

Stationäre und instationäre finite Element Analysen zur Erfassung des solaren Temperatureinflusses auf schalenförmige, zylindrische Thermoplastbehälter

Zum Nachweis der Standsicherheit von schalenförmigen, zylindrischen Thermoplastbehältern ist es notwendig, bei Außenaufstellung die Temperatureinwirkung durch Sonneneinstrahlung in geeigneter Form mit zu berücksichtigen. Die Begründung liegt in der ausgeprägt starken Temperaturabhängigkeit der thermo-mechanischen Eigenschaften der verwendeten thermoplastischen Werkstoffe sowie in Zwangseinwirkungen aus behinderten Temperaturdehnungen.

Beim Standsicherheitsnachweis der behandelten Baukonstruktionen aus Kunststoff werden auch computergestützte Berechnungen z. B. mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FEM) zur Untersuchung des Temperatureinflusses eingesetzt. Die FEM ist ein numerisches Verfahren, welches die Modellierung und Berechnung von Strukturen und Bauteilen zulässt, die nicht oder nur unzureichend durch analytische Berechnungsmodelle beschrieben werden können. Bei den derzeit durchgeführten Berechnungen werden unter stationären Randbedingungen näherungsweise verschiedene, einfache Temperaturszenarien untersucht und versucht daraus eine Aussage über die thermale Langzeitbeständigkeit bei Außenaufstellung zu ermöglichen. Dabei kommt es an den groben Übergangspunkten der Materialeigenschaften zu Störungen mit lokal eng begrenzt hohen mechanischen Spannungswerten. Die relativ großen, näherungsweisen „Sprünge“ an den Übergangspunkten treten in der Realität nicht auf, da es aufgrund der solaren Einstrahlung zu einer gleichmäßigen Verteilung, d. h. zu einem kontinuierlichen Verlauf der Temperatur innerhalb der Behälterwand kommt.

Im Rahmen des zu beschreibenden Forschungsvorhabens wurden die generellen Oberflächentemperaturen der Behälter mit Hilfe des Programmsystems INSEL unter Berücksichtigung der solaren Einstrahlung bestimmt. Dabei wurden die Außentemperaturen und Einstrahlungsbedingungen des heißesten Tages der letzten 100 Jahre in Deutschland verwendet. Die Oberflächentemperatur wurde für jede Minute des untersuchten Tages abgespeichert und in geeigneter Form an das Finite Element Programm NASTRAN übergeben. Die erzielten Berechnungsergebnisse wurden auf Plausibilität geprüft und untereinander verglichen. Im zweiten Bearbeitungsgang wurden mit Hilfe der berechneten Oberflächentemperaturen instationäre Wärmeberechnungen innerhalb der Zylinderwandungen angesteuert. Diese Berechnungen am Volumenmodell berücksichtigen die Wärmeleitfähigkeit und damit die zeitabhängige Ausbreitung der Temperatur im Material. Im Inneren der Behälter wird entweder eine konstante Medientemperatur vorgegeben oder es erfolgt die Definition einer tageszeitabhängigen Lufttemperatur (Konvektionsrandbedingungen). Damit konnten sowohl gefüllte als auch ungefüllte Konfigurationen approximiert werden. Über die Ausgabe der Ergebnisse zu unterschiedlichen Tageszeiten und in verschiedenen Himmelsrichtungen konnten die wesentlichen Effekte in der Behälterwand beschrieben und verifiziert werden.

Im weiteren Verlauf des Forschungsvorhabens wurden thermo-mechanisch gekoppelte Berechnungen zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt. Dabei wurden die maßgeblichen Tageszeiten untersucht. Für die gefüllte und ungefüllte Aufstellung der Behälter ergeben sich Einflüsse aus der mechanischen Beanspruchung (Füllung, Unterdruck etc.) und Einwirkungen aus thermischen Temperaturunterschieden. Die Ergebnisse der Berechnungen wurden gegeneinander abgeglichen und die wesentlichen Effekte wurden erläutert und diskutiert. Für die Oberflächentemperaturen auf der Außenseite als auch für die Temperaturen der maßgebenden Berechnungspunkte konnten abschnittsweise, lineare Verteilungen der Temperatur abgeleitet werden, die die erzielten nichtlinearen Ergebnisse ausreichend genau abbilden. Die Verteilungen wurden auf Schalenberechnungen übertragen und verschiedene, bemessungsrelevante Berechnungen durchgeführt. Der Vergleich der approximierten, flächenhaften Berechnungen mit den detaillierten Volumenmodellen zeigt die Genauigkeit aber auch die Limitationen der

Vorgehensweise. Die final vorgeschlagene Methodik ist einfach reproduzierbar und kann in nahezu jedes Berechnungsprogramm eingepflegt werden.

Die entstandene Zusammenfassung stellt dem Tragwerksplaner Vorgehensweisen zur Verfügung, wie er bei Außenaufstellung thermoplastischer Behälter mit dem Lastfall „Sonneneinstrahlung“ bei Erstellung und Auswertung seiner numerischen Berechnungen vorgehen sollte. Für die Bauaufsicht ergibt sich ein einheitlicher und fundierter Maßstab zur Plausibilitätsprüfung vorgelegter Berechnungen.

Der Antragsteller des Forschungsvorhabens bedankt sich ausdrücklich für die konstruktive Mitarbeit und die fachlichen Diskussionen bei Herrn Dipl.-Ing. (FH) Magnus Herz (TÜV Rheinland Energy GmbH). Schließlich gilt der besondere Dank dem Deutschen Institut für Bautechnik insbesondere in Person von Herrn Dipl.-Ing. Holger Eggert, Herrn Dr.-Ing. Ronald Schwuchow und Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt (Beuth Hochschule, Berlin) für die optimale Betreuung, die wesentlich zum Gelingen der Arbeiten beigetragen hat.