Universität Stuttgart
Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften

Betonhohlkörper als Energiespeicher für die Energiewende

B. Grothe

Motivation und Zielsetzung

Mit dem fortschreitenden Ausbau erneuerbarer Energien wird die Entwicklung von neuen Speichermethoden erforderlich. Das Forschungsprojekt „Stored Energy in the Sea“ (StEnSea) des Fraunhofer-Instituts untersucht eine solche Möglichkeit. Dabei wird eine Betonkugelschale auf dem Meeresboden installiert, wo diese als Pumpspeichersystem fungiert.

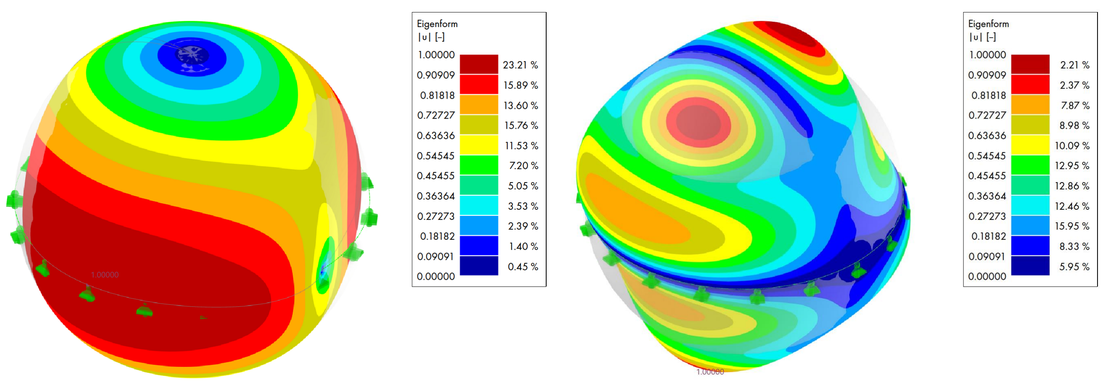
In dieser Arbeit wird die Kugelschale statisch analysiert und hinsichtlich ihrer Stabilität untersucht. Anschließend wird das System für den Druckluftbetrieb optimiert.

Studie zum Projekt StEnSea

Die Berechnung des Systems erfolgte mit dem Programm RFEM 6. Es wurden zwei verschiedene Netzkonfigurationen untersucht. Die daraus erhaltenen Ergebnisse wurden mit der analytischen Lösung nach der Membrantheorie verglichen. Es stellt sich heraus, dass eine automatische Vernetzung von RFEM die besten Ergebnisse liefert. Die Befürchtung, dass Membranlocking dabei auftreten würde, ist nicht eingetroffen.

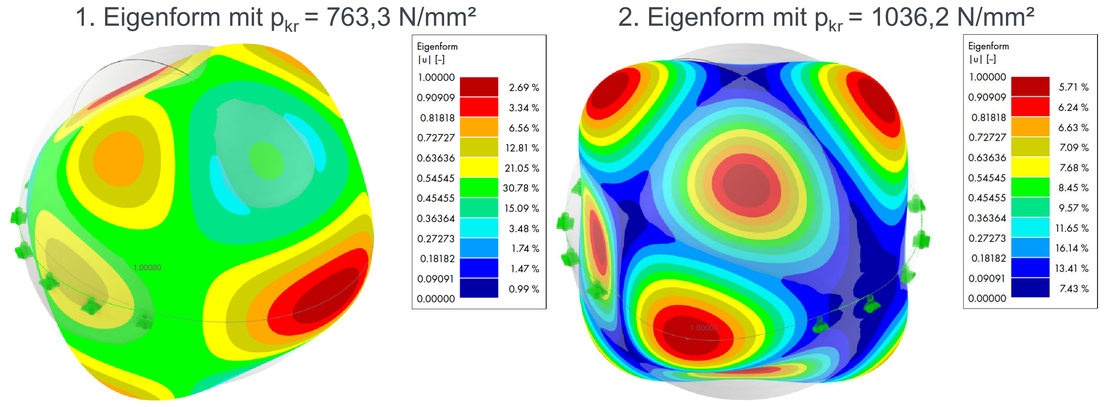
Um ein Auftreiben der Kugelschale zu verhindern, ist eine Wanddicke von ca. 2,55m erforderlich. Es wurden vier verschiedenen Lastfällen untersucht. Die maximale Ausnutzung von 95% ergibt sich aus der Kombination von Eigengewicht und dem einwirkenden Wasserdruck.

Die Stabilitätsuntersuchung ergab, dass die kritischen Lasten am perfekten System erst bei unrealistisch hohen Belastungen auftreten. Einige der ermittelten Eigenformen sind auf numerische Effekte zurückzuführen und besitzen keine praktische Relevanz für die Bemessung. Die Ergebnisse der maßgebenden Eigenformen stimmen gut mit den analytischen Ergebnissen überein und werden eher unterschätzt. Für die kleinste Eigenform wurde eine nichtlineare Stabilitätsuntersuchung durchgeführt. Die daraus resultierende kritische Last liegt über der Belastung aus dem Wasserdruck, wodurch die Schale als stabil gilt.



1. Eigenform mit p_{kr} = 763,3 N/mm²

2. Eigenform mit p_{kr} = 1036,2 N/mm²



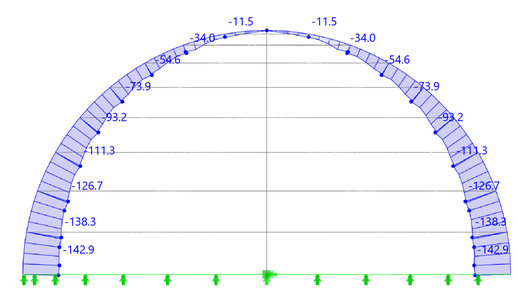
4. Eigenform mit p_{kr} = 1043,0 N/mm²

5. Eigenform mit p_{kr} = 1049,0 N/mm²

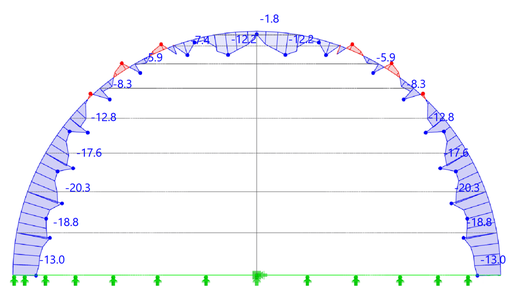
Studie zum Druckluftbetrieb

Im zweiten Teil der Arbeit wurde der Druckluftbetrieb untersucht. Dabei wird das Wasser in der Schale durch komprimierte Luft herausgedrückt. Der Spannungszustand der Kugel wechselt vom Druckbereich in den Zugbereich. Durch das Eigengewicht ergeben sich zusätzliche Zugkräfte in der unteren Kugelschale. Die Zugkräfte können vom Beton nicht aufgenommen werden, weshalb es gilt sie zu vermeiden. Durch zusätzliche äußere Lasten lässt sich die Meridiankraft der oberen Kugelschale reduzieren, aber nicht die der unteren Kugelschale.

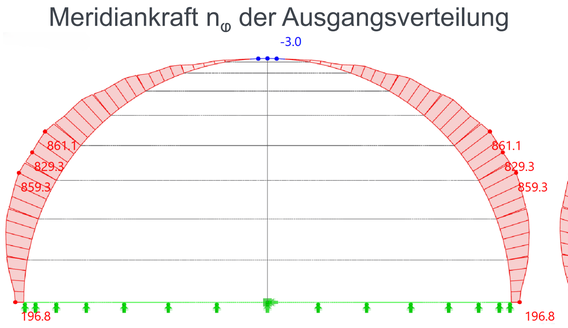
Daraufhin wurde im Rahmen einer Optimierung versucht die Meridiankraft einer Halbkugelschale auf null zu reduzieren. Zuerst wurde mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate eine geeignete Ballastfunktion gesucht. Dabei stellte sich die kubische Verteilung als ideal heraus. Diese Verteilung wurde mit einer Koordinatensuche für vier Parameter weiter optimiert. Dadurch konnte die Meridiankraft deutlich reduziert werden.



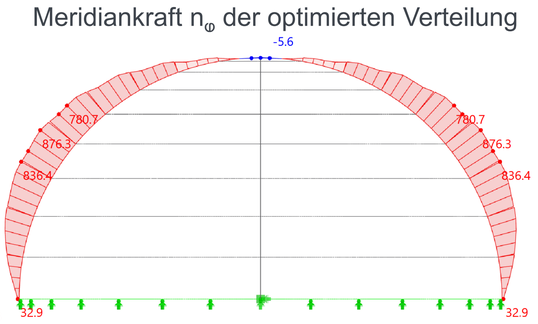
Meridiankraft n_φ der Ausgangsverteilung



Meridiankraft n_φ der optimierten Verteilung



Ringkraft n_ϑ der Ausgangsverteilung



Ringkraft n_ϑ der optimierten Verteilung

Fazit

Das Projekt StEnSea ist für die einwirkende Belastungen sehr gut ausgelegt. Die kritischen Lasten der Stabilitätsuntersuchung treten erst bei unphysikalischen Wassertiefen auf. Durch die Zugkräfte in der Kugelschale eignet sich das Projekt nicht direkt für den Druckluftbetrieb. Mit einer angepassten Variante, lässt sich der Druckluftbetrieb umsetzen, wobei weiterhin Zugkräfte in Ringrichtung auftreten.

Betreuung:
M.Sc Tamara Prokosch
Dr.-Ing. Rebecca Thierer
Dr.-Ing- Mathias Kutterer

Baustatik und Baudynamik