Größere Turbinen erfordern größere Fundamente/ Türme/ Infrastruktur - Auswirkungen

27. Windenergietage 2018 | Linstow | 06.-08.11.2018 |

Dipl.Ing.(FH) Timo Poetschke |

Sachverständiger für WEA Fundamente, Gründungen und Tragwerke |
Mitglied im Verband deutscher Betoningenieure |

8.2 Group die Sachverständigen der Erneuerbaren Energien

Erstes 8.2 Büro 1995 gegründet|

Aktuell 32 unabhängige 8.2 Niederlassungen in Europa, Afrika, Asien, Südamerika |

Einsätze weltweit in den folgenden Bereichen

- **Windenergie** – Onshore, Offshore - Beratung bei Projektplanung (TDD), Fertigungs- und Bauüberwachung (Infrastruktur, Fundamente , Türme, WEA-Errichtung), Inbetriebnahmegutachten und Beratung zur Abnahme, Wiederkehrende Prüfung, ZOP, Technische Prüfungen - Schadensgutachten, online Monitoring (CMS), Gutachten für den Weiterbetrieb von WEA nach 20 Jahren |
- **Photovoltaik –** Ertragsgutachten, TDD, Technische Prüfungen - Schadensgutachten, Betriebsoptimierung, Gebäudeintegration PV (GIPV) |
- **Netzintegration –** Anlagenzertifikate für WEA, PV, BHKW, Turbinen, ORC Anlagen und Konformitätsprüfung nach Inbetriebnahme |

Sachverständiger für WEA Fundamente, Gründungen und Tragstrukturen

Dipl.Ing.(FH) Timo Poetschke

Mitglied im Verband deutscher Betoningenieure |
aktiv: im FGW - AK Gründung und Tragstrukturen der TR7 B3 | im BWE - AK Tragstrukturen |

Bauingenieur, Betriebswirt HWK, Qualitätsmanagmentbeauftragter (DGQ) |

Erfahrungen in der Windbranche

- 6 Jahre Manager Civil Engineering - Enron Wind/ GE Wind Energy |
- 2.5 Jahre Technischer Leiter - Instandsetzungsfirma Solido Bautenschutz |
- 8.5 Jahre unabhängiger Sachverständiger / Geschäftsführer – 8.2 Ing.Büro Münster |

Sachverständiger für WEA Fundamente, Gründungen und Tragstrukturen

Dipl.Ing.(FH) Timo Poetschke

Mitglied im Verband deutscher Betoningenieure |
aktiv: im FGW - AK Gründung und Tragstrukturen der TR7 B3 | im BWE - AK Tragstrukturen |

Bauingenieur, Betriebswirt HWK, Qualitätsmanagmentbeauftragter (DGQ) |

Tätigkeitsbereiche in der Windbranche

- Bauüberwachung – Infrastruktur, Fundamente, Türme, WEA-Errichtung |
- Gutachten bei Schäden an Fundamenten, Vergussfugen, Türmen von WEA |
- Erstellung von Instandsetzungskonzepten und Überwachung von Instandsetzungsarbeiten an WEA Fundamenten und Türmen |
- Bewegungsmessungen an Türmen mit gelöster Einspannung |

0. Vortragsinhalt

Themen im Vortrag

- 1. Entwicklung der WEA |
- 2. Auswirkungen auf Türme und Fundamente |
- 3. Veränderungen an der WEA Infrastruktur |

1. Entwicklung der WEA

Zeitliche Entwicklung von Nabenhöhen und Rotordurchmessern an beispielhaften WEA-Typen

1990 *2000* *2003* *2012* *2016* *2018*

E17 NH28m *MD77 NH61.5m* *V80 NH100m* *N117 NH141m* *V126 NH137m* *E141 EP4 NH159.5m*

1. Entwicklung der WEA

Nabenhöhen und Rotordurchmesser wachsen kontinuierlich, um:

- *höhere Erträge an den Standorten zu erwirtschaften |*
- *die WEA effizienter zu machen |*
- *vormals unwirtschaftliche Standorte zu erschließen |*

Auswirkungen auf die Begleitgewerke

- Türme |
- Fundamente |
- Infrastruktur |

2. Auswirkungen auf WEA-Türme

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen größere Lasten über die Türme abgetragen werden |*

  - *größere Kopfmassen durch größere elektrische - und mechanische Komponenten im Maschinenhaus |*
  - *höhere Windlasten durch größere Rotordurchmesser, durch größere Turmabmessungen und durch höhere Windgeschwindigkeiten mit zunehmender Höhe |*
  - *längerer Hebelarm durch größerer Nabenhöhe |*

Schleuderbetonturm Enercon E17 NH 28m

Hybridturm E141 EP4 NH 159.5m

2. Auswirkungen auf WEA-Türme

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *wachsen Turmquerschnitte und Turmdurchmesser bei gleichbleibenden maximal möglichen Transportabmessungen |*

LDST - Vestas

Hybridtürme – System Bögl / Enercon

Stahlturm – d=4,30m Flansch außen

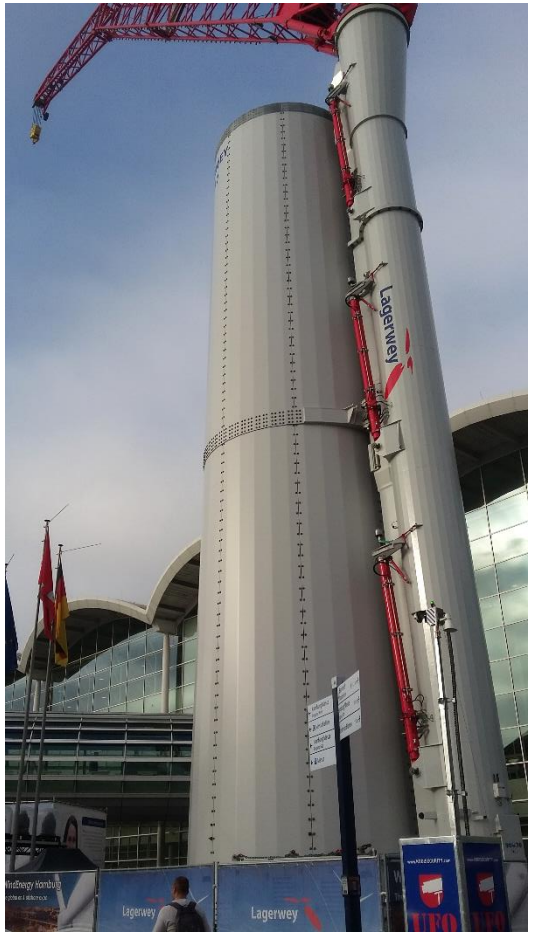
2. Auswirkungen auf WEA-Türme

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *kommen neue Turmkonstruktionen zum Einsatz |*

LDST - Vestas

LDST - Vestas



Stahlturm Enercon - Lagerwey

2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen größere Lasten über die Fundamente in den Baugrund abgetragen werden |*
- *wachsen die Fundamentabmessungen bei Schwerkraftfundamenten |*

MD77 NH61.5m - Fundamentdurchmesser 13,1 m
Betonvolumen 208 m³ - Betonagezeit ca.7 Std.

V117 NH141.5m - Fundamentdurchmesser 26,8 m
Betonvolumen 1024 m³ – Betonagezeit ca.11,5 Std.

2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen größere Lasten über die Fundamente in den Baugrund abgetragen werden |*
- *wachsen die Fundamentabmessungen bei Schwerkraftfundamenten |*

N117 NH141m - Fundamentdurchmesser 21,5 m
Betonvolumen 596 m³ - Betonagezeit ca.10,5 Std.

V136 NH149m - Fundamentdurchmesser 29,0 m
Betonvolumen 1036 m³ – Betonagezeit ca.19,5 Std.

2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Mit wachsenden Fundamentabmessungen steigen mit der Volumenzunahme …..

- *die logistischen Probleme bei der Betonanlieferung (Fahrzeiten/ Mischfahrzeuge) |*

Mischfahrzeuge:

- *sind bei den meisten Betonwerken eine ausgelagerte Dienstleistung – müssen daher angemietet / gebunden werden*
- *stehen regional nur in begrenzter Anzahl zur Verfügung*
- *haben Tachoscheibenpflicht – nach 8 Stunden Fahrzeit zzgl. regelmäßiger Pausen dürfen die Fahrer nicht mehr fahren*
- *seit dem Ende der Wehrpflicht fehlt Personal das einen LKW-Führerschein besitzt - neues Personal ist schwer zu bekommen, der Führerschein muss vorinvestiert werden und über regelmäßige Lehrgänge erhalten werden*

2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Mit wachsenden Fundamentabmessungen steigen mit der Volumenzunahme …..

- *die logistischen Probleme bei der Betonanlieferung (Fahrzeiten/ Mischfahrzeuge)* |
- Kosten für Anzahl der Betonpumpen und deren größere Ausleger |

Betonpumpen:

- *wenn ausreichende Betonwerkskapazitäten in der Region vorhanden sind, kann die Betonagedauer durch den Einsatz von mehreren Betonpumpen reduziert werden*
- *die Pumpenkosten erhöhen sich durch den Einsatz mehrerer Pumpen auch wenn weniger Zeit gebraucht wird*
- *durch die größeren Fundamentdurchmesser müssen die Ausleger der Betonpumpen immer größer werden, Kapazitäten müssen vorhanden sein, teurere Betonpumpen kommen zum Einsatz*

2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Mit wachsenden Fundamentabmessungen steigen mit der Volumenzunahme …..

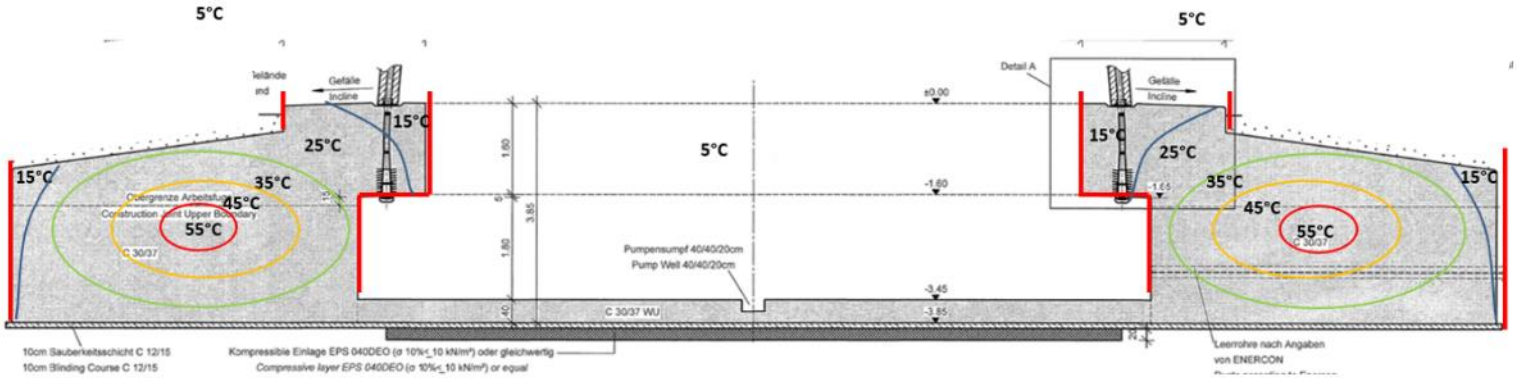
- *die logistischen Probleme bei der Betonanlieferung (Fahrzeiten/ Mischfahrzeuge)* |
- Kosten für Anzahl der Betonpumpen und deren größere Ausleger |
- die thermischen Einflüsse aus der Eigenerwärmung des Betons (exotherme-Reaktion) |

stärkere Erwärmung der Fundamente durch größere Betonmassen:

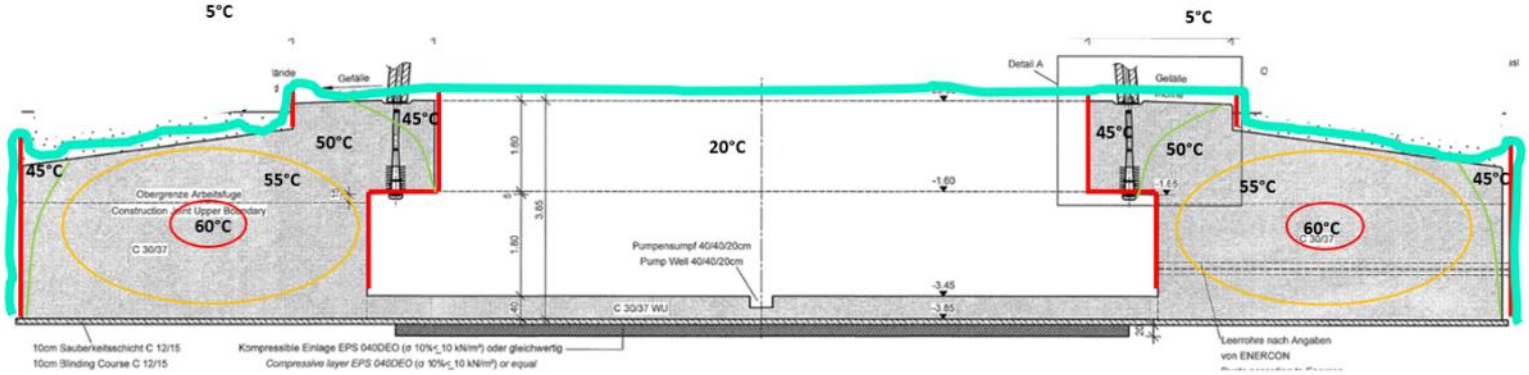
- *Wärme kann aus dem Fundament langsamer abgegeben werden durch ungünstigeres Oberfläche/Volumenverhältnis, Auskühlzeit verlängert sich - damit verbunden verlängert sich die thermische Nachbehandlung zur Steuerung des Abflusses der Wärme*
- *die Gefahr der Fixierung von Eigenspannungen und Ausbildung von Trenn- und Schalenrissen in den Fundamenten steigt – die Temperaturdifferenz zwischen Kern- und Randbereich der Fundamente soll 15 – 20K nicht überschreiten (Unterschied max.20°C)*
- *LH-Zemente low heat) sollen bevorzugt für Fundamentbetone eingesetzt werden*
- *Fundamentbetone sollen auf eine verlängerte Erhärtungszeit (56 Tage) ausgelegt sein*

2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Temperaturentwicklungen im Vergleich – Nachbehandlung an Fundamenten



Fundament ohne thermische Nachbehandlung – Temperaturdifferenz hier 40 K

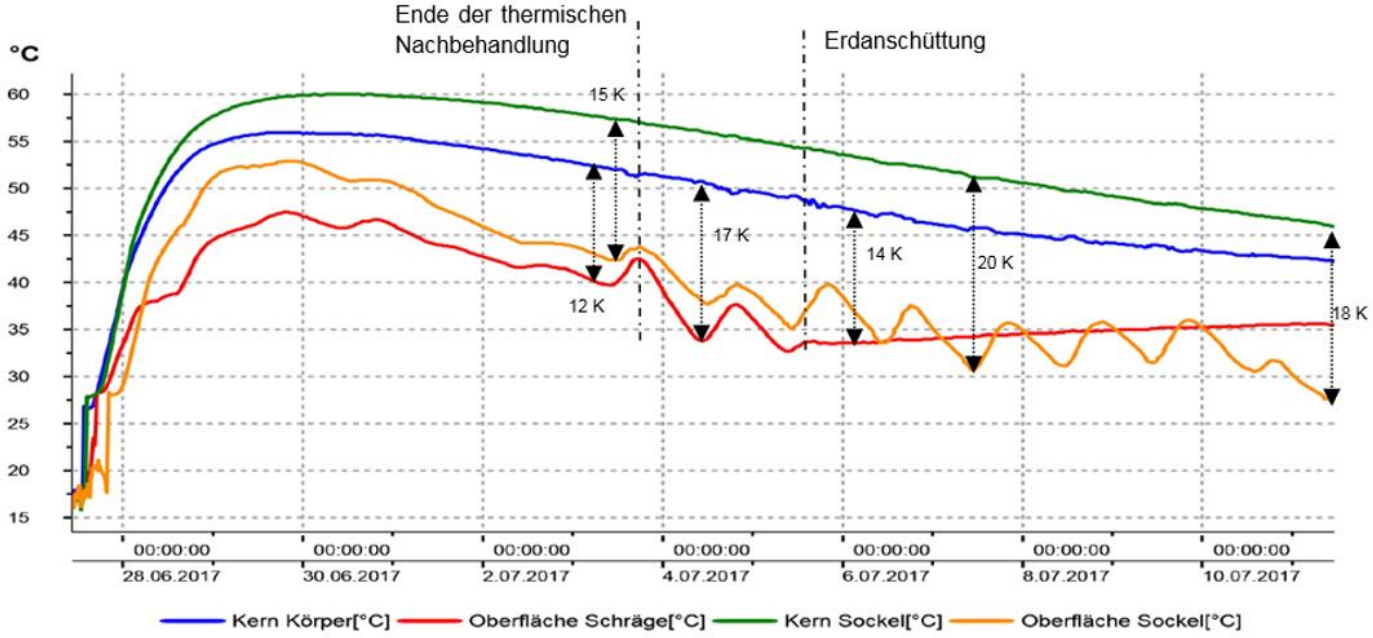


Fundament mit thermischer Nachbehandlung – Temperaturdifferenz hier 15 K

2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Messung der Temperaturentwicklungen – Nachbehandlung an Fundamenten

Gerätename: Testo 176T4		17.07.2017 11:07:42			Seite 1/1
Startzeit: 27.06.2017 10:39:14		Minimum	Maximum	Mittelwert	Grenzwerte
Endzeit: 17.07.2017 10:59:14	Kern Körper [°C]	16,90	56,00	45,968	-195,0/1000,0
Messkanäle: 4	Oberfläche Schräge [°C]	16,50	47,50	36,876	-195,0/1000,0
Messwerte: 2883	Kern Sockel [°C]	15,70	60,00	49,759	-195,0/1000,0
SN 40708985	Oberfläche Sockel [°C]	15,90	52,90	35,049	-195,0/1000,0
8.2 Kerntemperaturmessung V[redacted]					



2. Auswirkungen auf WEA-Fundamente

Mit wachsenden Fundamentabmessungen steigen mit der Volumenzunahme …..

- *logistischen Probleme der Betonanlieferung (Fahrzeiten Mischfahrzeuge)* |
- Kosten für Anzahl der Betonpumpen und deren größere Ausleger |
- die thermischen Einflüsse aus der Eigenerwärmung des Betons (exotherme-Reaktion) |
- die Länge der Betoniertage |

Überbelastung der Verarbeiter:

- *Betoniertage mit 14 - 20 Stunden Dauer können keinem Menschen auf Dauer zugemutet werden → trotz technischer Nachteile muss von planerischer Seite über den Einsatz von horizontalen Betonierfugen in großen Fundamenten nachgedacht werden*

3. Auswirkungen auf Infrastruktur

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen Kranstellflächen anders zugeschnitten werden |*

größere Nabenhöhe = größerer Großkran zur Montage:

- *befestigte Flächen zur Kranmontage müssen geschaffen werden*

3. Auswirkungen auf Infrastruktur

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen Kranstellflächen anders zugeschnitten werden |*

Kranstellflächen reichen bis aufs Fundament:

- *können final erst nach der Fundamentherstellung ausgebaut werden*

3. Auswirkungen auf Infrastruktur

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen Kranstellflächen anders zugeschnitten werden |*

die Geometrie und Belastung der Kranstellflächen verändert sich:

- *es wird von den WEA-Herstellern verstärkt auf kleinere Kranstellflächen und größere temporäre Montageflächen gesetzt*
- *der Aufbau der Kranstellflächen muss die Lasten der größeren Krane sicher aufnehmen können*
- *standortspezifische Anordnung von Kranstandplätzen und logistische Fragestellungen werden über den Bauprozess in enger Abstimmung zwischen WEA-Hersteller und Projektabwickler geklärt*

3. Auswirkungen auf Infrastruktur

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen Kranstellflächen anders zugeschnitten werden |*
- *vergrößern sich Zuwegungsradien und Einfahrtstrichter |*

bei größeren Rotordurchmessern:

- *wird es schwieriger die längeren Rotorblätter zur Baustelle zu transportieren*
- *müssen Lichtraumprofile, Zuwegungsbreiten und größere Kurvenradien aus den WEA-Hersteller Spezifikationen umgesetzt werden*
- *muss ggf. zeitaufwendig rangiert werden*

3. Auswirkungen auf Infrastruktur

Quälerei auf der Baustelle führt zu Zeitverlust und Mehrkosten …..

3. Auswirkungen auf Infrastruktur

Mit wachsenden Nabenhöhen …..

- *müssen Kranstellflächen anders zugeschnitten werden |*
- *vergrößern sich Zuwegungsradien und Einfahrstrichter |*
- *erhöht sich die Anzahl der Fahrzeugpassagen |*

mit der Anzahl der Fahrzeugpassagen werden :

- *die Zuwegungen besonders bei feuchter Witterung stärker belastet*
  - *Fundament früher 208 / 8 = 26 Mischfahrzeugtouren / Fundament |*
  - *Fundament heute 1036 / 8 = 129 Mischfahrzeugtouren / Fundament |*
  - *Turm früher 1 – 3 Fahrzeuge |*
  - *Turm heute ca. 35 Fahrzeugtouren pro Hybridturm |*
  - *Kran früher 2 zusätzliche Fahrzeuge für den Transport von Ballast und Spitze |*
  - *Kran heute ca. 40 Transportfahrzeuge |*

3. Auswirkungen auf Infrastruktur

Quälerei auf der Baustelle führt zu Zeitverlust und Mehrkosten …..

leichte Steigung mit lehmiger Oberfläche – durch Nieselregen glatt wie Schmierseife

Schlamm außerhalb des Weges mindestens knöcheltief

Zuwegung während der Betonage nur noch mit Allradantrieb nutzbar

4. Fazit

Für einen reibungslosen Baufortschritt soll für zukünftige WEA ….

vermehrt auf:

- *eine fachgerechte Planung und Ausführung von Infrastruktur, Fundament und Turmbau geachtet werden. Trotz technischer Nachteile müssen die WEA-Hersteller und Designer bei größeren Fundamentbauwerken darüber nachdenken, horizontale Betonierabschnitte einzuplanen.*
- *das Einplanen von Zeitpuffern geachtet werden, um bei der Infrastrukturherstellung Schlechtwetterperioden ohne Konsequenzen für den Errichtungstermin ausklammern zu können*

Es wird empfohlen, die im Vortrag beschrieben Auswirkungen auf Infrastruktur, Fundament und Türme bei der Planung und Ausführung von WEA-Projekten zu berücksichtigen.

Eine eingeplante verlängerte Betonnachbehandlung im Fundamentbau schafft zeitliche Puffer im Projekt ebenso wie das Planen mit 56 Tagen Erhärtungszeit für jedes Fundament.

8.2 Group für jedes Problem die passenden Experten

Für Fragen können Sie sich gern an mich wenden.

mobil: +49 173 798 2211

e-mail: timo.poetschke@8p2.de

8.2 | The Experts in Renewable Energy

8.2 Ingenieurgesellschaft Timo Poetschke – Münster mbH

Dyckburgstr. 111

48155 Münster

Member of 8.2 Group