

# Innovationsimpuls

## «Klebertechnologie - die unterschätzte Verbindungstechnik»

Kreuzlingen, 29. Aug 2023

Träger



Hauptsponsor

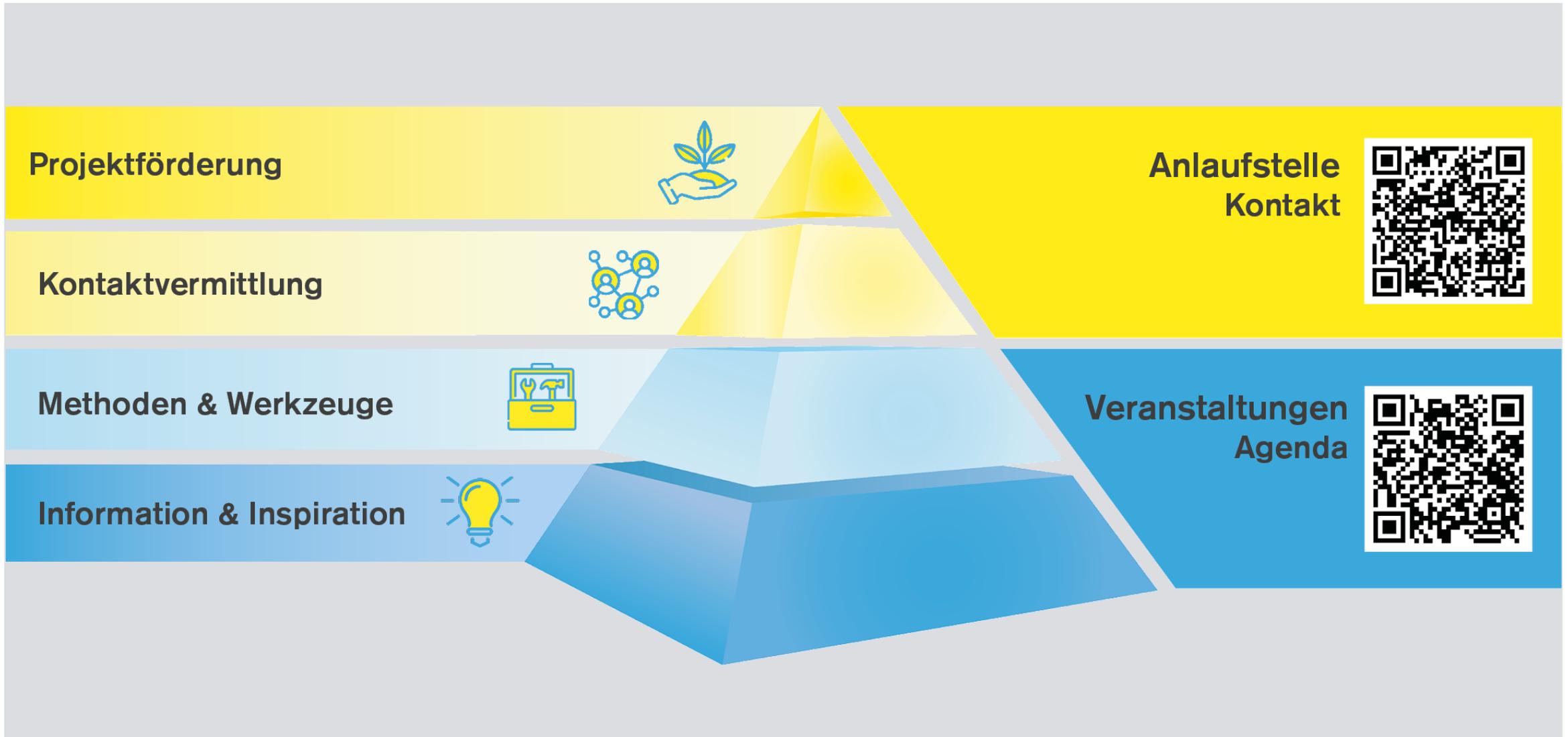




THURGAUER TECHNOLOGIEFORUM

IHR UNABHÄNGIGER SPARRINGPARTNER  
FÜR TECHNOLOGIE- & INNOVATIONSFRAGEN

# BEDÜRFNISORIENTIERTES ANGEBOT IN VIER STUFEN





## Adrian Kummer

Inhaber & Geschäftsführer WUNDERLI Electronics AG



Das Thurgauer Technologieforum hat uns rasch und gezielt mit den richtigen Ansprechpersonen an der Fachhochschule ZHAW verbunden. Es resultierte ein gefördertes Forschungsprojekt, welches uns in der Entwicklung unserer nächsten Produktgeneration optimal unterstützt.

## IHRE ANSPRECHPARTNER



**ANDREAS KAISER**

Technologievermittlung &  
Innovationsförderung

andreas.kaiser@technologieforum.ch



**ELIA MINGHETTI**

Technologievermittlung &  
Innovationsförderung

elia.minghetti@technologieforum.ch



**MARCO JAGGI**

Technologievermittlung &  
Innovationsförderung

marco.jaggi@technologieforum.ch

058 345 55 15

[www.technologieforum.ch](http://www.technologieforum.ch)



# Die Klebetechnik: Herausforderung und Chancen für die Industrie

- Prof. Dr. Pierre Jousset – Fachbereichsleiter Verbindungstechnik

# Die Klebetechnik: Herausforderung und Chancen für die Industrie

## Agenda und Ziele

- Die OST und das IWK
- Die Klebetechnik:
  - Kleben: eine alltägliche Verbindungstechnik
  - Aktuelle und innovative Themen in der Klebetechnik
  - Vorteile der Klebetechnik und Chancen für die Industrie
  - Herausforderung der Klebetechnik
  - Oberfläche für eine sichere Nutzung der Klebetechnik
  - Sichere Auslegung einer Klebeverbindung
- Beispiele von Industriellen Projekten in der Klebetechnik
  - Sicherheitsrelevante Klebverbindung einer Seilbahnkabine
  - Entwicklung und Charakterisierung eines strukturellen Kautschukklebstoffes
  - Kleben unter Hochtemperaturbedingungen
  - Entwicklung einer verklebten Kokille für das Stranggiessen von Stahl
  - Entwicklung eines verklebten und abnehmbaren Sensorgehäuse für Windturbinenblätter
- Das IWK: Ihr Partner für die Klebetechnik

# Die OST und das IWK

## Fachhochschulen in der Schweiz

- 7 öffentlich-rechtliche Fachhochschulen



# OST – Ostschweizer Fachhochschule

## Übersicht



6

Departemente



22

Studiengänge  
(Bachelor, Master)



180+

Hochschulkooperationen  
in 52 Ländern

# Übersicht



1000+

Forschungsprojekte  
mit Praxispartnern



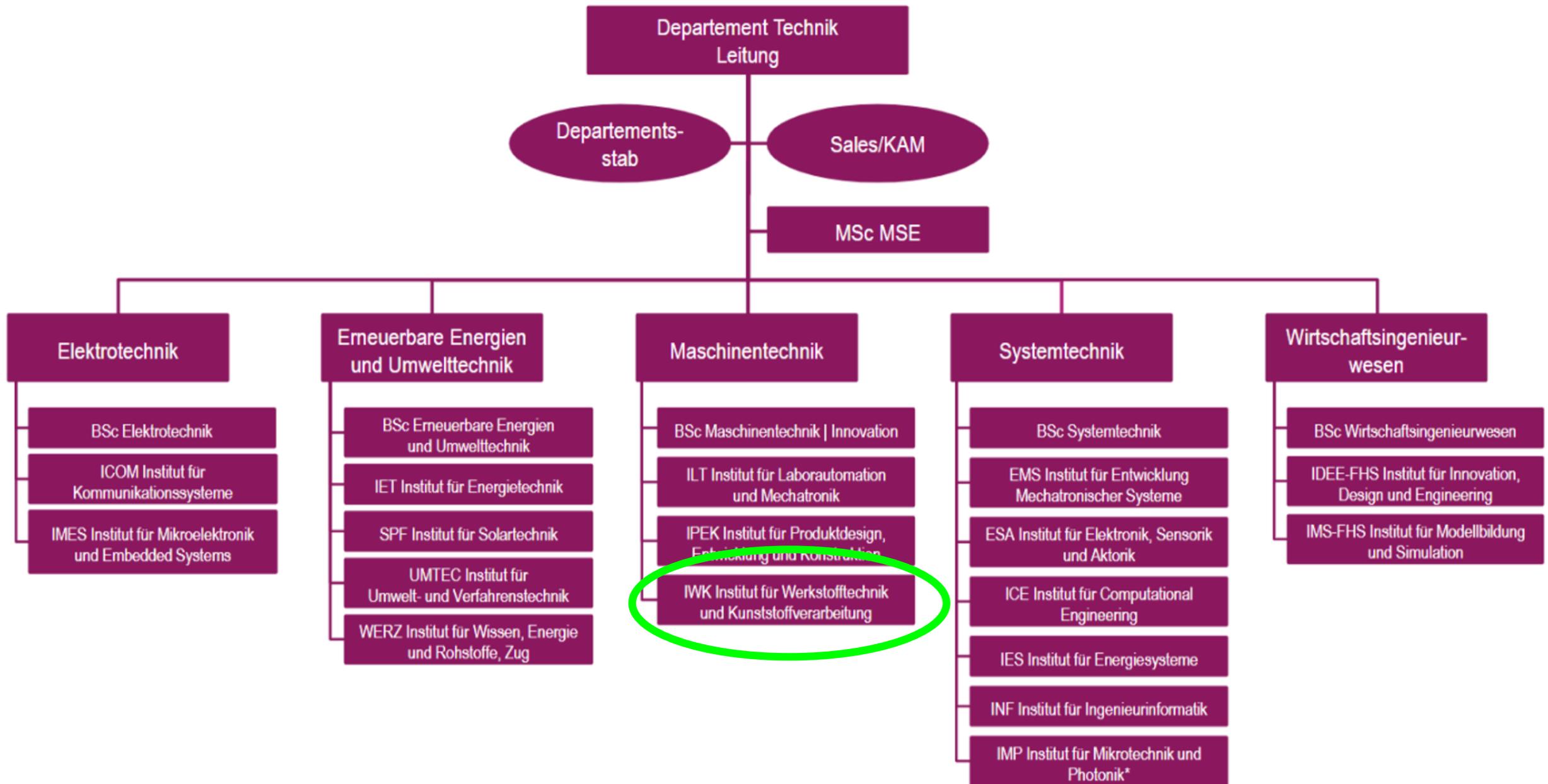
35

Forschungsinstitute  
und -zentren

190 Mio.  
Umsatz Total

65 Mio.  
Davon in der Forschung





# Das IWK: Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung

## Das IWK – Ihr Partner in Bildung und aF&E



Prof. Dr.  
Frank Ehrig  
Institutsleiter



Gründung 2005



53 Mitarbeitende



8 Fachbereiche

# Das IWK – Ihr Partner in Bildung und aF&E

## Kompetenzen am IWK

### Kunststoffverarbeitung



**Prof. Daniel Schwendemann**  
Stv. Institutsleiter

Fachbereich  
Compoundierung /  
Extrusion



**Prof. Dr. Gion A. Barandun**

Fachbereich  
Faserverbundtechnik /  
Leichtbau



**Daniel Omidvarkarjan**

Fachbereich  
3D-Druck / Additive  
Manufacturing



**Curdin Wick**

Fachbereich  
Spritzgießen / PUR

### Querschnittsthemen



**Prof. Dr. Markus Henne**

Fachbereich  
Mechanische Systeme



**Prof. Dr. Samuel Affolter**

Fachbereich  
Materialanalyse /  
Bauteilprüfung



**Prof. Dr. Mario Studer**

Fachbereich  
Design und Simulation



**Prof. Dr. Pierre Jousset**

Fachbereich  
Verbindungstechnik

### Metallbearbeitung



**Prof. Dr. Mohammad Rabiey**

Fachbereich  
Fertigungstechnik Metall

## Fachbereich Verbindungstechnik: Das Team



Prof. Dr. Pierre Jousset  
Institutspartner IWK  
Fachbereichsleiter Verbindungstechnik



Jan Vollenweider  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Verbindungstechnik



Katrin Hoffmann  
Wissenschaftlicher Mitarbeiterin Verbindungstechnik



Behdad Sadeghian  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Verbindungstechnik



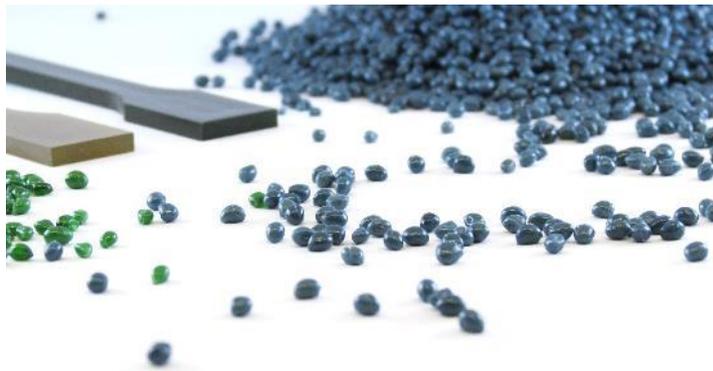
Josip Dubravac  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Verbindungstechnik



Samuel Eberhart  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Verbindungstechnik

Das IWK – Ihr Partner in Bildung und aF&E

# F&E: Kompetenzen: Von der Idee zum Produkt



# Die Klebetechnik

# Die Klebetechnik

## Kleben: eine alltägliche Verbindungstechnik

- Erste Klebstoffe: Baumharze, Holzteer
- Holzteer: zähflüssige, nicht wasserlösliches Gemisch organischer Substanzen, dass bei der Pyrolyse von Holz entsteht



Holzteer: Klebstoff aus Birkenpech

Holzteer:  
Der Superkleber der Steinzeit



Eine von Ötzis Pfeilspitzen - mit Birkenpech am Schaft befestigt – 5300 alt

Quelle: (<https://www.watson.ch/wissen/history/929472317-birkenpech-der-superkle-ber-der-steinzeit>)

- Holzteer: ein Klebstoff mit hohen mechanischen Eigenschaften

# Die Klebetechnik

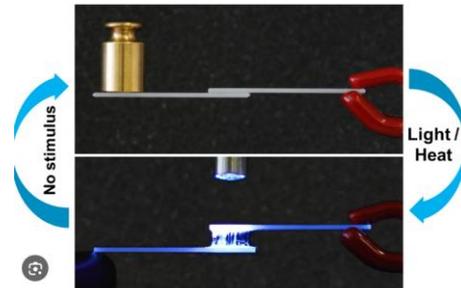
## Kleben: eine innovative Verbindungstechnik

Beispiele von innovativen Anwendungen in den letzten Jahren und aktuell:

- Strukturelle Klebstoffe für innovatives Design
  - Glasbox des Apple Store in Mailand:
    - 4 Fassadengläsern pro Seite.
    - Lediglich durch eine Silikonverklebung verbunden.
- Debonding On Demand
  - für die Wiederverwendung und Recycling von Substratmaterialien

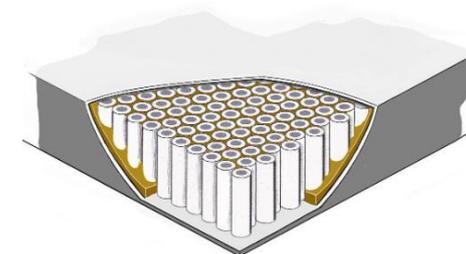


Quelle: Giovanni Nardi



Quelle: Adolfe Merkle Institute  
<https://www.ami.swiss/physics/en/research/stories/project/?projectid=15>

- Kleben von Batterien für Elektromobilität:
  - Übertragung der Belastung, Schutz, Abdichten, Wärmemanagement



Quelle:  
<https://www.ruderer.de/anwendungen/weitere-anwendungen/batterie-kleben/>

# Vorteile der Klebetechnik und Chancen für die Industrie

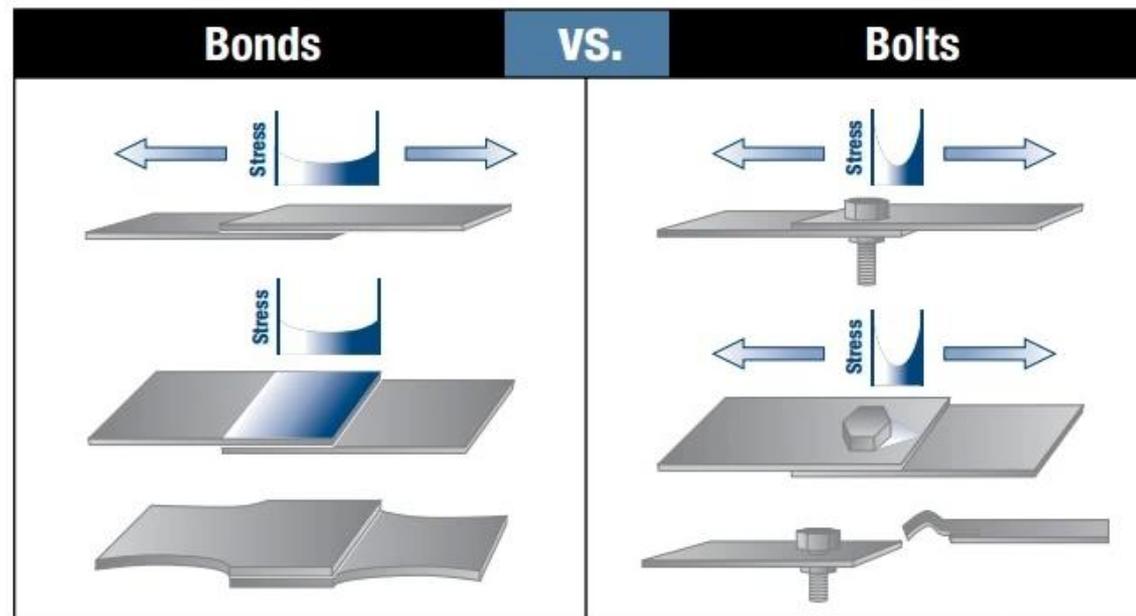
# Vorteile der Klebtechnik und Chancen für die Industrie

## Kleben vs punktuelle mechanische Verbindungen

- Kleben ermöglicht eine gleichmäßige Spannungsverteilung und Kraftübertragung:
  - Verringerung der lokalen Spannungen und Spannungskonzentrationen
  - Unveränderte Oberfläche und Gefügestruktur - Substrate müssen nicht gebohrt werden



Hum60Hz on WordPress.com

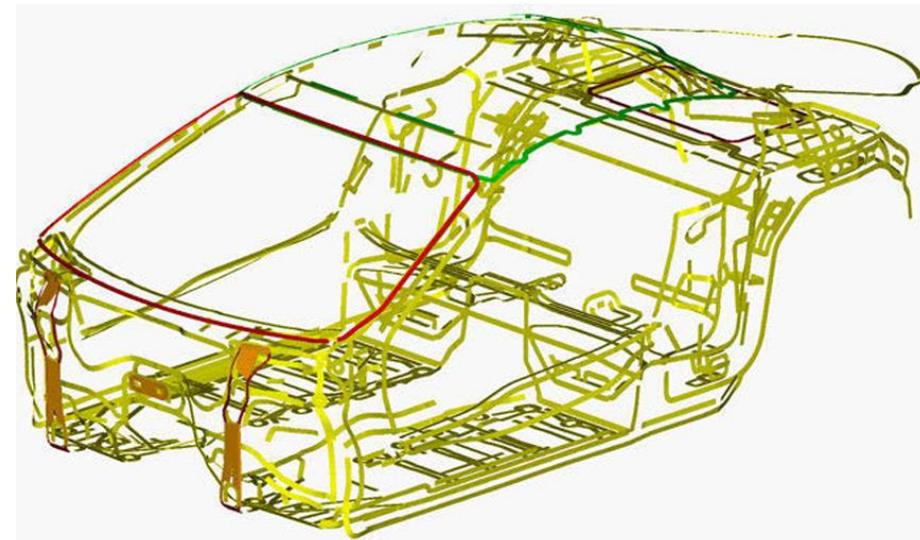


The Loctite® Design Guide for Bonding Metals, Volume 5

## Vorteile der Klebetechnik und Chancen für die Industrie

### Multimaterialkombination – und Leichtbau

- Alle Materialien lassen sich kleben – Materialkombinationen sind möglich
- Die Verbindung leichter Materialkombinationen mit gezielten mechanischen Eigenschaften ermöglicht Leichtbau (Einsparung von CO<sub>2</sub> und Kraftstoff, u.a. für die Transportindustrie)



Die BMW i8: Mit Fahrgastzelle aus CFK, Chassis aus Aluminium und Ihre 150m Klebstoff

Quelle: Dr. Ferdinand Dirschmid, Thomas Weiss BMW AG, München Die CFK-Karosserie des BMW i8 und deren Auslegung, G. Tecklenburg (Hrsg.), Karosseriebautage Hamburg, Proceedings, DOI 10.1007/978-3-658-05980-4\_22, © Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

# Vorteile der Klebtechnik und Chancen für die Industrie

## Innovatives Design

- Innovatives Design durch Verwendung grossen Flächen



Quelle: <https://www.t-z.ch/fr/fenêtres/fenêtres/pollux/fenêtres-structural/fenêtres-structural-88>



# Vorteile der Klebtechnik und Chancen für die Industrie

## Automatisierung der Produktion

- Kleben lässt sich bei der Produktion automatisieren:
  - Kleben durch Roboter
  - Genaue Dosierung des Klebstoffes
  - Reproduzierbarkeit des Prozesses
  - Für grosse Serien nutzbar



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=vZ9LbGayJz8>

# Vorteile der Klebetechnik und Chancen für die Industrie

## Eine Verbindungstechnik mit mehreren Funktionen

- Ein Klebstoff, dafür mehrere Funktionen:
  - Übertragung mechanischer Belastungen
  - Dichtende Verbindung
  - Schützen
  - Toleranzausgleichend



Der strukturelle Epoxy Klebstoff überträgt der Zugbelastung der Metallblechen und reißt nicht

Quelle: IWK



Quelle:<https://shop.berner.eu/at-de/dichten-und-kleben/>



Quelle:Panacol

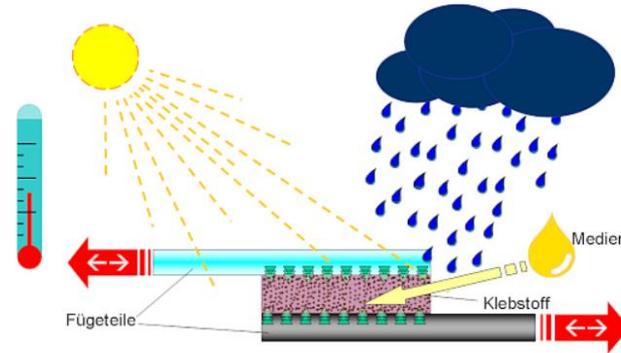
Zellkontaktierungssysteme für Hybrid- und Elektrofahrzeuge.  
Spezielle Panacol-UV-Klebstoffe schützen die Schweißstellen vor Korrosion

# Herausforderung der Klebetechnik

# Herausforderung der Klebtechnik

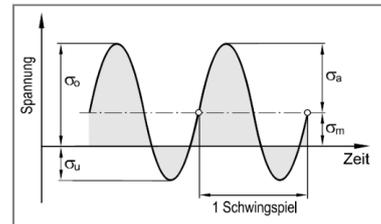
## Vertrauensproblem: Langzeitbeständigkeit der Klebeverbindung ?

- Einfluss der Alterung ?



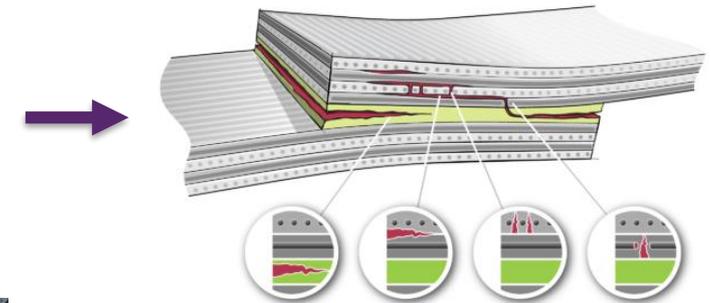
Quelle: <https://leitfaden.klebstoffe.com/6-6-alterung/>

- Einfluss der Ermüdung ?



$$\sigma_a = \frac{\sigma_o - \sigma_u}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_o + \sigma_u}{2}$$



Quelle: <https://leichtbau.dlr.de/k-leben-im-flugzeug-aber-sicher>

- Gewährleistung einer Lebensdauer ?



# Herausforderung der Klebtechnik

## Einflussparameter für die Qualität der Klebverbindung

### Substrat:

- Werkstoffart
- Oberflächeneigenschaften
- Konstruktive Auslegung
- Klebflächenabmessungen

### Klebstoff

- Aushärtungsmechanismus
- Aushärtungszeit
- Topfzeit (Verarbeitungszeit)
- Klebschichteigenschaften/Dicke



Quelle: Sika.

### Beanspruchung:

- Beanspruchungsart
- Beanspruchungsdauer
- Höhe der Beanspruchung

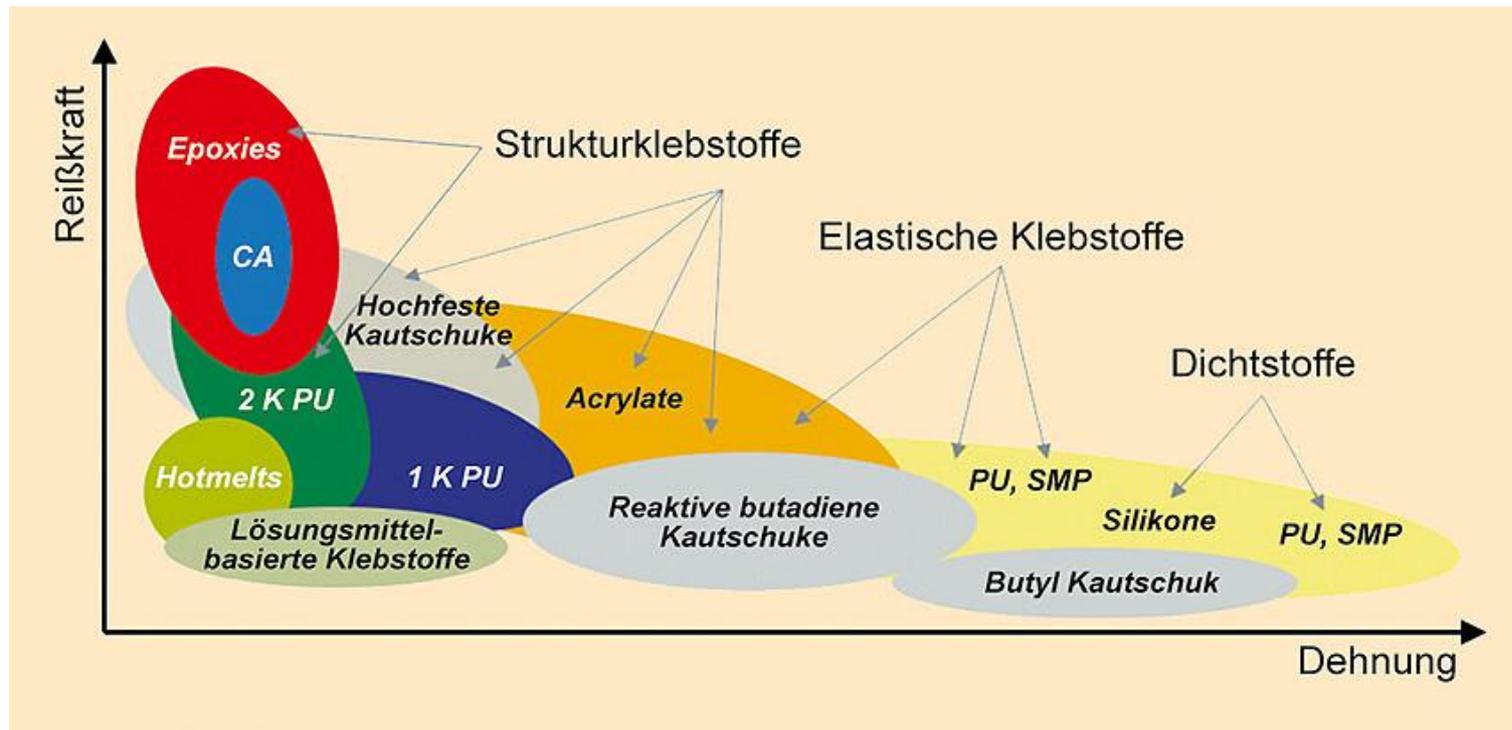
### Fertigung

- Fertigungsablauf
- Oberflächenvorbehandlung
- Auftragsverfahren
- Fügeteilfixierung Fertigungskosten

# Herausforderung der Klebetechnik

## Klebstoffauswahl: Eine Vielfältigkeit von Klebstoffsystemen

- Ein Lastenheft ist erforderlich für die Auswahl eines geeigneten Klebstoffs
- Die Erfahrung hilft bei der Auswahl, aber jede Anwendung muss sorgfältig untersucht werden

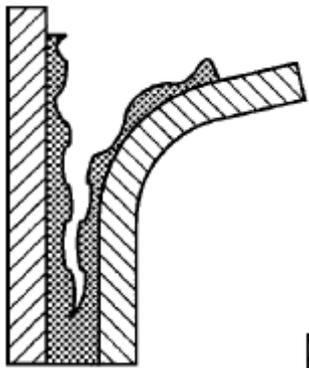


Quelle: Silan-modifizierte Polymere in Kleb- und Dichtstoffen - Teil 1: Einordnung, Eigenschaften, Herstellung, Formulierung  
Dr. Sascha Schäfer, Dr. Jan-Erik Damke First published: 20 July 2022 <https://doi.org/10.1002/ciuz.202100025>

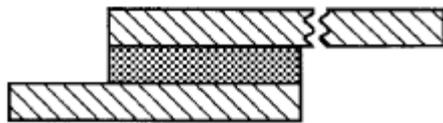
# Herausforderung der Klebtechnik

## Die Adhäsion zwischen Klebstoff und Substrat

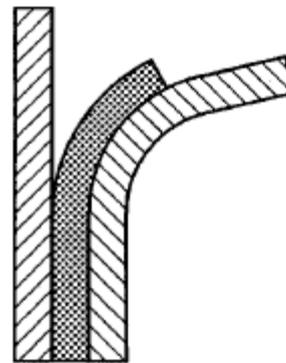
- **Kleerverbindungen** sind feste, meist unlösbare, stoffschlüssige Verbindungen mit heterogener und homogener Werkstoffpaarung.
- **Klebfestigkeit** – Ziel damit die maximale mech. Eigenschaften des Klebstoffes erreicht sind: Eine gute Adhäsion: der Klebstoff soll bei max. Belastung kohäsiv versagen. Eventuell darf auch das Substrat kohäsiv versagen (Fügeteilbruch)
- **Zu vermeiden:** Eine schlechte Adhäsion/Adhäsionsbruch



Kohäsionsbruch



Fügeteilbruch



Adhäsionsbruch

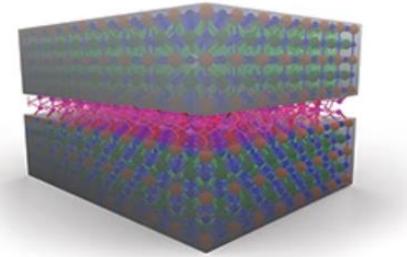


Links: Kohäsionsbruch. Rechts: Adhäsionsbruch

Quelle: IFAM Bremen

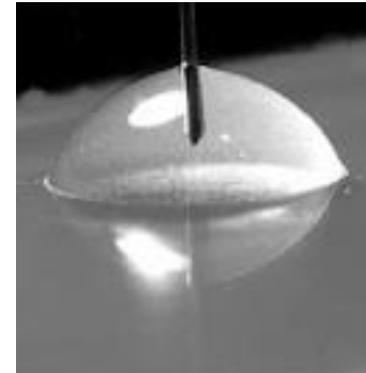
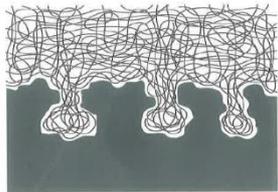
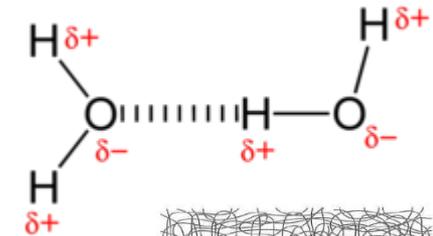
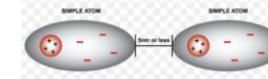
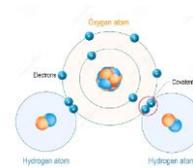
# Herausforderung der Klebetechnik

## Herkunft der Adhäsion



Quelle: 3M

- Ausbildung zwischenmolekularer Kräfte im Grenzschichtbereich
- Ausbildung chemischer Bindungen zwischen Klebstoffmolekülen und Fügeteilatomen bzw. Oberflächenatomen:
  - Van der Waals-Kräfte und Wasserstoffbrücke (schwache Kräfte)
  - Kovalente oder ionische Bindungen (starke Kräfte)
- Diffusionsvorgänge von Klebschicht und Fügeteilmolekülen im Grenzschichtbereich
- Thermodynamischer Vorgänge im Grenzschichtbereich, insbesondere durch Benetzungskräfte



# Oberfläche für eine sichere Nutzung der Klebetechnik

# Oberfläche für eine sichere Nutzung der Klebtechnik

## Nötiger Prozess für eine bessere Adhäsion

- Substratoberfläche vorbereiten: Reinigung (Das Reinigungsmittel darf die Bauteile nicht angreifen)

- Entfetten der Oberfläche
- Entfernen von Schmutzpartikeln



Quelle: 3M

- Oberflächen Vorbehandlung: Mechanisch

- Entfernen von hartnäckigem Schmutz
- Vergrößerung der Oberfläche
- Änderung der Oberflächenstruktur



Oberfläche Vorbehandlung durch Sandstrahlen

Quelle: K. Kresser plasmatreteat

- Oberflächen Nachbehandlung: Haftvermittler (Aktivator) und Primer

- Der Aktivator ist ein Reinigungsmittel und Haftvermittler
- Der Primer ist eine Zwischenschicht, die aufgetragen wird.  
Der Primer haftet sehr gut auf dem Bauteil und auf dem, der Klebstoff



Quelle Sika

# Oberfläche für eine sichere Nutzung der Klebtechnik

## Nötiger Prozess für eine bessere Adhäsion

- Beflammen



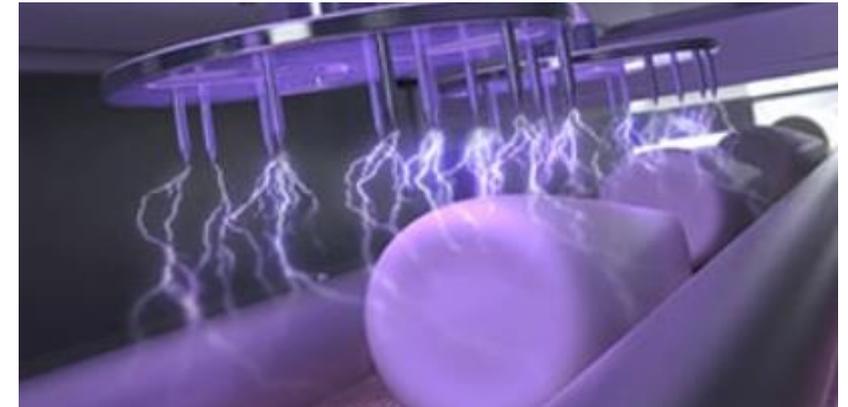
Quelle: Bohle AG

- Plasma Vorbehandlung



<http://www.plasmatreat.de>

- Corona Vorbehandlung



<https://www.tantec-gmbh.de/corona-systeme/>

# Sichere Auslegung einer Klebeverbindung

## Sichere Auslegung einer Klebeverbindung

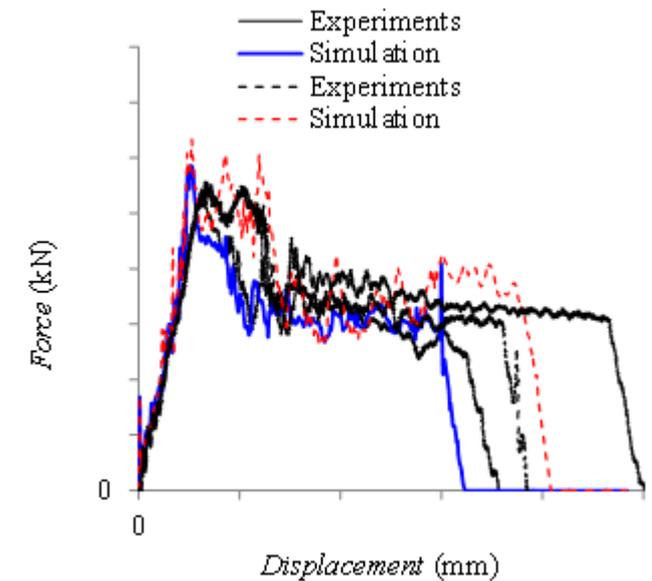
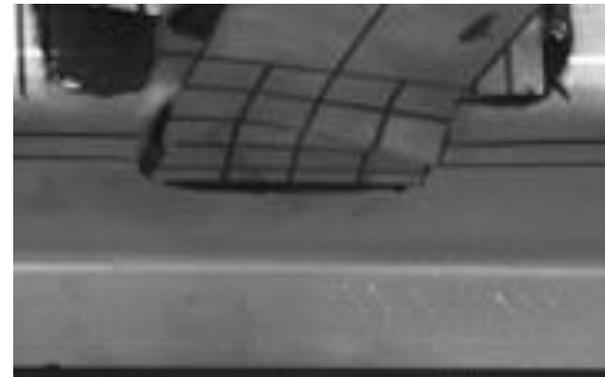
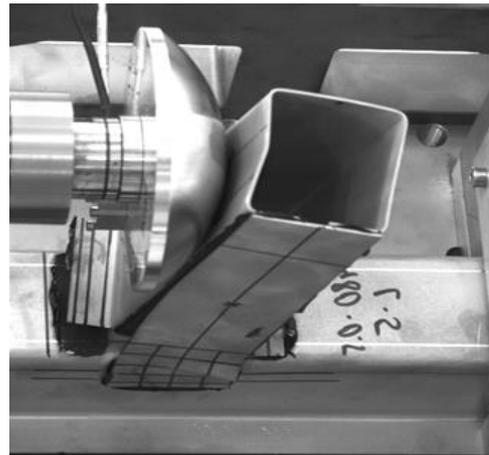
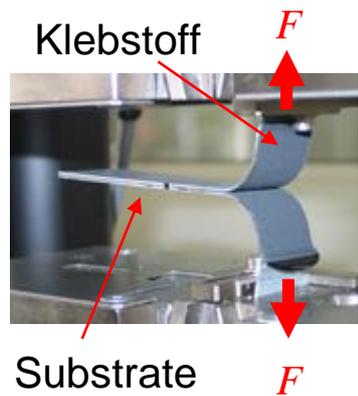
# Dimensionierung der Klebefläche und Berechnungen

- Abmessung einer Klebeverbindung ?
  - Die Klebefläche muss für die Dimensionierung gegen Spannungen abgestimmt werden
  - Die Klebschichtdicke muss für die Dimensionierung gegen Dehnungen abgestimmt werden
  - Zugscherbelastungen sind zu bevorzugen
  - Zugschälbelastungen sind zu vermeiden
- Konservative und "schnelle" Auslegungsmethode für elastische Klebstoffe (PUR, Silikon) mit Annahme eines linear-elastischen Verhaltens und die Betrachtung Abminderungsfaktoren.
- Möglichkeit von FE-Simulation für ein genaueres Abbilden des realen Verhaltens des Klebstoffes (Epoxy/Acrylat).
  - Abbildung des Bruchverhaltens des Klebstoffes möglich
  - Zeitaufwendig (Laborprüfungen und Simulation)

# Sichere Auslegung einer Klebeverbindung

## Laborprüfungen von Klebeverbindungen und verklebten Bauteilen

- Laborprüfungen
  - Um die mechanischen Eigenschaften der realen Klebeverbindung zu bestimmen
  - Um das verklebte Produkt unter realen Beanspruchungen zu validieren



Quelle: P. Jousset

# Beispiele von Industriellen Projekten in der Klebetechnik

# Beispiele von Industriellen Projekten in der Klebtechnik

## Sicherheitsrelevante Klebverbindung einer Seilbahnkabine

### Ziel

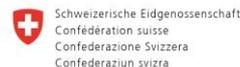
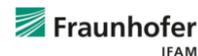
- Die Auslegung einer Klebverbindung als Link zwischen Eckstück-Ecksäulenprofile einer Seilbahnkabine.
- Die genormten Sicherheitsaspekte müssen bestanden und eine Lebensdauer von 30 Jahren gewährleistet werden.

### Ergebnis

- Erfolgreiche Entwicklung der Klebverbindung.
- Patentanmeldung: Eckverbindung für Tragelemente einer Seilbahnkabine

### Projektpartner

- CWA Constructions SA/Corp.
- Berner Fachhochschule
- IFAM



Innosuisse - Schweizerische Agentur für Innovationsförderung



Das Eckstück wird in den Ecksäulenprofilen durch Klebverfahren verbunden

# Beispiele von Industriellen Projekten in der Klebtechnik

## Entwicklung eines strukturellen Kautschukklebstoffes

### Ziel

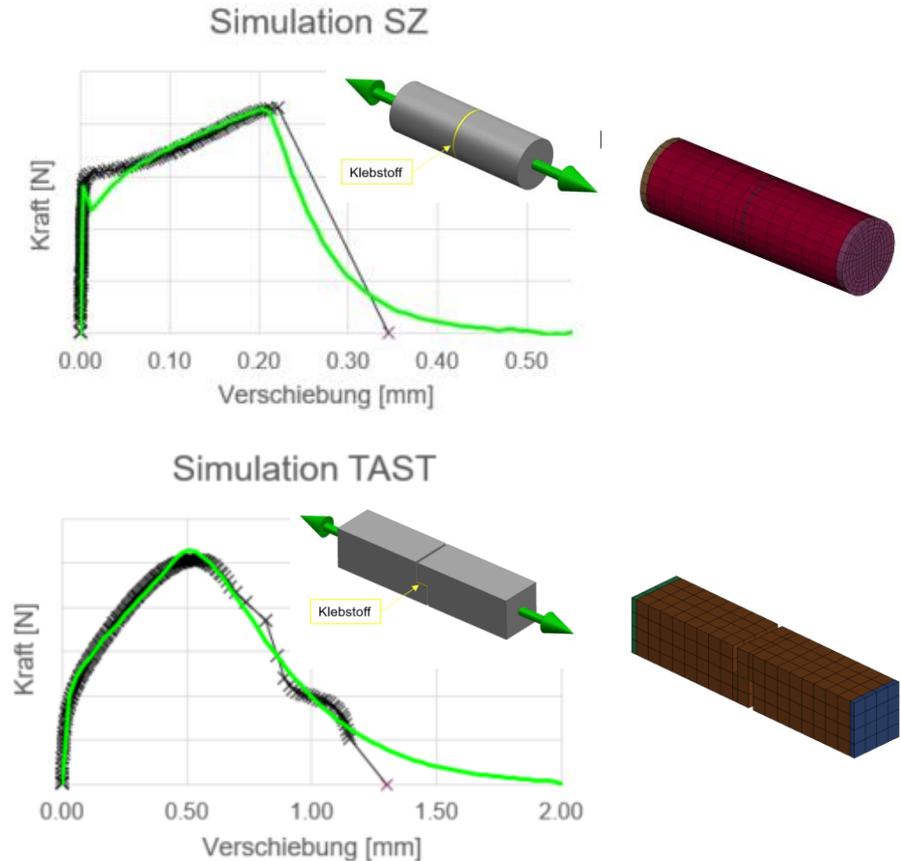
- Einen strukturellen Klebstoff zu entwickeln, der sowohl elastisches als auch strukturelles (hohe Festigkeiten) Verhalten aufweist.
- Um zukünftige Kunden bei der Entwicklung von Klebverbindungen in der Automobileindustrie zu unterstützen, soll das nicht-lineare Verhalten des Klebstoffes bis zum Bruch mittels mechanischen Untersuchungen geprüft und mit FE-Simulation beschrieben werden.

### Ergebnis

- Ein Klebstoff mit den gewünschten Eigenschaften wurde hergestellt.
- Entwickelte FE-Simulationsmethoden gewährleisten eine schnelle und präzise Prognose des mechanischen Verhalten des Klebstoffes bis zum Bruch und sind in Entwicklungsprozessen von Produkten in der Industrie integrierbar.

### Projektpartner

- EFTEC AG
- ZHAW



# Beispiele von Industriellen Projekten in der Klebtechnik

## Entwicklung einer verklebten Kokille für das Stranggiessen von Stahl

### Ziel

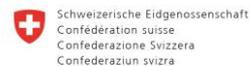
- Erhöhung der Produktivität um 50%
- Gleichbleibende Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit

### Ergebnis

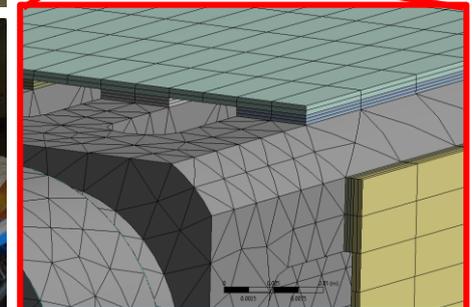
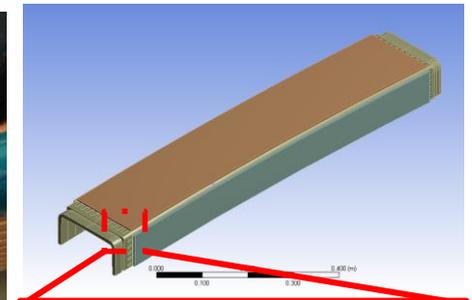
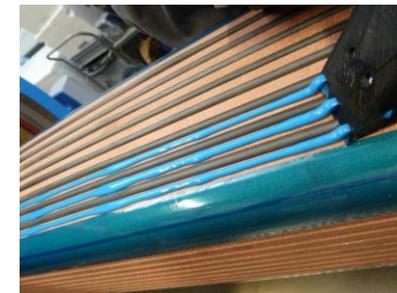
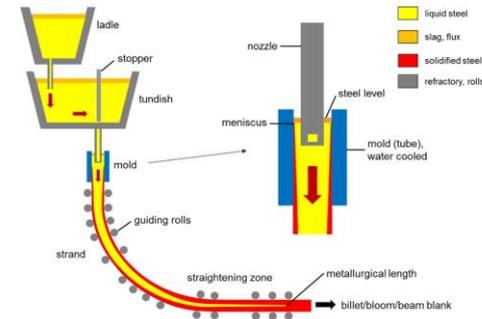
- Erfolgreiche Auslegung und Entwicklung einer mehrwandig verklebten Kokille für die schnellere Abkühlung des Stranggusses mithilfe von integrierten Wasserkanälen

### Projektpartner

- SMS Concast
- ZHAW



Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung



# Abnehmbares Kleben

## Aerosense

### Ziel

- Entwicklung eines neuartigen MEMS-basierten Oberflächendruck- und akustischen IoT-Messsystems für Windturbinenblätter, das dünn, unauffällig, robust, modular, stromsparend und autark ist, drahtlos sendet und leicht zu installieren und **zu entfernen** ist.

### Ergebnis

- Zwei in Betrieb befindliche 6-kW-Windturbinen in der Nähe von Winterthur, Schweiz.
- Die Gehäuse wurden ohne Sensoren über einen Zeitraum von 4 Wintermonaten ohne Anzeichen von Rissen oder Beschädigungen installiert.
- Die Gehäuse mit Sensoren wurden im Sommer und Winter (Temp.  $>40^{\circ}\text{C}$  und Temp.  $<5^{\circ}\text{C}$ ) geprüft.

### Projektpartner

- OST (IET), ETHZ (CSMM & PBL), Octue (UK), Fraunhofer IWES, ECN, DTU, TU Delft, NREL
- RES, EKZ Erneuerbare Energien, Enercon, GE (LM), Brüel & Kjaer



Quelle: OST



Quelle: OST



BRIDGE



# Das IWK: Ihr Partner für die Klebetechnik

## Das IWK: Ihr Partner für die Klebetechnik

# Das IWK – Ihr Partner für die Klebetechnik

- Unterstützung bei der Auswahl von Klebstoffen und bei der Auslegung von Klebverbindungen
- Abschätzung der Adhäsion von Klebstoffen mit Substraten (Mobile Surface Analyser und mechanische Tests)
- Optimierung der Adhäsion von Substraten (Mechanisch, Primer, Aktivator, Plasmabehandlung, Beflammen)
- Klebstoff- und geklebte Bauteilprüfungen: (Quasi-Statik (bei hoch und tief Temperaturen), Kriechen, Crash, Ermüdung (Schwingung), Alterung (Temperatur + Feuchtigkeit))
- Aufbau von Kleb- und Prüfvorrichtungen für jede Art von Anwendungen
- Evaluation der Machbarkeit von Produktionsprozessen und Kostenabschätzung
- Kleben von Produkten, Machbarkeit Studie und Validierung
- Analytische Berechnungen und numerische Simulation des mechanischen Verhaltens von Klebstoffen
- **TC-Kleben Ausbildung am Standort Rapperswil-Jona: Ausbildung zum Klebpraktiker (EAB) zur Klebfachkraft (EAS) – <https://www.tc-kleben.de/aus-und-weiterbildung/klebpraktiker>**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Dr. Pierre Jousset – OST – Standort Rapperswil-Jona

[pierre.jousset@ost.ch](mailto:pierre.jousset@ost.ch)

058 257 40 53



Anmeldung und weitere Informationen

Anmeldung: [ost.ch/iwk/rakufo](https://ost.ch/iwk/rakufo)

Anmeldeschluss: 4. September 2023

## Einladung zum 18. Rapperswiler Kunststoff-Forum

Donnerstag, 7. September 2023, 12.30 Uhr



# ELASTISCHES DICKSCHICHTKLEBEN BEI SCHIENENFAHRZEUGEN

Dr. Gernot Eberle, August 2023

**STADLER**

- 
- **Überblick über die Stadler Rail Group**
  - **Anforderungen an Klebefugen von Schienenfahrzeugen**
  - **Vergleich Dick- und Dünnschichtkleben**
  - **Beispiele**
  - **Klebstoffe**
  - **Lebensdauerbetrachtungen**

# STADLER RAIL – AUF EINEN BLICK



Seit 1942



~ 13 500 Mitarbeiter



~ 270 Kunden



Schweizer Werte



~ 11 000 Fahrzeuge in  
43 Ländern im Einsatz



16 Standorte weltweit



~ 80 Servicestandorte

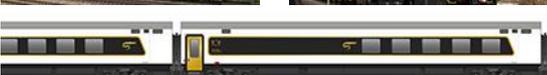
# DIVISIONEN 2023

## STADLER RAIL GROUP

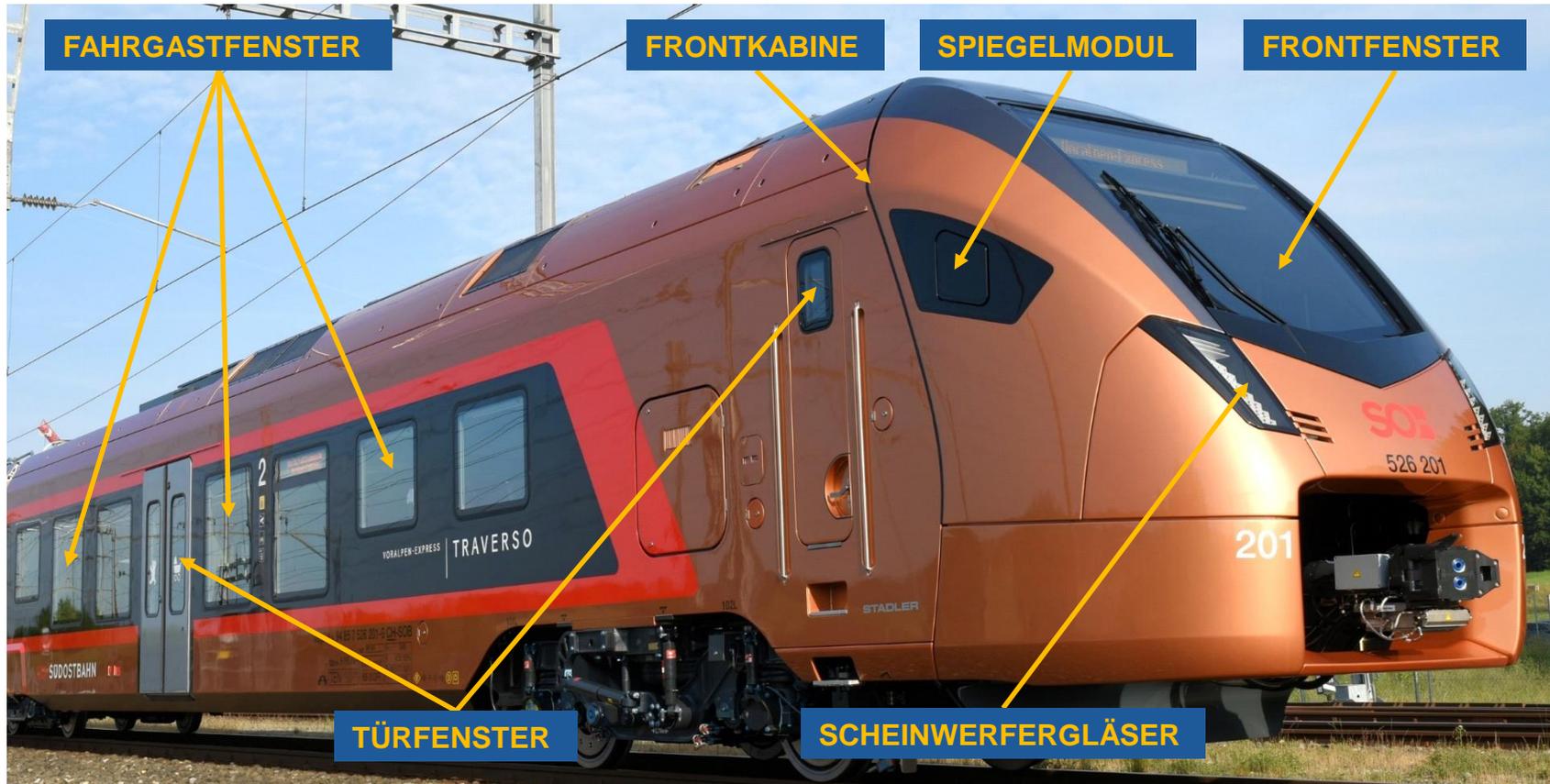
Schweiz	Deutschland	Zentraleuropa	Spanien	Signalling	Komponenten	Service
						
Bussnang	Berlin	Siedlce (PL)	Valencia ERION ERION (F)	Wallisellen (CH)	Winterthur (CH)	Algerien Dänemark Deutschland Finnland Frankreich Georgien Italien Kasachstan Niederlande Norwegen Österreich Polen Portugal Russland Serbien Schweden Schweiz Spanien Türkei UK Ungarn USA
						
Rheintal	Chemnitz	Prag (CZE)		Fehraltorf (CH)	Biel (CH)	
	Velten					
Salt Lake City (USA)		Minsk (BLR)		Braunschweig (DE)	Szolnok (HUN)	
						
		Astana (KAZ)		Mannheim (DE) Olten (CH) Oensingen (CH) Vufflens la Ville (CH)	Środa (PL)	

Konsolidierter Umsatz 2022: ca. CHF 3.8 Mia.  
Anzahl Mitarbeiter: ~ 13 500

# ROLLING STOCK MARKTSEGMENTE

SEGMENTIERUNG			MODULARE KONZEPTE Adhäsionsantrieb		TAILOR-MADE-FAHRZEUGKONZEPTE Adhäsions- und Zahnradantrieb	
<b>URBANER VERKEHR</b>						
LRV	Strassenbahn	≤80 km/h				
	Tram Train	≤100 km/h				
Metro	Metro	≤100 km/h				
<b>VOLLBAHNEN</b>						
DMU/ BMU	Regio / S-Bahn	≤160 km/h				
XMU	Regio / S-Bahn	≤160 km/h				
EMU	Regio / S-Bahn	≤160 km/h				
	Intercityzüge	≤200 km/h			Nicht im Fokus	
	Highspeed	≤250 km/h				
	Very Highspeed	>250 km/h	Nicht im Fokus			
Loko- motiven	Streckenlokomotiven Diesel/Zweikraft/Elektrisch					
Wagen	Rangierlokomotiven / Spezialfahrzeuge					
	Reisezug- & Schlafwagen		Nicht im Fokus		Nicht im Fokus	
	Güterwagen	Nicht im Fokus		Nicht im Fokus		

# BEISPIELE VON KLEBUNGEN MIT SICHERHEITSRELEVANZ



Daneben gibt es noch diverse Kleb- und Dichtfugen am ganzen Fahrzeug innen und aussen, mit und ohne Sicherheitsrelevanz

# ANFORDERUNGEN AN KLEBFUGEN BEI SCHIENENFAHRZEUGEN (AUSWAHL)

- Fügen grosser Bauteile und Komponenten:
  - Wagenkasten: Länge <20m, Höhe <4m, Breite <3,5m
  - Frontkabine: Länge <3m, Höhe <3,5m, Breite <3,5m
- Toleranzen
  - Je nach Bauteil bis einige mm!
- Kombination unterschiedlichster Materialien
  - GFK, Glas, Aluminium, Stahl, Kunststoffe, Elastomere, ....
- Dynamische Belastungen
  - Vibrationen
  - Druckstösse (Tunnelfahrten und Zugbegegnungen)
- Lebensdauer von Schienenfahrzeugen: 30...35 Jahre
- Wirtschaftlichkeit
  - Herstellung der Fahrzeuge
  - Unterhalt



**Nicht alle Klebstoffe können das erfüllen → Auswahl!**

# UNTERSCHIEDLICHE KLEBEVERFAHREN

## TYPISCHE EIGENSCHAFTEN

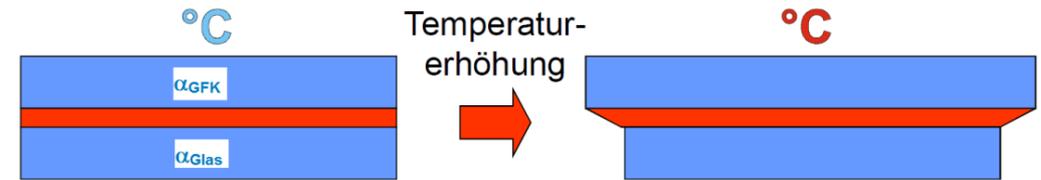
Elastisches Dickschichtkleben	Dünnschichtkleben
• Hyperelastische Klebstoffe (1K-PU, STP, ...)	• harte, spröde Klebstoffe (Epoxyde, 2K-PU, ...)
• Klebfugendicke mind. 3 ... > 20mm	• Klebfugendicke < 0,5 mm
• Toleranzausgleich gut möglich	• Toleranzausgleich fast nicht möglich
• Sehr gut bei Materialkombinationen	• Materialkombinationen eingeschränkt
• Hohe Reissdehnung 100...>500%	• Kleine Reissdehnung < 5%
• Module klein (E, G < 10 MPa)	• Module gross (E, G >> 100 MPa)
• Festigkeit < 10 MPa	• Festigkeit > 10...50 MPa
• Kraftübertragung: grosse Flächen nötig	• Kraftübertragung über Festigkeit
• Dehnungen kritisch → Mindestdicke	• Spannungen kritisch → Klebfläche
• Gleichmässige Spannungsverteilung	• Lokale Spannungsspitzen
• Vorteile bei dynamischen Belastungen	• Vorteile bei statischen Belastungen

**Nur elastisches Dickschichtkleben erfüllt in vielen Fällen die Anforderungen bei Schienenfahrzeugen !**

# DIMENSIONIERUNG EINER KLEBEFUGE

## FRONTSCHIEBE AN GFK-KABINE

- Diagonale der Scheibe  $\leq 2500\text{mm}$
- Mögliche Belastungen:
  - Temperaturdifferenzen  $\Delta T \leq 60\text{K}$
  - Eigengewicht Frontscheibe 80...180 kg
  - Dynamische Belastungen, wie Druckstösse  $\Delta p \leq 5000\text{ Pa}$  u.a.
  - Diverse Lastfälle gemäss EN 12663-1
  - Statische Deformationen (z.B. Anheben eines Wagenkastens)
- Vorgabe Klebstoffhersteller:
  - Zulässige Zug-, Druckdehnung: maximal 20% (nicht Bruchdehnung!)
- Berechnungen (prinzipielle Betrachtung):
  - Fugendicke rechnerisch:  $D_{\text{rech}} = 8\text{ mm}$
  - Sicherheitszuschlag:  $D_{\text{min}} = 10\text{ mm}$
  - Bauteiltoleranzen  $\pm 1\text{ mm}$ :  $D_{\text{real}} = (10 -0/+2)\text{ mm}$



Berechnung werden nicht von Hand, sondern mit Hilfe Computer gestützten Hilfsmitteln durchgeführt

# BEISPIELE FÜR KLEBFUGEN

FRONTFENSTERFUGE



SCHEINWERFERGLAS



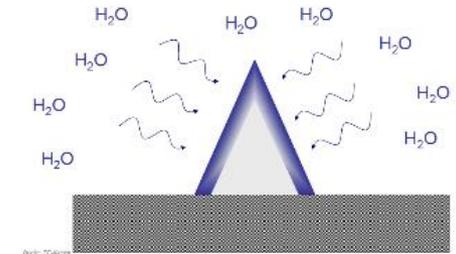
NACH UNFALL ABGENOMMENE FRONTKABINE



# KLEBSTOFFE

## ELASTISCHES DICKSCHICHTKLEBEN

- 1K Polyurethane, luftfeuchtigkeitshärtend
  - $\text{H}_2\text{O}$  wird aufgenommen,  $\text{CO}_2$  abgespalten
  - Endprodukt ist ein Elastomer
- Aushärtegeschwindigkeit abhängig von Luftfeuchtigkeit und Temperatur:
  - Aushärtung von aussen nach innen, ca. 3mm in den ersten 24 Stunden
  - exponentiell abnehmend, maximale Schichtdicke von 25 mm!
  - Standzeiten von mehreren Tagen notwendig
- Beschleunigung bzw. grössere Schichtdicken mit Booster-Systemen möglich:
  - Wasserhaltige Paste wird untergemischt (quasi 2K-System)
  - Aushärtung in ca. 3-4 Stunden, unabhängig von Schichtdicke
  - Gefahr von Blasenbildung durch beschleunigte  $\text{CO}_2$ -Abspaltung



**Hyperelastische Klebstoffe benötigen Feuchtigkeit aus der Luft und genügend Zeit zum Durchhärten!**

# LEBENSDAUER (1)

## OBERFLÄCHENVORBEHANDLUNG

- Lebensdauer von Schienenfahrzeugen mind. 30 Jahre
  - Klebeflächen müssen vor der Verklebung in einen definierten Zustand gebracht werden:
  - 1. Schritt: Oberflächenvorbereitung:
    - Klebeflächen sorgfältig reinigen, Schmutz, Öl und Fett vollständig entfernen.
    - Anschleifen der Klebefläche, um Schichten wie Oxide u.Ä. zu entfernen
  - 2. Schritt: Verbesserung der Benetzung und Adhäsion
    - Einsatz von Aktivatoren (Haftvermittler)
  - 3. Schritt: Konservierung der aktivierten Klebefläche
    - Einsatz von Schwarzprimer
    - Weitere Verbesserung der Adhäsion
    - Verbesserter Schutz der Klebefläche vor Feuchtigkeit
- Erhöhung der Lebensdauer, der Adhäsion und der Reproduzierbarkeit



**Nur durch sorgfältige Oberflächenvorbehandlung kann die geforderte Lebensdauer erreicht werden!**

# LEBENSDAUER (2)

## UMWELTEINFLUSS UND REINIGUNGSMITTEL

- Umwelteinflüsse schädigen Klebefugen
  - Z.B. Temperatur, UV-Strahlung, Feuchtigkeit, ...
  - Klebstoffhersteller berücksichtigen dies bei der Klebstoffentwicklung.
  - Klebstoffe sind mit entsprechenden Hilfsstoffen ausgerüstet.
- Reinigungsmittel können Klebefugen schädigen:
  - Reinigungsmittel sind Gemische aus Wasser, Lösemitteln, Tensiden, Säuren/Laugen, Korrosionsschutzmitteln , ... .
  - Diese können stark schädigende Wirkung auf Klebefugen haben.
  - Solche Schäden treten erst nach vielen Jahren in Erscheinung.
  - Nur mit speziellen Langzeitprüfungen sind die schädigenden Einflüsse zu finden.
  - Stadler lässt nur positiv geprüfte Reinigungsmittel zu.



**Reinigungsmittel können für Klebefugen schädlich sein und müssen vor der Anwendung überprüft werden!**

# PROZESSFÜHRUNG

## KLEBEN ALS «SPEZIELLER PROZESS»

- **Kleben ist ein spezieller Prozess nach ISO 9001:**  
«Klebungen können nicht immer zerstörungsfrei geprüft werden».
  - Genaue Prozessführung nötig (exakte Anweisungen)
  - Indirekte Nachweise über Arbeitsproben und Protokolle
  - Speziell ausgebildetes Personal
  - Spezielle Räumlichkeiten zum Kleben
- **Kleben im Schienenfahrzeugbereich ist geregelt durch die DIN 6701 (neu: EN 17460):**
  - Die Norm ist eine gute Checkliste, was beim Kleben beachtet werden muss
  - Personen- und Fahrzeugsicherheit im Mittelpunkt, Wirtschaftlichkeit wird nicht betrachtet
  - Stadler ist nach DIN 6701 zertifiziert
  - Lieferanten von geklebten Bauteilen müssen ebenfalls zertifiziert sein.
  - Allgemeine Industrie: DIN 2304 (neu: ISO 21368)



Seit Einführung der DIN 6701 im Jahr 2007 hat sich die Qualität von Klebeverbindungen deutlich gesteigert.

- 
- **Bei Schienenfahrzeugen werden grosse Bauteile verklebt**
    - **Toleranzausgleich wichtig**
    - **Kombination unterschiedlichster Materialien**
  - **Elastisches Dickschichtkleben erfüllt die Anforderungen**
  - **Feuchtigkeitshärtende Polyurethane eignen sich dafür sehr gut**
  - **Lebensdauer von mehr als 30 Jahren wird nur erreicht durch:**
    - **Sorgfältige Oberflächenvorbereitung**
    - **Sorgfältig geführte Prozesse über alle Lebensstadien**
    - **Sorgfältige Eignungsprüfungen**



**VIELEN DANK  
FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT  
FRAGEN?**

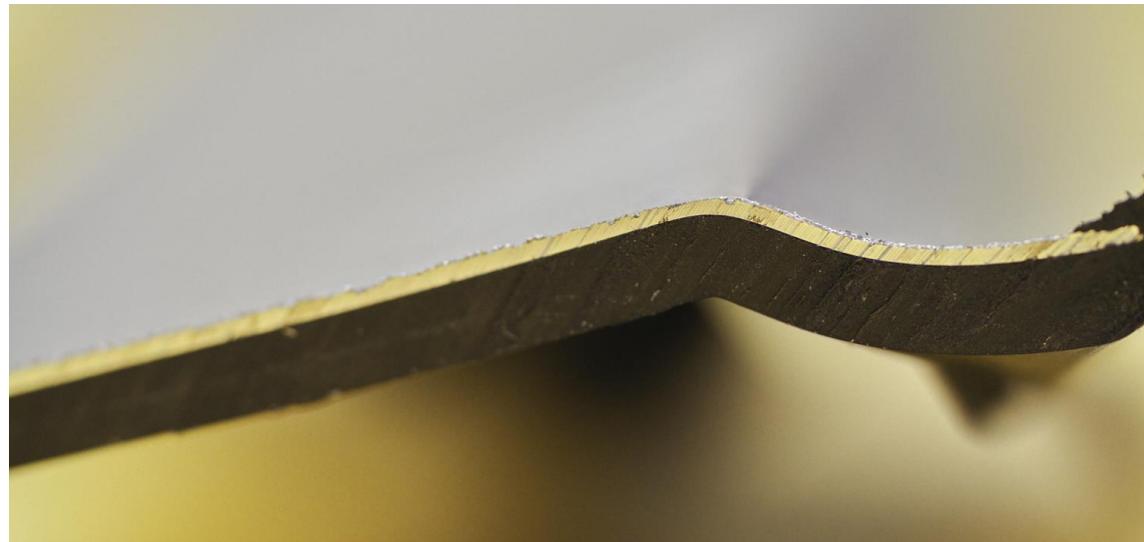
**STADLER**

# Klebstoffe: Anwendungen aus der Praxis

Thurgauer Technologie Forum

Kreuzlingen, 29. August 2023

Andreas Dobmann



# Gliederung

- Kurze Vorstellung
- Wo und weshalb werden Klebstoffe heute eingesetzt?
- Was bringt die Zukunft?

# LAS Gruppe



# Praxisbeispiele für Klebstoffe

- Eine unglaubliche Anzahl von Anwendungen, oft nicht sichtbar aber trotzdem entscheidend
- Beschränkung der Präsentation auf industrielle Anwendungen

# Anwendungen im Bau

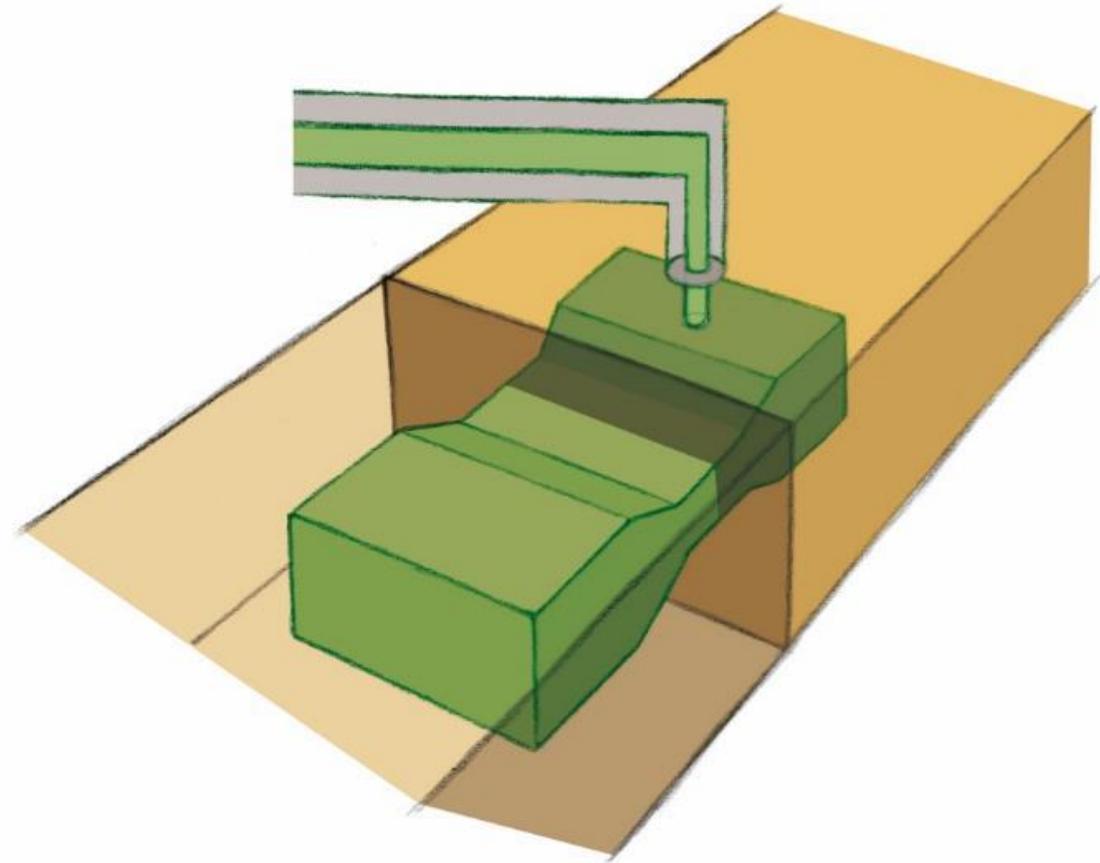
Dichten und Kleben mit  
einem Prozessschritt (z.B.  
Isolationsglas)



<https://www.pro-glass.com/>

# Anwendungen im Bau

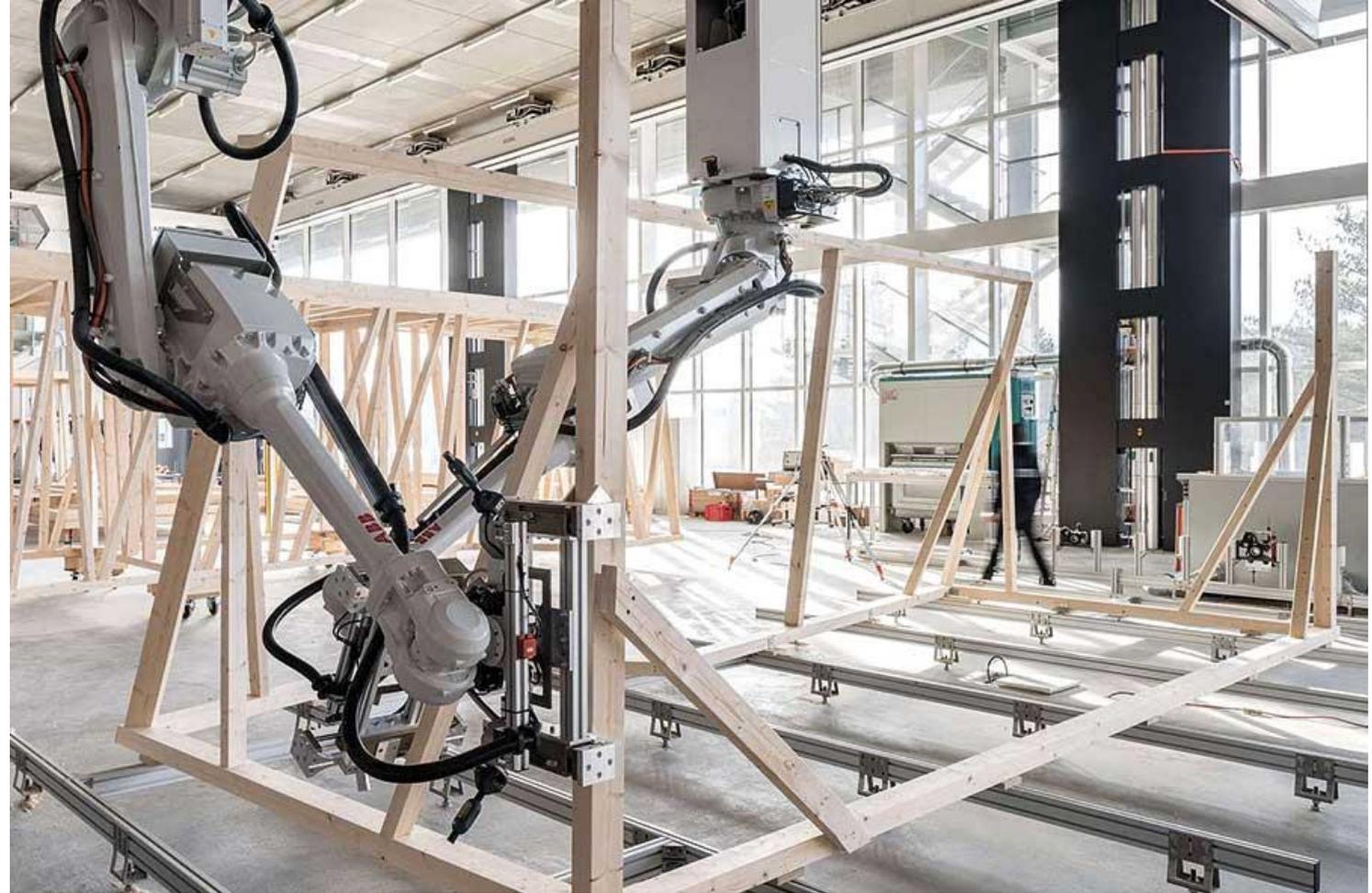
Stoff- und Formschluss  
mittels Injektionskleben



<https://nolax.com/>

# Anwendungen im Bau

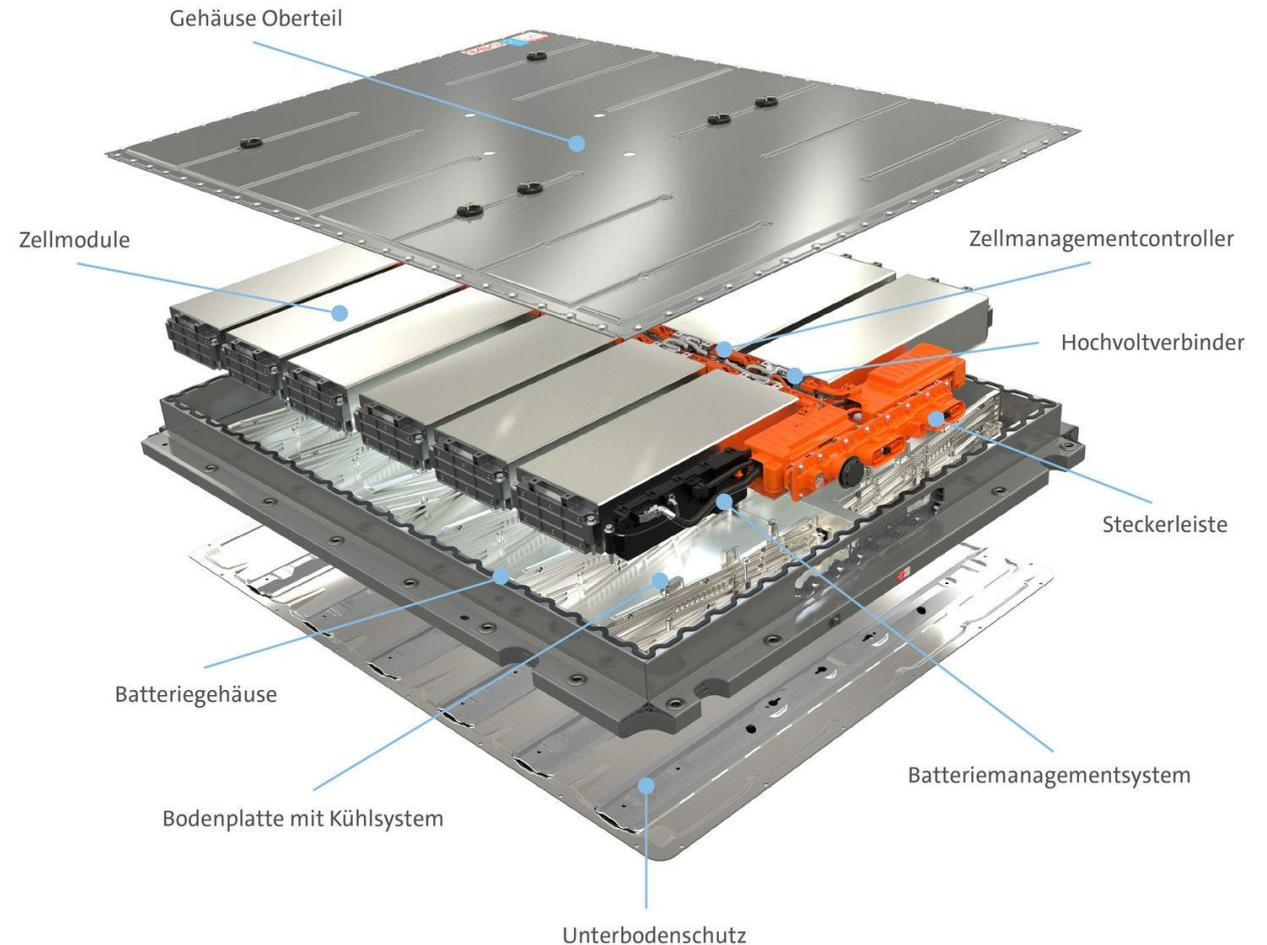
Industrielle Fertigung von  
Holzbau-Elementen.  
Ultraschnelle und hochfeste  
Klebstoffe werden benötigt.



<https://ethz.ch/>

# Anwendungen im Bereich Transport-BEV Fahrzeuge

Verkleben der Elemente,  
Erhöhung der Crashesicherheit  
und Sicherstellung des  
Thermomanagements bei  
kürzesten Taktzeiten

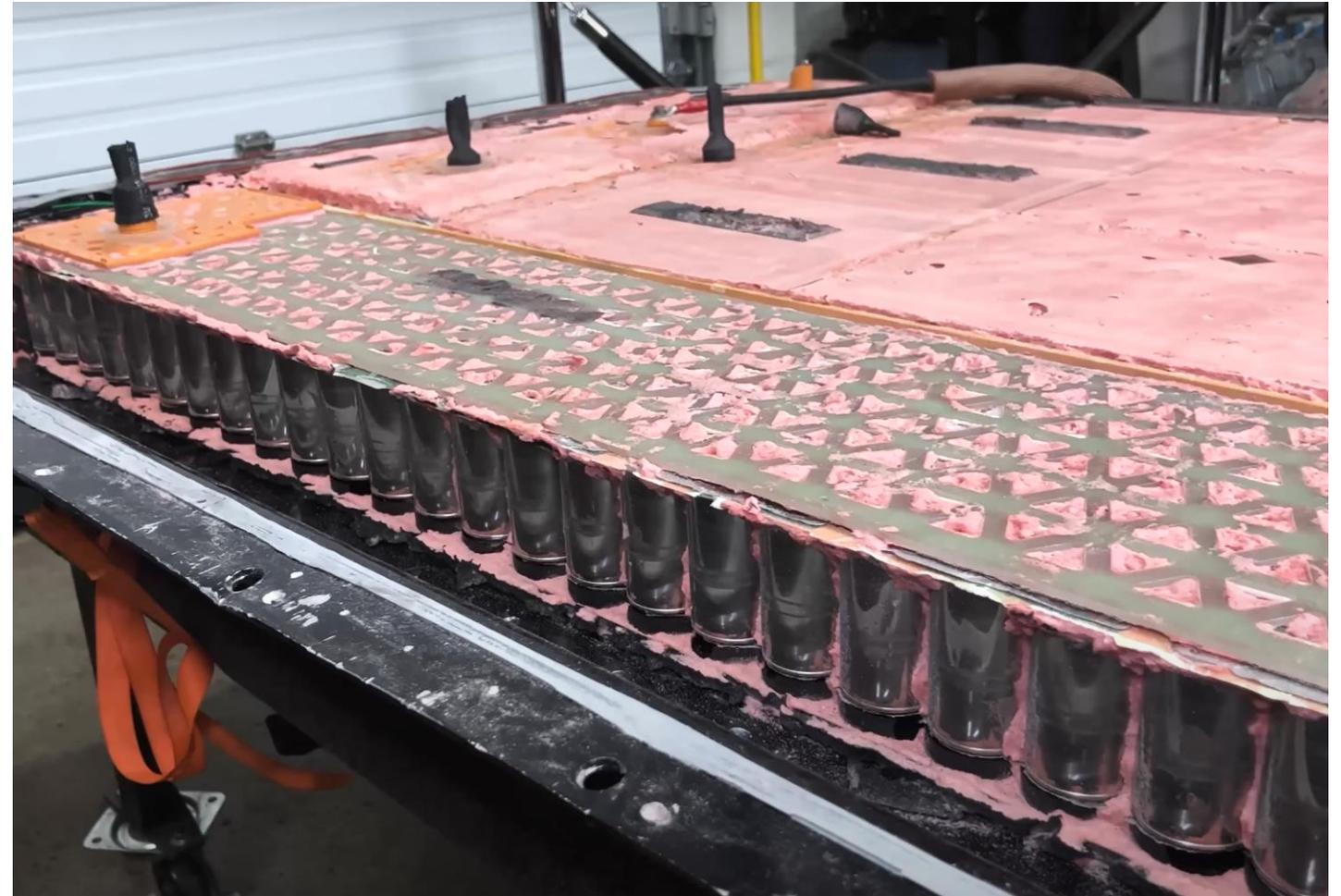


<https://www.volkswagen-newsroom.com/de/batterie-3634>

# Anwendungen im Bereich Transport-BEV Fahrzeuge

Tesla vs German  
Engineering

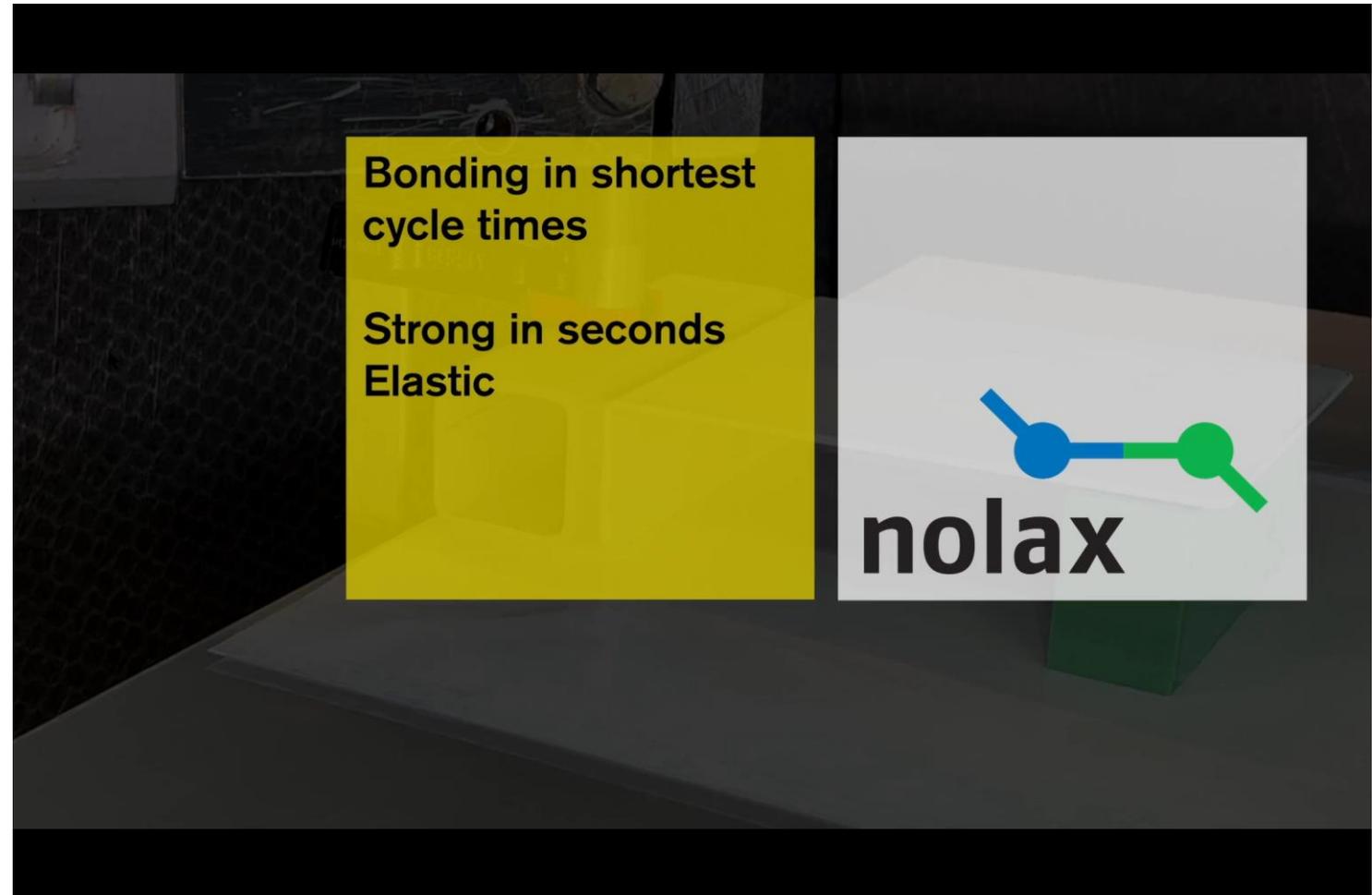
Beide Ansätze benötigen  
Klebstoffe



<https://www.youtube.com/@MunroLive>

# Anwendungen im Bereich Transport-BEV Fahrzeuge

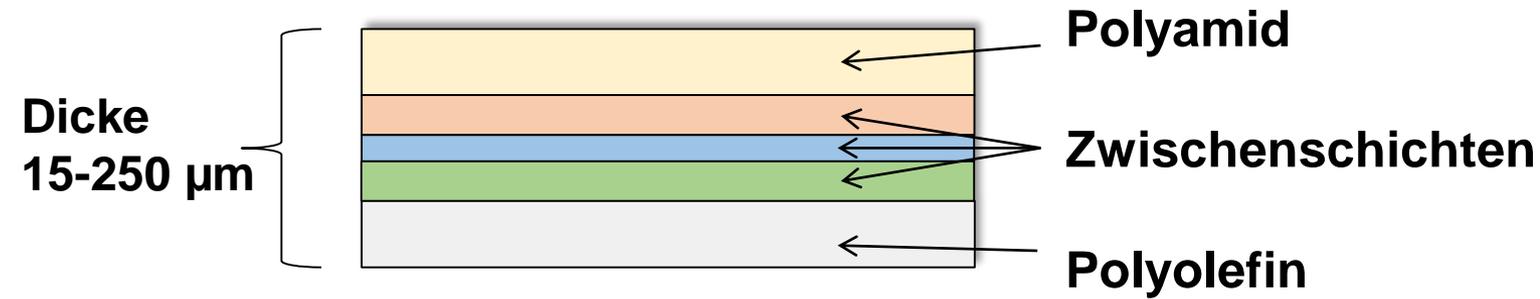
Elastisches Verkleben in  
Sekunden



<https://nolax.com>

# Anwendungen im Bereich Transport

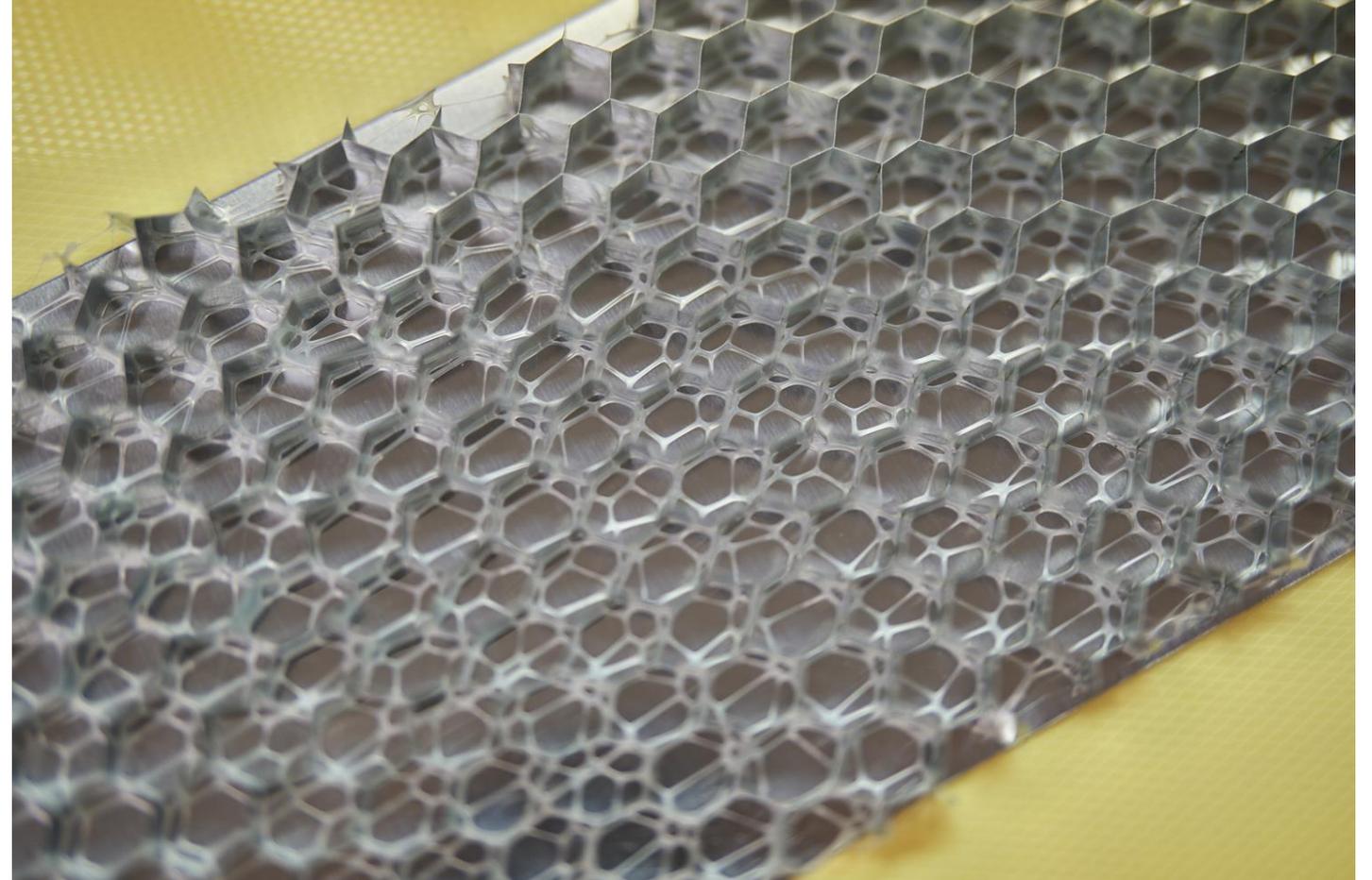
Multimaterial-Verklebung  
mittels anisotroper  
Klebstoffe



<https://pontacol.com>

# Anwendungen im Bereich Transport

Verkleben von Light weight  
Strukturen im Karosseriebau



<https://pontacol.com>

# Anwendungen im Bereich Transport

Luftfahrt



[https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus\\_A380](https://en.wikipedia.org/wiki/Airbus_A380)

# Anwendungen im Bereich Transport

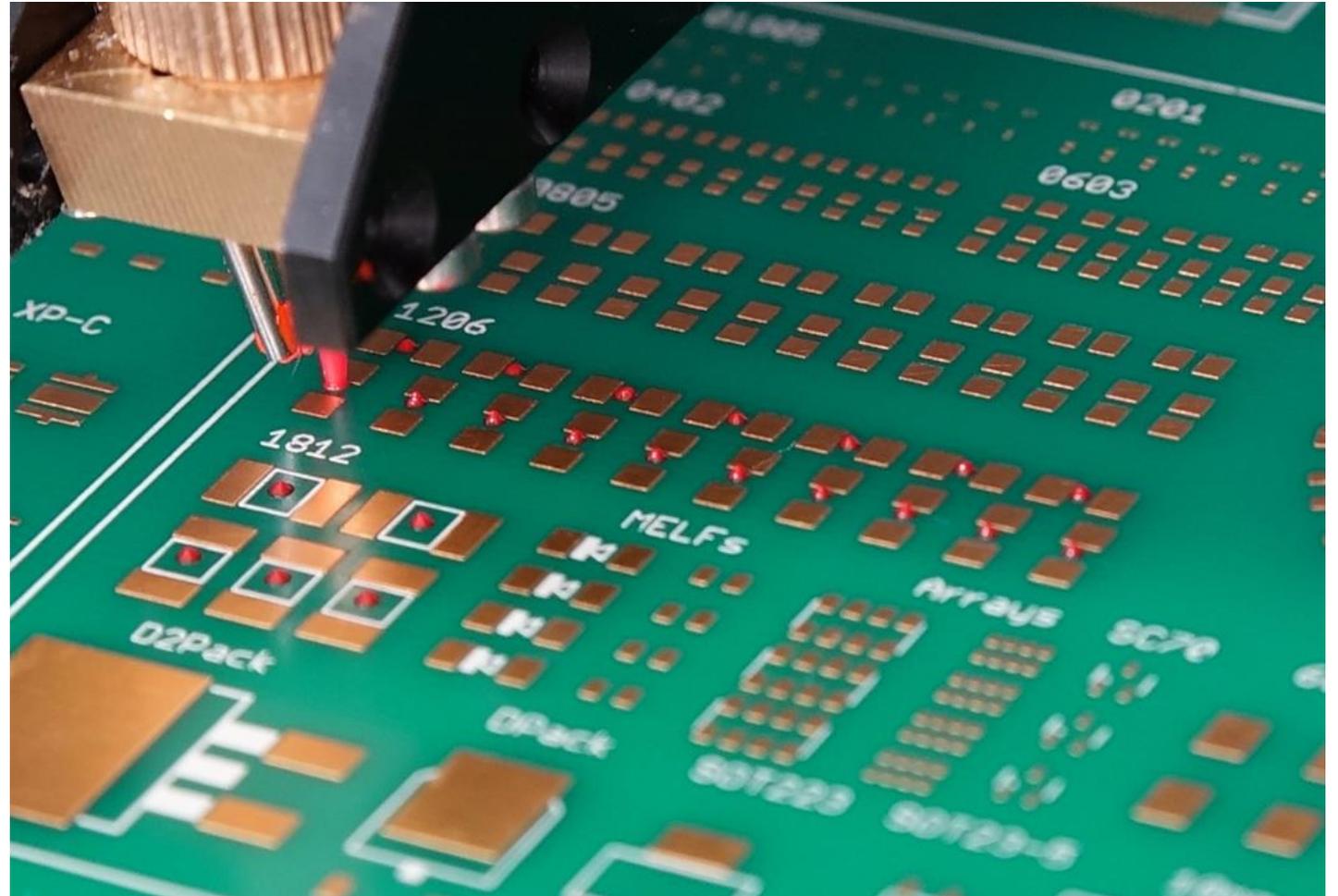
Aerospace



<https://de.wikipedia.org/wiki/Hitzeschutzkachel>

# Anwendungen im Bereich Elektronik

Miniaturisierung z.B.  
Chipverklebung



<https://www.fritsch-smt.de/dosieren/anwendungen-elektronik/smd-kleber-dosierung>

# Anwendungen im Bereich Elektronik

Miniaturisierung z.B.  
Handylautsprecher



<https://news2.orf.at/stories/2133036/>

# Anwendungen im Bereich Elektronik

Miniaturisierung z.B.  
Chipverklebung in  
Kreditkarten



<https://www.yourbasin.com/news/new-chip-in-your-credit-debit-card-and-what-it-means-for-scammers/>

# Anwendungen im Bereich Medizin

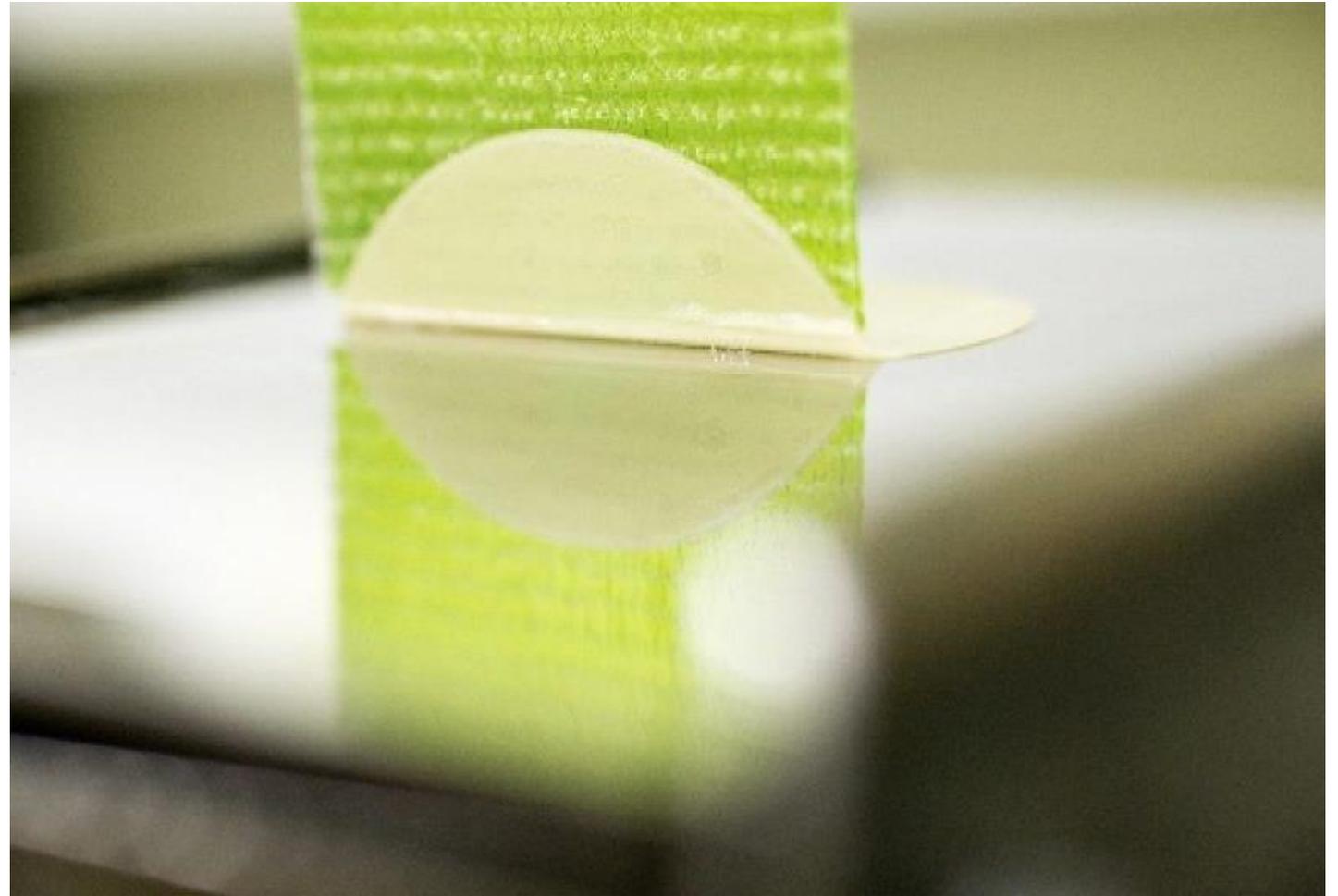
Im menschlichen Körper  
(nächste Generation von  
Fibrinklebstoffe)



<https://www.shutterstock.com/>

# Anwendungen im Bereich Medizin

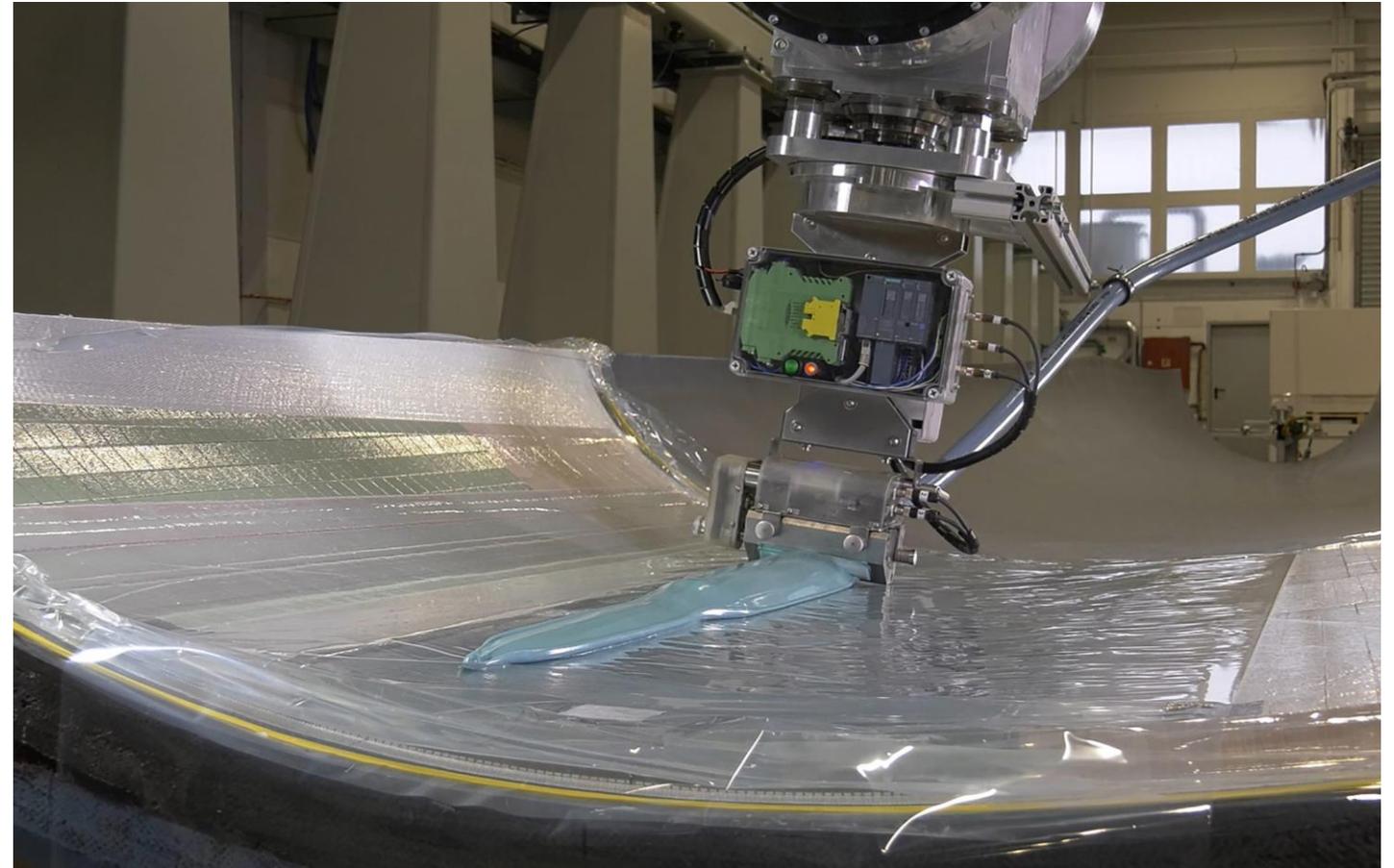
Auf dem Körper in mittels  
Transdermaler Pflaster.  
Klebstoff hat Zusatzfunktion  
als Wirkstoffdepot oder  
Membran



LTS Lohmann Therapie-Systeme AG

# Anwendungen im Bereich Energie

Verklebung von  
Rotorblättern bei  
Windkraftanlagen



Fraunhofer IWES BladeMaker-Demozentrum © Frank Bauer

# Anwendungen im Bereich Energie

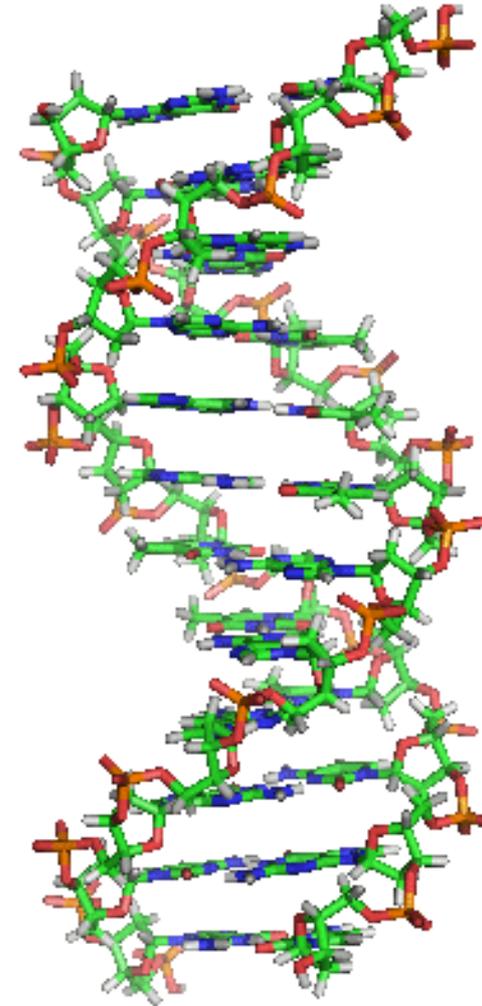
Herstellung und Montage  
von Photovoltaik-Elementen



<https://www.zhaw.ch/de/engineering/forschung/plattformen/photovoltaik/>

# Klebstoff- anwendungen- Die Zukunft

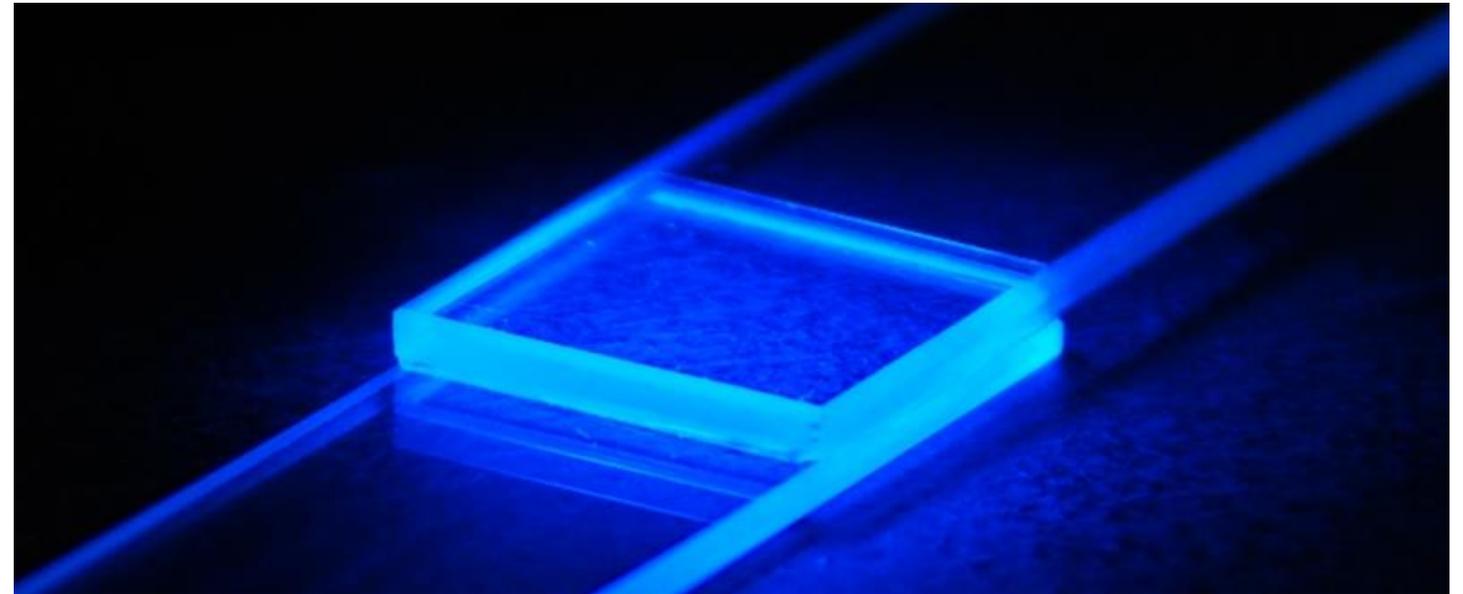
Smarte Klebstoffe  
(Multifunktional, Schloss-  
Schlüssel Prinzip)



<https://de.wikipedia.org/wiki/Desoxyribonukleins%C3%A4ure>

# Klebstoff- anwendungen- Die Zukunft

Bonding/Debonding on  
Demand (Schaltbare  
Klebstoffe mittels  
Energieeintrag wie Licht,  
Wärme etc.)



<https://www.ami.swiss/physics/en/research/stories/project/?projectid=15>

# Zusammenfassung

- Klebstoffe sind oft nicht sichtbar für den Endkonsumenten. Trotzdem leisten sie einen wichtigen Beitrag zu unserer Lebensqualität
- Die Technologiespanne der Klebstoffe ist heute sehr hoch. Von Bastelleim bis zum High-Tech-Produkt
- Klebstoffe können einen entscheidenden Beitrag leisten, dass die Energiewende gelingt

# Klebstoffe-Anwendungen aus der Praxis

- Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!
- Haben Sie noch Fragen?

## NÄCHSTER INNOVATIONSANLASS

08.10.2023    Wertschöpfungskette digitalisieren:  
Die KIFA AG macht es vor

Träger



Hauptsponsor



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

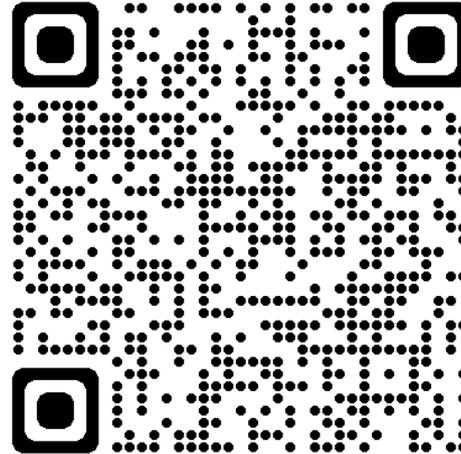
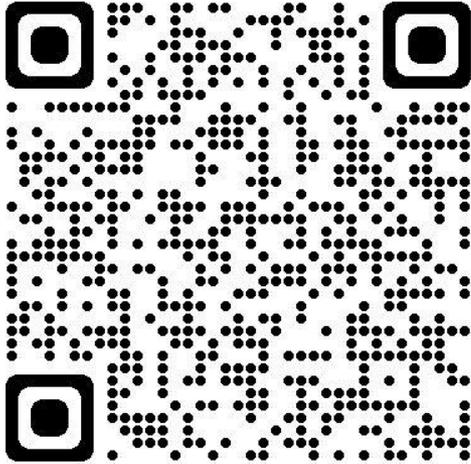
Träger



Hauptsponsor



## FOLGEN SIE DEM THURGAUER TECHNOLOGIEFORUM



Träger



Hauptsponsor

