

Abschlussbericht

Im Rahmen der Ausschreibung Zukunftsprogramm
Wasserstoff BW (ZPH2)

Förderbaustein 5: Umsetzbarkeitsprüfung

H2Preform

von

Andreas Dück

ACE Advanced Composite Engineering GmbH

Förderkennzeichen: BWZPH222134

Laufzeit: 01.01.2022 – 31.07.2022

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

27.09.2022



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Inhalt

1. Zielsetzung der Umsetzbarkeitsprüfung	3
2. Stand der Wissenschaft/Technik	3
3. Vorgehensweise zur Lösungsfindung	5
4. Kurze Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten	5
AP 1: Analyse bestehender Tanksysteme hinsichtlich des Herstellprozesses	5
AP 2: Analyse der normativen Randbedingungen	6
AP 3 / AP4: Definition der Preform-Teile / Berechnung des notwendigen Materialeinsatzes	7
AP 5: Technologievergleich der Prozesstechnik	9
5. Wesentliche Erkenntnisse bzw. Ergebnisse	11
6. Projektansatz aus der Umsetzbarkeitsprüfung (Ausblick/Verwertung)	12
Literaturverzeichnis	12

1. Zielsetzung der Umsetzbarkeitsprüfung

Innerhalb des Vorhabens wird die Umsetzbarkeit eines Preforming-Verfahrens zur Fertigung von Typ 4-Wasserstoffdrucktanks als Alternative zum derzeit weit verbreiteten Wickelverfahren untersucht. Die Möglichkeit Fasern beim Preforming lastgerecht ablegen zu können, eröffnet im Vergleich zum Wickelverfahren die Option Material einzusparen und folglich Kosten zu reduzieren. Um ein Einsparpotential quantifizieren zu können, werden mehrere Preforming-Konzepte erarbeitet und in einer systematischen Analyse mit dem Wickelverfahren verglichen. Zusätzlichem zum Kosteneinsparpotential werden auch ökologische Aspekte, insbesondere CO₂-Emissionen evaluiert.

Zur Veranschaulichung ist in Abbildung 1 ein Preforming-Verfahren vereinfacht skizziert. Dabei wird eine trockene CFK-Rolle zunächst abgerollt und definierte Muster herausgeschnitten. Diese Zuschnitte werden anschließend in einer Form zu einem Lagenaufbau zusammengefasst. Der fertige Lagenaufbau wird abschließend in ein RTM-Werkzeug (RTM für Resin Transfer Moulding) gelegt und im geschlossenen Werkzeug mit Harz verfüllt.



Abbildung 1: Skizzierung des Preforming-Verfahrens mit RTM-Prozess

2. Stand der Wissenschaft/Technik

Für den Einsatz von Brennstoffzellen im Mobilitätssektor ist der Einsatz von Wasserstofftanks essenziell. Derzeit verbreitet ist dabei die Speicherung von gasförmigem Wasserstoff bei 350 bar (häufig Busse, Züge) oder 700 bar (PKW, teilweise LKW). Aufgrund der hohen Belastung und den Leichtbau-Anforderungen für den mobilen Einsatz werden die Tanks üblicherweise mit Kohlenstofffasern gefertigt. Stand der Technik ist dabei die Typ 4-Tankbauweise, bei der die Fasern über einen Kunststoffliner gewickelt oder geflochten werden (s. Abbildung 2). Der Kunststoffliner beschreibt als Grundkörper bereits die Geometrie des Tanks und dient insbesondere als Permeationsbarriere für den Wasserstoff.

Zur Fertigung von Typ 4-Wasserstoffdrucktanks existieren mit der Wickel- und der Flechttechnologie derzeit zwei etablierte Verfahren. Die Wickeltechnologie ist durch ihren Kostenvorteil am weitesten verbreitet, wobei sie durch den jahrzehntelangen Einsatz in anderen Anwendungen einen signifikanten Entwicklungsvorsprung aufweist.

Seit ca. Mitte der 2000er Jahre haben die Forschungsaktivitäten im Bereich der Speichertechnologien für mobile Wasserstoffanwendungen deutlich zugenommen. Im EU-geförderten Projekt STORHY wurden zwischen 2004 und 2008 durch ein großes Konsortium, dem u.a. BMW, Daimler, Ford und Volvo angehörten, unterschiedliche

Speicherlösungen für Wasserstoff wie gasförmige Druckspeicher, kryogene H₂-Tanks und Feststofftanklösungen entwickelt. Für die gasförmige Speicherung wurden CFK-Tanks im Wickelverfahren entwickelt. Die Forschungslandschaft zeigt, dass hinsichtlich der Speicherung von gasförmigem Wasserstoff für mobile Anwendungen seit Jahren ein klarer Fokus auf der Verbesserung der Wickeltechnologie liegt. Im BMVI-Projekt DELFIN (2018-2022) war der Schwerpunkt die Entwicklung eines kosten- und gewichtsreduzierten Tanks sowie eine Inline-Überwachungsmethode für den Wickelprozess. Im EU-Projekt TAHYA (2018-2021) war das Ziel die Entwicklung eines wettbewerbsfähigen H₂-Tanks für die Großserienproduktion im Wickelverfahren. Das derzeit laufende EU-Projekt SH2APED (2021-2023) hat sich ebenfalls die Kostenreduktion von Typ 4-Tanks im Wickelverfahren zum Ziel gesetzt.

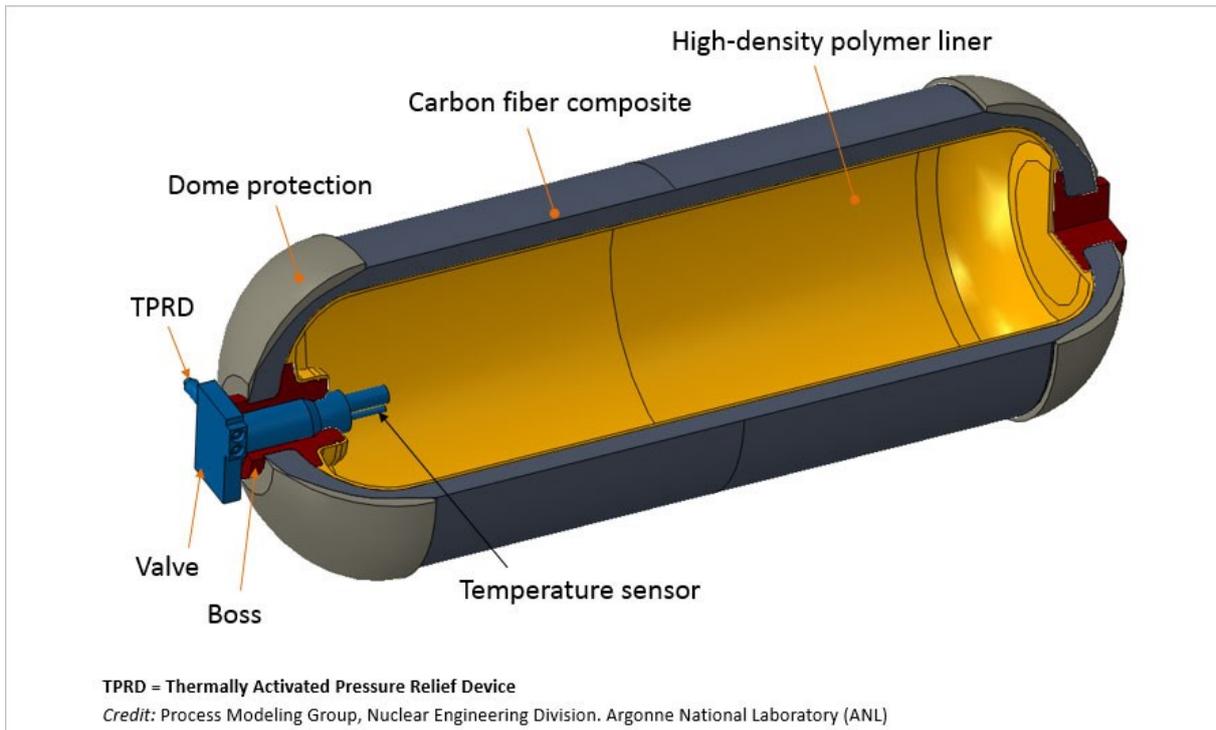


Abbildung 2: Darstellung der Bestandteile eines Typ 4 - Wasserstoffdrucktanks

Die Flechttechnologie für Wasserstoffdrucktanks im Mobilitätssektor wurde insbesondere zwischen 2014 und 2018 in den BMVI-Projekten AltHypTank, HyLoad und ROBALD durch REHAU und BMW erfolgreich untersucht. Aktuell sind keine weiteren Forschungsvorhaben in dem Bereich bekannt.

Neuartige Fertigungsansätze werden derzeit in den Projekten BRYSON (BMW, 2021-2023) und WaVe (2021-2024) untersucht. Im Projekt BRYSON werden thermoplastische Kettentanksysteme und ein Tank mit inneren Zugverstreben entwickelt. Im Projekt WaVe wird vom Leibniz-Institut für Verbundwerkstoffe ein zylindrischer Tank in einem adaptierten Wickelverfahren gefertigt, der durch einen patentierten metallischen Dombereich geschlossen werden soll

Die Ausführungen zeigen, dass sich das innerhalb dieser Machbarkeitsstudie geplante Vorhaben mit seinem Preforming-Ansatz zur Fertigung von Wasserstofftanks für die gasförmige Speicherung klar vom aktuellen Stand der Technik abgrenzt.

3. Vorgehensweise zur Lösungsfindung

Die Vorgehensweise zur Bearbeitung des Vorhabens ist in Tabelle 1 dargestellt. Das Vorhaben wird dazu in 5 Arbeitspakete eingeteilt. Im ersten Arbeitspaket werden bestehende Tanksysteme hinsichtlich ihres Herstellprozesses analysiert. Dadurch soll der Stand der Technik zu Unterschieden in bekannten Fertigungsprozess möglichst genau erfasst werden, um das eigene Vorhaben einerseits klar davon abgrenzen zu können und andererseits Referenzen für einen später folgenden Vergleich festzulegen. In Arbeitspaket 2 werden die normativen Randbedingungen erfasst. Das heißt, es erfolgt eine Auseinandersetzung mit den geltenden Richtlinien, um darauf aufbauend eigene Fertigungskonzepte im Preforming-Verfahren entwickeln zu können. In Arbeitspaket 3 werden mehrere Fertigungskonzepte erarbeitet und auf ihre Umsetzbarkeit hin untersucht. Für die theoretisch umsetzbaren Konzepte wird in Arbeitspaket 4 eine Berechnung des notwendigen Materialeinsatzes vorgenommen, um damit einen qualitativen Vergleich der Konzepte mit dem Ergebnis einer Shortlist zu ermöglichen. Diese Shortlist mit maximal drei Konzepten dient in Arbeitspaket 5 als Grundlage für einen detaillierten Vergleich mit der Wickeltechnologie. In diesem Vergleich werden Materialkosten, Fertigungskosten und Gewicht gegenübergestellt.

Tabelle 1: Projektplanung

AP-Nr.	Arbeitspaketbezeichnung	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	MM
1	Analyse bestehender Tanksysteme hinsichtlich des Herstellprozesses							1,6
2	Analyse der normativen Randbedingungen							1,5
3	Definition der Preform-Teile							3,5
4	Berechnung des notwendigen Materialeinsatzes							2,5
5	Technologievergleich der Prozesstechnik							2,0

4. Kurze Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten

AP 1: Analyse bestehender Tanksysteme hinsichtlich des Herstellprozesses

Innerhalb des ersten Arbeitspakets wurden die unterschiedlichen bereits am Markt platzierten aber auch in Forschungsvorhaben untersuchten Tanksysteme zur Speicherung von gasförmigem Wasserstoff recherchiert. Der Fokus der Recherche zielte darauf ab, die Unterschiede der Fertigungsverfahren und deren Verbreitung in mobilen Anwendungen zu erfassen. Insbesondere europäische und deutsche Unternehmen sowie Forschungsprojekte wurden bei der Recherche berücksichtigt.

Der gegenwärtige Stand der Forschung wurde bereits in Abschnitt 2 ausführlich behandelt. Es zeigte sich dabei, dass vor allem das Wickelverfahren derzeit stark weiterentwickelt wird und wenige andere Konzepte nur auf einem niedrigem Technologielevel untersucht werden. Das Flechtverfahren ist ebenfalls eine Technologie mit Marktreife. Die niedrige Verbreitung gepaart mit einer

zurückgegangenen Forschungsintensität lassen jedoch darauf schließen, dass es wirtschaftliche Defizite verglichen mit dem Wickelverfahren aufweist.

Auch bei der Betrachtung von Unternehmen, die Typ 4-Wasserstoffdruckbehälter fertigen zeigt sich die weite Verbreitung der Wickeltechnologie. Zu den Unternehmen, die beabsichtigen in die Serienfertigung einzusteigen oder bereits auf niedriger Stückzahlenebene damit begonnen haben zählen mit Hexagon Purus (Schweden), Plastic Omnium, Faurecia (beide Frankreich) oder NPROXX (Niederlande) vor allem Unternehmen aus dem europäischen Ausland, teilweise auch in Kooperation mit China. Alle diese Unternehmen setzen auf die Wickeltechnologie für die Serienfertigung. NPROXX ist eines von wenigen Unternehmen das zusätzlich die Option anbietet Wasserstoffdrucktanks im Flechtverfahren zu fertigen.

Als Ergebnis zeigt dieses Arbeitspaket, dass sich das geplante Vorhaben einen Drucktank zur Speicherung von gasförmigem Wasserstoff im Preforming-Verfahren herzustellen klar vom aktuellen Stand der Technik abgrenzt. Eine weitere Erkenntnis ist, dass ein Vergleich zwischen den im weiteren Verlauf des Vorhabens erzielten Ergebnisse zu einem neuartigen Fertigungskonzept und der Wickeltechnologie ausreichend ist und damit weitere Fertigungsverfahren ausgeklammert werden können, da sie entweder nicht wirtschaftlich sind oder sich in einer zu frühen Entwicklungsphase befinden.

AP 2: Analyse der normativen Randbedingungen

Zur Analyse der normativen Randbedingungen wurden international bedeutende Richtlinien zur Speicherung von Wasserstoff für den Betrieb von Kraftfahrzeugen untersucht, um daraus die Anforderungen für die Entwicklung eines Wasserstoffdrucktanks im Preforming-Verfahren abzuleiten. Konkret wurde die *Global technical regulation on hydrogen and fuel cell vehicles (No. 13)*, die Verordnung *EG Nr. 79/2009* sowie die Verordnung *EU Nr. 406/2010* zur Durchführung von *EG Nr. 79/2009* analysiert. Da die europäischen Richtlinien uneingeschränkt für den europäischen Wirtschaftsraum gelten und entweder deckungsgleich oder strenger als die globale Richtlinie sind, wurden diese zur Aufstellung des Anforderungskatalogs herangezogen.

Für das Vorhaben relevante Anforderungen, die aus den Richtlinien übernommen wurden, betreffen die Eigenschaften der verwendbaren Werkstoffe und die mechanischen Eigenschaften der Behälterstruktur. Exemplarisch sind nachfolgend konkrete Anforderungen angegeben:

- Erweichungstemperatur des Kunststoffinnenbehälters: ≥ 100 °C
- Harz-Scherfestigkeit nach 24 Stunden in kochendem Wasser: $\geq 13,8$ MPa
- Wasserstoffverträglichkeit der Werkstoffe
- Mindestberstdruck des Behälters mit folgenden Verhältnissen von Berstdruck zu Nenndruck nach Fasertyp:
 - Glasfaser $\rightarrow 3,5$
 - Aramidfaser $\rightarrow 3,0$
 - Kohlenstofffaser $\rightarrow 2,25$
- Berstdruckanforderung für den Einsatz bei Temperaturen zwischen -40 °C und 85 °C sowie hoher Luftfeuchtigkeit

Der Nenndruck ist in den Richtlinien nicht näher spezifiziert. International haben sich mit Nenndrücken von 350 bar und 700 bar zwei Standards etabliert.

Als Ergebnis der ersten beiden Arbeitspakete wurden die Systemparameter für die in Arbeitspaket 3 zu erarbeitenden Tankkonzepte wie in Abbildung 3 dargestellt festgelegt.

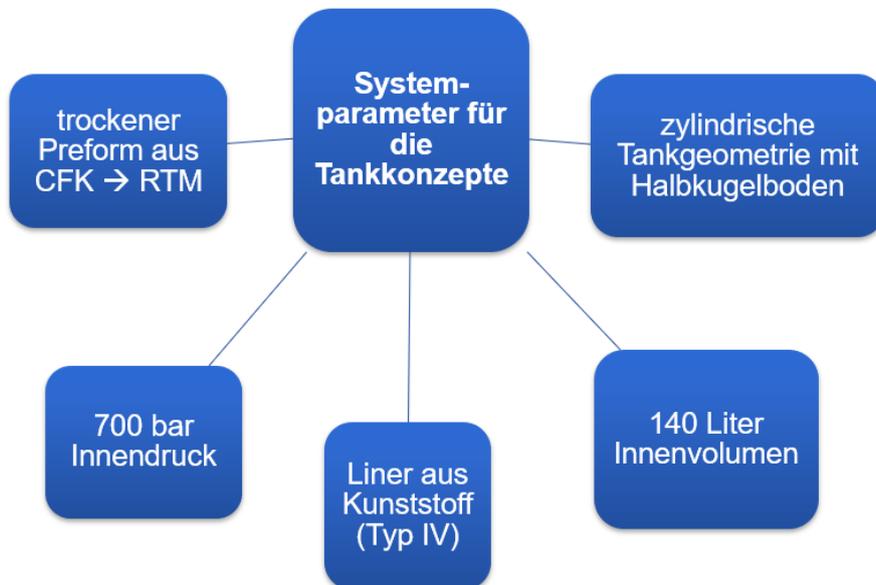


Abbildung 3: Systemparameter für die Tankkonzepte

Zusätzlich wurden drei unterschiedliche Tankgeometrien festgelegt (klein, mittel, groß), die als zusammengefasstes System jeweils ein Innenvolumen von 140 Litern aufweisen (s. Abbildung 4). Diese Aufteilung soll im Vergleich später den Kosten- und Gewichtseinfluss auf Tanksysteme aufzeigen, die wie in der Praxis üblich aus mehreren Einzeltanks aufgebaut sind.



Abbildung 4: Formen der unterschiedlichen Einzeltanks (v. l. n. r.: groß, mittel, klein)

AP 3 / AP4: Definition der Preform-Teile / Berechnung des notwendigen Materialeinsatzes

Die Arbeitspakete 3 und 4 wurden als Einheit bearbeitet, da die Arbeiten voneinander abhängen und damit ein iteratives Vorgehen sinnvoll war. Bei der Bearbeitung wurde wie in Abbildung 5 dargestellt vorgegangen. Zunächst wurden sechs Preforming-Konzepte entwickelt. Die Entwicklung von Fertigungskonzepten für die Polkappen im Preforming-Verfahren hat sich dabei als sehr anspruchsvoll gezeigt, sodass die unterschiedlichen Konzepte sich insbesondere bezüglich der Polkappenfertigung

unterscheiden. Neben bestimmten Zuschnittstechniken und einer Art Korkverschluss aus modifiziertem SMC (Sheet Molding Compound) wurden für die Polkappenfertigung die Technologien TFP (Tailored Fiber Placement) und FPP (Fiber Patch Placement) untersucht. Die sechs Konzepte wurden einer Nutzwertanalyse mit den vier Kriterien Nachhaltigkeit, Materialkosten, Bauteilgewicht und Fertigungskosten unterzogen, um eine Shortlist mit drei Konzepten für den Technologievergleich in Arbeitspaket 5 zu erhalten. Die Bewertung der Kriterien erfolgte rein qualitativ unter Verwendung des paarweisen Vergleichs. Nachhaltigkeit umfasst die Möglichkeiten des Recyclings und zur CO₂-Einsparung, die bei der Verwendung von Kohlenstofffasern stark mit der Materialeinsparung korreliert. Fertigungskosten berücksichtigen die Taktzeit, Komplexität, Skalierbarkeit und die erwartete Ausschussquote. Materialkosten ergeben sich aus Materialverschnitt und lastgerechter Faserorientierung bzw. effizienter Materialausnutzung. Bei der Gewichtung der Kriterien lag der Schwerpunkt auf den Materialkosten, da diese den mit Abstand größten Anteil an den Bauteilkosten eines CFK-Tanks im Wickelverfahren ausmachen.

Um den Einfluss der Materialkosten quantifizieren zu können und damit die Ergebnisse der Nutzwertanalyse zu untermauern, wurden Strukturberechnungen mit analytischen und numerischen Methoden (Finite-Elemente) durchgeführt. Für die Berechnungen wurde von einem Nenndruck von 700 bar und einem Berstdruckverhältnis von 2,25 ausgegangen, sodass eine Drucklast von 1575 bar zugrunde gelegt wurde. Mithilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) wurden an dünnwandigen Modellen zunächst Optimierungsanalysen durchgeführt, um die optimale Faserrichtung und den optimalen Lagenaufbau zu erhalten. Dafür wurden unterschiedliche Versagenskriterien berücksichtigt. Um zu überprüfen, wie gut sich die dünnwandigen Ergebnisse auf die vergleichsweise großen Dicken von Wasserstoffdrucktanks in der Praxis übertragen lassen, wurde zusätzlich ein dickwandiges FEM-Modell erstellt. Damit konnte gezeigt werden, dass ein kleiner Korrekturfaktor ausreichend ist, um den Einfluss der Dickwandigkeit bei den dünnwandigen Modellen zu berücksichtigen. Außerdem konnte gezeigt werden, dass es in der Vorauslegung ausreichend ist den benötigten Materialeinsatz mithilfe der Kesselformel inklusive eines Korrekturfaktors, also durch Handrechnungen, zu überschlagen. Mit den Berechnungsergebnissen bezüglich des Materialeinsatzes wurde die Nutzwertanalyse erneut durchgeführt und deren Ergebnisse gefestigt. Außerdem wurde damit die Grundlage für den Technologievergleich in Arbeitspaket 5 gelegt.

Anmerkung: Für die Berechnung des Materialeinsatzes wurde in der Vorauslegung als Lastfall nur der Berstdruck berücksichtigt. Auf Grundlage der durchgeführten Literaturrecherche erscheint dieses Vorgehen für die Bearbeiter des Vorhabens als berechtigt. Bei der Verwendung von anderen Fasertypen wie der Aramidfaser oder der Glasfaser wäre dieses Vorgehen aufgrund deren Eigenschaften nicht ohne Weiteres möglich.



Abbildung 5: Vorgehensweise bei der Konzeptentwicklung

AP 5: Technologievergleich der Prozesstechnik

In Arbeitspaket 5 wurden die zuvor erarbeiteten Konzepte und das Wickelverfahren hinsichtlich ihrer Materialkosten und ihres Gewichts einander gegenübergestellt. Für diese Gegenüberstellung fand eine weitere Unterteilung in die in Abbildung 4 dargestellten Tankgrößen statt. Weiterhin wurden eine Abschätzung zum CO₂-Einsparpotenzial vorgenommen.

Der Vergleich für das Tanksystemgewicht ist in Abbildung 6 dargestellt. Es ist zu sehen, dass mit steigender Anzahl an Einzeltanks, das Tanksystemgewicht zunimmt. Die Konzepte 1 und 2 zeigen einen Gewichtsvorteil gegenüber dem „Wickeln“, während das Konzept 3 einen deutlichen Nachteil hat, der jedoch mit steigender Anzahl der Einzeltanks im System abnimmt. Das Konzept 1 schneidet am besten ab und zeigt für den großen Tank eine Gewichtsreduktion um 10 Prozent im Vergleich zur derzeit verbreiteten Wickeltechnologie.

Der Vergleich hinsichtlich der Materialkosten ist in Abbildung 7 dargestellt. Es ist zu sehen, dass mit steigender Anzahl an Einzeltanks, die Materialkosten zunehmen. Die Konzepte 1 und 2 zeigen einen Materialkostenvorteil gegenüber dem „Wickeln“, während das Konzept 3 einen deutlichen Nachteil aufweist, der jedoch mit steigender Anzahl der Einzeltanks im System abnimmt. Das Konzept 1 schneidet am besten ab und zeigt für den großen Tank eine Materialkostenreduktion um 10 Prozent im Vergleich zur derzeit verbreiteten Wickeltechnologie. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Tanksystemgewicht und Materialkosten stark miteinander korrelieren. Diese Korrelation ist plausibel, da das Tanksystemgewicht insbesondere auf den Anteil an Kohlenstofffaser zurückzuführen ist. Die Materialkosten für die Kohlenstofffaser wiederum bestimmen den Großteil der Gesamtkosten.

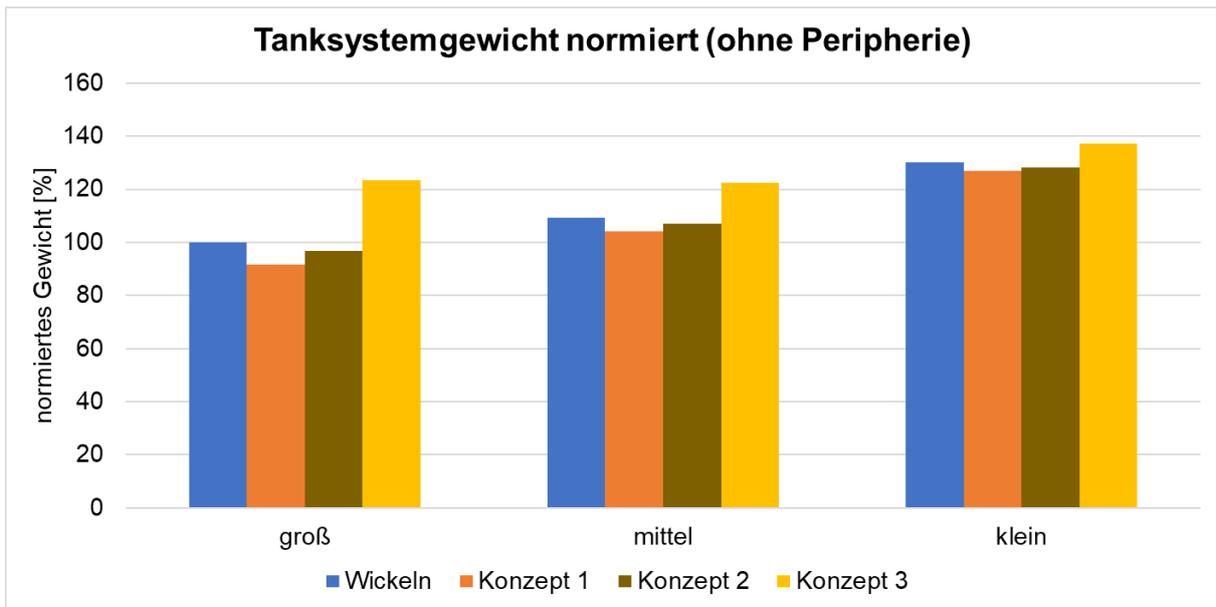


Abbildung 6: normiertes Tanksystemgewicht für die unterschiedlichen Konzepte nach Tankgröße

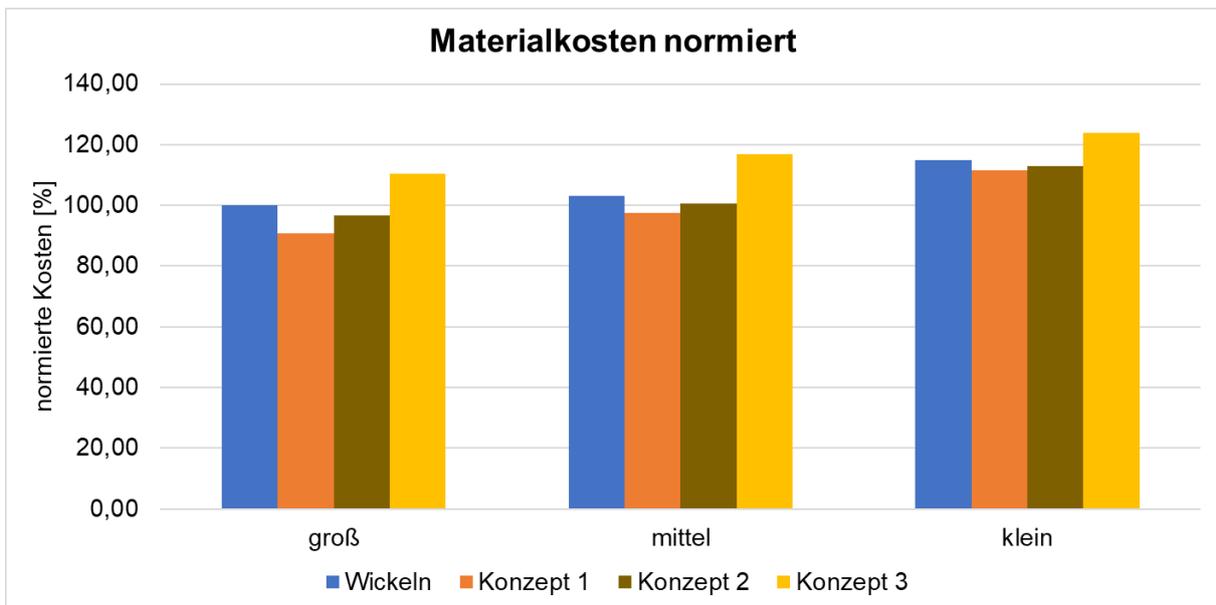


Abbildung 7: normierte Materialkosten für die unterschiedlichen Konzepte nach Tankgröße

Zur Abschätzung des CO₂-Einsparpotenzials wurde ab 2030 nach [1] von 166.650 Tonnen jährlicher Produktionsmenge Kohlenstofffaser nur für die Produktion von Wasserstoffspeichern ausgegangen. Dabei wurden nur der Energieverbrauch für die Herstellung von Kohlenstofffaser und die CO₂-Emission pro kWh im deutschen Energiemix zugrunde gelegt. Andere relevante CO₂-Emissionen, die insbesondere für die Produktion der Ausgangsmaterialien anfallen, wurden nicht berücksichtigt. Die Einsparung von CO₂ korreliert nach diesem Modell also exakt mit der Materialeinsparung. Eine Materialeinsparung von 10 Prozent führt folglich zu einer Reduzierung der jährlich benötigten Menge an Kohlenstofffaser von 16.665 Tonnen. Nach einem Bericht des Umweltbundesamts betrug die CO₂-Emission pro kWh im Jahr 2019 in Deutschland 401 Gramm [2]. Nach [3] beträgt der Energieverbrauch zur Herstellung von 1 kg Kohlenstofffaser ca. 97 kWh. Eine Reduzierung des Materialverbrauchs um 10 Prozent führt demnach zu einer jährlichen CO₂-Einsparung von ca. 650.000 Tonnen. Da anzunehmen ist, dass sich die Produktionsstandorte für

Kohlenstofffaser zukünftig in Länder mit günstigen Energiekosten und folglich schlechterer CO₂-Bilanz verlagern werden und weitere Emissionsquellen, wie die Produktion der Ausgangsmaterialien zur Herstellung der Kohlenstofffaser und die Produktion von Harz und Härter, in der hier dargestellten Kalkulation nicht berücksichtigt wurden, ist davon auszugehen, dass das tatsächliche CO₂-Einsparpotenzial wesentlich höher liegt.

5. Wesentliche Erkenntnisse bzw. Ergebnisse

Innerhalb der Machbarkeitsstudie wurde aufgezeigt, dass es möglich ist, Drucktanks zur gasförmigen Speicherung von Wasserstoff in einem Preforming-Verfahren zu fertigen. Dafür wurden insgesamt sechs unterschiedliche Fertigungskonzepte erarbeitet und systematisch analysiert. In einem Technologievergleich konnte gezeigt werden, dass mit dem günstigsten Konzept eine Gewichts- und Kostenreduktion von 10 Prozent im Vergleich zum Wickelverfahren möglich ist. Zusätzliche Einsparpotenziale, die im Technologievergleich aufgrund mangelnder Daten nicht quantifiziert werden konnten, sind in Abbildung 8 dargestellt. Unter Berücksichtigung realistischer Annahmen erscheint eine Gewichts- und Kostensenkung von 20 Prozent im Vergleich zum derzeitigen Stand der Technik damit plausibel.

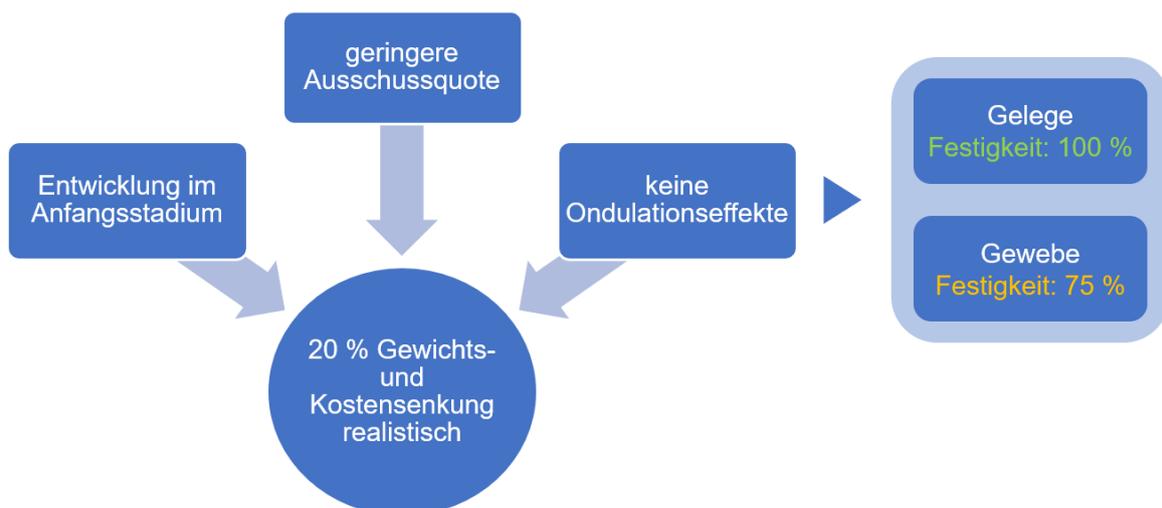


Abbildung 8: Perspektivisch mögliches Einsparpotenzial für die Tankfertigung nach Konzept "1"

Bei der ökologischen Betrachtung zeigt sich ein deutliches CO₂-Einsparpotential, das direkt auf die Materialeinsparung zurückzuführen ist. Außerdem wird durch das geschlossene RTM-Verfahren die Arbeitshygiene im Vergleich zum Wickelverfahren, das mit offenen Harzwannen arbeitet, signifikant verbessert und es kommt zu keinem nennenswerten Abfall von Harz und Härter.

Ein hoher erreichbarer Automatisierungsgrad, zusammen mit den niedrigeren Materialkosten und der verbesserten Arbeitshygiene im Vergleich zur Wickeltechnologie, machen das Konzept 1 geeigneter, um in einem Hochlohnland wie Deutschland eine wettbewerbsfähige Produktion zur Sicherung, zum Erhalt und zum Ausbau von Arbeitsplätzen aufzubauen. Eine praktische Umsetzung des Konzepts 1 in einem Folgeprojekt ist vor dem Hintergrund der genannten Vorteile und der sich

dadurch perspektivisch ergebenden wirtschaftlichen Möglichkeiten sehr sinnvoll und wird von der ACE GmbH daher angestrebt.

6. Projektansatz aus der Umsetzbarkeitsprüfung (Ausblick/Verwertung)

In Anbetracht der vielversprechenden Ergebnisse, die innerhalb der Machbarkeitsstudie erzielt wurden, plant die ACE GmbH die praktische Umsetzung des Konzepts 1 in einem Folgeprojekt. Um dabei erfolgreich zu sein ist ein Konsortium aus mehreren Fachbereichen geplant. Insbesondere die Expertisen bezüglich der Automatisierung, der Ventiltechnik und der Nachhaltigkeit (Lebenszyklusanalyse) sollen durch geeignete Partner zusätzlich mit eingebracht werden. In dem Folgeprojekt mit einem zeitlichen Umfang von rund 36 Monaten soll mit dem Konzept 1 ein Typ 4-Drucktank zur Speicherung von gasförmigem Wasserstoff entwickelt werden, der einen Technologie-Reifegrad von 5 bis 6 aufweist. Neben der Entwicklung von Tankdemonstratoren soll der Nachweis zur automatisierten Tankfertigung in Form einer vereinfachten Demonstrationsanlage erbracht werden. Zusätzlich soll untersucht werden, inwieweit sich die Ventiltechnik in den Boss integrieren lässt, um auch in der Tankperipherie Kosten einzusparen. Lebenszyklusanalysen sollen das neue Konzept dem derzeit verbreiteten Wickelverfahren gegenüberstellen, um zum einen die Unterschiede herauszuarbeiten und auf der anderen Seite die Potenziale aufzuzeigen, die sich durch eine ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfungskette und des Produktlebenszyklus ergeben.

Mit einem sich daran anschließenden Projekt in zeitlichem Umfang von 24 Monaten ließe sich der Technologie-Reifegrad auf 8 steigern, sodass nach erfolgreichem Abschluss eine Serienfertigung von H₂-Drucktanks möglich wäre. Durch einen hohen Grad der Automatisierung ist eine wettbewerbsfähige Produktion in einem Hochlohnland wie Deutschland realistisch umsetzbar, sodass nach Projektabschluss eine Vielzahl an neuen Arbeitsplätzen entstehen kann.

Literaturverzeichnis

- [1] „<https://www.compositesworld.com>,“ 25 August 2022. [Online]. Available: <https://www.compositesworld.com/articles/the-markets-pressure-vessels-2022>.
- [2] „<https://www.umweltbundesamt.de>,“ 25 August 2022. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/bilanz-2019-co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom>.
- [3] C. Houchins, B. D. James, J. Huya-Kouadio und D. DeSantis, „Hydrogen Storage Cost Analysis,“ DOE Hydrogen and Fuel Cells Program, Arlington, 2019.