

OPG Holding GmbH

Carl-Zeiss-Straße 4, 79331 Teningen



Abschlussbericht zur Projektphase 1:

Umweltschonendes Verfahren und Werkzeug für ein flexibel im Bereich 10.000 l bis 100.000 l skalierbares Kunststoff Großtank-Baukastensystem zur Speicherung von Regen- und Brauchwasser

(Kurztitel: „Jumbo-Tanksystem“)

Phase 1: Konzeption des neuen Spritzguss-/Spritzprägeprozesses sowie der neuen Spritzguss-/Spritzprägewerkzeuge


Art des Berichtes:

Abschlussbericht zum Vorhaben mit dem Aktenzeichen 31811, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt



Verfasser: Otto P. Graf

Teningen im März 2015

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	31811-21/2	Referat	Fördersumme € 109.750,00		
Antragstitel	Umweltschonendes Verfahren und Werkzeug für ein flexibel im Bereich 10.000 l bis 100.000 l skalierbares Kunststoff Großtank-Baukastensystem zur Speicherung von Regen- und Brauchwasser				
Stichworte	Kunststoff-Spritzguss, Regenwasserspeicher, modular, Tanksegmente, Baukasten				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
9 Monate	28.05.2014	27.02.2015	2		
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger	OPG Holding GmbH Carl-Zeiss-Str. 4 79331 Teningen			Tel	07641 589-20
				Fax	07641 589-55822
				Projektleitung Otto P. Graf	
Bearbeiter					
Kooperationspartner	Graf Plastics GmbH Carl-Zeiss-Str. 4 79331 Teningen				
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens					
<p>Die Wiederverwendung von Trink-, Regen- oder Oberflächenwasser in mittelständischen Industriebetrieben, landwirtschaftlichen Betrieben sowie Wohn- bzw. Bürogebäuden und Hotelanlagen scheitert an den hohen Investitionskosten sowie dem hohen Montage- und Logistikaufwand für den Einbau der praktisch ausnahmslos aktuell für die Speicherung von Wasser verwendeten Stahl- bzw. Beton-Großtanks.</p> <p>Ziel des geplanten FuE-Projektes ist die Entwicklung eines umweltfreundlichen, d.h. ressourcen- und energieschonenden Spritzguss-/Spritzpräge-Fertigungsverfahren und Werkzeugs, das im Gegensatz zum Stand der Technik eine Steigerung des Recyclingmaterialanteils von aktuell 70 % auf zukünftig 100 % sowie des Schussgewichtes von aktuell ≤ 100 kg auf weltweit erstmals bis 150 kg ermöglicht. Weiter sollen im Vergleich zum aktuell für die Herstellung von Kunststoff-Großtanks etablierten Rotationsgussverfahren Materialeinsparungen von 30 % und Energieeinsparungen von > 50 % erzielt werden. Ein weiteres Ziel besteht in der Entwicklung eines modularen Konzeptes für ein flexibel mit Volumen von 10.000 l bis 100.000 l dimensionierbares Kunststoff Großtank-Baukastensystem</p> <p>Ziel der für den Zeitraum 28.05.2014 – 27.02.2015 bewilligten Phase 1 ist die Konzeption des neuen Spritzguss-/Spritzprägeprozesses sowie der neuen Spritzguss-/Spritzprägewerkzeuge. Als Ergebnis von Phase 1 soll eine Entscheidung zum 2- oder 3-teiligen Aufbau der Zylindermodule sowie zur Fertigung im Spritzguss- bzw. Spritzprägeprozess getroffen worden sein. Weiter soll eine Entscheidung zu dem für das modulare Tanksystem verwendeten Dichtungskonzept (Verbindung der Tanksegmente mittels Dichtungen oder Schweißen) vorliegen.</p>					
<p>Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de</p>					

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Gesamtprojekt ist in 2 Phasen unterteilt:

- Phase 1 des FuE-Projektes beinhaltet die Konzeptentwicklungen der segmentierten Tankzylindermodule, zugehöriger Werkzeuge, der Logistik, der Dichtungstechnik, des Modulkonzeptes für das neue Großtanksystem sowie zugehörige Werkstoffuntersuchungen an Recyclingmaterialien.
- Projektphase 2 wird die Entwicklung und Konstruktion des modularen Großtanksystems sowie der Tanksegmente und Werkzeuge beinhalten. Darüber hinaus sind die Entwicklung der Dichtungs- bzw. Schweißtechnik sowie der Aufbau und die Erprobung von Demonstratoren für das modulare Großtanksystem in Labor- und Feldversuchen. Ebenfalls werden in Phase 2 die Materialien und Prozesse entwickelt.

Ergebnisse und Diskussion

Projektphase 1 wurde Anfang 2015 erfolgreich abgeschlossen. Es wurden Konzepte für die Realisierung eines neuartigen, modular aufgebauten und in der Folge nahezu beliebig skalierbaren Großtanksystems entwickelt. Dies betrifft insbesondere Konzepte zur Segmentierung der inneren Tankzylinder sowie der Tankenden, Konzepte zur festen Verbindung und langzeitstabilen Abdichtung des Großtanks durch ein vor Ort einsetzbares Schweißverfahren sowie den modularen Gesamtaufbau. Im Zuge von Phase 1 des Projektes wurden wegweisende Grundsatzentscheidungen getroffen, die in Projektphase 2 weiterverfolgt werden sollen. Es wurde verifiziert, dass es weiterhin zielführend ist, die Tankkomponenten aus einem 100 % aus Recyclingmaterial bestehenden Polymer-Compound herzustellen.

Die ursprünglich anvisierte, aus Durchschnittswerten berechnete CO₂-Einsparung kann voraussichtlich weiterhin erreicht werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Zurzeit befindet sich das Projekt in der Planung und Vorbereitung der 2. Projektphase. Veröffentlichungen sind erst nach Abschluss der 2. Phase vorgesehen. Sondierungsgespräche mit potenziellen Partnerunternehmen (weltweit) finden bereits statt.

Fazit

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse der 1. Phase wird derzeit die 2. Projektphase geplant und soll in der Zukunft ebenfalls zur Förderung beantragt werden.

Gegenstand der im Anschluss an die in diesem Antrag bearbeitete Phase 1 geplante Projektphase 2 ist die Entwicklung und Konstruktion der Spritzguss-/Spritzprägewerkzeuge sowie die Entwicklung, Erprobung und Verifikation der erforderlichen Schweißverfahren. Hierdurch sollen zum Projektabschluss erhebliche Vorteile sowohl in Bezug auf die Umwelt (Energieverbrauch, CO₂-Emissionen, Treibstoffverbrauch in der Logistik) als auch Wirtschaftlichkeit (Minimierung der Produktionskosten und Verbesserung der Qualität) nachgewiesen werden. Das Projekt soll so einen wichtigen Beitrag zur Bereitstellung von Tanksystemen und damit einer verbesserten Wassernutzung in Deutschland und auch dem Rest der Welt leisten.

Inhaltsverzeichnis

PROJEKTKENNBLOTT	1
VERZEICHNIS VON BILDERN, ZEICHNUNGEN, GRAFIKEN UND TABELLEN	4
1. ZUSAMMENFASSUNG	5
2. EINLEITUNG	6
3. ENTWICKLUNGSARBEITEN UND ERREICHTE ERGEBNISSE	8
FAZIT	22

Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

Abbildungsverzeichnis:

Abb. 1: Abdichtungsprofil in der Entwicklung (hier Schweißung), horizontaler Verlauf der Abdichtung (links), vertikaler Verlauf der Abdichtung (rechts)	8
Abb. 2: CARAT Tank mit 2 Halbschalen (links); zusammengesetzte Tankelemente (rechts)	9
Abb. 3: Großtanksystem zur Verdeutlichung der Abmessungen.....	10
Abb. 4: Prozessschema bei der Herstellung von Granulat aus PE-Recyclingmaterial	10
Abb. 5: In Projektphase 2 für Schussgewichte bis 150 kg entwicklungs-technisch umzurüstende Spritzgussanlage	11
Abb. 6: Konzepte für Zylinderelement aus 2 Halbschalen (links) und Zylinderelement aus 3 Drittelschalen (rechts).....	12
Abb. 7: T-förmiges Gummi-Gummi-Dichtungskonzept (links); zugehöriges Verbindungskonzept (rechts).....	16
Abb. 8: Offene Nut (links), eingedrücktes Dichtungsprofil (rechts).....	17
Abb. 9: Tankviertel // Ausschnitt Dichtungsprofil Schnittfläche (links), zusammengesetztes Tanksegment mit Schrauben und Klammern (rechts).....	17
Abb. 10: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 2 Halbschalen.....	20
Abb. 11: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 2 Halbschalen, zusammengeschnitten.....	20
Abb. 12: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 3 Halbschalen.....	21
Abb. 13: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 3 Halbschalen, zusammengeschnitten.....	21

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Vor- und Nachteile des Konzeptes für 2-Segment-Zylindermodule	12
Tabelle 2: Vor- und Nachteile des Konzeptes für 3-Segment-Zylindermodule	12
Tabelle 3: Unterschiede in den Prozessen Spritzguss und Spritzprägen	15

1. Zusammenfassung

In Phase 1 des Förderprojektes wurden neuartige Konzepte für ein komplett modular aufgebautes, skalierbares Großtankssystem entwickelt.

Die durchgeführten Arbeiten betreffen die Entwicklung von:

- Materialkonzepten
- Konzepten zur Segmentierung von Tankmodulen
- Verbindungs- und Dichtungskonzepten
- Baukonzepten für den skalierbaren Großtank
- Logistikkonzepten

Die Entwicklungsarbeiten wurden abschließend analysiert und insbesondere hinsichtlich einer weltweiten Einsetzbarkeit und Umsetzung vor Ort bewertet.

Im Ergebnis zeigte sich, dass es aus Gründen der Vereinfachung der Vor-Ort-Montage zielführend sein wird ein Konzept aus 2 Segmenten für die Tankinnenbereiche und einteiligen Tankenden zu verfolgen.

Schweißverbindungen weisen nach derzeitiger Sicht ein höheres Potenzial hinsichtlich Akzeptanz, Dichtigkeit, Druckbeständigkeit und Langzeitstabilität auf.

Hinsichtlich einzusetzender Schweißverfahren sollte für die Zukunft ein zweigeteilter Ansatz weiterverfolgt werden und in die für Phase 2 geplanten Entwicklungs- und Konstruktionsarbeiten für Formgebungswerkzeuge und Tankkomponenten einfließen.

In Materialversuchen wurde verifiziert, dass voraussichtlich ein Polymercompound aus 100 % Recyclingmaterial für die Herstellung der Komponenten des neuartigen, modular aufgebauten Großtanksystems eingesetzt werden kann.

Die in Phase 1 durchgeführten Arbeiten lassen derzeit den Rückschluss zu, dass die im Antrag angegebenen, aus Durchschnittswerten berechneten, möglichen CO₂-Einsparungen von mehreren 10.000 t CO₂ erreicht werden können und eine Fortführung des Projektes weltweit einen erheblichen Umweltnutzen im Bereich der Einsparung von Primärenergie und vor allem auch von Wasser mit sich bringen wird.

2. Einleitung

Sauberes Wasser ist eine lebenswichtige und zunehmend knapper werdende Ressource. In den westlichen Industrieländern werden täglich ca. 124 l (Deutschland) bis 500 l (Schweiz) Trinkwasser bzw. ca. 700 l Brauchwasser pro Person „verbraucht“. Für die Herstellung von 1 t Kunststoff werden ca. 500.000 l, von 1 t Papier ca. 400.000 l bzw. zur Produktion von 1 t Stahl ca. 200.000 l Wasser verbraucht. In der Landwirtschaft werden für die Produktion von 1 kg Rindfleisch ca. 20.000 l Wasser vor allem zur Bewässerung von Wiesen und Feldern sowie für die Viehtränkung benötigt. In der Energiewirtschaft werden ca. 130.000 m³ Kühlwasser / h zur Kühlung der Turbinen in einem Kraftwerk verbraucht. In industriellen, landwirtschaftlichen und energietechnischen Anwendungen kann Brauch- und Trinkwasser u.a. für die Reinigung, Kühlung oder Bewässerung oft mehrmals verwendet und dadurch in erheblichem Umfang sauberes Trink-, Regen- oder Oberflächenwasser eingespart werden.

Aktuell werden für die Speicherung von Wasser praktisch ausnahmslos Stahl-Schweiß-Konstruktionen bzw. aus Beton gefertigte Großtanks eingesetzt. Eine gravierendes Problem und Hemmnis für die Wiederverwendung von Trink-, Regen- oder Oberflächenwasser entsteht durch die hohen Investitionskosten sowie den hohen Montage- und Logistikaufwand für den Einbau von Stahl- bzw. Beton-Großtanks:

Investitionskosten: Durch das vergleichsweise teure Stahl-Material und die aufwendige schweißtechnische Herstellung aus Blechen bzw. Rohrsegmenten entstehen hohe Investitionskosten bei der Beschaffung von Stahl-Großtanks.

Logistik und Montagekosten: Weiter entstehen hohe Kosten durch den aufwendigen Transport sowie Kran-unterstützten Einbau von Stahl- und Betontanks mit Volumen bis 100.000 l, d.h. Tankdurchmesser bis zu 3 m, Tanklängen bis 16 m und Gewichten bis zu 12 t. Aufgrund des monolithischen Aufbaus, der großen Abmessungen sowie des hohen Gewichtes ist der Transport zum Aufstellungsort und Einbau von Stahl- und Beton-Großtanks mit Volumen bis 100.000 l nur mit Spezialtransportern und Schwerlast-Kränen möglich. Der notwendige Einsatz von Spezialfahrzeugen begrenzt den Transport von Stahl- und Beton-Großtanks auf max. 500 km Radius vom Herstellungsort.

Neben Stahl- und Betontanks sind auch vorzugsweise aus PE (Polyethylen) gefertigte Kunststoff-Tanks auf dem Markt verfügbar. Bedingt durch die existierenden Herstellungsverfahren und Dimensionen der Werkzeuge ist das Volumen dieser monolithischen Kunststoff-Großtanks zurzeit jedoch auf maximal 10.000 l begrenzt. Neben geringen Materialkosten und Gewicht bieten die Verfahren zur Herstellung von Kunststoff-Großtanks großes Potenzial zur kostengünstigen Fertigung der Tanks in großen Stückzahlen sowie zum Transport von Tanks bzw. Zylindersegmenten über große Entfernungen.

Mit dem vorliegenden Projekt sollte eine abschließende Bewertung erfolgen, ob dieses Potenzial durch die Entwicklung eines neuartigen, seecontainertauglichen, modular aufgebauten und skalierbaren Großtanksystems, inklusive zugehöriger Fertigungs- und Dichtungskonzepte gehoben werden kann. Ebenfalls sollte untersucht und bewertet werden, ob dabei gleichzeitig der Anteil an verwendetem Recyclingmaterial auf bis zu 100 % erhöht werden kann.

Zur Realisierung des neuen material- und energieeffizienten Fertigungsverfahrens sowie des modularen Konzeptes für die Herstellung von Kunststoff-Großtanks mit flexibel dimensionierbarem Volumen von 10.000 bis 100.000 l waren die folgenden Lösungsansätze geplant:

1. Als Lösungsansatz wurden im FuE-Projekt Recyclingmaterial-Aufbereitungs- und Qualitätssicherungsverfahren entwickelt, die eine Steigerung des Kunststoff-Recyclinganteils aus dem „gelben Sack“ auf zukünftig 100 % ermöglichen.

2. Ein weiterer Lösungsansatz bestand in der Entwicklung eines neuen modularen Behälterkonzeptes, das durch die Verbindung von jeweils aus 2 bzw. 3 Zylindersegmenten bestehenden Tankmodulen sowie die Montage von Tankböden an den Stirnseiten flexibel für Tankvolumina von 10.000 l bis 100.000 l dimensioniert werden kann.
3. Ebenfalls war die Entwicklung eines Dichtungskonzeptes zur leckagefreien Verbindung von Zylindersegmenten, Tankmodulen und Tankböden, über einen Zeitraum von > 50 Jahre geplant. Konkret war im FuE-Projekt die Entwicklung einer horizontalen Dichtung für die zuverlässige Dichtung und Verbindung der aufeinandergesetzten Tank-Segmente sowie einer radialen Dichtung für die Verbindung und Abdichtung der Tankmodule bzw. Tankböden an den Tankrumpf-Stirnflächen vorgesehen. Alternativ zu dem Dichtungsverfahren sollten Kunststoff-Schweißverfahren in Bezug auf ihre Eignung für die leckagesichere Verbindung der Segmente und Module im FuE-Projekt untersucht werden. Es wurden u.a. Extruder-, IR-, Heizdrahtschweißverfahren, usw. in Bezug auf ihre Eignung sowie die einfache Handhabung im FuE-Projekt untersucht und ein geeignetes Dichtungs- bzw. Schweißverfahren für die Verbindung der Tanksegmente und Tankmodule ausgewählt.
4. Ein weiterer Lösungsansatz bestand in der Entwicklung eines neuen Logistikkonzeptes, das erstmals ein platzsparendes Stapeln von bis zu 16 Tanksegmenten auf einer Palette bzw. den Transport von gestapelten Zylindersegmenten in Containern ohne relevante plastische Verformung der Zylindersegmente ermöglicht. Durch dieses neu geplante Logistikkonzept sollten Transportkosten-Einsparungen von > 85 % erzielt und erstmals der weltweite Transport von Großtankssystemen ermöglicht werden.

3. Entwicklungsarbeiten und erreichte Ergebnisse

3.1. Vorversuche

Im Projektverlauf wurden zahlreiche Vorversuche mit bestehenden Tanks durchgeführt. Ziel der Voruntersuchungen war es eine optimale Funktion der Abdichtung, wie sie gegenwärtig eingesetzt wird auf zweiteilige Tanks bei denen die Dichtungen nicht nur horizontal, sondern gleichzeitig auch vertikal zu übertragen und damit ein optimal abgedichtetes Tanksystem zu erhalten. Dabei zeigte sich insbesondere die Abdichtung der einzelnen Knotenbereiche, wo sich horizontale und vertikale Dichtungsprofile (siehe Abb. 1) treffen als problematisch. Genau an diesen Knotenstellen ist ein ausreichender Kraftübertrag nur schwer zu erreichen. Vertiefende Betrachtungen zur Überwindung dieser Problematik wurden in Arbeitspaket 3 angestellt.

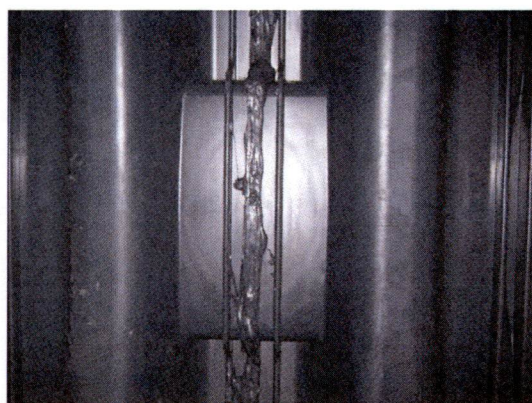


Abb. 1: Abdichtungsprofil in der Entwicklung (hier Schweißung), horizontaler Verlauf der Abdichtung (links), vertikaler Verlauf der Abdichtung (rechts)

Auf Basis des Herkules-Tanks (1.600 l Tank) mit einer umlaufenden Profildichtung also mit horizontaler Dichtlinie sowie mit den CARAT-Tanks (= ein Tanksystem mit 2.700 l bis 6.500 l) ebenso mit einer horizontalen Dichtlinie, wurden verschiedene Testreihen durchgeführt, um Konzepte für alternative Dichtungsmöglichkeiten des neu geplanten Jumbo-Großtanksystems zu finden.

Für die Testreihen wurden CARAT-Tanks (6.500 l) zunächst vertikal vom Tankboden abgetrennt (siehe Abb. 2, links). Im Anschluss wurden die erhaltenen Tankelemente in den Testreihen wieder miteinander verschweißt. Auf diese Weise wurden erste Erkenntnisse hinsichtlich des Handling beim Schweißen von Einzelteilen in den entsprechenden Dimensionen sowie der Erfordernisse eines zugehörigen Schweißverfahrens an sich gewonnen (siehe Abb. 2, rechts).



Abb. 2: CARAT Tank mit 2 Halbschalen (links); zusammengesetzte Tankelemente (rechts)

Dabei wurden 3 der in Frage kommenden Schweißverfahren als umsetzbar beurteilt:

- Spiegelschweißen
- Infrarotschweißen
- Extruderschweißen

Es wurden Schwierigkeiten identifiziert, die im zukünftigen Projektverlauf beim Einsatz dieser Schweißverfahren zu überwinden sein werden:

1. Spiegelschweißen
 - a. Spiegeldimension (Herstellung und Handling)
 - b. Verschmutzung des Spiegels durch fest anhaftende Kunststoffreste
 - c. Temperaturregelung an einem Spiegel der benötigten Größe
2. Infrarotschweißen
 - a. Einfluss der Ebenheit von Bauteilen/Komponenten, da kein Druck ausgeübt wird
 - b. Hohe Empfindlichkeit des Prozesses gegenüber Durchzug- und Konvektionsluft
3. Extruderschweißen
 - a. Passende Positionierung der Teile untereinander, sodass der Vorschub für die Schweißnaht sicher gewährleistet ist
 - b. Handling und Bewegung der sehr großen Bauteile (siehe Abb. 3) während des Schweißprozesses



Abb. 3: Großtanksystem zur Verdeutlichung der Abmessungen

Begleitend wurden Voruntersuchungen zur Aufbereitung bzw. Verarbeitung von PE-Recyclingmaterial durchgeführt. In den durchgeführten Untersuchungen konnten die notwendigen Prozessschritte für das Erreichen der notwendigen Homogenität und Qualität des Recyclingmaterials ermittelt werden. Diese sind:

- Eine gute Durchmischung des Eingangsmaterials in großen Siloanlagen
- Homogenisierung des Materials durch Compounding während der Granulatherstellung
- Weitere Durchmischung des Granulats in Speichersilos aus Aluminium
- Permanente Qualitätskontrolle während jedes Prozessschritts

Die zugehörige Prozesskette ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

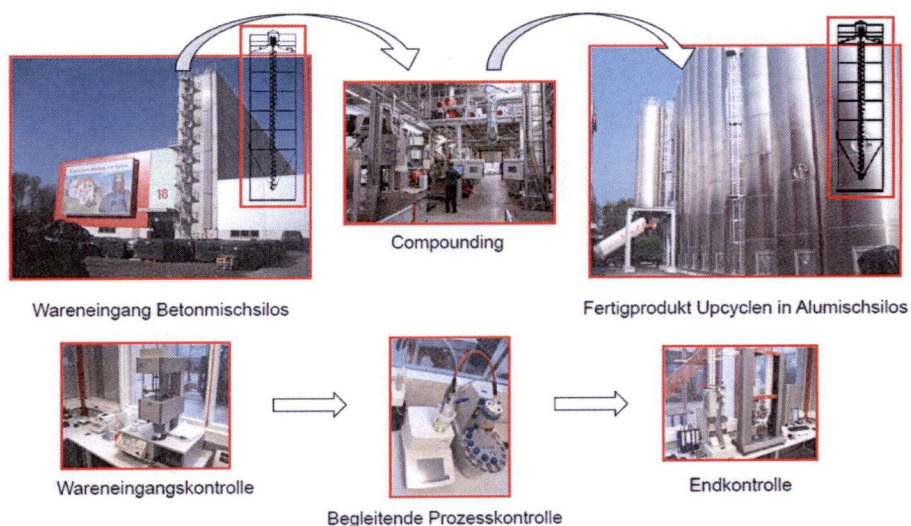


Abb. 4: Prozessschema bei der Herstellung von Granulat aus PE-Recyclingmaterial

Abschließend wurde im Zuge der Voruntersuchungen ermittelt auf welche Weise Schussgewichte von bis zu 150 kg Material mit der vorhandenen Spritzgussanlage (siehe Abb. 5) verarbeitet werden können. Dabei wurden die nachfolgenden Ansätze identifiziert:

- Modifikation der Anlage durch einen zusätzlichen „shooting pot“
- Installation einer zusätzlichen, parallel geschalteten Plastifiziereinheit
- Einbau einer größeren Plastifiziereinheit
- Anpassung des Handlingsystems und der Anlagenperipherie

Die dafür notwendigen Entwicklungen und Maßnahmen sollen in der für die Zukunft geplanten Projektphase 2 durchgeführt und umgesetzt werden.



Abb. 5: In Projektphase 2 für Schussgewichte bis 150 kg entwicklungs-technisch umzurüstende Spritzgussanlage

3.2. Entwicklung Konzept für 2 oder 3 Segment-Zylindermodule

In diesem Arbeitspaket wurden zunächst die Konzepte für zweiteilig und dreiteilig segmentierte Tankzylindermodule entwickelt. Die entwickelten Konzepte sind in der folgenden Abbildung 3 dargestellt.



Abb. 6: Konzepte für Zylinderelement aus 2 Halbschalen (links) und Zylinderelement aus 3 Drittelschalen (rechts)

Daraufhin wurden die Vor- und Nachteile eines 2- bzw. 3-Segmentkonzeptes hinsichtlich Kosten, Abdichtung, Logistik und Herstellung der Segmente detailliert analysiert und bewertet. Die Analysen hinsichtlich erforderlicher Werkzeugeigenschaften wurden durch zahlreiche Gespräche mit infrage kommenden Werkzeugherstellern untermauert. Die Gegenüberstellung ist in den folgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile des Konzeptes für 2-Segment-Zylindermodule

Vorteile	Nachteile
Kostenbetrachtung: Bessere Maschinenauslastung, weniger Fertigungszyklen pro m³ Volumen, geringere Stückkosten	Kostenbetrachtung: Hohe Komplexität des Werkzeuges, hohe Werkzeugkosten
Technologische Betrachtung: Weniger Dichtnähte, nur horizontale Dichtnähte, zeitlich und technisch weniger Aufwand bei der Montage am Zielort	Logistische Betrachtung: Schlechtere Ausnutzung des Seecontainers, Limitation auf Seecontainer-Innenmaß (2,30 m), LKW-Transport ermöglicht 2,50 m, Tankvolumen pro laufenden Meter um 18 % geringer

Tabelle 2: Vor- und Nachteile des Konzeptes für 3-Segment-Zylindermodule

Vorteile	Nachteile
Kostenbetrachtung: Geringere Maschinenauslastung, mehr Fertigungszyklen pro m³ Volumen, höhere Stückkosten	Kostenbetrachtung: Geringere Komplexität des Werkzeuges, geringere Werkzeugkosten
Technologische Betrachtung: Mehr Dichtnähte, horizontale und vertikale Dichtnähte, zeitlich und technisch höherer Aufwand bei der Montage am Zielort	Logistische Betrachtung: bessere Ausnutzung des Seecontainers, Limitation auf Seecontainer-Innenmaß (2,30 m) nicht limitierend Tankvolumen pro laufenden Meter höher

Basierend auf den vorgenommenen Betrachtungen wurden weitere Kosten-Nutzen-Betrachtungen angestellt, um die schlussendliche Entscheidung für ein 2- oder 3-Segment-Konzept treffen zu können.

Der entscheidende Punkt für den Erfolg oder Misserfolg des vorliegenden Projektes ist es, die neuartigen, modular aufgebauten Großtanks von Beginn an in höchster Qualität und ohne Reklamationen zu vermarkten. Daher sind sowohl Baufehler an den Einzelteilen, als auch fehlerhaft montierte Gesamtsysteme nicht zu tolerieren.

Einen wichtigen zu beachtenden Punkt stellt die notwendige Montage des modularen Großtanksystems im Zielland dar. Diese geschieht zwar durch vor Ort ansässige Partner des Antragstellers. Jedoch sind deren technologische Kompetenzen im Bereich der Montage und des fehlerfreien Aufbaus von Großtanksystemen vergleichsweise geringer als die des Antragstellers OPG Holding GmbH.

Eine ausreichende Statik zu gewährleisten ist mit der Verwendung lediglich mittig-horizontaler Schweißnähte deutlich einfacher. Diese Anordnung ist auch in den Abbildungen 7 und 8 des zweiteiligen Tanksystems zu sehen. Dort ist zeigt sich auch im unteren Bereich des Zylinders noch eine Schweißnaht lokalisiert. Hier ist ein korrekter und defektfreier Zusammenbau sehr viel schwieriger zu gewährleisten. Die defektfreie Montage erfordert höchste Sorgfalt, die weltweit nicht immer sicherzustellen und über die Kommunikation per Telefon und E-Mail nicht einfach zu realisieren ist.

Weiterhin ist zu beachten, dass der Nachteil eines durchmesserbedingt geringeren Tankvolumens mit dem Vorteil einer höheren Stabilität einhergeht. Der Durchmesser beeinflusst die Stabilität in dritter Potenz. Der logistische Nachteil einer geringeren LKW-Auslastung könnte durch den Einsatz kleinerer Lastwagen aufgefangen werden. Zudem sind kleinere LKW in zahlreichen Zielländern die Norm und können hierdurch die Akzeptanz des neu geplanten Systems steigern.

Eine weitere Problematik bei der Verfolgung des 3-Segment-Konzeptes stellen die Tankböden (Zylinderenden) dar. Da das Seecontainer-Innenmaß auf 2,30 m limitiert ist, können kreisförmige Zylinderenden mit Durchmessern von 2,50 m (3-Segment-Konzept) nur unvorteilhaft in Containern verschifft werden. Entsprechend müssten diese in zwei Hälften zerlegt werden. Dieser Sachverhalt wurde in weiteren Testreihen untersucht. Das Erfordernis einer weiteren vertikalen Schweißnaht sowie das Handling beim Aufbau von Tanksystemen mit halbierten Tankenden wurden in diesen Testreihen als stark nachteilig wahrgenommen. Die Komplexität und Schwierigkeit des Aufbaus steigt überproportional. Aufgrund der statischen Anforderungen an den Tankboden, der am meisten belastet wird, haben wir Befürchtungen, dass bei unterschiedlichen Schweißungen das System nicht vernünftig realisiert werden kann bzw. wir es nicht immer in den jeweiligen Zielländern sicherstellen können.

Die Werkzeugmehrkosten für das 2-Segment-Konzept liegen bei geschätzten 400.000 € bis 550.000 €. Jedoch überwiegen die im obigen Abschnitt dargestellten Vorteile einer geringeren Komplexität des Aufbaus, des Wegfalls zweier vertikaler Dichtungsnähte sowie der daraus resultierenden Ausfallsicherheit die werkzeugseitigen Kostennachteile. Die Erreichung der angestrebten Produktqualität und Langzeitstabilität ist mit dem 2-Segmentkonzept einfacher realisierbar. Die einfache Verarbeitung am Zielort ist für uns neben der höheren erzielbaren Maschinenproduktivität ein wichtiger Gesichtspunkt. Dadurch nimmt die Schwierigkeit beim Werkzeugbau zu. Dieses Risiko halten wir jedoch für beherrschbar. Daher favorisieren wir auf Basis unserer Ergebnisse derzeit, unseren weltweiten Partnern ein möglichst einfaches System anzubieten und die Prozessschritte mit den größten Risiken bei uns zentral zu organisieren bzw. zu managen.

Entsprechend wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 4 der **Meilenstein** des Projektes mit der Entscheidung für ein 2-Segment-Konzept erfolgreich erreicht.

Die beim Partner Graf Plastics durchgeführten Material- und Spritztests mit Compounds aus 100 % Recyclingmaterial verliefen vielversprechend. Hier können wir nach Analyse und Bewertung der Versuche von genügenden Langzeiteigenschaften ausgehen, sodass wir weiterhin planen, das neue Jumbo Tanksystem komplett aus Post-Consumer-Recyclingrohstoffen herzustellen. Dies wäre nach unserer Kenntnis weltweit einmalig und würde die Wirtschaftlichkeit des Projektes sehr positiv beeinflussen. Dies betrifft neben der finanziellen Wirtschaftlichkeit vor allem auch die CO₂-Bilanz.

Im Zuge der Materialuntersuchungen wurden die folgenden Eigenschaften untersucht:

- Dichte
- MFR
- Biege-Elastizitätsmodul
- Zug-Elastizitätsmodul
- OIT
- Zug-Spannung und Zug-Dehnung
- Langzeit-Zug-Spannung
- Langzeit-Druck

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde bestätigt, dass keine Schwankungen in der Rohstoff-Qualität auftreten, die für die Verarbeitung aktueller Spritzgussteile mit der für das Projekt vorgesehenen Maschine relevant waren.

Abschließend wurden bei Graf Plastics die Vor- und Nachteile (Prozesstechnik, Werkzeugkosten, Werkzeugverschleiß, Wärmehaushalt, Zykluszeit, usw.) von Spritzguss- und Spritzprägeverfahren in umfangreichen Formgebungsexperimenten erforscht und evaluiert. Die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Unterschiede in den Prozessen Spritzguss und Spritzprägen

	Spritzgussverfahren	Spritzprägeverfahren
Unterschiede am Produkt	<ul style="list-style-type: none"> • Viele Fließlinien und Lufteinschlüsse • Viele Einfallstellen wegen zu geringem Nachdruck • Hohe Eigenspannungen und resultierende Verformungen • Hohe Randqualität im Bereich der Werkzeugtrennung 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenige Fließlinien und Lufteinschlüsse • Wenige Einfallstellen wegen Nachdruck des Prägewerkzeugs • Geringe Eigenspannungen und Verformungen • Niedrigere Randqualität mit Grat im Bereich der Werkzeugtrennung
Unterschiede am Werkzeug	<ul style="list-style-type: none"> • Entlüftung über Luftspalt im Werkzeug • Einfache, klassische Werkzeugtrennung • Hohe Wanddicke und Gewicht wg. hohem Werkzeuginnendruck • Niedriges Verschleiß- und Störungsrisiko aufgrund weniger beweglicher Teile 	<ul style="list-style-type: none"> • Entlüftung über die Tauchkanten inhärent im Werkzeug enthalten • Aufwändige Werkzeugtrennung wg. Tauchkanten • Geringe Wanddicke und Gewicht wg. geringem Werkzeuginnendruck • Höheres Verschleiß- und Störungsrisiko aufgrund mehr beweglicher Teile
Unterschiede am Prozess	<ul style="list-style-type: none"> • Höhere Zykluszeit • Preistreiber: höherer Materialbedarf, Komplexität des Heißkanals • Preismindernd: klassischer Werkzeugaufbau, höhere Zahl potenzieller Werkzeuffertiger 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringere Zykluszeit • Preistreiber: Komplexer Werkzeugaufbau (Tauchkanten), geringere Anzahl potenzieller Werkzeuffertiger • Preismindernd: Geringerer Materialbedarf, wenig komplexer Heißkanal

Neben anderen Erwägungen sind insbesondere die geringeren Eigenspannungen, und daraus resultierend die geringere Verzugsneigung, mittels Spritzprägeverfahren gefertigter Bauteile für das vorliegende Projekt entscheidend. Ein vorliegender Bauteilverzug beeinflusst den späteren Zusammenbau und die Abdichtung der Tankmodule in signifikanter Weise negativ.

Entsprechend wurde der vorgesehene **Meilenstein** des Projektes unter Einbeziehung von Arbeitspaket 4 mit der Entscheidung für das Spritzprägeverfahren und die zukünftige Entwicklung eines entsprechenden Werkzeuges erfolgreich erreicht.

3.3. Entwicklung Dichtungskonzepte

In diesem Arbeitspaket wurden zunächst die für die erforderliche Abdichtung kritischsten Bereiche der modular aufzubauenden Großtanks identifiziert und analysiert. Dabei wurden die Ergebnisse der Voruntersuchungen bestätigt. Insbesondere die Knotenpunkte an denen horizontale und vertikale Dichtungen zusammentreffen unterstehen der höchsten mechanischen Belastung. Vorteilhafterweise wären die Tanks derart zu fügen und abzudichten, dass keine technische Ausstattung beim Händler und auch keine ausführlichen Schulungen benötigt werden.

Daher wurden im Projekt zu Beginn Konzepte zur Abdichtung der Tanksegmente auf Basis von Gummidichtungen untersucht und entwickelt. Dazu wurden neu konzeptionierte, zweigeteilte, T-förmige Gummidichtungen (siehe Abb. 7, links), welche durch Druckbeaufschlagung eine Gummi-Gummi-Abdichtung erzeugen sollten gefertigt und erprobt. Die damit durchgeführten Versuchsreihen verliefen vielversprechend. Das zugehörige Verbindungskonzept auf Basis von Kunststoffklammern ist ebenfalls in Abb. 7 (rechts) dargestellt. Ein in den Versuchsreihen identifiziertes Risiko hinsichtlich der Langzeitstabilität besteht in einem Nachlassen der eingesetzten Kunststoffklammern oder der Fugendrucke. Beides kann langfristig zu Undichtigkeiten führen.

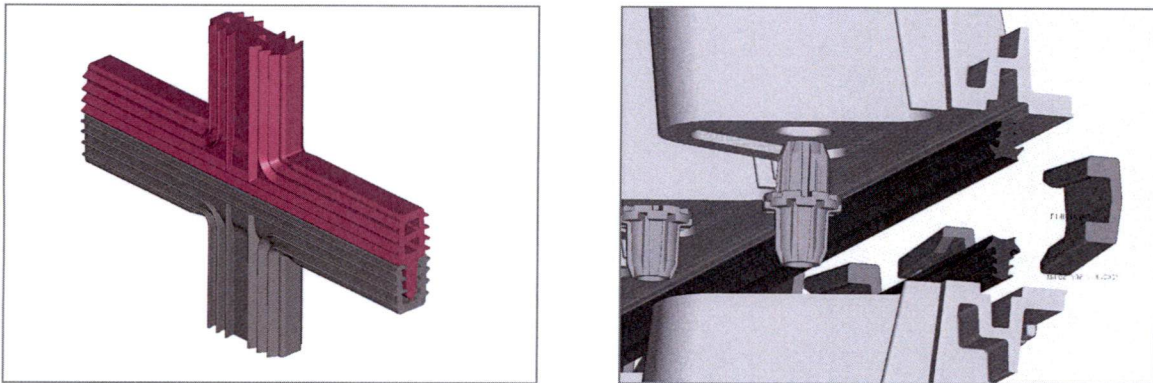


Abb. 7: T-förmiges Gummi-Gummi-Dichtungskonzept (links); zugehöriges Verbindungskonzept (rechts)

Des Weiteren wurde ein Dichtungsprofil entwickelt und erprobt, welches in eine offene Nut im Innenbereich des Tanks (siehe Abb. 8, links) gedrückt wird, sodass der Kunde das Tanksystem mit Klammern oder Schrauben vor Ort zusammensetzen kann. Dabei sind möglichst einfache Tanksegmente erforderlich, die der Kunde klammert oder zusammenschraubt. Der Kunde erhielte bei Verfolgung dieses Konzeptes einen fertig vulkanisierten Dichtsatz (siehe Abb. 8, rechts), der von innen, ähnlich einer Silikonfuge, in den Tank einzudrücken ist. Dafür wurde ein vorteilhaftes Dichtungsprofil, welches ein einfaches Eindrücken ermöglicht entwickelt. Dieses ist im Querschnitt in Abbildung 9 (links) dargestellt. Abbildung 9 (rechts) zeigt ein mit Klammern und Schrauben fixiert zusammengesetztes Tanksegment.

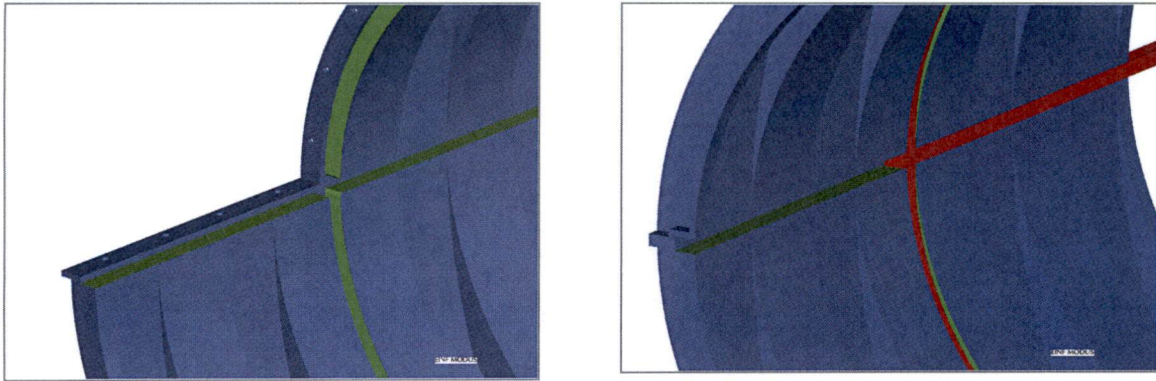


Abb. 8: Offene Nut (links), eingedrücktes Dichtungsprofil (rechts)

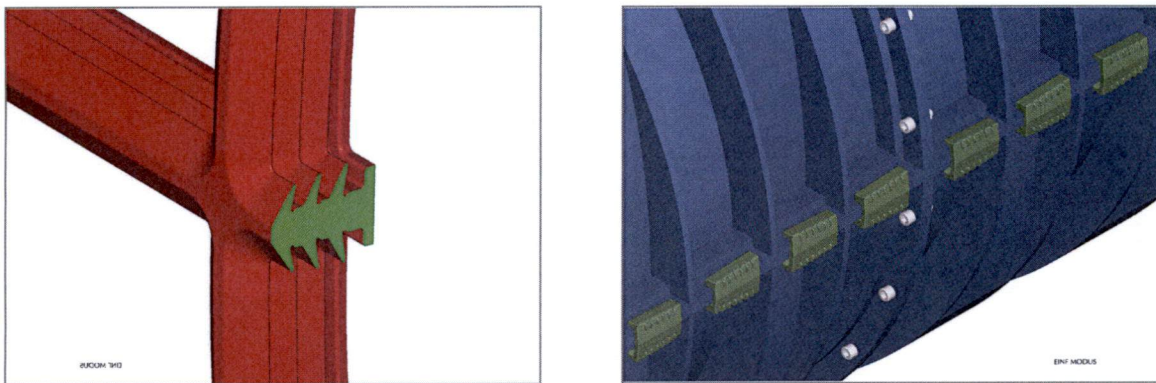


Abb. 9: Tankviertel // Ausschnitt Dichtungsprofil Schnittfläche (links), zusammengesetztes Tanksegment mit Schrauben und Klammern (rechts)

Das Prinzip ist grundsätzlich mit einer vorgefertigten EPDM-Dichtung möglich. Dabei ist es dem Kunden offen gestellt, mit einer Silikon- oder Acrylkartusche nochmals selbst von innen abzudichten. Entsprechende Dichtungen wurden im Projekt gefertigt und erprobt. Dabei wurde erkannt, dass das fertiggeteilte EPDM-Dichtungsteil bei einem Tank, welcher bis zu 25 m aufweisen wird und aus bis zu 10 Zylindersegmenten zusammengesetzt wird, einen hohen Fertigungsaufwand mit sich bringt. Bei den erforderlichen Dichtungen handelt es sich um Einzelstücke, die nicht großserientauglich sind und immer in Sonderanfertigungen hergestellt und vulkanisiert werden müssten. Dies erschwert die Lieferfähigkeit und Logistik im Zielland. Nachteilig ist insbesondere das notwendige „Einfliegen“ der jeweils passenden Dichtung, welches auch den umweltpolitischen Projektzielen widerspricht. Ein weiterer Nachteil für dieses Dichtungskonzept kommt bei schwierigen Grundwasserdruckgegebenheiten zum Tragen, da diese Art der Dichtung einem Druck von außen so gut wie überhaupt nicht standhält. Das Dichtungsprinzip funktioniert lediglich bei einem Überdruck von innen. Insofern lässt sich mit diesem Konzept eine ausreichende langzeitstabile Dichtigkeit der Großtanksysteme nicht gewährleisten.

In der Folge wurden im Projekt mögliche Schweißverfahren für Kunststoffe als Verbindungs- und Abdichtungstechnik für das neu geplante, modular aufgebaute Großtanksystem untersucht und auf der Basis hergestellter Testmuster und deren Eigenschaften bewertet.

Nachfolgend stellen wir kurz die erhaltenen Bewertungen zu den untersuchten Schweißverfahren dar:

- Spiegelschweißverfahren: Mit dem Spiegelschweißverfahren lassen sich grundsätzlich befriedigende Abdichtungsergebnisse erzielen. Jedoch ist dieses nicht vor Ort bei der Montage des Tanks einsetzbar, sondern müsste als „Vor-Montage-Verfahren“ in den Werken unserer weltweiten Partner etabliert und eingesetzt werden. Insbesondere die Notwendigkeit dieses Verfahren bei den Partnern zu etablieren wäre aufgrund der angedachten Stückzahlen mit hoher Wahrscheinlichkeit unwirtschaftlich, was uns dazu veranlasst, dieses Fügeverfahren für das vorliegende Projekt zu verwerfen.
- Infrarot-Schweißverfahren: Auch mit dem Infrarot-Schweißverfahren lassen sich gute bis sehr gute Abdichtungsergebnisse erzielen. Diese sind ebenfalls langzeitstabil. Jedoch erfordert der Einsatz dieses (ebenfalls nur stationär einsetzbaren) Verfahrens bei unseren Partnern eine sehr hohe technische Expertise und die Bereitschaft zu hohen Investitionen. Dies widerspricht ebenfalls dem Kerngedanken eines regional flexibel einsetzbaren Tanksystems. Daher wurde das Infrarot-Schweißen für die auf Projektphase 2 folgende Markteinführungsphase ebenfalls verworfen.
- Das Hartschweißen, bei dem ein mit Kunststoff ummanteltes Hartgeflecht, welches in den Tank eingesetzt und durch Stromfluss aufgeheizt wird, ist ein sehr vielversprechendes Verfahren, mit dem an kleineren Musterstücken wie Rohrverbindungen und Rohrmuffen sehr gute Ergebnisse erzielt werden können. Allerdings zeigten die Untersuchungen an Teilen mit großen geometrischen Abmessungen, dass die notwendige Präzision nicht erreicht werden konnte. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass dieses Verfahren eine hohe Erfahrung und Expertise des bedienenden Fachpersonals benötigt.
- Extrusions-Schweißverfahren: Die aus unserer Sicht zunächst einzige Lösung für den internationalen Vertrieb ist das Extrusionsschweißen. Mit dem Extrusions-Schweißverfahren sind sehr gute Ergebnisse hinsichtlich Dichtigkeit und Langzeitstabilität erreichbar. Das Verfahren kann relativ leicht erlernt werden und somit kann damit auch die Qualität im internationalen Einsatz des neuen Großtanksystems sichergestellt werden.

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen und Betrachtungen wurde entschieden, ein schweißnahtbasiertes Abdichtungskonzept zu verfolgen. Einerseits ist das Vertrauen potenzieller Kunden in eine Schweißverbindung höher als in ein Quetschdichtungskonzept. Jedoch geben auch die Grundwasserproblematik sowie die Notwendigkeit horizontale und vertikale Dichtböden miteinander zu verbinden den Ausschlag das Konzept verschiedener Quetschdichtungen nicht weiter zu verfolgen.

Bei der Auswahl des Schweißverfahrens zur Verbindung und Abdichtung des neu geplanten, modular aufgebauten Großtanksystems sind drei Dinge zu berücksichtigen:

- In unserem Hause wurde in den letzten Jahren ein hohes Maß an Expertise im Bereich der Infrarot-Schweißtechnik aufgebaut und etabliert.
- Für unsere internationalen Partner stellt zunächst das Extrusionsschweißen die vorteilhafteste Verbindungstechnik dar.

- Bei der Produktentwicklung und der anschließenden Fertigung müssen beide Verfahren berücksichtigt werden. Die der jeweiligen Verbindungstechnik entsprechenden Formen und Geometrien müssen bereits bei der Werkzeugentwicklung eingeplant und berücksichtigt werden. Dabei ist innerhalb der Entwicklung für das Extrusionsschweißen darauf zu achten, dass die Verzugsneigung der Artikel möglichst gering ist und hier möglichst gerade Teile einerseits gefertigt werden aber auch durch die optimierte Lagerung und Transportmöglichkeit so auch beim Kunden ankommen. Denn die komplette Stabilität erhält das Tanksystem erst durch die entsprechende Extruderschweißung.

In unseren Werken würden wir bei Umsetzung des Projektes in Phase 2 eine Kombination aus Infrarotschweißtechnik und Extruderschweißtechnik für die Anfangsphase vorsehen, da die Infrarot-Schweißtechnik die technisch sicherste und auch die kostengünstigere Lösung darstellt. Für die internationale Anwendung käme das Extrusionsschweißen zum Einsatz.

Bei entsprechender Mengenentwicklung würden in einem zweiten alle Schweißverfahren für den deutschen Markt sowie für die angrenzenden Länder komplett in Infrarotschweißtechnik ausgeführt. Mit dem Treffen dieser Entscheidung wurde der für Phase 1 projektabschließende **Meilenstein** erreicht.

3.4. Entwicklung Konzept für modulares Großtanksystem

In diesem Arbeitspaket wurde das Gesamtkonzept des modularen Großtanksystems erarbeitet. Prinzipiell besteht dieses darin nur noch 2 Bauteilkomponenten, nämlich Zylindersegmente und Tankenden, in beliebiger Anzahl über die zuvor ermittelten Dichtungs- und Fügeverfahren miteinander zu verbinden und auf diese Weise ein skalierbares, containertaugliches System zur Wasserspeicherung zu erhalten.

Darauf aufbauend wurden die Geometrien des modularen Großtanksystems in 2- und 3-fach-Segmentierung der Zylindermodule entwickelt. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen das neue Konzept für das modulare Großtanksystem mit 2-fach segmentierten Zylindermodulen als Einzelteile (siehe Abb. 10) und in gefügtem Zustand (siehe Abb. 11).

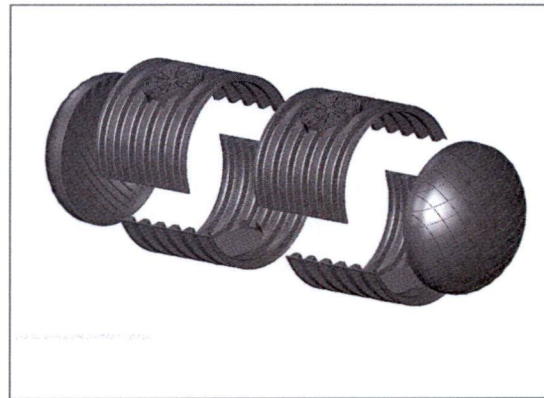
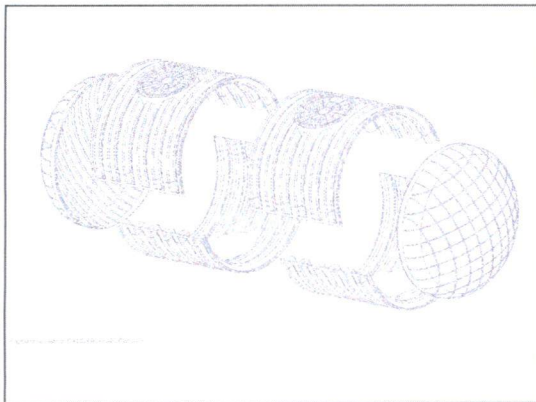


Abb. 10: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 2 Halbschalen

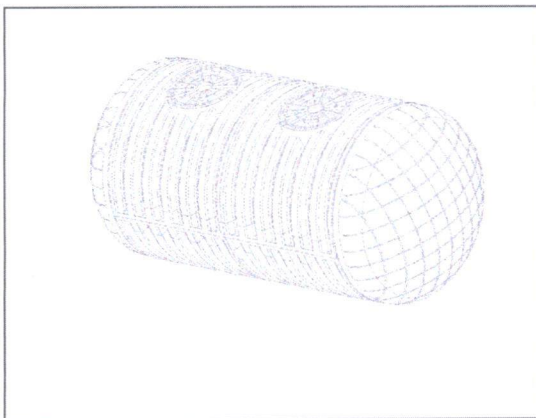


Abb. 11: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 2 Halbschalen, zusammengesweißt

Entsprechende Geometrien des modularen Großtanksystems mit 3-fach-Segmentierung der Zylindermodule sind in den Abbildungen 12 und 13 als Einzelteile (siehe Abb. 12) und im gefügten Zustand (siehe Abb. 13) gezeigt.

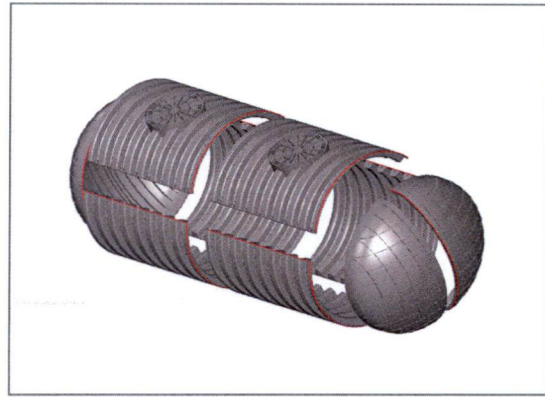
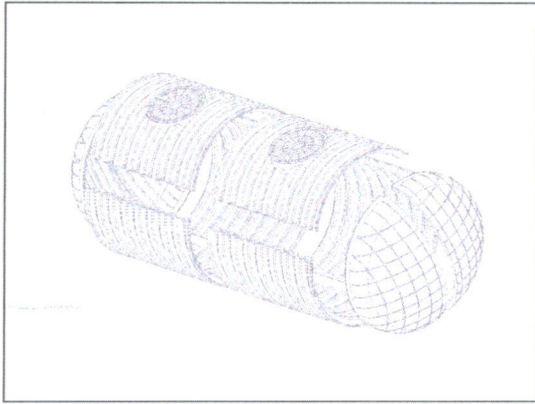


Abb. 12: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 3 Halbschalen

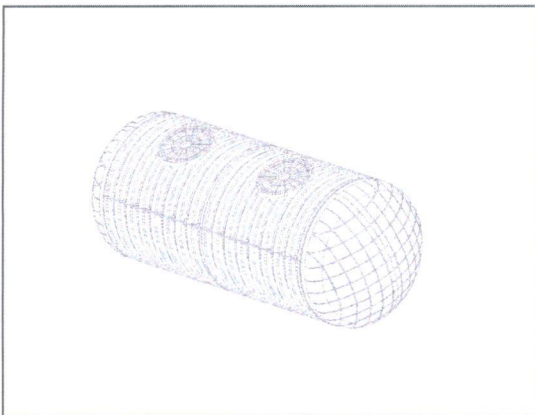


Abb. 13: Neues Jumbo-Großtanksystem, gefertigt aus 3 Halbschalen, zusammengesweißt

Im Zusammenspiel mit den Arbeitspaketen 2 und 3 wurde im Endeffekt das 2-Segment-Konzept favorisiert. Es wurde zugunsten des 2-teiligen Konzeptes entschieden weil:

- Die schweißtechnische Abdichtung deutlich einfacher zu realisieren ist
- Die Schweißnähte sich nicht in statisch stark belasteten Tankbereichen befinden
- Das Logistikkonzept für den Tankboden (einteilig) einfacher ist
- Das Handling und das Fördersystem nicht geändert werden müssen

Weiterhin wurde im Zusammenspiel mit den Arbeitspaketen 1 bis 3 zugunsten des Spritzprägeprozesses entschieden, weil die Priorität in diesem Projekt auf der Bauteilqualität (mech. Eigenspannungen und Verzug) liegt und mittels Spritzprägung hier bessere Ergebnisse erzielt werden können.

Fazit

Im Rahmen der Phase 1 des durch die DBU geförderten Entwicklungsprojektes konnte ein neuartiges, modular aufgebautes, skalierbares Großtankssystem konzeptioniert werden.

Im Rahmen der durchgeführten Arbeiten und der erreichten Meilensteine wurde ermittelt, dass im Rahmen der nachfolgenden Projektphase 2:

- Ein zweigeteiltes Segmentkonzept verfolgt werden sollte
- Die Segmente mittels Spritzprägeverfahren hergestellt werden sollten
- Schweißverbindungen zur Montage und Abdichtung der Tanksegmente eingesetzt werden sollten. Dabei ist ein zweigeteiltes Verfahrenskonzept zu verfolgen, das es erlaubt in den Werken der OPG-Gruppe und größerer Partner die Tankkomponenten mittels IR-Schweißen zu fügen, während kleinere, weltweit verteilte Vertriebs- und Montagepartner ein geeignetes Extrusionsschweißverfahren zur Verfügung gestellt bekommen.
- Ein Polymercompound, bestehend aus 100 % Recyclingmaterial, zur Herstellung der Großtanksegmente eingesetzt werden sollte.

Wir gehen davon aus, dass bei einer Herstellung des Großtanksystems in einer zweiteiligen Trennung der Zylinder mit einem komplett gefertigten Tankboden in einem Durchmesser von 2,30 m das Tanksystem seecontainerfähig ist und mit dem vorab beschriebenen Schweißkonzept die Entwicklungsziele von Materialeinsparung von minus 30 % sowie eine Energieeinsparung von minus 50 % realisiert werden können.

Aufgrund der vielversprechenden Ergebnisse aus Projektphase 1 ist in der Zukunft die Beantragung der 2. Projektphase bei der DBU geplant, um die erkannten und bis hierhin verifizierten CO₂- und Wassereinsparpotenziale weltweit unter wirtschaftlichem Nutzen der OPG Holding GmbH zu heben.