

WHITEPAPER 2026

# Optical Bonding: Der komplette Leitfaden

Alles, was Entwickler, Einkäufer und Projektleiter über Optical Bonding wissen müssen — Technologie, Wirtschaftlichkeit und Praxiswissen für die richtige Displayentscheidung.

HIGH-END Optical Systems

BSE Braunschweiger Systemelektronik GmbH

[opticalbondingpro.de](http://opticalbondingpro.de)

# Inhalt

01 Was ist Optical Bonding?

---

02 Das Problem: Der Luftspalt

---

03 Bonding-Technologien: LOCA, OCA & Optisches Gel

---

04 Der Fertigungsprozess im Reinraum

---

05 Messbare Vorteile: Zahlen & Fakten

---

06 Branchenwendungen

---

07 Wirtschaftlichkeit & ROI

---

08 Checkliste: So spezifizieren Sie richtig

---

09 Über HIGH-END Optical Systems

---

# 01 — Was ist Optical Bonding?

Optical Bonding ist das Verfahren zur vollflächigen, luftspaltfreien Verklebung von Display, Touchpanel und Deckglas mittels hochtransparentem Klebstoff.

Bei einem herkömmlichen Display-Aufbau befindet sich zwischen dem eigentlichen LCD-Panel und dem schützenden Deckglas ein Luftspalt (Air Gap). Dieser Luftspalt ist die Hauptursache für Reflexionen, Fogging (Beschlagen) und reduzierte mechanische Stabilität.

Optical Bonding ersetzt diesen Luftspalt durch einen optisch klaren Klebstoff, dessen Brechungsindex (ca. 1,47–1,50) nahezu identisch mit dem von Glas (1,52) ist. Dadurch werden interne Reflexionen an den Glas-Luft-Grenzflächen praktisch eliminiert.

## Der Display-Stack: Aufbau mit und ohne Bonding

Ein typischer Display-Stack besteht aus mehreren Schichten:

SCHICHT	OHNE BONDING	MIT BONDING
Deckglas (Cover Glass)	Am Rand verklebt (Tape)	Vollflächig verklebt
Zwischenraum	Luftspalt (Air Gap)	Optischer Klebstoff
Touchpanel (PCAP)	Separat montiert	In Bonding integriert
LCD/OLED-Panel	Standard	Standard
Hintergrundbeleuchtung	Standard	Standard

Das Ergebnis: Alle optisch relevanten Schichten bilden eine monolithische Einheit — mechanisch stabiler, optisch überlegen, und hermetisch gegen Umwelteinflüsse geschützt.

## 02 — Das Problem: Der Luftspalt

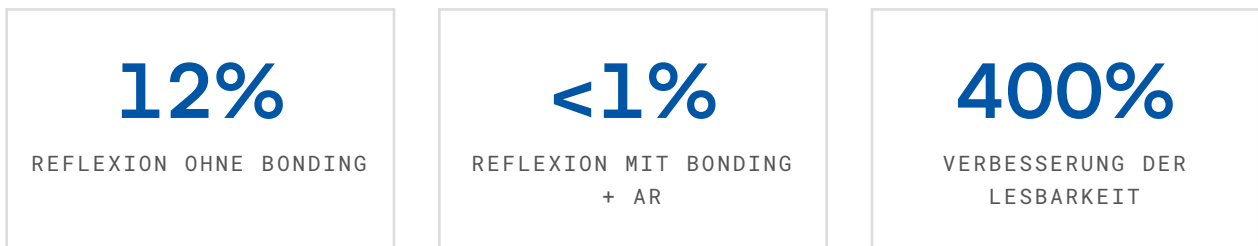
Vier Reflexionsflächen, Fogging-Risiko und reduzierte Lebensdauer — der Luftspalt ist der größte Feind Ihres Displays.

### Reflexionen: Die Physik dahinter

An jeder Grenzfläche zwischen zwei Medien mit unterschiedlichem Brechungsindex entsteht eine Reflexion. Ein Standard-Display mit Luftspalt hat vier solcher Grenzflächen:

1. Luft → Deckglas-Oberfläche: ca. 4% Reflexion
2. Deckglas-Rückseite → Luftspalt: ca. 4% Reflexion
3. Luftspalt → Display-Oberfläche: ca. 4% Reflexion
4. Display-Rückseite: vernachlässigbar

**Gesamtreflexion ohne Maßnahmen: bis zu 12%** des einfallenden Lichts. Bei 100.000 Lux Sonnenlicht bedeutet das 12.000 Lux reflektiertes Licht auf der Displayoberfläche.



### Fogging: Feuchtigkeit im Display

Im Luftspalt befindet sich Luft mit einer bestimmten Feuchtigkeit. Bei Temperaturwechseln (z.B. beim Wechsel von kalter Außenluft in eine warme Halle) unterschreitet die Temperatur den Taupunkt — Kondenswasser bildet sich zwischen Display und Deckglas. Das Display wird milchig und unlesbar.

Optical Bonding macht Fogging physikalisch unmöglich: Kein Luftspalt bedeutet kein Raum für Kondensation.

### Weitere Probleme des Luftspalts

- **Grey Gap:** Schwarz wirkt grau, Kontrast sinkt
- **Staubeintrag:** Partikel sammeln sich im Inneren
- **Parallaxenfehler:** Touch-Position weicht vom Display-Inhalt ab
- **Mechanische Schwäche:** Deckglas schwingt bei Vibration

## 03 — Bonding-Technologien: LOCA, OCA & Optisches Gel

Drei Klebstofftechnologien, drei Einsatzprofile. Die richtige Wahl hängt von Displaygröße, Stückzahl und Anforderungen ab.

### LOCA (Liquid Optically Clear Adhesive)

Flüssiger, optisch klarer Klebstoff auf Acrylat- oder Silikonbasis. Wird im flüssigen Zustand zwischen Display und Deckglas eingebracht und per UV-Licht ausgehärtet.

- **Ideal für:** Große Displays (>15"), ungekrümmte und gekrümmte Oberflächen, Prototypen
- **Vorteile:** Selbstnivellierend, gute Reworkability, keine Größenbeschränkung
- **Nachteile:** Komplexerer Prozess, Randabfluss muss kontrolliert werden

### OCA (Optically Clear Adhesive)

Vorgefertigte, optisch klare Klebefolie mit definierter Dicke (25—200 µm). Wird zwischen Display und Deckglas laminiert.

- **Ideal für:** Kleine/mittlere Displays (<15"), hohe Stückzahlen, flache Substrate
- **Vorteile:** Konstante Schichtdicke, schnellere Taktzeiten, einfacherer Prozess
- **Nachteile:** Nur für flache Oberflächen, schwierigere Reworkability

### Optisches Gel

Weicher Silikonkleber, der nach Aushärtung flexibel bleibt. Ideal bei großen Temperaturschwankungen und unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten.

- **Ideal für:** Extreme Temperaturbereiche (-40 bis +85°C), große CTE-Unterschiede
- **Vorteile:** Flexibel, beste Reworkability, thermisch kompensierend
- **Nachteile:** Höhere Materialkosten, weicherer Verbund

## Vergleichstabelle

EIGENSCHAFT	LOCA	OCA	GEL
Aggregatzustand	Flüssig	Folie	Gel
Max. Displaygröße	Unbegrenzt	~15"	Unbegrenzt
Gekrümmte Flächen	Ja	Nein	Ja
Reworkability	Gut	Eingeschränkt	Sehr gut
Temperaturbereich	-30 bis +80°C	-20 bis +70°C	-40 bis +85°C
Taktzeit	Mittel	Kurz	Mittel
Stückkosten (Serie)	Mittel	Niedrig	Hoch

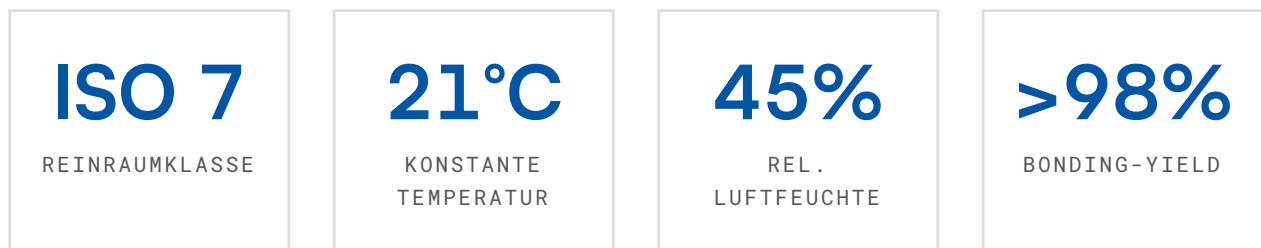
# 04 — Der Fertigungsprozess im Reinraum

Ein einziges Staubkorn reicht, um ein 2.000-Euro-Display zu zerstören. Professionelles Optical Bonding findet deshalb ausschließlich im zertifizierten Reinraum statt.

## Warum Reinraum?

Normale Büroumgebung: ca. 35.000.000 Partikel pro m<sup>3</sup>. Ein ISO-7-Reinraum: max. 352.000 Partikel — also 100-mal weniger. Bei Optical Bonding ist die Toleranz für Verunreinigungen praktisch null.

## Unsere Fertigungsumgebung



## Der Prozess: Schritt für Schritt

### 1. Wareneingang & Prüfung

Jedes Display und Deckglas wird auf Beschädigungen, Partikel und Maßhaltigkeit geprüft. Fehlerhafte Teile werden vor dem Bonding aussortiert.

### 2. Reinigung & Oberflächenvorbereitung

Mehrstufige Reinigung mit Isopropanol und ionisierter Luft. Bei Bedarf: Plasma-Vorbehandlung zur Verbesserung der Klebstoffhaftung und Erhöhung der Oberflächenenergie.

### 3. Klebstoffapplikation

LOCA: Gewichtsgesteuerte Dosierung im „Dam & Fill“-Verfahren. OCA: Präzise Lamination der Klebefolie auf das Display.

### 4. Vakuum-Lamination

Display und Deckglas werden in der Vakuumkammer zusammengefügt. Da im Moment des Fügens keine Luft vorhanden ist, können keine Blasen eingeschlossen werden.

## **5. Aushärtung**

LOCA: UV-Bestrahlung (365—405 nm), dosisgesteuert per Radiometer. OCA: Autoklavbehandlung bei 3—5 bar und 50—70°C.

## **6. Qualitätskontrolle**

100%-Sichtprüfung auf Blasen, Partikel und optische Fehler. Dokumentation aller Prozessparameter mit Seriennummer für lückenlose Rückverfolgbarkeit.

## 05 — Messbare Vorteile: Zahlen & Fakten

Die Vorteile von Optical Bonding sind nicht nur spürbar — sie sind messbar und quantifizierbar.

KENNZAHL	OHNE BONDING	MIT BONDING	VERBESSERUNG
Gesamtreflexion	8—12%	<1% (mit AR)	>90% Reduktion
Kontrast bei 5.000 Lux	2:1 bis 4:1	15:1 bis 22:1	~400%
Fogging-Schutz	Keiner	Vollständig	100%
Parallaxenfehler	1—3 mm	<0,3 mm	>80%
Stoßfestigkeit (IK)	IK04—IK05	IK07—IK09	+2—3 Klassen
Lebensdauer (Feld)	3—5 Jahre	7—10+ Jahre	2—3×
Ausfallrate (1. Jahr)	5—8%	1—2%	-75%
Backlight-Einsparung	Referenz	20—30% weniger	Energiekosten

### Praxisbeispiel: Medizintechnik

Ein Hersteller medizinischer Überwachungsmonitore konnte durch Optical Bonding die Displaylesbarkeit unter OP-Beleuchtung um 400% verbessern und gleichzeitig die Reinigungsbeständigkeit von 10.000 auf über 50.000 Desinfektionszyklen steigern. Die Ausfallrate im Feld sank von 7% auf unter 1,5% pro Jahr.

# 06 — Branchen Anwendungen

Optical Bonding zahlt sich überall dort aus, wo Displays unter Extrembedingungen funktionieren müssen.

## Medizintechnik

OP-Displays, Patientenmonitore, Diagnostikgeräte. Anforderungen: Lesbarkeit unter OP-Licht, Desinfektionsmittelbeständigkeit, fugenlose Fronten, lange Produktlebenszyklen (7–15 Jahre). Optical Bonding ist hier oft eine regulatorische Notwendigkeit, nicht nur ein Qualitätsmerkmal.

## Maschinenbau & Industrie 4.0

HMI-Displays an CNC-Maschinen, Roboterzellen, Prozesssteuerungen. Anforderungen: Lesbarkeit unter Hallenlicht, Vibrationsresistenz, Handschuh-Bedienung, 24/7-Betrieb. Maschinenstillstände durch Displayausfälle kosten 150–300 Euro pro Stunde.

## Automotive & Rugged Devices

Fahrzeug-Infotainment, Instrumententafeln, militärische Tablets, Feldgeräte. Anforderungen: -40 bis +85°C, Vibrationsbeständigkeit nach MIL-STD, Sonnenlichtlesbarkeit. Temperaturwechsel sind der primäre Stressfaktor.

## Outdoor-Terminals & Kioske

Fahrkartenautomaten, Informationsterminals, Digital Signage. Anforderungen: Wetterbeständigkeit, Vandalismusschutz, 24/7-Sonnenlicht-Lesbarkeit. Serviceeinsätze im Feld sind besonders kostspielig.

## Baumaschinen & Landtechnik

Bagger-Displays, Traktor-Terminals, Vermessungsgeräte. Anforderungen: Extrem raue Umgebungen, Staub, Vibration, Temperaturschwankungen. Hier müssen Displays funktionieren, wo andere aufgeben.

## Luftfahrt & Marine

Cockpit-Displays, Navigationsmonitore, maritime Steuerungssysteme. Anforderungen: Sonnenlichtlesbarkeit, EMI-Abschirmung, salzhaltige Luft, extreme Vibrationen. Höchste Zuverlässigkeitsanforderungen.

# 07 — Wirtschaftlichkeit & ROI

Optical Bonding als reinen Aufpreis zu betrachten, greift zu kurz. Die korrekte Betrachtung ist eine TCO-Analyse über die gesamte Produktlebensdauer.

## Kostenstruktur

Der Aufpreis für Optical Bonding beträgt typischerweise 15–40% der Display-Kosten. Dem stehen messbare Einsparungen gegenüber:

KOSTENFAKTOR	OHNE BONDING	MIT BONDING
Display-Stückkosten	100% (Referenz)	115–140%
Ausfallrate im Feld	5–8% p.a.	1–2% p.a.
Servicekosten/Ausfall	500–2.000 €	500–2.000 €
Lebensdauer	3–5 Jahre	7–10+ Jahre
Energiekosten (Backlight)	Referenz	-20 bis -30%

## Modellrechnung: 500 Displays pro Jahr

### Szenario A: Ohne Bonding

Display-Kosten: 120 €/Stk. • Ausfallrate: 8%/Jahr • Servicekosten: 800 €/Ausfall

Jährliche Servicekosten:  $500 \times 0,08 \times 800 \text{ €} = \mathbf{32.000 \text{ €}}$

### Szenario B: Mit Optical Bonding

Display-Kosten: 165 €/Stk. (+37,5%) • Aufpreis: 22.500 €/Jahr • Ausfallrate: 2%

Jährliche Servicekosten:  $500 \times 0,02 \times 800 \text{ €} = \mathbf{8.000 \text{ €}}$

Netto-Einsparung ab Jahr 1:  $32.000 - 8.000 - 22.500 = \mathbf{1.500 \text{ €}}$

**<12**

MONATE BREAK-EVEN

**24.000€**

JÄHRL. EINSPARUNG AB  
JAHR 2

**2x**

LÄNGERE LEBENSDAUER

# 08 — Checkliste: So spezifizieren Sie richtig

Diese Checkliste hilft Ihnen, alle relevanten Parameter für Ihr Optical-Bonding-Projekt zu definieren.

## Mechanische Parameter

- Displaygröße (Diagonale in Zoll) und Auflösung
- Deckglas-Material: Floatglas, Gorilla Glass, Borosilikat, Saphir?
- Deckglas-Dicke: 1,1 mm (Standard) / 2,0 mm (Industrie) / 3–6 mm (Heavy-Duty)
- IP-Schutzart-Anforderung: IP54, IP65, IP67?
- IK-Schutzklasse: IK05, IK07, IK10?

## Touch-Parameter

- Touch-Technologie: PCAP (Standard) / Resistiv / Andere
- Multi-Touch: 2-Punkt / 5-Punkt / 10-Punkt
- Handschuh-Bedienung erforderlich? (Ja/Nein, Handschuhtyp)
- Wasserabweisung auf der Touch-Oberfläche?
- Touch-Interface: USB, I<sup>2</sup>C, UART, RS-232

## Optische Parameter

- Sonnenlicht-Lesbarkeit erforderlich? (Ja/Nein)
- AR-Beschichtung gewünscht? (Ja/Nein)
- AG-Beschichtung gewünscht? (Ja/Nein)
- Mindest-Leuchtdichte (Nits): 500 / 1.000 / 1.500+

## Umgebungsparameter

- Betriebstemperatur: Standard (0 bis +50°C) / Extended (-20 bis +70°C) / Full (-40 bis +85°C)
- Vibration & Schock nach IEC 60068 oder MIL-STD
- Besondere Umgebungen: Salzlufte, Chemikalien, UV-Strahlung?

## Projekt-Parameter

- Geplante Stückzahl: Prototyp / Kleinserie / Serie
- Reworkability erforderlich? (Ja/Nein)
- Zertifizierungen: ISO 9001, Medizinprodukteverordnung, MIL-Spec?
- Ziel-Zeitplan: Musterlieferung, SOP-Termin

### **Tipp: Frühzeitig integrieren**

Planen Sie Optical Bonding von Anfang an in Ihr Display-Design ein. Nachträgliches Bonding ist immer teurer und aufwendiger als eine Integration ab der Konzeptphase.

# 09 — Über HIGH-END Optical Systems

Ihr Partner für professionelles Optical Bonding — vom Prototyp bis zur Serie. Made in Germany.

HIGH-END Optical Systems ist eine Marke der BSE Braunschweiger Systemelektronik GmbH und Spezialist für die Entwicklung und Fertigung kundenspezifischer Display- und Touch-Assemblies.

## Unsere Leistungen

- Optical Bonding (LOCA & OCA) für Displays von 3 bis 65 Zoll
- Vakuum-Lamination in zertifiziertem Reinraum (ISO 7 / ISO 6)
- Kundenspezifische Display-Stacks: TFT + Touch + Deckglas + Bonding
- Prototypenfertigung und Serienfertigung
- AR-/AG-Beschichtung, Siebdruck, EMI-Abschirmung

## Qualität & Zertifizierungen

- ISO 9001 zertifiziert
- Reinraumfertigung ISO 7 (ISO 6 auf Anfrage)
- ESD-geschützte Arbeitsplätze
- Lückenlose Rückverfolgbarkeit
- 100% Made in Germany — Entwicklung und Fertigung am Standort Braunschweig

## Kostenloser Machbarkeits-Check

Senden Sie uns Ihre Display-Anforderungen. Wir prüfen Machbarkeit, empfehlen die optimale Technologie und geben eine erste Kostenindikation — unverbindlich und kostenfrei.

**Antwort innerhalb von 1—2 Werktagen.**

Telefon: +49 151 25 570 529

E-Mail: [info@opticalbondingpro.de](mailto:info@opticalbondingpro.de)

Web: [opticalbondingpro.de](http://opticalbondingpro.de)