

KISTLER

measure. analyze. innovate.



Wellenschläge unter extremen Bedingungen messen

Hochentwickelte Drucksensoren von Kistler helfen Forschern
dabei, Sloshing zu verstehen

MARIN

THE ATMOSPHERE



LNG-Tanker (liquefied natural gas) transportieren das verflüssigte Erdgas in speziellen Tanks rund um die Welt.

Um Einblicke in die komplexe Physik von Transportbehälter-Systemen für Flüssigerdgas (LNG – liquefied natural gas) zu gewinnen, hat das niederländische Forschungsinstitut MARIN „The Atmosphere“ entwickelt. Darin befinden sich 100 Drucksensoren von Kistler, die genaue Daten zu den Wellenschlägen beim sogenannten Sloshing liefern – damit tragen sie nicht nur zur Optimierung des LNG-Transports bei, sondern künftig auch von Wasserstoff.

Erdgas ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zu einer sauberen und nachhaltigen globalen Energieversorgung. Transportiert wird es entweder durch Pipelines oder per Schiff vom Ursprung zur seinem Bestimmungsort – der Transport per Tanker ist jedoch gerade über lange Distanzen deutlich wirtschaftlicher. Das flüssige Erdgas wird bei einer Temperatur von etwa -162°C von speziellen LNG-Tankern aufgenommen, die in einigen Fällen an ihren zum Teil sichtbaren kugelförmigen Tanks zu erkennen sind. Mehr als 600 Schiffe dieses Typs sind bereits auf den Weltmeeren im Einsatz, und der Markt wird weiter wachsen in den nächsten Jahren. In Sachen Design ist noch viel Raum für die Optimierung der Tankgeometrie; dafür ist jedoch Grundlagenforschung bezüglich der fundamentalen physischen Mechanismen hinter den Prozessen erforderlich. Ein Phänomen, das noch nicht vollständig verstanden ist, ist das sogenannte Sloshing (dt. Schwappen): die Bewegung einer Flüssigkeit in einem Container, hervorgerufen von externen Kräften, zum Beispiel den Schiffsmanövern – und genau hier kommt MARIN ins Spiel.

Das Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) in Wageningen ist eines der weltweit führenden Marineforschungszentren. Seit 1932 hat MARIN eine umfassende Expertise aufgebaut, basierend auf der Kombination von numerischen Simulationen und Experimenten in großen Spezialeinrichtungen – darunter mehrere Becken für Tests mit Schiffsmodellen – sowie Onboard-Messungen und -Tests. Dank der Unterstützung privater und öffentlicher Geldgeber aus Universitäten, Industriepartnern und Staatsfonds konnte 2016 eine weltweit einzigartige Einrichtung in Auftrag gegeben werden: „The Atmosphere“ (ATM) ist eine riesige Forschungsanlage, die in der Lage ist, verschiedene atmosphärische Bedingungen zu erzeugen. Mit Hilfe von ATM lassen sich Parameter wie Druck (0,02–10 bar), Temperatur (15–200°C), Gaszusammensetzung (He, N₂, SF₆ und Wasserdampf), relative Feuchte (0–100%)

und weitere für die Dynamik des Sloschings in einem echten LNG-Tanker wichtige Einflussgrößen variieren. In der Anlage befindet sich ein Autoklav-Behälter mit einem Außendurchmesser von 2,5 und einer Länge von 15 Metern – groß genug, um Menschen aufzunehmen, jedoch lässt sich das Geschehen im Inneren auch durch eines der 17 Beobachtungsfenster überwachen.

Genauere Resultate unter wechselnden Bedingungen

Rodrigo Ezeta, Forscher bei MARIN mit einem PhD in Strömungsmechanik, erklärt den Ansatz wie folgt: „The Atmosphere ermöglicht die volle Kontrolle von Temperatur und Druck. Das ist wichtig für LNG-Transportbehältersysteme, die normalerweise an der Grenze zwischen Flüssigkeit und Dampf operieren. So bekommen wir ein besseres Verständnis der Sloshing-Phänomene, wie sie in einem echten Container in einem Schiff auftreten.“ Im Inneren des Autoklav-Behälters befindet sich ein Messkanal, in dem Wellen künstlich erzeugt werden können. Sobald diese die Aufprallwand treffen, zeichnen die Drucksensoren von Kistler die Kraftwirkung mit einem hohen Grad an Genauigkeit auf. 100 dieser Sensoren wurden in einer T-förmigen Anordnung installiert. Ezeta weiter: „Während der Einrichtung der Anlage fanden wir heraus, was das beste Layout für genaue Messungen ist. Der obere Teil der T-Anordnung erlaubt die präzise Erfassung der vom Wellenkamm ausgeübten Kräfte, während der untere Teil des T den Effekt des Gaseinschlusses aufzeichnet, der zwischen Welle und Wand ‚gefangen‘ sein kann.“ Ezeta zufolge habe die Forschung bereits gezeigt, dass diese Gaseinschlüsse – zusätzlich zu den Kräften, die von den Wellenkämmen verursacht werden – nicht vernachlässigt werden dürfen und eine schädigende Wirkung auf den Container ausüben können.

Synchronisierte Signale von 100 Sensoren

Dank ihrer hohen Eigenfrequenz und der kurzen Ansprechzeit sind die Drucksensoren von Kistler dazu in der Lage, die



„Wir sind sehr zufrieden mit der Lösung von Kistler. Sie ist verlässlich und robust und arbeitet fehlerfrei.“

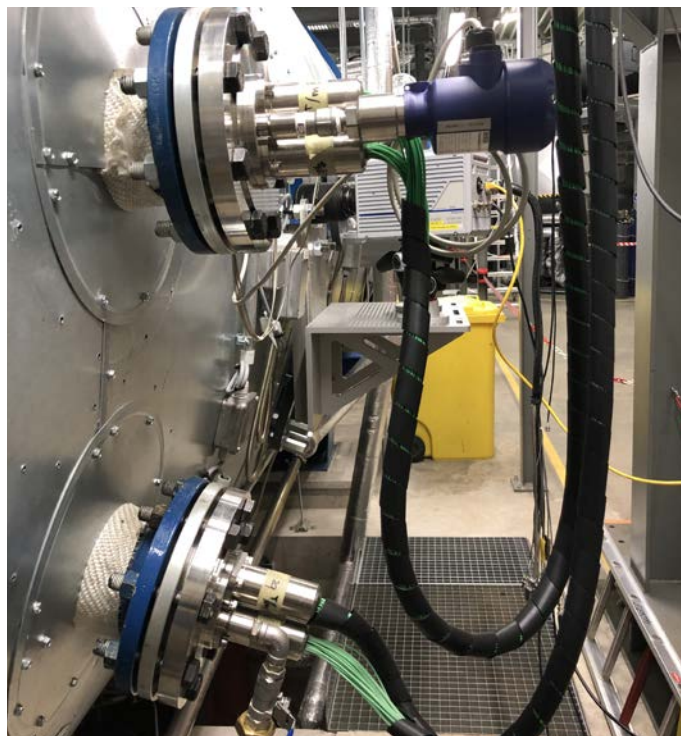
Rodrigo Ezeta, Forschung & Entwicklung bei MARIN
r.ezeta@marin.nl

hochdynamischen Sloshing-Ereignisse im Inneren des Messkanals zu erfassen. Sie verfügen außerdem über eine optimierte Membran, die den Thermoschock beim plötzlichen Übergang von Gas zu Flüssigkeit minimiert. Um Rauschen und Verzerrungen zu vermeiden, haben die Ingenieure von Kistler eine spezielle Kabellösung entwickelt, die die Signale aus der Testkammer durch eine Vaku- umröhre nach draußen, also außerhalb des Autoklav-Behälters überträgt. Signalverarbeitung und Datenerfassung werden dann von 25 automatisch synchronisierten Ladungsverstärkern LabAmp 5165A übernommen, die die Signale aller 100 Drucksensoren direkt mit einer Abtastrate von 100 kSps digitalisieren. „Wir sind sehr zufrieden mit der Lösung von Kistler. Sie ist verlässlich und robust und arbeitet fehlerfrei“, berichtet Ezeta.

Welche Hauptziele verfolgt MARIN mit „The Atmosphere“ und welche Ergebnisse sind zu erwarten? „Die Anlage ist erst seit Anfang 2020 vollständig in Betrieb, das heißt wird sind noch am Anfang unserer Forschung. Eines der großen Ziele ist es, die Skaliermodelle zu verbessern, die die Industrie bisher benutzt“, erklärt Ezeta. Aktuell werden Sloshing-Tests meist mit einem kleinen Tank durchgeführt, der auf einem Hexapod bewegt wird, um das Schwappen zu simulieren. Beim Hochrechnen der Sloshing-Dynamik auf reale Größen treten jedoch Abweichungen in den Testresultaten auf, bedingt durch die zugrundeliegenden physikalischen Mechanismen. Ezeta weiter: „Eines unserer Forschungsziele ist es also, die Ungenauigkeit beim Hochrechnen zu reduzieren. Eine zentrale Frage ist: Warum schwankt der Druck so stark?“ Das sind Schlüsselfaktoren für das Auftreten von Sloshing und damit auch für die Konstruktion von Tanks innerhalb von Schiffen.

Resultate auch für das Design von Wasserstofftanks nützlich

„Die bisherige Forschung hat bereits gezeigt, dass es wichtig ist, alle physikalischen Parameter und Effekte zu berücksichtigen“, betont Ezeta. „Unsere Ergebnisse geben Unternehmen ein besseres



Individuelle Kabellösung von Kistler für die Drucksensoren im Autoklav-Behälter „The Atmosphere“ (links) im Forschungsinstitut MARIN in Wageningen (Niederlande).

Exakte Druckmessung in rauen Umgebungen

- Schnelles Ansprechen, hohe Empfindlichkeit und Eigenfrequenz
- Optimierte Membran reduziert Thermoschock
- Sehr weiter Betriebstemperatur-Bereich (-196°C bis +350°C)
- Druckbereich bis 250 bar (3626 psi)
- Varianten mit Ladungs- (PE) oder Spannungsausgang (IEPE) verfügbar



Die sehr kompakten Sensoren mit einem Durchmesser von nur 5 mm können zur optimalen Anpassung an die Anwendung mit verschiedenen Gehäusen, Adaptern und Kabeln montiert werden.

Verständnis darüber, was in ihren Tanks passiert, so dass sie ihre Testmethoden verbessern können. Nicht zuletzt bereitet unsere Forschung den Weg für eine neue Art von Tankern, die Wasserstoff statt Erdgas transportieren.“ In der Theorie ist Wasserstoff noch nachhaltiger als Erdgas, weil dessen Verbrennung keinerlei Treibhausgase freisetzt. Jedoch liegt die Temperatur zur Verflüssigung von Wasserstoff mit 33 Kelvin sehr niedrig (entspricht -253°C unter Atmosphärenbedingungen). Der weltweit erste Flüssigwasserstoff-Tanker wird voraussichtlich 2021 in Betrieb gehen. Rodrigo Ezeta fasst seine Erfahrungen mit der Messtechnik wie folgt zusammen: „Wir sind sehr zufrieden mit der Zusammenarbeit mit Kistler und sind gespannt auf viele erfolgreiche Tests mit den Sensoren, die für ihre Beständigkeit und Stabilität über lange Zeit bekannt sind. Wir halten auch laufend Ausschau nach neuen Partnern im akademischen und industriellen Umfeld, wo die ATM mit ihren einzigartigen Eigenschaften genaue Messungen liefern kann. Unsere Atmosphäre ist offen für jeden!“

Genau synchronisierte, schnell verarbeitete Signale

Der LabAmp 5165A von Kistler ist ein dynamischer Labor-Ladungsverstärker mit integrierter Datenerfassung für piezoelektrische Sensoren. Die wichtigsten Eigenschaften:

- Geringes Rauschen
- 24-bit A/D-Umwandlung
- Hohe Abtastraten (bis zu 200 kSps pro Kanal)
- Universelle Eingänge (Ladung, IEPE, Spannung)
- Weiter Frequenz- und Ladungsbereich
- Flexible Skalierung der analogen Ausgänge
- Hohe Kanalzahlen möglich dank PTP-Gerätesynchronisation

Die hohe Abtastrate in Kombination mit Skalierbarkeit und exzellenter Signalqualität machen den 5165A zur perfekten Wahl für diese herausfordernde 100-Kanal-Anwendung.





Kistler Group
 Eulachstrasse 22
 8408 Winterthur
 Schweiz

Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter www.kistler.com

Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf www.kistler.com

KISTLER
 measure. analyze. innovate.