

# Schleuderbetonmasten aus Hochleistungswerkstoffen – Teil 2: Tragverhalten unter kombinierter Beanspruchung

## Ultra-High Performance Spun Concrete Poles – Part 2: Load-Bearing Behaviour under Combined Loads

Remitz, J.; Kim, S.; Empelmann, M.

### Abstract

The expansion of renewable energies requires an adjustment of the electricity grid infrastructure in Germany. The objective of the research project "Compact Extra High Voltage Poles and Cross Arms", supported by the BMWi, was to develop an environmentally and resource friendly construction of Extra High Voltage Poles made of ultra-high performance spun concrete, that contributes to an innovative and economically alternative to steel lattice masts due to an optimized design /1/. Within the project the iBMB, Division of Concrete Construction carried out investigations on the load-bearing behaviour of ultra-high performance spun concrete poles.

### 1. Einführung und Motivation

Der Ausbau der erneuerbaren Energien erfordert eine Anpassung der Stromnetzinfrastruktur in Deutschland. Im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens „Kompakt-höchstspannungsmasten und -Traversen (KoHöMaT)“, gefördert durch das BMWi, sollten umwelt- und ressourcenschonende Freileitungsmasten für Höchstspannungsleitungen aus ultrahochfestem Schleuderbeton entwickelt werden, die durch ihr optimiertes Mastdesign eine innovative und wirtschaftliche Alternative zu Stahlgittermasten darstellen /1/. Innerhalb eines Teilprojekts wurde am iBMB, Fachgebiet Massivbau das Trag- und Verformungsverhalten der ultrahochfesten Schleuderbetonmasten untersucht.

### 2. Konfiguration der Schleuderbetonmasten

Das Trag- und Verformungsverhalten von vorgespannten Schleuderbetonmasten aus UHPC wurde unter Biege- und Querkraftbeanspruchung (M+Q) sowie unter kombinierter Biege-, Querkraft- und Torsionsbeanspruchung (M+Q+T) mit insgesamt acht großmaßstäblichen Bauteilversuchen in Zusammenarbeit mit der Firma Europoles GmbH & Co. KG (EP) untersucht (Bild 1). Die Versuchskörper wurden durch EP im Schleuderverfahren hergestellt und hatten eine Länge von 26 m (M+Q) bzw. 14 m (M+Q+T). Die Konfiguration der Versuchskörper wurde an übliche von EP bereits ausgeführte und zugelassene Mastkonfigurationen angelehnt.



Bild 1: Versuch unter Biege- und Querkraftbeanspruchung (oben) und unter Biege-, Querkraft- und Torsionsbeanspruchung (unten)

Neben einem ultrahochfesten Schleuderbeton (UHPSC) mit Druckfestigkeiten von etwa 140 N/mm<sup>2</sup> (vgl. Teil 1) wurden eine hochfeste Betonstahlbewehrung SAS670/800 und bis dato nicht im sofortigen Verbund bauaufsichtlich zugelassene 0,62"-Spannstahllitzen (St1660/1860) eingesetzt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Konfiguration der Versuchskörper (VK)

VK	Belastung	Beton	Betonstahl	Spannstahl
VK-B0	M+Q	HPC	B500	φ 0,5"
VK-B1	M+Q	UHPC	B500	φ 0,5"
VK-B1-K	M+Q	UHPC	SAS670	φ 0,62"
VK-B2-K	M+Q	UHPC	SAS670	φ 0,62"
VK-T0	M+Q+T	HPC	B500	φ 0,5"
VK-T1	M+Q+T	UHPC	B500	φ 0,5"
VK-T1-K	M+Q+T	UHPC	SAS670	φ 0,62"
VK-T2-K	M+Q+T	UHPC	SAS670	φ 0,62"

Als Referenz dienten zwei Versuchskörper (VK-B0, VK-T0) mit bereits zugelassener Konfiguration aus hochfestem Beton (C80/95), Betonstahl B500 und 0,5"-Spannstahlilitzen (St1660/1860). Bei den Versuchskörpern VK-B1-K und VK-B2-K bzw. VK-T1-K und VK-T2-K wurden zudem die Abmessungen (Durchmesser und Wandstärke) und der Bewehrungsgrad variiert.

### 3. Versuchsaufbau und -durchführung

Die Versuchskörper wurden über eine Stahlfußplatte mit dem Versuchsstand verbunden (Kragarm), der Anschluss mittels Zapfenverbindung (Mast-Mast bzw. Fundament-Mast) wurde separat untersucht (vgl. Teil 3). Zudem wurden die Versuchskörper durch Rollenlager gestützt, um Effekte infolge Mastgewicht zu verhindern (vgl. Bild 1). Die Belastung erfolgte durch eine horizontal angreifende Einzellast am Mastzopf auf Höhe des Schwerpunkts (M+Q) bzw. mittels Traverse mit einem Hebelarm von 2,5 m (M+Q+T).

Die Belastung erfolgte zunächst in 10 Be- und Entlastungszyklen auf Gebrauchslastniveau. Im Anschluss wurde die Belastung bis zum Versagen aufgebracht. Während der Versuchsdurchführung wurde das Verformungsverhalten durch ein umfangreiches Messprogramm überwacht.

### 4. Versuchsergebnisse

Bei den Biegeversuchen (M+Q) konnte stets ein schlagartiges Versagen in der Biegedruckzone nach Erreichen der Fließgrenze der Betonstahlbewehrung beobachtet werden, das sich sowohl bei den Versuchskörpern mit hoch- als auch bei denen mit ultrahochfestem Schleuderbeton durch starke Rissbildung und große Verformungen ankündigte (Bild 2). Durch die Verwendung des UHPC konnte im Vergleich zum hochfesten Beton eine Steigerung der Tragfähigkeit erreicht werden (Bild 3).

Bei den Torsionsversuchen (M+Q+T) trat ein schlagartiges Betonversagen im durch Biegung, Querkraft und Torsion maximal beanspruchten Mastbereich auf, nachdem die Längs- und Querbewehrung ihre Streckgrenze erreichte (sekundäres Betondruckstrebenversagen). Bei einigen Versuchen konnte eine durch den engen Bügelabstand im Bereich des Fundamentanschlusses hervorgerufene Trennschicht mit schollenartigen Abplatzungen beobachtet werden (vgl. Bild 2, rechts).

Im Anschluss an die Versuchsdurchführung wurden die Versuche ausgewertet und mittels FE-Berechnungen nachvollzogen. Aufbauend auf dieser Auswertung konnten Empfehlungen für die Bemessung und konstruktive

Durchbildung von Schleuderbetonmasten aus UHPC und hochfester Betonstahlbewehrung gegeben werden.



Bild 2: Versagen VK-B1 (links) und VK-T1-K (rechts)

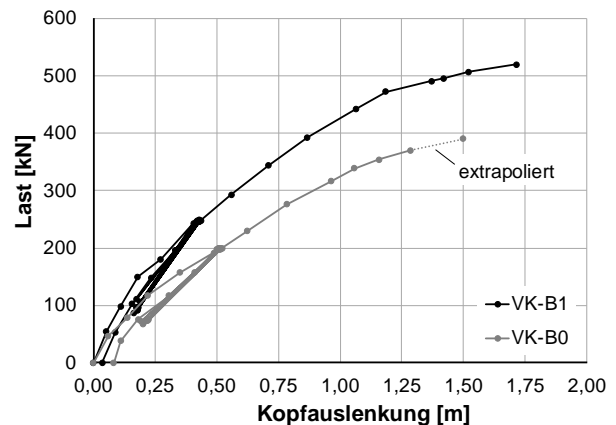


Bild 3: Last-Verformungs-Diagramm der Biegeversuchskörper VK-B0 (HPC) und VK-B1 (UHPC)

### 5. Zusammenfassung

Im Rahmen der experimentellen und numerischen Untersuchungen zum Trag- und Verformungsverhalten von Schleuderbetonmasten aus UHPC und hochfester Bewehrung konnten wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der Tragfähigkeit, Verformung und konstruktiven Durchbildung gewonnen werden.

### 6. Literatur

- /1/ Empelmann, M.; Remitz, J.; Wichert, M.; Kim, S.: Kompakthöchstspannungsmasten und -Traversen (KoHöMaT). Schlussbericht Nr. P02-18 des BMWi-Forschungsvorhabens 03ET7516D, iBMB, TU Braunschweig, 2016.