

# Unterwasserfundamente mit CEM II/B-S und CEM III/A für den Windpark Schlalach

Von Jochen Rohde, Kavelstorf, und Yvette Hohnschild, Alt Bork

## 1 Einleitung

Im Brandenburgischen Landkreis Potsdam-Mittelmark wurde 2010 der Windpark Schlalach mit 16 Windkraftanlagen vom Typ E-82 mit einer Leistung von 2,0 MW bei einer Nabenhöhe von je 137 m gebaut (Bild 1). Der Park liefert umweltfreundlichen Strom für rund 20.000 Haushalte. In einer weiteren Ausbaustufe soll der Windpark auf insgesamt 25 Anlagen vergrößert werden. Hinsichtlich der Gründung war ursprünglich der Einbau einer Weichgelsohle vorgesehen. Aufgrund der schwierigen Bodenverhältnisse

bot der Bau einer Unterwasserbetonsole mit Pfahlgründung jedoch wesentliche Vorteile.

## 2 Der Windpark als Bürgerinitiative

Die Nutzung der Windkraft hat im Landkreis Potsdam-Mittelmark bereits eine lange Tradition. Eine alte Holländerwindmühle bei Haseloff ist ein Wahrzeichen der Gemeinde Mühlenfließ. Auch in Schlalach, das zu der Gemeinde gehört, gab es bis zum Ende des Zweiten Weltkriegs eine Bockwindmühle. Dort ist im Jahr

2010 durch die Errichtung von 16 Windkraftanlagen ein Bürger-Windpark entstanden, mit dem das Dorf 60-mal mehr Strom produziert, als die rund tausend Einwohner verbrauchen, und somit zum Stromexporteur wird. Für die gelungene Umsetzung dieses Bürger-Windparks wurde Schlalach nun von der Agentur für Erneuerbare Energien als „Energie-Kommune“ des Monats Dezember 2010 geehrt.

Nach der Ausweisung einer Wind-eignungsfläche in Schlalach durch die Regionale Planungsgemeinschaft Havelland-Fläming nahmen die Bürger die Ausschreibung für den Windpark selbst in die Hand. Sie gründeten eine Arbeitsgruppe und beauftragten den Bauherrn mit der Errichtung und dem Betrieb des Windparks. Mit Hilfe eines Flächenpachtmodells werden die Pachtverträge gerecht vor Ort verteilt, ohne dass einige wenige Eigentümer bevorzugt werden. Dank dieser Beteiligung der Bürger ist die Akzeptanz für die Windkraftanlagen sehr hoch.



Bild 1: Der Windpark Schlalach in Brandenburg

### 3 Erstellung der Fundamente

Die Fundamente für die 16 Windkraftanlagen vom Typ E-82 wurden kreisförmig ausgeführt. Die Vorteile der Kreisfundamente bestehen darin, dass die statischen und dynamischen Einwirkungen für alle Windrichtungen gleich sind. Bei Kreuzfundamenten oder mehreckigen Fundamenten ergeben sich Bodenpressungen, die in den Eckbereichen zu deutlich höheren Baugrundbelastungen führen würden. Der Baustoffeinsatz an Beton und Bewehrungsstahl wird durch die Kreisform reduziert. Auch führt die Kreisform zu kleineren Schalflächen und einer wirtschaftlich optimierten Kubatur. Die Anfüllung des Fundaments mit dem Bodenaushub der Baugrube wird als Auflast in der statischen Berechnung berücksichtigt. Dies ermöglicht es, die Standsicherheit auch mit einem kleineren Durchmesser zu gewährleisten.

#### 3.1 Schwierige Bodenverhältnisse

Bei den Gründungsarbeiten stellten die Bodenverhältnisse in Schlalach eine Herausforderung für das ausführende Unternehmen dar. Unterhalb der Mutterbodenschicht stehen sofort Sande an, deren Lagerungsdichten und Kornabstufungen aber stark schwanken. Das Grundwasser steht knapp unterhalb der Geländeoberkante an und kann bei Niederschlagsereignissen sehr schnell bis zur Geländeoberkante ansteigen. Somit musste die Unterkante der Anlagenfundamente bis zu 3,0 m unter dem Grundwasserspiegel liegen. Durch die Auflagen in der Baugenehmigung war eine großflächige Grundwasserabsenkung ausgeschlossen und die mögliche Fördermenge zudem eingeschränkt. Um die Fundamente für die Windenergieanlagen bauen zu können, konnte der ca. 3,0 m tiefe Aushub deshalb nicht

mit kostengünstigen Böschungen hergestellt werden.

#### 3.2 Umplanung des Fundaments

Der bauseitige Entwurf sah ein Flachgründungsfundament mit 30 m Durchmesser vor. Die locker gelagerten Sande im oberen Bereich sollten durch eine Rüttelstopfverdichtung verbessert werden. Um das Grundwasser innerhalb der Baugrube absenken zu können, ohne den Wasserspiegel außerhalb der Baugrube zu beeinflussen, war eine Trogbaugrube geplant.

Als Verbau waren Spundwände vorgesehen, die die Baugrube in vertikaler Richtung gegen das Grundwasser abschotten und die Erd- und Wasserdrucklasten abtragen sollten. Die horizontale Abdichtung sollte durch eine in auftriebssicherer Höhenlage angeordnete Weichgelsohle erfolgen. Bei einer Weichgelinjektion sind aufgrund des Injektionsmittels erhöhte Anforderungen für den Umweltschutz zu beachten. In mehreren Planungsrunden wurde der bauseitige Entwurf in ein Pfahlgründungsfundament mit 23 m Durchmesser und 30 Frankipfählen umgeplant. Die horizontale Abdichtung der Baugrube erfolgt mit einer verankerten Unterwasserbetonsohle. Als Auftriebssicherung werden die Frankipfähle genutzt und 16 Atlaspfähle als reine Auftriebspfähle zusätzlich hergestellt (Bild 2).

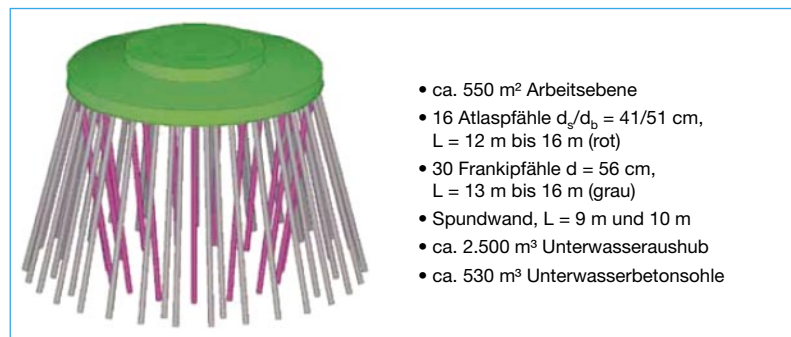


Bild 3: Die Auftriebssicherung der Unterwasserbetonsohle erfolgte mit Atlaspfählen.

#### 3.3 Gründungsarbeiten

Aufgrund der intensiven Planungen in der Angebotsphase konnten die Bauarbeiten bereits Ende März 2010 – kurz nach Auftragsvergabe – begonnen werden. Zunächst wurden dafür die Arbeitsebenen hergestellt. Diese dienen als Stellflächen für die Bohr- bzw. Rammgeräte. Danach wurde die Rückverankerung für die Unterwasserbetonsohle mit Atlaspfählen mit einem Kerndurchmesser von 41 cm und der Druckfestigkeitsklasse C25/30 ausgeführt (Bild 3).

- ca. 550 m<sup>2</sup> Arbeitsebene
- 16 Atlaspfähle  $d_g/d_b = 41/51$  cm, L = 12 m bis 16 m (rot)
- 30 Frankipfähle  $d = 56$  cm, L = 13 m bis 16 m (grau)
- Spundwand, L = 9 m und 10 m
- ca. 2.500 m<sup>3</sup> Unterwasseraushub
- ca. 530 m<sup>3</sup> Unterwasserbetonsohle

Bild 2: Detaillierte Daten zur Gründung (bezogen auf jeden einzelnen Standort)

Anschließend stellte man die Franki-Ramppfähle her: 20 Neigungs- und 10 Lotpfähle mit der Druckfestigkeitsklasse C30/37. Während die Atlaspfähle die Zugkräfte aus der Auftriebskraft der Unterwasserbetonsohle aufnehmen, haben die 15 m langen Rammpfähle die Aufgabe, die Druckkräfte aus dem Fundament der Windenergieanlage aufzunehmen. Der Beton für beide Pfahl-Sorten wurde mit einem CEM III/A 32,5 N-LH/NA und einem Größtkorn von 16 mm hergestellt.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde die kreisförmige Spundwand (Bild 4) als Baugrubenverbau mit einem Durchmesser von rund 26 m eingerüttelt und am Kopf mit einer Stahlsystemgurtung fixiert. Danach wurde der Erdaushub bis zu 4 m tief im Grundwasser ausgeführt. Für die 16 Baugruben wurden insgesamt sieben Sätze Spundbohlen verwendet, die zwei- bis dreimal eingesetzt wurden. Der innen liegende Gurtungsring wurde gleichzeitig als Rammlehre für die Spundwand ge-

nutzt. Analog zu den Spundbohlen wurden hier ebenfalls sieben Gurtungsringe verwendet und mehrfach eingesetzt. Durch die Wiederholung der einzelnen Arbeitsschritte konnte nach einer Einlaufphase die ursprüngliche Bauzeit von 35 auf 29 Arbeitstage pro Standort reduziert werden. Detailliertere Angaben zu den Gründungsarbeiten enthält Bild 2.

### 3.4 Einbau des Betons im Kontraktorverfahren

Nach Abschluss der Erdarbeiten kam die Taucherkolonne zum Einsatz (Bild 5). Ihre Aufgabe bestand zunächst darin, das Aushubplanum zu kontrollieren und die Spundwand sowie die Pfähle zu reinigen. Somit konnte eine kraftschlüssige und wasserdichte Verbindung mit der Unterwasserbetonsohle gewährleistet werden. Danach wurde die Sohle mit 1 m Dicke betoniert. Dafür waren jeweils mehr als 500 m<sup>3</sup> Mass beton mit einem hüttensandhaltigen Zement (CEM II/B-S 42,5 N) erforderlich. Der Beton wurde in einem Zeitraum von etwa sieben Stunden eingebaut. Eine Liefergemeinschaft stellte ihn bereit, so dass eine kontinuierliche Lieferung gewährleistet werden konnte.

Der Einbau des Betons erfolgte im Kontraktorverfahren. Dabei wurde der Beton über ein Schüttrohr ohne Kontakt mit dem Wasser in die Baugrube eingebracht. Während der Betonage wurde der gleichmäßige Einbau des Betons von Tauchern mit Lotungen gezielt überwacht.

### 3.5 CO<sub>2</sub>-Begasung für den Lenzvorgang

Nach drei Tagen Erhärtung der Sohle konnte der Lenzvorgang eingeleitet werden. Dabei wurden etwa 2.500 m<sup>3</sup> Wasser aus der Baugrube gepumpt. Dafür war es erforderlich,



Bild 4: Betonage der Sauberkeitsschicht nach dem Gründungsvorgang



Bild 5: Aufgrund des hohen Grundwasserstands waren vor und während der Betonage Taucherkolonnen im Einsatz



Bild 6: Bau der Windkraftanlage E-82 mit einer Nabenhöhe von 137 m

den pH-Wert des Wassers mit Hilfe von CO<sub>2</sub>-Begasung abzusenken und ihn so an den pH-Wert der Einleitungsgewässer anzupassen. Nach Abschluss des Lenzvorgangs wurden die Sohle vom Schlamm gereinigt und die Unebenheiten ausgeglichen, die bei einer Unterwasserbetonage unvermeidbar sind. Die anschließend eingebaute Weichschicht aus Styro-

por war erforderlich, um die Unterwassersohle mit den Rückverankerungspfählen von dem Fundament der Windenergieanlage zu entkoppeln. Mit der Sauberkeitsschicht stellte man eine abschließende glatte Fläche für den Rohbau her. Daraufhin wurden die Frankipfähle gekappt und die Anschlussbewehrung für das Fundament freigelegt.

## 4 Fazit

Durch die Umstellung der Flachgründung auf eine Pfahlgründung konnten erhebliche Einsparungen realisiert werden. So konnte der Fundamentdurchmesser von den vorgesehenen 30 m auf 23 m verringert werden. Damit verkleinerte sich auch der Durchmesser der Baugrube für den Spundwandverbau um 7 m. Das bedeutete weniger Aushub von Erdmaterial sowie eine geringere Menge an benötigtem Beton für das Fundament.

Der größte Vorteil einer Unterwasserbetonsohle im Vergleich zu einer Weichgelsohle liegt vor allem in der besser zu kontrollierenden Herstellung. Die Kombination aus Pfahlgründung, Erdbau, Spundwandverbau und Unterwasserbetonsohle war auch für das bauausführende Unternehmen eine Herausforderung. Dennoch konnte es nach einer Einlaufphase die ursprüngliche Bauzeit von 35 auf 29 Arbeitstage pro Standort reduzieren. Die Arbeiten im Windpark wurden mit dem Ziehen der Spundbohlen am letzten Standort Ende Oktober 2010 erfolgreich abgeschlossen. Alle 16 Baugruben wurden termingerecht an den Bauherrn übergeben, alle behördlichen Auflagen wurden eingehalten.

Alle Fotos: Franki Grundbau

## Bauschild

Bauherr	ENERCON GmbH, Aurich
Bauausführendes Unternehmen	Franki Grundbau GmbH & Co. KG, Geschäftsbereich Ost, Kavelstorf
Planung	HCE Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg; Ingenieurservice Grundbau GmbH, Seevetal
Erdarbeiten	Kerker Tiefbau GmbH, Alt Bork
Beton	Kerker Beton GmbH, Alt Bork; Belziger Baustoffhandel GmbH, Belzig
Zement	Lafarge Zement Karsdorf GmbH, Karsdorf