

Numerische Untersuchungen an Rechteckbehältern aus SIMONA Hohlkammerplatten

Numerical analyses of rectangular tanks made from SIMONA twin-wall sheets

Dr.-Ing. Ingo Kurzhöfer, LGA Bautechnik GmbH, Nürnberg; Dipl.-Ing. (FH) Marco Stallmann, SIMONA AG, Kirn

Zusammenfassung

Die SIMONA Hohlkammerplatte ist ein Struktur-Leichtbauelement, welches durch seinen geschweißten Aufbau aus thermoplastischen Halbzeugen für den Einsatz im chemischen Behälter- und Apparatebau konzipiert wurde. Die Platte ist in den DIBt-zugelassenen Formmassen SIMONA PE-HWU-B, SIMONA PP-DWU-AlphaPlus und in der schwer entflammaren Variante SIMONA PPs erhältlich und besitzt im Vergleich zu Vollthermoplast-Platten die gleiche Steifigkeit bei etwa halbem Flächengewicht.

Nach strukturierten Materialprüfungen wurden für Behälter aus SIMONA Hohlkammerplatten zunächst statische Einzelnachweise mittels der „Finite Elemente Methode“ (FEM) erstellt. Auf Grundlage dieser statischen Berechnungen wurden Testbehälter zu Praxisversuchen und Validation der Simulation gebaut. Nach diesen Abgleichen wurden verschiedene Behältergrößen definiert und mithilfe der FEM berechnet, welche für die Applikation von Hohlkammerplatten im Behälterbau ohne zusätzliche Stahlverstärkungen sinnvoll sind. Diese FEM-Berechnungen wurden vom Institut für Statik der LGA Bautechnik GmbH in Nürnberg durchgeführt und dienten schließlich als Basis für die Programmierung eines Berechnungstools für Behälter aus Hohlkammerplatten. Dieses Tool wurde von der Firma Ingsoft exklusiv für SIMONA programmiert und wird zur Berechnung statischer Abschätzungen und prüffähiger Nachweise im Technical Service Center (TSC) des Hauses als Dienstleistung für Kunden angeboten.

1. Einführung

Im Behälterbau mit thermoplastischen Halbzeugen hat sich in der Vergangenheit neben der Konstruktion von Rundbehältern auch die Konstruktion von Rechteckbehältern mit zusätzlicher Stahlverstärkung etabliert. Die Stahlverstärkung von Rechteckbehältern ist nötig, um der kompletten Konstruktion die notwendige statische Standsicherheit zu geben, während das weniger steife Kunststoffmaterial seine Vorteile zur chemischen Widerstandsfähigkeit und auch zur Gesamtwirtschaftlichkeit gegenüber einem Stahlbehälter voll ausspielen kann. Gerade im Bereich des Lagerns, Abfüllens und Umschlagens von Chemikalien sind Kunststoffbehälter, beispielsweise aus Polyethylen oder Polypropylen unverzichtbar geworden.

Auch im Kunststoff-Behälterbau geht der Trend mittlerweile weiter zum Leichtbau. Einsparpotenziale durch Verbesserungen im Verhältnis von Steifigkeit zu Gewicht müssen gefunden werden, um Kosten sowohl an Material als auch Konstruktion einsparen zu können und somit wichtige Wettbewerbsvorteile erschließen zu können. Genau hier wird mit der Hohlkammerplatte angesetzt. Mit dieser Platte konnte ein Struktur-Leichtbauelement entwickelt werden, dessen Steifigkeits-Gewichtsverhältnis gegenüber einer handelsüblichen Massivplatte um einen Faktor 2 verbessert werden konnte. Die Hohlkammerplatte besteht aus den

Summary

The SIMONA twin-wall sheet is a lightweight structural element. Based on its welded construction using semi-finished thermoplastics, it has been designed for use in chemical tank and equipment engineering. The sheet is available in the DIBt-approved moulding compounds SIMONA PE-HWU-B, SIMONA PP-DWU-AlphaPlus and in the low-flammability variant SIMONA PPs, and has the same rigidity as thermoplastic sheets, with around half the weight per unit area.

After structured material tests, individual structural verifications were first of all prepared for tanks comprising SIMONA twin-wall sheets, using the "Finite Element Method" (FEM). On the basis of these structural calculations, test tanks were manufactured for practical tests and simulation validation. After these alignments, the FEM was used to define and calculate different tank sizes which are suitable for the application of twin-wall sheets in tank construction without additional steel reinforcements. These FEM calculations were carried out by the Institut für Statik, LGA Bautechnik GmbH in Nuremberg, and ultimately served as the basis for programming a calculation tool for tanks comprising twin-wall sheets. This tool was programmed exclusively for SIMONA by Ingsoft and is offered as a service for customers for the calculation of structural assessments and verifiable proof in the company's Technical Service Center (TSC).

After structured material tests, individual structural verifications were first of all prepared for tanks comprising SIMONA twin-wall sheets, using the "Finite Element Method" (FEM). On the basis of these structural calculations, test tanks were manufactured for practical tests and simulation validation. After these alignments, the FEM was used to define and calculate different tank sizes which are suitable for the application of twin-wall sheets in tank construction without additional steel reinforcements. These FEM calculations were carried out by the Institut für Statik, LGA Bautechnik GmbH in Nuremberg, and ultimately served as the basis for programming a calculation tool for tanks comprising twin-wall sheets. This tool was programmed exclusively for SIMONA by Ingsoft and is offered as a service for customers for the calculation of structural assessments and verifiable proof in the company's Technical Service Center (TSC).

in the field of chemical storage, filling and handling.

At the same time, the trend towards lightweight construction is also continuing in the field of plastic tank building, the aim being to identify savings potential by improving the rigidity-to-weight ratio, with the express purpose of streamlining costs in both material and construction and creating significant competitive advantages.

It is precisely here that the twin-wall sheet comes into its own. With this sheet a lightweight structural element has been developed, with a rigidity-weight ratio improved by a factor of 2 in comparison with a standard solid sheet. The twin-wall sheet comprises standard materials that are well-established in this sector, with proven processability. The sheet is designed for use in tank construction, with the aim of replacing time-consuming and costly steel rein-



Dr.-Ing. Ingo Kurzhöfer

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202676
 profile: www.joining-plastics.info/?id=202676

ingo.kurzhoefer@lga.de



Dipl.-Ing. (FH) Marco Stallmann

Profil: www.fuegen-von-kunststoffen.de/?id=202677
 profile: www.joining-plastics.info/?id=202677

marco.stallmann@simona.de

1. Introduction

Within the area of tank building based on thermoplastic semi-finished products, the construction of rectangular tanks with additional steel reinforcement is considered a well-established method, as is the design of circular tanks. The steel reinforcement of rectangular tanks is needed to give the complete construction the necessary structural stability, while the less rigid plastic material proves its advantages in respect of chemical resistance and overall cost-efficiency, in comparison with a steel tank. Plastic tanks comprising polyethylene or polypropylene, for example, have become indispensable particularly

bekannt und in diesem Bereich gängigen Werkstoffen mit bekannter, guter Verarbeitbarkeit. Sie ist konzipiert für den Einsatz im Behälterbau mit dem Ziel, zeit- und kostenaufwändige Stahlverstärkungen zu substituieren. Die Hohlkammerplatte kann somit ihrem Verwender einen erschließbaren Wettbewerbsvorteil sichern.

2. SIMONA – Hohlkammerplatten

Neben dem optimierten Verhältnis von Gewicht zu Steifigkeit bieten Hohlkammerplatten darüber hinaus ausgezeichnete Schall- und Wärmeisolationseigenschaften. Die folgenden design- und kunststoffspezifischen Vorteile sprechen für den Einsatz der Hohlkammerplatte:

- Rechteckbehälter ohne Stahlverstärkung baubar
- Geringeres Gewicht bei gleicher Steifigkeit im Vergleich zu Tafeln aus Vollmaterial
- Exzellente Schallisolation (DIN EN ISO 140-3)
- Hohe Gleiteigenschaften und geringer Verschleiß
- Hohe Bruch- und Biegefestigkeit
- Thermische Isolation (U-Werte verfügbar)
- Elektrische Isolation
- Hohe chemische Beständigkeit
- Beständigkeit gegenüber Mikroorganismen
- Geringe Wasseraufnahme
- Exzellente Verarbeitungsmöglichkeiten

Die SIMONA Hohlkammerplatte besteht aus zwei Deckschichtplatten und einer variablen Anzahl von Stegen zwischen diesen. Die Platte ist materialtechnisch durchweg homogen – es handelt sich um eine geschweißte Konstruktion aus Deckplatten und Stegen. Bild 1 zeigt das Prinzip.

Diese Konstruktion, welche theoretisch in einzelne I-Profile zerlegbar ist, besitzt eine wesentlich höhere Steifigkeit gegenüber Vollmaterial gleicher Dicke ($2 \cdot s_2$). Das Flächenträgheitsmoment der Hohlkammerplatte setzt sich aus den Flächenträgheitsmomenten der Deckschichten zuzüglich des Flächenträgheitsmomentes der mindestens 41 mm hohen Stege (die Steghöhe geht in die Berechnung mit dritter Potenz ein) zusammen. In Zusammenhang mit der Anbindung der Stege an die Deckschicht mittels einer Schweißung hoher Festig-



Bild 1: Schematischer Aufbau der SIMONA Hohlkammerplatte

Figure 1: Schematic layout of SIMONA twin-wall sheet

keit ist dies Grundlage für ein stabiles und besonders steifes Leichtbaukonstrukt. Dieses ist durch Variation der Deckschichten in einem Bereich von 5 bis 10 mm und zusätzliche Höhenvariation der Stege (von 41 bis 100 mm) sowie einer im Raster von 54 mm wählbaren Anzahl der Stege pro Meter Plattenbreite in seiner Stabilität zusätzlich modifizierbar. Eine Anpassung an kundenspezifische Anforderungen ist somit innerhalb der genannten Variationsmöglichkeiten gegeben.

Um das Lieferprogramm zu komplettieren und dem Kunden ein vollständiges System anbieten zu können sind auch stumpfgeschweißte, fertige Eckelemente verfügbar. Diese Art der Schweißung garantiert einerseits maximale Festigkeit (Langzeitschweißfaktor $f_s = 0,8$) und ermöglicht andererseits eine optimale Wirtschaftlichkeit. Durch den Einsatz vorgefertigter Eckelemente spart der Anwender erheblichen Zeit- und Fertigungskosten auf.

Für die Verarbeitung der Hohlkammerplatten gibt es einige produktbedingte Besonderheiten:

- Für das Heizelementstumpfschweißen ist ein Heizelement von mindestens 70 mm Höhe erforderlich
- Der Spannabstand der Stumpfschweißbank muss mindestens 60 mm betragen
- Beim Extrusionsschweißen (Bodenanbindung) ist es erforderlich, eine Wurzel mit 3 mm PE-HWU-B Schweißdraht vorzuschweißen
- Das A-Maß sollte verdoppelt werden ($A = 0,7 \cdot 2 \cdot s$)
- Beim Stumpfstoß per Extrusionsschweißen wird eine Füllung des Hohlraumes benötigt, um den nötigen Gegendruck für das Extrudat aufzubauen.

Um die mechanischen Eigenschaften der Hohlkammerplatte zu untersuchen, wurden verschiedene Tests durchgeführt. Dabei hat der 3-Punkt-Biegeversuch die höchste Praxisrelevanz. Er ermöglicht Rückschlüsse auf das Deformationsverhalten in beiden möglichen Belastungsrichtungen der anisotropen Platte.

forcements. It can thus provide its users with a tangible competitive advantage.

2. SIMONA twin-wall sheets

In addition to the optimised weight-to-rigidity ratio, twin-wall sheets also offer excellent sound and heat insulation values.

The following design and plastic-specific advantages underline the benefits of twin-wall sheets:

- Rectangular tanks can be manufactured without steel reinforcement
- Lower weight with rigidity comparable to that of solid sheets
- Excellent sound insulation (DIN EN ISO 140-3)
- Superior slip properties and low wear
- High break resistance and flexural strength
- Thermal insulation (U values available)
- Electrical insulation
- High chemical resistance
- Resistance to microorganisms
- Low water absorption
- Excellent fabrication capabilities

The SIMONA twin-wall sheet consists of two outer skins (i.e. the top/cover sheets) with a variable number of webs (i.e. stiffening elements) in between. The sheet material composition is homogeneous throughout – it comprises a welded construction of outer skins and webs. Fig. 1 shows the principle.

This construction, which can theoretically be broken down into individual I-profiles, has a much higher rigidity in comparison with solid material of the same thickness ($2 \cdot s_2$). The areal moment of inertia of the twin-wall sheet consists of the area moments of inertia of the outer skins plus the area moment of inertia of the min. 41 mm high webs (the web height is included in the calculation with a power of three). In conjunction with the connection of the webs to the outer skin by means of a high-strength weld, this provides the foundation for a stable and particularly rigid lightweight construction. The stability of this construction can be addi-

tionally modified by varying the outer skins within a range of 5 to 10 mm and through additional height variations of the webs (from 41 to 100 mm), as well as a selectable number of webs in a grid of 54 mm per meter sheet width. Adaptation to customer-specific requirements is thus possible within the specified range of variation.

In order to complete the product range and to be able to offer customers a complete system, ready-made butt-welded corner elements are also available. This type of welding guarantees maximum strength on the one hand (long-term weld factor $f_s = 0,8$), whilst enabling optimum cost-efficiency on the other. The use of prefabricated corner elements saves the user considerable time and production costs.

When fabricating twin-wall sheets, the following requirements must be taken into account, depending on the product:

- A filament of at least 70 mm high is required for heated-tool butt welding
- The clamping distance of the butt welding bench must be at least 60 mm
- When extrusion welding (creating the base), it is necessary to pre-weld a root with a 3 mm PE-HWU-B welding rod
- The A-dimension should be doubled ($A = 0,7 \cdot 2 \cdot s$)
- When making a butt joint by means of extrusion welding, the cavity must be filled in order to create the necessary counter-pressure for the extrusion product.

Various tests have been conducted in order to study the mechanical properties of twin-wall sheets. The 3-point bending test is most relevant to practical applications. It allows conclusions to be drawn about the deformation behaviour in both possible load directions of the anisotropic sheet.

The test results allow rigidity equivalences to be inferred between twin-wall sheets and solid sheets, enabling initial structural estimates. The diagram in Figure 3 shows the result for a twin-wall sheet with outer skins 6 mm thick and 19 webs.

The diagram shows that the tested twin-wall sheet has a higher level of rigidity at 20°C than a PE-HWU-B solid sheet with a thickness of 40 mm (weight per unit area: twin-wall sheet: 20.4 kg/m², PE-HWU 40 mm: 38.2 kg/m², (factor 1.9)). This is of key importance to light-

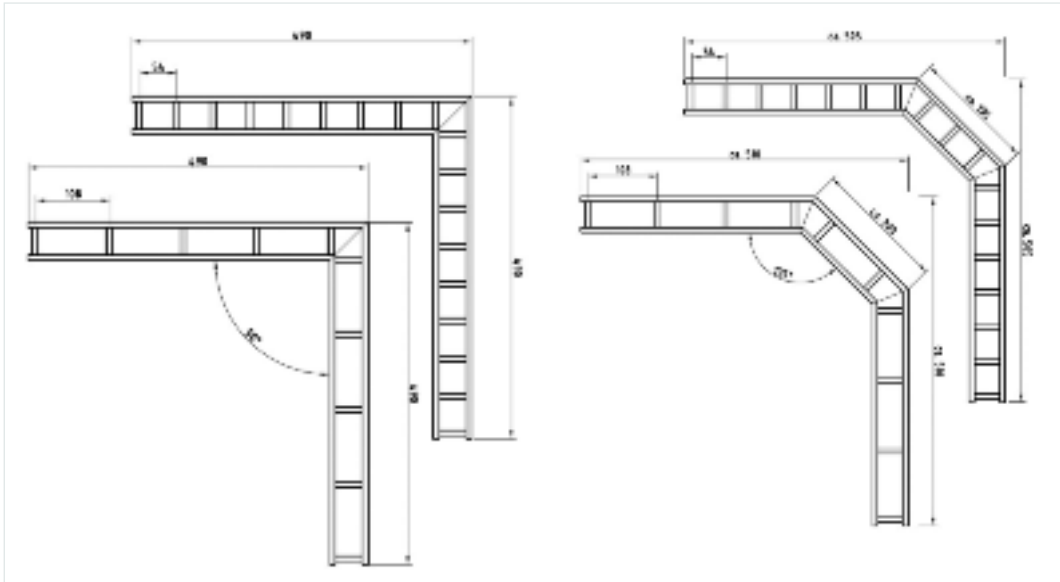


Bild 2: Eck-Elemente aus SIMONA Hohlkammerplatten (2 x 45° und 1x 90°)

Figure 2: Corner elements made from SIMONA twin-wall sheets (2 x 45° and 1x 90°)

Die entsprechenden Testergebnisse erlauben nun, Äquivalenzen hinsichtlich der Steifigkeit zwischen Hohlkammerplatte und Vollplatte zu ziehen, womit erste statische Abschätzungen getätigt werden können. Das Diagramm in Bild 3 zeigt ein solches Ergebnis für eine Hohlkammerplatte mit 6 mm dicken Deckschichten und 19 Stegen.

Das Diagramm zeigt, dass die gepuffte Hohlkammerplatte bei 20°C eine größere Steifigkeit besitzt als eine PE-HWU-B Vollplatte von 40 mm Dicke (Flächengewicht: Hohlkammerplatte: 20,4 kg/m², PE-HWU 40 mm: 38,2 kg/m², (Faktor 1,9)). Dies ist die zentrale Aussage, die im Bereich Leichtbau zielführend ist: eine Gewichtseinsparung (hier fast Faktor 2) des Leichtbauproduktes gegenüber dem massiven Produkt. Die obig geprüfte Hohlkammerplatte bietet folglich die gleichen Steifigkeitswerte wie eine 40 mm dicke Massivplatte bei gerade einmal der Hälfte deren Gewichtes.

3. Konstruktion eines Muster-Behälters aus SIMONA – Hohlkammerplatten

Auf Basis der ersten statischen Berechnung durch die LGA Bautechnik GmbH, Nürnberg, wurde im Hause SIMONA ein Musterbehälter nach exakt gleichen konstruktiven Vorgaben gebaut. Dieser Musterbehälter dient zum einen als Demonstrationsobjekt und zum andern als Messobjekt zur Validation der vorhandenen Berechnungsergebnisse. Dieser Musterbehälter ist ein Lagerbe-

hälter für Wasser (T = 25°C) mit den Maßen 4.000 x 1.500 x 1.500 mm bei einer Füllhöhe von 1.400 mm. Er wurde aus PE-Hohlkammerplatten mit 8 mm dicken Deckschichten und 19 Stegen pro Meter gefertigt. Als Boden dient eine 20 mm dicke PE-HWU-B – Platte, der Deckel besteht ebenfalls aus Hohlkammerplatten. Zur Minderung der Deformation über der Längsseite sind zusätzlich 2 „Zuganker“ in Form von 20 mm dicken PE-HWU-B – Platten, 1.000 x 1.500 mm im Abstand von ca. 1.330 mm im Behälterinneren eingeschweißt. So gelingt es, Deformationen und Span-

weight construction: a weight saving (here almost a factor of 2) in the lightweight product versus the solid product. The twin-wall sheet tested above consequently offers the same rigidity values as a 40 mm thick solid sheet, with just half of its weight.

3. Construction of a sample tank made from SIMONA twin-wall sheets

Based on the initial structural calculations by LGA Bautechnik GmbH Nuremberg, a sample tank was built at SIMONA with exactly the same struc-

tural specifications. This sample tank serves as a demonstration object on the one hand, and on the other as a measuring object for the purpose of validating the existing calculation results.

The sample tank is a water storage tank (T = 25°C) with dimensions 4000 x 1500 x 1500mm and a filling level of 1400mm. It was manufactured from PE twin-wall sheets with 8mm thick outer skins and 19 webs per meter. The base is a 20mm thick PE-HWU-B sheet, and the top is also made from twin-wall sheets. In order to reduce the deformation across the long side, two "tie rods" in the form of 20mm thick PE-HWU-B sheets, 1000 x 1500mm, with a spacing of approx. 1330mm, are also welded into the tank interior; this makes it possible to keep deformations and stresses in an area tenable for the material.

The sample tank has been on SIMONA AG's external site since September 2008. A regular measurement of the existing deformation is carried out at the recorded measuring points, and constantly reconciled with the FEM calculation.

5. Structural calculations and proof of stability

The structural analyses of the tanks comprising twin-wall sheets are performed with the Finite Element Method

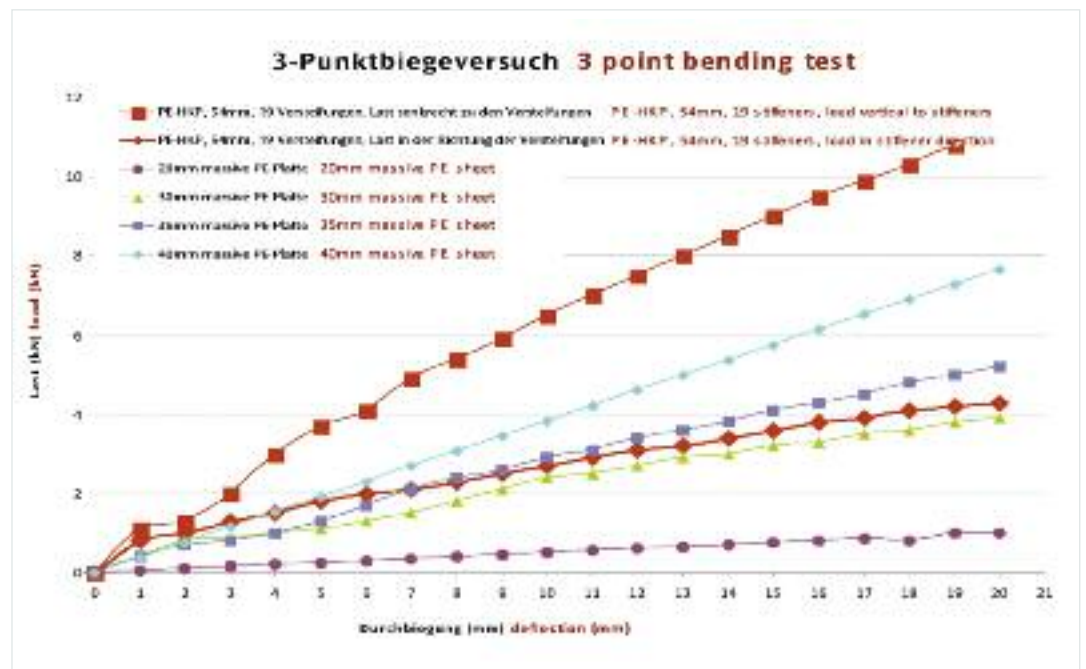


Bild 3: Vergleich der Durchbiegung Hohlkammerplatte vs. massive Platte

Figure 3: Deflection comparison of twin-wall sheet vs. solid sheet

nungen in einem für das Material vertretbaren Bereich zu belassen.

Der Musterbehälter steht seit September 2008 auf dem Außengelände der SIMONA AG. An den aufgezeichneten Messpunkten findet eine regelmäßige Messung der vorhandenen Deformation statt, welche mit der FEM-Berechnung stetig abgeglichen wird.

5. Statische Berechnungen und Standsicherheitsnachweise

Die statischen Untersuchungen der Behälter aus Hohlkammerplatten werden mithilfe der Methode der finiten Elemente (FEM) durchgeführt. Die FEM ist ein numerisches Näherungsverfahren, welches die Modellierung und Berechnung von Strukturen und Bauteilen zulässt, die nicht oder nur unzureichend durch analytische Simulationstechniken beschrieben werden. Der mechanischen und thermischen Problemstellung der vorgestellten Untersuchungen liegt ein Satz von partiellen Differentialgleichungen zugrunde, die nicht ohne weiteres direkt geschlossen lösbar sind. Im Allgemeinen werden variationelle Formulierungen in Verbindung mit Diskretisierungsverfahren zur numerischen Lösung solcher komplexen Aufgabenstellungen eingesetzt. Das verbreitetste und flexibelste Diskretisierungsverfahren stellt die hier eingesetzte Methode der finiten Elemente dar. Die Grundidee beruht auf der Zerlegung des zu analysierenden Körpers in endlich viele Teilgebiete, in denen die gesuchten Feldfunktionen durch geeignete Ansatzfunktionen angenähert werden. Die FEM stellt in der heutigen Zeit ein unverzichtbares Werkzeug zur numerischen Lösung von komplexen, ingenieurwissenschaftlichen Problemstellungen in der Strukturmechanik dar. Sie ermöglicht es, dass verschiedene Belastungsfälle (mechanisch, thermisch, elektrisch etc.) und ihre Kombinationen an einem einzigen Modell untersucht werden können. Tests am realen Bauteil werden auf ein notwendiges Maß reduziert.

Die Aufstellungssituation der Behälter aus Hohlkammerplatten wird durch die Struktursimulation eines dreidimensionalen Berechnungsmodells abgebildet. Die Geometrieapproximation der Hohlkammerplatten erfolgt über viereckige Schalenelemente, welche die realen Wanddicken in den einzelnen Bereichen des Behälters mit berücksichtigen. Der



Bild 4: Musterbehälter aus PE-Hohlkammerplatten

Figure 4: Sample tank made from PE twin-wall sheets

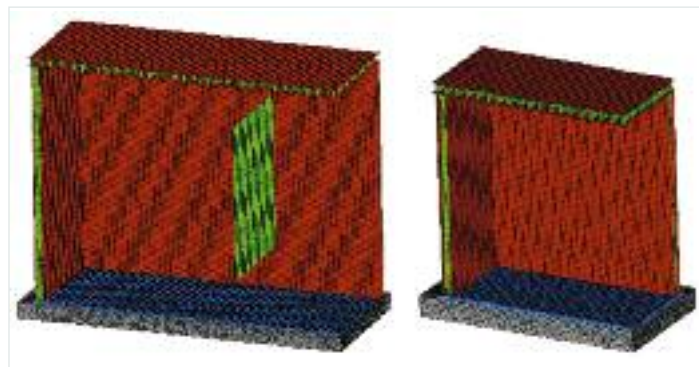


Bild 5: Zwei Behälter als FE-Modelle mit Details wie Bodenplatte und Zugankern

Figure 5: Two tanks as FE models with details such as bottom plate and tie rods

Boden der Behälter sowie der Auflagerboden werden über Volumenelemente abgebildet. Es erfolgt die Simulation eines repräsentativen Satzes von unterschiedlichen Behältergrößen, die alle über das gleiche Grundgerüst der Modellierung verfügen.

Bild 5 zeigt exemplarisch zwei Viertel (Ausnutzung der Symmetrie) unterschiedlicher Behältergrößen, welche den numerischen Berechnungen zugrunde liegen. Die unterschiedlichen Einfärbungen der Elemente zeigen verschiedene Elementtypen mit differenzierten Eigenschaften wie Plattendicke und/oder Materialparameter.

Zwischen der Bodenplatte des Behälters und dem simulierten Untergrund wird eine reibungsfreie Kontaktbeziehung definiert. Für alle durchgeführten Berechnungen erfolgt eine geometrisch nichtlineare Kontaktberechnung, in deren Rahmen alle Belastungen iterativ gesteigert werden. Für die thermischen Untersuchungen wird zunächst eine sta-

mechanics. It enables the analysis of different load cases (mechanical, thermal, electrical etc.) and their combinations using one single model. Tests on the real component are reduced to the essential.

The installation situation of the tanks comprising twin-wall sheets is represented through the structural simulation of a three-dimensional calculation model. The geometrical approximation of the twin-wall sheets is carried out using square shell elements, which take account of the real wall thicknesses in the individual sections of the tank. The base of the tank and the supporting floor are modelled by volume elements. A representative set of different tank sizes, which all have the same modelling substructure, is simulated.

Figure 5 shows an example of two quarters (symmetry utilisation) of different tank sizes, which provide the basis for the numerical calculations. The different colours of the elements indicate different element types with differentiated characteristics, such as, for example, sheet thickness and/or material parameters. A friction-free contact relationship is defined between the bottom plate of the tank and the simulated subsurface. For all calculations performed, a geometrically non-linear contact calculation is made and all loads are iteratively increased. For the thermal analyses, a static examination is carried out first of all, with specification of the temperature difference between the interior and exterior of the tank. These temperatures can subsequently be applied to the model, and a thermomechanically coupled calculation is triggered. The geometry of the grids is refined during the calculations until two consecutive calculations show the same convergent result.

In order to create an analytical substitute model for the calculation of deformations and stresses in the various tank geometries, a significant quantity of tanks is numerically simulated. A differentiating factor here is that from a certain tank size tie rods must also be provided.

Many different variables and setting options will be available and possible in the analytical calculation tool to be created. These variations require new calculations and analyses with different boundary conditions, as well as combi-

tionäre Betrachtung unter Vorgabe der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenseite des Behälters ausgeführt. Im weiteren Verlauf können die so gefundenen Temperaturen auf das Modell aufgebracht werden und es wird eine thermomechanisch gekoppelte Berechnung angesteuert. Die Geometrie der Netze wird während der Berechnungen solange verfeinert bis bei zwei aufeinanderfolgenden Berechnungen das gleiche, konvergente Ergebnis vorliegt. Zur Erstellung eines analytischen Ersatzmodells für die Berechnung der Verformungen und Spannungen in den unterschiedlichen Behältergeometrien wird ein aussagekräftiger Umfang von Behältern numerisch simuliert. Ein Unterscheidungsmerkmal ist dabei, dass ab einer gewissen Behältergröße zusätzlich Zuganker angeordnet werden.

Im zu erstellenden analytischen Berechnungstool werden viele unterschiedliche Variablen und Einstellungsmöglichkeiten vorhanden und möglich sein. Diese Variationen erfordern jeweils neue Berechnungen und Untersuchungen mit unterschiedlichen Randbedingungen und zusätzlich die Kombination der Berechnungsergebnisse. Als variable Eingangsgrößen für die Berechnung sind vorgegeben:

- 2 Materialien: PE 80 (PE-HWU-B) oder PP-H (PP-DWU AlphaPlus)
- 3 Deckschichtdicken: 8 mm, 10 mm oder 6 mm
- Variable Dichte des Füllmediums zwischen 10 kN/m³ und 12 kN/m³
- Variabler Temperaturunterschied zwischen innen und außen von maximal 40 Kelvin

Es werden aus der Vielzahl der numerischen Berechnungen die für die Nachweise nach DVS 2205-1 benötigten Ergebnisse ausgelesen. Das geforderte Sicherheitsniveau muss eingehalten werden.

Da eine konkrete Norm oder Richtlinie, die die Standsicherheitsnachweise von Behältern aus Hohlkammerprofilen regelt, bisher fehlt, beziehen wir uns bei den Nachweisen auf ein globales Sicherheitskonzept, wie es etwa bei Vollwandbehältern nach DVS 2205 zum Einsatz kommt. Die Berechnung der Behälter erfolgt in Anlehnung an die gültigen Regelwerke auf der Basis von Langzeitwerten (Material, Belastung etc.). Unabhängig von der Belastung werden die drei notwendigen Nachweise (Verfor-

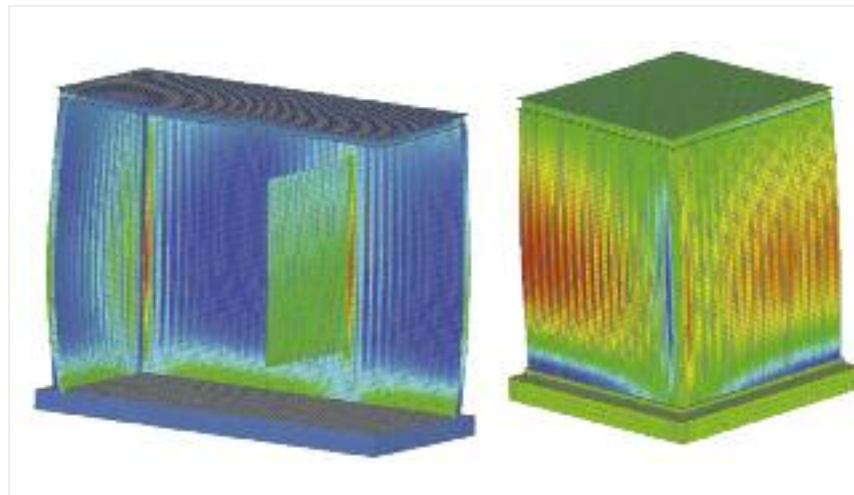


Bild 6: Schematischer Verlauf der maximalen und minimalen Hauptspannungen in zwei Behältern unterschiedlicher Ausführung

Figure 6: Schematic distribution of the maximum and minimum principal stresses in two tanks with different designs

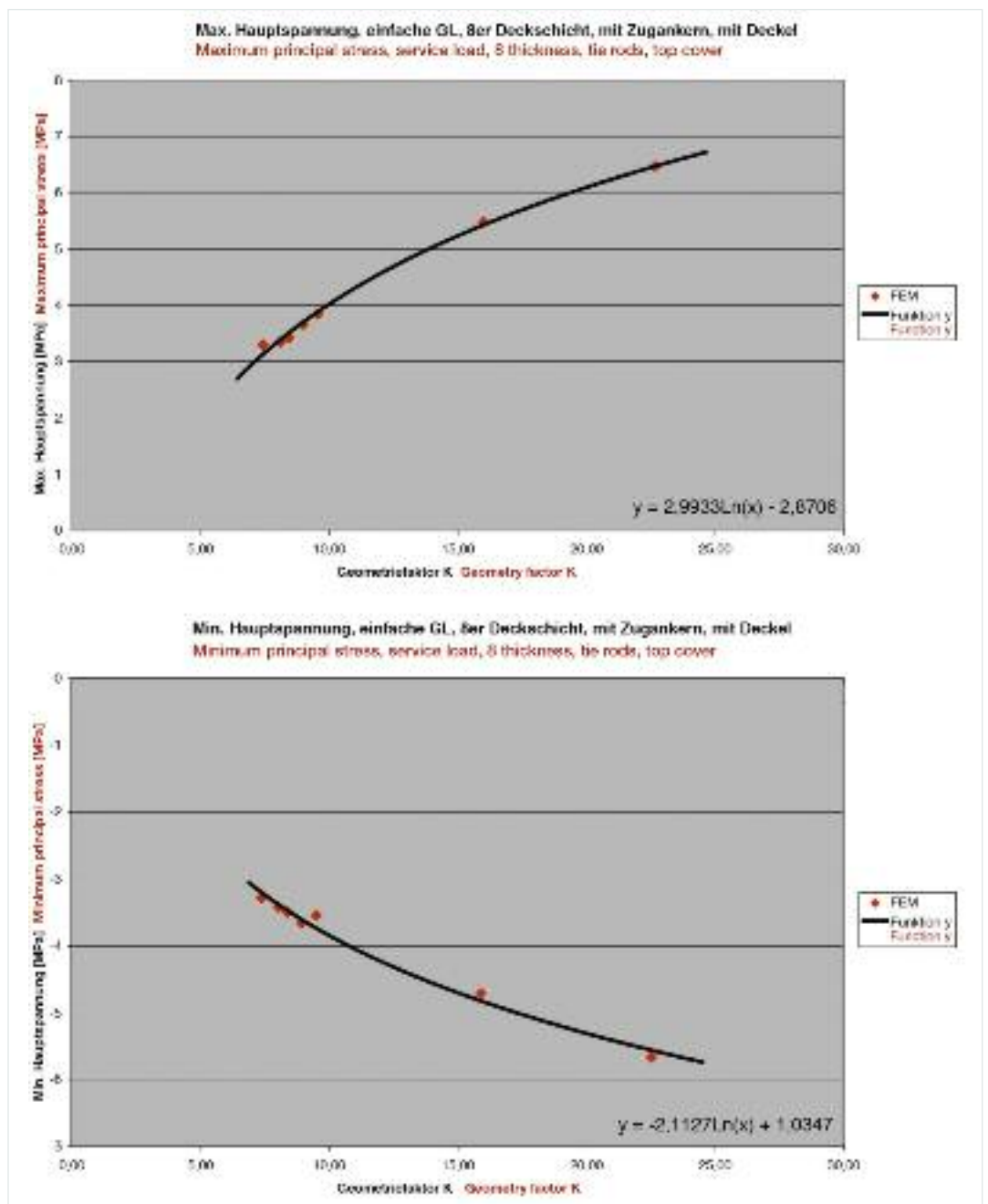


Bild 7: Annäherung der maximalen und minimalen Hauptspannung durch stetige Funktionen in Abhängigkeit des Geometriefaktors K

Figure 7: Approximation of maximum and minimum principal stress through continuous functions depending on geometry factor K



Bild 8: Auszug aus der Eingabemaske des Berechnungsprogramms. Die Eingangsparameter der numerischen Untersuchungen können im Programmsystem variiert werden.

Figure 8: Extract from the input screen of the calculation program. The input parameters for the numerical analyses can be varied in the program system.

mung, Spannung und Stabilität) geführt. Die verwendeten Materialgesetze der Kunststoffe berücksichtigen die Einflüsse der Standzeit, der Temperatur während der Beanspruchungszeit sowie die spannungsabhängige Steifigkeit. Exemplarisch werden in Bild 6 anhand von zwei Behältern schematisch die numerischen Ergebnisse für die maximalen und minimalen Hauptspannungen dargestellt.

6. Analytische Ersatzmodelle und Entwicklung eines Berechnungstools

Ziel ist es anhand der vielen unterschiedlichen FEM-Berechnungen analytische Ersatzmodelle zu entwickeln, die es ermöglichen anhand der Eingangsparameter eine Aussage über die Standsicherheit der Behälter aus Hohlkammerplatten zu treffen. Die Auswertung der Deformation erfolgt in Anlehnung an die DVS 2205 Teil 5. Aufgrund der Berechnungsergebnisse der Behälterverformungen ist es möglich eine Ersatzwanddicke einer gleichwertigen Vollwandplatte für die simulierten Behältergeometrien anzugeben. Die Berechnung der Durchbiegung erfolgt nach DVS 2205 Teil 5. Bei der Auswertung der Spannungen in den Behältern ist auffällig, dass jeder Wert der Spannungen

abhängig von der Gesamtgeometrie des Behälters ist. Es sind sowohl Höhe als auch Breite sowie die Länge für die Gestaltung des Ersatzmodells zu berücksichtigen. Die analytische Begutachtung hat gezeigt, dass man durch die geschickte Wahl eines selbst definierten Geometriefaktors stetige Ausgleichskurven durch die gefundenen Ergebnisse legen kann, die die numerischen Simulationen sehr genau widerspiegeln. Im Folgenden werden die mechanischen Auswertungen der analytischen Ersatzmodelle exemplarisch dargelegt. Bild 7 zeigt beispielhaft die durch FEM-Simulationen gefundenen Ausgleichsfunktionen für die maximale und die minimale Hauptspannung eines Beispielbehälters aus PE 80 (PE-HWU-B) mit Zugankern. Durch die Wahl des Geometriefaktors K werden die gefundenen numerischen Ergebnisse durch die angegebenen logarithmischen Funktionen sehr genau approximiert. Es besteht nun die Möglichkeit ohne zusätzliche FEM Berechnungen eine fundierte Aussage über die maximalen Verformungen und Spannungen in Hohlkastenbehältern mit unterschiedlichen Abmessungen und Gestaltungsmerkmalen zu treffen. Dazu müssen lediglich die definierten Geometriefaktoren aus den Daten des Behälters abgeleitet werden.

der Berechnungsergebnisse. Die folgenden variable input parameters are specified for the calculation:

- Two materials: PE 80 (PE-HWU-B) or PP-H (PP-DWU AlphaPlus)
- Three outer-skin thicknesses: 8 mm, 10 mm or 6 mm
- Variable density of the filling medium between 10 kN/m³ and 12 kN/m³
- Variable temperature difference between inside and outside of maximum 40 Kelvin

The results necessary for the verifications according to DVS 2205-1 are retrieved from the multitude of numerical calculations. The required safety level must be complied with.

As no concrete standard or guideline yet exists for regulating the proof of stability for tanks made from twin-wall profiles, we refer to a global safety concept as used, for example, for solid-wall tanks in accordance with DVS 2205, for these verifications. The tank calculations are performed in accordance with the valid regulations on the basis of long-term values (material, load etc.). The three necessary verifications (deformation, stress and stability) are performed independent of load. The material laws used for the plastics take account of the influences of service life, temperature during the stress period and the stress-dependent rigidity.

Examples of the numerical results for the maximum and minimum principal stresses are schematically represented in Figure 6, using two different tanks.

6. Analytical substitute models and development of a calculation tool

The aim is to use the many different FEM calculations to develop analytical substitute models that enable a conclusion to be drawn about the stability of tanks made from twin-wall sheets, based on the input parameters. The deformation evaluation is carried out in accordance with DVS 2205 Part 5. On the basis of the calculation results for the tank deformations, it is possible to specify an equivalent wall thickness for an equivalent solid wall sheet for the simulated tank geometries. The deflection is calculated in accordance with DVS 2205 Part 5. In the evaluation of the stresses in the tanks, it is noticeable that all values for the stresses are dependent on the overall tank geometry. Height, width and length must be taken into account in the design of the substitute model. The analytical appraisal has shown that, through clever selection of a self-defined geometry factor, it is possible to plot continuous compensating curves through the obtained results, which very precisely reflect the numeric simulations. The following diagrams show examples of the mechanical evaluations of the analytical substitute.

Figure 7 shows an example of the compensating functions found through FEM simulations for the maximum and minimum principal stress of an example tank comprising PE 80 (PE-HWU-B) with tie rods. By selecting the geometry factor K, the obtained numerical results are very precisely approximated through the specified logarithmic functions. It is now possible to draw a sound conclusion about the maximum deformations and stresses in twin-wall tanks with different dimensions and design features, without additional FEM calculations. The defined geometry factors simply need to be derived from the tank data for this purpose. The substitute models are then evaluated, and it is thus possible to assess the stability of the tanks under the fundamental boundary conditions. The function-based evaluation is performed for all mechanical and thermal variables and their combinations.

Danach erfolgt die Auswertung der Ersatzmodelle und man ist in der Lage die Standsicherheit der Behälter unter den zugrunde gelegten Randbedingungen zu beurteilen. Die Auswertung mit Hilfe von Funktionen wird für alle mechanischen und thermischen Variablen und ihre Kombinationen durchgeführt.

Auf der Basis der analytischen Ersatzmodelle wurde von der Firma Ingsoft, Nürnberg, ein Berechnungsprogramm entwickelt. Bild 8 visualisiert einen Auszug aus der Eingabemaske des Programms.

Die Software ermöglicht dem Anwender, die Standsicherheit der Behälter aus Hohlkammerplatten zu beurteilen und Trag- bzw. Gebrauchsfähigkeitsnachweise durchzuführen. Dabei sind die vielfältigen Eingangsgrößen, die bei den FEM-Berechnungen berücksichtigt wurden im Programmsystem variabel gehalten. Der Anwender kann nach Eingabe verschiedenartiger Randbedingungen, die nach den aktuell gültigen Normen und Regelwerken erforderlichen Nachweise führen. Das Berechnungstool liefert nach Eingabe aller notwendigen Eingangsparameter ein prüffähiges statisches Dokument.

Dieses Berechnungstool wird exklusiv als Dienstleistung für Kunden angeboten und genutzt, womit das System der SIMONA Hohlkammerplatte komplettiert ist.

Denn SIMONA bietet ihren Kunden ein Komplettpaket aus Platten, Eckelementen, Verarbeitungshinweisen und Trainingsmöglichkeiten sowie einer fundierten Berechnungsgrundlage hierzu an, um in den avisierten Applikationen mit Hilfe dieses Leichtbau-Systems effektiv Kosten einzusparen und nachhaltig Wettbewerbsvorteile zu sichern.

7. Ausblick

Die vorstehend beschriebenen numerischen und praktischen Untersuchungen zur SIMONA Hohlkammerplatte stellen nicht nur die Grundlage für das beschriebene und entwickelte Berechnungstool dar, sondern sind auch unabdingbare Grundlage für die Weiterentwicklung des Produktes. Hierzu sind beispielhaft neue Anwendungen und eine Erweiterung des bisherigen Einsatzbereiches zu erwähnen. Die fruchtbare Zusammenarbeit zwischen SIMONA und der LGA Bautechnik GmbH bietet sicherlich die Grundlage hierfür.

A calculation program has been developed by Ingsoft in Nuremberg/Germany on the basis of the analytical substitute models. Figure 8 shows an extract from the program's input screen.

The software enables the user to assess the stability of tanks comprising twin-wall sheets and to perform load-bearing capacity and serviceability verifications. The many different input values which have been taken into account in the FEM calculations are stored as variables in the program system. After the input of various boundary conditions, the user can provide the necessary verifications in accordance with the currently valid standards and regulations. After input of all necessary input parameters, the calculation tool delivers a verifiable structural document. This calculation tool is offered and used exclusively as a service for customers, completing the SIMONA twin-wall sheet system.

SIMONA offers its customers a complete package of sheets, corner elements, fabrication instructions and training options, as well as an established basis of calculation, enabling effective cost savings in the relevant applications with the help of this lightweight system and long-term protection of competitive advantages.

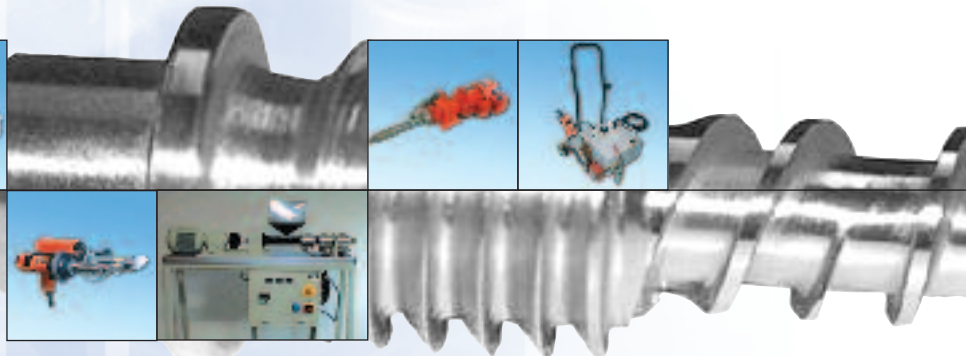
7. Outlook

The numerical and practical studies on SIMONA twin-wall sheets described above not only provide the basis for the developed calculation tool as described, but are also an indispensable foundation for the further development of the product. New applications and an expansion of the previous field of application can be cited as examples in this regard. The solid collaboration between SIMONA and the LGA Bautechnik GmbH undoubtedly provides the foundation for this development.

HSK
Kunststoff Schweisstechnik GmbH



Extrusionsschweißmaschinen
Manual Welding Extruders



HSK Kunststoff Schweisstechnik GmbH
Am Turm 9
D-53721 Siegburg
Germany

Tel.: +49 (0)22 41-5 27 27
Fax: +49 (0)22 41-5 54 05
E-mail: info@schweissextruder.de
Internet: www.schweissextruder.de

