

VOLKSWAGEN

AKTIENGESELLSCHAFT

Abschlussbericht Verbundprojekt KODOS (Teilvorhaben 13N14605)

Konfektionierter Dünnglas-Verbund für optoelektronische Systeme

Teilvorhaben: Anwendungsuntersuchung und Applikationstest Automotive

Verantwortlich: Dr. Wilma Dewald, K-GERD/O
Status: öffentlich
Version: V4.0
Datum: 23.02.2023

PUBLIC
ÖFFENTLICH

1 Kurzbericht

1.1 Aufgabenstellung und Stand der Technik

Ziel dieses Teilvorhabens war es optische Elemente auf Basis von Dünnglas für eine Anwendung im Automobil zu evaluieren. Hierbei musste in erster Linie ein grundlegendes Konzept für den Einsatz von Dünnglas erarbeitet werden. Anschließend wurden Tests zur Zuverlässigkeit und Lebensdauer der Bauteile sowie deren Crashesicherheit durchgeführt.

Glas wie z.B. Borosilikatglas oder Alumosilikatglas bietet mit seiner widerstandsfähigen Oberfläche viele Vorteile, wie zum Beispiel Creme-Beständigkeit, Kratzfestigkeit, gute Optik sowie eine hohe Temperaturstabilität. Es weist im Gegensatz zu vielen Kunststoffen eine geringe Doppelbrechung auf. Allerdings ist es schwerer als Kunststoff und kann im Crashfall brechen. Der neuartige Ansatz dünne Gläser auf dekorative Oberflächen zu laminieren greift den Leichtbauaspekt auf. Eine hochwertige Glasoberfläche kann so z.B. mit einem leichten Kunststoffunterbau versehen werden. Ebenso ist das Einbringen von leitfähigen Strukturen als kapazitive Touchsensoren möglich, so dass interaktive Dekorflächen im Fahrzeuginneren denkbar werden. Besonders wichtig für den Einsatz von Glas im Fahrzeuginterieur ist, dass im Crashfall keine Splitter entstehen, die den Fahrer verletzen könnten. Diese Forderung bezieht sich sowohl auf dekorative Oberflächen als auch auf gebogene Deckgläser von Displays. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit des Dünnglases ist die effiziente Verkapselung von OLEDs, so dass die Lebensdauer auch von blauen und weißen OLEDs verbessert werden kann.

Die angestrebte Innovation besteht in der Kombination aus Beschichtung und Lamination von Dünnglas, sowie aus der Entwicklung eines produktionstauglichen Übergangs von der prozessierten Rolle zum einbaufertigen Halbzeug z.B. mittels Lasertrennverfahren zur Vereinzelung. Beide Schritte stellen vor allem wegen der besonderen mechanischen Eigenschaften des Dünnglases eine hohe Herausforderung dar.

1.2 Ablauf des Vorhabens

Laminare mit verschiedenen Glasdicken und Foliendicken wurden auf ihre Crashesicherheit überprüft, so dass diesbezüglich ein Optimum gefunden werden konnte. Ebenso sind für einen Einsatz im Fahrzeug gebogene Glaslaminare von besonderem Interesse. Neben dem kalten Biegen wurden die Möglichkeiten für ein Biegen bei hohen Temperaturen des Dünnglases zusammen mit dem Projektpartner Flabeg untersucht. Zu überprüfen war ebenfalls die Haltbarkeit eines Verbundes über eine längere Belastungsdauer unter verschiedenen klimatischen Bedingungen. Dekorative und funktionale Beschichtungen wie Schwarzdruck, Siebdruck, Beschriftungen, kapazitive Schalter und Entspiegelung wurden in die Planung miteinbezogen. Hierzu fand eine Zusammenarbeit mit den Projektpartnern FEP, tesa und Flabeg statt.

Im Rahmen des Projektes wurden optische Grundelemente hergestellt, die die grundsätzliche technische Machbarkeit der Aufbauten zeigen sollen. Hierfür wurde die Herstellung von Glaslaminaten, das Einbringen einer Touchfunktion und das Zusammenspiel von Beschichtungen mit OLED-Hinterleuchtung untersucht. Ein Konzept für eine interaktive hinterleuchtete B-Säule im Automobil wurde ausgearbeitet.

1.3 Wesentliche Ergebnisse

Spezifikationen für Dünnglasanwendungen im Fahrzeugexterieur und -interieur (AP1.1)

Kriterien für Interieur- und Exterieur Anwendungen wurden zusammengestellt. Als kritische Belastungstests wurden Kugelfalltests, Steinschlagtests und Klimawechseltests nach PV1200 zwischen -40°C und 80°C identifiziert. Parameter für Lebensdauertests an OLEDs wurden erarbeitet.



Dekorative und funktionale Schichten auf Dünnglas (AP 2.5)

Für Außenanwendungen liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der UV-Beständigkeit des Schwarzdrucks. Wie durch Tests bei Fa. Flabeg gezeigt werden konnte, sind keramische Farben, die besonders UV-stabil sind, leider aufgrund ihrer Schwindung und des daraus folgenden Verzugs des Dünnglases für unser Vorhaben ungeeignet. Stattdessen müssen organische Schwarzdruckfarben verwendet werden.

Skalierungskonzepte für Prozesskette (AP6.1)

Generell sind Dünnglasanwendungen im Fahrzeug in Bereichen ohne Steinschlag oder Kopfaufschlag denkbar, die maximal einachsig gekrümmt sind. Kleinere Flächen sind leichter umzusetzen. Insbesondere die Lamination von funktionalen Dünnglashalbzeugen mit Touchsensorik oder Beleuchtungselementen auf Glasscheiben ist wegen des angepassten thermischen Ausdehnungskoeffizienten zu bevorzugen. Nach Evaluierung der einzelnen Prozessschritte gibt es vor einer kommerziellen Anwendung von Dünnglas noch Verbesserungsbedarf im Handling des Glases und in der Verbesserung der Bruchfestigkeit z.B. durch eine gesteigerte Kantenqualität im Schneidprozess. Gerade bei komplexen Bauteilen mit mehreren aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten ist eine hohe Ausbeute von über 95% zwingend erforderlich.

Belastungstests von Glaslaminaten (Kugelfalltests, Steinschlag, Klimawechsel) (AP7.1)

Lamine aus Polycarbonat und 50 µm bzw. 100 µm dünnem Glas wurden im Steinschlagtest evaluiert. Schädigungen des Glases traten auf, so dass das Einsatzgebiet von Dünnglaslaminaten auf Bereiche ohne Steinschlaggefahr begrenzt werden muss. Die B-Säule ist z.B. hiervon nicht betroffen. Im Interieur sind Kopfaufschlagbereiche zu vermeiden.

Klimawechseltests an 20x40 cm² Polycarbonat/Dünnglaslaminaten zeigten, dass Luftpneumatische Einschlüsse und Randdefekte im Glas zu vermeiden sind, da sich sonst Delaminationen und Risse bilden.

Als Konsequenz ist eine bessere Kantenqualität des Glases notwendig, wie sie z.B. durch den nun verbesserten Laserschnittprozess der Firma 4Jet umgesetzt werden kann. Die getesteten Proben wurden im Scribe+Break Verfahren vereinzelt, was sich als ungenügend herausgestellt hat.

Die Kratzbeständigkeit von Dünnglaslaminaten wurde durch Rieseltests bestätigt. Im Kugelfalltests hielten PC/Dünnglaslamine eine dreimal höhere Fallhöhe aus als unbehandeltes Glas.

Es hat sich gezeigt, dass der konventionelle Laminationsprozess, d.h. trocken mit Haftklebebandern nicht zielführend ist. Stattdessen wurde vom Projektpartner Tesa ein schwimmender Laminationsprozess entwickelt, der Schädigungen im Dünnglas stark reduzieren konnte.

Konzeptentwicklung für einen komplexen Demonstrator (AP7.2)

Als automobiler Demonstrator wurde eine interaktive B-Säule ausgewählt. Hier sollten Beleuchtung, Gestensteuerung über eine Infrarotkamera und Anzeigeelemente kombiniert werden. Die segmentierten OLEDs sollten farblich zwischen Blau und Weiß schaltbar sein. Durch Einsatz von Gestensteuerung wurden bei der Bedienung Fingerabdrücke auf dem Glas vermieden.

Die folgenden Arbeitsschritte sind zum Aufbau einer interaktiven B-Säule notwendig:

- Versand von Dünngläsern und Halbzeugen
- Zuschnitt des Dünnglases mit Hilfe von Pikosekundenlasern (Partner: 4Jet)
- Bedruckung der Deckgläser mit organischen Farben in drei Schritten (2x Schwarzdruck zur Vermeidung von Pinholes, 1x Lasurdruck für die hinterleuchteten Symbole mit 13% Transmission, 1x IR transparenter Lack für das Kamerafenster zur Gestenerkennung (Partner Flabeg))
- OLED Herstellung, vollständig verkapselt zwischen zwei Dünngläsern (Partner FhG FEP)
- Bereitstellung der abgeschliffenen und mit Bohrungen versehenen B-Säulen (VW)
- Schwimmende Lamination, Kontaktierung, Konfektionierung der B-Säule (Partner Tesa, VW)
- Kontaktierung und Ansteuerung (Partner FEP, Tesa, VW)

Der Vorteil des sehr dünnen Laminataufbaus des Dünnglases und der OLED von ca. 0,5 mm ermöglicht sehr geringe Aufbauhöhen und ein geringes Glasgewicht.

2 Verwendung der Zuwendung und erzielte wissenschaftlich-technische Ergebnisse

2.1 Spezifikationen für Dünnglasanwendungen im Fahrzeugexterieur und -interieur (AP1.1-VW1)

Kernaufgabe:

Zur Abschätzung möglicher Einsatzorte im Fahrzeug wurden die notwendigen Spezifikationen für Anwendungen von Dünnglas im Exterieur und Interieur zusammengestellt. In dem Verbundprojekt sollte die jeweilige Machbarkeit abgeschätzt werden. Auch sind so die Erfolgsaussichten für eine spätere Kommerzialisierung besser abschätzbar.

Die ursprüngliche Planung zielte auf die Anwendung von OLEDs ab, interessant waren aber auch weitere Anwendungen im Interieur und Exterieur, die ergänzend betrachtet wurden.

Technische Teilziele:

Arbeitspaket	Zu liefernde Arbeitsergebnisse	Zeitpunkt Ende Quartal	Meilenstein	Status
AP1.1-VW1	Lastenheft für Anwendungen im Fahrzeug, z.B. die Verkapselung von OLEDs in Interieur Anwendungen	Q6	Spezifikationen	√

Ergebnisse:

Im Folgenden werden die möglichen Anwendungen aufgeführt und die kritischsten Anforderungen benannt.

Exterieur	Vorteil	Anforderung	Arbeiten im Rahmen des Projektes
<u>Sensorabdeckung</u>	Kratzfestigkeit	Funktionale Beschichtung, geringe Biegeradien, Steinschlagfestigkeit	Machbarkeitsstudie durchgeführt
<u>Interaktive B-Säule</u>	Kratzfestigkeit, dünner Aufbau mit Anzeigefunktion, Kameraabdeckung	Komplexer Aufbau, Laminat, Robustheit bei Bedienung, geringe Kosten, Bedruckung, OLED, Klimawechseltest, Kontaktierung	Konzept ausgearbeitet, da anhand dieses Demonstrators viele Anforderungen gezeigt werden können
Spiegel	Integration von Symbolen und Heizung	Funktionale Beschichtung, Lamination	keine

<u>OLED-Rückleuchte</u>	Design-Flexibilität, längere Lebensdauer, Leichtbau	Gute Verkapselung für lange Lebensdauer notwendig	Lastenheft zur Bewertung verschiedener Verkapselungen erarbeitet
-------------------------	---	---	--

Interieur	Vorteil	Anforderung	Arbeiten im Rahmen des Projektes
Beleuchtungselemente	Gleichmäßig ausgeleuchtete Fläche	Funktionale Beschichtung, kleine Biegeradien, Steinschlagfestigkeit	keine
<u>Kratzfeste Dekoroberflächen</u>	Kratzfestigkeit, dünner Aufbau mit Anzeigefunktion	Komplexer Aufbau, Laminat, Robustheit bei Bedienung, geringe Kosten, Bedruckung, OLED, Klimawechseltest, Kontaktierung	Meilenstein 1
<u>Touchschaltflächen</u>	Kratzfestigkeit, Heizung	Funktionale Beschichtung, Lamination, Biegung	Meilenstein 2
Transparente Displays	Neues transparentes Anzeigeelement, semitransparente OLED	Verkapselung für lange Lebensdauer notwendig, OLED, einzeln ansteuerbare Pixel, Pixeldesign	keine

Generelle Anforderungen:

Biegung: Dünngläser können einachsiger reversibel kalt verformt werden. Je dünner das Dünnglas, desto geringere Biegeradien lassen sich umsetzen. In dem Projekt KODOS wurde vorwiegend Dünnglas der Dicke 100 µm verwendet. Für geringe Biegeradien empfiehlt sich Dünnglas mit einer Dicke von 50 µm. Die meisten Flächen in Fahrzeugen sind allerdings zweiachsig gekrümmt, was den Einsatz von laminierten Dünngläsern einschränkt. Hier wäre ein Heißverformen des Dünnglases notwendig.

Exterieur: Witterungsbeständigkeit z.B. gegen UV-Strahlen, -40°C – 80°C Temperaturbereich, Temperaturwechsel, Staub- und Wasserfestigkeit, Kratzbeständigkeit der Oberfläche, Chemikalienbeständigkeit (Öl, Benzin, Salz, Reinigungsmittel), insbesondere:

- Klimawechseltest nach VW-Prüfvorschrift 1200 (Verlauf wie in Abbildung 1 gezeigt, Prüfgerät: Klimaprüfschrank WK600 der Fa. Weiss)
- Alterung von KFZ-Bauteilen in Sonnensimulationsanlagen nach DIN 75220
- Chemische Beständigkeit gegen im Automobil übliche Stoffe (Benzin, Reinigungstensid,

Schweiß, Sonnencreme etc.) nach DIN 52289

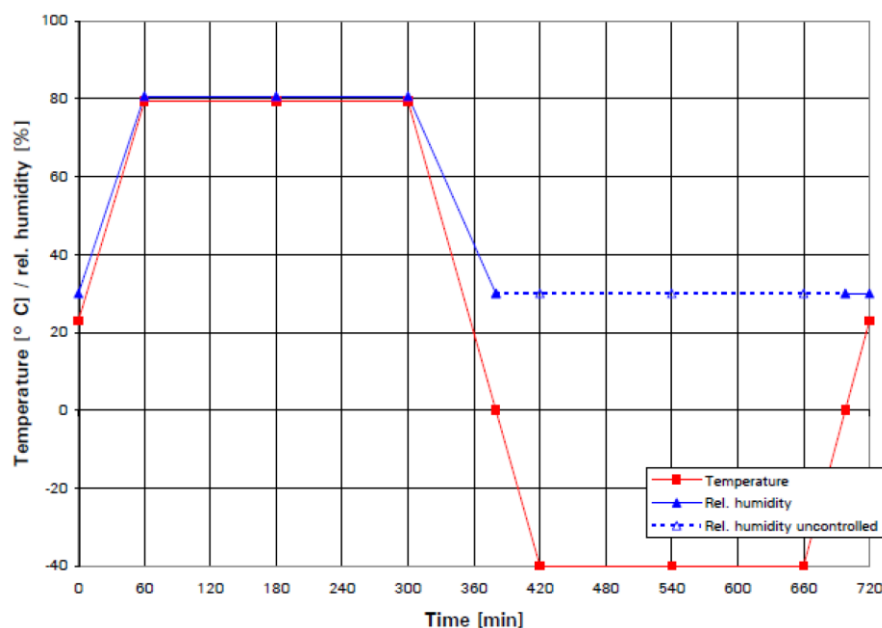


Abbildung 1: Temperatur- und Feuchtigkeitsverlauf für einen Testzyklus nach PV1200.

Bei beleuchteten Anzeigen darf während der Fahrt neben den aktuellen Scheinwerfern und Signalleuchten in Deutschland keine bewegte Anzeige angebracht werden, um nicht vom Verkehr abzulenken (§33 STVO). Ein- und Ausstiegsleuchten sind gemäß der ECE-R48 reguliert.

Bauteile im Exterieur müssen den Bürstentests laut DIN EN ISO 20566 bestehen und sollten steinschlagfest sein.

Zur Bewertung der mechanischen Eigenschaften der untersuchten Aufbauten werden im Wesentlichen drei Tests herangezogen:

- Rieselttest (angelehnt an DIN 52348)
- Kugelfalltest (nach ECE-R43)
- Steinschlagtest (DIN EN ISO 20567-1 Testmethode B 23.3.2020)

Der Unterschied zwischen den beiden ersten Tests besteht in den verwendeten Fallkörpern (vergleiche Abbildung 2).

Bei dem Rieselttest wird Stahlgranulat mit einem Durchmesser von 0,2-0,6 mm verwendet. Bei dem Kugelfalltest kommt eine Stahlkugel mit einem Durchmesser von 10-20 mm und einem Gewicht von 4,1-32,6 g zum Einsatz.

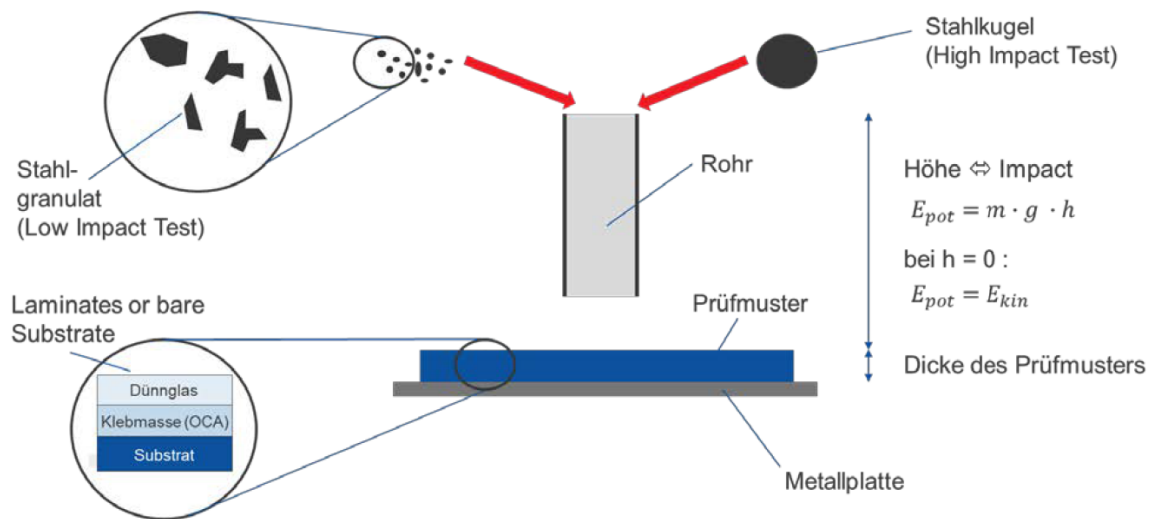


Abbildung 2: Abbildung Schematische Darstellung des Impact Test Setups. Riesel- und Kugelfalltests wurden in Zusammenarbeit mit Fa. Tesa durchgeführt.

Interieur: Die Spezifikationen für Oberflächen im Interieur werden in der TL226 beschrieben. Wichtig für Dekoroberflächen sind insbesondere die Creme-Beständigkeit und Kratz- bzw. Abriebfestigkeit. Auch die Farbechtheit nach Sonnenalterung ist wichtig.

Um die Crashesicherheit von Glasoberflächen im Interieur zu gewährleisten, müssen verschiedene Tests erfolgreich bestanden werden. Dazu zählt ein Kugelfalltest mit einer 227 g schweren Kugel laut ECE-R43, die aus verschiedenen Höhen auf das Bauteil fällt. Die Probengröße ist hierbei mit 300x300 mm² vorgesehen. Zusätzlich muss die Innenausstattung eines Autos die ECE-R21 erfüllen, in der Kopfaufschlagtests beschrieben werden.

OLED Anwendungen, Lastenheft für Prototypen: mehrere separat ansteuerbare Schichten übereinander zu Steuerung der Farbe. Sehr dünn, gute Verkapselung ist notwendig, um eine stabile Performance zu gewährleisten.

- Lebensdauerdefinition für Prototypen OLED: 3 Jahre Lagerung und 1000 h Betriebsdauer
- Jede Probe darf nur mit einem Test belastet werden. D.h. jeder Test muss mit frischen OLEDs durchgeführt werden. Für jeden Test sollen mindestens 10 Proben verwendet werden. Alle Verkapselungsvarianten müssen getestet werden.
- Lebensdauertests für Prototypen
 - Hochtemperaturlagerung: 250 h bei 85°C, trocken (JESD22-A103-C)
 - Temperatur-Zyklierung: -20°C -> 80°C, 100 Zyklen (JESD22-A104), Haltezeit bei jeder Temperatur $t_{dur} = 10$ min. Übergangszeit zwischen den Temperaturen $t_{trans} < 15$ s.
 - Hohe Temperatur und Luftfeuchte: 60°C, 90% r.h., 500h (JESD22-A101)
 - Steady state live test (SSLT): 60°C, trocken, 250 Zyklen (JESD22-A108)
 - Flexibilitätstests: Biegeradius 10 mm, 10x konvex und konkav biegen.
 - Homogenität: $U = 1 - (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min})$
- End-of-Life-Kriterien:

- Farbkoordinaten: Farbabweichungen (Δx , Δy) dürfen 0,02 der ursprünglichen Farbkoordinaten nicht überschreiten.
- Leuchtdichte: muss > 70% des Initialwertes sein.
- Vorwärtsspannung: Darf nicht größer als 120% des ursprünglichen Wertes sein
- Homogenität: Keine hellen Flecken > 500 μm , optische Defekte an Kanten und Ecken, die noch zu definieren sind. Homogenität muss > 0,85 sein.
 - Die Messung sollte in eine Ulbrichtkugel im gepulsten OLED Modus (Single-shot) erfolgen. Die Homogenität der Leuchtdichte wird mit einer CCD-Kamera bestimmt.

2.2 Dekorative und funktionale Schichten auf Dünnglas (AP 2.5-VW1)

Kernaufgabe:

Die Evaluation dekorativer und funktionaler Beschichtungen auf Dünnglas umfasste die Bewertung der Optik (Transmission, Deckkraft, Reflexion, Fehlstellen, die für die spätere Funktion kritisch sind) sowie mechanische Untersuchungen. Die Beständigkeit der Beschichtungen bei der Weiterverarbeitung wurde untersucht sowie ein optimierter Schichtaufbau für Entspiegelungsschichten auf gebogenem Dünnglas entwickelt. Meilenstein 2 zeigte ein funktionierendes auf Dünnglas basierendes Element mit Touchfunktion.

Technische Teilziele:

Arbeitspaket	Zu liefernde Arbeitsergebnisse	Zeitpunkt Ende Quartal	Meilenstein/Ergebnis	Status
AP2.5-VW1	Evaluation dekorativer Touch-Beschichtungen auf Dünnglas	Q8	Schwarzdruck für Demonstrator identifiziert Funktionale Beschichtung für Sensoren erprobt Touchfunktion in M2 gezeigt.	√ √ √

Ergebnisse:

Im Automobil werden Displaygläser am Rand schwarz hinterdruckt, um eine Verklebung zu kaschieren oder die Beschriftung von Schaltelementen darzustellen. Gerade für dekorative Elemente ist eine solche Hinterdruckung ebenfalls als Designelement wichtig. Zudem ist so eine Farbanpassung zu dem umgebenden Material möglich. Für hinterleuchtete bedruckte Flächen ist eine hohe optische Dichte des Schwarzdrucks notwendig, um z.B. ein Durchleuchten neben den eingebrachten Symbolen zu verhindern. Pinholes können beispielsweise durch das Aufbringen einer zweiten Bedruckungsschicht vermieden werden. Allerdings steigt so die Belastung auf das Dünnglas.

Für den Aufbau einer hinterleuchteten B-Säule wurden Bedruckungstests beim Projektpartner Flabeg durchgeführt. Hierfür wurden sowohl organische als auch keramische Farben getestet.

Für die Anwendung kam schließlich nur eine keramische Farbe in Frage, die entsprechend UV-beständig ist.

Für Halbzeitmeilenstein M1 „Applikationsfähiges Dünnglaslamit mit angepasster Konfektionier- und Handlingstechnologie“ wurden neben Klimawechseltests, die in Abschnitt 2.4 beschrieben werden, auch Untersuchungen zur Bedruckung an planen Bauteilen der Größe 20x40 cm² beim Projektpartner Flabeg durchgeführt. Es sollten die Druckschritte Schwarzdruck zum Aufbringen der hinterleuchteten Symbole, Lasur im hinterleuchteten Bereich und das Kamerafenster mit IR-transparentem Druck getestet werden.

Hier einige Erkenntnisse aus den Versuchen:

- Beim Versand ging trotz sorgfältiger Trennung der geschnittenen 100 µm Gläser mit Seidenpapier 80% kaputt, so dass nur 4 Gläser bedruckt werden konnten. Hiervon wiesen allerdings drei Gläser eine Vorschädigung am Rand auf.
- Die Vakuumsaugung des Dünnglases führt zu lokalen Vertiefungen (Abbildung 3). Ggfs. müsste der Ansaugdruck reduziert werden. Der Druckunterschied muss hoch genug sein, dass das Glas nach der Bedruckung unten auf der Auflage bleibt und nicht mit der Farbe unter dem Sieb kleben bleibt. Gleichzeitig darf er nicht so hoch sein, dass das Werkstück beschädigt wird.
- Die Bedruckung der vier Gläser erfolgte mit keramischer Farbe. Die Trocknung erfolgte problemlos (Abbildung 4). Nach dem Einbrennen der ersten Schwarzdruckschicht hoben sich leider die Seiten des Dünnglases aufgrund von einer Zugspannung an, da der Schwarzdruck im Vergleich zum Dünnglas eine Schwindung aufweist. Es konnten keine weiteren Schichten aufgedruckt werden.



Abbildung 3: Dünnglascheibe auf Drucktisch angesaugt, Unebenheiten der Glasscheibe sind deutlich zu sehen. Die Bedruckungsversuche fanden bei Fa. Flabeg statt.



Abbildung 4: Frisch bedruckte Dünnstglasscheibe. Quelle: Fa. Flabeg.

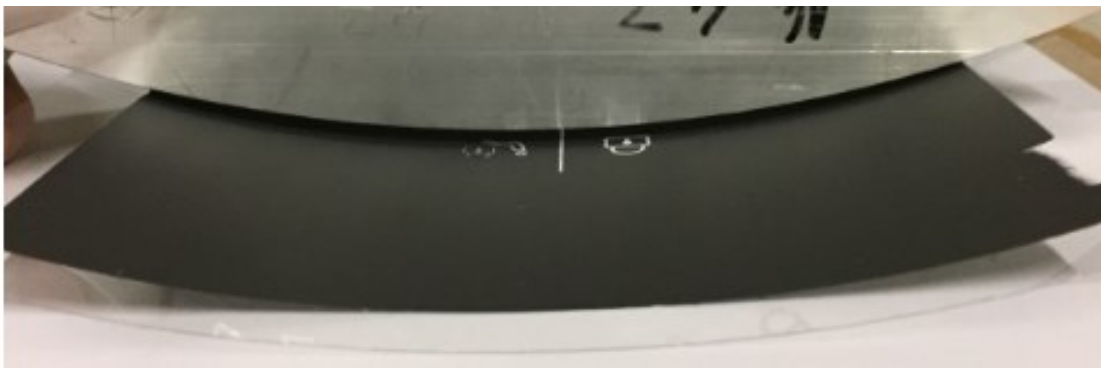


Abbildung 5: Bedrucktem Glas nach dem Einbrennen der keramischen Farbe. Das Glas hat sich homogen mit einem Krümmungsradius von ca. 300 mm gebogen. Die Schablone hat 270 mm Radius und das Glas ist etwas schwächer gekrümmt. Quelle: Fa. Flabeg.

Für großflächige Schalter auf dekorativen Oberflächen können auf der Rückseite leitfähige Pasten aufgebracht werden, um so kapazitive Touchsensoren herzustellen. Auch eine Beschichtung mit ITO, die mit Laserschreiben strukturiert werden kann, ermöglicht kapazitive Touchsensoren. Ein Beispiel wurde bei Tesa im Halbzeitmeilenstein M2 „Laminierfähiges Dünnglas mit Touchfunktionalität“ aufgebaut (Abbildung 6).

Im Wesentlichen besteht der Demonstrator aus zwei identischen Leiterplatten mit LEDs in unterschiedlichen Farben (grün und rot). Diese Leiterplatten sind mit einem ITO beschichteten Dünnglas verbunden, welches zuvor bei 4Jet entlang der Mittellinie in zwei Segmente strukturiert wurde. Das Dünnglas hat eine Fläche von 640 cm² und ist damit größer als das DIN A4 Format. Die beiden Segmente sind einzeln kontaktiert, sodass bei der Berührung des linken Segments die grüne und beim Berühren des rechten Segments die rote LED aufleuchtet. Das Glas ist auf einer Platte aus Polycarbonat aufgebracht.

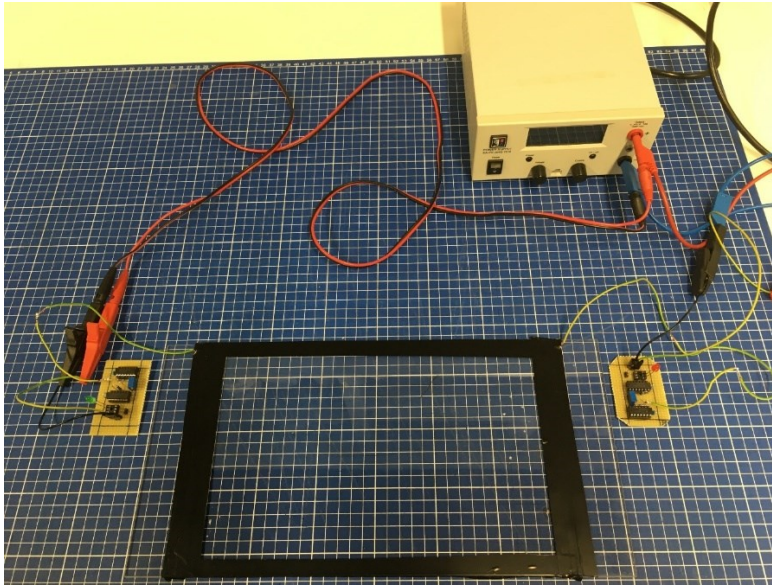


Abbildung 6: Aufbau des zweiten Meilensteins M2 „Laminierfähiges Dünnglas mit Touchfunktionalität“ bei Tesa.

Zur Auswahl der richtigen Glasdicke je nach Anwendung ist es wichtig den jeweils notwendigen Biegeradius sowie die Anzahl der Gläser innerhalb eine Laminates zu kennen. Während die B-Säule mit einem Biegeradius von etwa 1 - 2 m nur moderat gebogen ist, ist eine Ringlinse für Sensoren mit einem Biegeradius von 50 mm eine viel größere Belastung für das Glas und eine darauf befindliche Beschichtung.

Ein Laminat von mehreren Dünngläsern aus 100 μm Glas hält problemlos eine Biegung von 500 mm aus, so dass vier Dünngläser von 100 μm die Biegung einer B-Säule schaffen sollten. Zu beachten sind allerdings ggfs. Rückstellkräfte, die langfristig und bei klimatischen Wechselbelastungen zu Delamination führen können. Eine typische Belastungsgrenze von Glas liegt oberhalb von 50 MPa Zugspannung, wenn eine Vorschädigung des Glases im Schneidprozess oder durch andere Oberflächendefekte ausgeschlossen werden kann. Abbildung 7 verdeutlicht die Zugspannung, die beim Biegen von Glas verschiedener Dicken auftreten kann.

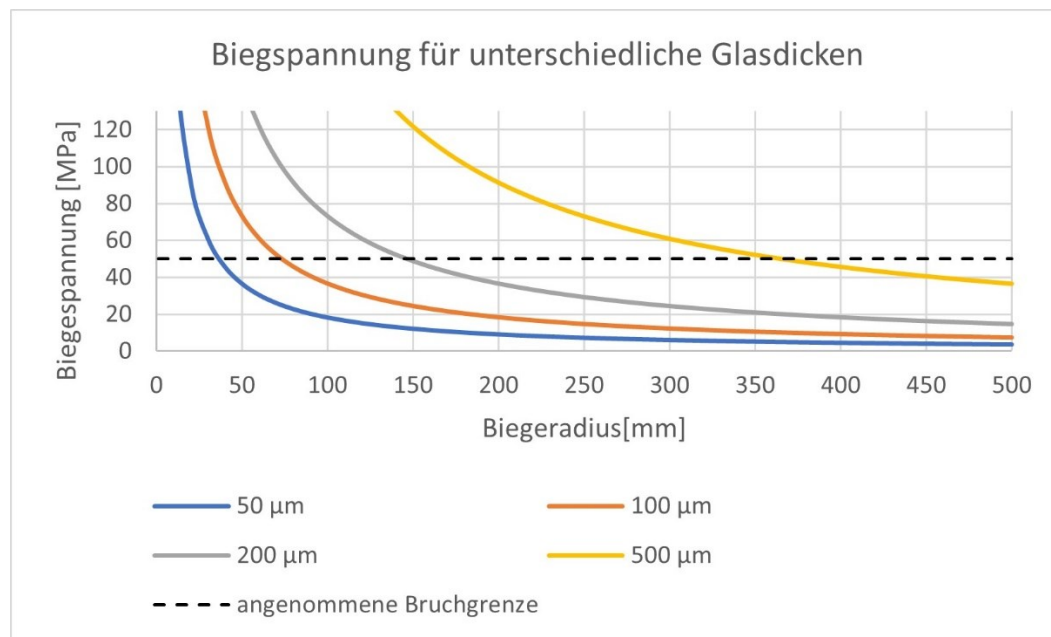


Abbildung 7: Zugspannung für unterschiedliche Dünnglasdicken. Bei 50MPa ist die Bruchgrenze angenommen worden. Die Daten zur Berechnung der Biegespannung wurde dem Datenblatt für das Dünnglas GLeaf der Firma NEG entnommen. (Nippon Electric Glass, 2023)

Für die Sensorabdeckungen mit Dünnglas wurden die folgenden Fragestellungen untersucht:

- Ist eine Entspiegelungsbeschichtung für stark gekrümmte Sensorabdeckungen machbar?
- Wie verhält sich das Dünnglas im Steinschlagtest? (s. Abschnitt 2.4)

Die Beschichtung der Dünnstgläser wurde am Fraunhofer FEP durchgeführt. Ein fünfschichtiges Entspiegelungssystem wurde auf 50 µm-Dünnglas mit einer intrinsischen Druckspannung von -290 MPa aufgebracht, wodurch der später im Laminat bestehenden Zugspannung bei einem Biegeradius von 50 mm entgegengewirkt wird. Wie in Abbildung 7 dargestellt beträgt die Zugspannung auf der Außenseite des Dünnglases 40 MPa. Die Variation der mechanischen Schichtspannung innerhalb der Entspiegelungsschichten war unter Beibehaltung eines sinnvollen Brechungsindex möglich. Abbildung 8 zeigt, wie das Dünnglas für die Sheet-to-Sheet Befestigung befestigt wurde.

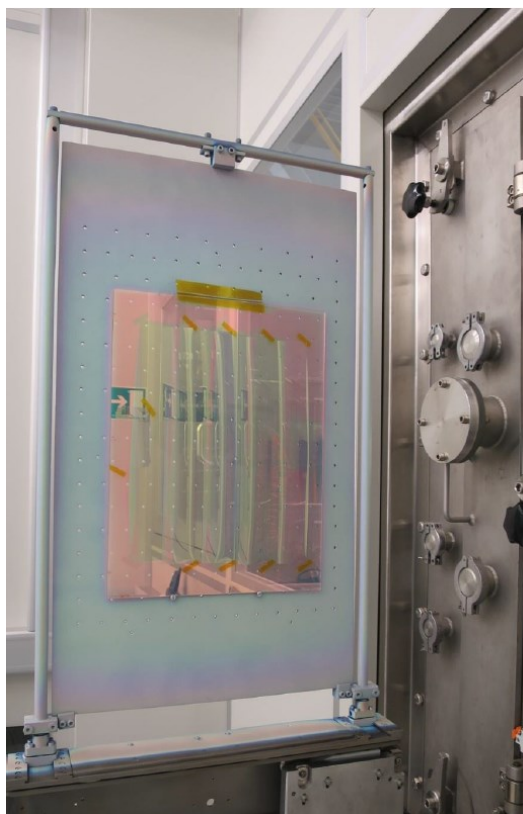


Abbildung 8: Auf Floatglasscheibe mit Kaptonband aufgeklebtes Dünnglas zur Beschichtung am Fraunhofer FEP.

2.3 Skalierungskonzept (AP6.1-VW1)

Kernaufgabe:

Volkswagen stellt in diesem Arbeitspaket Informationen zur Verfügung, die Bauteilgrößen, -geometrien sowie die zu erwartende Stückzahl für eine festgelegte Anwendung betreffen.

Technische Teilziele:

Arbeitspaket	Zu liefernde Arbeitsergebnisse	Zeitpunkt Ende Quartal	Meilenstein/Ergebnis	Status
AP6.1-VW1	Input VW für Skalierungskonzepte	Q12	Abschätzung Stückzahlen Geometrien geeigneter Bauteile geteilt	√ √

Ergebnisse:

Die Arbeiten und Inputs für das Skalierungskonzept wurden in erster Linie von dem Projektpartner Emde Design durchgeführt. Ein Überblick über das Gesamtskalierungskonzept kann in deren Abschlussbericht nachgelesen werden.

Für Anwendungen im Automobilbereich ist ausschlaggebend, dass das Handling verbessert und der Ausschuss der einzelnen Prozessschritte minimiert wird. Um kostenseitig attraktiv zu werden ist beispielsweise eine möglichst lange Rolle-zu-Rolle Prozessierung wichtig. Bislang ist eine Vereinzelung von Laminaten mittels Laserschneiden noch nicht geglückt.

Innerhalb des KODOS Projektes wurde ein verbessertes Laserschneidverfahren entwickelt, um die Kantenqualität des Glases sicherzustellen. Die Farbauswahl der Druckfarben wurde an das sensitiv auf Schichtspannungen reagierende Dünnglas angepasst und der Laminierprozess konnte durch ein schwimmendes Verfahren die Positionierung der Gläser untereinander optimieren. Auch die Rolle-zu-Rolle Beschichtung mit ITO wurde erfolgreich umgesetzt.

Kritische bislang noch nicht gelöste Punkte sind:

- Vereinzelung von Laminaten mittels Laserschneiden
- Sicherer Transport von Dünngläsern, insbesondere von beschichteten nicht planaren Gläsern.
- Rolle-zu-Rolle Beschichtung von OLEDs
- Zweiachsige Heißverformung von Dünnglas für 3D Lamine

Mögliche Anwendungen im Fahrzeugbereich sind aktuell auf maximal einachsig gebogene Flächen begrenzt, die sich nicht im Steinschlag- oder Kopfaufschlagbereich befinden. Denkbar sind hier B-Säulen mit Kameraabdeckung, kleine Dekorflächen, beleuchtete Einstiegsleisten, ggfs. auf Scheiben oder Spiegel laminierte transparente OLEDs, sowie Touchsensorikknöpfe. Im OLED-Bereich ist eine Anwendung in Rückleuchten oder Lichtinseln im Himmel des Interieur denkbar.

Hohe Leuchtdichten und harsche Umweltbedingungen reduzieren die Lebensdauer der OLEDs. Insbesondere OLED-Anwendungen mit blauem oder weißem Lichtanteil, wie sie für eine Innenraumanwendung nötig sind, zeigen eine schnellere Alterung als bisher in Rückleuchten eingesetzte rote OLEDs. Eine gute Verkapselung sollte die Lebensdauer vergrößern und somit einen Einsatz im Automobilinterieur mit Lebensdauern über 15 Jahren ermöglichen. Ebenso ist die Rolle-zu-Rolle Herstellung ein wirtschaftlicher Prozess, um kostengünstiger OLEDs zu fertigen. Die Vorteile von OLEDs liegen in der Herstellung gebogener Displays oder Lichtquellen mit einem geringen Bauraumbedarf.

Bei der Marke Audi werden aktuell OLEDs in Rücklichtern der Modelle TT RS, A8 und Q5 verbaut. Dem Geschäftsbericht der Volkswagen AG (Stand 2021) ist zu entnehmen, dass durch Einführung der OLED Rücklichter im Q5 im Jahr 2020 die Anzahl der Fahrzeuge mit verbauten OLED Elementen etwa um eine Größenordnung von bisher ca. 30.000 Stück im TT und A8 auf nun zusätzlich 280.000 Stück im Q5 angestiegen sind. Die bisherigen OLED-Segmente weisen eine Dicke von 1 mm auf, durch den Einsatz von Dünnglas könnte diese Dicke reduziert und gebogene Strukturen ermöglicht werden.

Für Anwendungen im Automobil sollten die Fertigungskonzepte eine Massenproduktion abdecken können. Eine Einzelanfertigung von Bauteilen mag im Luxussegment noch möglich sein, im Volumensegment steigt dagegen die Stückzahl und gleichzeitig der Preisdruck.

2.4 Belastungstests von Glaslaminaten, Crashsicherheit für Glasanwendungen im Interieur (AP7.1-VW1)

Kernaufgabe:

Um die Crashsicherheit von Glasoberflächen im Interieur zu gewährleisten, müssen verschiedene Tests erfolgreich bestanden werden. Dazu zählt ein Kugelfalltest mit einer 227 g schweren Kugel laut ECE-R43, die aus verschiedenen Höhen auf das Bauteil fällt. Die Probengröße ist hierbei mit 300x300 mm² vorgesehen. Zusätzlich muss die Innenausstattung eines Autos die ECE-R21 erfüllen, in der Kopfaufschlagtests beschrieben werden.

Konzeptionierung und Aufbau eines Demonstrators für den automobilen Innenraum, der die im Projekt entwickelten Technologien zur Anwendung bringt. Dazu zählt die Integration der optischen Grundelemente aber auch gebogene Geometrien (siehe AP7.2-VW1 in Abschnitt 0).

Technische Teilziele:

Arbeitspaket	Zu liefernde Arbeitsergebnisse	Zeitpunkt Ende Quartal	Meilenstein/Ergebnis	Status
AP7.1-VW1	Kugelfalltests auf Glaslaminaten	Q12	Dünnglas/Klebefolie/Kunststoff mit Auftreffenergien eines Kopfaufschlages erprobt Festlegung einer optimalen Folien- und Glasdickenkombination für Anwendungen im Kopfaufschlagbereich. Steinschlagtests	√ Anwendungen im Kopfaufschlagbereich nicht möglich X nicht erfolgreich, da Beschädigung auftritt. √ Anwendungen im Steinschlagbereich nicht möglich
AP7.1-VW2	Demonstrator mit integrierter Touchfunktionalität und Dünnglasoberfläche	Q12	M2 Zusätzlicher Automotive Demonstrator gebogen mit Touch	√ X wurde nicht realisiert. Wechsel auf Gestensteuerung um Fingerabdrücke zu vermeiden.

Ergebnisse:

Für Anwendungen im Exterieur ist statt des Kopfaufschlagtestes insbesondere ein Steinschlagtest wichtig. Ein Rieseltest untersucht die Kratzbeständigkeit für Anwendungen im Exterieur ebenso wie ein Bürstentest.

Die Belastungstests der Glaslamine wurde zusammen mit dem Projektpartner Tesa für zwei Anwendungsfälle im Exterieur untersucht, nämlich für Sensorabdeckungen mit einem Biegeradius von 50 mm (siehe Abbildung 9) sowie für eine interaktiven und hinterleuchteten B-Säule mit Dünnglasabdeckung. In beiden Fällen handelt es sich um ein Laminat bestehend aus Polycarbonat, Klebefolie (OCA) und Dünnglas. Für die Lamination der Testplatten für wurde die acrylatbasierten Klebebänder tesa® 6902 (50 µm), tesa® 6904 (100 µm) sowie tesa® 6906 (150 µm) verwendet.



Abbildung 9: Fertiges Laminat bestehend aus zylindrischer Polycarbonat Ringlinse/OCA/Dünnglas hergestellt mit einer Applikationshilfe bei Fa. Tesa. Es wurde 50 µm Dünnglas verwendet (Schott AF32).



Abbildung 10: Von Tesa hergestellte Probekörper für Meilenstein 1. Abmaße 5x5 cm² und 20x40 cm².

Die Muster für den Klimawechseltest (Abbildung 10) wurden konventionell trocken mit den Haftklebebändern gefügt. Die hohen Anfangsklebkraften von Selbstklebebänder bei der Zusammenführung mit Dünntglas ist dabei eine Herausforderung, die zum Brechen des Glasträgers führen kann. Zur Optimierung wurde die Nasslaminierung erprobt, um einen stabilen Prozess für absolute Präzision und einfaches Handling zu entwickeln. Darunter wird verstanden, dass das Laminat mit Hilfe eines flüssigen Gleitmediums hergestellt wird. Der Tack, d.h. die Anfassklebrigkeit,

wird dadurch signifikant reduziert und der empfindliche Träger kann auf dem Klebeband schwimmen. Nach der Lamination wird die Hilfsflüssigkeit durch Druck, Trocknung und/oder Autoklavierung entfernt. Somit wird eine schadungsfreie und blasenfreie Lamination sichergestellt.

Es hat sich gezeigt, dass der Laborprozess zum trockenen Verkleben von Dünnglas auf Substraten nicht für Aufbauten der Größenordnung 20x40 cm² geeignet ist. Das Glas bricht relativ schnell, weshalb 5 der 6 großen Probekörper für den Klimawechseltest bereits vor dem Test Risse aufwiesen. Alle Muster wurden autoklaviert, weshalb keiner der versendeten Probekörper Blasen aufweist. Die kleinen Probekörper sind alle ohne Brüche in den Versand gegangen. Zum Vergleich: Die Ausbeute bei den kleinen Probekörpern beträgt ca. 95% bei den großen ca. 7% (wenn man nur die eine Probe ohne Risse und Blasen als erfolgreich ansieht).

Tabelle 1: Übersicht zu Probekörpern und durchgeführten Tests. i.O. heißt Test bestanden, n.i.O. heißt Test nicht bestanden

#	Probe	Rieseltest	Kugefalltest	Steinschlagtest	Waschstraßentest	Klimawechseltest
1	2 mm PC-Ringlinse/OCA/50 µm Dünnglas	(s.u. #4)	(nur an planarem Bauteil s.u. #4)	n.i.O.	i.O.	-
2	PC planar 3mm	n.i.O.	153 cm i.O.	-	-	-
3	Glas planar 2mm	i.O.	56 cm Fallhöhe n.i.O.	-	-	-
4	PC planar 2mm/OCA 50 µm/ Glas 50 µm	i.O.	153 cm Fallhöhe n.i.O.	-	-	-
5	PC planar 2mm/OCA 150 µm/ Glas 50 µm	i.O.	153 cm Fallhöhe n.i.O.	-	-	-
6	20x40 cm ² 3mm PC/OCA 50 µm/Glas 100 µm	-	-	-	-	n.i.O. da Randdefekte zu Rissen und Blasen zu Delamination führten, Tests wurden an Proben mit trockener Lamination durchgeführt.
7	5x5 cm ² 3mm PC/OCA 50 µm/Glas 100 µm					i.O. da defektfreie Lamination möglich war und auf kleine Dimensionen die Delta Alpha Problematik nicht so stark auftritt.

Rieseltests

Die Verbesserung der Kratzfestigkeit des Laminates wurde mit Hilfe eines Rieseltests gegenüber einer unbeschichteten Polycarbonatplatte an flachen Substraten bestätigt.

Der Rieseltest wurde an verschiedenen Substraten durchgeführt und die Veränderung der Oberfläche wurde nach DIN 67530 über eine Glanzmessung mit dem Reflektometer REFO 3 bei einem Winkel von 60 ° gemessen. Die Glanzmessung wurde in Glanzeinheiten (GE) vor bzw. nach Testdurchführung ermittelt. Ist der Glanz nach Test niedriger als vor Testbeginn ist eine Schädigung der Oberfläche durch das Stahlgranulat zu bestimmen. In der nachfolgenden Abbildung 11 sind die Glanzmessungen verschiedener Testproben aufgetragen.

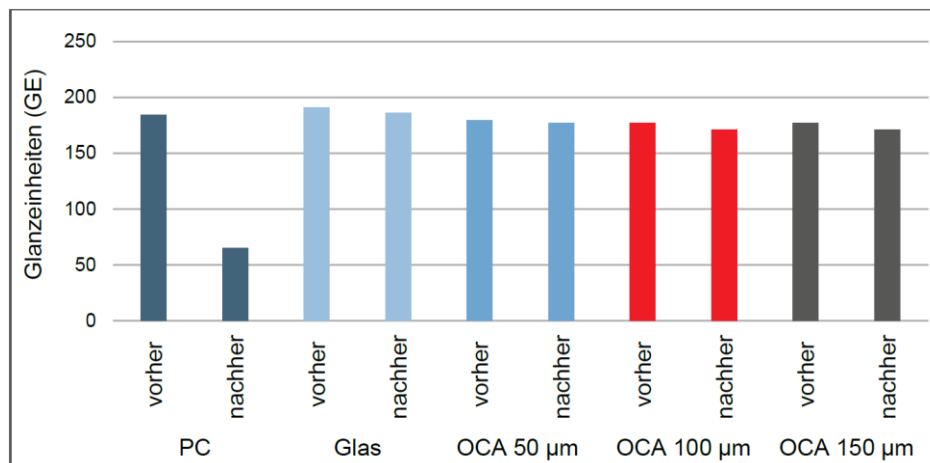


Abbildung 11: Ergebnisse der Glanzmessung vor und nach Durchführung des Rieseltests in Zusammenarbeit mit Fa. Tesa.

Es ist zu erkennen, dass lediglich die reine Polycarbonatprobe (PC) einen signifikanten Unterschied im Glanz vor und nach Durchführung des Rieseltests aufweist, was auf eine deutliche Abrasion des ungeschützten Polycarbonates schließen lässt.

Ein Laminat aus Dünnglas-OCA-PC weist dagegen keine Abrasion auf. Daher ist davon auszugehen, dass das Dünnglas die PC-Oberfläche vor leichten Beschädigungen schützt. Dabei hat die Dicke des verwendeten Klebstoffes keinen Einfluss auf die Schutzwirkung. Zu beachten ist, dass hier ein Vergleich mit unbeschichtetem Polycarbonat untersucht wurde. In Exterieur Anwendungen wird häufig ein Klarlack als zusätzlicher Schutz des Polycarbonates gegen UV und Verkratzen verwendet.

Kugelfalltests

Kugelfalltests wurden zur Festlegung einer optimalen Glasdicken- und Foliendickenkombination für Crashesicherheit durchgeführt.

Im Kugelfalltest sollen dieselben Probenaufbauten unter deutlich höheren, punktuellen Belastungen untersucht werden. Die Stahlkugel (32,6 g Masse und 20 mm Durchmesser) wird nacheinander aus immer höher werdender Distanz auf die Probe fallen gelassen. Dabei wird die Probe nach jedem Kugelfall optisch auf Beschädigungen untersucht. Die Fallhöhe wurde dabei so lange erhöht, bis eine Impact Energie erreicht wurde, die einer Fallhöhe von 50 cm bei einem Kugelgewicht von 100 g entspricht (-> 153 cm).

Die Ergebnisse der Kugelfalltests sind in Tabelle 2 festgehalten.

Tabelle 2: Ergebnisse der Kugelfalltests.

Prüfmuster	Fallhöhe [cm]	Impact Energie [mJ]	Ergebnis
PC 3mm	50	160	Keine Beschädigung
	153	490	Keine Beschädigung
Glas 2mm	50	160	Keine Beschädigung
	56	180	Sehr starke Beschädigung
PC 2mm/OCA 50 µm/ Glas 50 µm	50	160	Keine Beschädigung
	56	180	Keine Beschädigung
	153	490	leichte Beschädigung
PC 2mm/OCA 150 µm/ Glas 50 µm	50	160	Keine Beschädigung
	56	180	Keine Beschädigung
	153	490	leichte Beschädigung

Im Gegensatz zum Rieseltest wird im Kugelfalltest das zu testende Material nicht direkt auf die Metallplatte gelegt sondern an beiden Enden flexibel gelagert, um ein Durchbiegen des jeweiligen Substratmaterials zu gewährleisten. Mit dieser Lagerung sollen die Testbedingungen den Bedingungen in der Anwendung angepasst werden.

Zuerst wurden die Substrate Polycarbonat und Glas untersucht. Wird eine Polycarbonatplatte mit einer Dicke von 3 mm belastet, so weist die Platte nach der maximalen Höhe von 153 cm (490 mJ) keine Beschädigungen auf. Im Gegensatz dazu zerbricht Glas in einer Dicke von 2 mm vollständig ab einer Höhe von 56 cm (180 mJ). Ein Laminat aus Polycarbonat-OCA-Dünnglas wurde mit zwei Klebebändern mit einer Dicke von 50 µm und mit 150 µm untersucht. Dabei zeigte sich, dass das Laminat deutlich stabiler ist als reines Glas. Bei der maximalen Höhe von 153 cm zeigen sich lediglich leichte Beschädigungen in Form von vereinzelt Rissen im Dünnglas. Es konnte kein signifikanter Einfluss der Klebebanddicke auf das Kugelfalltestergebnis ermittelt werden. Es ist aber davon auszugehen, dass sich ein dünneres Klebeband positiv auf die mechanische Stabilität auswirkt, da das Glas so weniger der elastischen Verformung des Klebstoffes folgen muss.

Steinschlagtest

Während im Kugelfalltest größere Auftreffflächen existieren, wird der Steinschlagtest mit kleinem spitzen Granulat durchgeführt, das mit 2 bar auf die Oberfläche geschossen wird. Getestet wurden die Proben nach DIN EN ISO 20567-1 Testmethode B 23.3.2020.

Es wurden Lamine aus 2mm Polycarbonat, 50 µm tesa® 69802 Klebeband und 100 µm D263 Dünnglas aufgebaut und im Steinschlagtest belastet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 und Abbildung 13 zu sehen. In beiden Fällen konnte das Laminat die kinetische Energie des Granulates nicht abfedern. Das Dünnglas wurde beschädigt und es traten an den Auftreffstellen Delaminationen des Klebebandes auf.

Dieses Testergebnis zeigt, dass selbst bei dünnen Klebefolien der Impulsübertrag an das darunterliegende Polycarbonat nicht groß genug ist, um eine Beschädigung des Glases zu vermeiden.

Somit sind sämtliche Anwendungen im Automobil ungeeignet, bei denen das Dünnglas potentiell Steinschlag ausgesetzt ist. Insbesondere sind Sensorabdeckungen auf Höhe der Stoßstange nicht umsetzbar, wohingegen z.B. auf der Position einer B-Säule so gut wie nie Steinschläge auftreten.



Abbildung 12: 2 mm Polycarbonatplatte mit 100 µm D263 Dünnglas von Schott laminiert mit 50 µm tesa® 69802 Klebeband nach Steinschlagtest.

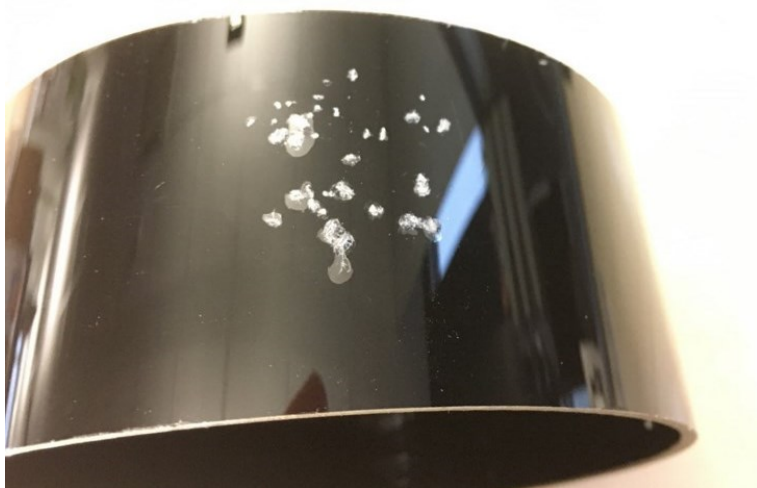


Abbildung 13: Ringlinse (2 mm Polycarbonat) mit auflaminiertem 50 µm dickem Dünnglas nach Steinschlagtest.

Waschstraßentest

Die entspiegelten Sensorabdeckungen mit 50 µm Dünnglas wurden zunächst mit Vogelkotsimulanz, Salz, Sand und Baumharz verschmutzt und anschließend auf einem Autodach montiert und mehrmals durch die Waschstraße gefahren. In Abbildung 14 sind die Proben vor und nach der Reinigung in der Waschstraße dargestellt. Die Dünngläser hielten die mechanische Belastung aus. Wichtig war hier, dass die Kanten durch Schutzkappen geschützt waren.



Abbildung 14: Sensorringlinsen mit entspiegeltem Dünnglaslaminat (50 μm Glas) mit verschiedenen Verschmutzungen. Oben links nach Verschmutzung mit Normschmutz (Vogelkotsimulanz, Salz und Sand), oben rechts nach Waschstraßentest, unten links nach Waschstraßentest an mit Baumharz versehener Probe.

Klimawechseltests

Im Klimawechseltest nach PV1200 (+80/-40 °C) wurden flächige Lamine aus Originalmaterial (Polycarbonat von Covestro)-OCA-Dünnglas getestet. Dabei konnten nach 10 tägiger Belastung weder Blasen- noch Rissbildung festgestellt werden (Abbildung 15). Es wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt.

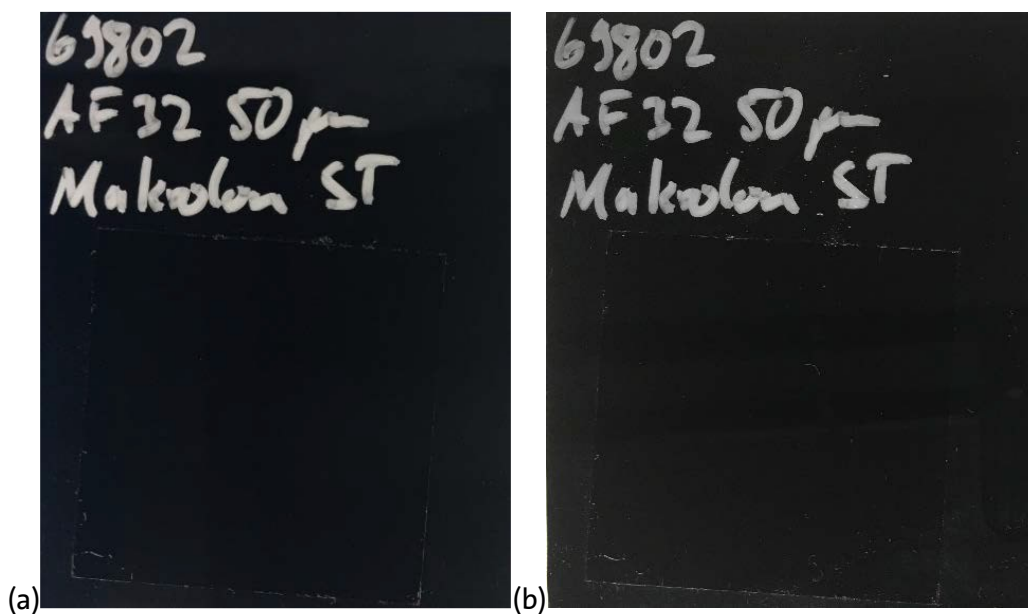


Abbildung 15: 5x5 cm² Dünnglas auf Polycarbonat. Probe (a) vor und (b) nach 10 tägiger Belastung im PV1200 Klimawechseltest bei Fa. Tesa.

Für Meilenstein 1 wurden große 20x40 cm² Platten mit 100 µm dickem Dünnglas laminiert. Das Format wurde in der Länge ähnlich zu der Zielbauteillänge der B-Säule gewählt, um im Vorfeld die zu erwartende Belastung im Klimawechseltest abprüfen zu können. Im Versuch wurden sechs Laminatproben nach Prüfvorschrift PV1200 in zwölf Zyklen zwischen -40°C und +80°C durchgeführt, was einer Testdauer von 6 Tagen entspricht. Durch die unterschiedliche Wärmeausdehnung des Kunststoffes und das Glases entstehen im Laminat Spannungen, die die Klebefolie ausgleichen muss. Die untersuchten Proben wiesen bereits vor dem Test Randdefekte sowie teilweise Luft einschlüsse auf. Nach dem Klimawechseltest hatten sich die Randdefekte in Rissen fortgesetzt. An Stellen, bei denen zuvor eine Luftblase sichtbar war, trat Delamination auf. Als Konsequenz ist eine bessere Kantenqualität des Glases notwendig, wie sie z.B. durch den nun verbesserten Laserschnittprozess der Firma 4Jet umgesetzt werden kann. Die getesteten Proben wurden im Scribe+Break Verfahren vereinzelt, was sich als ungenügend herausgestellt hat. Bei der Lamination ist insbesondere darauf zu achten, dass Luftblaseneinschlüsse vermieden werden. Um ggfs. Versagensmechanismen bestimmen zu können wurde transparentes Polycarbonat als Substrat verwendet. Die Platten wurden nach PV1200 (siehe Abschnitt 2.1) in zwölf Zyklen getestet.

Alle Proben mit Blasen und solche mit Vorschädigung weisen Schäden in Form von Brüchen senkrecht zur Glasoberfläche sowie sekundäre Abhebungen infolge des Klimawechseltests auf. Besonders kritisch ist die Durchbiegung der Proben in den Kaltphasen (-40 °C, siehe Abbildung 16). Hohe Temperaturen üben einen deutlich geringeren Einfluss auf das Versagensgeschehen aus.

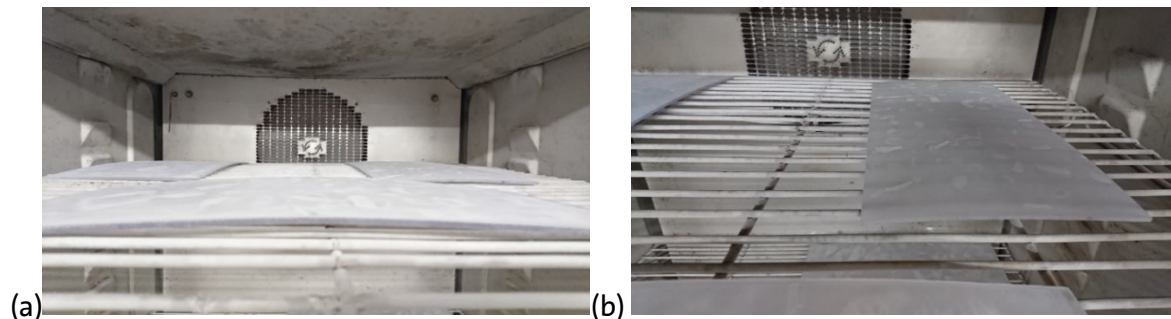


Abbildung 16: Große Dünnglaslaminat 20x40 cm² mit 100 µm Dünnglas auf Polycarbonatplatten bei -40°C im Kältezyklus. Die Längsbiegung (a) und die Querbiegung (b) der Platten sind zu erkennen.

Thermisch induzierte Spannungen treten insbesondere während der Kaltphasen auf, biaxiale Spannungszustände und Biegungen sowohl entlang als auch vertikal zur Längsachse sind in Abbildung 17 erkennbar. Wie zu erwarten tritt entlang der längeren Achse eine stärkere Biegung auf.

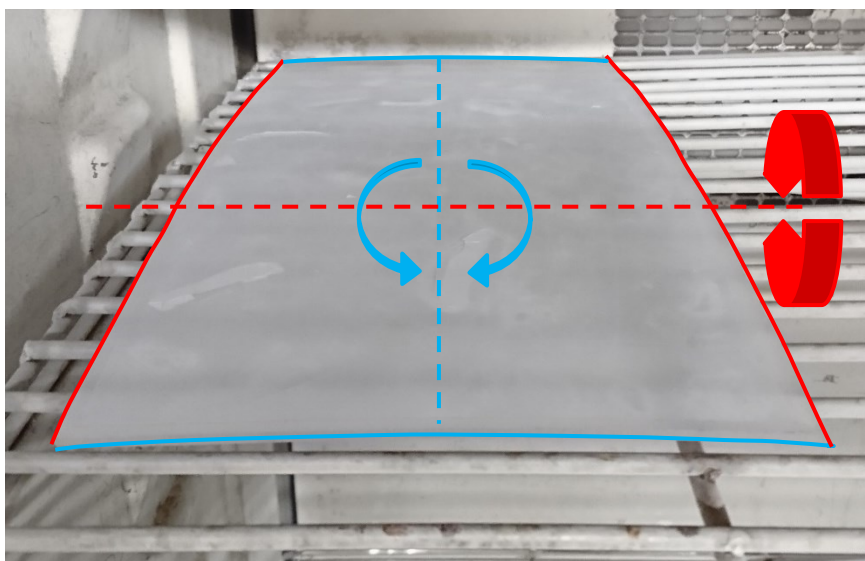


Abbildung 17: Biaxiale Spannungszustände vertikal (rot) und in Richtung der Probenlängsachse (blau).

Mit Hilfe eines Polarisationsfilters lassen sich Brüche im Dünnglas leichter finden (siehe Abbildung 18).

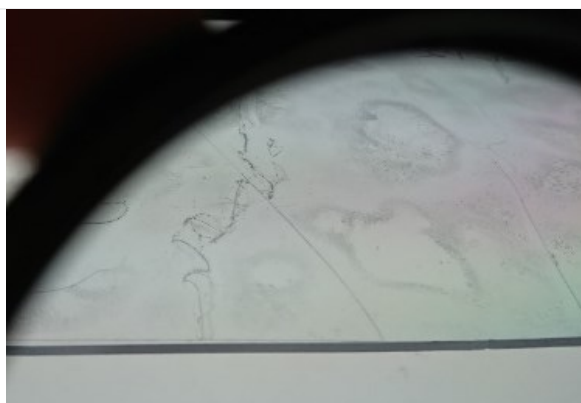


Abbildung 18: Charakterisierung des Bruchgeschehens mit Hilfe eines Polarisationsfilters.

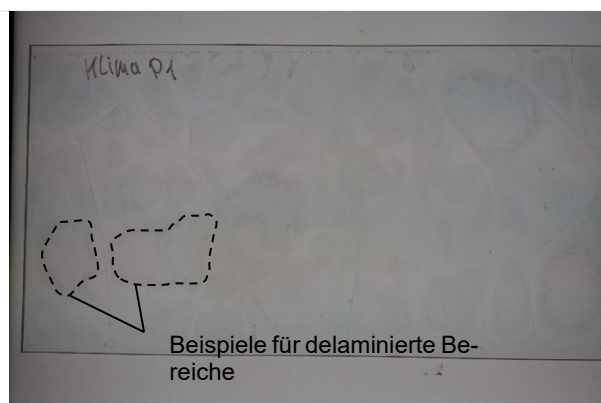


Abbildung 19: Delaminierte Bereiche in Draufsicht einer mit Klimawechseltest geschädigten 20x40cm² Laminatprobe.

Luft einschlüsse im Laminat dehnen sich in den Warmphasen aus, so dass sich die Blasen durch Delamination der Klebefolie vergrößern (siehe Abbildung 19). Um dies zu vermeiden ist eine Autoklavierung des Laminats notwendig.

2.5 Automobil demonstrator mit integrierten Beleuchtungselementen und Dünnglasoberfläche: interaktive B-Säule (AP7.2-VW1)

Kernaufgabe:

Konzeptentwicklung zur Integration von optischen Grundelementen in einem Demonstrator aus dem Automobilumfeld. Die Beleuchtungselemente sollten gebogen sein, zum Teil mit dekorativen Elementen versehen und einzeln ansteuerbar. Ausgewählt wurde eine interaktive B-Säule mit Kamerafenster, Gestensteuerung und hinterleuchteten Symbolen. Das Arbeitspaket umfasst die Koordination der einzelnen Arbeitsschritte entlang der Herstellungskette.

Technische Teilziele:

Arbeitspaket	Zu liefernde Arbeitsergebnisse	Zeitpunkt Ende Quartal	Meilenstein/Ergebnis	Status
AP7.2-VW1	Evaluation OLED-Verkapselung	Q14	/	X nicht durchgeführt, da keine OLED Elemente für Tests vorhanden
	Klimawechseltests an optischen Grundelementen	Q8	Siehe Abschnitt 2.4	√ Maximalgröße von Dünnglas/Kunststoff Halbzeugen bestimmt.
AP7.2-VW2	Demonstrator: Automotive Exterieur mit Anzeige-Funktionalität	Q14	Konzept	√ Konzept erarbeitet, Einzelschritte angepasst
			Interaktive B-Säule mit Hinterleuchtung	X wurde nicht komplett realisiert. Zwischenschritte wurden demonstriert. Komplexität war zu hoch gewählt.

Ergebnisse:

Aus den verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten für hinterleuchtete Dünnglas-elemente im Fahrzeug wurde eine interaktive B-Säule zur Konzeptentwicklung ausgewählt (vergl. Abschnitt 2.1). Der Vorteil dieses komplexen Bauteils war, dass im Konsortium die komplette Fertigungskette durchgespielt werden musste und so einige Detailfragen diskutiert wurden, die anhand allein der optischen Grundelemente nicht thematisiert worden wären. Allerdings stieg das Risiko für den finalen Aufbau dementsprechend, da sich die Erfolgsaussichten mit jedem zusätzlichen Arbeitsschritt vervielfältigten.

Besonders herausfordernd waren der zerstörungsfreie Transport der Halbzeuge zwischen den Partnern, der Zuschnitt, die Bedruckung des Deckglases in mehreren Schritten, die OLED-Fertigung und Kontaktierung sowie die Lamination. Zu jedem dieser Teilschritte werden im Folgenden die Erkenntnisse zusammengefasst. Insgesamt konnten viele wertvolle Ergebnisse erarbeitet werden, die einer späteren Fertigung zu Gute kommen werden.

In Abbildung 20 wird die Anwendung des Zielbauteils dargestellt. Die VW Budd-e Konzeptstudie wurde 2016 bei der CES in Las Vegas vorgestellt und damals noch mit herkömmlicher Technik mit dick aufbauenden LEDs umgesetzt. Eine Abdeckung mit Dünnglas soll im KODOS-Projekt die Kratzfestigkeit verbessern, der Einsatz von OLEDs zu einem wesentlich dünneren Gesamtaufbau führen und ein Kamerafenster mit Infrarotkamera ein interaktive Gestensteuerung ermöglichen.

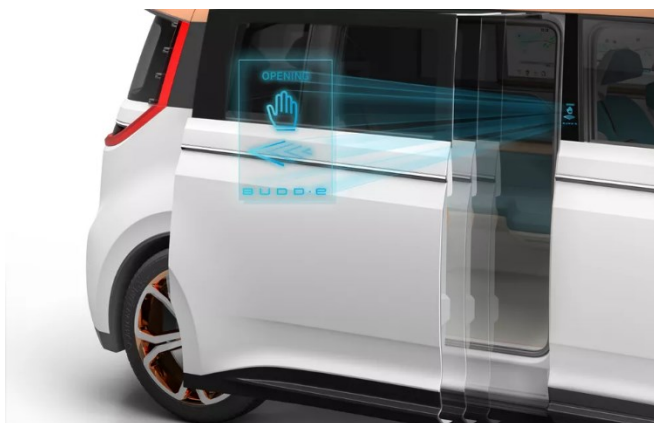


Abbildung 20: VW Budd-e, Showcar CES 2016 mit Anzeigeelement in der B-Säule, umgesetzt mit LEDs und einer entsprechend hohen Bautiefe.

B-Säule, Bohrungen, Kamerafenster

Zunächst wurden B-Säulen verschiedener Fahrzeugmodelle verglichen und schließlich das Modell des Volkswagen Arteon ausgewählt, da die B-Säule für die Anzeige breit genug war. Es stellte sich jedoch heraus, dass die Oberfläche aus Designgründen bombiert war, d.h. dass sie leicht zweiachsig gebogen war.

Die gebogene Geometrie der B-Säule wurde abgewickelt um die Abmaße des Deckglases zu bestimmen (Abbildung 21). Dieses wurde umlaufend etwa 1 mm kleiner gewählt, um so einen späteren Kantenschutz umsetzen zu können (Abbildung 22).

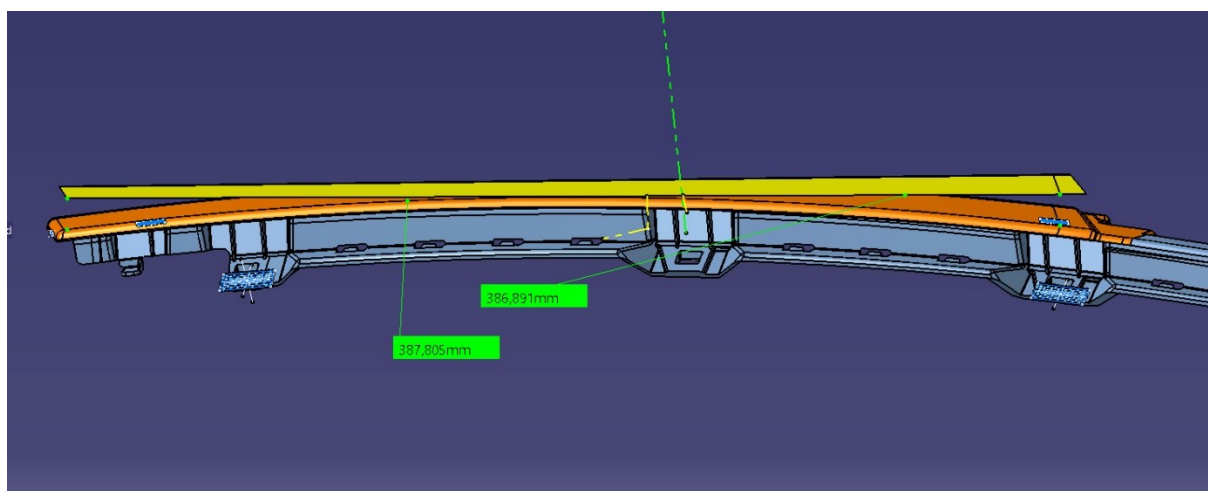


Abbildung 21: 100 µm dünnes Glas ist flexibel und kann auf eine einachsig gebogene Fläche laminiert werden. Die Dimension wurde über Abrollen der B-Säule ermittelt.

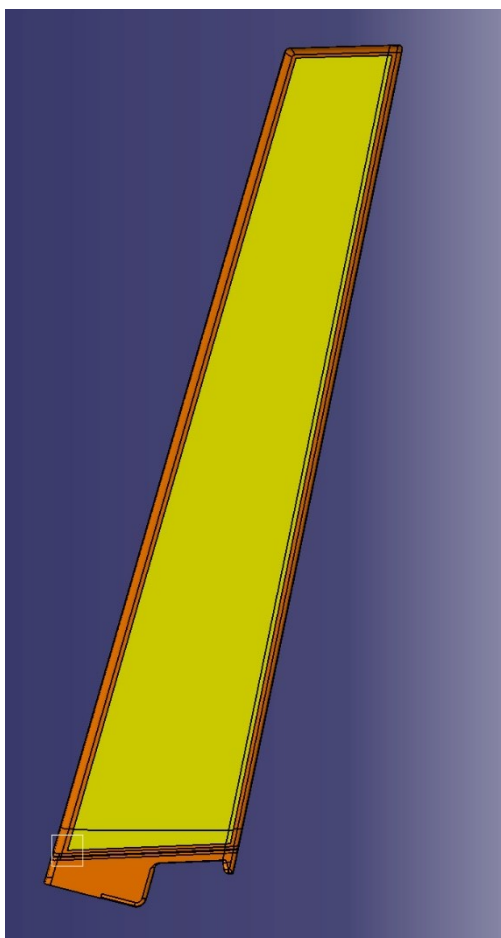


Abbildung 22: Um die Kanten zu schützen wird die Glasgeometrie umlaufend 1 mm kleiner als die Kontur der B-Säule gewählt.

Die B-Säule besteht aus lackiertem PC-ABS, ist 4-5 mm dick und muss zur Kontaktierung und für das Kamerafenster durchbohrt werden. Vorversuche ergaben, dass das Dünnglas problemlos auf eine eindimensionale Krümmung laminiert werden kann, jedoch die vorliegende zweidimensionale Krümmung der originalen B-Säulenabdeckung nicht durch die Klebstoffschicht ausgeglichen werden kann, was in Glasbrüchen resultierte. Daher wurde die B-Säulenabdeckung abgefräst, um eine eindimensional gekrümmte Oberfläche zur Verfügung zu stellen. Das Schleifen lässt sich nicht dadurch umsetzen, dass die Säule zum Bearbeiten heruntergedrückt wird, stattdessen muss die vertikale Biegung abgefahren werden. Für spätere Bauteile sollte die Vorgabe einer einachsigen Biegung von vorneherein als Designvorgabe feststehen.

Der Schleifprozess führte zu einer rauen Oberfläche mit Rautiefe von über 120 µm, was mit Hilfe eines konfokalen Lasermikroskopes gemessen wurde. In Abbildung 23 ist die Oberflächenbeschaffenheit dargestellt und in Abbildung 24 die komplette abgeschliffene B-Säule mit Bohrungen, die für die Laminationsversuche eingesetzt werden sollte. Da das Klebeband nur 50 µm dick ist, stellen Rautiefen von 120 µm ein großes Problem dar, und können nicht ausgeglichen werden kann. Dies führte bei der Lamination zu Blasenbildung. Die Bauteile waren nicht für Klimawechseltests geeignet.

PUBLIC
ÖFFENTLICH

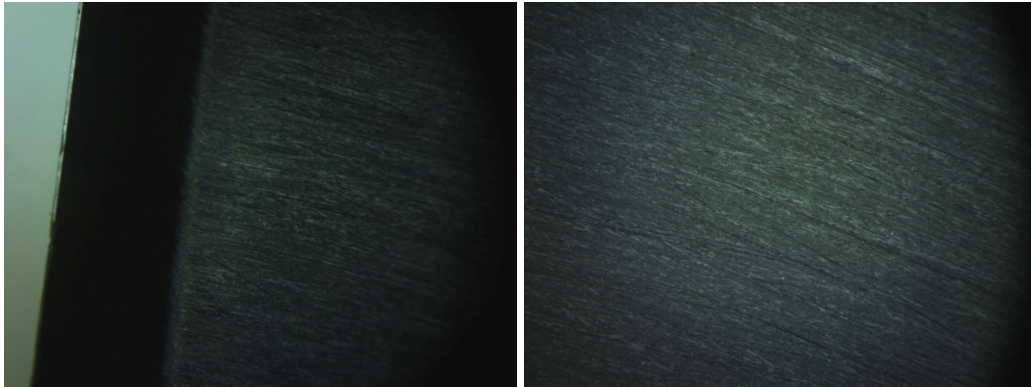


Abbildung 23: Mikroskopaufnahme der geschliffenen B-Säulenoberfläche aufgenommen mit einem LYNX EVO Stereomikroskop bei Fa. Tesa.



Abbildung 24: Abgeschliffene Arteon-B-Säule mit Bohrungen.

Die Abmaße des Deckglases betragen:

Obere Kante = 70.407mm

Untere Kante = 135.447mm

Längere Seite (links) = 377.68mm

Kürzere Seite (rechts)= 358.87mm

Durchmesser Öffnung im Schwarzdruck 36mm

Durchmesser Öffnung im Lasurdruck 34mm

Die krummen Werte entstehen durch das Abrollen des Bauteils. In Abbildung 25 sind die etwas kleineren Maße der Bedruckung und das ausgewählte Design der hinterleuchteten Symbole zu sehen. Abbildung 26 zeigt die Positionierung auf der B-Säule.

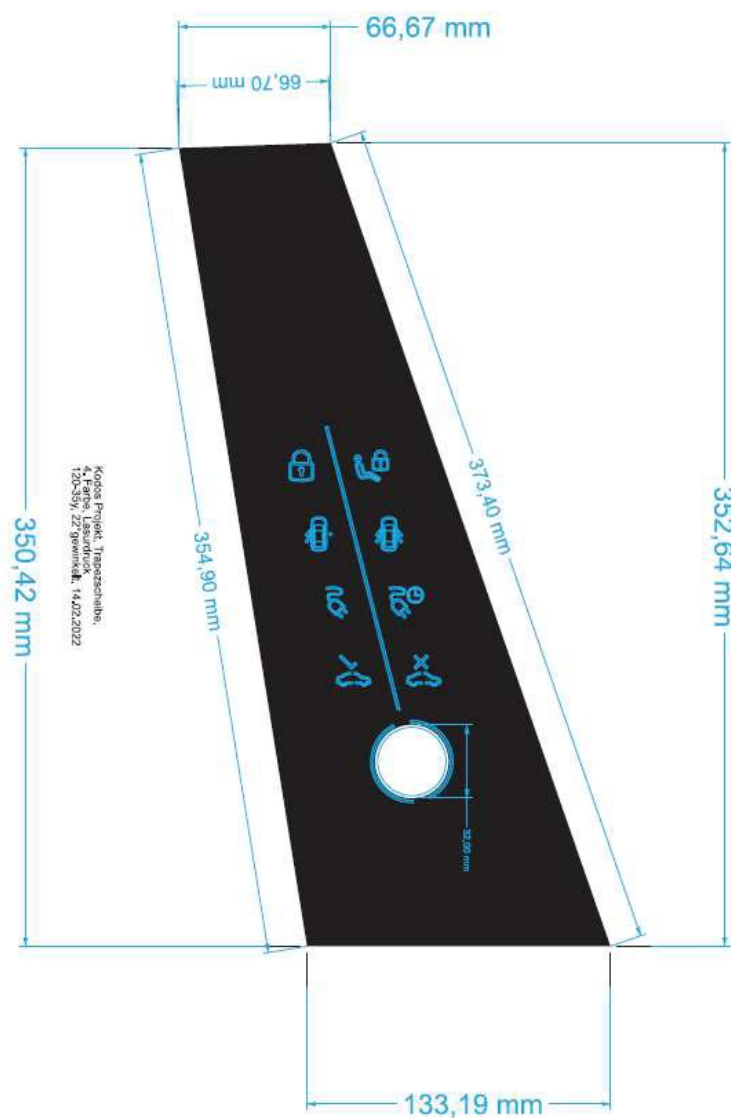


Abbildung 25 Finales Design des bedruckten Deckglases einer Volkswagen Arteon B-Säule. Die Maße weichen von dem Deckglas etwas ab, da für das Handling des Glases beim Druck ein Rand notwendig ist. (Draufsicht)

Die Funktionen, die über die B-Säule dargestellt werden, umfassen den aktuellen Batterieladestand (Mittelstreifen) und in Symbolpaaren über Wischgesten links und rechts auswählbar den Buchungsstand (frei, belegt), das Öffnen von Türen (einseitig, beidseitig), Start des Ladevorgangs (sofort oder später) sowie den Fahrzeugzustand (z.B. Wartung oder Reinigung). Auch das Kamerafenster ist von einem OLED-Ring umgeben um auf das kaschierte Fenster zur Gestenerkennung hinzuweisen. Nähert sich ein Nutzer dem Fahrzeug an, wird die Helligkeit des Ringes erhöht. Erkannt werden Wischgesten (hoch, runter, links und rechts). Die Auswahl erfolgt über ein Abdecken des Kamerafensters. Ist eine Option wählbar, blinkt sie. Bei Bestätigung wechselt sie die Farbe, z.B. von Weiß nach Blau. Hierzu wird ein doppelter OLED-Stack verwendet, der Blau und Weiß leuchten kann.



Abbildung 26: Draufsicht auf geplantes Symboldesign, das zur Veranschaulichung auf die B-Säule geklebt wurde.

Für die Stabilität des Aufbaus müssen Hohlräume vermieden werden, was durch Auswahl eines geeigneten Laminationsaufbaus möglich ist. In Abbildung 27 ist das ausgewählte Laminationskonzept dargestellt. In dieser Variante werden die Zwischenräume zwischen den OLED-Segmenten mit Dummy-Gläsern aufgefüllt. Die Kontaktierung erfolgt in der inaktiven Fläche der OLEDs, so dass das flexible PCB anstelle des Deckglases in diesem Bereich aufgebracht werden kann. Die Kontaktierung erfolgt über ein anisotrop leitfähiges Tape (ACF).

In der Skizze sind die verschiedenen Höhen des Schwarzdrucks von 8-20 µm noch nicht berücksichtigt. Die ITO-Schicht für Touchsensorik entfällt, da die Steuerung über Gesten erfolgt.

<i>Aktive Fläche</i>		<i>Kontaktierung</i>		<i>Inaktive Fläche</i>	
Dünnglas	100 µm				
ITO (Touch)	150 nm				
Schwarzdruck	20 µm				
Tesa PSA	25 µm / 50 µm				
Dünnglas	100 µm				
OLED	500 nm				
Tesa PSA	25 µm / 50 µm	ACF Tape	16 µm / 25 µm	Tesa PSA	25 µm / 50 µm
Dünnglas	100 µm	FlexPCB	120 – 160 µm		
Tesa PSA	25 µm / 50 µm				
B-Säule	5 mm				

Abbildung 27: Ausgewählter Laminationsaufbau zur Vermeidung von druckanfälligen Hohlstellen. FlexPCB wird neben der OLED Verkapselung im inaktiven Bereich der OLED angeordnet.

Versand und Handling

Legt man das Dünnglas auf eine glatte Oberfläche (Metall, Glas, Kunststoff, Pappe), kann es leicht zu Adhäsion kommen und das Glas lässt sich schwer wieder lösen. Auf Seidenpapier ist keine Anhaftung zu beobachten. Das Glas lädt sich durch Reibung leicht elektrisch auf. Somit erfolgte der Versand mit zwischengelegtem Seidenpapier. Dieses Verfahren funktioniert für frisch geschnittenes Glas, wenn die Kantenqualität gut ist und das Glas innerhalb der Verpackung keinen Platz für Bewegung hat. Über das Scribe und Break Verfahren hergestellte Gläser brechen allerdings oft auch bei dieser Versandart. Fa. Flabeg entwickelte eine Box zum Versenden der Dünngläser.

Die Entnahme der Dünngläser aus der Verpackung konnte am besten erfolgen, wenn die Gläser am Rand mit Klebebandschlaufen ausgerüstet waren. Diese müssen vor der Prozessierung entfernt werden, erleichtern aber die Probenentnahme beim Weiterversand sehr.

Sobald das Glas bedruckt und ggfs. nicht mehr vollständig plan war, stieg das Bruchrisiko stark an. Dies ist in Abbildung 28 zu sehen, wo nur eins von sieben bedruckten Gläsern den Transport überstanden hat.

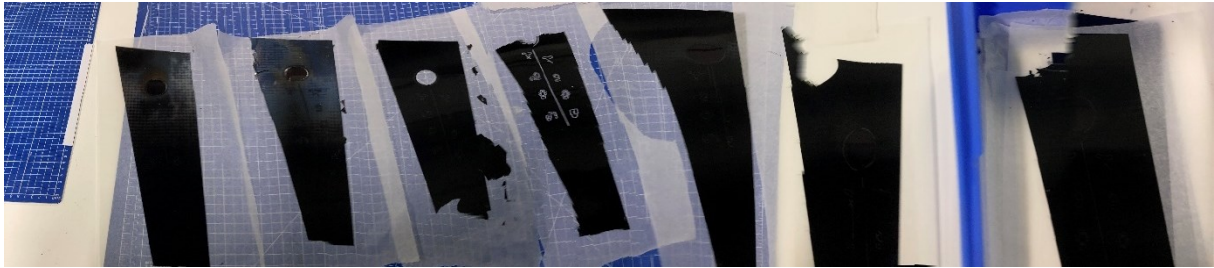


Abbildung 28: Nach Transport größtenteils zerbrochene bedruckte Deckgläser für die interaktive B-Säule.

Die Problematik des Versandes lässt sich durch einen Einzeltransport mittels Speditionen oder idealerweise durch die automatisierte Fertigung an einem Standort beheben.

Im Rahmen des KODOS-Projektes waren zur Herstellung des Demonstrators jeweils mindestens drei Versandschritte notwendig, nämlich:

- Deckgläser: Rolle -> Zuschnitt Glas -> Bedruckung -> Lamination
- OLED: Rolle -> Zuschnitt mit ITO beschichtetes Glas -> Vereinzelung der OLEDs -> Lamination

Glazuschnitt

Da die Schneidkanten des Dünnglases das Bruchverhalten maßgeblich mitbestimmen, kommt den Arbeiten der Firma 4Jet eine große Wichtigkeit zu.

Für die genaue Verarbeitung im Schneidprozess müssen in den Zeichnungen Kreise oder Punkte als Fiducials verwendet werden, zwei Marken reichen hierfür aus. Ein genauer Zuschnitt auf 50 µm ist möglich. Die Glasplatten, aus denen die Zuschnitte gefertigt werden sollten umlaufend 10 cm größer als die herauszutrennenden Teile sein, dies ist für das Handling beim Laser notwendig.

Das Schneiden sollte vor der Bedruckung mit Schwarzdruck erfolgen, da die Druckfarbe vom Laser zerstört und verfärbt werden kann.

Abgerundete Ecken sind für eine spätere Bruchfestigkeit des Glases hilfreich, allerdings lassen sich die Gläser dann nach dem Schneidprozess schlechter herauslösen, so dass wir bei spitzen Ecken geblieben sind.

Das Schneiden von Laminaten wäre an verschiedenen Stellen der Fertigung von Vorteil, beispielsweise bei der Vereinzelung von OLEDs. Solange dies nicht möglich ist, werden die OLEDs mit bereits vereinzeltten Verkapselungsgläsern abgedeckt.

Nicht lasergeschnittene Gläser wiesen teilweise an den Schnittkanten Ausmuschelungen auf, die bei Belastung des Glases, z.B. während des Härteprozesses beim Bedrucken als Risse in das Glas wanderten. Auch eine später Biegung im Laminat trägt zur Belastung der Kanten bei, den notwendigen Transport nicht zu erwähnen.

Für die abschließenden Versuche wurden 24 Deckgläser und 17 Dummy-Glassets für die Lamination gefertigt.

Bedruckung

Für Außenanwendungen liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der UV-Beständigkeit des Schwarzdruckes. Wie durch Tests bei Flabeg gezeigt werden konnte, sind keramische Farben, die besonders UV-stabil sind, leider aufgrund ihrer Schwindung und des daraus folgenden Verzugs des Dünnglases für unser Vorhaben ungeeignet. Stattdessen müssen organische Schwarzdruckfarben verwendet werden. Deshalb wird sich im Folgenden auf organische Schwarzdruckfarben fokussiert, die ihrerseits allerdings weniger UV-stabil sind. Ggfs. sind UV-reflektierende Schichten als Schutz des Schwarzdrucks und der OLED bei Außenanwendungen notwendig.

Die Drucksiebe müssen exakt die Maße des zu bedruckenden Glases haben, da ansonsten das Sieb beim nächsten Druck von unten verunreinigt wird. Es gibt zwei Schichtvarianten, die erprobt wurden:

- Variante 1: a) Schwarzdruck keramische Farbe (muss vor der Weiterverarbeitung bei über 600°C eingebrannt werden), b) Lasurdruck organische Farbe, c) IR-Transparente Farbe auf Sensorfeld
- Variante 2: a) Schwarzdruck organische Farbe, b) Lasurdruck organische Farbe, c) IR-Transparente Farbe auf Sensorfeld

Bei beiden Varianten bestand das Risiko, dass sich die dünnen Gläser durch die Spannungen, die die Farben ausüben verziehen. Die Versuche zeigten, dass Variante 2 für einen geringeren Verzug des Glases zielführend ist. Die organische Druckfarbe weist eine geringere Schrumpfung auf, außerdem werden die einzelnen Drucklagen nur zwischentrocknet bevor die weiteren Lagen aufgebracht werden und erst am Schluss vernetzt, wodurch eine Weiterbedruckbarkeit im Prozess gegeben ist. Drucken und thermisches Härten konnte problemlos durchgeführt werden, leider reagierte das Glas empfindlich auf den Durchlauf durch den UV-Kanal, so dass es zu Bruch kam.

Der Schwarzdruck wird zweilagig aufgebracht und besitzt eine Gesamtdicke von 9 µm. Um eine blasenfreie Lamination zu erleichtern wurde eine Stufe eingebaut, so dass 2x 4.5 µm Stufen ausgeglichen werden müssen anstatt 1x 9 µm. Als transparente Lasur wurde 13% Transmission verwendet werden, damit die OLEDs ausreichend hell durchscheinen. Als Schwarzdruck wurde eine thermisch härtende organische Druckfarbe verwendet. Die keramische Druckfarbe hatte durch Verzug zu einer Wölbung des Glases geführt. Da die UV-Härtung der Lasur kritisch war, soll sie als letztes durchgeführt werden.

Die Transparenz der Lasur wurde anhand von Vorversuchen ermittelt. Bedruckte Scheiben mit 3.5% und 13% Transmission wurden zur Bewertung zu Volkswagen und das Fraunhofer FEP geschickt. Zur Bewertung wurde eine OLED mit 600 – 800 cd/m² Leuchtdichte ohne Abdeckung verwendet. Die Photometermessungen erfolgten am Fraunhofer FEP und sind in Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 31 dargestellt. Foto und Photometermessung zeigen nicht immer denselben Bildausschnitt. Es wird deutlich, dass eine Lasur mit 3.5% Transmission zu viel der Leuchtdichte der OLED absorbiert, so dass die Anzeige nicht hell genug wäre. Ziel ist eine Leuchtdichte von ca. 200 mcd für Symbole im Außenbereich, d.h. es wäre eine Leuchtdichte von 2 cd notwendig. Der Streudruck kann weggelassen werden, weil die OLED ein flächiger Strahler

ist. Eine Lasur ist notwendig, da man sonst den spiegelnden Rückkontakt der OLED sehen könnte.

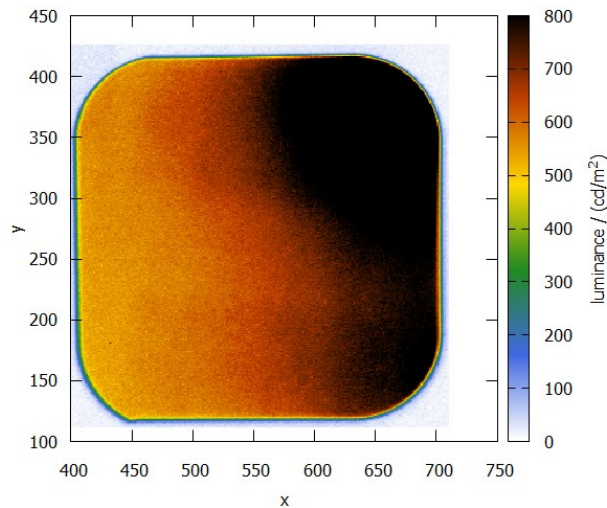


Abbildung 29: Beleuchtungsdichte der verwendeten OLED zur Bewertung des Lasurdrucks. X- und y-Achse sind Positionsangaben. Die Messung wurde am Fraunhofer FEP durchgeführt.

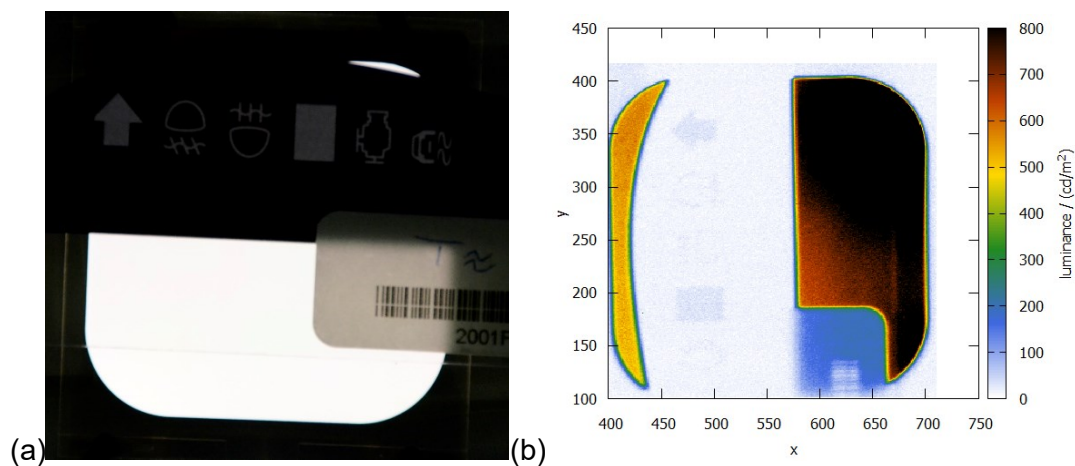


Abbildung 30: 3.5% Transmission in der Lasur. (a) Foto, (b) Photometermessung. Die Messung wurde am Fraunhofer FEP durchgeführt.

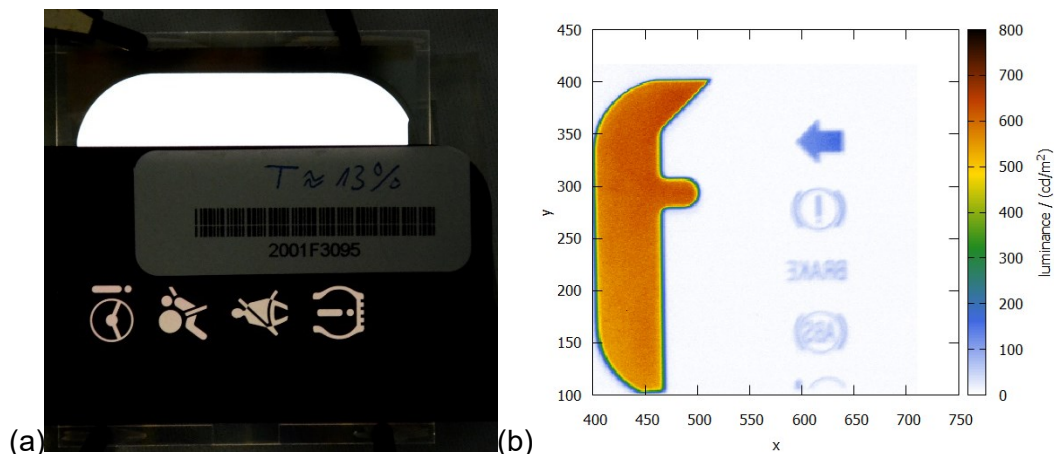


Abbildung 31: 13% Transmission in der Lasur. (a) Foto, (b) Photometermessung. Die Messung wurde am Fraunhofer FEP durchgeführt.

In Abbildung 32 wird eine Messung der Druckschichtdicke mit der auch für das KODOS-Projekt gewählten Farbe mit zwei Drucken jeweils mit einem 150er Siebgewebe gezeigt. Die Gesamtschichtdicke beträgt in diesem Fall ziemlich exakt $9\ \mu\text{m}$. Das zweite Sieb für den Schwarzdruck wurde so gestaltet, dass die zweite Druckschicht gegenüber der ersten umlaufend um $300\ \mu\text{m}$ eingezogen ist. Besonders in den Tell-Tales ist die Stufe aber nicht so steil und tief wie hier gezeigt, da die UV-härtende Lasur als letztes übergedruckt wird und dann etwas stärker in die schmalen Symbollinien hineinläuft. Wenn die Lasur als erstes auf das Glas gedruckt würde und dann das Schwarz, verlief die Stufe so wie unten gezeigt. An den Außenkanten der bedruckten Fläche zum unbedruckten Glas hin ist die Stufe dann noch um ca. $8\ \mu\text{m}$ höher, weil die Lasur aufgedruckt ist.

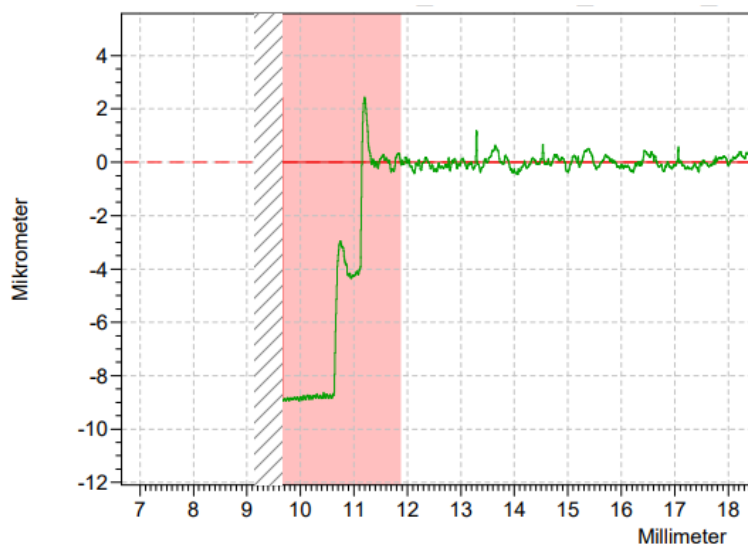


Abbildung 32: Messung der Schichtdicke von zwei übereinanderliegenden Schwarzdruckschichten gemessen mit einem Profilometer bei Fa. Flabeg. Die Gesamtdicke beträgt $9\ \mu\text{m}$.

Zusammengefasst erfolgte die Bedruckung in drei Lagen:

- 1) Schwarzdruck, optimiert auf gute Haftung zum Glas, 2K-Farbe, Aufbringen von zwei Schichten mit 150er Siebgewebe, um Pinholes zu vermeiden, insgesamt $9\text{--}11\ \mu\text{m}$, opti-

sche Dichte: $OD_{\text{Schwarz}} > 6$ = optisch dicht, Einbrenntemperatur 150°C, Maximaltemperatur liegt etwa bei 200 °C.

- 2) Lasur für hinterleuchtete Symbole (läuft nicht ganz gleichmäßig in die Vertiefung, aber wir vermeiden einen Farbwechsel von Lasur zu Schwarzdruck), 13% Transmission, Kaschierung der OLEDs
- 3) NIR-transparente Druckfarbe für das Kamerafenster, ca. 7 μm , optische Dichte $OD_{\text{IR}} = 1.45$

Beim Glas wurde umlaufend 1mm frei gelassen, damit es am Halbautomaten entnehmen werden kann, ohne dass das Risiko besteht die ungehärtete Farbe zu berühren. Das Glas ist zu dünn, um es an der Kante zu schieben.

Die Siebdruckfarbe der Lasur ist thixotrop und benötigt zum Einstellen eines stabilen Zustands einige Gläser, die mit gleichbleibender Geschwindigkeit hintereinander gedruckt werden. Aufgrund der reduzierten Probenzahl konnte der Stabilitätsbereich in diesem Projekt nicht erreicht werden. Die Schichtdicke direkt an der Kante eines Siebdruckes ist immer geringfügig höher, als in der Fläche, wodurch bei teiltransparenten Druckfarben die Kante geringfügig dunkler ist. Der Schwarzdruck kann so fein aufgebracht werden, wie die Maschenbreite des Siebes es zulässt. Stege und Linien mit $< 1\text{mm}$ Breite sind möglich. Die Ausfransung der Linien liegt bei etwa 20 μm .

Die genaue Positionierung der Symbole und des Kamerafensters sind für ein gutes Erscheinungsbild des Bauteils wichtig. Die Toleranzen beim Glaszuschnitt, der Bohrung, der OLED Segmentierung, dem Druck und der Lamination sollten durch das Schichtdesign abgefangen werden. Da Spalte und Abweichungen von 0.1 mm mit bloßem Auge bereits gut sichtbar sind, sollte das Schichtdesign entsprechend viel Überlapp vorsehen, um einen zu großen Einstellaufwand bei automatisierter Prozessführung zu vermeiden.

Von den 18 Deckgläsern, die lasergeschnitten wurden, haben nur 4 Gläser den zweifachen Bedruckungsschritt überstanden. Beim Versand mit bestmöglicher Verpackung blieb nur ein einziges intaktes Deckglas übrig, drei zerbrachen.

OLED, Kontaktierung

Die OLEDs werden aus zwei Emitterschichten (orange und blau) aufgebaut, um bei einzelner Kontaktierung einen Farbwechsel zwischen Blau und Weiß zu ermöglichen. Aus regulatorischen Gründen wurde auf orange Warnsymbole verzichtet. Die OLED Elektroden benötigen einen Schichtwiderstand von unter 20 Ohm. Eine OLED benötigt etwa 4-6 V für die Ansteuerung (Fläche ca. $5 \times 5 \text{ cm}^2$). Die OLEDs müssen nach der Herstellung bereits komplett verkapselt sein. Der Einbau von Wasserfängerschichten ist sinnvoll.

Die Laminationstemperatur der OLEDs muss unterhalb von 100°C liegen und ist somit weit unter der Maximaltemperatur des organischen Schwarzdrucks von 200°C.

Ursprünglich waren 12 OLED Module mit 50 Segmenten geplant, was im Laufe der Planung auf insgesamt 20 Segmente mit 40 Kontakten reduziert wurde.

Die Substratgröße für die Sheet-to-Sheet OLED-Fertigung beträgt am Fraunhofer FEP maximal 200x200 mm², wobei die Beschichtungsfläche 175x175 mm² beträgt. Soll die beleuchtete Fläche größer sein, müssen mehrere Module nebeneinander angeordnet werden.

Die OLEDs werden in Sheet-to-Sheet Verfahren hergestellt und einzeln auflaminiert. Die Ansteuerung der OLEDs erfolgt auf der Innenseite der B-Säule.

Der Abstand der leuchtenden Fläche zum Rand der Verkapselung beträgt 2 mm, was bei der Auslegung des Symboldesigns berücksichtigt werden muss. Auf der Seite der OLED-Kontaktierung wird 2 mm zum Modulrand benötigt. Die OLED Module müssen mit kleinem Abstand von 0.5 mm laminiert werden, damit beim Biegen keine Spannungen zwischen den Modulen entstehen (Druck Dünnglasrand auf Dünnglasrand). Der Abstand hängt vom gewünschten Biegeradius ab. In Abbildung 33 sind die notwendigen Abstände dargestellt. Zwischen OLED-Segmenten innerhalb eines Moduls ist ebenfalls ein 2 mm breiter Rand notwendig.

Um Höhenunterschiede durch Einbringen des FlexPCB zur Kontaktierung zu vermeiden, sollte das Verkapselungsglas für das FlexPCB in dem passiven Bereich der OLED ausgespart sein. Das FlexPCB hat nicht überall die gleiche Höhe (Metallisierung 18-35 µm pro Layer, PI-Coverlayer, Lötstopp etc.), was durch Klebebänder ausgeglichen werden muss.

Die Kontaktierung zwischen OLED und FlexPCB soll mit Hilfe eines anisotrop leitfähigen Klebebandes tesa® EC HAF 5842x von Tesa mit einer Dicke von 30 µm erfolgen, das wesentlich besser vertikal als horizontal leitet. So kann zur Kontaktierung direkt auf das Tape gebondet werden ohne mehrere Pads isoliert nebeneinander aufbringen zu müssen. Das anisotrope Klebeband zur Kontaktierung ist nicht als selbstklebendes PSA aber als hitzeaktivierbare Folie verfügbar. Es gibt 40 Segmente, die kontaktiert werden müssen.

Nach Herstellung der OLEDs erfolgt die Vereinzelung der Module mittels Laserschneiden.

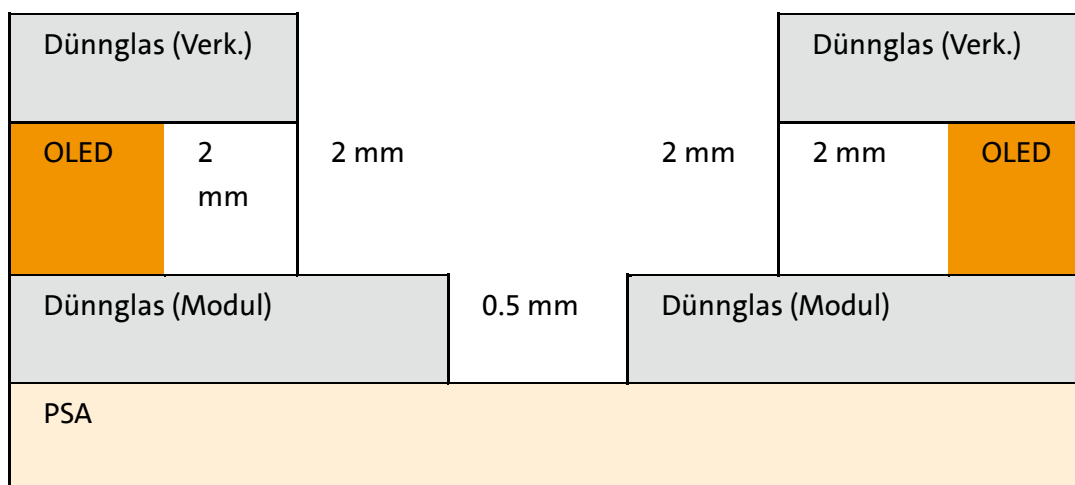


Abbildung 33: Notwendiger Abstand zwischen OLED-Modulen. 2mm passive OLED-Fläche zur Verkapselung, 2 mm zur Kontaktierung und 1mm Abstand zum nächsten Modul, um bei einer Biegung keine Spannung zwischen den Dünngläsern zu erzeugen. Die Darstellung wurde vom Fraunhofer FEP erarbeitet.

Lamination

Die Lamination startete von der Seite des Deckglases, auf das die OLED-Module und Dummygläser zum Höhenausgleich laminiert wurden. Anschließend werden die FlexPCBs angebracht und

der Verbund auf die B-Säule aufgebracht. Bei der Lamination darf die Temperatur 100°C nicht überschreiten, um eine Beschädigung der OLEDs zu vermeiden. Wie in Abschnitt 2.4 beschrieben ist eine schwimmende Lamination zielführend, die bei Tesa entwickelt wurde und die Positionierung erleichtert. Das Lösemittel der schwimmenden Lamination muss mit dem Schwarzdruck kompatibel sein.

Wie in Vorversuchen festgestellt wurde, gleicht das Klebeband die Wölbung der B-Säule nicht ausreichend aus, so dass 2-3 mm Material abgeschliffen werden musste. Während der Lamination werden die Bohrlöcher und das Kamerafenster mit Teflonstöpseln oder 3D-Druck-Teile verschlossen.

Grundsätzlich ist eine blasenfreie Lamination notwendig, da es sonst Probleme bei Klimawechseltest. Eine glatte Fläche auf der B-Säule, geringe auszugleichende Höhenunterschiede und ein Autoklavprozess helfen dabei.

Durch eine kleinere Dimensionierung des Glases werden Toleranzen im Laminierprozess zugelassen. Es ist zu vermeiden, dass das Dünnglas über den Rand steht, da ansonsten Glasbruch nicht vermieden werden kann. Die Bruchfestigkeit von Scheiben aus dem Scribe&Break-Verfahren reicht für den Laminierprozess nicht aus. Lasergeschnittene Gläser sind zwingend erforderlich. Weitere Details zum Laminierprozess können aus dem Abschlussbericht der Firma Tesa entnommen werden.

3 Literaturverzeichnis

Nippon Electric Glass. (11. Januar 2023). *Ultra-thin Glass - G-Leaf (TM) Ref. No.1910-02E*. Von <https://www.neg.co.jp/en/assets/file/product/dp/en-g-leaf.pdf> abgerufen

4 Geplante Veröffentlichung

Dr. Wilma Dewald, Fabian Unterste-Wilms, Dr. Regine Niepmann, Hartwig Schneider: “Application of ultrathin glass in cars – A feasibility study”, Glass Performance Days 2023, 14.-16. Juni 2023, Tampere, Finnland. Präsentation und Proceedings.