

Didaktische Struktur jeder Schulung / Lehreinheit

*Kurzer Rückblick
auf die vorige
Veranstaltung*

Eyecatcher, Bezug
zu Aktuellem aus
der Presse, zu
Vorwissen, Rele-
vanz des Themas

Aufgabenstellung in der
Abgrenzung zum Vorwissen zur
inhaltlichen Einführung

Wissenschaftlicher
Hintergrund

Technischer, physikalischer, mecha-
nischer, organisatorischer Hintergrund

Mathematische Ab-
leitung, Modellierung

Lösung der Aufgabenstellung,
Lösungsansatz, Neue Methode

Anwendungen, Grenzen der
Gültigkeit und Übertragbarkeit

Zusammenfassung, Fragen, Überprüfen
des Erlernten, Ausblick des Themas

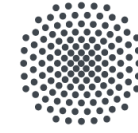


*Flagge des Nunavut-Territoriums
mit „Inuksuk“-Figur*

„gleich einem Menschen“

*bedeutet hier „Navigations-,
Koordinationshilfe“ für die
Zielstruktur einer Lehreinheit.*

Quelle: IFU



Universität Stuttgart

Tribologie in der Blechumformung

Ein Musterbeitrag für die WGP-Produktionsakademie

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Mathias Liewald MBA



Weiterbildungsreihe Form-Impulse

Institut für Umformtechnik

Form-Impulse
Umformtechnik

IFU

Soll Reibung „klein“ oder „groß“ sein?

Eyecatcher – Einführung in das Thema Reibung



Zwei Lösungswege für dieselbe Problemstellung „wie kann ein PKW eine geneigte Ebene hinauffahren“?

Quellen: K. Block, AUDI

...und wie ist das mit dem Verschleiß? Was ändert sich da genau?

Eyecatcher – Einführung in das Thema Verschleiß



Quellen: KÜS Magazin

Wer „Tribologie“ sagt, meint damit sowohl „Reibung“ als auch „Verschleiß“

Abgrenzung zum Vorwissen

Tribologie

Reibung

Bewegungswiderstand



Quellen: WELT

Verschleiß

Oberflächenveränderung



Quelle: www.piqsels.com

Tribologie (griechisch) ~ die Reibungslehre

Definitionen - Beschreibungen

Tribologie:

Tribologie ist die Wissenschaft und Technik von **aufeinander einwirkenden Oberflächen in Relativbewegung**. Sie umfasst das Gesamtgebiet von **Reibung und Verschleiß**, einschließlich **Schmierung**, und schließt entsprechende **Grenzwechselwirkungen** sowohl **zwischen Festkörpern als auch zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten oder Gasen** ein.

Reibung:

Reibung ist eine physikalische **Wechselwirkung zwischen** sich berührenden **Stoffbereichen** von Körpern. Sie **wirkt einer Relativbewegung entgegen**. Bei **äußerer Reibung** sind die sich berührenden Stoffbereiche **verschiedenen Körpern**, bei **innerer Reibung** ein und **demselben Körper** zugehörig.

Verschleiß:

Fortschreitender Materialverlust an der Oberfläche fester Körper, hervorgerufen **durch** mechanische Ursachen, d.h. **Kontakt und Relativbewegung**.

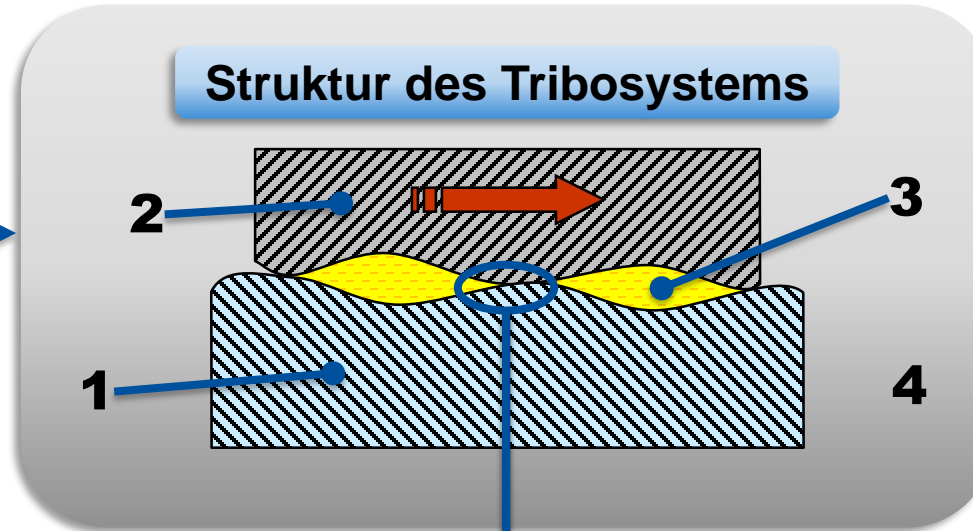
Quelle: Lange, Handbuch Umformtechnik

Das tribologische System

Relevanz des Themas - Definition des Tribo-Technischen Systems nach DIN 50320 (zurückgezogen)

Beanspruchungskollektiv:

- Verlauf und Dauer von Belastung,
- Geschwindigkeit und Temperatur,
- Bewegungsart (Gleiten, Wälzen, Stoßen, Strömen)
- Bewegungsform (kontinuierlich, oszillierend, intermittierend)



- 1 Grundkörper
- 2 Gegenkörper
- 3 Zwischenstoff
- 4 Umgebungsmedium

Oberflächenveränderungen
(Verschleißerscheinungsform)

Materialverlust
(Verschleißmessgröße)

Reibungs- und
Verschleißkenngrößen

Quelle: DIN 50320 (zurückgez.) oder GFT Arbeitsblatt 7

Das tribologische System

Relevanz des Themas - Definition des Tribo-Technischen Systems nach DIN 50320 (zurückgezogen)

Tribotechnisches System (TTS) oder Tribosystem:

Das Tribosystem umfasst alle an einer tribologischen Beanspruchung beteiligten stofflichen Komponenten, ihre Eigenschaften sowie die für die Beanspruchung charakteristischen Vorgänge und Größen. Die Komponenten eines tribotechnischen Systems sind:

1. Grundkörper, 2. Gegenkörper, 3. Zwischenstoff und 4. Umgebungsmedium

Aufgaben des TTS in der Blechumformung:

Trennen, Tragen und Schmieren bei Mischreibungsverhältnissen.

Trennen:

Der Zwischenstoff trennt die relativ zueinander bewegten Oberflächen durch einen unter Druck stehenden Film oder verändert diese Oberflächen durch chemische und physikalische Reaktionen.

Der Zwischenstoff verhindert Adhäsions- und Diffusionsvorgänge.

Quelle: Grundlagen der Tribologie: Reibung, Verschleiß und Schmierung & Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik

Das tribologische System

Relevanz des Themas - Definition des Tribo-Technischen Systems nach DIN 50320 (zurückgezogen)

Tragen:

Das Tragen beschreibt die physikalische Kraftübertragung zwischen Grund- und Gegenkörper !

Diese Kraftübertragung beruht auf drei Mechanismen: 1. Kraftübertragung über die Rauheitsspitzen (Asperiten), 2. hydrostatische Druckwirkung durch mikroskopische, schmierstoffgefüllte Druckkammern und 3. hydrodynamische Druckwirkung im Schmierstoff durch die Relativbewegung.

Durch abrasiven Verschleiß werden Teile der Rauheitsspitzen abgeschert und der Flächenanteil der tragenden Rauheitsspitzen wird vergrößert. Der Zwischenstoff trennt die relativ zueinander bewegten Oberflächen durch einen unter Druck stehenden Film und ermöglicht daher einen dauerhaften Abstand der Grenzflächen auch bei wechselnder Lastapplikation.

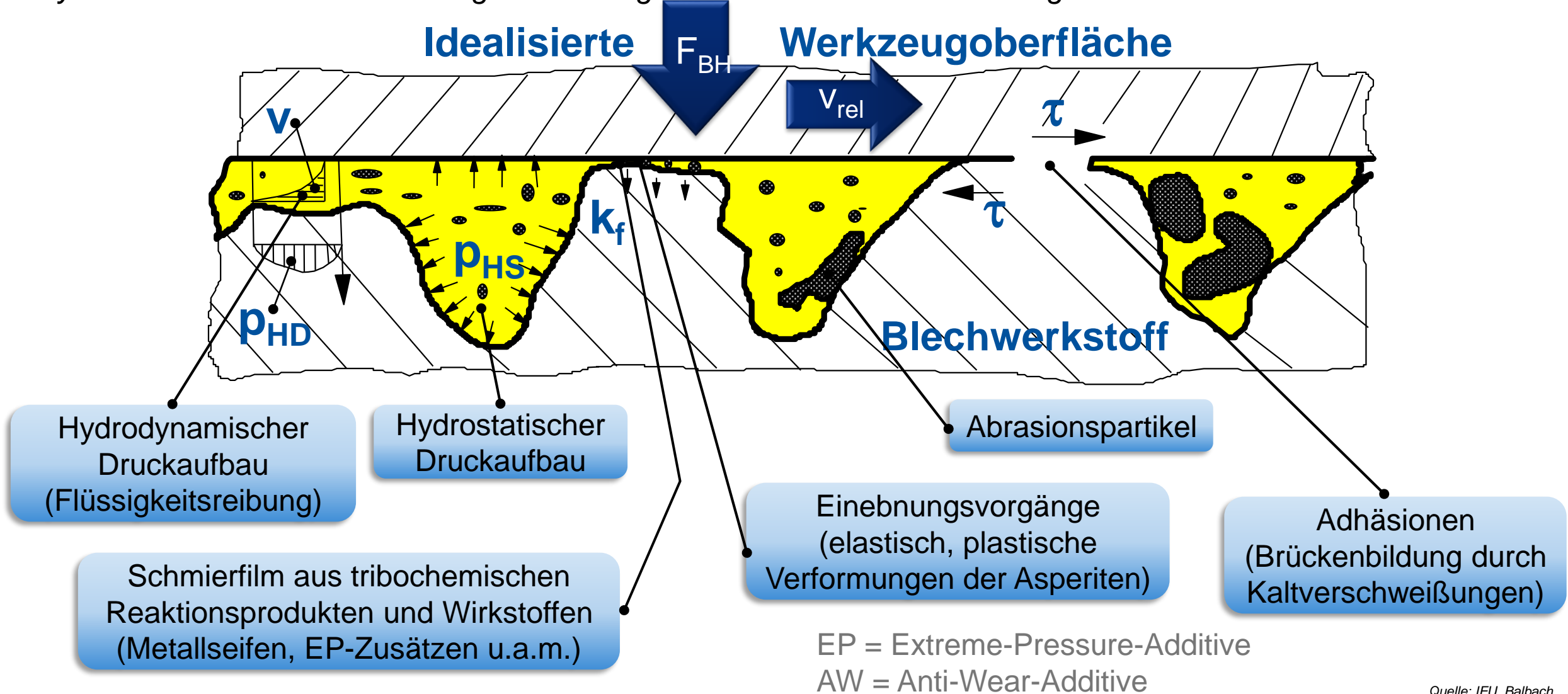
Schmieren:

Die Aufgaben der Schmierung liegen in der Vermeidung von metallischem Kontakt zwischen Werkstück und Werkzeug zum Schutz der Werkzeuge und Bauteile vor Verschleiß und der Verminderung der Reibungsverluste und damit des Kraft- und Energiebedarfs. In der Schmierschicht bildet sich ein Schubspannungsprofil aus.

Quelle: Grundlagen der Tribologie: Reibung, Verschleiß und Schmierung & Handbuch der Tribologie und Schmierungstechnik

Verständnis von Reibung – Flüssigkeits-, Misch- und Festkörperreibung

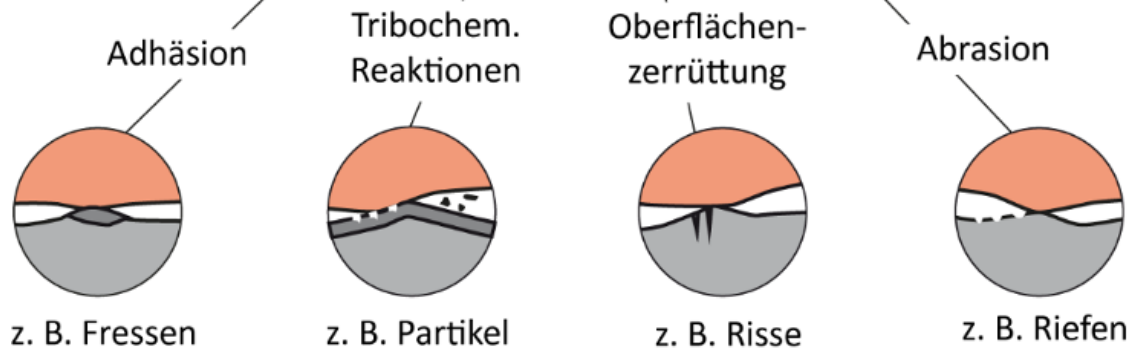
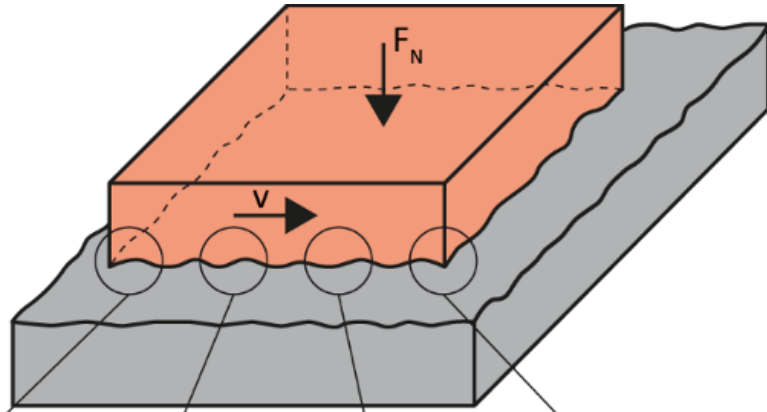
Physikalisches Modell der Reibungsentstehung - Mechanismen in der Wirkfuge



Quelle: IFU, Balbach

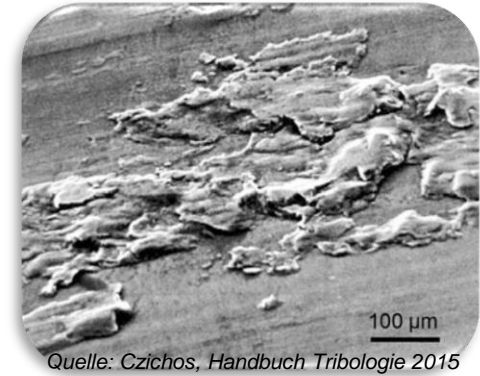
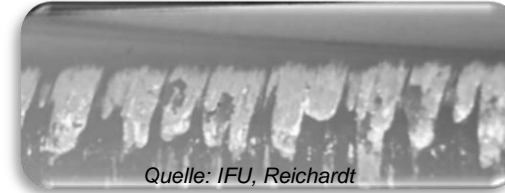
Tribologische Schäden

Verschleißmechanismen (1)



Quelle: Bauer, Tribologie 2021

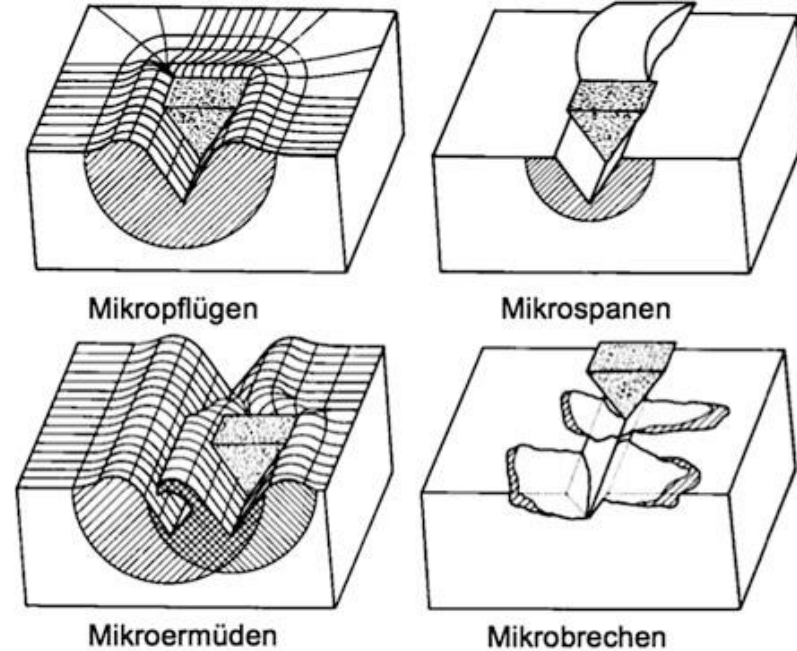
Adhäsion („Fressen“):
makro- und mikroskopisch



Abrasion:

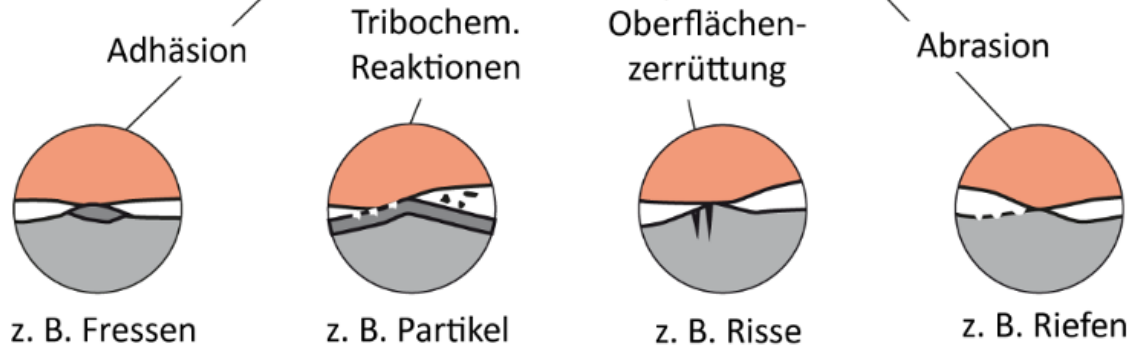
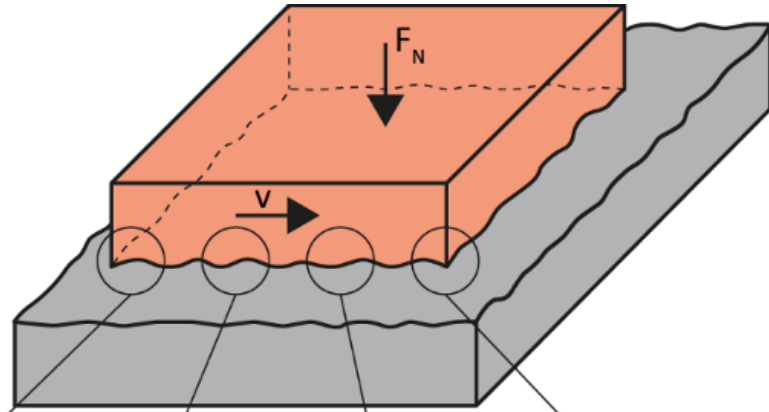


Quelle: Czichos, Handbuch Tribologie 2015



Tribologische Schäden

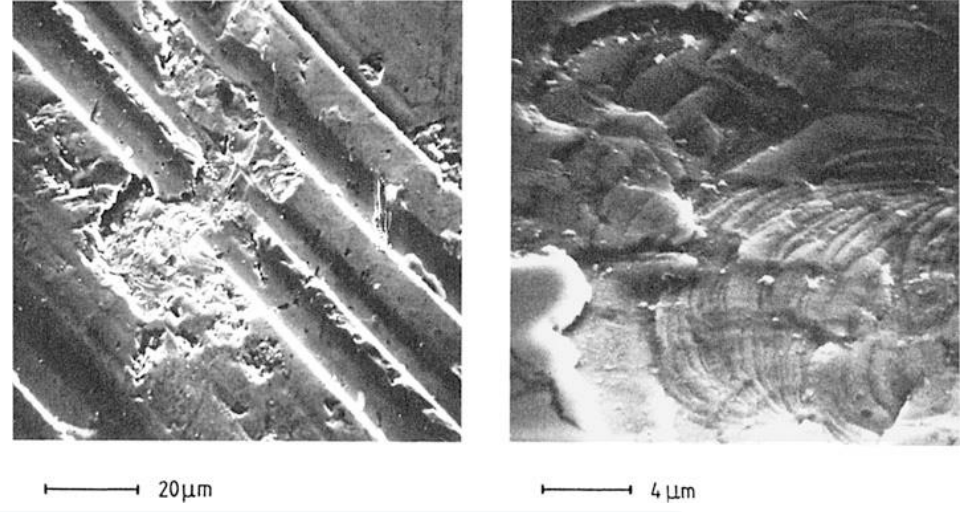
Verschleißmechanismen (2)



Quelle: Bauer, Tribologie 2021

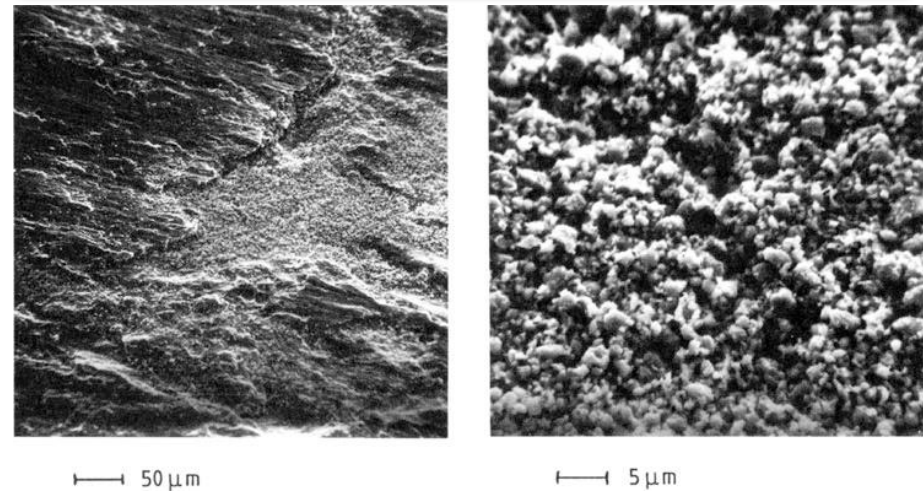
Oberflächenzerrüttung

Quelle: Czichos, Handbuch Tribologie 2015



Tribochemische Reaktionen:

Quelle: Czichos, Handbuch Tribologie 2015



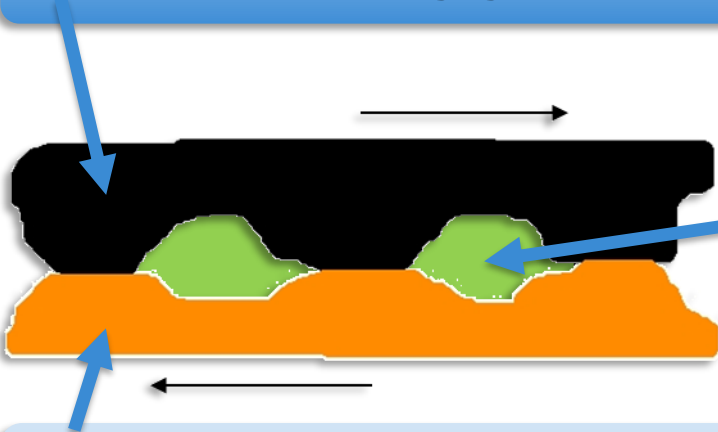
Warum sollte man sich in der Blechumformung mit „der Reibung“ beschäftigen?

Verständnis zugrundeliegender physikalischer Mechanismen

Oberfläche Blech

Blech wird mit einer vom Verarbeiter ausgewählten Oberflächentopologie („Dressur“/ „Texturierung“) mit definierten Eigenschaften bestellt. Kleinste Vertiefungen in der Oberfläche nehmen Schmierstoff und Abrasionspartikel auf.

Die Blechoberfläche wird während der Formgebung aufgrund der reibungsbehafteten Bewegung relativ zum Werkzeug verändert, meist eingeglättet.



Schmierstoff

Der Reibungsbeiwert und die Fähigkeit, einen Schmierstoff zu ändern, hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, wie z. B. Relativgeschwindigkeit, Kontaktnormalspannung, Temperatur und tribochemischen Reaktionen.

Durch die Zugabe von Additiven können die Schmierstoffeigenschaften deutlich verbessert werden.

Oberfläche Werkzeug

In den meisten Fällen wird die Kontaktfläche oder der gesamte Werkzeugeinsatz gehärtet. In speziellen Fällen kann die Oberfläche zur Verbesserung der tribologischen Eigenschaften und der Standzeit oberflächenbeschichtet werden. Mit diesen Maßnahmen kann der Verschleiß reduziert und der Reibungsbeiwert den Anforderungen angepasst werden.

Je geringer der Verschleiß, desto länger ist das Zeitintervall bis zur nächsten Wartung des Werkzeugs, d.h. desto später kann das Auffüllen des verschleißbedingten Fehlvolumens erfolgen.

Quelle: IFU, J. Baur

Trotz Reibung und Verschleiß: das Ziel ist der robuste Umformprozess, hier z.B. Tiefziehen

Erster Transfer des Verständnisses physikalischer Mechanismen

Oberfläche Blech

- Blech mit gezielt erzeugter Oberflächentopologie
- Die Blechoberfläche wird während der Formgebung meist eingeglättet.

Damit ändert sich das Tribo-Technische System (TTS)/ Reibung in verschiedenen Zonen des Werkzeugs und damit die Spannungen und Dehnungen im Bauteil.

Schmierstoff

- Reibungsbeiwert ist Abhängigkeit von vielen Faktoren.
- Additive können die Schmierstoffeigenschaften verbessern.

Lokal angepasste Reibungskräfte beeinflussen den Werkstoffeinlauf, den Spannungs- und Dehnungszustand des Blechwerkstoffs.

Oberfläche Werkzeug

- Kontaktflächen i.d.R. poliert.
- Kontaktflächen oder gesamte Werkzeugeinsätze gehärtet.
- Oberflächenbeschichtungen

Alle Maßnahmen reduzieren den Werkzeugverschleiß und erhöhen die Standzeit (Zeitintervall bis zur nächsten Wartung des Werkzeugs)

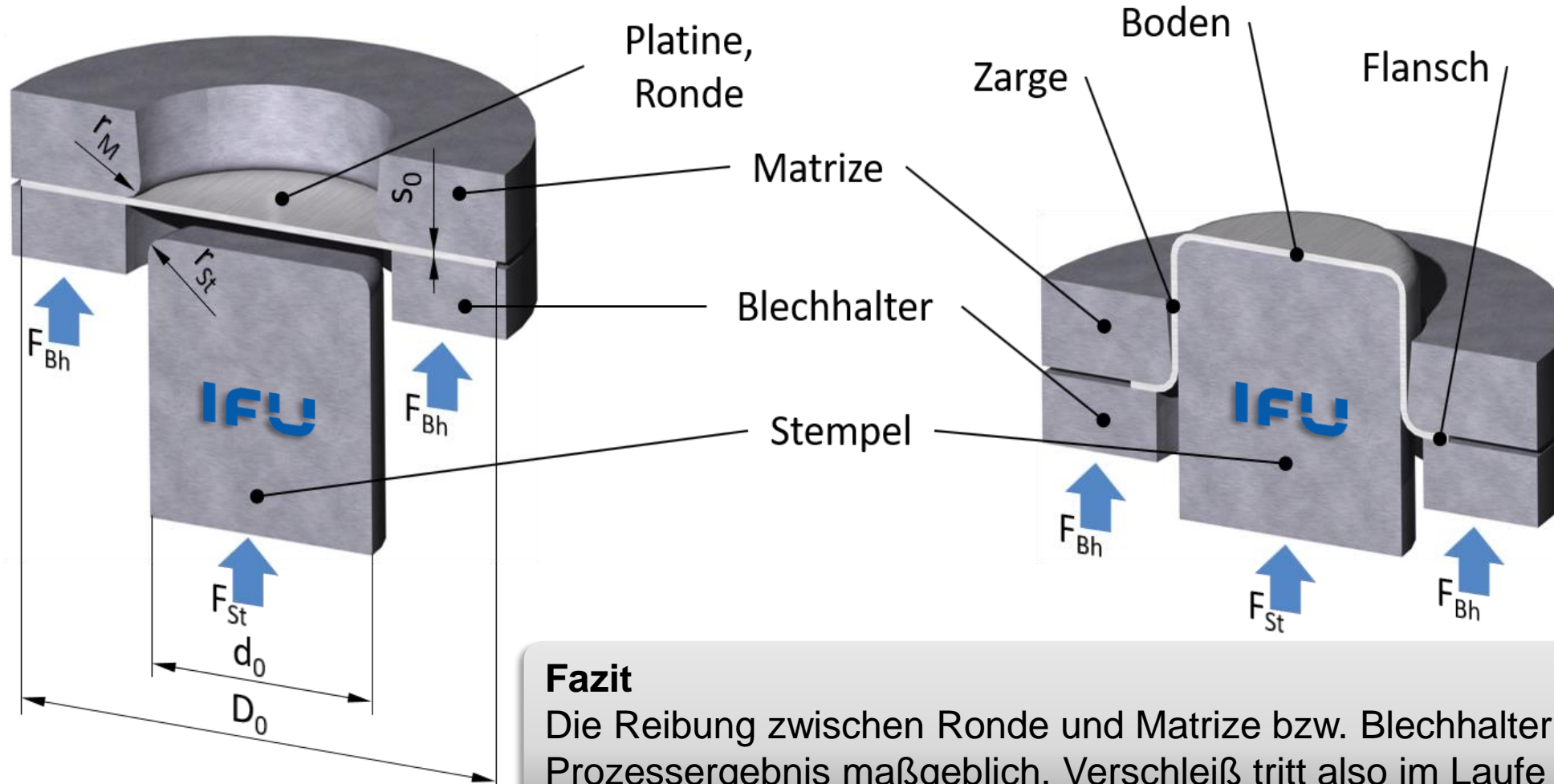
Können nun trotz der genannten veränderlichen Größen wie Reibung und Verschleiß folgende Ziele der Fertigungstechnik erreicht werden?

- Robuster Prozess
- Wirtschaftlichkeit
- Serientauglichkeit
- Qualität Werkstücke
- Nachhaltigkeit

Quelle: IFU, J. Baur

Einschub: Verfahrensprinzip Tiefziehen

Wirkmechanismen im Umformwerkzeug



Fazit

Die Reibung zwischen Ronde und Matrize bzw. Blechhalter bestimmen somit das Prozessergebnis maßgeblich. Verschleiß tritt also im Laufe der Zeit an allen Werkzeugkomponenten auf.

Quelle: IFU, Reichardt/ CIRP Encyclopedia

Einige Gründe mehr, um sich mit „Reibung“ und „Verschleiß“ zu beschäftigen

Kontext des Themas, Umfeld, weitere Aspekte

Robuster Umformprozess

Steuerung des Platineneinlaufs
mittels lokal angepasster
Blechhalterdrücke

Oberflächentopografie
Blech bzw. Platine

Verschleiß Ziehwerkzeug

I.O.?!


Lackierbarkeit Bauteile /
Oberfläche des Bauteils
nach dem Umformen

Umweltfreundliche, nachhaltige und
nicht gesundheitsschädliche
Schmiermittel

Rückfederung Bauteil

Quelle: IFU

Wo soll die Reibung beim Tiefziehen „klein“ oder „groß“ sein?

Der robuste Fertigungsprozess führt zu konstanter Bauteilqualität - Aufgabenstellung




Ziehteil


Wie kann mit einer Veränderung der Reibung der Einlauf des Blechs beim Tiefziehen gesteuert werden?

Wie kann der Verschleiß bei der erforderlichen Reibung niedrig gehalten werden ?

Quelle: IFU

Welche Reibungsverhältnisse stellen sich intrinsisch ein, wie können sie gezielt verändert werden ?

 Flächen mit hoher Rückhaltekraft, d.h. hohe Reibung

 Flächen mit niedriger Rückhaltekraft, d.h. niedrige Reibung

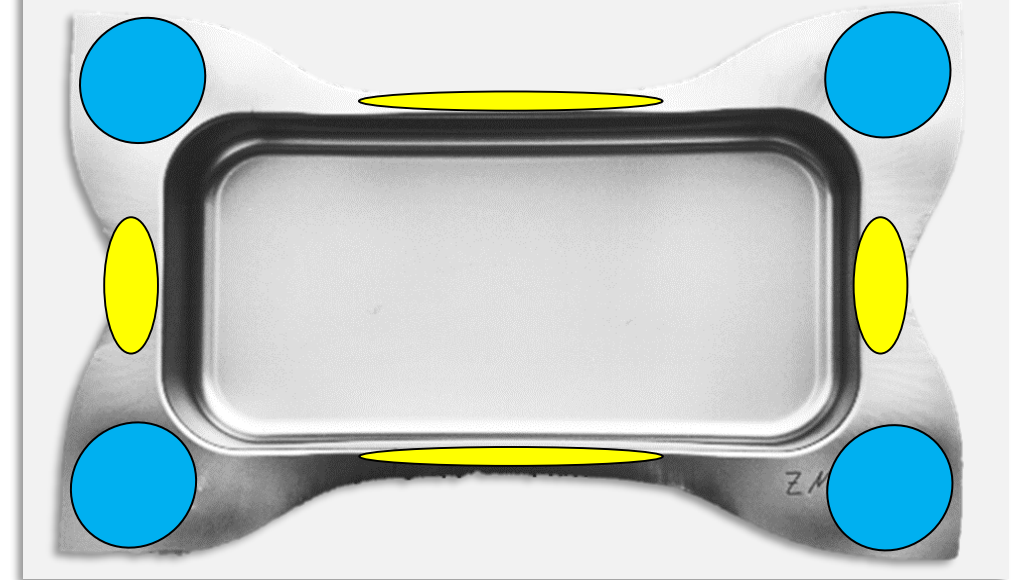
Ohne Maßnahmen



Änderung der Reibungskraft durch Anpassung:

- der lokalen Flächenpressung,
- des Schmierstoffauftrags,
- der Werkzeuggeometrie (Sicken) ...

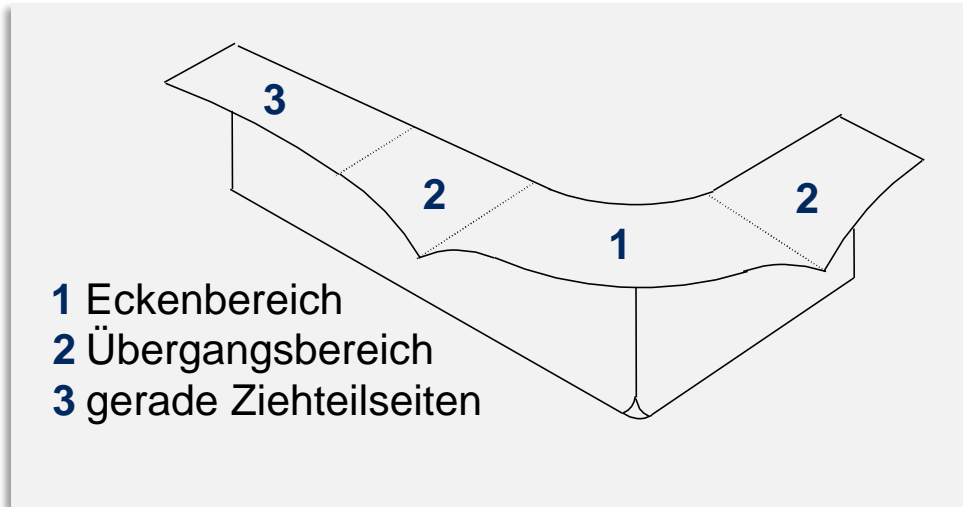
Steuerung bzw. Vorgabe des Flanscheinlaufs



Quelle: IFU

Zerlegung in Teilsysteme – Hintergrund aus der Mechanik

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik



Eckenbereiche (1):

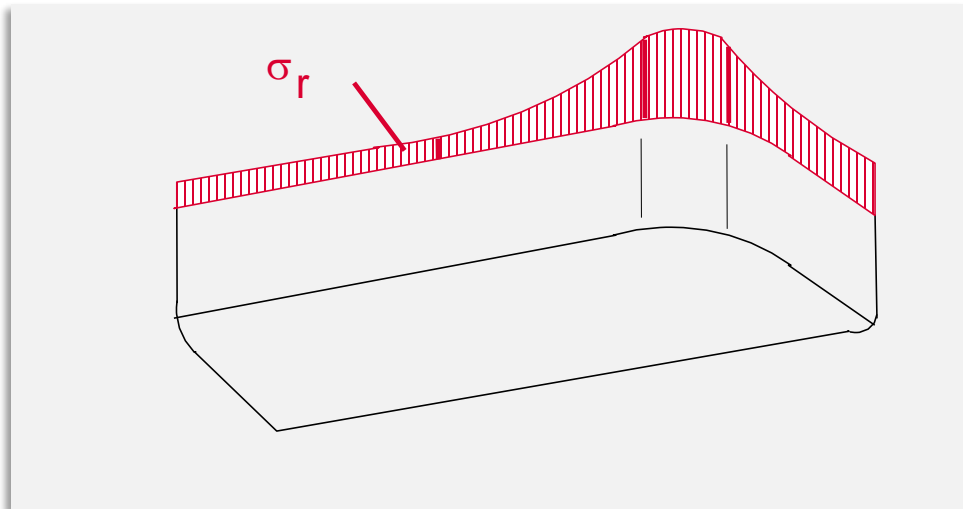
radiale Zug-, tangentiale Druckspannungen führen zu sichtbarer Aufdickung des Flansches

Übergangszonen (2):

tangentiale Spannungen des Eckenbereichs nehmen in Richtung der geraden Ziehteilseiten stetig ab

Gerade Seiten (3):

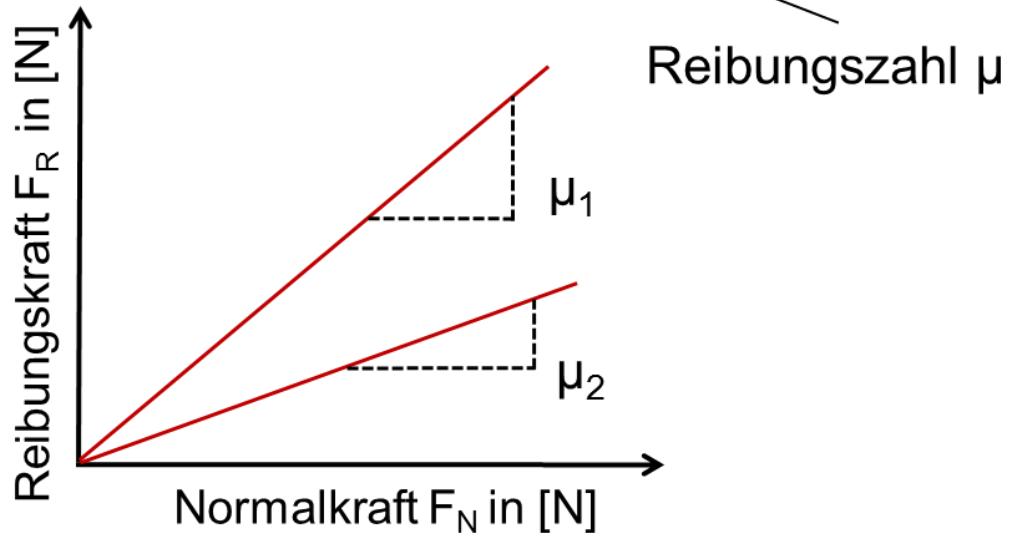
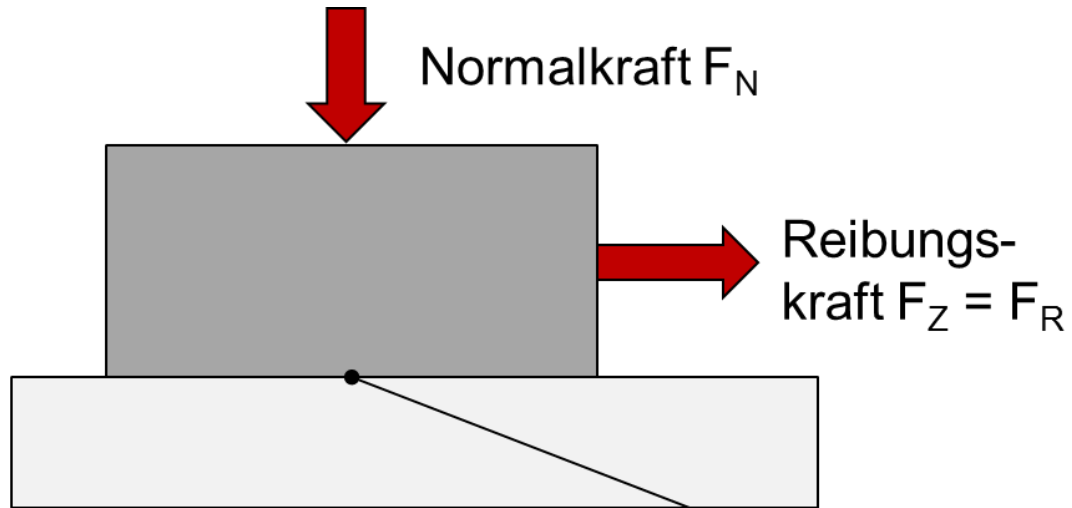
Die Platine wird um Ziehkante herum in die Bauteilzarge hineingezogen, nahezu keine Tangentialspannungen



Quelle: IFUM, Strackerjahn

Reibungsmodelle

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik



$$\mu = f = \frac{F_R}{F_N} = \frac{M_R}{F_N \cdot r} = \frac{\tau_R}{\sigma_N}$$

Nur gültig für:

- geringe Relativgeschwindigkeiten
- kleine Normalspannungen
- Vernachlässigung von Temperatureinflüssen
- Vollen Kontakt zwischen Kontaktflächen

modifiziertes Reibungsgesetz:
 $\mu = f$ (Druck, Geschwindigkeit, Zwischenstoff, ...)

Quelle: IFU, Liewald

Reibungsmodelle

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik
Reibfaktorgesetz

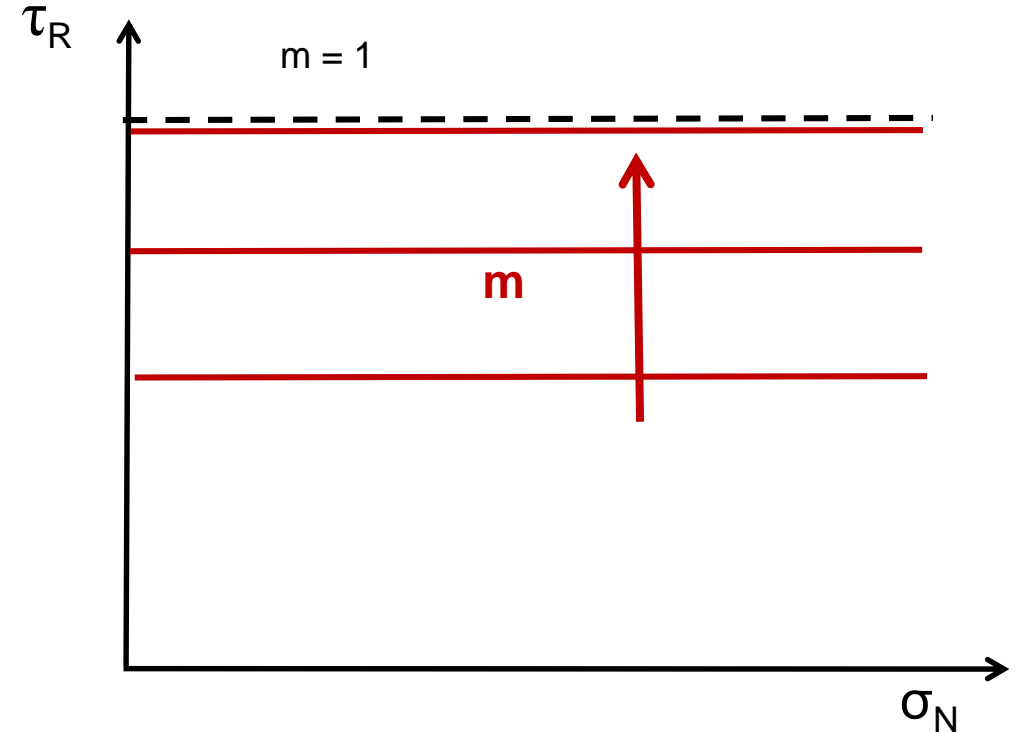
- τ_R ist konstant und unabhängig von σ_N

- Es gilt:

$$\tau_R = m \cdot \frac{k_f}{\sqrt{3}}$$

mit $m = const$ und $0 < m < 1$

- k_f : Fließspannung
- m : Reibfaktor
- Nur grobe Näherung, da Abschätzung des Zahlenwertes von m
- Wird für Umformprozesse mit großen Normalkräften angewendet (z.B. in der Massivumformung)



Quelle: IFU, Liewald

Reibungsmodelle

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik

Reibfaktorgesetz – Woher kommt der Faktor $1/\sqrt{3}$?

Vergleichsspannung im Hauptspannungszustand nach v. Mises (Gestaltänderungsenergiehypothese - GEH):

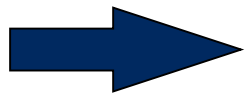
$$k_f = \sigma_{v,M} = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

Maximum im reinen Schubspannungszustand:

$$\sigma_3 = -\sigma_1 \quad \sigma_2 = 0$$

$$k_f = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_1^2 + 4\sigma_1^2}$$

$$k_f = \sqrt{3} \sigma_1$$



$$\tau_{max} = \sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{3}} k_f$$

Quelle: IFU, Liewald

Reibungsmodelle

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik

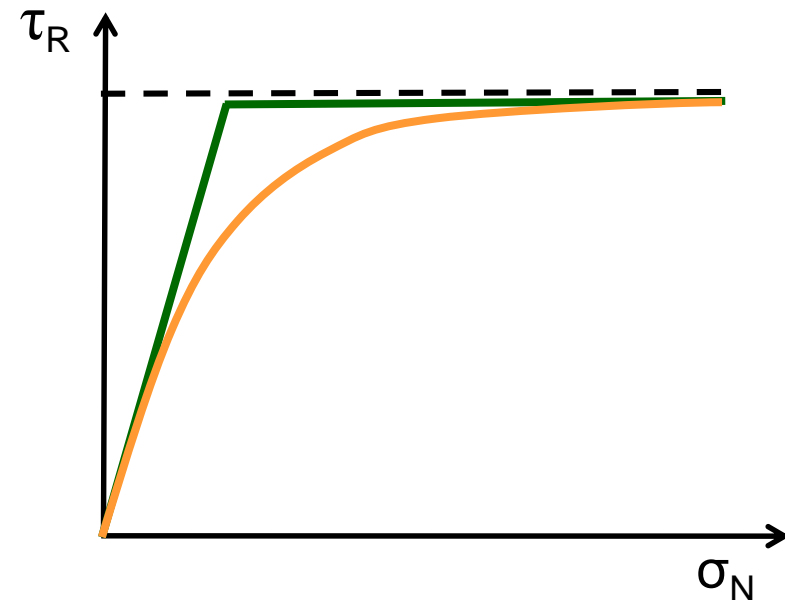
Reibfaktorgesetz nach Orowan / Shawn (1)

Orowan (1943)

- Kombiniert Coulomb und Reibfaktorgesetz auf einfachste Weise
- Niedrige Normalspannung: Gesetzmäßigkeit nach Coulomb
- Hohe Normalspannung: Schubfließspannung k des Werkstoffs
- Es gilt: $\tau_R = \mu \cdot \sigma_N, \tau_{\max} = \frac{k_f}{\sqrt{3}}$
- Nachteil: Unstetiger Übergangsbereich zwischen niedriger und hoher Normalspannung

Shaw (1963)

- Erweitert Orowan um einen stetigen Übergang zwischen niedriger und hoher Normalspannung



Quelle: IFU, Liewald

Reibungsmodelle

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik

Reibungsgesetz nach Orowan/Shaw (2)

Shaw (1963)

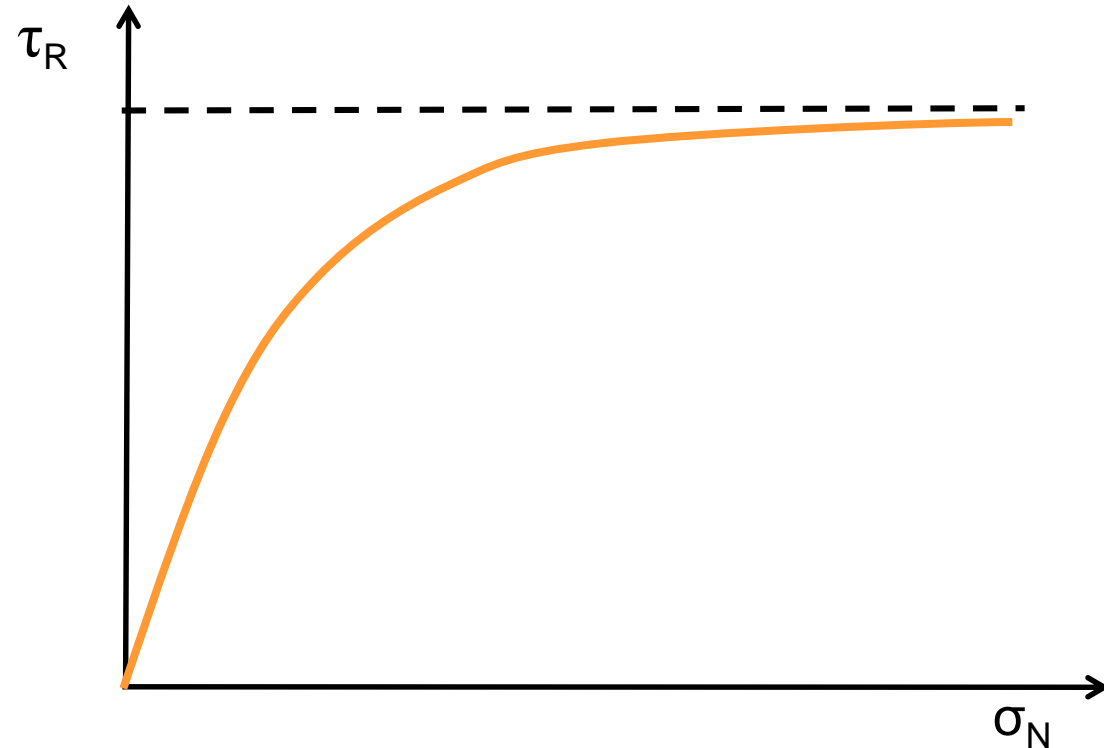
- Mathematische Beschreibung der Funktion von Orowan/Shaw durch Modell nach Neumaier

- Es gilt:
$$\tau_R = m_0 \cdot k \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{\sigma_n}{k_f}\right) \right]$$

- Je nach Umformtemperatur gilt:
 $0,15 \leq m_0 \leq 0,45$

m_0 : Reibfaktor

k : Schubfließspannung des weicheren Reibpartners (metallisch)



Quelle: T. Neumaier, VDI

Reibungsmodelle

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik

Reibungsgesetz nach Wanheim / Bay

Wanheim & Bay (1999)

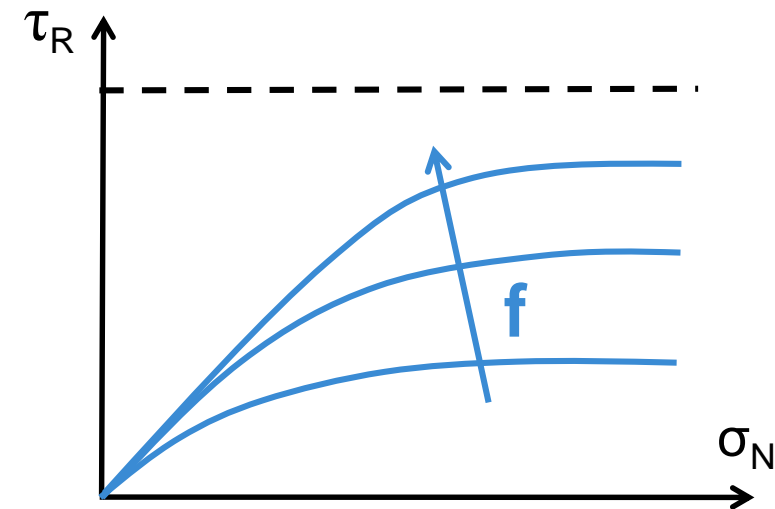
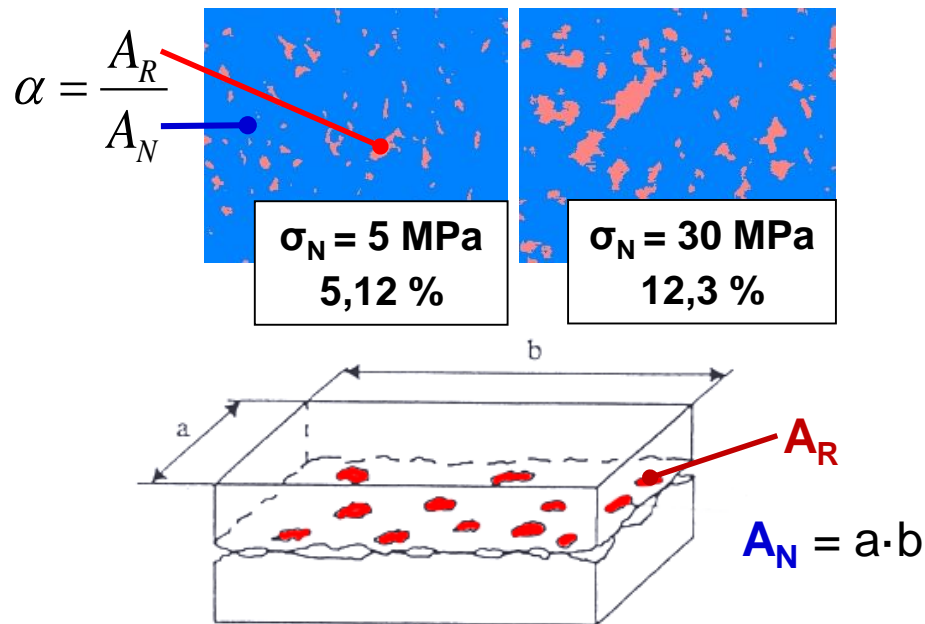
- Kombinieren Coulomb und Reibfaktor-Gesetz
- Erweitern die Gesetzmäßigkeit um den Einfluss der wahren Kontaktfläche zwischen den Reibpartnern

– Es gilt: $\tau_R = f \cdot \alpha \cdot k$

f : Reibfaktor $0 \leq f \leq 1$

α : Verhältnis zwischen der realen Kontaktfläche A_R und der nominellen bzw. scheinbaren Kontaktfläche A_N

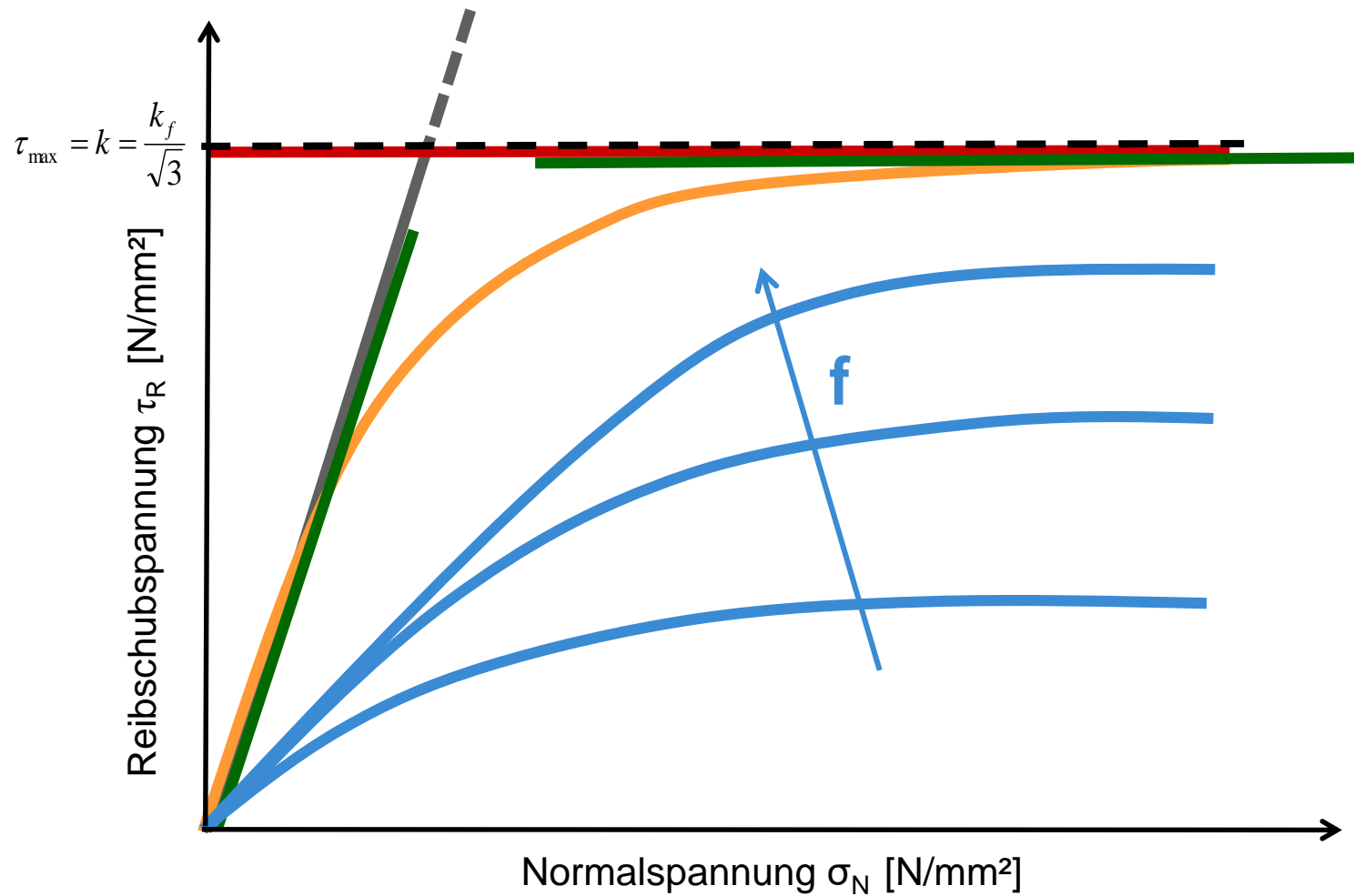
k : Schubfließspannung des weicheren Reibungspartners (metallisch)



Quelle: IFU, Dörr

Reibungsmodelle

Wissenschaftlicher, technischer, physikalischer Hintergrund aus der Mechanik – Reibungsmodelle im Vergleich



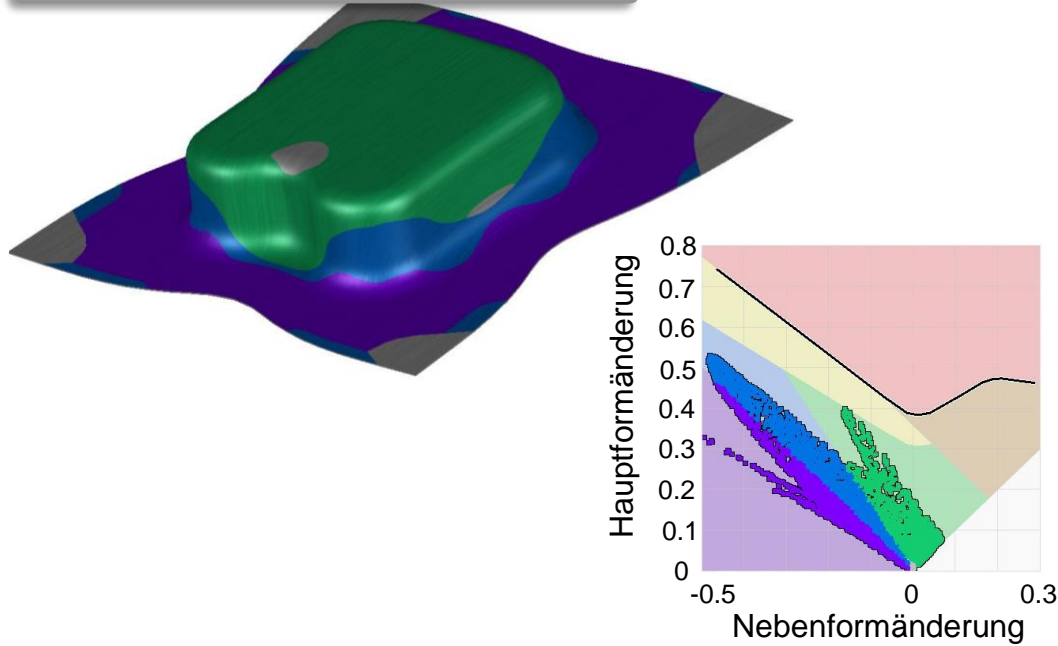
- Coulomb
- Reibfaktor-Gesetz
- Orowan
- Shaw
- Wanheim & Bay

Quelle: IFU, Liewald

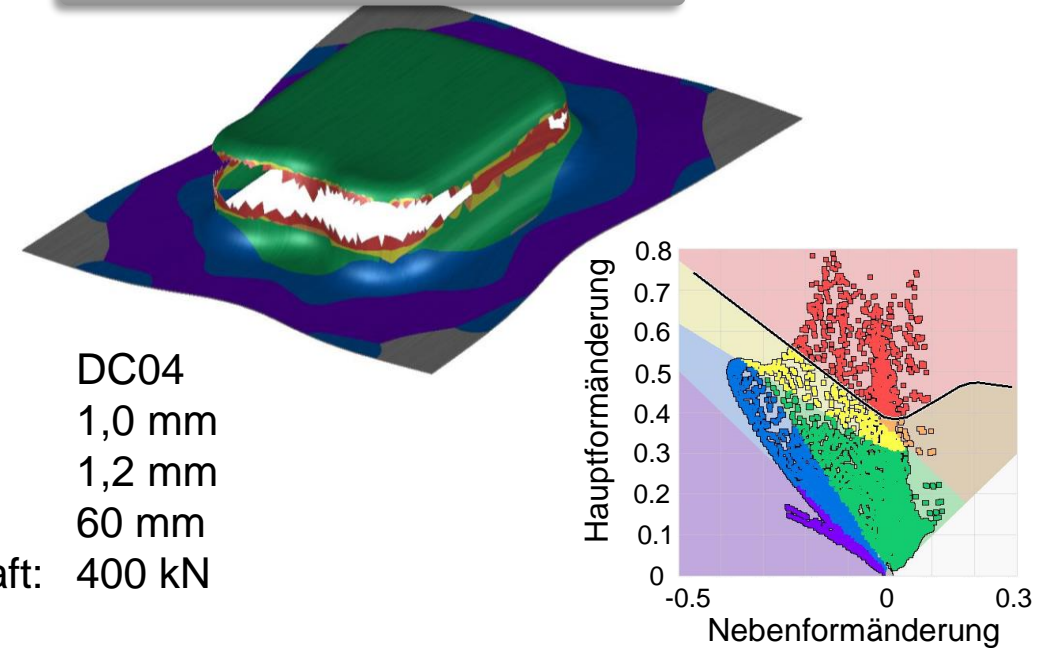
Einfluss der Reibung auf das Werkstück beim Tiefziehen

Die Umformsimulation berechnet fiktive Prozeßbedingungen für eine Erklärbarkeit von Phänomenen

Reibungszahl: $\mu = 0,1$



Reibungszahl: $\mu = 0,2$



Werkstoff: DC04
Blechdicke: 1,0 mm
Ziehspalt: 1,2 mm
Ziehtiefe: 60 mm
Blechhalterkraft: 400 kN

Blechrückhaltung beim Tiefziehen hängt von der Reibung (bzw. der Reibungszahl) ab.

Beim Tiefziehen führt eine höhere Reibungszahl zu einer stärkeren Blechrückhaltung (bei gleicher angewandter Blechhalterkraft). Infolgedessen tritt zuerst eine erhöhte Ausdünnung der Blechdicke und anschließend eine Rissbildung beim Ziehvorgang auf.

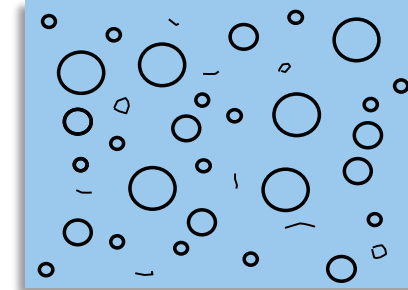
Quelle: IFU, R. Radonjic

Oberflächen von Feinblechen - Oberflächentexturierung

Lösungswege: Verbesserung der tribologischen Eigenschaften durch eingewalzte Mikrostrukturen (Dressieren)

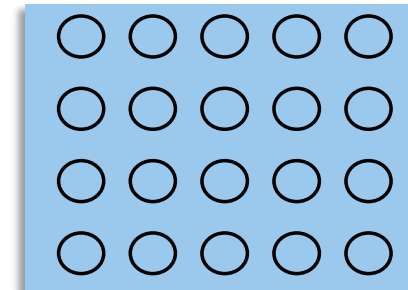
Stochastische
Oberflächen

Regellose, statistische Verteilung
verschiedener Strukturmerkmale auf
der Oberfläche der Dressierwalze



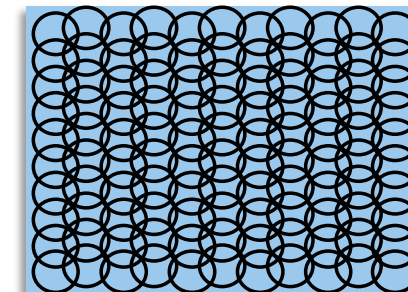
Deterministische
Oberflächen

Definierte Anordnung geometrisch
einheitlicher Strukturmerkmale auf
der Oberfläche der Dressierwalze



Pseudo-stochastische
Oberflächen

Definierte Anordnung einheitlicher
Strukturmerkmale auf der Oberflä-
che der Dressierwalze, die nicht
voneinander isoliert sind.

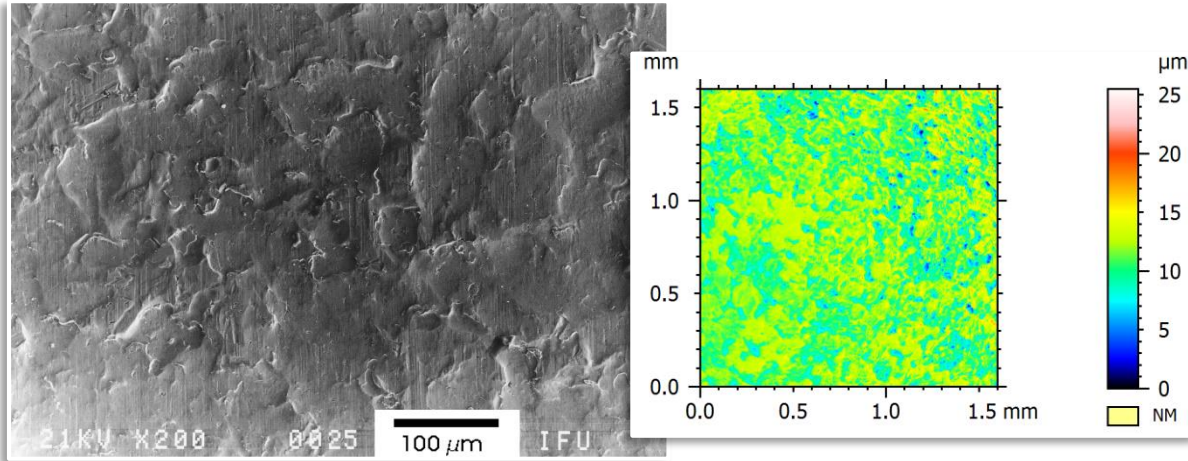


Quelle: IFU

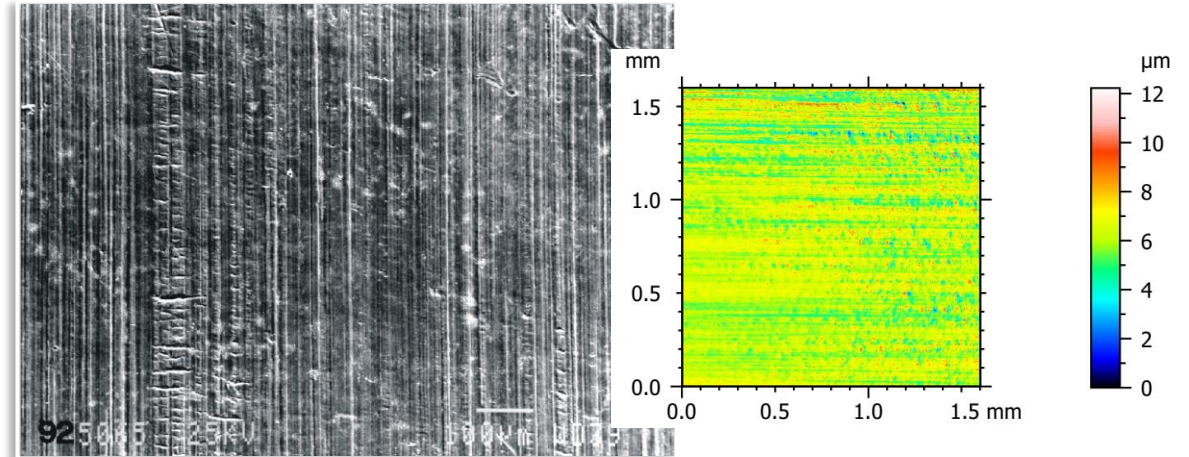
Oberflächen von Feinblechen - Oberflächentexturierung

Lösungswege: Verbesserung der tribologischen Eigenschaften durch eingewalzte Mikrostrukturen

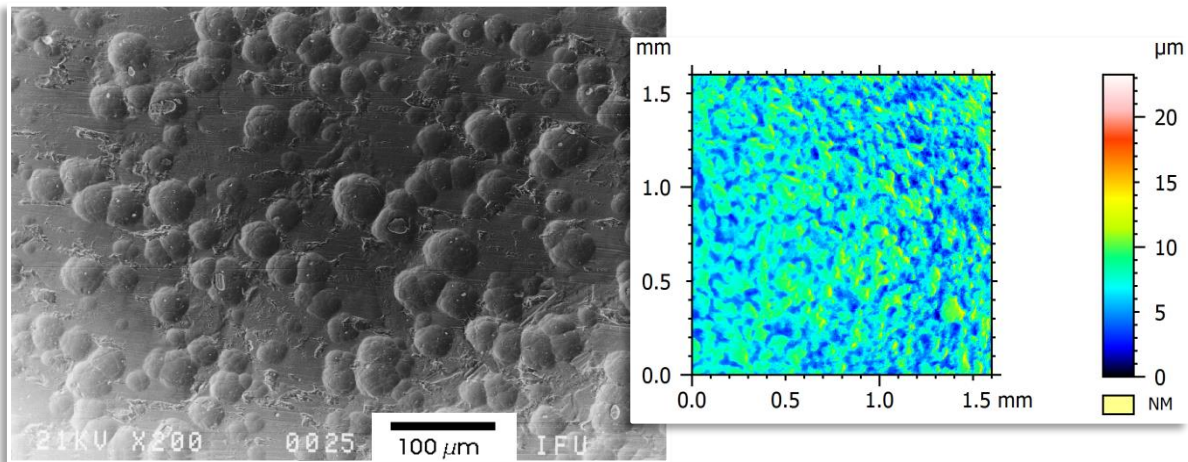
EDT: Electro Discharge Texturing



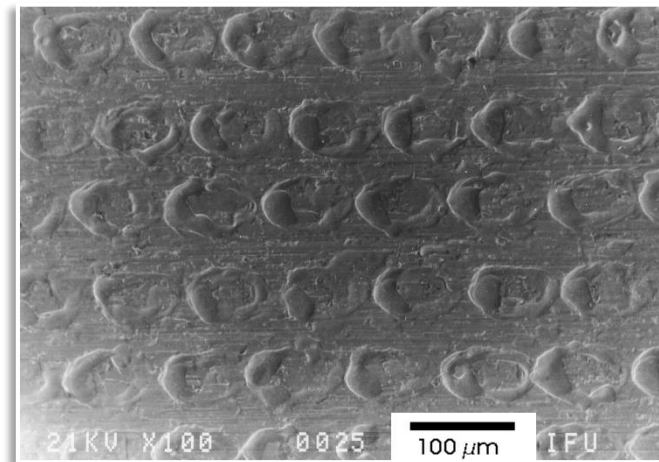
Mill Finish: Walze geschliffen



ECD: Electro Chromium Deposite



Lasertex: Laser Texturing



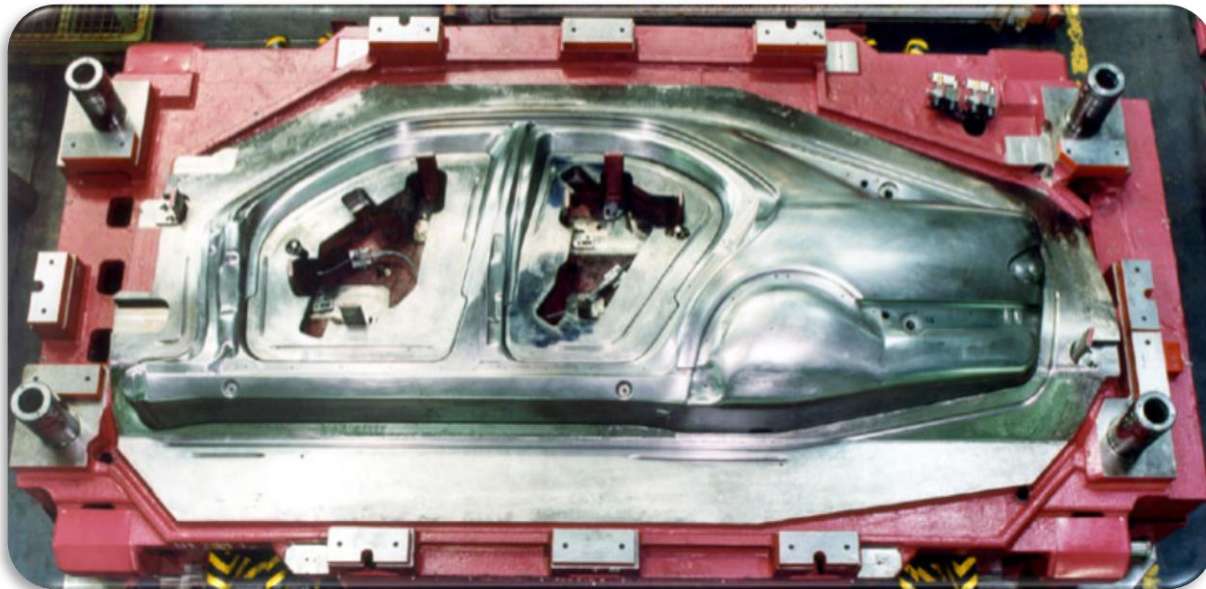
Quelle: IFU

Ziele der Werkzeugbeschichtung

Lösung der Aufgabenstellung, Lösungsansatz durch Werkzeugbeschichtung

Das Beschichten eines Werkzeugs hat das Ziel, harte und verschleißfeste Oberflächen zu erzeugen, um Reibung und Verschleiß zu minimieren und die Prozessverhältnisse möglichst lange konstant zu halten!

- länger konstant bleibender Arbeitszustand des Ziehwerkzeuges
- andauernde Maßgenauigkeit der Bauteile
- längere Standzeit bis zur nächsten Werkzeugwartung

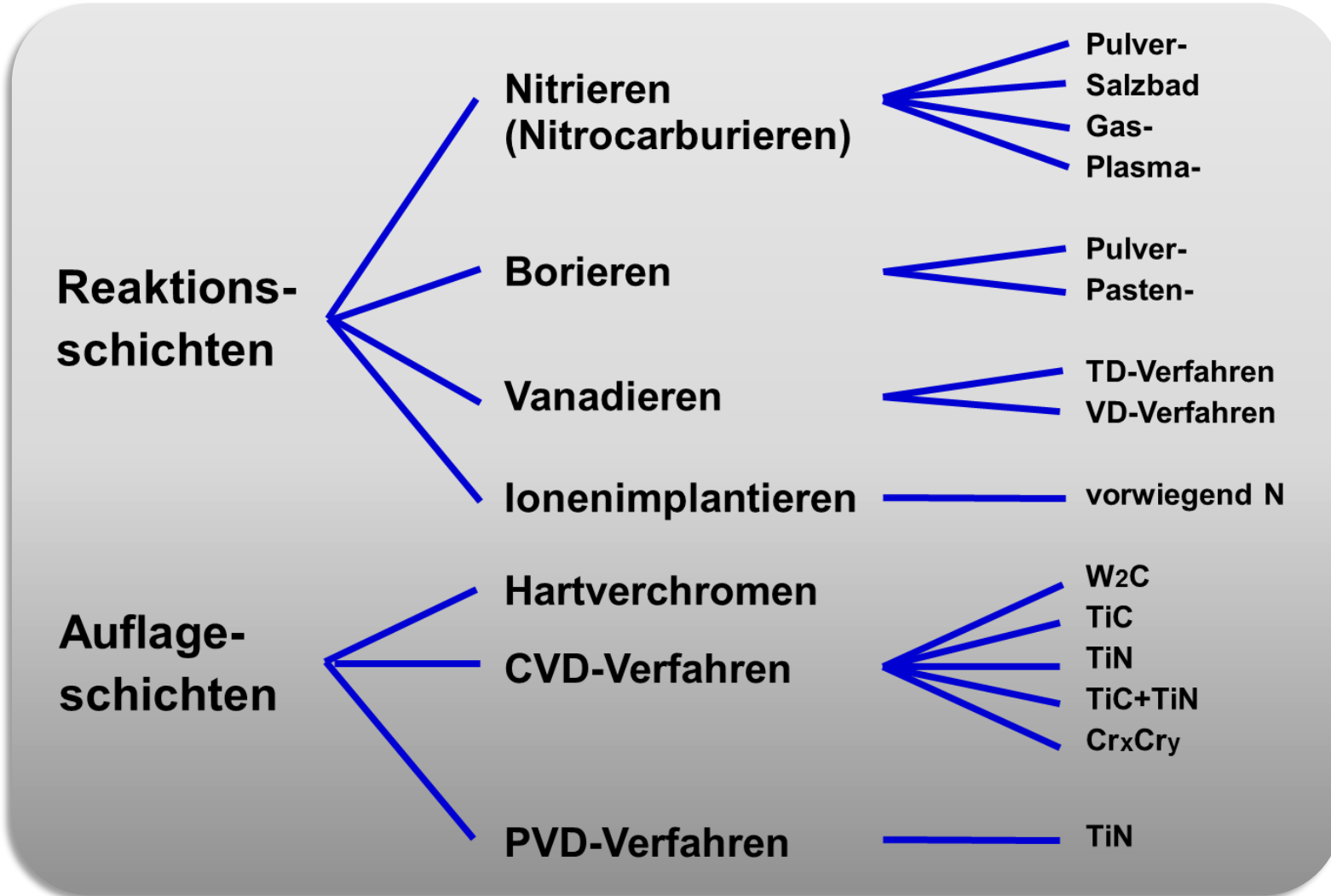


Motorträger hinten
Werkstoff: H380LA
Blechdicke: 1,8 mm

Quelle: Doege, Behrens / Handbuch Umformtechnik

Übersicht Beschichtungsverfahren von Werkzeugoberflächen für die Blechumformung

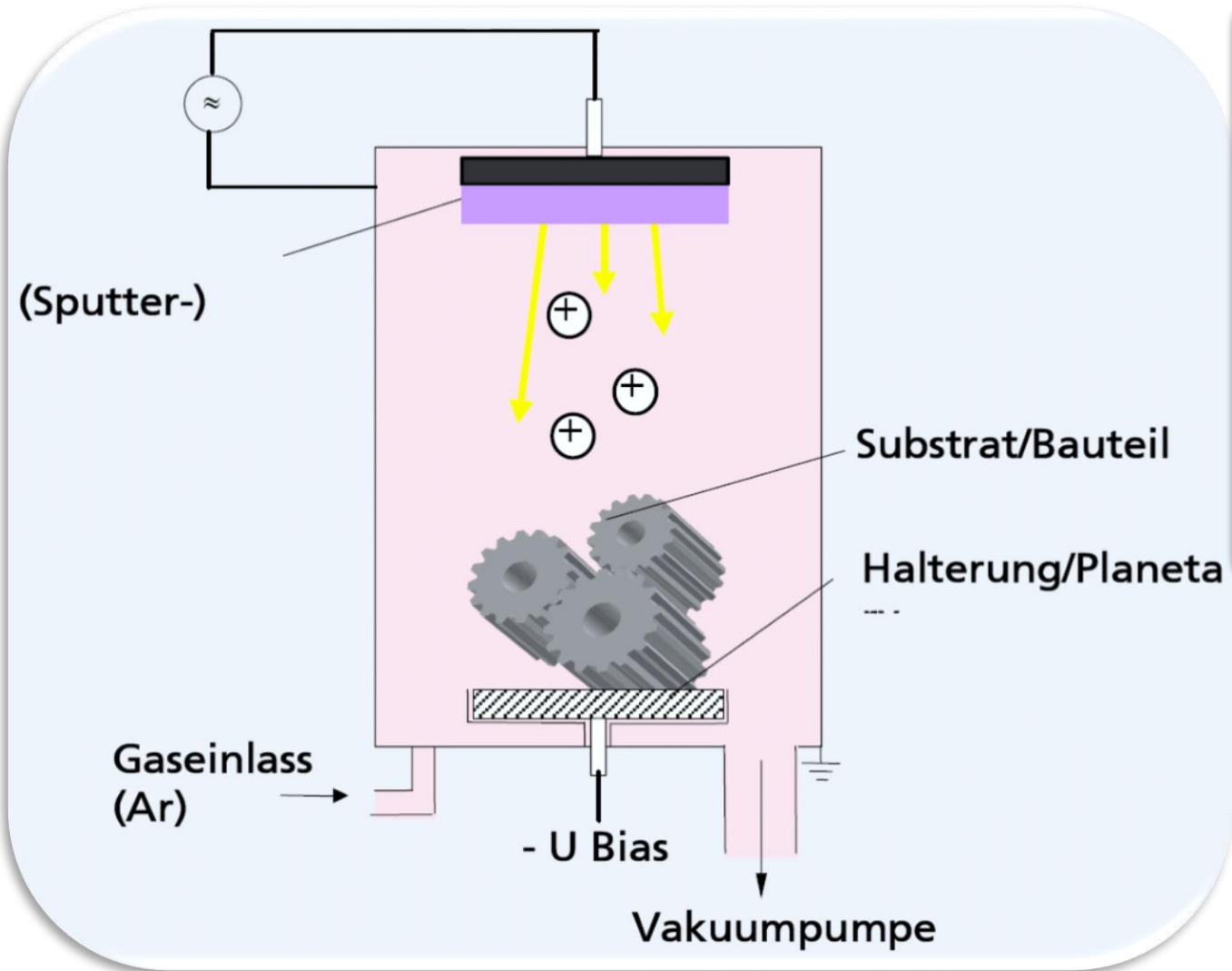
Lösung der Aufgabenstellung, Lösungsansatz durch Werkzeugbeschichtung



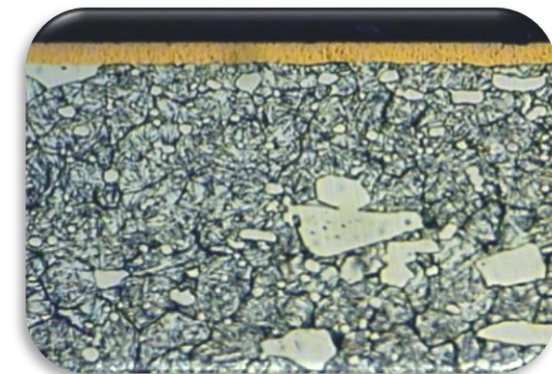
Quelle: IFU

PVD-Beschichtungsverfahren (physical vapour deposition)

Lösung der Aufgabenstellung, Lösungsansatz durch Werkzeugbeschichtung



Durch den Beschuss mit Laserstrahlen, magnetisch abgelenkten Ionen oder Elektronen sowie durch Lichtbogenentladung wird das Material, das als Target bezeichnet wird, verdampft. Das verdampfte Material bewegt sich entweder ballistisch oder durch elektrische Felder geführt durch die Kammer und trifft dabei auf die zu beschichtenden Werkstücke, auf denen es zur Schichtbildung kommt. Die dabei erzeugten Schichtdicken auf den Umformwerkzeugen bewegen sich zwischen 1 und 15 μm .

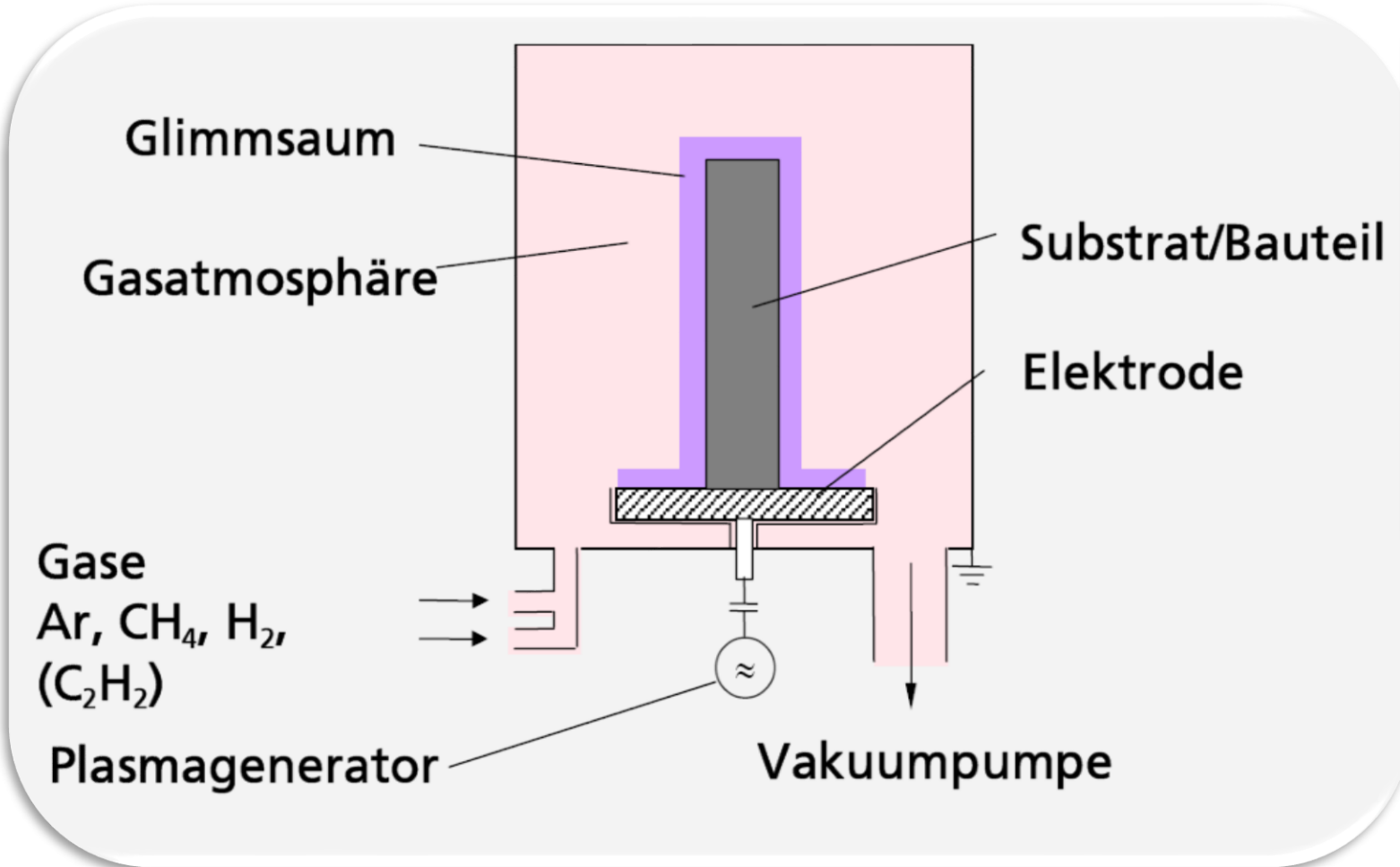


TiN

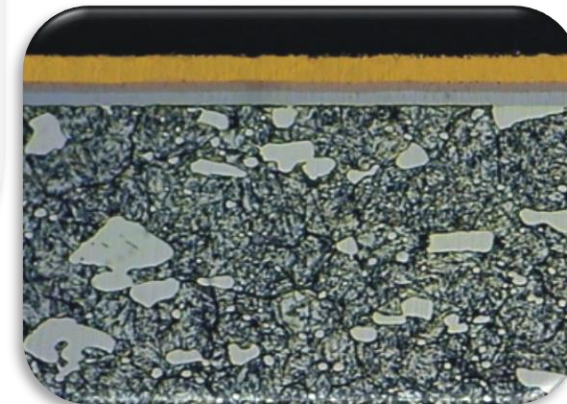
Quelle: Fraunhofer IST

CVD-Beschichtungsverfahren (chemical vapour deposition)

Lösung der Aufgabenstellung, Lösungsansatz durch Werkzeugbeschichtung



Beim CVD-Verfahren handelt es sich um die Abscheidung von Feststoffen aus der Gasphase bei Temperaturen bis zu 1.100°C, wobei die Gasphase im Gegensatz zu den PVD-Verfahren auf chemischem Weg erzeugt wird. Man macht sich dabei zunutze, dass flüchtige Verbindungen unter Zuführung von Wärme chemisch reagieren und als Schicht kondensieren.

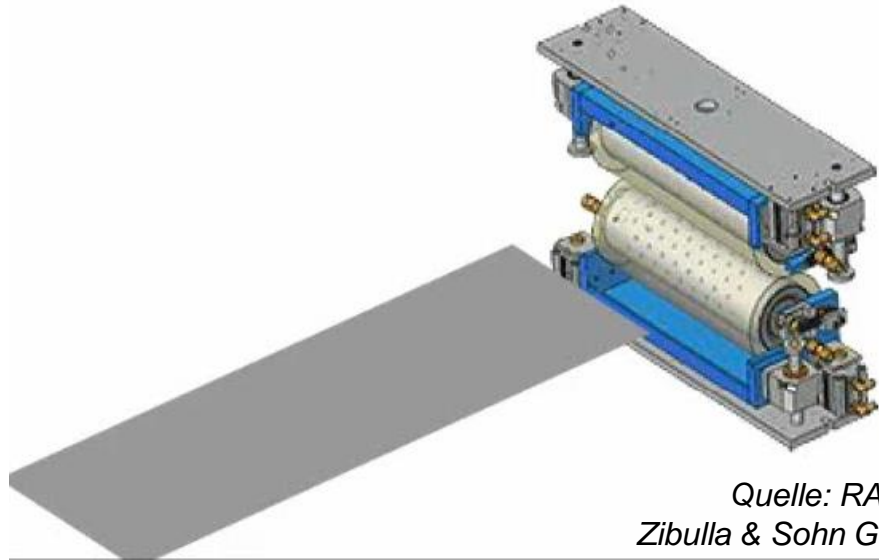


TiC/TiN

Quelle: Fraunhofer IST

Schmierstoffauftrag – wo und wieviel ?

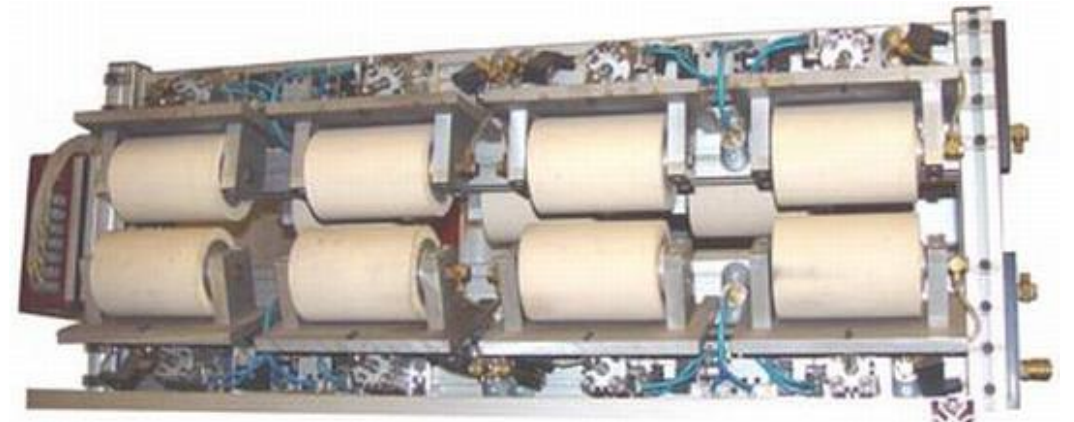
Lösung der Aufgabenstellung, Lösungsansatz durch gezielten Schmierstoffauftrag auf der Platine



Quelle: RAZIOL
Zibulla & Sohn GmbH

Von innen beölte Filz-, Bürsten- bzw. Cellporwalzen tragen eine definierte Schmierstoffschicht auf Ronden und Platinen auf Bänder oder Platinen auf.

Mit einer Sektorbeölung können die einzelnen Bereiche (Sektoren) je nach Bandbreite zu- oder abgeschaltet werden. Jede Walze wird separat mit Öl versorgt. Somit können die einzelnen Bahnen mit unterschiedlicher Ölmenge beschichtet werden.

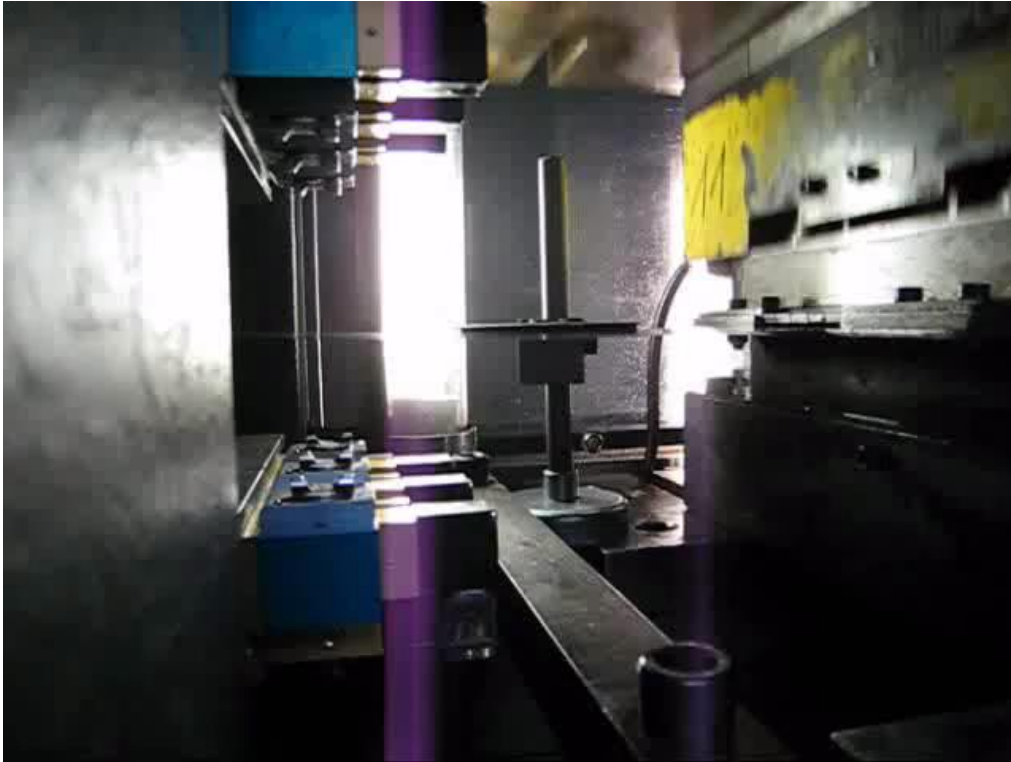


Quelle: ECKARDT Umformtechnik GmbH

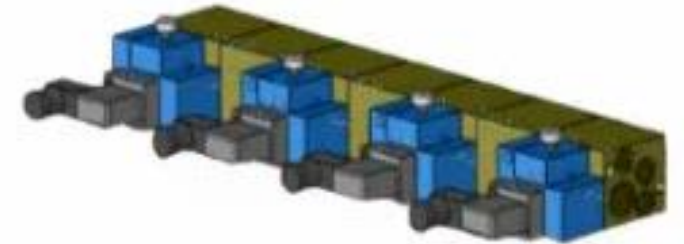
Schmierstoffauftrag – wo und wieviel ?

Anwendung der Lösungen: Gezielter Schmierstoffauftrag auf der Platine

Sprühanlagen bestehen aus der Anordnung von mehreren Düsen in einem so genannten Düsenbalken incl. aller notwendigen pneumatischen, elektrischen und medienführenden Baugruppen. Je nach Art des Blechwerkstoffs und der nachfolgenden Umformung ist eine **vollflächige**, eine **partielle** (oben) oder eine **sektorielle Schmierstoffapplikation** (unten) möglich. Die **Dosierung** der Auftragsmenge wird durch Systemparameter wie Öldruck und Öltemperatur sowie durch Düsenparameter wie Düsenquerschnitt und Schaltverhalten gesteuert.



Quelle: RAZIOL Zibulla & Sohn GmbH



Lernfragen

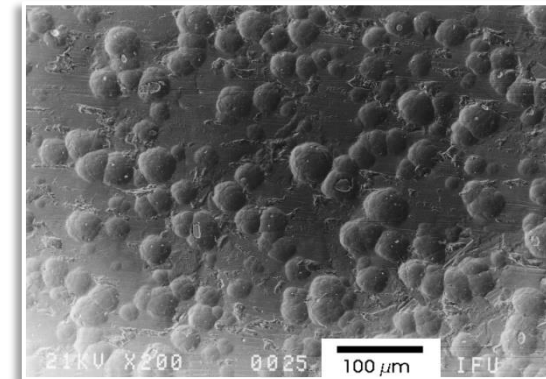
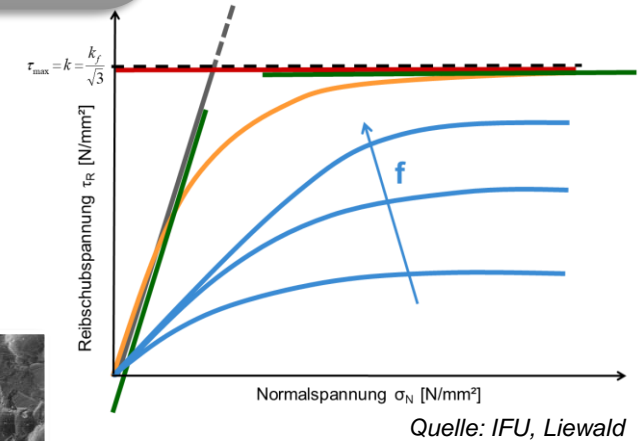
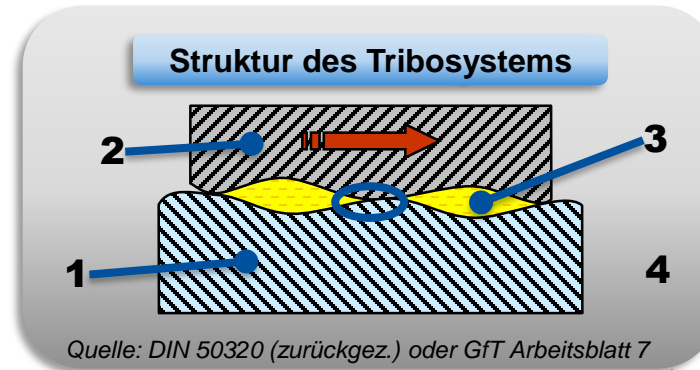
Überprüfen des Erlernten

- 1. Was versteht man unter „Tribologie“?**
- 2. Wie können unterschiedliche Reibkräfte zur Steuerung des Platineneinlaufs beim Tiefziehen erzeugt werden?**
- 3. Beschreiben Sie zwei Arten der Oberflächentexturierung von Blechen.**
- 4. Was unterscheidet die Verfahren PVD und CVD?**
- 5. Nennen Sie die vier Verschleißmechanismen, sowie deren Einfluss auf das Werkstück beim Tiefziehen.**
- 6. Was beschreibt ein Reibungsmodell? Wofür wird es eingesetzt?**

Zusammenfassung

....der heutigen Lerneinheit

- Tribologie umfasst das Gesamtgebiet Reibung, Schmierung und Verschleiß
- Ein tribologisches System hat die Aufgabe des Trennens Tragens und Schmierens (TTS) um Verschleiß zu vermeiden
- Die gängigen Verschleißmechanismen sind:
 - Adhäsion
 - Abrasion
 - Oberflächenzerrüttung
 - Tribochemische Effekte
- Mithilfe von unterschiedlichen Reibungsgesetzen können unterschiedliche Reibzustände modelliert werden.



Ausblick

.....auf die nächste Lerneinheit

Inhalt der *nächsten* Lerneinheit umfasst die Bestimmung tribologischer Kennwerte:

- Modellversuche
- Bauteilversuche
- Dauerlaufuntersuchungen
- Reibungskoeffizienten
Reibungskräfte im realen Umformprozess
- Verschleißkenngrößen
- Verschleißprüfstände