

Smartes und nachhaltiges Verpackungssystem für die Systemgastronomie am Beispiel eines Pfand-Mehrwegbechers

Aktenzeichen: 38307/01

Projektlaufzeit: 01.02.2023 – 30.04.2024

Fraunhofer Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF

Firma Löning + Partner

Darmstadt, 2024

Abschlussbericht

Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert

Inhalt

1	Motivation und Ziele	6
1.1	Zielsetzung.....	7
2	Methodik	8
2.1	Systemaufbau des Mehrweg-Pfandverpackungssystems.....	8
2.1.1	Thermoforming-Verfahren zur Herstellung der Innen- und Außenschicht.....	8
2.2	Umsetzung des Arbeitsplans in den Arbeitspaketen.....	9
2.2.1	Auswahl verfügbarer kommerzieller Materialien und Verarbeitungsprozesse (WP1)	9
2.2.2	Erarbeitung technischer Lösungen zur Herstellung und Wiederaufbereitung des Pfand-Mehrweg-Systems (WP2)	10
2.2.3	Erarbeitung einer technischen Lösung für den Deckel (WP3)	11
2.2.4	Erarbeitung technischer Lösungen für die Integration der Elektronik (WP4).....	11
2.2.5	Aufbau eines Demonstrators (WP5).....	11
2.2.6	Darstellung der nächsten Schritte für die Umsetzung in einen Serienprozess und Verwertung (WP6) 12	
3	Projektergebnisse.....	13
3.1	Materialauswahl.....	13
3.2	Tiefziehversuche mit dem 250 ml Becher (Systemlayer)	13
3.3	Betrachtung der Herstellung und Wiederaufbereitung eines 500 ml Bechers	15
3.4	Weitere Versuche hinsichtlich der Anwendung im Getränkebereich	16
3.5	Anbringung des Außenlayers (Handlinglayer)	17
3.6	Mögliche Deckelvarianten für das IQPAK-System	19
3.7	Möglichkeiten zur Anbringung des NFC-Chips.....	20
3.8	Ökologische Betrachtungen zum IQPAK	21
4	Öffentlichkeitsarbeit/Veröffentlichungen/Vorträge	24
5	Fazit/Ausblick	25
6	Literatur	26
7	Anhang.....	27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Aufbauprinzips des IQPAK-Systems	8
Abbildung 2: Schematische Darstellung des Thermoforming-Verfahrens	9
Abbildung 3: Deformierte PET-Becherform nach Heißwasserversuch (links), PP mit Heißwasserversuch nicht deformiert (rechts), es wiegt ca. 1,5 g.....	13
Abbildung 4: 3D-gedruckter Systemlayer (links), Innenstruktur im Systemlayer (Mitte), formstabiler Contentlayer	14
Abbildung 5: Differential Scanning Calorimetry (DSC)-Untersuchung einer PP Probe nach dem Thermoformingprozess	14
Abbildung 6: Werkzeugeinsatz zum Tiefziehprozess für 500 ml Becher	15
Abbildung 7: Thermoforming-Werkzeug mit dem Einsatz für den Systemlayer (links); Systemlayer überragt Einsatz (rechts).....	15
Abbildung 8: 500 ml Becher mit Contentlayer, der über den Trinkrand hinausragt und mit dem separat hergestellten Boden (links), herausnehmbarer Contentlayer (Innenlayer) (rechts)	16
Abbildung 9: Aromatests mit Milch (links) und Cola (rechts) im Contentlayer für 48 h.....	17
Abbildung 10: Milchkaffee im Contentlayer für 48 h (links); Aromatest mit dem Systemlayer (rechts)	17
Abbildung 11: Einsatz von Schrumpf-Sleeve-Folie als Außenlayer (Handlinglayer)	18
Abbildung 12: Einflussfaktoren auf die Stapelbarkeit des Bechers (Innendurchmesser und Winkel vom Boden zum Trinkrand	18
Abbildung 13: Anbringung des NFC-Chips am Boden des IQPAKs	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über CO ₂ -Äquivalente für verschiedene Aufbereitungsverfahren.....	22
---	----

Zusammenfassung

Kunststoffverpackungen, insbesondere im Lebensmittelbereich, sind für den Massenmarkt wegen ihrer Designfreiheit, des kostengünstigen Herstellungsverfahrens und den hygienischen Aspekten alternativlos. Gleichzeitig können Kunststoffe für Leichtbauverpackungen eingesetzt werden, um die für den Transport notwendigen Ressourcen zu schonen. Zudem bieten sie vielfältige Möglichkeiten zur Kreislaufführung. Das Marktvolumen im Bereich der Kunststoffverpackungen ist sehr groß und von steigender Tendenz. Dies führt jedoch dazu, dass die Abfallmenge aus den Verpackungen ebenfalls steigt. Die Menge des Verpackungsmülls ist allein EU-weit zwischen 2011 und 2021 um 20% gestiegen. Im Jahr 2021 lag die Menge an Verpackungsmüll in Deutschland bei rund 19,7 Millionen Tonnen.

Es wird also zunehmend dringender, die Menge der eingesetzten Kunststoffverpackungen zu reduzieren und möglichst große Anteile für eine Wiederverwertung in einem Kreislauf zu führen.

Hinsichtlich der Kreislaufführung ist es anzustreben, dass die Materialien nach der Verwendung leicht separiert werden können oder die Artikel möglichst aus Monomaterialien bestehen.

Neuartige Lösungsansätze für eine Mehrwegverpackung sind jedoch nur dann erfolgversprechend, wenn neben klaren ökologischen Vorteilen gleichzeitig auch eine hohe Akzeptanz beim Konsumenten erreicht werden kann. Pfand-Systeme werden in Deutschland grundsätzlich akzeptiert, sofern eine einfache und unkomplizierte Rücknahme sichergestellt werden kann.

Mehrwegverpackungen müssen vor der Wiederverwendung immer einem Waschprozess unterzogen werden. Durch aggressive Waschlauge und hohe Washtemperaturen wird jedoch zusätzlich das Material der Verpackung belastet, was limitierend auf die Anzahl an Wiederverwendungen wirkt und die Nachhaltigkeit der Verpackung beeinträchtigt.

Daher lag der Fokus des Projekts darauf, eine Mehrwegverpackung zu entwickeln, die die Vorteile der Einwegverpackung mit einer Mehrwegverpackung kombiniert, dabei auf einen Waschprozess verzichtet und aus Monomaterialien besteht.

So wurde im Rahmen des Projekts ein mehrschichtiges Verpackungssystem entwickelt, bei dem die Außen- und Innenschicht nach jeder Verwendung ausgetauscht und der Kern wiederverwendet werden kann. In einem Refurbishing-Prozess wird der Kern mit der Innen- und Außenschicht neu bezogen. Am Boden des Kerns ist ein NFC-Chip integriert, der eine eindeutige Zuordnung jeder einzelnen Verpackung in der IQPAK-Datenbank ermöglicht. Mit Hilfe der Datenbank kann eine einfache Zuweisung eines Pfandwertes realisiert werden. Dabei kann der Wert, je nach Kundenwunsch, sowohl variabel (dynamisches Pfand) gestaltet werden als auch über Ländergrenzen hinaus gültig (Cross-Border-Pfand) bleiben.

Durch den Verzicht auf den Waschprozess und die hohe Umlaufzykluszahl kann die IQPAK-Mehrwegverpackung in der Energie bzw. CO₂-Bilanz im Vergleich zu den bereits im Markt erhältlichen Mehrwegverpackungen punkten.

Die Firma Löning + Partner fungiert als assoziierter Partner im Projekt und ist Experte im Bereich von Rücknahmesystemen für pfandbasierte Mehrwegverpackungen. Aus dieser langjährigen Erfahrung heraus kennt die Firma Löning + Partner den Markt und die Anforderung an solche Verpackungssysteme genau. Sie verfügt über die notwendigen Kontakte zur Umsetzung der vorgeschlagenen Lösung und zum Erreichen einer immensen Marktakzeptanz.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass im Rahmen des Projekts die Machbarkeit der IQPAK-Mehrwegverpackung anhand des Beispiels Mehrweg-Pfandbechersystem erfolgreich demonstriert wurde. Während der Projektphase konnten Handmuster, mit dem in den Vorarbeiten konzipierten 3-Schichtaufbau-Prinzip, hergestellt werden.

Zur Herstellung der Innenschicht wurde der Thermoformingprozess ausgewählt. Mit dem Verfahren konnte der materialminimalistische Ansatz umgesetzt werden, indem die Schicht aus sehr dünnen Folien ($< 50\mu\text{m}$) hergestellt wurde. Dafür wurde ein gängiges Polyolefin-Material verwendet. Als Außenschicht diente bisher eine kommerzielle PP- oder PET-basierte Schrumpffolie, die je nach Bedarf bedruckt werden kann. So kann später in der Großserienproduktion das Außendesign nach Kundenwunsch angepasst werden.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Kurzgutachten als eine orientierende Umweltbewertung des IQPAK-Systems vom ifeu-Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH erstellt. Nach dessen Berechnungen liegt das CO₂-Einsparpotential von IQPAK bei ca. 70% im Vergleich zu herkömmlichen Mehrwegsystemen.

Während der Projektphase wurde eine Datenbank für die Hinterlegung von Information (Nutzungszyklus, CO₂-Einsparung, verwendete Materialien etc.) über IQPAK aufgebaut. Diese Information kann über die Aktivierung des NFC-Chips dem Nutzer zur Verfügung gestellt werden. Durch das Tracking der Verpackungen in Echtzeit ist ein aktives Pool-Management möglich, was zu einer zusätzlichen Ressourcenschonung beiträgt.

Dem IQPAK-System wurde im April 2024 ein europäisches Patent erteilt.

Für die Verwertung der Projektergebnisse wird nach Projektende die Gründung einer IQPAK-GmbH angestrebt. Dies möchte die Fa. Löning + Partner in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer LBF durchführen. Hierzu sollen nach Projektende ein Businessplan erstellt, Investoren gesucht und erste Schritte zur Großserienfertigung in die Wege geleitet werden.

1 Motivation und Ziele

Der Konsum von Einwegverpackungen, insbesondere von Einweggetränkebechern, wurde in den letzten Jahren sehr kritisch betrachtet, da die Verwertung dieser Abfälle größtenteils in Müllheizkraftwerken stattfindet. Daher hat man keine ressourcenschonende Nutzung der eingesetzten Materialien und die Wiederverwendung wertvoller Rohstoffe ist so nicht möglich. Im Gegensatz zu Einwegverpackungen bestehen Mehrwegverpackungen aus langlebigen und wiederverwendbaren Materialien, die im Alltag oder in der Produktion mehrfach verwendet werden können. Neuartige Lösungsansätze zu Mehrwegverpackungen sind jedoch nur dann erfolgversprechend, wenn neben klaren ökologischen Vorteilen gleichzeitig auch eine hohe Akzeptanz beim Konsumenten geschaffen wird. Pfand-Systeme werden in Deutschland grundsätzlich akzeptiert, sofern eine einfache und unkomplizierte Rücknahme sichergestellt werden kann.

Eine akzeptierte Lösung kann daher nur erreicht werden, wenn diese nutzerfreundlich ist und gleichzeitig eindeutige ökologische Vorteile zu bestehenden Lösungen aufweist. Solche Prozesse der Akzeptanz sind für den Erfolg wesentlich und werden unter dem Begriff Ökoroutine¹ zusammengefasst. Die existierenden Mehrweglösungen sind entweder sehr lokal begrenzt, es gibt also keine flächendeckende funktionsfähige Rücknahmeinfrastruktur und/oder die Systeme bauen auf einem „selber Spülen“ durch den Kunden auf, was zum einen unter Erfüllung der HACCP-Richtlinien² nicht flächendeckend umgesetzt werden kann und zum anderen aus ökologischer Hinsicht, durch den hohen Wasser- und Energieverbrauch, keinerlei Vorteile bietet. Es lässt sich also feststellen, dass es zurzeit keine zufriedenstellenden Mehrweglösungen zur signifikanten Reduktion von Einwegbechern/Einwegverpackungen gibt. Es wird deutlich, dass durch die hohe Vielfalt, die hohe Verbreitung und durch die unzählige Anzahl von Ausgabestellen von Einwegbechern, eine allumfassende Mehrweg-Lösung, zunächst, kaum möglich ist. Um eine bestmöglich hohe Reichweite bei gleichzeitig vorhandener Infrastruktur zu erzielen, ist es notwendig, in einem ersten Schritt, eine ökologisch sinnvolle Lösung für Teile der „Hauptverursacher“ an Einwegmüll zu erarbeiten. Mit Blick auf Einwegbecher trägt die Systemgastronomie, wie z.B. McDonalds, Burger King, Starbucks, etc. derzeit zu ca. 60% des Einwegbecheraufkommens bei. Durch eine Mehrweg-Lösung für die Systemgastronomie ergibt sich daher ein sehr direkter Hebel zur Reduktion von Einwegbechern.

Eine Lösung mit einem Höchstanteil der Wiederverwertung der eingesetzten Rohstoffe und einer ressourcenschonenden Aufbereitung mit minimalem CO₂-Bedarf ist für die Systemgastronomie zwar interessant, aber auch das Customizing und neue Wege der Kundenbindung spielen eine wichtige Rolle für die Akzeptanz.

So ergibt sich die Akzeptanz der vorgeschlagenen Lösung aus der Einhaltung und Sicherstellung notwendiger Hygienevorgaben, einem Höchstmaß an Ressourcenschonung durch geschlossene Kreisläufe und der zusätzlichen Integration smarter Funktionalitäten, die eine „Kommunikation“ des Bechers mit seiner Umwelt/Nutzer:innen ermöglicht. Diese Kommunikation erfolgt dabei über unterschiedliche Smart Devices, die über eine entsprechende App Informationen zur Verpackung auslesen können.

In den Vorarbeiten in einer Kooperation zwischen Fa. Löning + Partner und dem Fraunhofer LBF wurde die grundsätzliche Machbarkeit eines neuen und innovativen Pfand-Mehrwegsystems am Beispiel eines Mehrwegbechers dargestellt. Im nächsten Schritt musste diese grundsätzliche Machbarkeit in eine technische Lösung überführt und anhand eines Demonstrators aufgezeigt werden.

¹ Kopatz, M.; Ökoroutine – Damit wir tun, was wir für richtig halten; 2016; oekom Verlag, München

² Hazard Analysis Critical Control Point

1.1 Zielsetzung

Das Ziel des Projekts war daher, die Eignung des neuen Verpackungssystems am Beispiel von Pfand-Mehrwegbechern für den Ersatz von „to-go“ Einwegbechern zu demonstrieren. Es sollte ein neuartiges Pfand-Mehrweg-Verpackungssystem entwickelt werden, welches bei der Aufbereitung (Refurbish) auf wasserbasierte Reinigungsverfahren verzichtet. Daraus ergeben sich direkte ökologische Vorteile gegenüber Mehrwegsystemen, die zur Reinigung auf energie- und ressourcenintensive waschbasierte Verfahren zurückgreifen.

Weiter wurde auf den Einsatz von Papier/Pappe verzichtet, da auch die Prozesse der Papierherstellung, hinsichtlich Energie- und Wassereinsatz, als kritisch zu bewerten sind. Zudem ist Papier im Zusammenhang mit Mehrwegverpackungen aus hygienischen Gründen nur sehr bedingt geeignet. Aus den genannten Gründen fokussierte das Projekt auf die Entwicklung eines kunststoffbasierten Mehrweg-Systems, welches ca. 90% der eingesetzten Kunststoffe mehrmals wiederverwendet. Die restlichen 10% fallen bei der Aufbereitung als wiederverwertbare Rohstoffe an, die als Monomaterialien über definierte Recyclingströme im geschlossenen Kreislauf geführt werden können.

Das in dem Projekt entwickelte Pfand-Mehrweg-Verpackungs-System adressierte dabei eine Vielzahl kurzlebiger Verpackungslösungen wie z.B. auch Getränkekartons. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde die Eignung des neuen Verpackungssystems am Beispiel von Pfand-Mehrwegbechern für den Ersatz von „to-go“ Einwegbechern demonstriert. Ausgehend von der Demonstration am Beispiel des Pfand-Mehrweg-Bechers kann dann das neue Verpackungssystem auf weitere Anwendungen ausgeweitet werden.

Ein weiteres Projektziel lag in der Integration einer smarten und günstigen NFC-Komponente zur Kommunikation der Becher mit der Umgebung, die zudem am Ende des nahezu beliebig langen Nutzungszyklus des Becherkerns gezielt aus diesem entfernt werden kann. Der NFC-Chip ermöglicht über eine Datenbank die Rücknahme an den Rücknahmeautomaten, vor allem aber die Dokumentation des Status' des Bechers (aufbereitet, nicht aufbereitet). Durch die Kommunikation mit z.B. einer Befüllstation wird so eine Fehlbefüllung eines nicht aufbereiteten Bechers nahezu ausgeschlossen, was die Hygienesicherheit deutlich erhöht. Diese Funktionalität wird dem Nutzer in Form einer APP zur Verfügung gestellt, die über Smartphones bedient werden kann.

Bei amorphen Thermoplasten arbeitet man oberhalb der Glas temperatur, bei teilkristallinen Thermoplasten nahe der Schmelztemperatur. Die obere Verarbeitungstemperatur wird durch das Einsetzen von Fließprozessen begrenzt.

Die Bauteilqualität wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Material
- Verarbeitungstemperatur, Temperaturverteilung
- Deformationsgeschwindigkeit
- Verstreckungsverhältnis
- Relaxationszeit
- Werkzeugtemperatur und Kühlzeit

Eine schematische Darstellung eines Thermoforming-Verfahrens ist in Abbildung 2 ersichtlich.

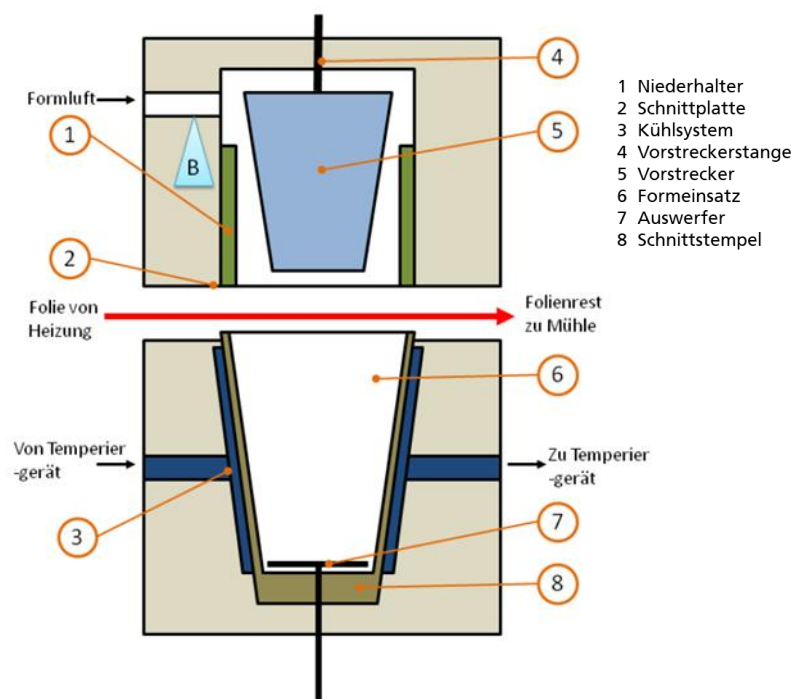


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Thermoforming-Verfahrens

2.2 Umsetzung des Arbeitsplans in den Arbeitspaketen

Für die Auswahl der Materialien, das Herstellverfahren der Proben und das Zusammenfügen der hergestellten Komponenten für die Pfand-Mehrweg-Verpackung wurde der in der Abbildung 1 dargestellte Aufbau am Beispiel eines Bechers zu Grunde gelegt.

Zusammen mit der Fa. Löning + Partner wurde vorab ein Anforderungskatalog für eine Mehrwegverpackung erarbeitet.

2.2.1 Auswahl verfügbarer kommerzieller Materialien und Verarbeitungsprozesse (WP1)

- In einem ersten Schritt wurden kommerziell verfügbare Materialien und Verarbeitungsverfahren ausgewählt, die die Anforderungen des Pfand-Mehrwegbechersystems hinsichtlich der Verarbeitbarkeit erfüllen.

- Für die Herstellung eines „To-Go-Getränkebechers“, der beispielhaft das Mehrwegpfandbechersystem darstellen soll, wurde das Thermoformingverfahren als Verarbeitungsverfahren ausgewählt.
- Die erste orientierende Versuchsreihe mit dem Thermoformingverfahren wurde mit unterschiedlichen Polymeren ((Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP), Polyethylen (PE)) durchgeführt, um die **Eignung der Polymermaterialien für den Tiefziehprozess** zu untersuchen. Die hergestellten Proben wurden hinsichtlich der Schichtdicke und Formstabilität untersucht. Ebenfalls wurde das Kristallinitätsverhalten an ausgewählten Proben untersucht.
- Dafür wurde zunächst eine **250 ml Becherform** als Einsatz (dient als **Systemlayer**) für das Thermoformwerkzeug ausgewählt, um eine **Innenschicht (Contentlayer)** in dem 250 ml Systemlayer tiefziehen zu können.
- **Polymerfolien mit unterschiedlichen Dicken** wurden dafür eingesetzt, um technische Grenzen und Limitierungen auszuloten, damit ein stabiler Contentlayer hergestellt werden kann. Dies war notwendig, um herauszuarbeiten, wie viel **minimale Polymermaterialmenge** benötigt wird, um das Mehrweg-Pfandbechersystem zu realisieren. Das Mehrweg-Pfandbechersystem hat den Anspruch, bei der Herstellung materialminimalistisch zu bleiben.
- Basierend auf den Ergebnissen der **Vorversuche** hinsichtlich der Materialeignung zur **Prozessierbarkeit und Formstabilität** wurden in einem späteren Schritt Materialien ausgewählt, beschafft und Folien mit geeigneter Geometrie hergestellt. Diese wurden dann für die weiteren Thermoformingversuche eingesetzt. Dabei wurden verschiedene Prozessparameter, wie die Stempelgeschwindigkeit beim Tiefziehen, der Stempelweg, die Temperatur über die Heizzeit der Folie für die Optimierung des Prozesses variiert.
- Um eine Anbindung von Contentlayer mit dem Systemlayer zu testen, wurden in 3D-Druck verschiedene **Innenstrukturen im Systemlayer** für die 250 ml Becherform realisiert.
- Die Thermoformingversuche wurden bei der Fa. Kiefel im Technikum durchgeführt. Die Versuchstabellen der Vorversuche und von weiteren Versuchen sind im Anhang zu finden.
- Die Innenlayer wurden auf ihre **thermische Stabilität für Heißgetränke-Anwendung** (bis zu 100 °C) und das Materialverhalten der ausgewählten Proben hinsichtlich der Formstabilität mittels DSC (Kristallinität) analysiert. Weiterhin wurden **Versuche zur Aromabarriere** durchgeführt.
- Um den **Außenlayer (Handlinglayer)** zu realisieren, wurden Schrumpffolien in verschiedenen Dicken beschafft und händisch auf den Systemlayer aufgebracht.
- Davor wurde am Boden des Bechers ein NFC-Chip und das IQPAK Logo an der Becherwand angebracht.

2.2.2 Erarbeitung technischer Lösungen zur Herstellung und Wiederaufbereitung des Pfand-Mehrweg-Systems (WP2)

- Nach den umfassenden Vorversuchen wurde ein **Verpackungsdesign für 500 ml Becher** entwickelt. Dafür wurden verschiedene Faktoren, die die Logistik, die Verwendung und die Rückgabe der Pfandbecher beeinflussen können, mitberücksichtigt. Diese sind **Transportgröße, Losgröße, Stapelbarkeit, Anbindung Innenlayer an Trinkrand und Becherkern**.
- Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden, basierend auf den Anforderungen und den ausgewählten Materialien, geeignete **großserientaugliche Verarbeitungsverfahren** wie

Spritzguss, Thermoformen, Folienverarbeitung, etc. ausgewählt und deren technische Möglichkeiten gegenübergestellt, um zu bewerten, wie der Kern bzw. der Systemlayer als Mehrwegteil der Verpackung hergestellt und wie der Contentlayer und Handlinglayer am Systemlayer angebracht werden kann.

- Um eine prototypische Umsetzung des Mehrweg-Pfandbechersystems zu realisieren, wurde zunächst, für die Herstellung des Contentlayers für 500 ml Becher, ein Einsatz für das bei der Fa. Kiefel vorhandene Werkzeug entwickelt und mittels 3D-Druck am LBF hergestellt. Dies ermöglichte es, den **Contentlayer über den Trinkrand überzuziehen**. Somit konnte der **Handlinglayer in Form eines Sleeves** auf der Außenseite des Bechers angebracht werden, der den Contentlayer umschließt.
- Weiterhin wurden Konzepte für eine Wiederaufbereitung des Mehrweg-Pfandbechersystems erarbeitet, um dafür technische Lösungen zu entwickeln.

2.2.3 Erarbeitung einer technischen Lösung für den Deckel (WP3)

- Im Rahmen des 3. Arbeitspakets wurde ein **Deckel-Workshop** mit beteiligten Projektpartnern durchgeführt. Dabei wurden bereits aus den Vorarbeiten vorliegende Vorschläge zum Verschluss-System (Deckel) im Kontext des Verpackungssystems ausgewertet.
- Es wurden technologische Überlegungen zur Realisierung möglicher Formen des Deckels durchgeführt.

2.2.4 Erarbeitung technischer Lösungen für die Integration der Elektronik (WP4)

- Die Integration der Elektronik in Form eines NFC-Chips in das Mehrweg-Pfandbechersystem war der Kernpunkt dieses Arbeitspakets.
- Dafür wurden gängige NFC-Chips eingesetzt und diese beispielhaft mit verschiedenen Datensätzen versehen.
- Die **Nachverfolgung der Wiederverwendbarkeit** des Mehrweg-Pfandbechersystems ist einer der wichtigsten Faktoren des Gesamtkonzepts. Es wurden technologische Überlegungen zur **Integration des NFC-Chips** in das Herstellverfahren des Mehrweg-Pfandbechers angestellt.
- Dies hängt direkt mit der Auswahl des Herstellverfahrens zusammen. Im Falle eines Spritzgießverfahrens kann z.B. der NFC-Chip umspritzt werden.
- Ebenfalls wurden technische Überlegungen zur Montage, Demontage und Kreislauffähigkeit der Elektronik im Verpackungssystem durchgeführt.

2.2.5 Aufbau eines Demonstrators (WP5)

- Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde ein **Demonstrator aufgebaut**, der das Mehrweg-Pfandbechersystem beispielhaft darstellt. Dafür wurde das Bechersystem mit 500 ml Füllvermögen verwendet.
- Um die Mehrweg-Pfandbecher-Demonstratoren zu realisieren, wurde die Systemlayer noch mittels 3D-Druck hergestellt.

- Die für die Contentlayer benötigten Folien wurden am LBF aus für Tiefziehprozesse geeigneten PP-Materialien hergestellt.
- Mit den hergestellten Folien wurde im Technikum der Fa. Kiefel der **Contentlayer durch Tiefziehen in den Systemlayer eingebracht**. Dafür wurde der angepasste Einsatz des Werkzeugs verwendet.
- Für den Handlinglayer wurden Schrumpffolien als Sleeve verwendet. Mit dem Sleeve wurde der Contentlayer und die Bodenschicht überzogen. Am Boden des Bechers wurde der NFC-Chip angebracht. (siehe Bild in Projektergebnisse)

2.2.6 Darstellung der nächsten Schritte für die Umsetzung in einen Serienprozess und Verwertung (WP6)

- Die Realisierung des Demonstrators zeigte die Machbarkeit des konzipierten Mehrweg-Pfandbechersystems.
- Um diese Demonstratoren in großtechnische Serienproduktion bringen zu können, wurden die Schritte des Produktionsprozesses definiert und die grundsätzliche Umsetzbarkeit aufgezeigt.
- Verschiedene Firmen (Anlagenhersteller für Thermoforming und Sleeve-Verarbeitung, Folienhersteller, Werkzeughersteller für Spritzgießwerkzeuge) wurden angesprochen, um die **Übertragung des technologischen Konzepts in die Serienproduktion** zu realisieren.
- In mehreren Diskussionen und in Workshops wurde die **Übertragbarkeit** des im Projekt verfolgten Konzepts auf die **anderen möglichen Einwegverpackungen** geprüft.

3 Projektergebnisse

3.1 Materialauswahl

Für die Herstellung des Mehrweg-Pfandbechers wurden Materialien ausgewählt, die zum Herstellen von Folien geeignet sind, da solche im Thermoformingprozess für die Formgebung eingesetzt wurden. Dabei wurden Folien aus PP, HDPE, LLDPE, PET (Kristallin) und PET (Amorph) verwendet. Umfassende Versuche wurden für die 250 ml-Becherform unter Parametervariation von Foliendicke, Tiefziehgeschwindigkeit und Temperatur durchgeführt. Von allen getesteten Materialien hat sich PP hinsichtlich der Foliendicke und der Formstabilität (auch beim Heißwasserversuch) als am besten geeignetes Material erwiesen.

Für die Becherform (250 ml) konnte, je nach Ausgangsfolie, eine Wanddicke zwischen 35-40 μm erreicht werden. Der Materialbedarf betrug für die Form (als Contentlayer) ca. 1,5 g pro Becher. Dagegen wiegt ein im Markt erhältlicher Einwegbecher (250 ml) ca. 4 g.

Da die Becher u.a. für Heißgetränke eingesetzt werden sollen, wurden Beständigkeitsversuche mit Heißwasser durchgeführt (siehe Abbildung 3). Hinsichtlich der Formbeständigkeit des Contentlayer eignete sich ebenfalls PP am besten.

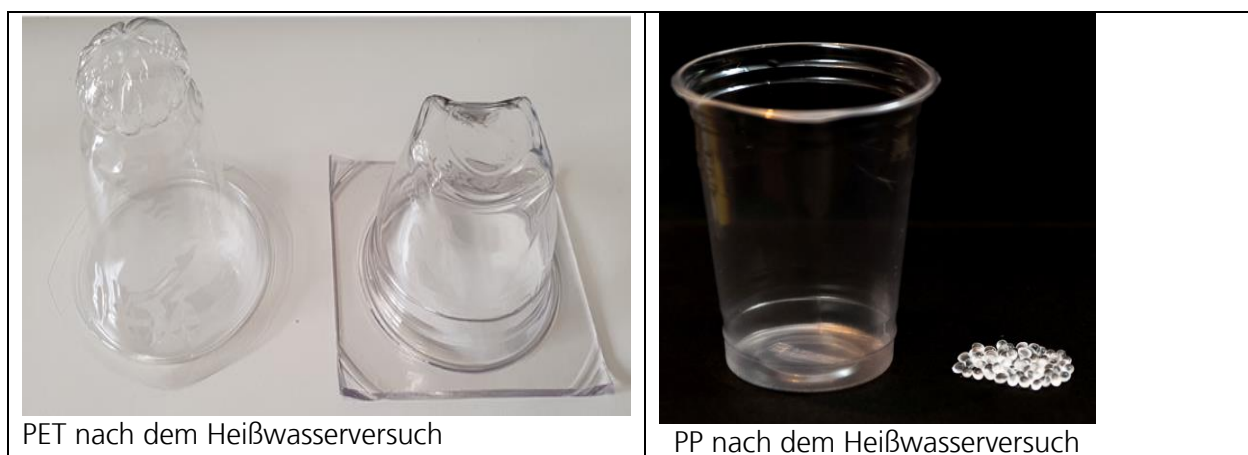


Abbildung 3: Deformierte PET-Becherform nach Heißwasserversuch (links), PP mit Heißwasserversuch nicht deformiert (rechts), es wiegt ca. 1,5 g

3.2 Tiefziehversuche mit dem 250 ml Becher (Systemlayer)

Um die Haftung der Contentlayer auf dem Systemlayer zu untersuchen, wurden an der Innenwand der Systemlayer verschiedene Innenstrukturen mittels 3D-Druck erzeugt (siehe Abbildung 4). In diesem Systemlayer wurde dann die Schicht der Contentlayer tiefgezogen.

Die Innenstruktur der Systemlayer wurde auf den Contentlayer geprägt, so dass der Contentlayer dadurch eine Strukturstabilität erhalten hat. Die Haftung der Contentlayer an den Systemlayer konnte dadurch jedoch nicht verbessert werden.

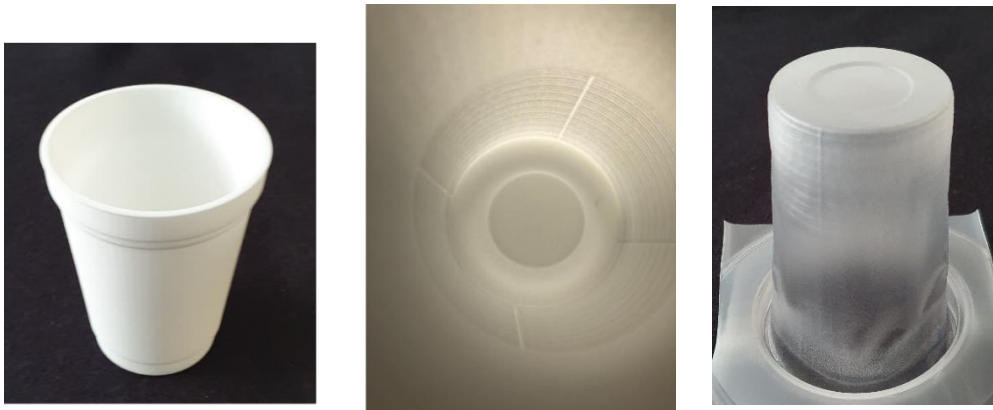


Abbildung 4: 3D-gedruckter Systemlayer (links), Innenstruktur im Systemlayer (Mitte), formstabiler Contentlayer

An ausgewählten PP-Proben wurden Kristallinitätsuntersuchungen durchgeführt, um mögliches Deformationsverhalten bei Temperaturbelastungen zu untersuchen. Es zeigt sich eine unvollständige Kristallisation der PP-Probe beim Tiefziehprozess (siehe Abbildung 5, Kristallisationspeak in den DSC-Kurven). PP hat die Tendenz, bei einer unvollständigen Kristallisation nach einer (prozessbedingten) thermischen Behandlung nachzukristallisieren. Dabei kommt es zur Schwindung und Verformung des Bauteils oder der Form, was zum Mangel des Produkts führt. Mit der Zugabe eines geeigneten Nukleierungsmittels zum PP könnte dies verhindert werden. Dies erforderte jedoch einen zusätzlichen Aufwand in der Materialentwicklung, was nicht Teil des Projekts war. Daher konnten hierzu weitere Entwicklungs- und -optimierungsschritte aus Zeit- und finanziellen Gründen während der Projektlaufzeit nicht realisiert werden und müssen in einem weiteren Produktentwicklungsschritt betrachtet werden. Ebenfalls muss der materialminimalistische Ansatz in der weiteren Produktentwicklung und -optimierung verfolgt werden.

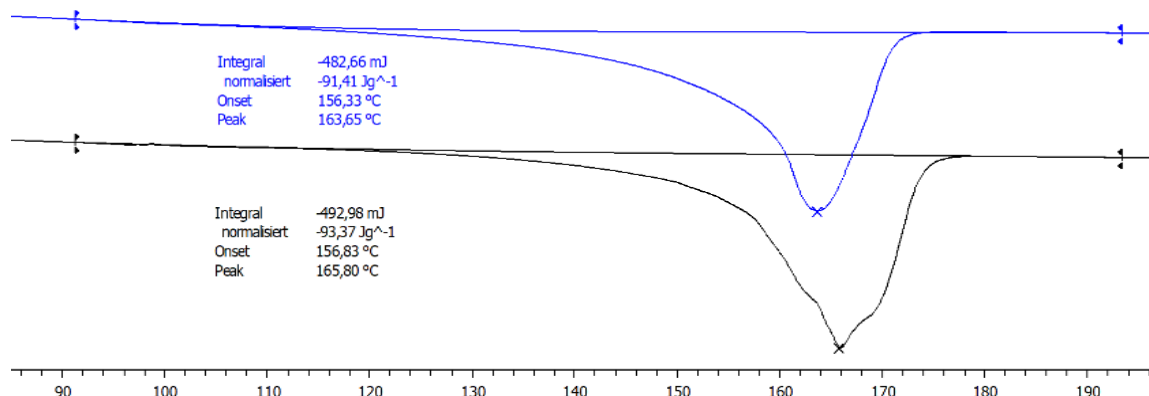


Abbildung 5: Differential Scanning Calorimetry (DSC)-Untersuchung einer PP Probe nach dem Thermoformingprozess

Die Verfahrensauswahl zur Herstellung der Becherform fiel zunächst auf Thermoforming, da dies für die Formgebung verschiedener Verpackungen (z.B. Becherform) die gängigste Art der Herstellung ist. Im Kapitel Methodik ist das Thermoforming-Verfahren bereits beschrieben. Für den Systemlayer kam sowohl ein Spritzgießverfahren als auch ein Thermoforming-Verfahren in Frage. Für das Spritzgießen war jedoch der Bau eines Werkzeuges notwendig, was in der Projektlaufzeit aus zeit- und finanztechnischen Gründen nicht umgesetzt werden konnte. Es wird aber in der weiteren Entwicklungsarbeit über das Projekt hinaus ein Spritzgießwerkzeug für eine kleine Serienfertigung hergestellt und die weitere Optimierung des Prozesses vorangetrieben werden.

3.3 Betrachtung der Herstellung und Wiederaufbereitung eines 500 ml Bechers

In einem zweiten Schritt wurden besonders für Tiefziehprozesse geeignete PP-Typen (Moplen HP 640J, MoplenHP456J und AdstifHA612M) ausgewählt, um die weitere Prozess- und Materialoptimierung hinsichtlich des Contentlayers durchzuführen. Für die Versuche wurde die Becherform eines 500 ml Bechers ausgewählt. Am LBF wurden im vorangeschalteten Schritt die für das Thermoforming benötigten Folien in verschiedenen Dicken von 200 µm bis zu 450 µm hergestellt. Um die Tiefzieh-Versuche mit der 500 ml Becherform durchführen zu können, musste für das Werkzeug ein Anpassungseinsatz (siehe Abbildung 6) mittels 3D-Druck gefertigt werden. Der Einsatz hatte den Zweck, zum einen den 500 ml Systembecher im Werkzeug aufzunehmen und ihn so zu platzieren, dass er die Kante des Werkzeugs etwa 10 mm überragt (siehe Abbildung 7). Dadurch konnte die erzeugte Innenschicht (Contentlayer) über den Trinkrand hinausgezogen werden. Zusätzlich dazu wurde ein Einsatz für den Boden gefertigt, um diesen für die Außenschicht vorzubereiten (siehe Abbildung 8).



Abbildung 6: Werkzeugeinsatz zum Tiefziehprozess für 500 ml Becher

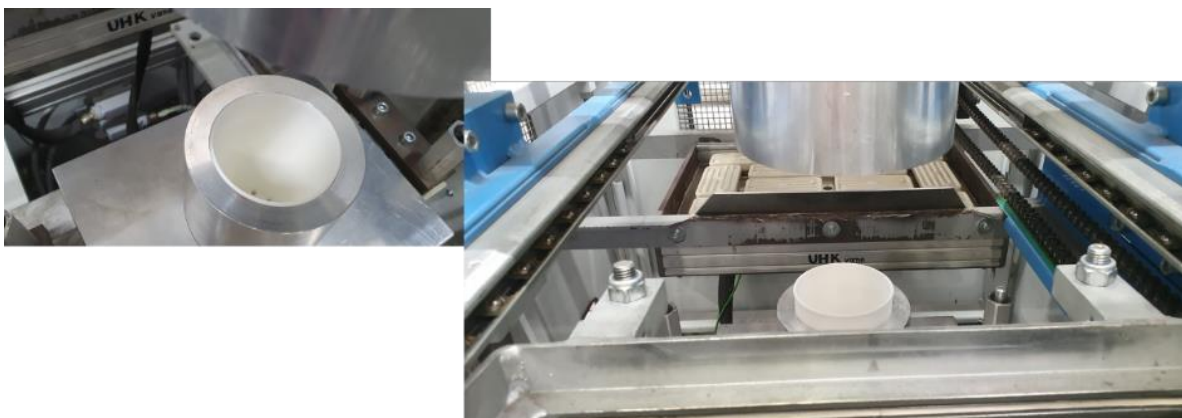


Abbildung 7: Thermoforming-Werkzeug mit dem Einsatz für den Systemlayer (links); Systemlayer überragt Einsatz (rechts)

Mit Hilfe des Thermoforming-Prozesses konnten somit stabile Contentlayer mit einer Dicke zwischen 50 – 60 µm hergestellt werden. Dafür wurden die Parameter Temperatur, Stempelgeschwindigkeit und Stempelweg für die Vorverformung variiert und der Prozess angepasst.



Abbildung 8: 500 ml Becher mit Contentlayer, der über den Trinkrand hinausragt und mit dem separat hergestellten Boden (links), herausnehmbarem Contentlayer (Innenlayer) (rechts)

Der herausnehmbare Contentlayer zeigt die grundsätzliche Machbarkeit der Wiederaufbereitung des Contentlayers. In dieser Versuchsreihe konnte jedoch die Haftung des Contentlayers am Systemlayer nicht realisiert werden.

3.4 Weitere Versuche hinsichtlich der Anwendung im Getränkebereich

Um weitere Eigenschaften, wie Barriereigenschaften des Contentlayers hinsichtlich der Anwendung für Getränke, zu untersuchen, wurde der Contentlayer für definierte Zeit in Kontakt mit verschiedenen Lebensmittel Flüssigkeiten wie heißem Kaffee, Cola oder Milch gebracht (siehe Abbildung 9). Nach einer Lagerung von 48 h wurde die Flüssigkeit aus dem Contentlayer entfernt. Anschließend wurde der Contentlayer aus dem Systemlayer herausgenommen und am Systemlayer Aromatests durchgeführt, um festzustellen, ob der Contentlayer als Aromabarriere für den Systemlayer funktioniert hat. (siehe Abbildung 10).

Es wurde kein Einfluss von Aromen auf den Systemlayer festgestellt. Weder der Geruch von Kaffee noch von Cola oder Milch war nach 48 h am Systemlayer wahrnehmbar. Es lässt sich daher rückschließen, dass die verwendeten PP-Materialien eine gute Aromabarriere für den Systemlayer bilden.



Abbildung 9: Aromatests mit Milch (links) und Cola (rechts) im Contentlayer für 48 h



Abbildung 10: Milchkaffee im Contentlayer für 48 h (links); Aromatest mit dem Systemlayer (rechts)

3.5 Anbringung des Außenlayers (Handlinglayer)

Die Realisierung des Außenlayers (Handlinglayer) geschah in erster Näherung über eine Schrumpf-Sleeve-Folie. Die Recherche zu Schrumpf-Sleeve-Folien ergab, dass es hauptsächlich drei Typen von Folien auf dem Markt gibt, die je nach Anwendung eingesetzt werden. Diese basieren auf Polystyrol, PET oder einem Polyolefin. Je nach Material gibt es unterschiedliche Schrumpfungsgrade.

Jedoch gab es auch Einschränkungen in der Anwendung von Schrumpffolien, so dass zunächst der Boden nicht vollständig mit der geschrumpften Folie umschlossen werden konnte. Dafür wurde dann ein Boden ebenfalls mit dem Thermoforming-Prozess gefertigt und am Boden des Systemlayers angebracht, wie bereits die Abbildung 8 darstellt.



Abbildung 11: Einsatz von Schrumpf-Sleeve-Folie als Außenlayer (Handlinglayer)

Die Schrumpf-Sleeve-Folie wurde zunächst für einen 250 ml Systemlayer eingesetzt. Die Folie konnte den Systemlayer inklusive des im Thermoforming-Verfahren neu gefertigten Bodens, wie bereits in Abbildung 8 dargestellt, gut umschließen und blieb auch fest um den Systemlayer haftend (siehe Abbildung 11). Ebenfalls wurde der NFC-Chip am Boden des Systemlayers angebracht. In der zukünftigen Serienfertigung soll der NFC-Chip während der Herstellung des Systemlayers direkt in den Boden integriert werden.

Gleichzeitig wurden Aspekte hinsichtlich Transportlogistik und Stapelbarkeit des Bechers berücksichtigt. Die Stapelbarkeit des Bechers wird durch den Innendurchmesser, den Winkel vom Boden zum Trinkrand und die Dicke der Wand erheblich beeinflusst (siehe Abbildung 12). Dies soll bei der Weiterentwicklung des Produkts immer mitberücksichtigt werden.

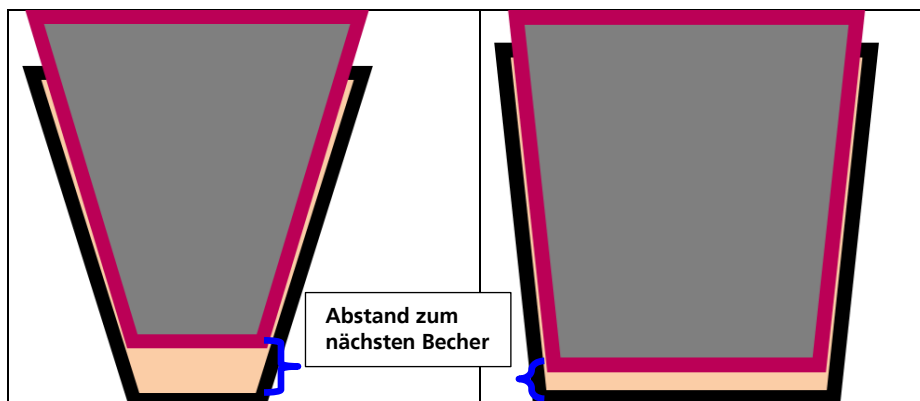


Abbildung 12: Einflussfaktoren auf die Stapelbarkeit des Bechers (Innendurchmesser und Winkel vom Boden zum Trinkrand)

Eine übliche Lieferart, der zurzeit im Markt erhältlichen Becher ist die Kartonage, in der die Becher gestapelt gepackt werden. Eine Kartonage enthält 1.000 Becher mit Stapelung von jeweils 50 Bechern. Auf eine Palette passen üblicherweise 24 Kartons, also 24.000 Becher pro Palette. Während der Weiterentwicklung des IQPAK-Verpackungssystems muss auch der Logistikaufwand anhand der Geometrie bzw. der Stapelbarkeit kalkuliert werden und ins Verhältnis zu jetzigen Systemen gesetzt werden.

3.6 Mögliche Deckelvarianten für das IQPAK-System

Im Rahmen des Deckelworkshops wurden verschiedene technologische Möglichkeiten in Betracht gezogen. Dafür wurde zunächst folgender Anforderungskatalog erstellt und anhand des Kataloges die Lösungen erarbeitet:

Erforderliche Kriterien waren:

- Rezyklierbarkeit oder Wiederverwendbarkeit ohne Spülvorgang
- wenn Einweg, dann minimalistisches Design zur Materialeinsparung
- Deckel muss mit dem Pfandsystem zurückgegeben werden
- nachträgliche Zugabemöglichkeiten (z. B. Milch) durch eine Öffnung

die optionalen Kriterien waren:

- markierfähig zum Anzeigen des Inhalts
- wenn Einweg, dann aus gleichem Monomaterial wie Handling- oder Contentlayer

Grundsätzlich wären zwei Wege für den Deckel möglich: Mehrweg oder Einweg. Somit ergaben sich folgende Ansätze:

Wenn Mehrweg, dann wird

- eigenes Pfand und Datenverwaltung notwendig sein.
- eigenes Refurbishing (Zusatzkosten) nötig.
- Anbringung eines Extra NFC-Chips nötig.
- eine niedrige Rückgabequote möglich sein.
- mehr Funktionalität möglich sein.

Wenn Einweg, dann wird

- die Montage des Deckels bedarfsgerecht erfolgen.
- der Deckel nach der Montage nicht wieder „einfach“ trennbar sein.
- der Deckel zum integralen Bestandteil des Handling- oder Contentlayers, wodurch die Materialauswahl eingeschränkt wird.

Nach einigen Überlegungen ergaben sich folgende Anbindungsmöglichkeiten:

- Anbindung an Contentlayer
>> Deckel wird mit dem Contentlayer beim Herstellen und beim Refurbishing verbunden
- Anbindung an Handlinglayer
>> Deckel wird mit dem Handlinglayer beim Herstellen und beim Refurbishing verbunden
- Anbindung über den Trinkrand
>> Deckel wird über den Trinkrand vom Systemlayer angebunden
- aufgesteckter Ring unterhalb des Trinkrandes außerhalb des Sleeves
>> Deckel wird über einen Ring unterhalb des Trinkrandes außerhalb des Sleeves nach dem Befüllen fixiert

- Manschette unterhalb des Sleeves
>> Deckel wird über eine Manschette unterhalb des Sleeves beim Herstellen oder Refurbishing fixiert
- ohne feste Anbindung / demontierbar
>> Deckel wird nicht fest angebunden, Möglichkeit zu Mehrwegfunktion

Ebenfalls wurden mehrere Optionen zum möglichen Mechanismus des Deckels eruiert und folgendes festgehalten:

- Siegeldeckel fest
- Siegeldeckel wiederverschließbar
- klemmbarer Deckel / Klappdeckel
- Faltdeckel / Rolldeckel
- Schraubdeckel
- Elastodeckel
- drehbare, verschließbare Trinköffnung
- Schwingdeckel
- Blende

Von allen Varianten erscheint ein Siegeldeckel (Anbringung von Siegelfolie) die am einfachsten durchführbare und materialminimalistische Varianten des Deckels zu sein. Dies soll in der weiteren Produktentwicklung berücksichtigt, angepasst und optimiert werden.

3.7 Möglichkeiten zur Anbringung des NFC-Chips

Der NFC-Chip soll für die Datenerfassung und als „Datatracking“ während des gesamten Kreislaufs des IQPAKS eingesetzt werden. Dafür muss er an dem Systemlayer so angebracht werden, dass eine nachträgliche Entfernung des Chips während der Nutzung nicht möglich ist. Der Chip ist beim Herstellen des Systemlayers so in diesen zu integrieren, dass er auch bei beliebig vielen Refurbishment-Zyklen noch geschützt ist.

Für das erste Handmuster wurde der NFC-Chip an den Boden des IQPAK-Bechers geklebt (siehe Abbildung 13), um das Prinzip des Chips sichtbar zu machen.



Abbildung 13: Anbringung des NFC-Chips am Boden des IQPAKs

Dieser Chip wurde mit der IQPAK-App über einen QR-Code aktiviert. Die Daten des Chips konnten gelesen und der dieser Verpackung fiktiv zugeordnete Stand (Umlaufzahl, Material etc.) konnte ausgelesen werden.

Die Anbringung des NFC-Chips ist abhängig von der Auswahl des Herstellverfahrens. In der weiteren Entwicklung des Produkts wird entschieden, ob ein Spritzgieß- oder ein Thermoformingverfahren für den Systemlayer geeignet ist, oder ob für den Gesamtprozess eine andere Verarbeitung in Frage kommt.

Wenn der Systemlayer nicht mehr im Kreislauf geführt werden kann, wird der NFC-Chip aus dem Systemlayer entfernt, um die Materialien von NFC-Chip und Systemlayer zu recyceln.

3.8 Ökologische Betrachtungen zum IQPAK

Das IQPAK-System kann nach der Nutzung auf den Waschvorgang verzichten und die Mehrweg-Komponente wieder in den Kreislauf bringen. Dies ist darin begründet, dass das Verpackungssystem aus drei aufeinander aufgebauten Schichten besteht, von denen die äußere (Handlinglayer) und die innere Schicht (Contentlayer) sozusagen als Schutzschicht für die Mehrweg-Komponente fungieren. Dies spart erhebliche Wasserressourcen, den Einsatz von starken Reinigungschemikalien und erzeugt dadurch praktisch kein Abwasser. IQPAK ist also im Vergleich zu anderen zurzeit am Markt erhältlichen Mehrweg-Verpackungen deutlich ressourcenschonender.

Vergleicht man die erneuerbaren Schichten mit den im Markt erhältlichen Einweglösungen, sind die dünnen Schichten von IQPAK wesentlich weniger materialintensiv (weniger als 2 g pro Schicht im Vergleich zu min. 4 -5 g beim Einwegbecher).

Das Material der ausgetauschten Schichten kann 100%ig im Kreislauf geführt werden, Auch kann das Material für den Systemlayer wieder eingesetzt werden.

Für eine erste Näherung der ökologischen Betrachtung wurden am Fraunhofer LBF folgende Annahmen hinsichtlich des Prozesses (für ein 500 ml Becher) und der Verpackung getroffen:

- Betrachtet man unterschiedliche Studien zum Thema Ökobilanzen³, so kommen diese zu dem Schluss, dass Mehrwegsysteme ab ca. 40 Umlaufzyklen ökologische Vorteile gegenüber Einwegsystemen aufweisen. Hier wird auch dargestellt, dass nach 40 Umlaufzyklen die Produktion des Mehrwegbechers für die Ökobilanz keine Rolle mehr spielt.
- Mit Blick auf das vorhandene CO₂-Äquivalent müssen während der folgenden Nutzungszyklen ausschließlich der Waschvorgang (Wasser + Spülmittel + Temperatur), der Transport und der Anteil von Einwegteilen, wie z.B. der Deckel (Verdeckelungsquote) berücksichtigt werden.
- Unter diesen Annahmen liegt das CO₂-Äquivalent für die Aufbereitung der Pfand-Mehrwegbecher (500 ml) bei ca. 22kg CO₂-Äquivalent / 1.000 Becher

³ Kauertz, B.; Schlecht, S.; Markwardt, S.; Rubik, F.; Heinisch, J.; Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-Haus-Verzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs, 2018, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau

- Betrachtet man den Waschprozess unabhängig, so ergeben sich für den großtechnischen Waschprozess ca. 12kg CO₂ / 1000 Becher
- Unter Berücksichtigung aktueller und nicht optimierter Verarbeitungsprozesse kann konservativ angenommen werden, dass ca. 4,5 g Polypropylen bei der Becheraufbereitung von Nutzungszyklus zu Nutzungszyklus anfallen. Diese werden gesammelt und dem entsprechenden Stoffstrom zur Wiederverwertung zugeführt (nach entsprechender Optimierung ist eher von 2g auszugehen).
- Laut dem Institut für Kunststofftechnik und Kreislaufwirtschaft (Universität Hannover) liegt das CO₂-Äquivalent (CO₂e für die Verarbeitung von 1kg Polypropylen-Neuware bei ca. 1,2kg CO₂e, für Recyclingware bei ca. 0,4kg CO₂e.⁴ Für die Verarbeitung können weitere 0,45kg CO₂e addiert werden.
- Unter Berücksichtigung der notwendigen Materialmenge für die Becheraufbereitung ergeben sich daraus für Neuware PP ein CO₂-Äquivalent von 7,4kg CO₂e pro 1000 Becher und für Recyclingmaterial von 3,8 kg CO₂e pro 1000 Becher.

Somit ergab sich am LBF folgende CO₂-Einsparung (Tabelle 1):

Tabelle 1: Überblick über CO₂-Äquivalente für verschiedene Aufbereitungsverfahren

Verfahren	CO ₂ -Äquivalent kg CO ₂ e / 1000 Becher	Prozent	Einsparung
Waschprozess für bestehende Pfand-Mehrwegbecher	12	100%	0%
Aufbereitung mit Neuware-PP Annahme: Bedarf 4,5g PP pro Becher	7,4	62%	38%
Aufbereitung mit Recycling- PP Annahme: Bedarf 4,5g PP pro Becher	3,8	32%	68%

Während der Projektlaufzeit wurde das ifeu- Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg GmbH beauftragt, ein Kurzgutachten zur orientierenden Umweltbewertung des IQPAK zu erstellen. Die Berechnungen des Fraunhofer LBF über die CO₂-Einsparung stuft das ifeu als eher konservativ ein.

Nach der Berechnung von ifeu, unter der Verwendung der PlasticsEurope Daten und Prozessdaten aus der ifeu Datenbank können für die Einweg-Komponenten im System IQPAK™ die folgenden THG-Werte bilanziert werden:

- PP Cradle to gate: 5,34 kg CO₂e pro 1.000 cups
- PP Cradle to grave: 4,80 kg CO₂e pro 1.000 cups bei einer Verwertungsquote von 90%
- rPP Cradle to gate: 3,67 kg CO₂e pro 1.000 cups
- rPP Cradle to grave: 3,14 kg CO₂e pro 1.000 cups bei einer Verwertungsquote von 90%

⁴ Endres, H.-J.; Assessment of environmental sustainability of composites, Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik – Universität Hannover, JEC Forum DACH, 2021, Frankfurt

Laut der Bewertung von ifeu ist „Das IQPAK™ -System als Innovation auf dem Verpackungsmarkt zu begrüßen, da es durch seine Mehrweg-Komponente als tragendes Element eine signifikante Reduktion von Einwegverpackungen ermöglicht und damit dem obersten Ziel der Abfallhierarchie - der Abfallvermeidung – dient“

4 Öffentlichkeitsarbeit/Veröffentlichungen/Vorträge

Die Federführung für Veröffentlichungen im Rahmen der Laufzeit des Projektes lag beim Fraunhofer LBF. In enger Abstimmung mit der Fa. Löning + Partner wurden mit Stand April 2024 folgende Beiträge erstellt und der (Fach)-Öffentlichkeit vorgestellt:

- **Teilnahme an NFC Forum Membership:** IQPAK ist seit Juni 2023 ein Mitglied des NFC-Forums und kann über diese Plattform viele relevante Akteure kontaktieren.
- **Teilnahme am InnoTalk Podcast:** Gemeinsame Teilnahme von Fraunhofer LBF und Löning + Partner im Okt. 2023 am Podcast, in dem das IQPAK-System vorgestellt wurde.
- **Entwicklung der IQPAK-App:** Die IQPAK-App für die Kommunikation mit dem Nutzer wurde im Sep. 2023 entwickelt und erfolgreich umgesetzt.
- **Homepage IQPAK:** Die Homepage für IQPAK (iqpak.com) wurde im Sep. 2023 erstellt.
- **Teilnahme an der Tagung „21. Inno-Meeting“:** Vortrag seitens Fraunhofer LBF über IQPAK im Feb. 2024
- **Pressemitteilung für IQPAK zum Gutachten des ifeu:** Veröffentlicht gemeinsam von Fraunhofer LBF und Löning + Partner im Okt. 2023
- **Mitgliedschaft im Mehrwegverband Deutschland e.V.:** IQPAK ist Mitglied seit Okt.2023.
- **Artikel in VDI-Sonderausgabe:** Veröffentlicht im März 2024
- **Erteiltes Patent für das IQPAK-System:** DE 10 2022 128 475 B3 2024.04.11

5 Fazit/Ausblick

Im Rahmen des Projekts konnte die Machbarkeit einer bereits in Vorarbeiten konzipierten Mehrwegverpackung (IQPAK) am Beispiel eines Mehrweg-Pfandbechersystems erfolgreich demonstriert werden. Die hergestellten Handmuster eines 3-Schichten-Aufbaus zeigen, dass das Aufbauprinzip für einen Getränkebecher funktioniert.

Das ausgewählte Thermoforming-Verfahren erweist sich als geeignet für den Großserienprozess zur Herstellung von IQPAK. Die Technologie kann anhand der bisher durchgeführten Versuche und der gewonnenen Erkenntnisse weiterentwickelt werden. Zur Herstellung der Innen- und Außenschicht durch den Thermoforming-Prozess wurden in Zusammenarbeit mit der Fa. Kiefel Ansätze erarbeitet. Diese werden für die Realisierung in großtechnischen Anlagen weiterentwickelt.

Die Einbringung eines NFC-Chips in den Systemlayer soll zunächst über einen Spritzgußprozess erfolgen. Entsprechende Rapid-Prototyping Werkzeuge für eine Kleinserie wurden bereits angefragt, die Fertigung solcher Werkzeuge kann baldigst beginnen.

Fa. Löning + Partner möchte in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer LBF eine Firma (IQPAK GmbH) gründen, die eine großtechnische Serienproduktion und die Vermarktung der IQPAK-Mehrwegverpackung betreiben kann. Die Zusammenarbeit kann in Form eines Lizenzvertrags zwischen Löning + Partner und Fraunhofer LBF und/oder einer direkten Beteiligung des Fraunhofer LBF an der IQPAK-GmbH erfolgen.

Um eine IQPAK-GmbH gründen zu können, wird Expertise hinsichtlich des Marketings und der Finanzen sowie von Juristen gebraucht. Um sich auf eine Firmengründung vorzubereiten, wurde ein Fraunhofer-internes Projekt beantragt und kürzlich bewilligt. Dadurch wird es ermöglicht, dass Löning + Partner zusammen mit dem Fraunhofer LBF die weitere Produktentwicklung vorantreiben, Märkte avisieren und Investoren suchen kann, um eine großtechnische Serienproduktion starten zu können.

6 Literatur

- [1] Kopatz, M.; Ökoroutine – Damit wir tun, was wir für richtig halten; 2016; oekom Verlag, München
- [2] Hazard Analysis Critical Control Point
- [3] Kauertz, B.; Schlecht, S.; Markwardt, S.; Rubik, F.; Heinisch, J.; Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-Haus-Verzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs, 2018, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau
- [4] Endres, H.-J.; Assessment of environmental sustainability of composites, Institut für Kunststoff- und Kreislauftechnik – Universität Hannover, JEC Forum DACH, 2021, Frankfurt.

7 Anhang

Vorversuche: Ziel – Technische Möglichkeiten untersuchen durch Parametervariation

Material	Foliendicke	Heizzeit	Temperatur	Stempel- geschwindigkeit	Eintauchtiefe (Anzeige)	Eint.-Tiefe tatsächl.	Heiz- leistung	Wanddicke	Bodendicke
PP	0,4	22	165	100	125	81	60	60	35
PP	0,4	20	165	100	125	81	60	60	40
PP	0,4	24	165	100	133	89	60	65	40
PP	0,3	12	165	50	133	89	60	50	30
PP	0,3	11	165	35	133	89	60	40	60
PP	0,3	10	165	35	132	88	60	60	40
PET	0,35	7,8	135	35	132	88	60	70	40
PET	0,25	2	120	35	132	88	60	35	25
PET	0,25	3	120	35	132	88	60	40	10
PET	0,25	3	120	50	133	89	80	40	15
PET	0,7	20	125	100	133	89	60	120	80
HD-PE	0,15	10	150	40	133	89	60	15	20
HD-PE LBF	0,12	10	150	40	133	89	60	6	11
PA/PE	0,09	4,5	200	35	133	89	60		gerissen

Versuche an verschiedenen Anbringungsmöglichkeiten von Contentlayer auf Systemlayer mit Variation von Innenstruktur im Systemlayer

Material	Foliendicke mm	Becherkern (500 ml)	Rand höher 1 cm	Innen- struktur	Heizzeit s	Temp. °C	Stempel- geschwindigkeit %	Eintauchtiefe (Anzeige) mm	Eint.-Tiefe tatsächl. mm	Heizleistung %	Wanddicke µm	Bodendicke µm
PP Kiefel	0,5	standard	0	0	23	165	50	128	77	60	60	68
PP Kiefel transparent	0,4		1	1	23	163	50	133	89	60	55	60
PP Kiefel schwarz	0,3	standard	1	0,5	11		50	121	77	60	50	58
PP Kiefel schwarz	0,3	standard + 3 Scheiben (10m)	0	1	11		50	111	67	60	52	57
PP Kiefel transparent	0,5		1	1	28		50	121	77	60	57	65
PP Mop 456	0,45		1	0	16	165	100	158	145	63	58	62
PP Mop 456	0,48	Herstellung mehrere Becher	1	0	17	165	100	158	145	63	65	68