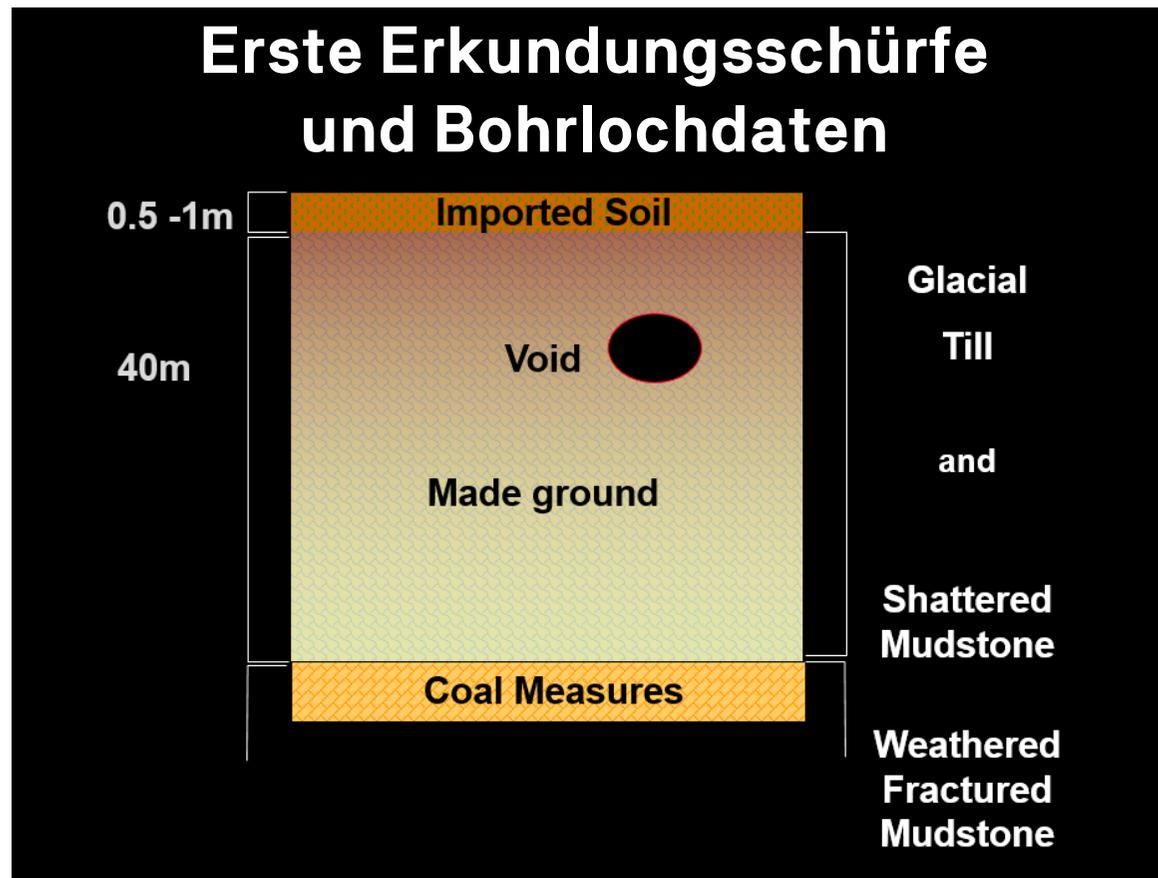
  
Historischer Tagebauplan

  
Tagebauplan basierend auf geophysikalischen Ergebnissen



**1 WEA-Flachfundament (WEA 7)**

### 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse



# 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse

## Erkundungsschürfe



▪ **Locker gelagerte Auffüllung**



▪ **Eingelagerte Geschiebeblöcke**

### 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse

#### Große Blöcke



### 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse

## In-situ Auffüllung



**Best Estimate**  
**Cohesive component**  
**~ 20-30 kPa**

**Over all compaction:**  
**Low**

**Large void spaces**

# 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse

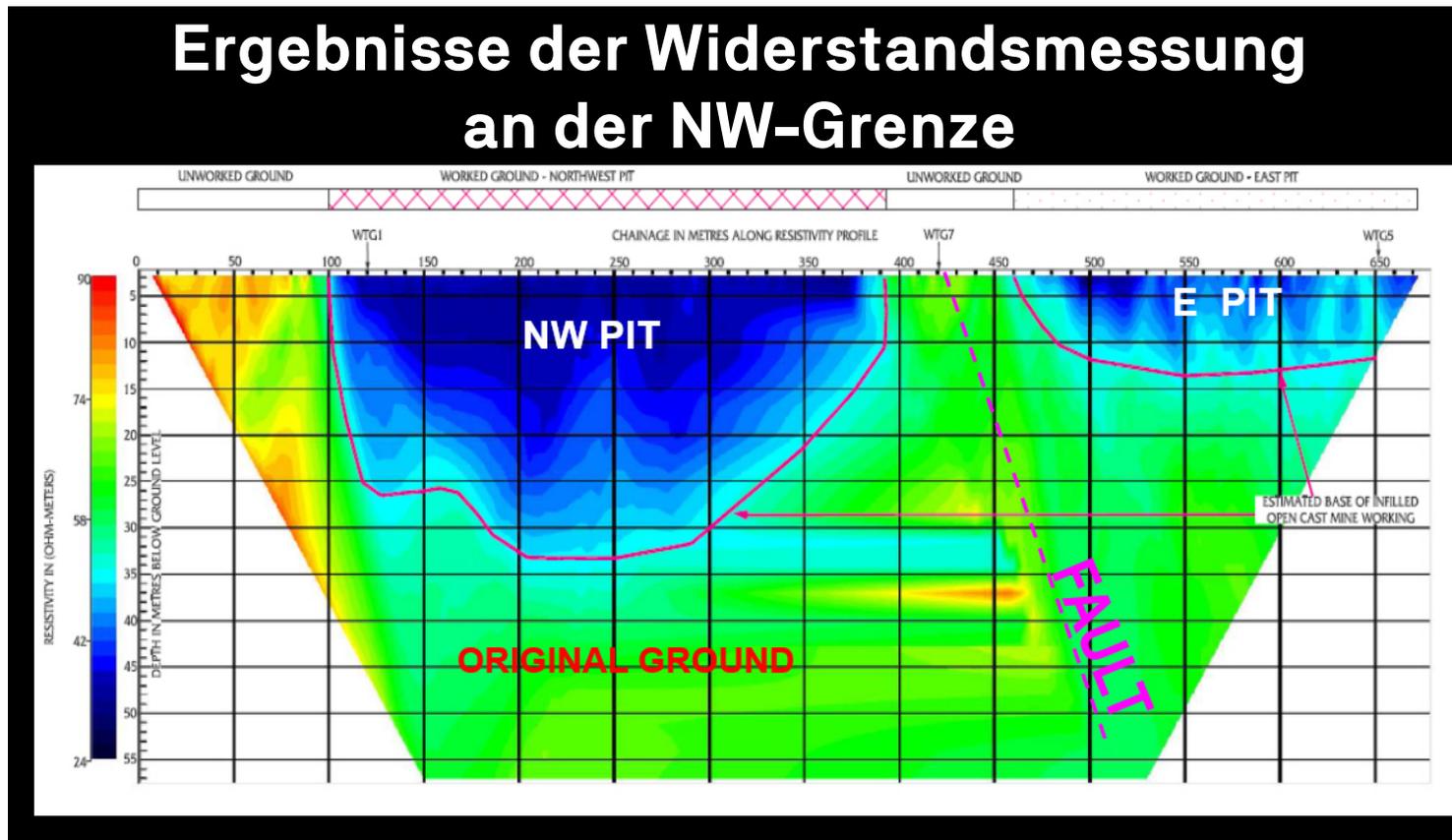
## Erweiterte Erkundung

- Reconsider Borehole programme
- Introduce geophysical mapping of:
  - Depth to bedrock
  - Consistency of fill
  - Density

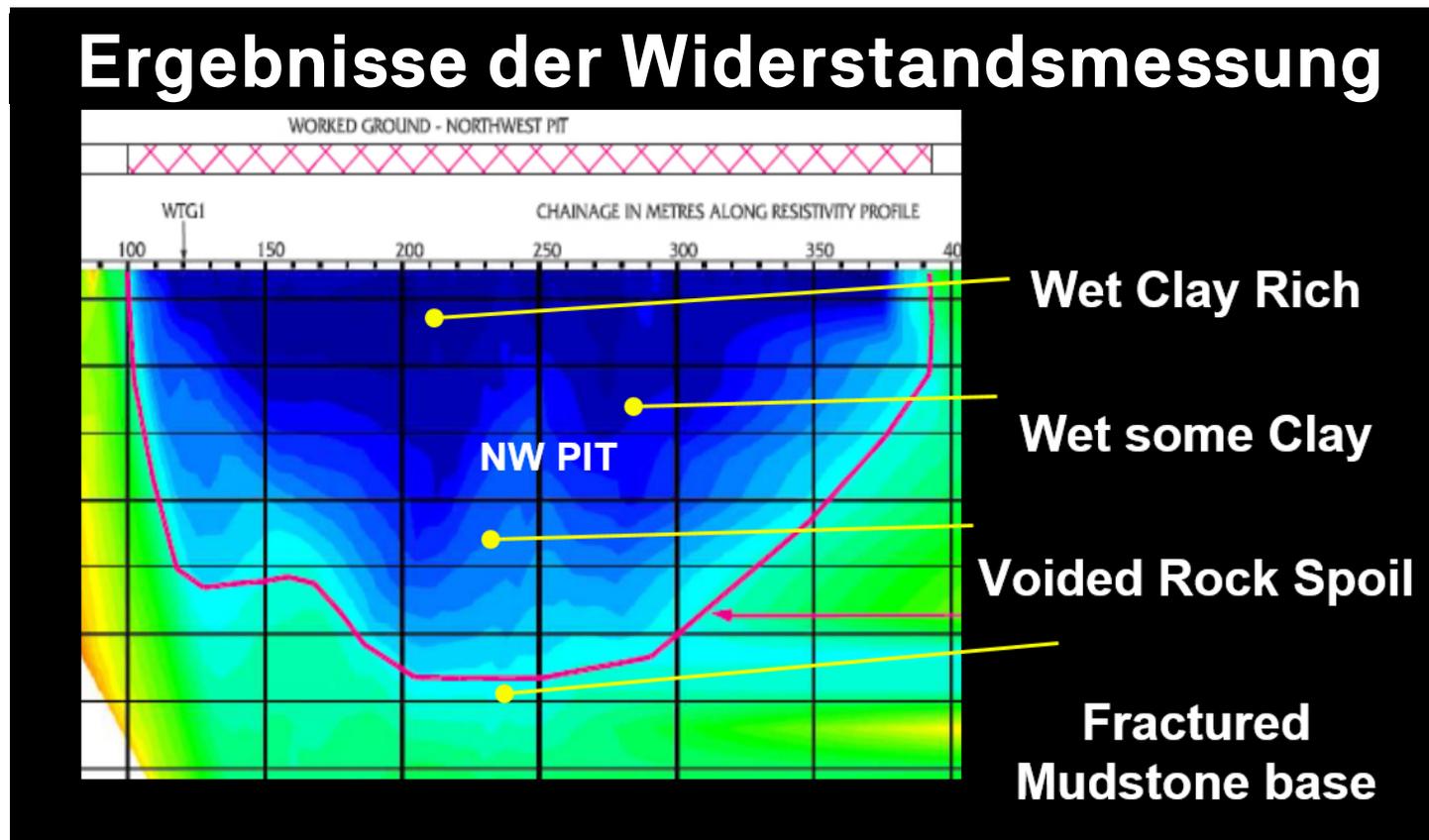
**= Resistivity and Microgravity**



### 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse



### 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse



### 3. Ausgeführte Erkundungen und deren Ergebnisse

## Endgültige Ergebnisse

Table: Estimates of Pile +/- 1.5m

Base	Depth to Rockhead m	Characteristic Shear Strength (est . MPa)	Foundation Type	Basic Pile Length m	Possible Excess m
1	25	20	Cast Pile	25	3
2	7	20	do.	10	2
3	18-20	20	do.	18	3
4	10-15	20	do.	15	3
5	11	20	do.	11	3
6	30-35	20	?	35	5
7	2.5	>250	Gravity Foundation	0	0

## 4. Probleme, die gelöst werden mussten

### **Ungeeignetes Material für Flachgründung?**

**Excessive settlements**

**No rotational stiffness**

**No long term stability  
for gravity bases**

## 4. Probleme, die gelöst werden mussten

### **Unwirtschaftliche Pfahllänge bis zum Erreichen des Grundgebirges?**

- **Piles excessively long in weak material**
  - **Risk of obstructions**
  - **Uncertain Bedrock**

## 4. Probleme, die gelöst werden mussten

### **Optimiertes Gründungssystem**

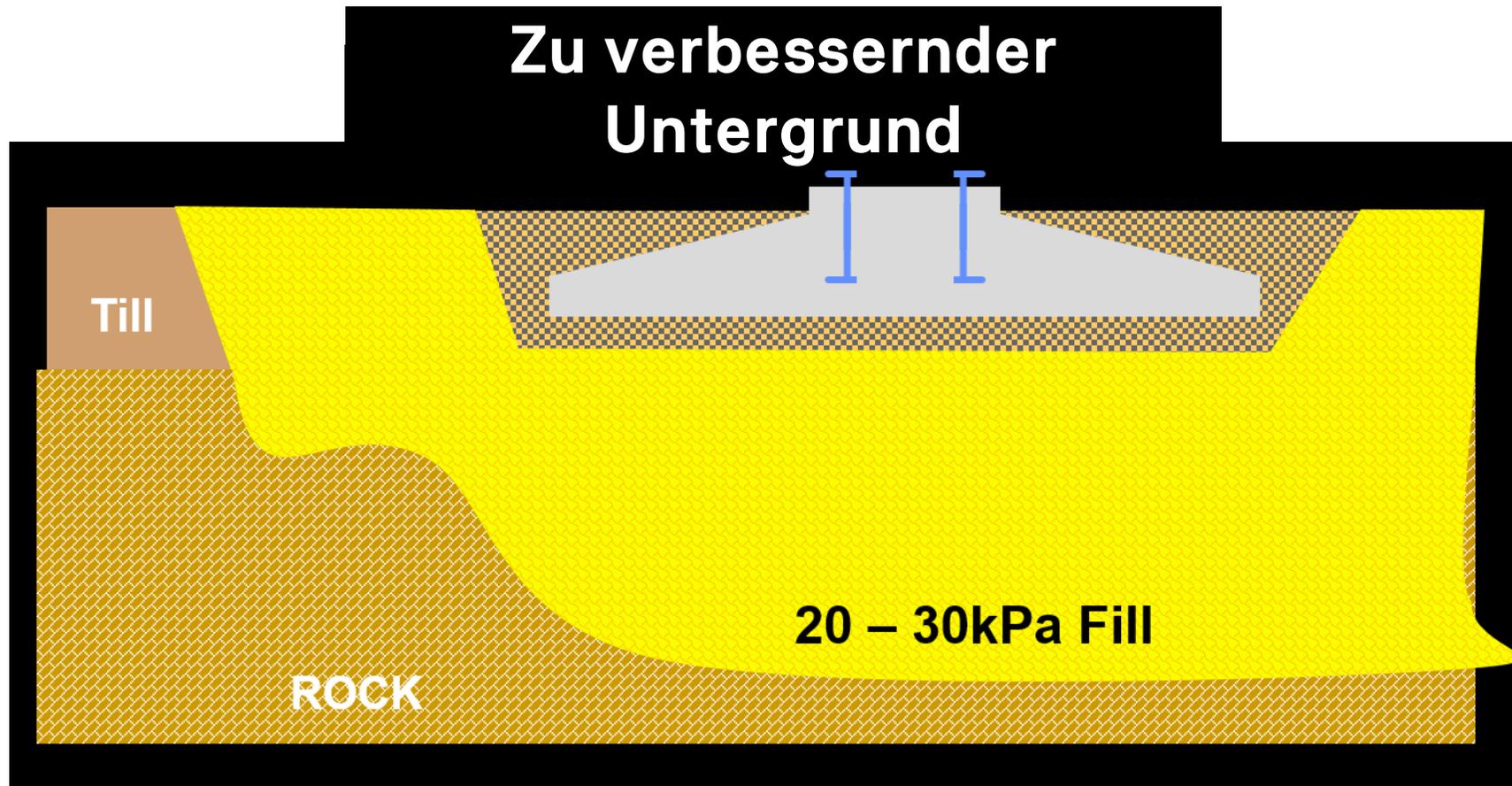
- **Soil Improvement – To achieve:**

**Minimise Differential Settlements**

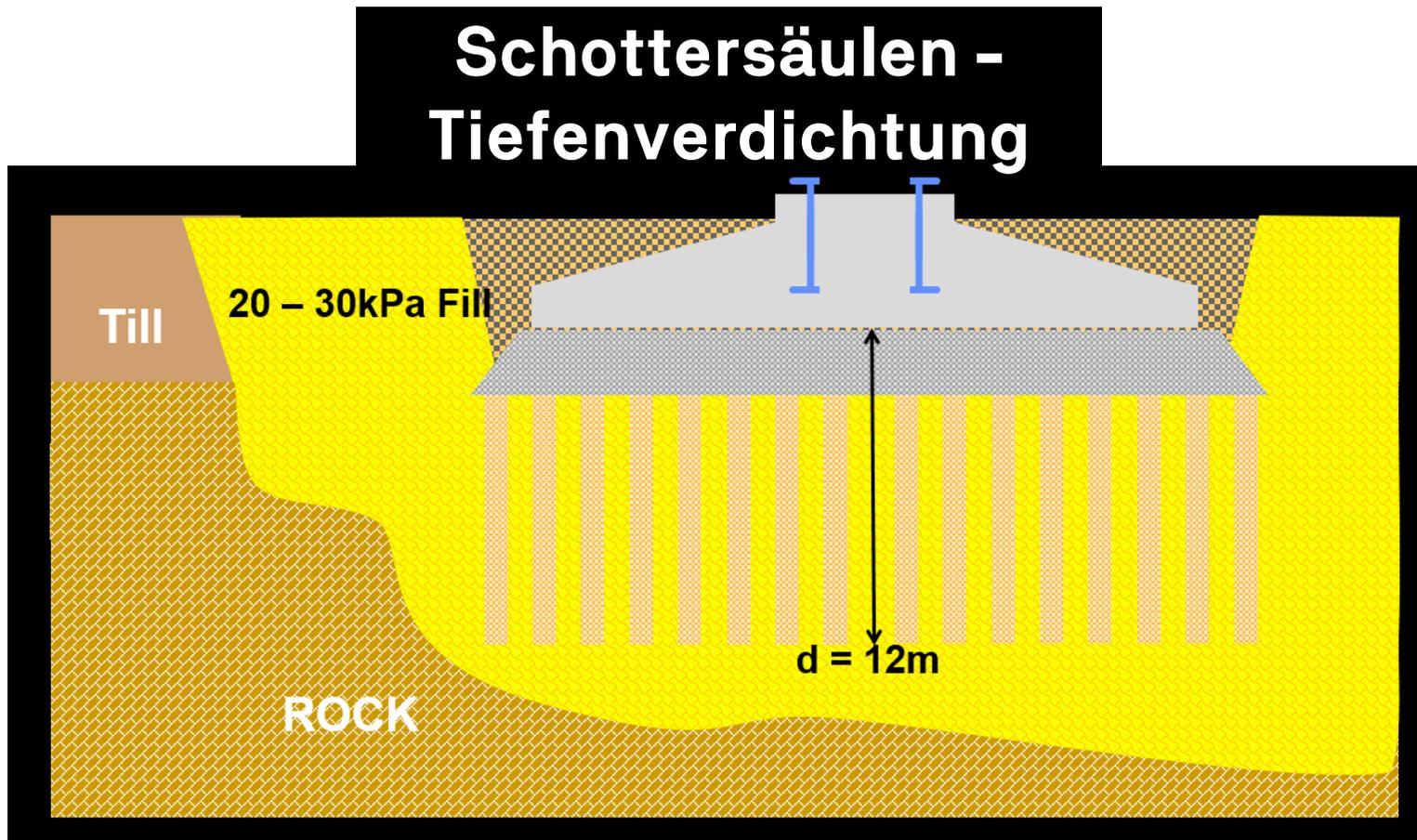
**Maximise Dynamic Stiffness**

**Secure rotational stiffness**

## 4. Probleme, die gelöst werden mussten



## 5. Realisiertes WEA-Fundamentdesign



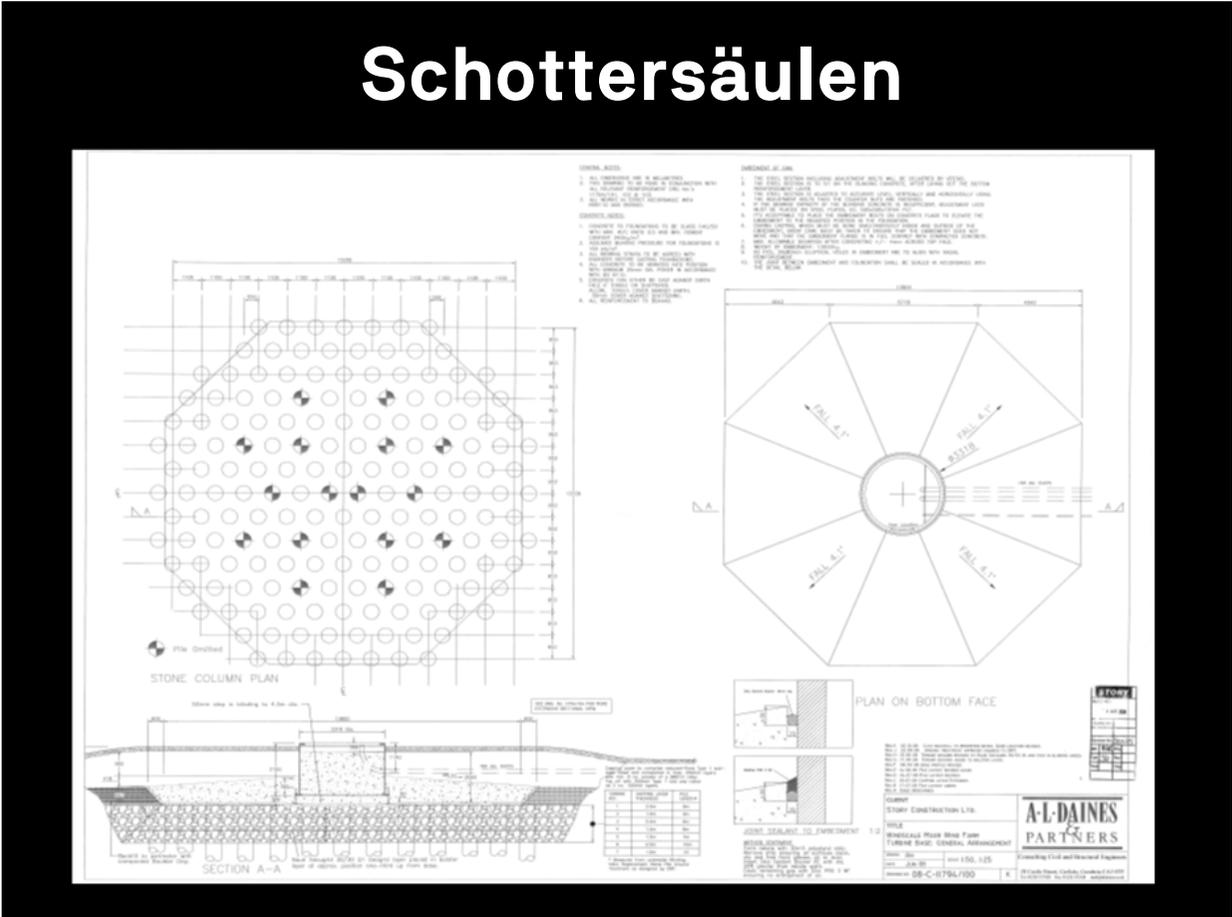
## 5. Realisiertes WEA-Fundamentdesign

### Schottersäulen

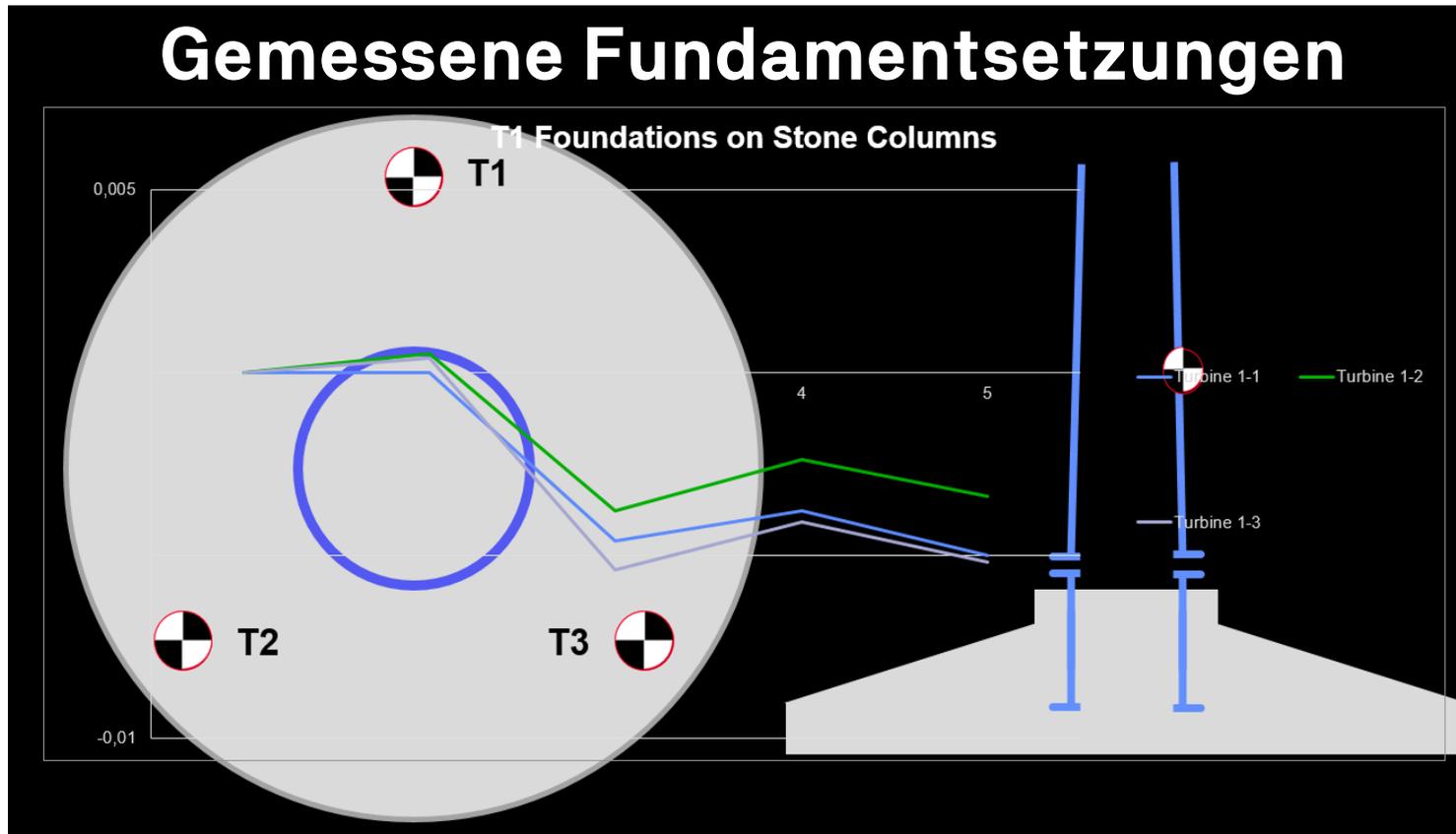
- **Stable against rotation**
- **Low Differential Settlement**
- **Probable vertical Settlement -  
but goes with the land**
- **Monitoring Programme**

# 5. Realisiertes WEA-Fundamentdesign

## Schotterssäulen

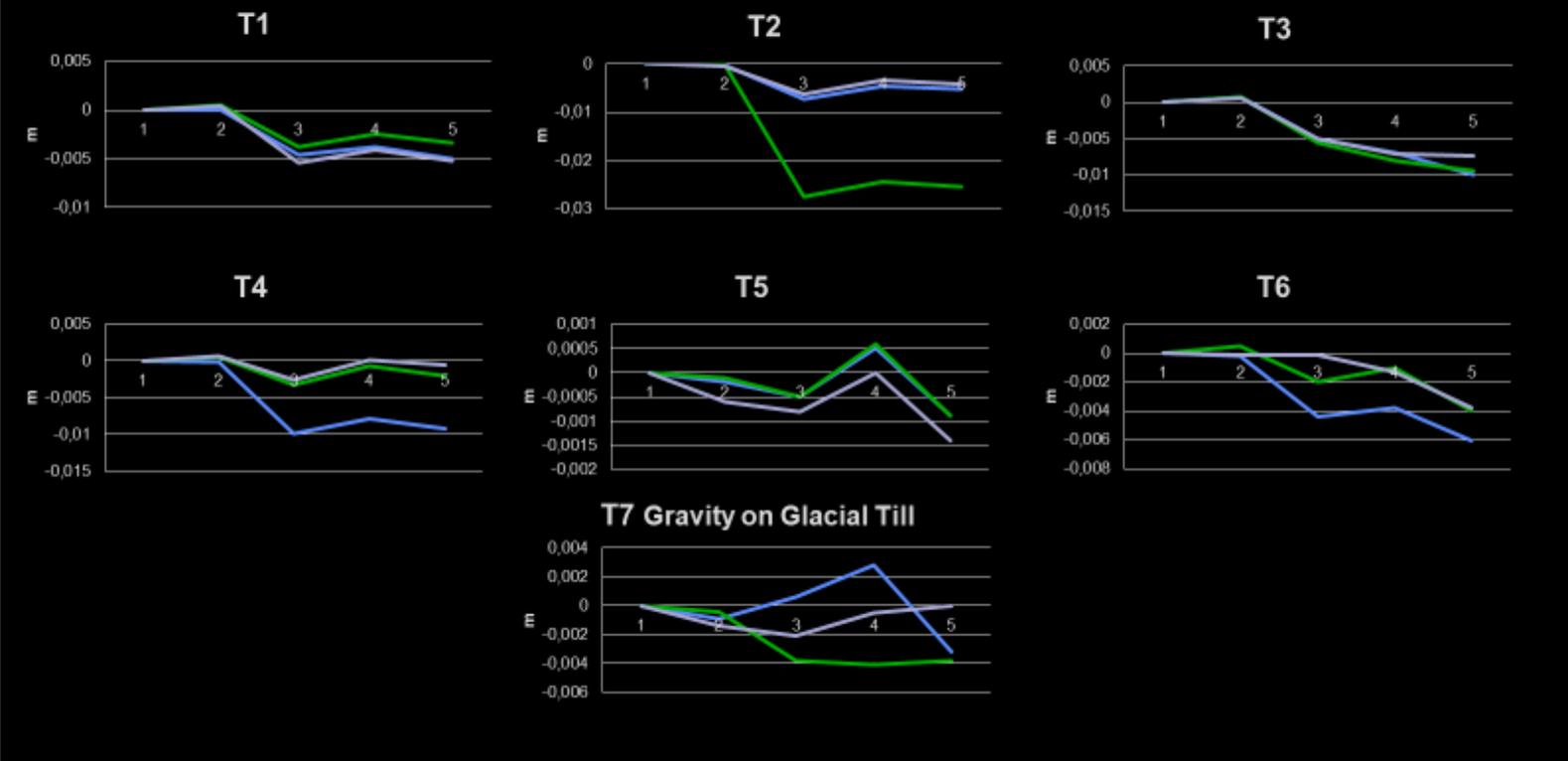


# 5. Realisiertes WEA-Fundamentdesign



# 5. Realisiertes WEA-Fundamentdesign

## Gemessene Fundamentsetzungen



# 6. Fotos des Baustellenablaufes

1. Schneckenbohrgerät zur Herstellung der Schotterssäulen
2. Zwei Bohrgeräte im Einsatz auf einem WEA-Standort
3. Detailbild der hergestellten Schotterssäulen
4. WEA-Fundament mit 40 installierten Injektionsrohren



## 6. Fotos des Baustellenablaufes

1. Statische Probelastung mit doppelter Gebrauchslast (300 kN/m<sup>2</sup>)



2. Setzungen zwischen 7 – 10 mm wurden unter der doppelten Gebrauchslast gemessen



3. WEA-Fundament mit 40 Injektionsrohren für Expansionsharze zur Nachjustierung des Fundamentes bei unzulässig hohen Setzungsdifferenzen



## 6. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

- **924 Schottersäulen (insgesamt 8.800 m) wurden installiert**
- **Der Anteil der Schottersäulen umfasst knapp 30 % der Fundamentfläche**
- **Unter der doppelten Gebrauchslast (300 kN/m<sup>2</sup>) wurden Setzungen von nur 7 - 10 mm gemessen**
- **Das System zur Justierung der WEA-Fundamente erlaubt Hebungen bis 20 cm**
- **Fundamentherstellung dauerte 3 Monate**
- **Zusatzkosten: ca. 295 T Euro (für 6 WEA)**

### Fazit:

**Auch auf sehr gering tragfähigen Böden können sichere und wirtschaftliche Fundamentlösungen entwickelt werden**

**TÜVNORD**

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Dipl.-Geol. Christian Schümann**

**Wind & Technical Site Assessment**

T.: +49 201 825-2790

M.: +49 170 76 47 430

E.: [cschuemann@tuev-nord.de](mailto:cschuemann@tuev-nord.de)

[tuev-nord.de](http://tuev-nord.de)