



Polymerverguss  
in Elektrik und Elektronik

Seminar · Würzburg



## Qualitätssicherung in der Klebtechnik: Folgerungen für den Polymerverguss

Dr. Hartwig Lohse –

Klebtechnik Dr. Hartwig Lohse e.K. Itzehoe

- **Gemeinsamkeiten beim Kleben und Vergießen**
- **Definition Qualitätssicherung**
- **Der Weg zur/zum qualitativ hochwertigen Klebung/Verguss**

Dr. Hartwig Lohse  
KLEBTECHNIK Dr. Hartwig Lohse e.K.  
Fraunhoferstraße 3  
25524 Itzehoe  
Tel.: 04822 95180  
E-Mail: hlohse@hdyg.de

## Kleben und Vergießen – Gemeinsamkeiten und Unterschiede

- Anforderungen:

Kriterium	Kleben	Vergießen
Adhäsion/Haftung zu den Werkstoffen	✓	✓
Definierte mechanische Eigenschaften (Kohäsion)	✓	✓
Elastizität (Vermögen thermische Ausdehnungen oder Schwingungen/Stöße zu kompensieren)	✓	✓
Alterungsbeständigkeit (UV, Temperatur, Medien, etc.)	✓	✓
Definiertes rheologisches Verhalten	✓	✓
Definiertes Aushärteverhalten (Zeit, Schrumpf, Exothermie, etc.)	✓	✓
Isolierende bzw. leitende Eigenschaften	✓	✓
Farbe	-	✓
Regulatory Compliance (REACH, RoHS, GADSL, etc. )	✓	✓

## Kleben und Vergießen – Gemeinsamkeiten und Unterschiede

- **Klebstoff/Vergussmassen:**

Chemische Rohstoffbasis	Kleben	Vergießen
Polyurethan, 1-k feuchtigkeitshärtend	✓	-
Polyurethan, 2-k (RT- oder wärmeunterstützt)	✓	✓
Epoxid, 1-k heißhärtend	✓	✓
Epoxid, 2-k (RT- oder wärmeunterstützt)	✓	✓
Acrylat, 1k Licht- und/oder UV-härtend	✓	✓
Acrylat, 2-k MMA	✓	-
Silikon, 1-k feuchtigkeitshärtend	✓	✓
Silikon, 1-k warmhärtend	-	✓
Silikon, 2-k (RT- oder wärmeunterstützt)	✓	✓

## Kleben und Vergießen – Gemeinsamkeiten und Unterschiede

- Bauteilkonstruktion/Verarbeitung/Applikation/Prozess:

Kriterium	Kleben	Vergießen
Kleb- bzw. Vergussgerechte Konstruktion	✓	✓
Automatisierte oder manuelle Applikation	✓	✓
Arbeitsplatzanforderungen	✓	✓
Aushärtebedingungen (Temperatur, Zeit, etc.)	✓	✓
Bei 2-k-Systemen:		
• korrektes Mischungsverhältnis	✓	✓
• gute Durchmischung	✓	✓
• Topfzeit beachten	✓	✓
• Offene Zeit beachten	✓	-
Arbeitssicherheit	✓	✓

## Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung umfasst als Bestandteil des Qualitätsmanagements alle organisatorischen und technischen Maßnahmen, die vorbereitend, begleitend und prüfend der Schaffung und Erhaltung einer definierten Qualität eines Produkts oder einer Dienstleistung dienen.

Gabler Wirtschaftslexikon

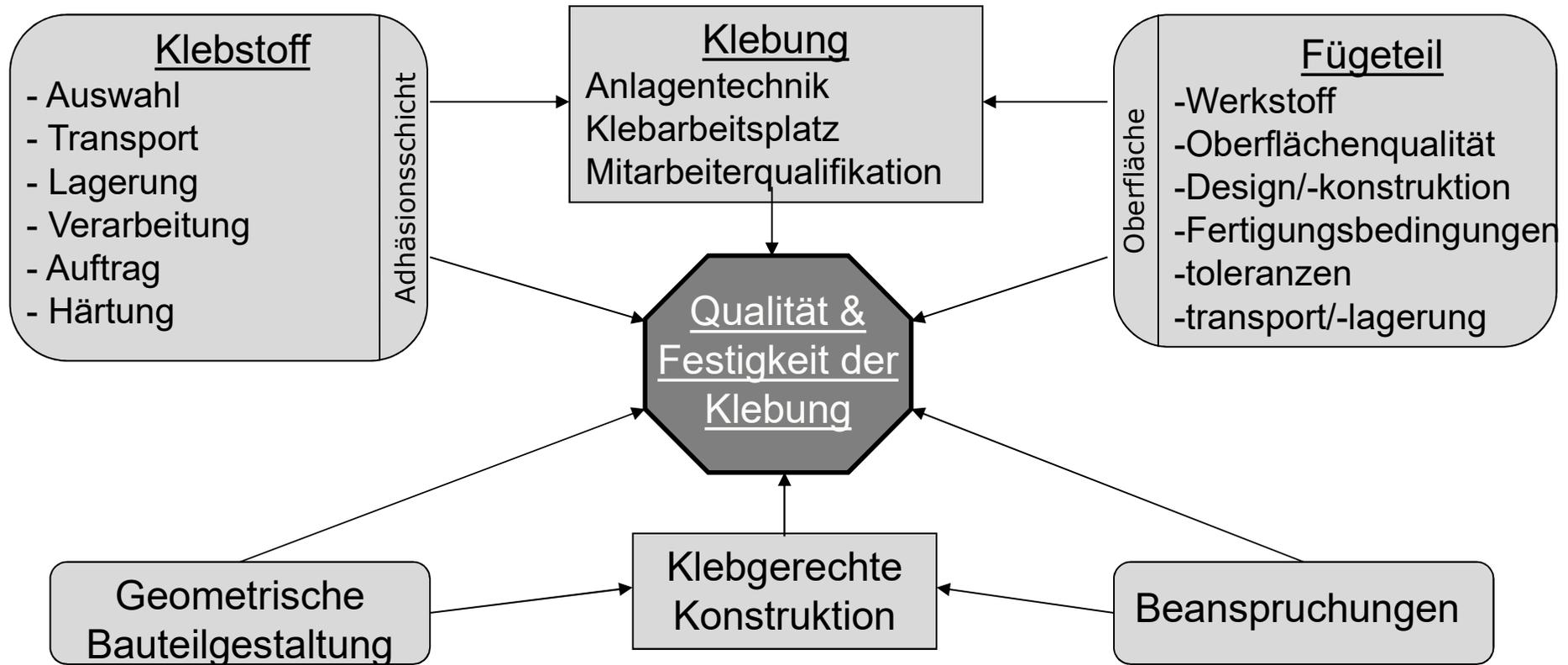
Qualitätssicherung ist die Summe aller Maßnahmen, um eine konstante Produktqualität sicherzustellen.

DIN EN ISO 8402 – Quality Management and Quality Assurance – Vocabulary)

### Ziele der Qualitätssicherung :

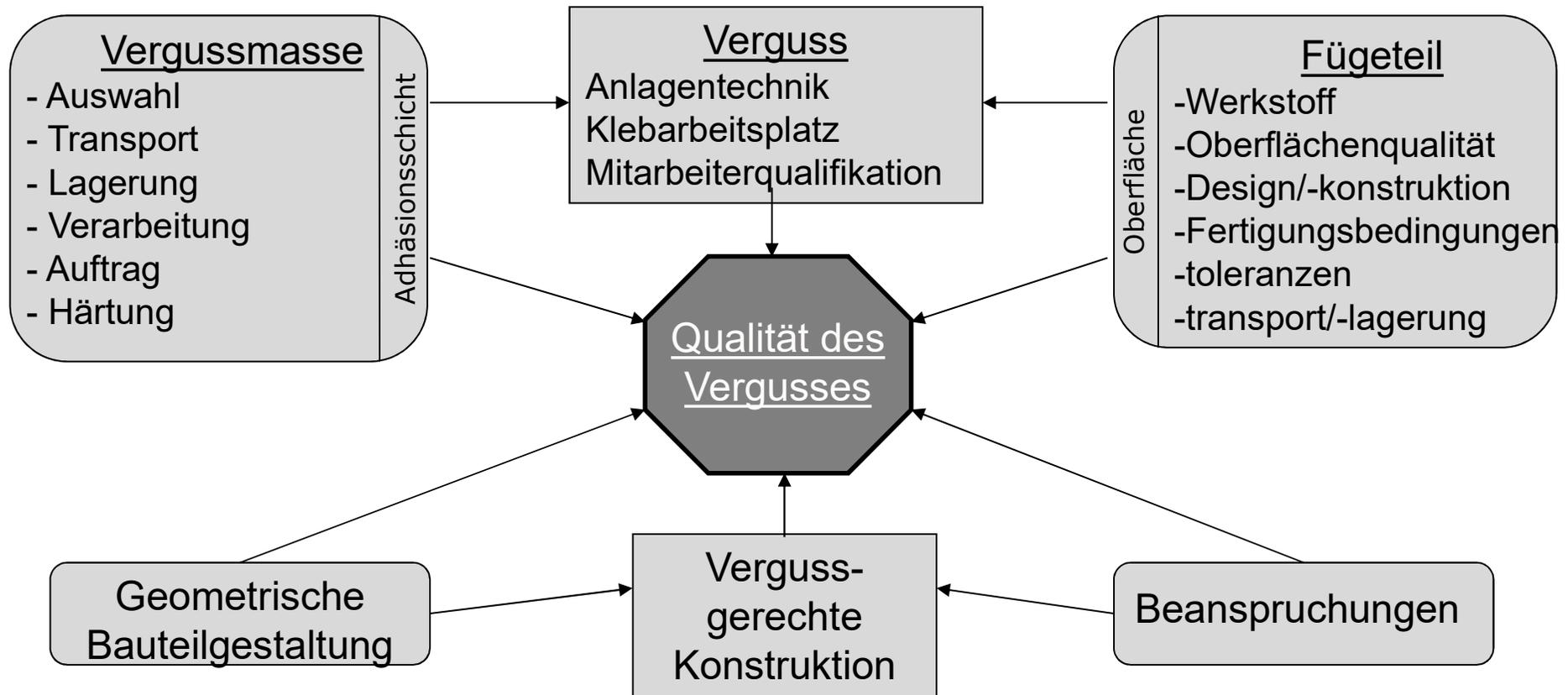
- Null-Fehler-Produktion
- Kundenzufriedenheit
- Marktposition stärken
- Kostenreduktion
- ...

## Qualitätsbestimmende Einflussfaktoren beim Kleben



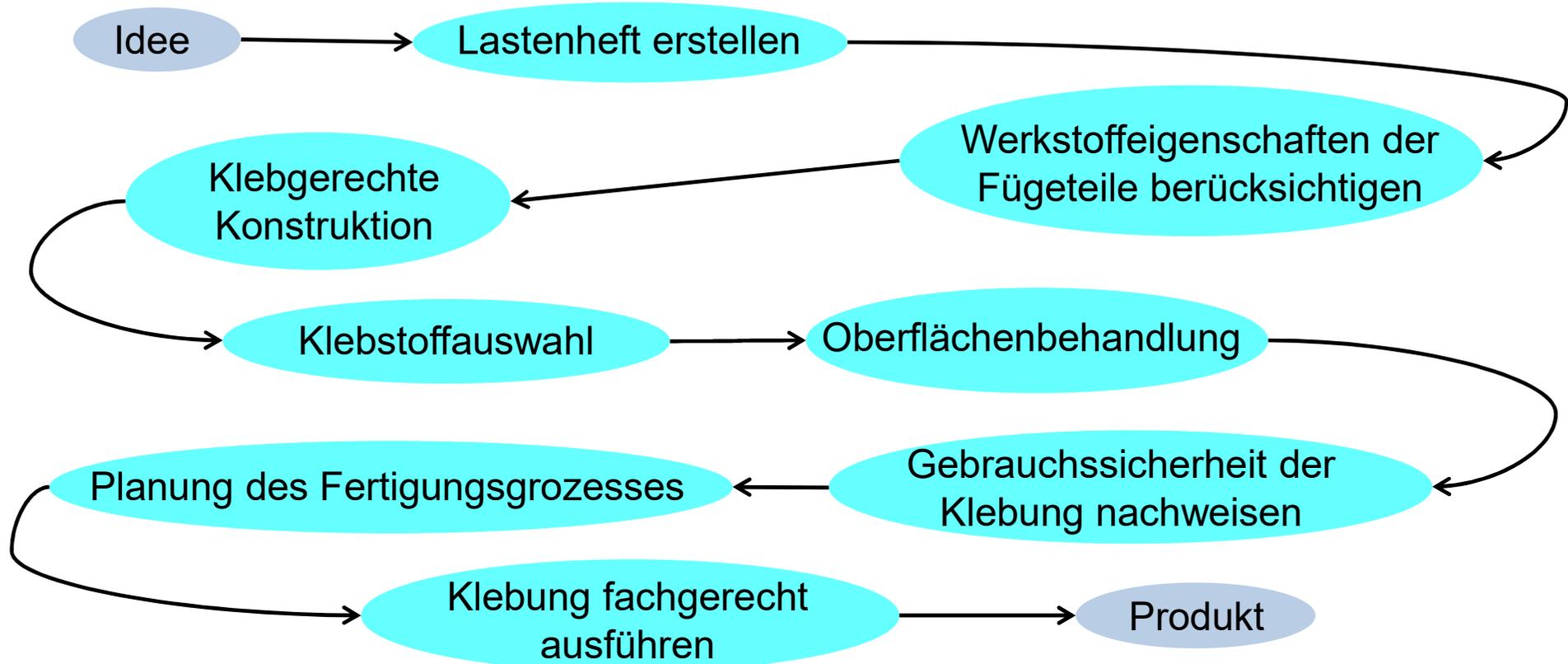
nach: G. Habenicht, Kleben, Springer Verlag, 2002

## Qualitätsbestimmende Einflussfaktoren beim Verguss



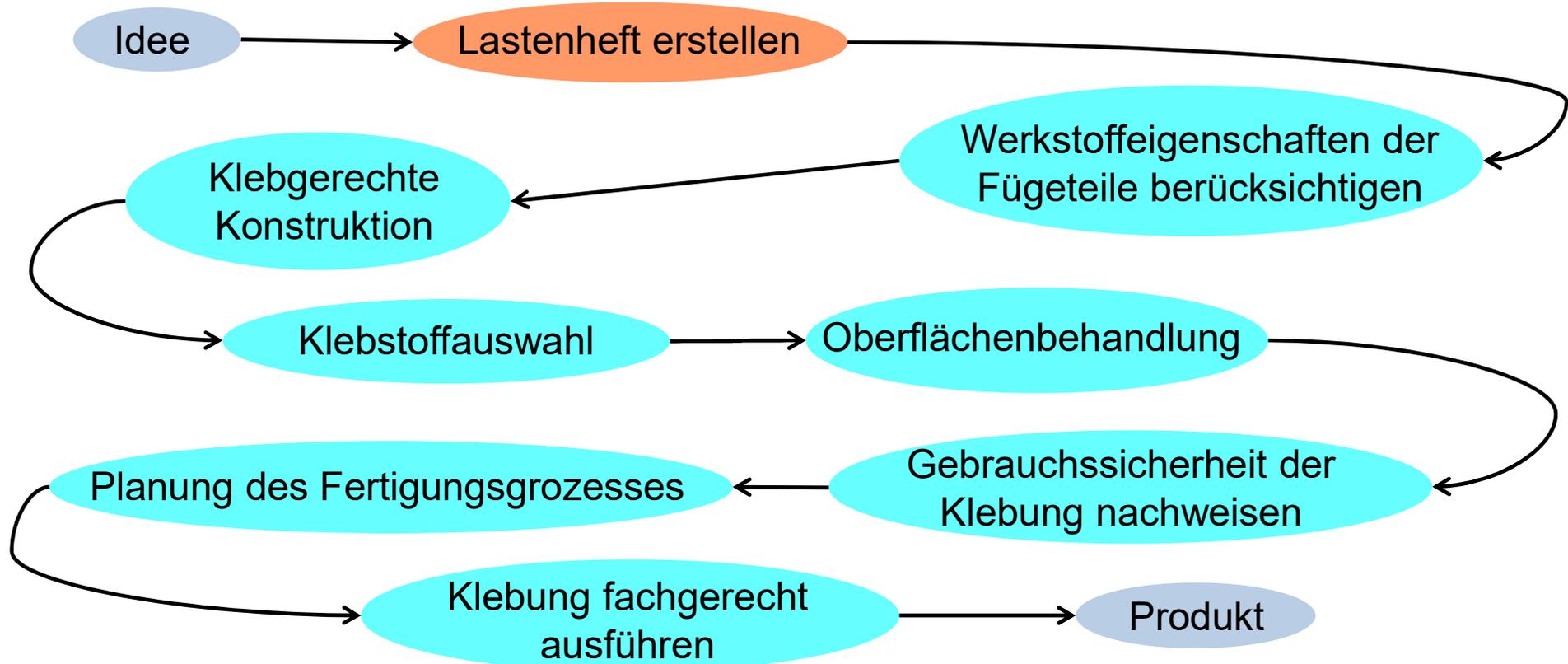
nach: G. Habenicht, Kleben, Springer Verlag, 2002

## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Erstellung des Lastenhefts

- Zusammenstellung der unmittelbaren, überprüfbaren Anforderungen an das Bauteil insgesamt und den daraus resultierend Anforderungen an die Klebung, den Klebstoff und den Klebprozess
  - Klimatische Beanspruchungen
  - Mediale Beanspruchungen
  - Mechanische Beanspruchungen
  - Langzeitbeständigkeit
- unter Mitwirkung aller beteiligten Institutionen

Kunde

Konstruktion

Prozessplanung

Gesetzgeber

Beschaffung/Lieferanten  
Klebstoff, Füge-teile, Anlagentechnik

Produktion

Qualitätskontrolle

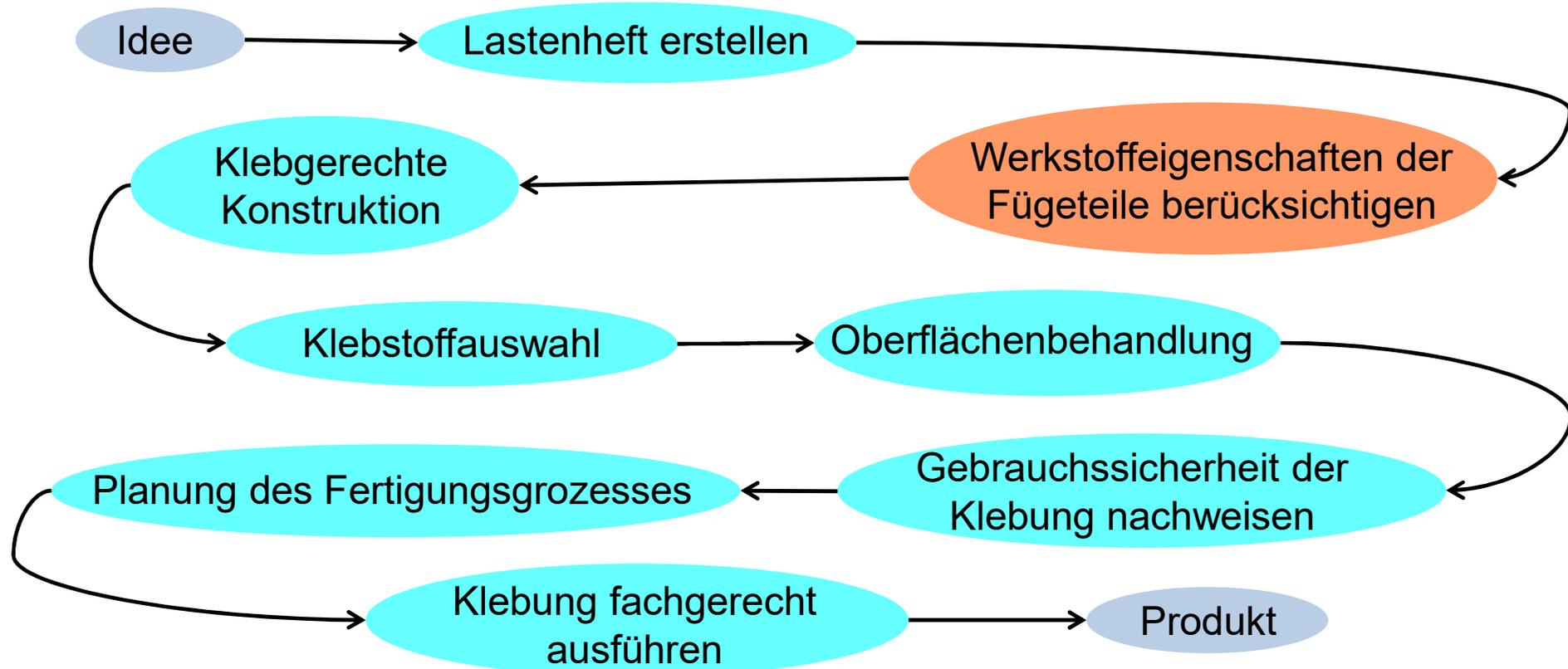
ggf. externer Berater

Controlling

## Erstellung des Lastenhefts

- Zusammenstellung der unmittelbaren, überprüfbaren Anforderungen an das Bauteil insgesamt und den daraus resultierenden Anforderungen an die Klebung, den Klebstoff und den Klebprozess
  - Klimatische Beanspruchungen
  - Mediale Beanspruchungen
  - Mechanische Beanspruchungen
  - Langzeitbeständigkeit
- Mitwirkung aller beteiligten Institutionen
- Unterscheidung zwischen Aspekten, die erfüllt werden müssen, und solchen, die erfüllt werden können.
- Jeder weitere Schritt der Konstruktion und Fertigung muss in Abstimmung mit dem Lastenheft erfolgen, das gegebenenfalls auch modifiziert oder erweitert werden kann.
- Jede Information bzw. deren Änderung im Lastenheft sollte in schriftlicher Form dokumentiert werden.

## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Berücksichtigung der Werkstoffeigenschaften

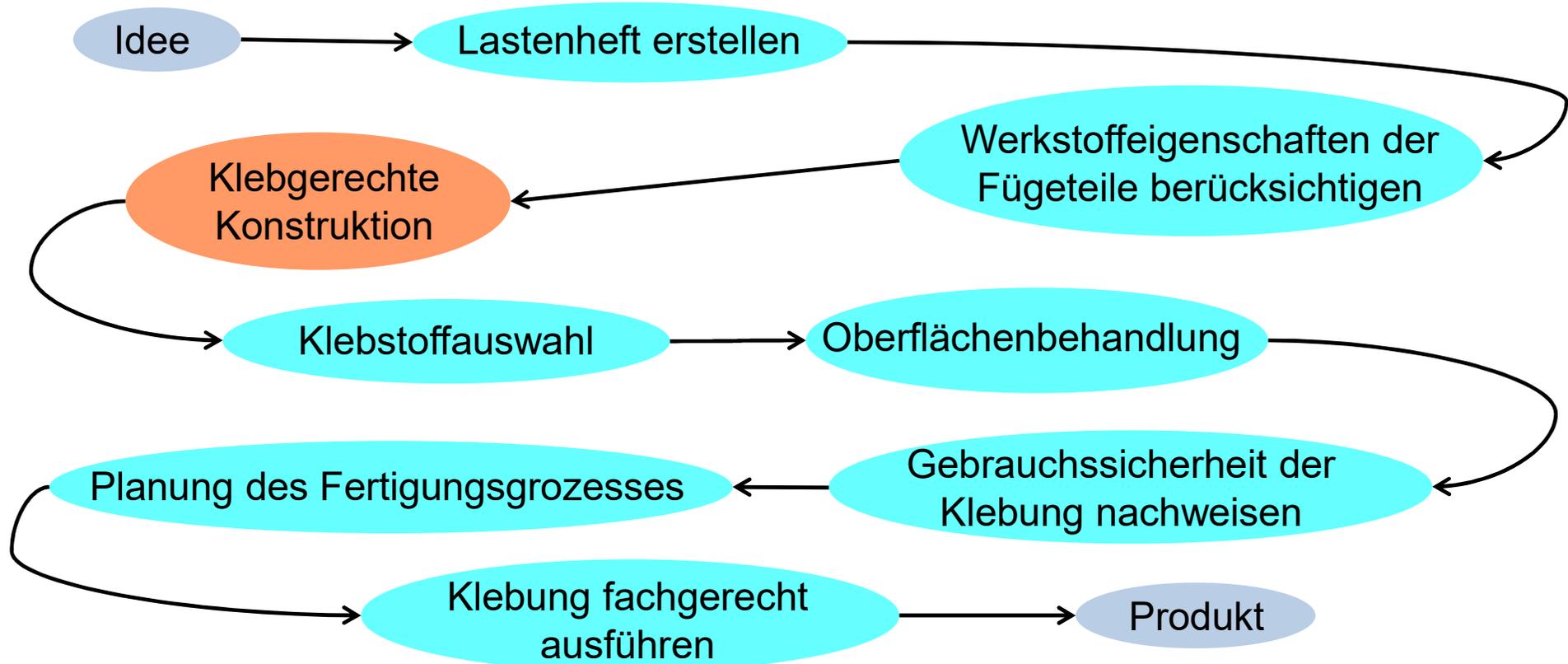
Die Werkstoffauswahl wird ohne Frage nicht allein aus Sicht einer guten Klebbarkeit erfolgen können. Vielmehr wird sich die Wahl des Klebstoffs meist nach dem Fügepartiewerkstoff richten müssen.

Es sollte jedoch schon bei der Wahl des Fügepartiewerkstoffs das Kleben als Fügeverfahren (mit) berücksichtigt werden. Dadurch können später ggf. Probleme und somit zusätzliche Kosten vermieden werden.

Die wichtigsten zu berücksichtigende Fügepartieeigenschaften aus Klebstoffseite sind:

- Fügepartiewerkstoff:
- Klebfreundlichkeit, Benetzbarkeit/Oberflächenenergie, ggf. Vorbehandeln
- Mechanische Eigenschaften (Dehnfähigkeit)
- Thermische Eigenschaften ( therm. Beständigkeit, Ausdehnungskoeffizient)

## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Klebgerechte Konstruktion

Eine klebgerechte Konstruktion ist für die Qualität einer Klebverbindung von ausschlaggebender Bedeutung und fordert von dem Konstrukteur sich mit einem, ggf. neuen Werkstoff mit einer Vielfalt von ungewohnten Eigenschaften, wie z.B.

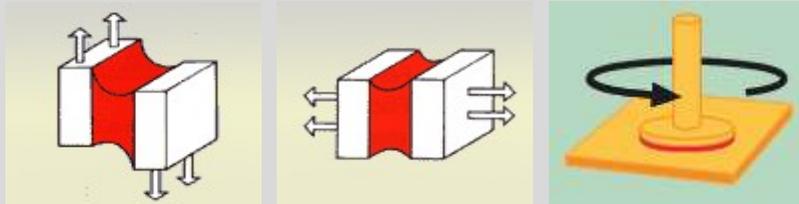
- der Reaktivität des noch nicht ausgehärteten Klebstoffs,
- den mechanische Eigenschaften von Klebstoffen
- Verformungseigenschaften von Klebstoffen
- der Beeinflussung der Eigenschaften durch Temperatur, Feuchtigkeit, UV, ... auseinanderzusetzen.

Das Ziel der Klebgerechten Konstruktion ist es:

- eine ausreichende Klebfläche bereitzustellen
- eine möglichst gleichmäßige Kraftverteilung ohne Auftreten von übermäßigen Spannungsspitzen zu erreichen (Flächenbelastung, keine Linienbelastung)
- Klebschichten ggf. vor schädlichen Medien zu schützen (Abdecken, vermeiden von stehendem Wasser)

## Klebgerechte Konstruktion

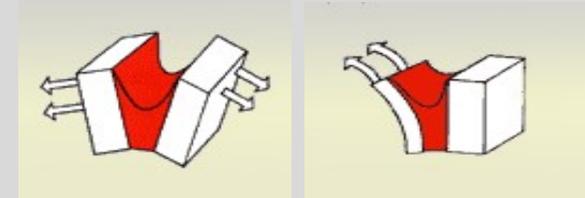
### Flächenbelastung



Scher- und Schubbelastung

Torsionsbelastung

### Linienbelastung



Spaltbelastung

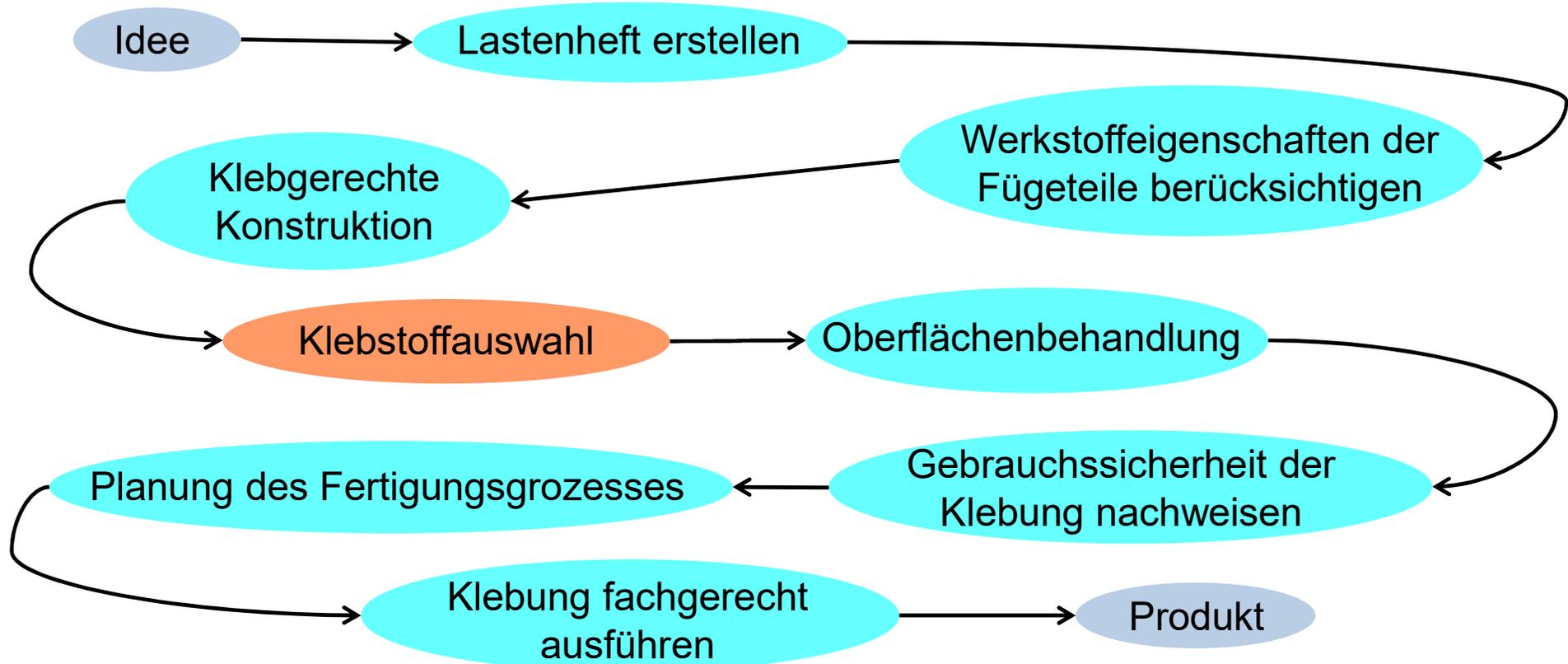
Schälbelastung

Bilder: Horst Stepanski/IVK

### Vermeidung von stehendem Wasser



## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses

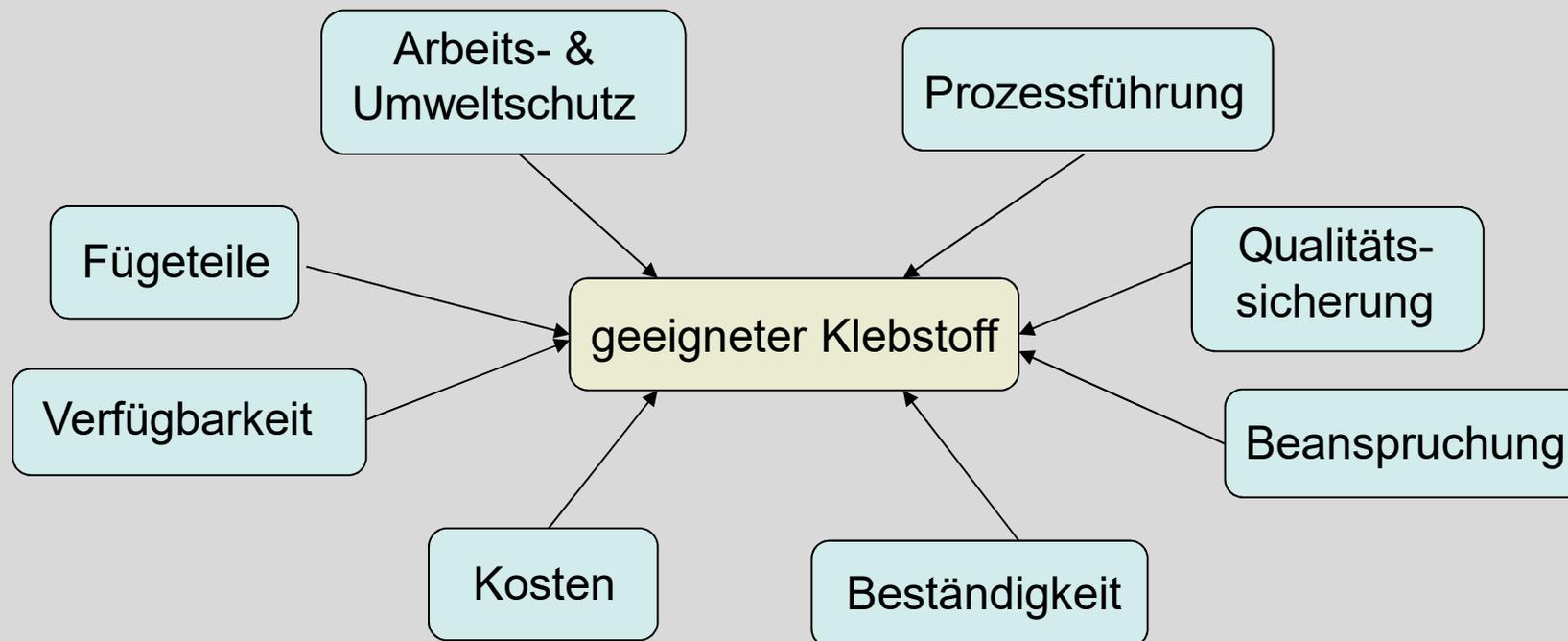


nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Klebstoffauswahl:

Die aus dem Lastenheft resultierenden Anforderungen an den Klebstoff müssen berücksichtigt und in ein Anforderungsprofil an den Klebstoff übersetzt werden.

Dies betrifft:

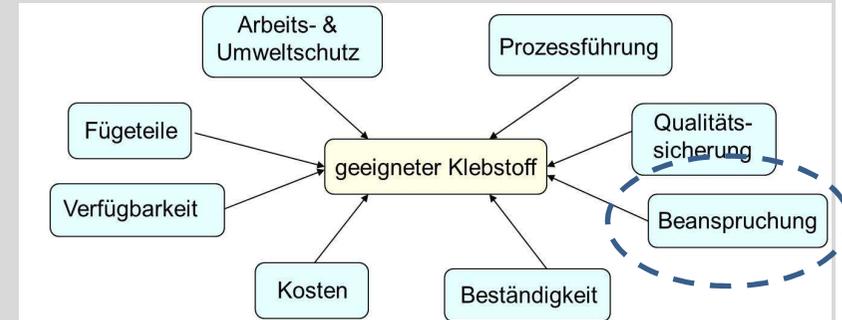


## Klebstoffauswahl:

### Beanspruchungen/Beständigkeit:

- mechanisch (dynamisch, statisch, Stoß/Crash)
- Temperatur Extrema, Kurzzeit, Langzeit, schnelle Wechsel, Abhängigkeit der mech. Eigenschaften von der Temperatur  
thermische Beständigkeit
- Medien Feuchtigkeit, (See-)Wasser, Salze, Treibstoffe, Öle, Frostschutz, ...
- Strahlung Sonneneinstrahlung, UV,  $\gamma$ -Strahlung (Medizintechnik)

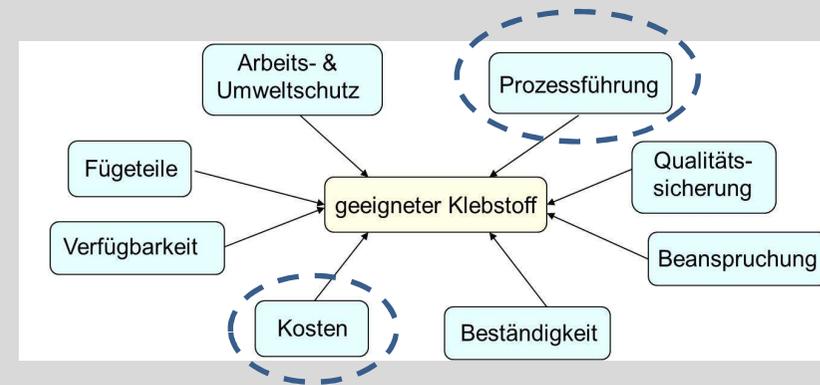
**Langzeitbeständigkeit:** wie lange muss die Klebung unter welchen Bedingungen auftretenden Belastungen standhalten, bzw. wie hoch darf der Festigkeitsverlust nach einer bestimmten Einwirkungsdauer sein.



## Klebstoffauswahl:

### Prozessführung/Fertigungsbedingungen:

- Einzel- oder Serienfertigung, Stückzahlen
- Taktzeiten
- Bauteilgröße, Klebnahtlänge
- Rheologie, Fließverhalten des Klebstoffs
- Härtingsbedingungen (insb. Temperatur und Zeit)
- Möglichkeiten einer Oberflächenvorbehandlung



### Verfügbarkeit/Kosten

- Verpackungseinheit
- Preis- Leistungs- Verhältnis
- Prozesskosten berücksichtigen

## Klebstoffauswahl:

### Fügeteile:

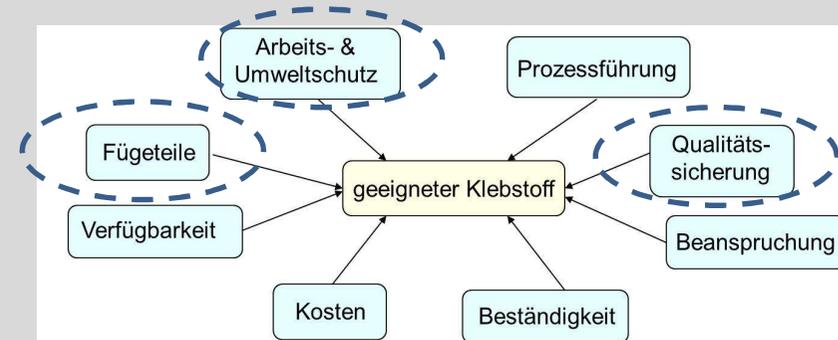
- Werkstoff, Werkstoffeigenschaften
- Thermische Ausdehnung
- Beständigkeit des Werkstoffs
- Klebbarkeit, Oberfläche
- Dimensionen
- ...

### Qualitätssicherung

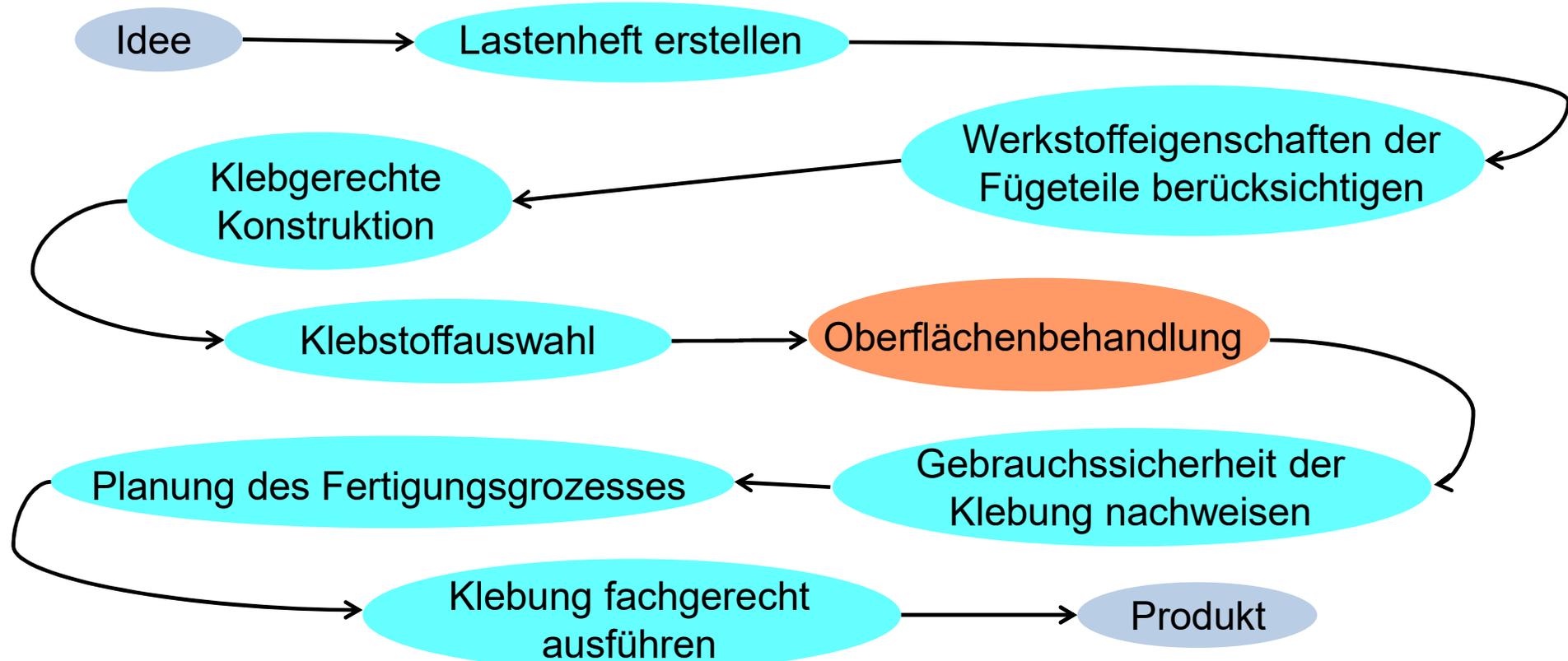
- Welche QS-Maßnahmen sind erforderlich und welche sind wünschenswert

### Arbeits- & Umweltschutz, Zulassungen

- Notwendige Arbeitssicherheitsmaßnahmen
- REACH, SVHC, RoHS, IMDS, GDSL



## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Oberflächenbehandlung:

**Reinigen,  
Entfetten**  
Lösemittel,  
wässrig

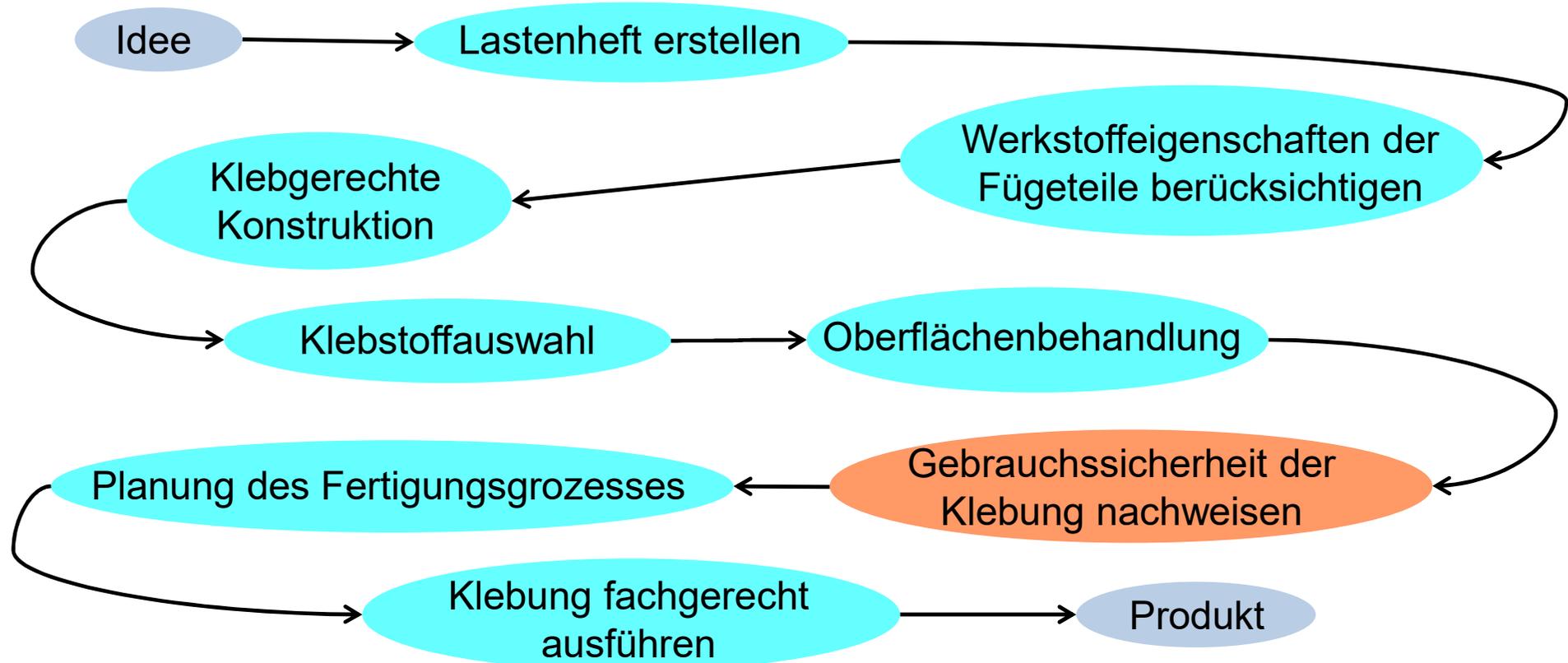
**mechanische**  
(z.B. schleifen),  
**physikalische**  
(z.B. Beflammung,  
Plasma, Laser),  
**chemische Methoden**  
(z.B. ätzen)

**Konditionierung**  
**Primer**  
**Beschichten**  
**Haftvermittler**  
**Haftreiniger**

## Ziel der Oberflächenvorbehandlung:

- Entfernen von Verunreinigungen
  - Aufrauen → Oberflächenvergrößerung
    - Herstellen einer definierten Oberfläche
      - Erhöhung der Oberflächenenergie → **Verbesserung der Benetzung**

## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Gebrauchssicherheit der Klebung nachweisen:

Durchführung von Prüfungen anhand von geeigneten Prüfkörpern unter Einbeziehung von relevanten Einsatzbedingungen (Temperatur) und nach beschleunigten Alterungsverfahren (Umweltsimulation unter Berücksichtigung von Temperatur, Feuchte, Medienbelastung, Strahlung, etc. )

Verifizierung und Validierung der am Normprüfkörper ermittelten Werte am realen Bauteil

**Ziel:**  $\text{Belastbarkeit} > \text{Belastung} \times \text{Sicherheitsfaktor}$

**Gebrauchssicherheit der Klebung nachweisen:**  
Beschleunigte Alterungsprüfungen



30 - 35 °C  
einige Tage

100 °C  
5 min

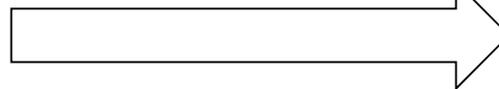
20 - 25 °C  
einige Wochen



**Gebrauchssicherheit der Klebung nachweisen:  
Beschleunigte Alterungsprüfungen**

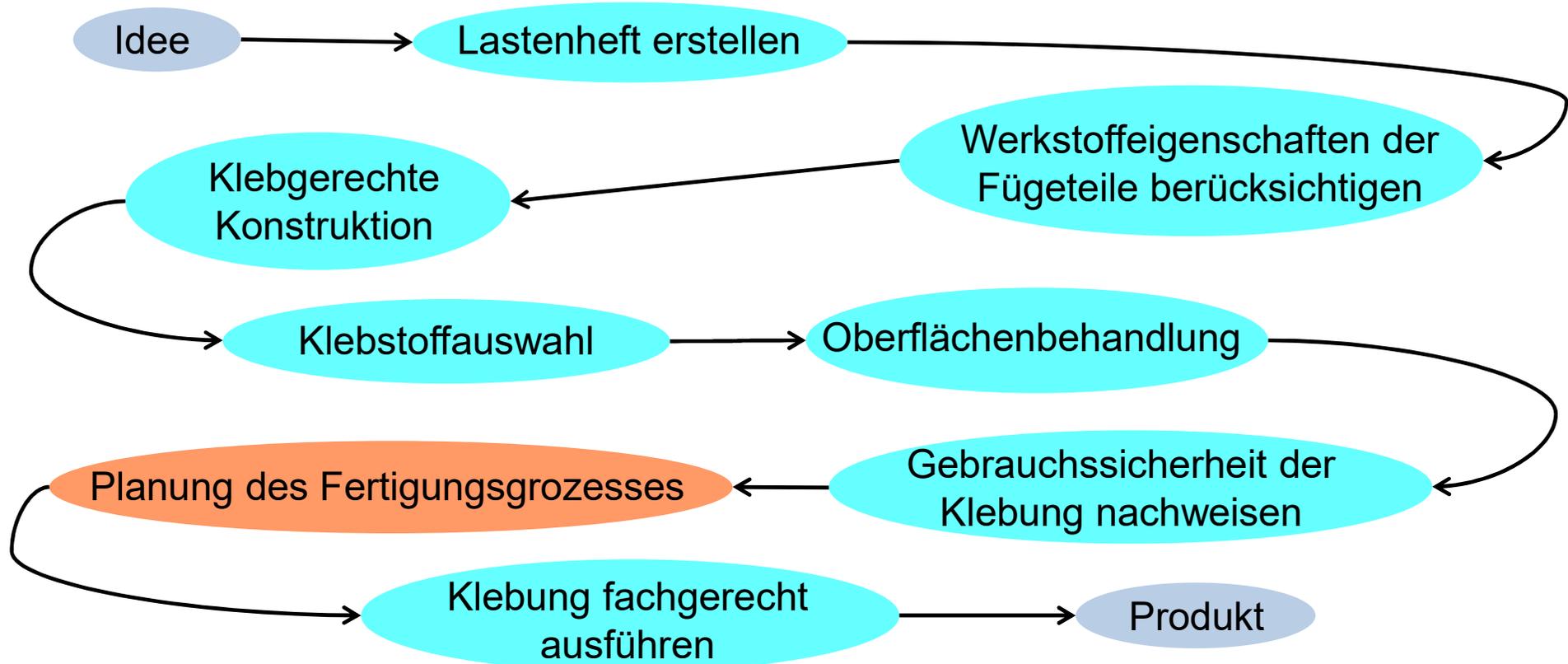


1 Woche Wasserlagerung  
140°C/3 bar



Bilder:  
Fraunhofer IFAM

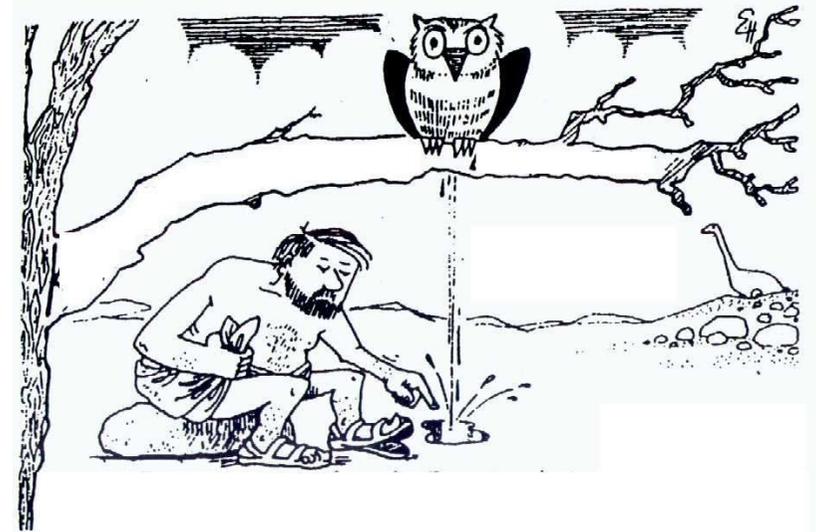
## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Planung des Fertigungsprozesses:

- Bereitstellung und Handling der Fügeteile, einschließlich Reinigung
- Sofern erforderlich: Konzipierung der Oberflächenbehandlung
- Konditionierung von Klebstoff und Bauteilen
- Konzipierung einer geeigneten Klebstoff-Applikationsanlage einschließlich Vorrichtung zur Klebstoffaushärtung. Berücksichtigung der spezifischen Klebstoffeigenschaften und der geforderten Stückzahlen
- Dem Härtingzustand des Klebstoffs und dem Bauteil angepasstes schonendes Handling der geklebten Teile
- Festlegung der Qualitätssicherungsmaßnahmen
- Erstellen einer Arbeitsanweisung



## Planung des Fertigungsprozesses - Anforderungen an die Klebstoffapplikationsanlage:

Bereitstellung des Klebstoffs in der erforderlichen Menge

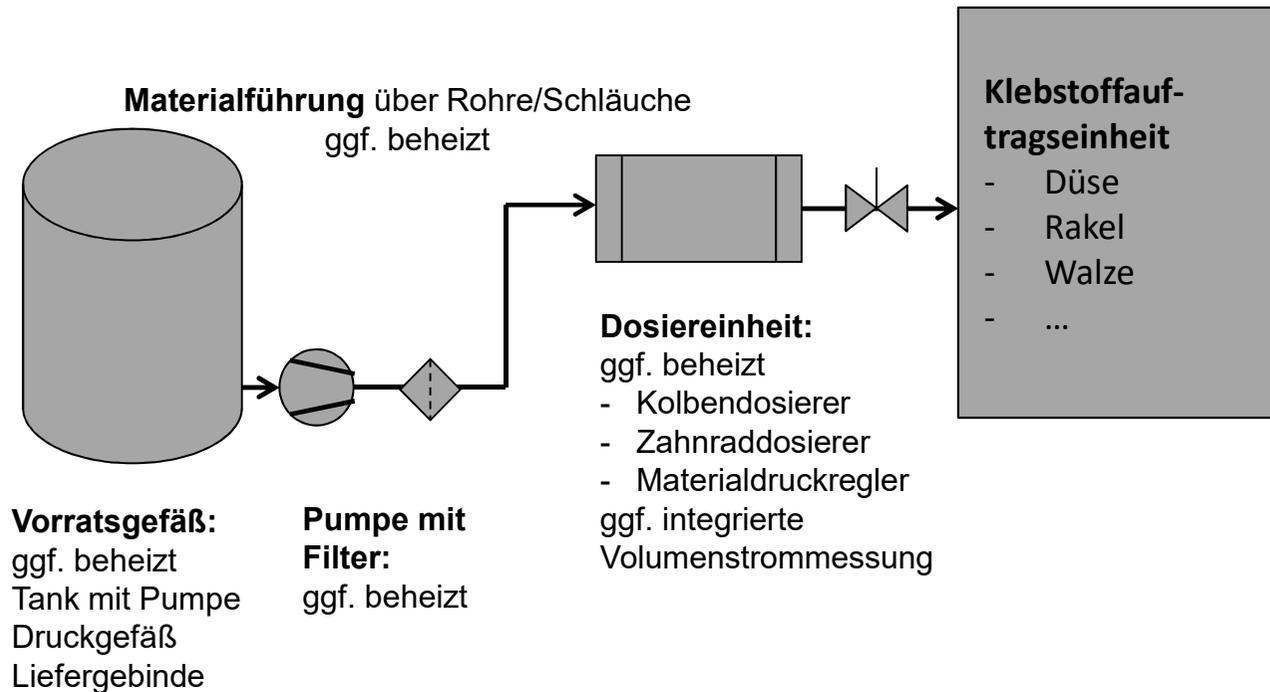
- Entnahme aus dem Liefergebinde
- Transport zum Bauteil
- ggf. Mischen im korrekten Verhältnis mit einer 2. Komponente
- Auftragen in der richtigen Menge und Form an den richtigen Ort des Bauteils

ohne den Klebstoff z. B. durch

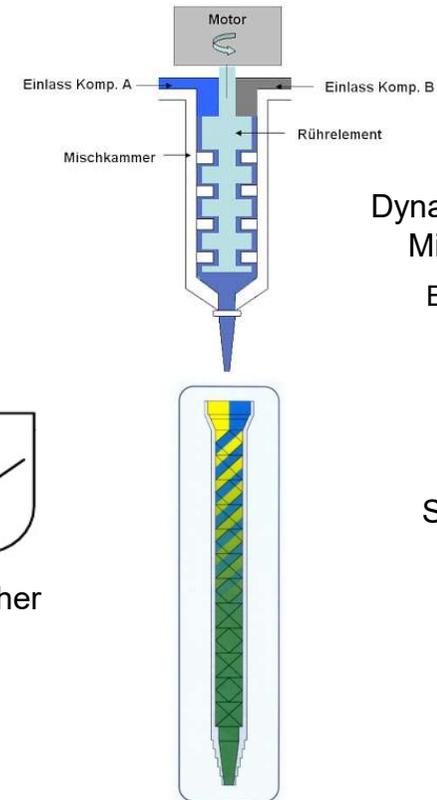
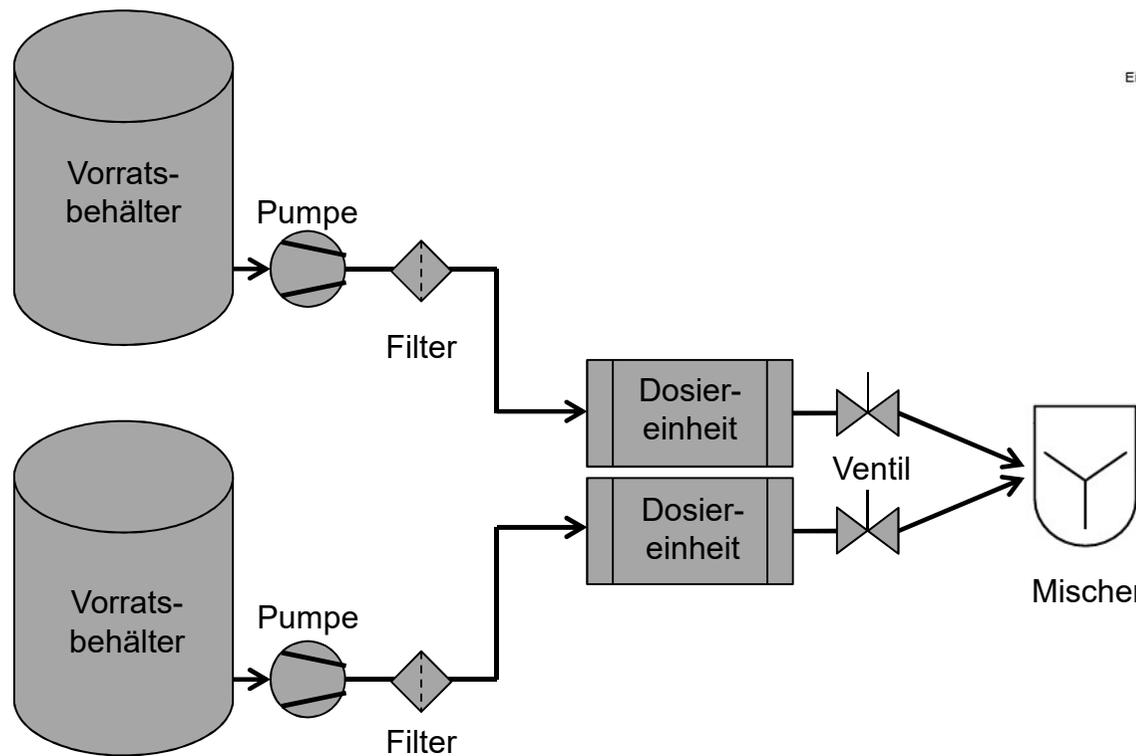
- thermische Schädigung
- Abbau der Standfestigkeit (Scherung)
- Verunreinigung

negative zu beeinflussen

## Planung des Fertigungsprozesses - Klebstoffapplikationsanlage, 1-k Klebstoff:



## Planung des Fertigungsprozesses - Klebstoffapplikationsanlage, 2-k-Klebstoff:



Dynamischer  
Mischer

Bild: IVK e.V.

Statischer  
Mischer

## Planung des Fertigungsprozesses - Dosieren und Mischen des Klebstoffs (2-k-Klebstoffe):

### Mischungsverhältnis:

Das vom Hersteller vorgegebenen Mischungsverhältnis muss unbedingt eingehalten werden.

Fehldosierungen führen zu atypischen mechanischen Eigenschaften und können einen negativen Einfluss auf die Haftung die mechanischen Eigenschaften und die Beständigkeit haben.

### Mischqualität:

Die Klebstoffkomponenten müssen homogen vermischt werden um lokale Fehldosierungen mit den genannten Auswirkungen zu verhindern.

### Besondere Anforderungen:

Einhaltung und Überprüfung des vorgeschriebenen Mischungsverhältnisses und der Mischqualität  
Überwachung der ‚Topfzeit‘. Die offene Zeit ist für Klebungen aber nicht den Verguss relevant

## Planung des Fertigungsprozesses – Härtung des Klebstoffs:

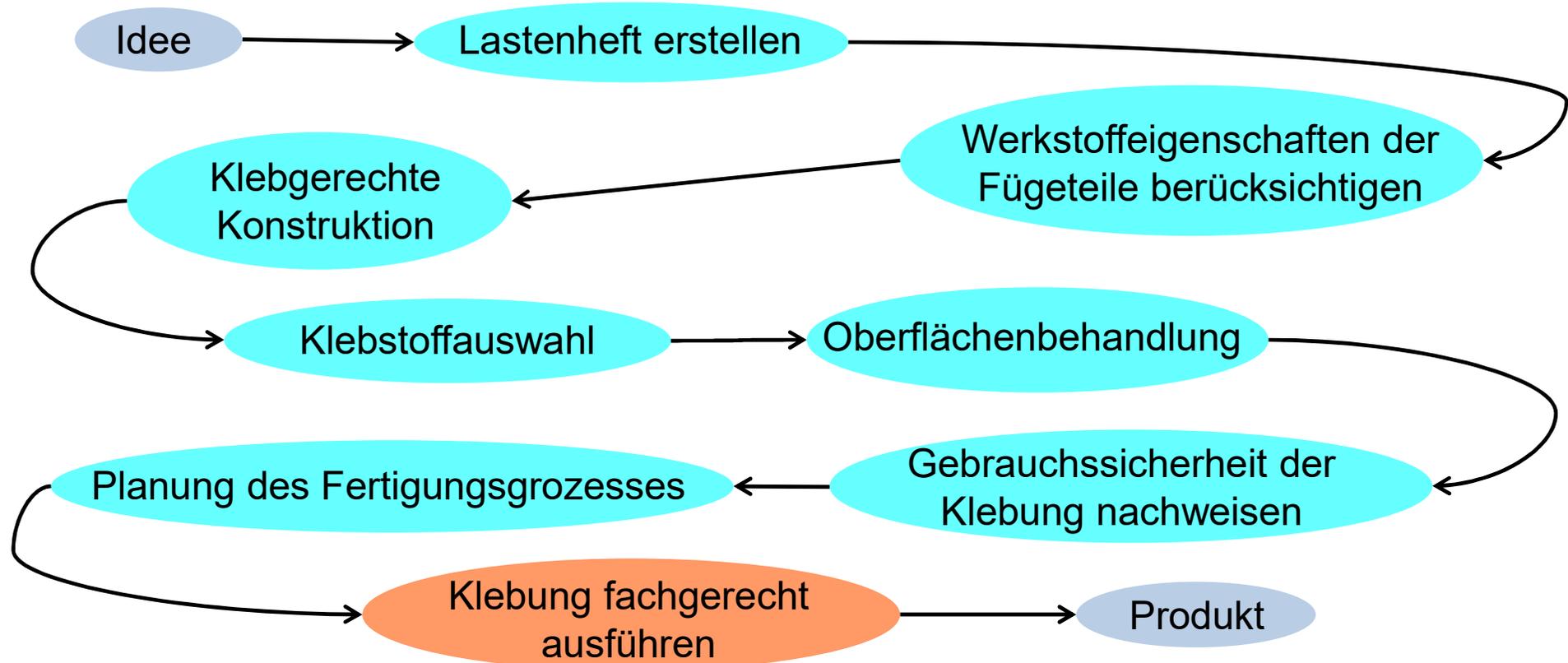
- Raumtemperaturhärtung:** Abhängigkeit der Härtungsgeschwindigkeit von der Umgebungs- und Bauteiltemperatur  
Bauteile müssen ausreichend konditioniert sein
- Feuchtigkeitshärtung:** Abhängigkeit der Härtungsgeschwindigkeit von den Raumluftbedingungen (rel. Feuchte und Temperatur)  
ggf. klimatisieren
- Warmhärtung:** Einhaltung des vorgeschriebenen Temperaturprofils  
(Aufheizrate – Haltephase – Abkühlrate)

## Planung des Fertigungsprozesses – Erstellen einer Arbeitsanweisung:

Der Arbeitsanweisung kommt eine besondere Bedeutung zu, sie muss:

- fachlich zutreffend sein
- den gesamten Prozess einschl. der vorbereitenden und der fertigungsbegleitenden QS-Maßnahmen vollständig beschreiben
- aktuell sein
- verständlich und anschaulich sein
- Vorgaben für Maßnahmen bei Abweichungen enthalten
- chronologisch gem. des Arbeitsfortschritts aufgebaut sein
- eine Liste aller benötigten Materialien und Arbeitsmittel enthalten
- übersichtlich sein (evtl. Langfassung für Schulung, Kurzfassung für täglichen Gebrauch in der Fertigung)

## Einzelschritte bei der Planung einer Klebung/eines Klebprozesses



nach: Industrieverband Klebstoffe e.V.  
Leitfaden Kleben – aber richtig  
<http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>

## Klebung fachgerecht ausführen:

Kleben ist ein sog. spezieller Prozess, d.h. die Konformität des erzeugten Produkts kann nicht oder nur z.T. zerstörungsfrei geprüft werden. Entsprechend ist eine ständige Überwachung der Arbeitsanweisung gefordert.

Der Einhaltung aller in der Arbeitsanweisung dokumentierten Schritte kommt somit eine besondere Bedeutung zu.

Das Personal muss entsprechend qualifiziert und motiviert sein

## Klebung fachgerecht ausführen:

Die einzelnen Schritte der klebtechnischen Fertigung

- Umgebungsbedingungen
  - Sauber frei von Verunreinigungsquellen
  - Trocken
  - Temperatur gem. Angaben des Klebstoffherstellers (meist 15 – 25 °C)
  - Ausreichende Belüftung, ggf. Absaugung
  - Fest zugeteilte Plätze für Klebstoff, Hilfsmittel, Entsorgungsbehälter, etc.
  - Geeignete Behälter zum Abwiegen/Mischen
  - Geeignete, intakte Verarbeitungsgeräte (Kartuschenpistole, Spatel, fusselfreie ungefärbte Reinigungstücher, Rührer, Eieruhr, Fixiervorrichtung, etc.)
  - Persönliche Schutzausrüstung (Schutzbrille, Hautschutz/Handschuhe, Atemschutz, etc.) gem. Sicherheitsdatenblätter des Klebstoffs, Lösemittels, Primer, etc.
  - Funktionierende Sicherheitseinrichtung (Absaugung, Feuerlöscher, Augendusche, Waschbecken, etc.) gem. Sicherheitsdatenblätter des Klebstoffs, Lösemittels, Primer, etc.

## Klebung fachgerecht ausführen:

Die einzelnen Schritte der klebtechnischen Fertigung

- Umgebungsbedingungen (Arbeitsplatz, Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Beleuchtung,)
- Materialien bereitstellen
- Fügeteile, Primer und Klebstoff akklimatisieren
- Arbeits- und Umweltschutz berücksichtigen (Absaugung, PSA)
- Qualität der Fügeteile (Oberfläche, Passgenauigkeit) prüfen
- Klebstoff und ggf. Primer prüfen (Identität, Verfallsdatum, Temp., Gebinde, Wareneingangskontrolle, fertigungsbegleitende Prüfkörper)
- Oberflächen vorbehandeln (Prozessbedingungen sicherstellen)
- Klebstoff dosieren, ggf. mischen und auftragen (Überwachung relevanter Parameter, wie z.B. Ort, Menge, Form, Mischungsverhältnis, Prozessfenster)
- Fügen, Fixieren, Aushärten,
- Entnahme und weitere Bearbeitung unter Berücksichtigung der erreichten Festigkeit

Aufgrund der Vielzahl der verschiedenen Klebstoffsysteme, die alle spezifischen Anforderungen an den Klebprozess stellen und auch der verschiedenen Anforderungen an die jeweilige Aufgabe konnten nur grundlegenden Punkte angesprochen werden.

Weite Informationen erhalten Sie z.B.

- im IVK-Leitfaden *Kleben – aber richtig\**,
- DVS Merkblatt 3310
- in den Klebstoffdatenblättern bzw. von den Klebstoffherstellern
- Unabhängigen, beratenden Fachleuten

\* <http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>



Quelle: AluMATTER.org

**Vielen Dank für  
Ihre  
Aufmerksamkeit  
Fragen?**

\* <http://leitfaden.klebstoffe.com/index.php>



Quelle: AluMATTER.org