Session 3

Deep Dive
Ressourceneffizienz:

# Technische Lösungen aus der Praxis

**Wie Digitalisierung, Automatisierung und KI helfen, beim Schweißen Ressourcen zu sparen**

**Dr. Ralf Polzin**, Geschäftsführer Technologie-Institut für Metall & Engineering GmbH

Nachhaltiger Einsatz von Präzisionswerkzeugen:
**Wiederaufbereitung anstatt Neuanfertigung**

**Dr.-Ing. Heiko Frank**, Geschäftsbereichsleiter Hartstoffbeschichtung & Anwendung, GFE - Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V.

**Ressourcen schonen. Performance steigern. HYDAC Lösungen für eine nachhaltige Fluidpflege**

**Niklas Martin**, Vertriebsingenieur, HYDAC Filtertechnik



Moderation:

**Lisa Helbig**
Projektleiterin
Ressourceneffizienz in Unternehmen
ThEGA



# „Wie Digitalisierung, Automatisierung und KI helfen, beim Schweißen Ressourcen zu sparen“

**Dr.-Ing. Ralf Polzin**

TIME
TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR
METALL & ENGINEERING GMBH

03. Nov. 2026

TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR
METALL UND ENGINEERING

# Kurzvorstellung TIME



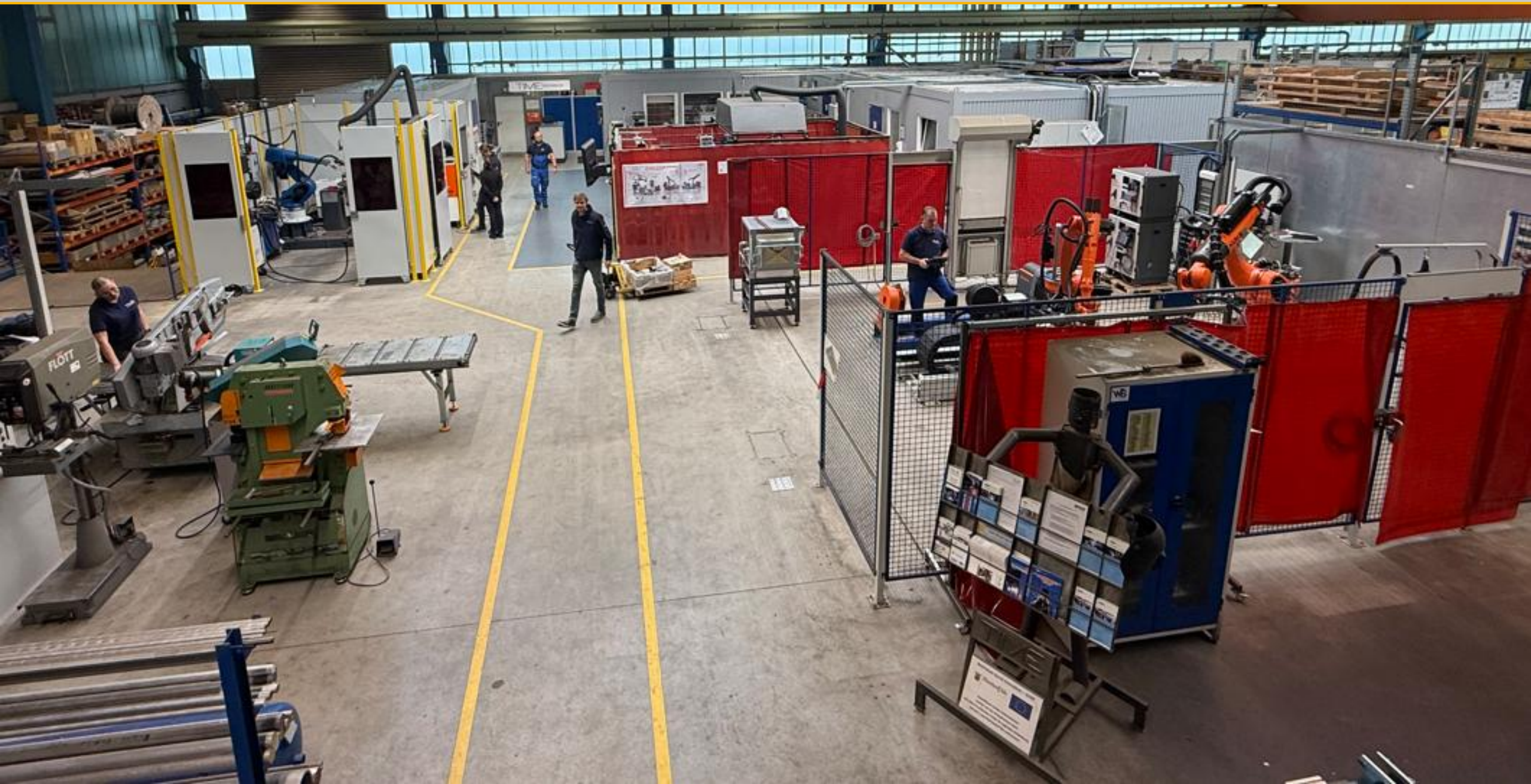
## Wir verbinden – Forschung und Dienstleistung in der Schweißtechnik.

- Wir verfügen sowohl über werkstoffkundliche und schweißtechnische, aber auch über digitale Kompetenz
- Deshalb verknüpfen wir in einzigartiger Weise Maschinenbau und „Industrial AI“ am Beispiel Schweißen

- Mitarbeiter: 14, davon 2 SFI
- Standort: Wissen / Sieg

TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR
METALL UND ENGINEERING

# TIME-Technikum

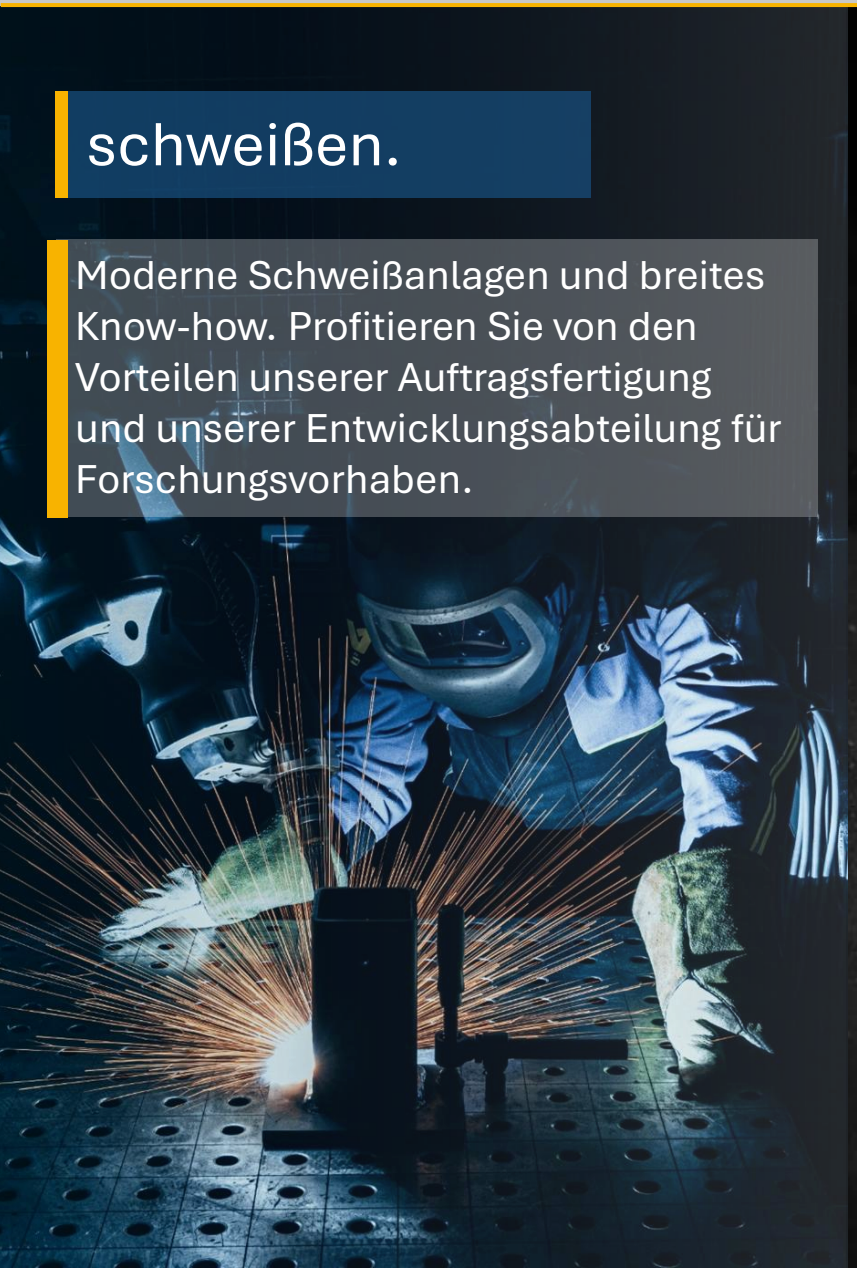


TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR
METALL UND ENGINEERING

# Kurzvorstellung TIME

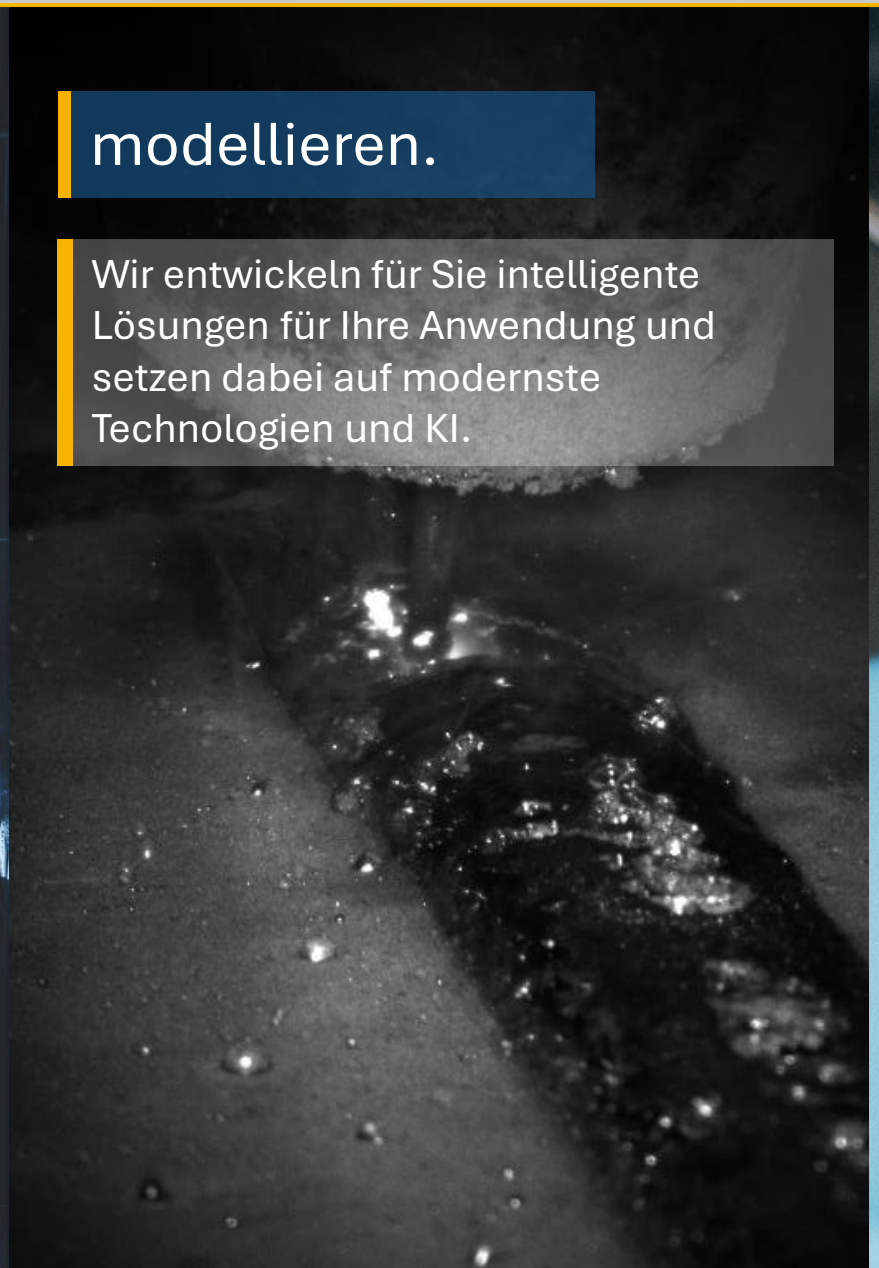
## schweißen.

Moderne Schweißanlagen und breites Know-how. Profitieren Sie von den Vorteilen unserer Auftragsfertigung und unserer Entwicklungsabteilung für Forschungsvorhaben.



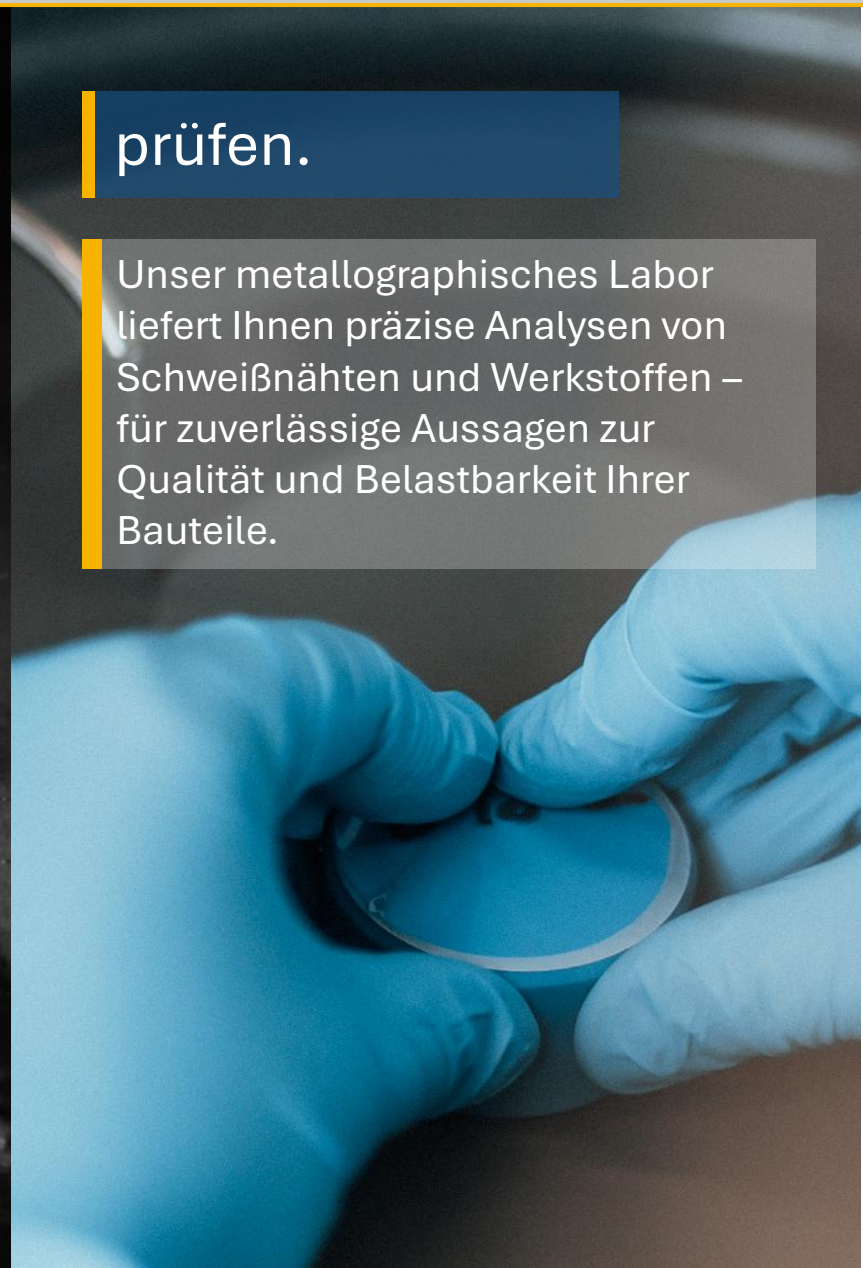
## modellieren.

Wir entwickeln für Sie intelligente Lösungen für Ihre Anwendung und setzen dabei auf modernste Technologien und KI.



## prüfen.

Unser metallographisches Labor liefert Ihnen präzise Analysen von Schweißnähten und Werkstoffen – für zuverlässige Aussagen zur Qualität und Belastbarkeit Ihrer Bauteile.



## Entwicklung intelligenter, stabiler Schweißprozesse

Wir begleiten Sie von der schweißgerechten Konstruktion über die Verfahrenswahl bis zur Prozessoptimierung.

Ob Lichtbogen- oder Widerstandsschweißen: Durch fundierte Analyse und praxisnahe Lösungen sorgen wir für stabile Schweißnähte, reproduzierbare Qualität und effiziente Fertigung – individuell abgestimmt auf Ihre Anforderungen.

## Wir bieten Ihnen:

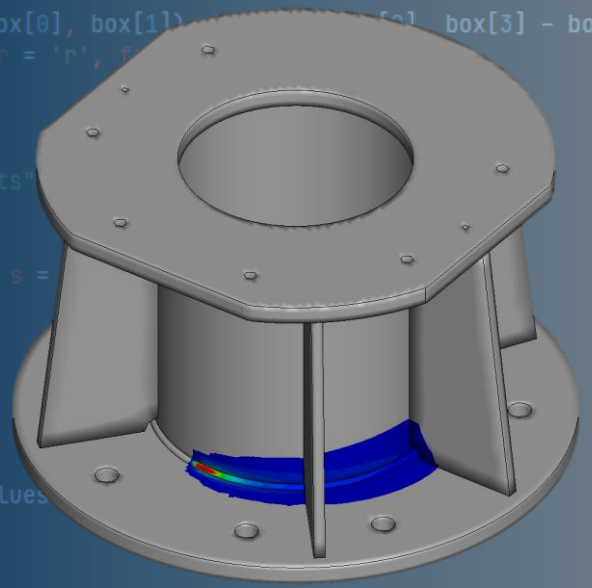
- Problemanalyse direkt in Ihrer Fertigung
- Beratung bei der schweißgerechten Konstruktion
- Machbarkeitsprüfung und Fertigungsplanung
- Beratung bei der technischen Ausstattung
- Mechanisierungs- / Automatisierungskonzepte und deren Erprobung
- Externe Schweißaufsicht

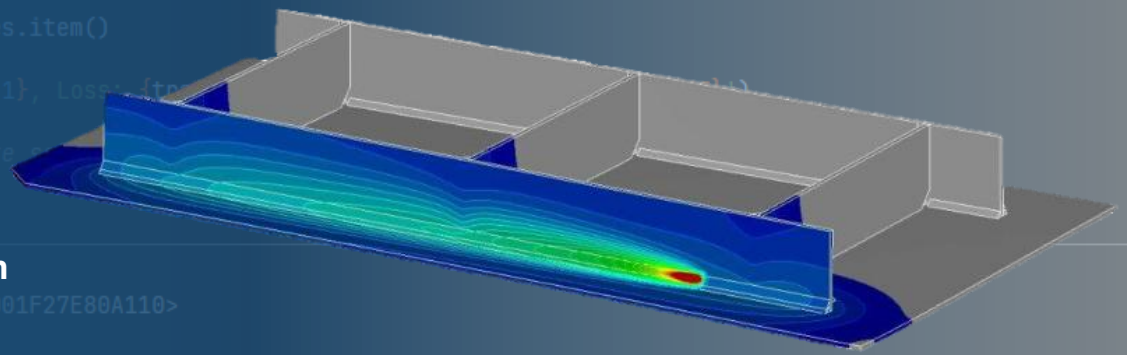
**Kontaktieren Sie uns – wir beraten Sie gern.**



# Numerische Simulation zur Prozess- und Strukturvorhersage

Unsere state-of-the-art FEM-Modelle bilden den Schweißprozess virtuell und detailgetreu ab. So lassen sich Eigenspannungen, Verzug, Schädigung und Materialermüdung bereits in der digitalen Entwicklungsphase bewerten – Kosten und Entwicklungszeit werden dabei drastisch reduziert.

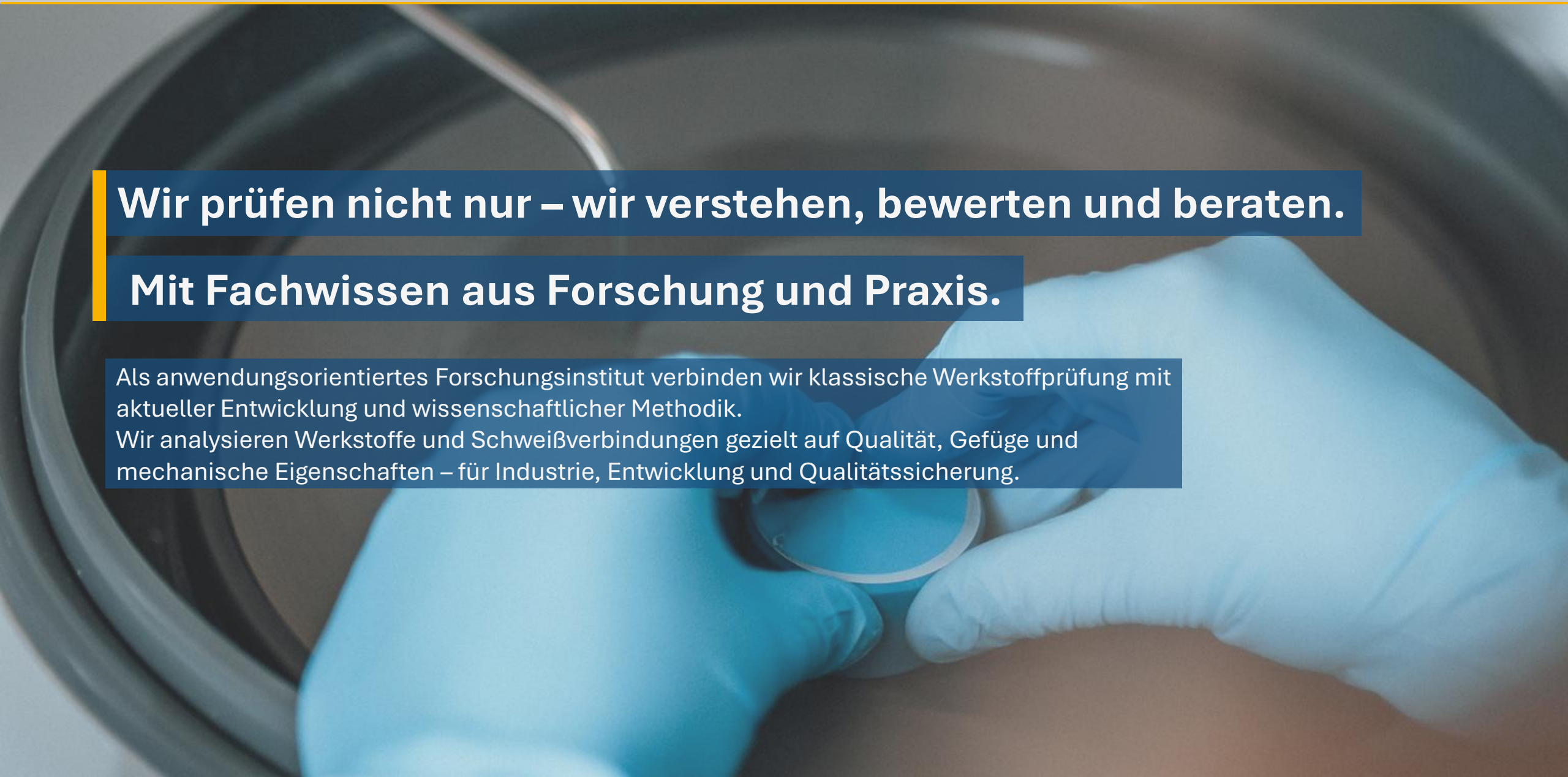




## Wir bieten Ihnen:

- Strukturmechanische Berechnung mit LS-DYNA
- Schweißstruktursimulation mit LS-DYNA
- Scheißnaht- & Bauteildimensionierung nach FKM
- Identifizierung von Optimierungspotential für Ihren Prozess
- Forschung und Entwicklung im Kundenauftrag

**Unsere Unterstützung endet nicht bei der Schweißtechnik – auch bei anderen Problemstellungen sind wir für Sie da.**



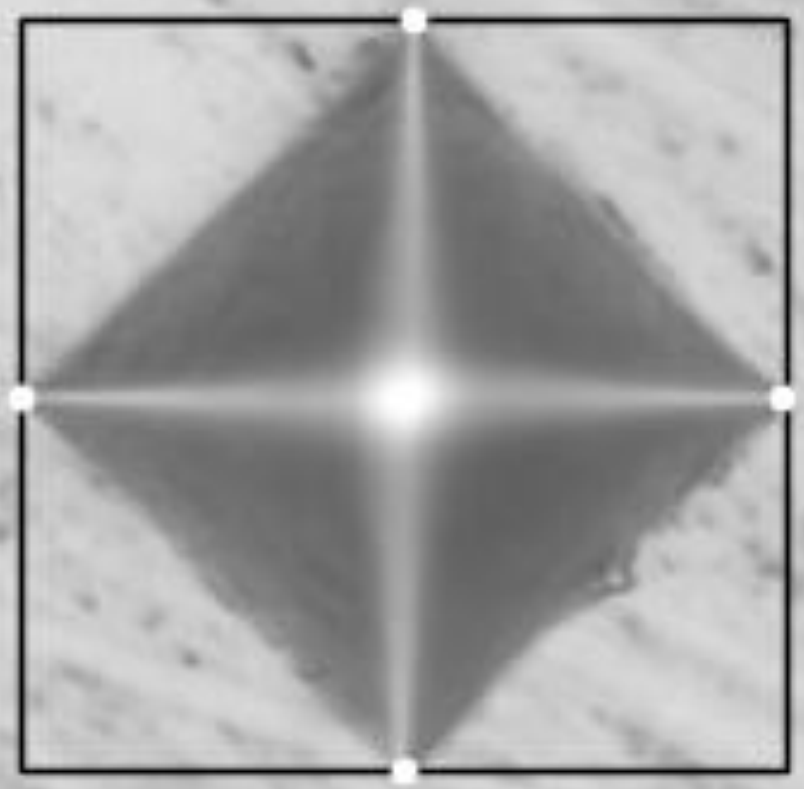
# Wir prüfen nicht nur – wir verstehen, bewerten und beraten.

## Mit Fachwissen aus Forschung und Praxis.

Als anwendungsorientiertes Forschungsinstitut verbinden wir klassische Werkstoffprüfung mit aktueller Entwicklung und wissenschaftlicher Methodik.
Wir analysieren Werkstoffe und Schweißverbindungen gezielt auf Qualität, Gefüge und mechanische Eigenschaften – für Industrie, Entwicklung und Qualitätssicherung.

# Intelligente Fertigung beginnt mit datengetriebener Forschung.

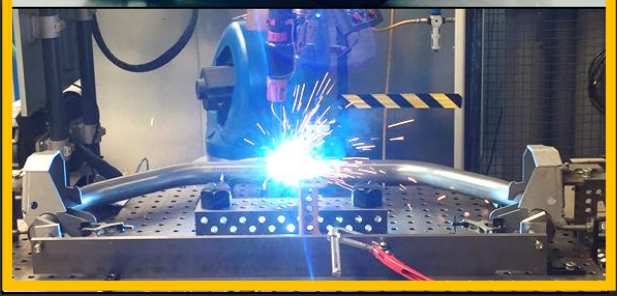
Durch den gezielten Einsatz von Simulation und KI verbessern wir die Qualitätssicherung in der Schweißtechnik nachhaltig. So lassen sich Fehler frühzeitig erkennen, Prozesse optimieren und wertvolle Ressourcen wie Zeit, Material und Energie einsparen.



TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR
METALL UND ENGINEERING

# Projektbeispiele





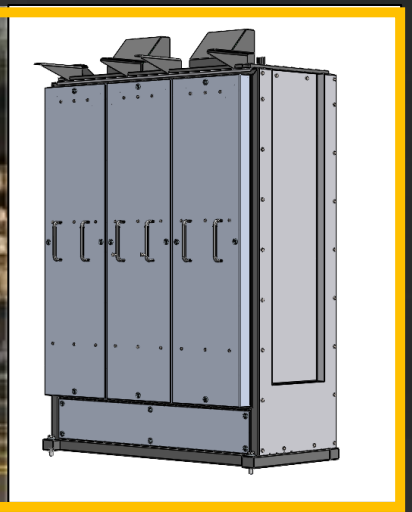












# Vortragsanfang



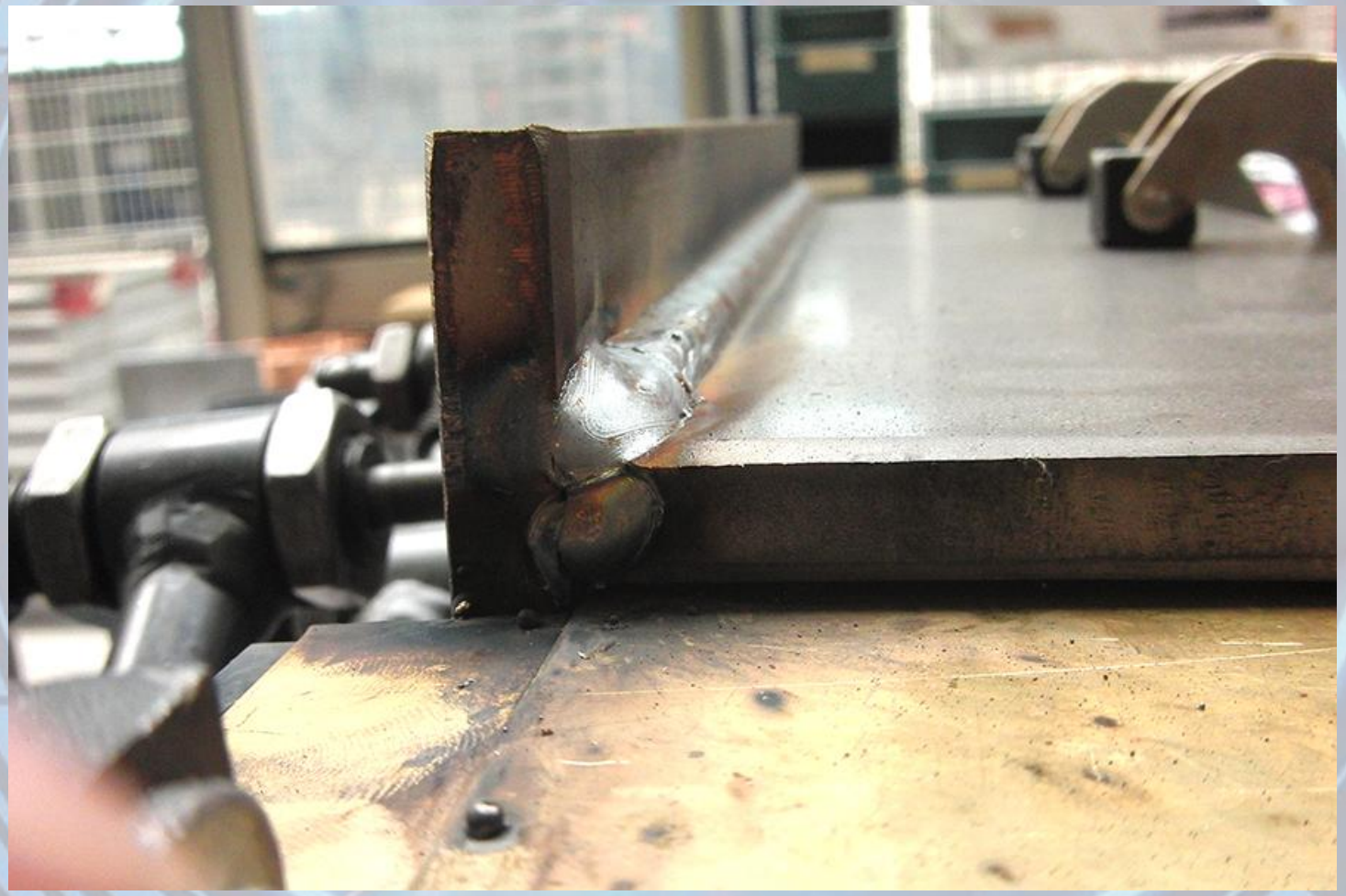
„Wie Digitalisierung, Automatisierung und KI helfen, beim Schweißen Ressourcen zu sparen“

# „Wie Digitalisierung, Automatisierung und KI helfen, beim Schweißen Ressourcen zu sparen“



# Digitaler Zwilling / Simulation

## „Schweißnahtdimensionierung“

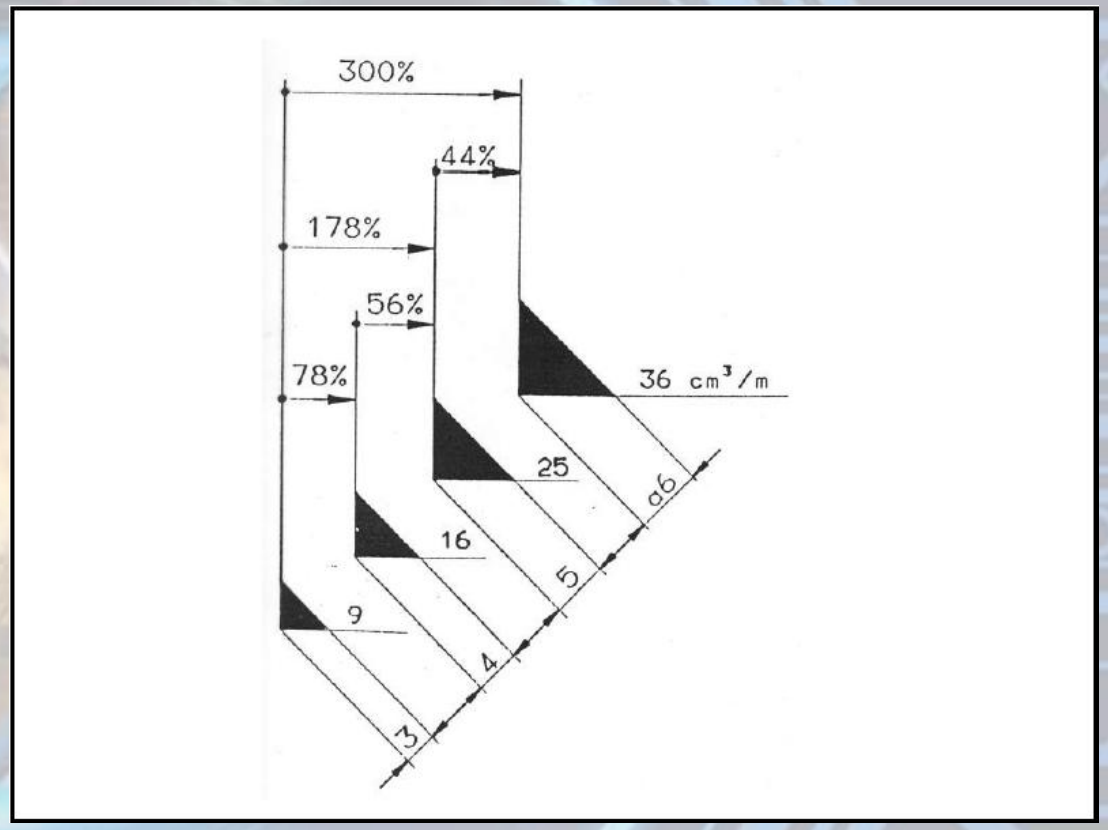


# Digitaler Zwilling / Simulation

## „Schweißnahtdimensionierung“

**Einfluss des a-Maß auf das Nahtvolumen**

- Mehr Nahtvolumen
- Mehr Arbeitszeit
- Mehr Schweißdraht
- Mehr Schutzgasverbrauch
- Mehr Stromverbrauch
- Mehr Verzug und Richtaufwand



# Digitaler Zwilling / Simulation

## „Schweißstruktursimulation“

**Bionik-basierte Optimierung der Schweißnahtfolge**



Quelle: Festo DE

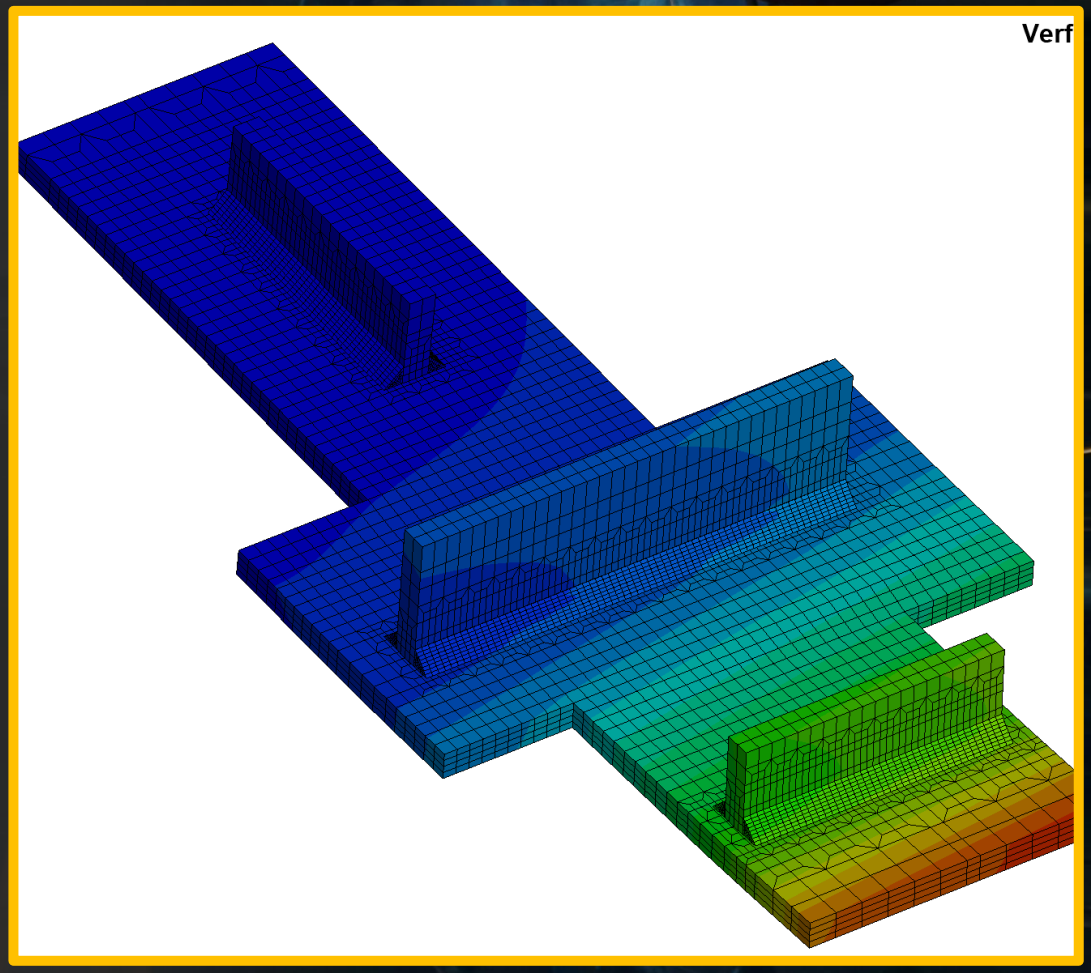
# Digitaler Zwilling / Simulation

## „Schweißstruktursimulation“

**Bionik-basierte Optimierung der Schweißnahtfolge**

- Schweißnahtfolge
- Spanntechnik

- **Reduzierung des Richtaufwands**
  - Weniger nicht wertschöpfende Tätigkeiten
  - Weniger Richtaufwand
  - Weniger Acetylenverbrauch



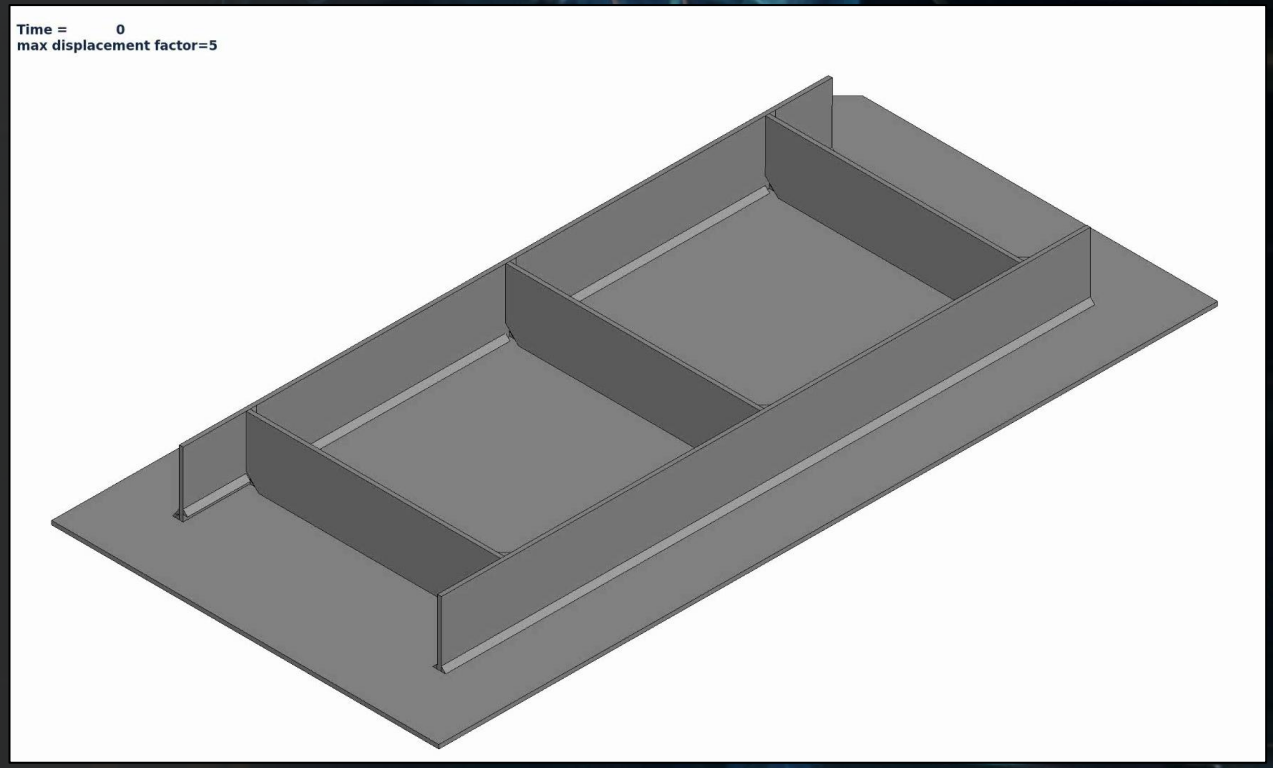
# Digitaler Zwilling / Simulation

## „Schweißstruktursimulation“

**rechnergestützte Vorhersage des Schweißverzugs**

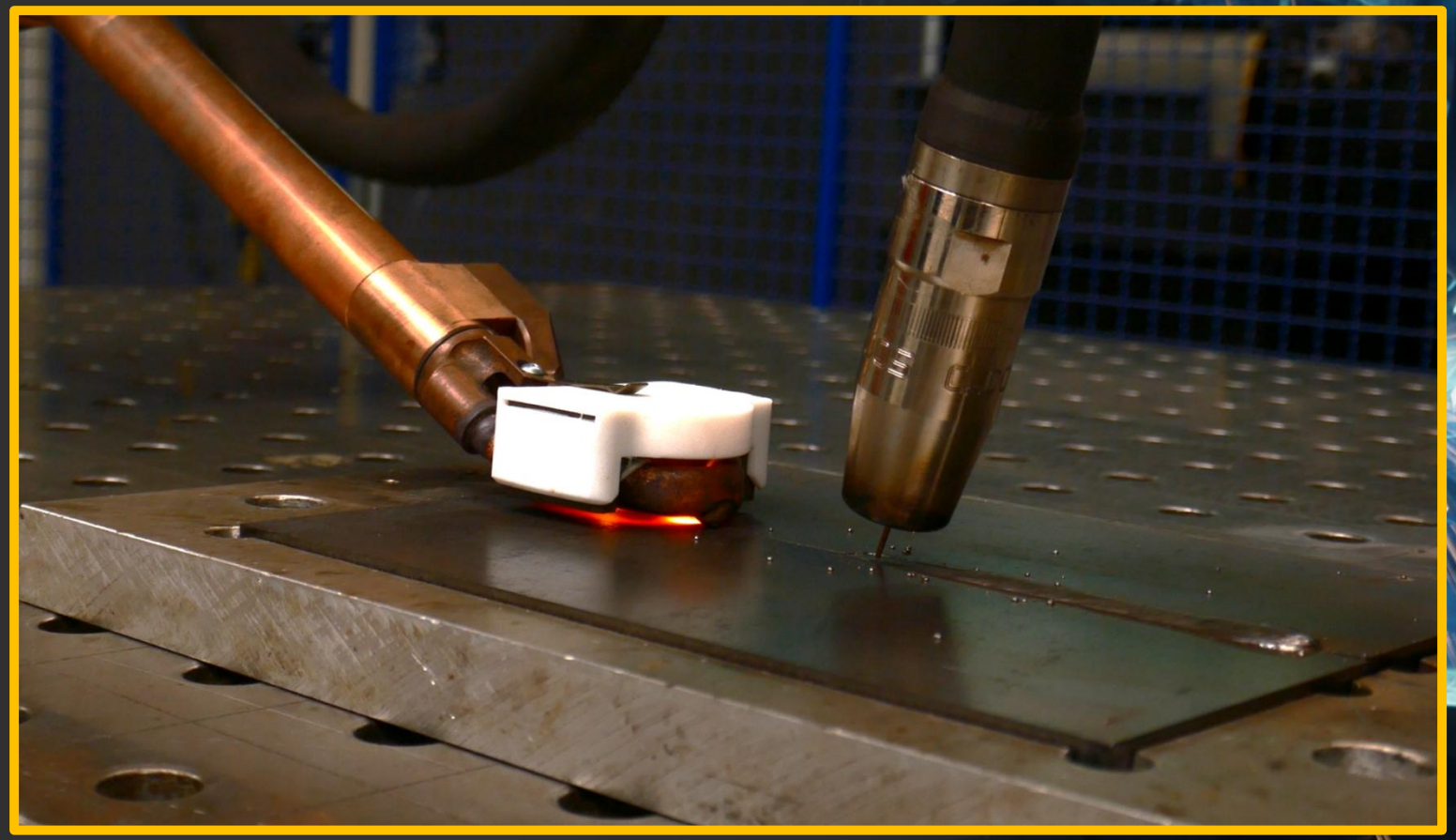
- Schweißnahtfolge
- Spanntechnik

- **Berechnung von**
  - Temperaturen
  - Verformungen,
  - Eigenspannungen
  - Gefüge



# aktuelles Forschungsprojekt

**„InduHAZ — Entwicklung einer schweisrobotergefuhrten Induktionserwarmung zur gezielten Vor- und Nachwarmung von Schweisraupe und Schweisnahtbereich“**



Wachstum durch Innovation – EFRE
RheinlandPfalz
Diese Veröffentlichung wurde von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und vom Land Rheinland-Pfalz kofinanziert.

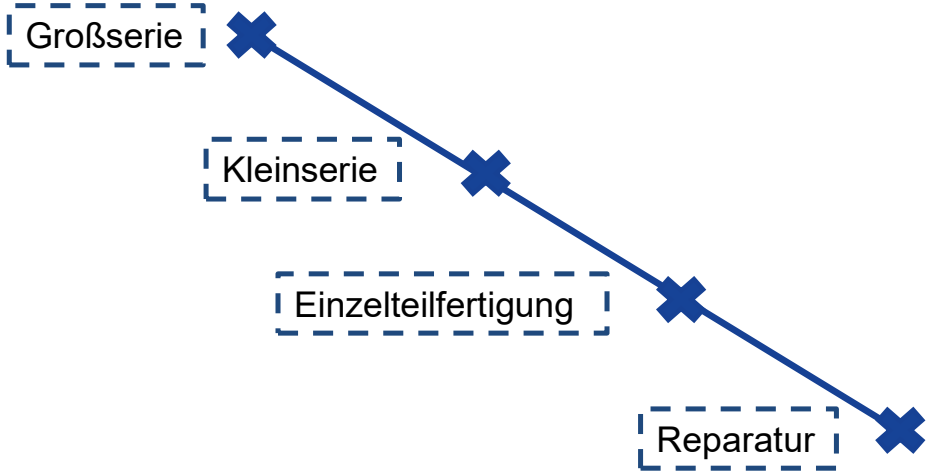
# KI-basierte Schweißprozessoptimierung

**Motivation**

- Individualisierung
- Variantenvielfalt
- Produktionsflexibilität
- Wettbewerb
- Qualitätssteigerung
- Kostenreduktion

**Nutzen**

- KI-basierte Prozessoptimierung bei kleiner Datenbasis
- Weniger Versuche
- Ressourcen- und Energieeinsparung
- Gute Schweißergebnisse ab Losgröße 1






Quelle: Springer Professional

Großserie



Quelle: Stühn, Weitefeld

Kleinserie



Quelle: SGi Gmbh

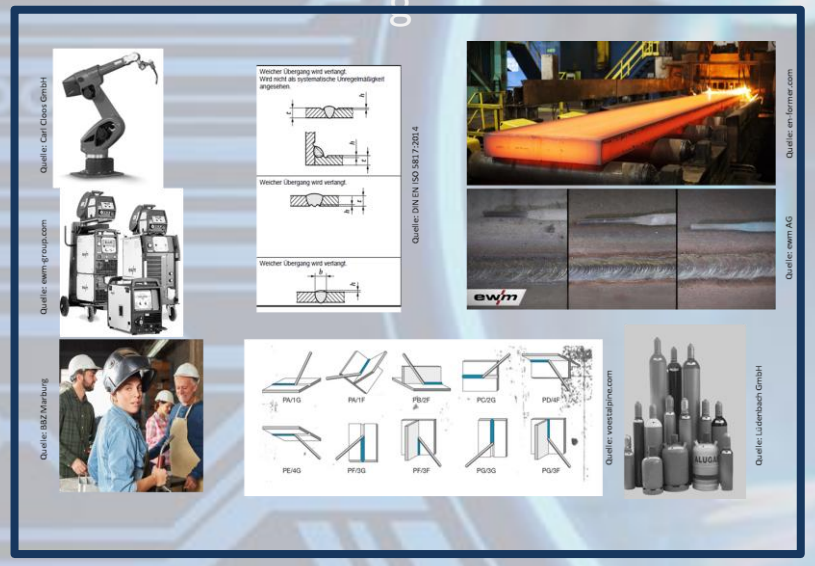
Einzelteil / Reparatur

Wachstum durch Innovation – EFRE
RheinlandPfalz

Diese Veröffentlichung wurde von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und vom Land Rheinland-Pfalz kofinanziert.

# KI-basierte Schweißprozessoptimierung

## Eingabedaten Schweißverbindun




## KI „Black box“



## Ausgabedaten Schweißprozess

Schweißspannung / Schweißstrom

Drahtvorschubgeschwindigkeit

Schweißgeschwindigkeit

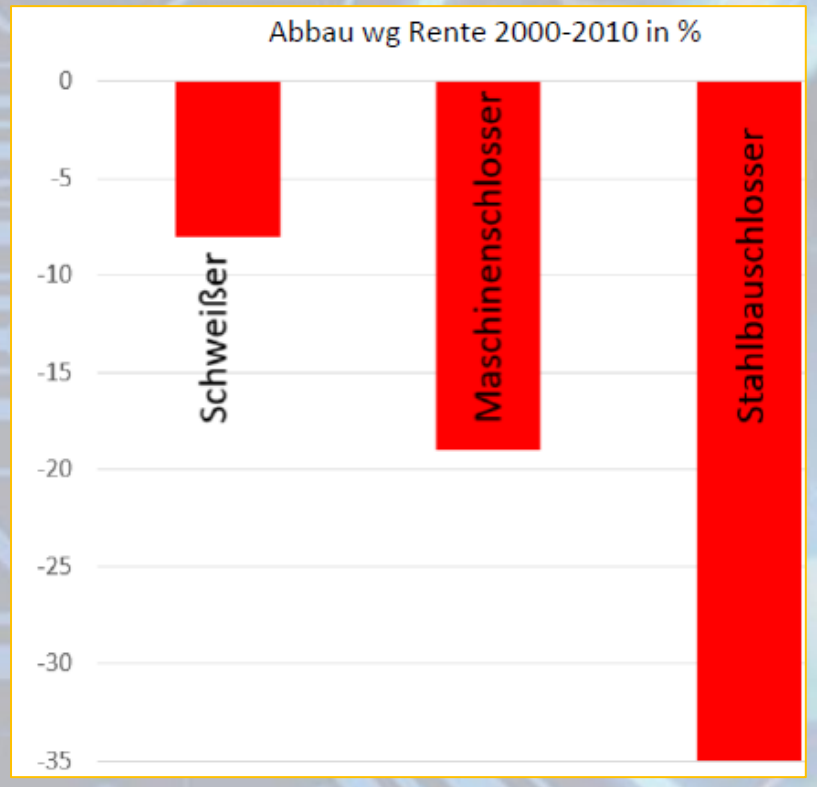
Brenneranstellwinkel

...

Wachstum durch Innovation – EFRE
RheinlandPfalz
Diese Veröffentlichung wurde von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und vom Land Rheinland-Pfalz kofinanziert.

# KI-basierte, automatisierte Vermessung von Querschliffen

Fachkräftemangel bei Schweißfachpersonal




Quelle: VDA 2012

... und bei der Werkstoffprüfung?



Wachstum durch Innovation – EFRE
RheinlandPfalz

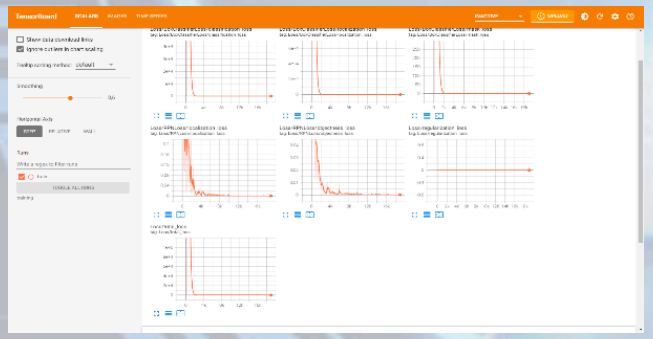
Diese Veröffentlichung wurde von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und vom Land Rheinland-Pfalz kofinanziert.

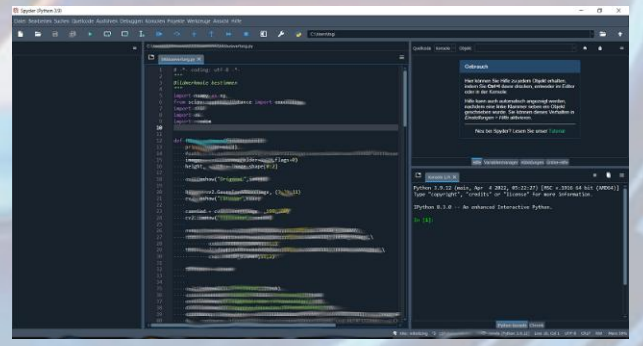
# KI-basierte, automatisierte Vermessung von Querschliffen




## Workflow

Datenbasis aufstellen → Daten transformieren → Daten Labeln → Algorithmus Auswahl → Training → Test





Wachstum durch Innovation – EFRE
RheinlandPfalz
Diese Veröffentlichung wurde von der Europäischen Union aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und vom Land Rheinland-Pfalz kofinanziert.

# KI-basierte, automatisierte Vermessung von Querschliffen

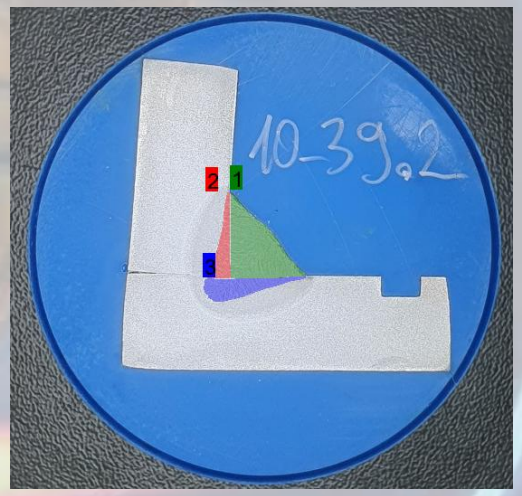
**Motivation**

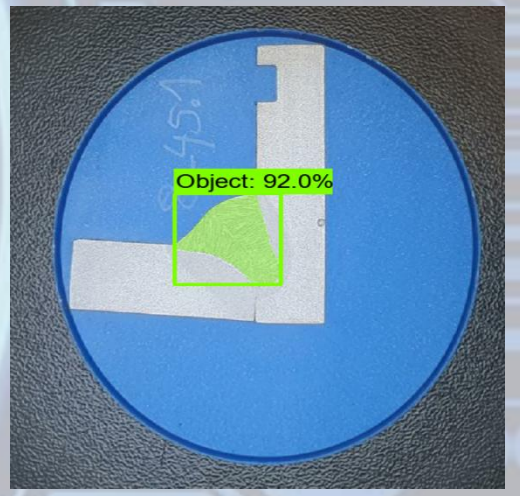
- Fachkräftemangel
- Arbeitserleichterung

**Nutzen**

- Objektive Analyse
- Keine Ermüdung
- Neutrale Beurteilung
- Ersatz fehlenden Fachpersonals
- Schneller



# Einsparpotentiale beim Schweißen



## Projektbeispiele



# Zusammenfassung

Ihr Vorteil:

- Die Konstruktion bietet enormes Einsparpotential
- Die Schweißprozessoptimierung bietet großes Einsparpotential
- Die Automatisierung von Schweißprozessen hilft dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken,
  sowie Energie und Ressourcen einzusparen
- KI ist ein nützliches Werkzeug für die Schweißtechnik und deren Qualitätssicherung

# TIME

## TECHNOLOGIE-INSTITUT FÜR METALL & ENGINEERING GMBH

Technologie-Institut für Metall & Engineering GmbH (TIME)
Koblenzer Str. 43
57537 Wissen (Sieg)
www.time-rlp.de

Mitglied der
ZUSE-GEMEINSCHAFT
FORSCHUNG, DIE ANKOMMT.

# Nachhaltiger Einsatz von Präzisionswerkzeugen - Wiederaufbereiten anstatt Neuanfertigen

**Dr.-Ing. Heiko Frank[1]**

Dipl.-Ing. Petra Preiß[1]
Ulf Hensler, M.Sc.[2]
Dr.-Ing. Monika Kipp[2]
Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dirk Biermann[2]

[1]GFE - Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V.
[2]Institut für Spanende Fertigung - Technische Universität Dortmund

# Agenda

1 Motivation und Einführung

2 Verfahren zur wirtschaftlichen Wiederaufbereitung

3 Analyse verschiedener Lösungsansätze

4 Untersuchungen an Produktionswerkzeugen

5 Fazit

**Nachhaltigkeit bei der Herstellung und Nutzung von Präzisionswerkzeugen wird immer wichtiger**

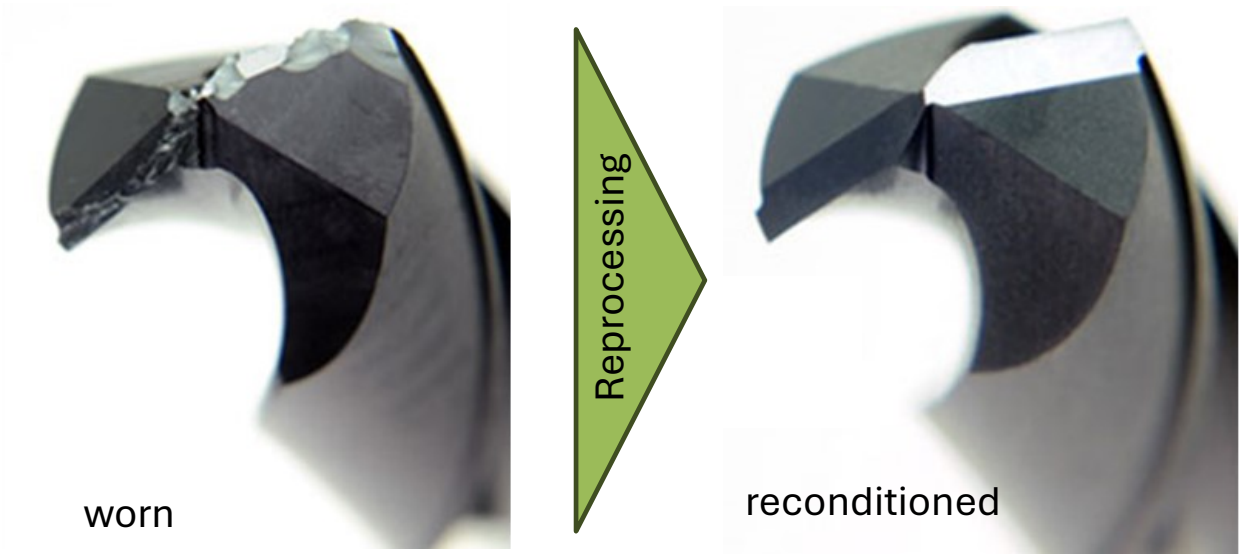
- Hoher Energieverbrauch bei der Werkzeugherstellung
- Höhere Kosten für Rohstoffe und gefertigte Werkzeuge
- Die Lebensdauer des Werkzeugs muss verlängert werden

**Werkzeugaufbereitung statt Entsorgung**

**Erhöhung der Nachhaltigkeit**

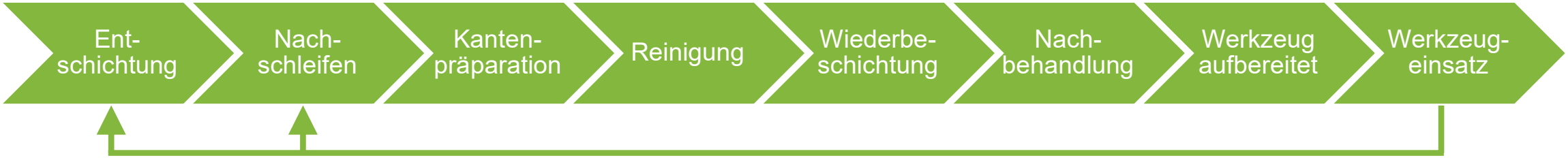
Wiederholte Aufbereitung der Werkzeuge,
zur Wiederherstellung der Einsatzfähigkeit

- Viele Präzisionswerkzeuge werden auf-bereitet (je nach Prozess und Verschleiß).
- Nachschleifen und Überbeschichten basieren auf persönlichen Erfahrungen
- Werkzeuge können 2–3 Mal aufbereitet werden, danach reduziert sich die Leistung



## Kosteneffiziente Aufbereitung von Präzisionswerkzeugen

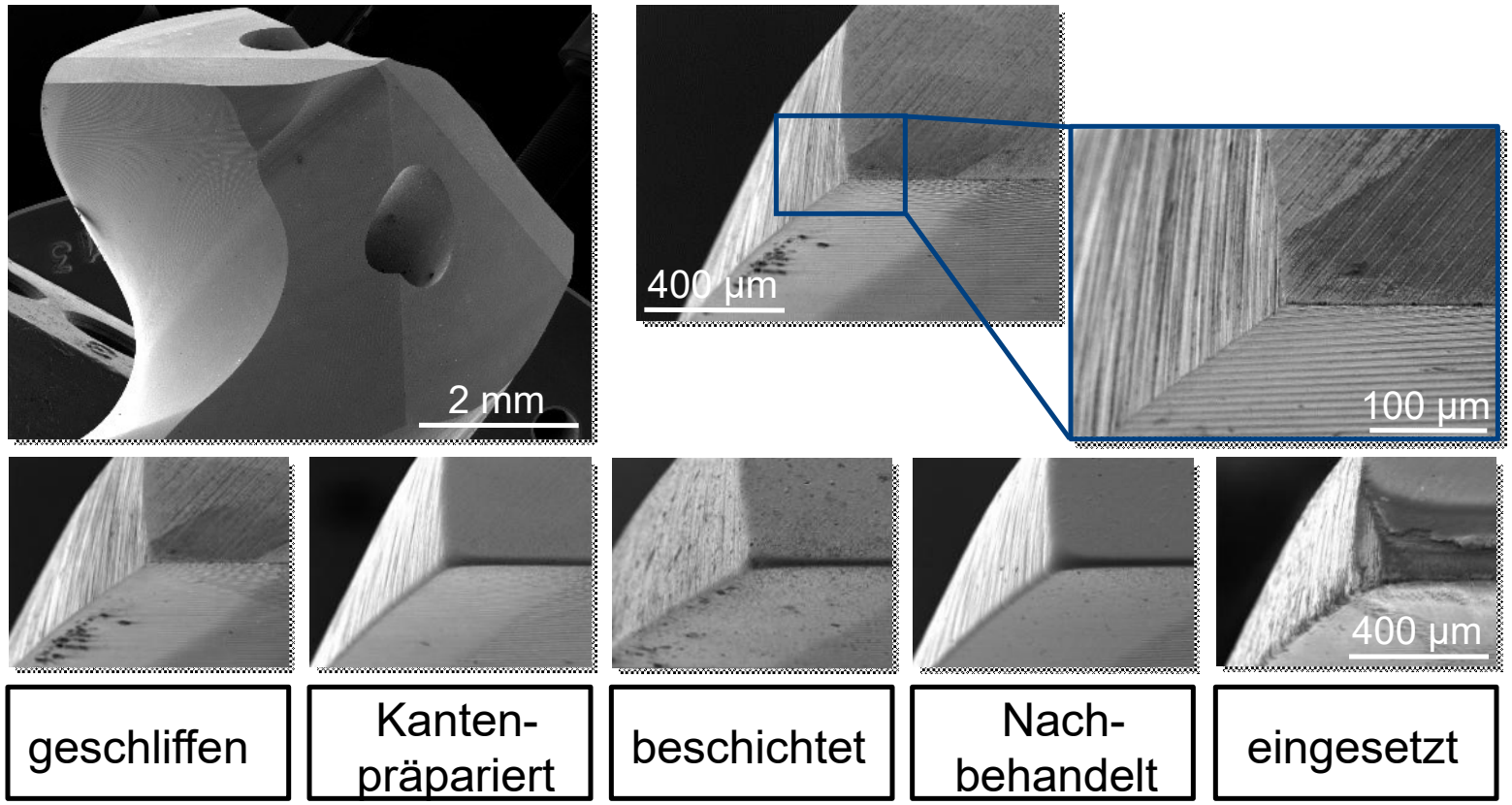
- Je nach Zustand der verschlissenen Werkzeuge
- Konkretes Verhalten (Mikrorisse, Abplatzung, Vor- und Nachbehandlung usw.) oft nicht bekannt
- Verschiedene Strategien für Prozessketten können verwendet werden




- Wiederaufbereitung hat Einfluss auf
  - Werkzeugverschleiß und Lebensdauer
  - Verarbeitungsqualität / Oberflächentopographie

- Eigenschaften eines neuen Werkzeugs werden oft nicht erreicht
  - Kein tiefgehendes Wissen über Kosten und Nutzen
  - Die Wirksamkeit verschiedener Strategien zur Aufbereitung muss verbessert werden

## Analyse Werkzeugzustand als Funktion des Prozessschritts




## Schwerpunkte

- Kosteneffiziente Aufbe-reitung von Bohren
- Optimale Ressourcennutzung
- Sicherstellung einer wiederholbaren Aufbereitung

## Erhöhung der Lebensdauer:

- Längere Einsatzdauer
- Weniger Bedarf an Materialien (Hartmetall)
- Verringerung von Maschinenausfällen
- Verbesserte Energieeffizienz

## Erhebliches Interesse aus der Industrie




FKZ: BMWK/IGF 01IF22913N

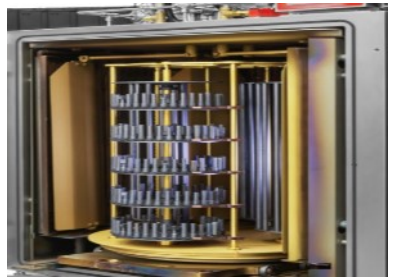
Das Projekt des FKM Forschung im VDMA wurde über DLR Projektträger IGF Industrielle Gemeinschaftsforschung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

**Entwicklung von Technologie und Prozessssketten einschließlich Wechselwirkungen und Empfehlungen zur wirtschaftlichen Aufbereitung von Präzisionsbohrwerkzeugen**

- Verlängerung der Lebensdauer von Bohrwerkzeugen
  → verbesserte Nachhaltigkeit
- Reduzierung der energie- und kostenintensiven Hartmetallproduktion
- Optimierte Ressourcennutzung (Kobalt, Wolfram)
  → Kostenoptimierung







**Prozess-entwicklung**

- Weiterentwicklung der zur Wiederaufbereitung genutzten Technologien
- Einzelprozessanalyse

**Aufbereitungs-strategie**

**Prozessketten-design**

- Bestimmung optimaler technologischer Schritte für die Werkzeugvorbereitung



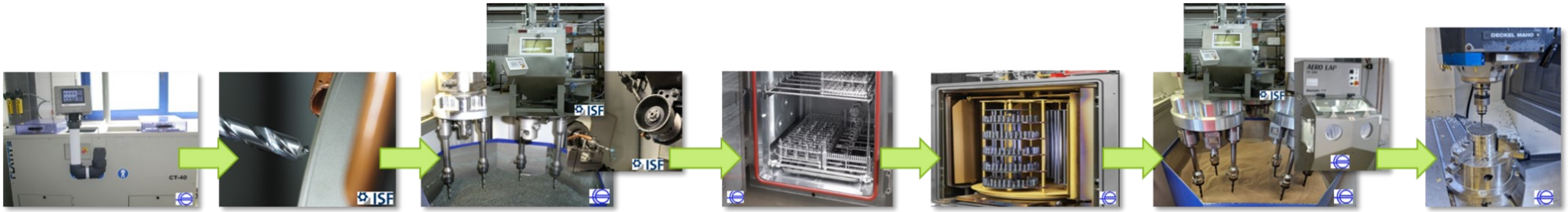
**Sicherstellung der Leistung von VHM-Spiralbohrern**



# Verfahren zur wirtschaftlichen Wiederaufbereitung




**Untersuchungen entlang des gesamten Prozesskette**



# Analyse verschiedener Lösungsansätze

Entschichtungstechnologie

Ent-schichtung | Nach-schleifen | Kanten-präparation | Reinigung | Wiederbe-schichtung | Nach-behandlung | Werkzeug aufbereitet | Werkzeug-einsatz

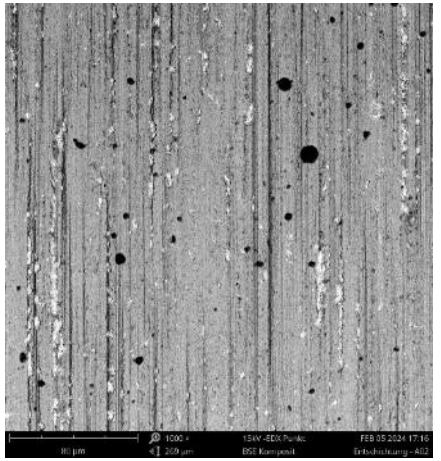
## Elektrolytisch gepulste Entschichtung

- Haftschicht bleibt intakt
- Vermeidung von Co-Leaching
- Entschichtungszeit  < 1 min
- Reproduzierbare Entschichtung

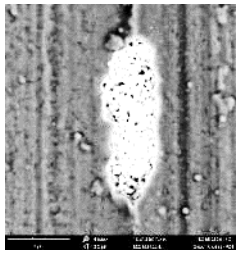


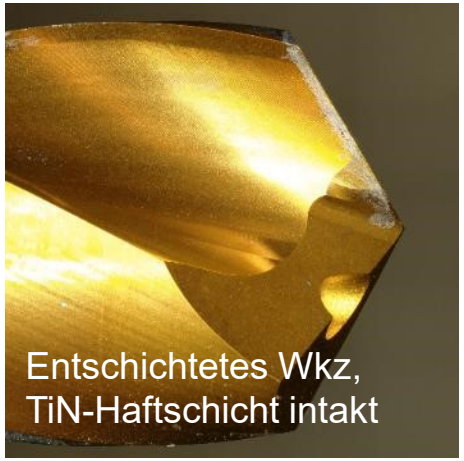


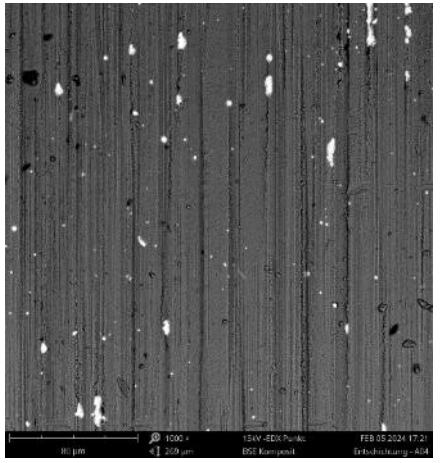
AlCrN beschichtetes Wkz vorm Entschichten



Entschichtetes Wkz.:
Haftschicht: d=0,15 µm
Größere Anzahl Defekten
→ Co-Leaching




Entschichtetes Wkz,
TiN-Haftschicht intakt



Entschichtetes Wkz.:
Haftschicht: d=0,50 µm
Weniger Defekte

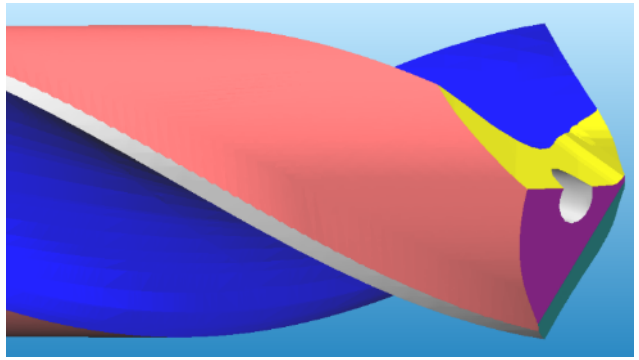
**TiN-Haftschicht**

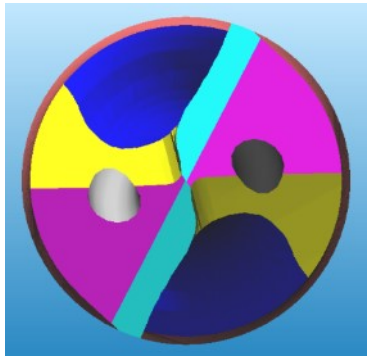
- d=0,3 µm
- Überwiegend intakt nach Entschichtung

## Werkzeugherstellung / Nachschleifen

Ent-schichtung | **Nach-schleifen** | Kanten-präparation | Reinigung | Wiederbe-schichtung | Nach-behandlung | Werkzeug aufbereitet | Werkzeug-einsatz

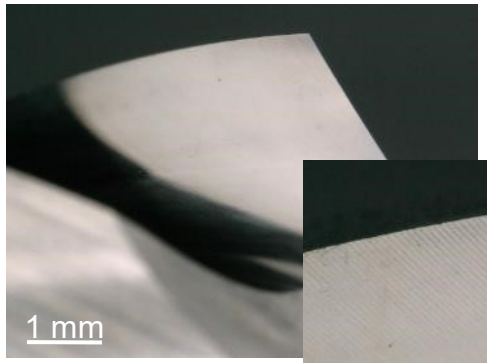


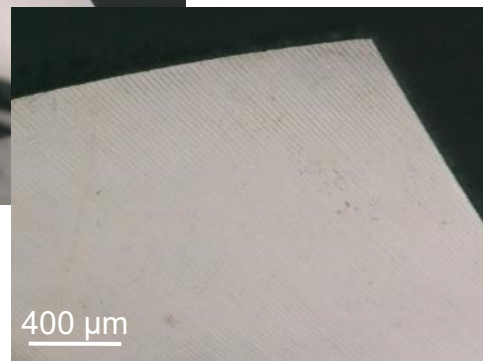



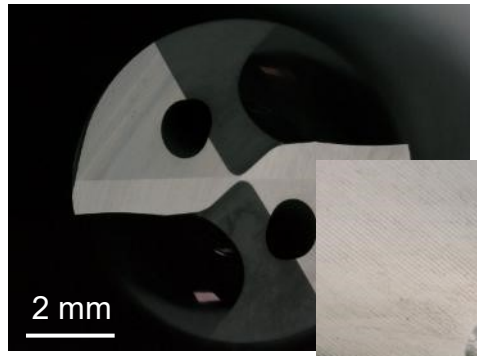


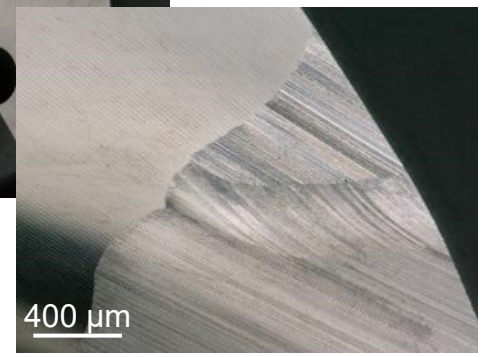



Schleifen der Nut → Finishen der nut → Schleifen der spitze → Rücksetzen




**Bohrer**

| | |
|---|---|
| Werkstoff: | WC-Co (90% / 10%) |
| mittlere Korngröße: | 0.5-0.8 µm |

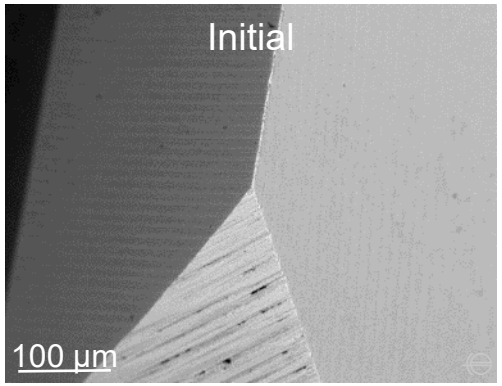
**Abmessungen**

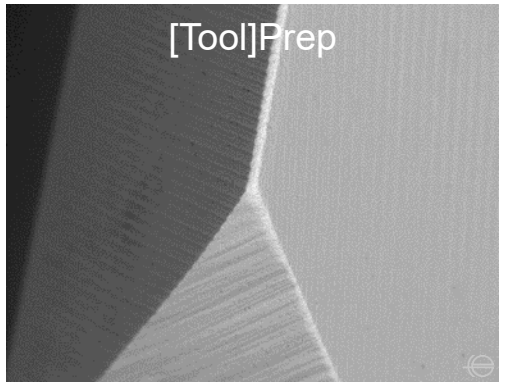
| | |
|---|---|
| Durchmesser: | dWZ = 8 mm |
| Kerndurchmesser: | d = 2.25 mm |
| Spanlänge: | l = 50 mm/min |

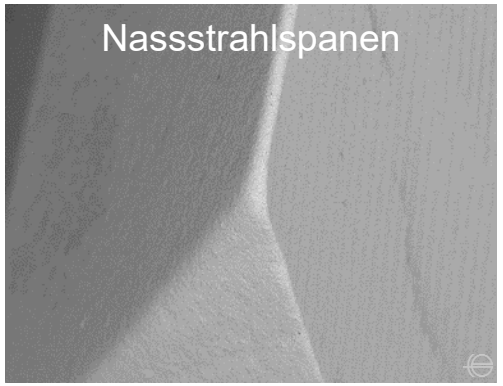
## Kantenpräparation

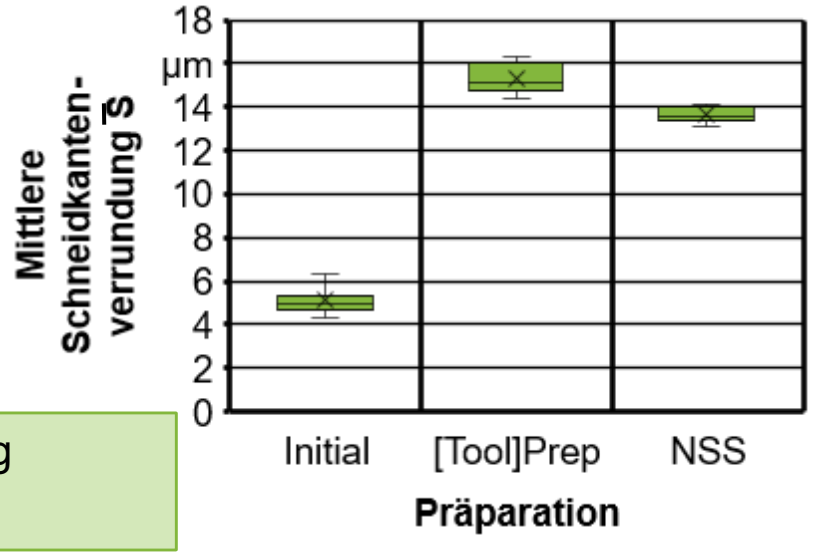


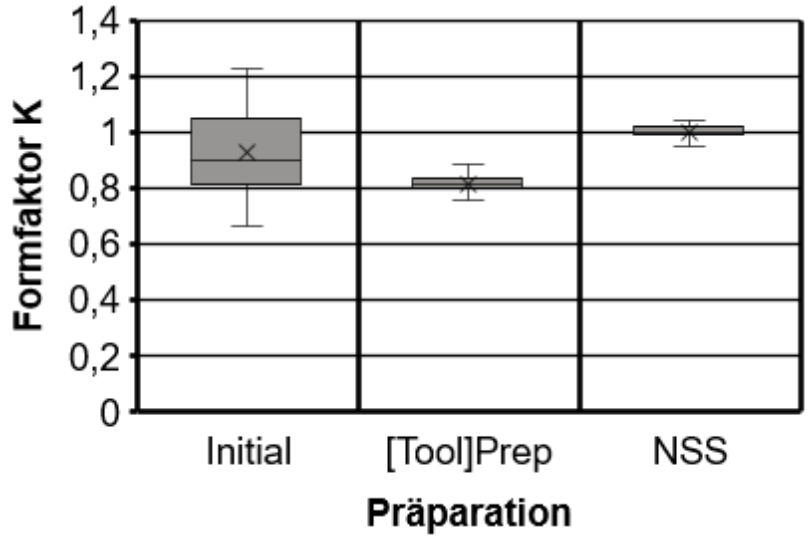


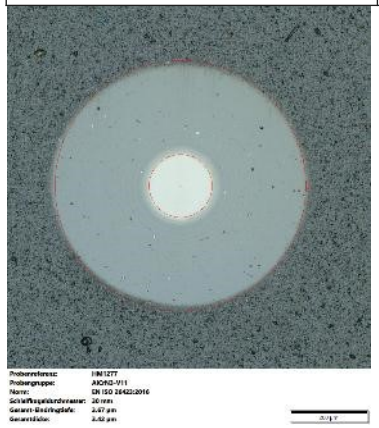
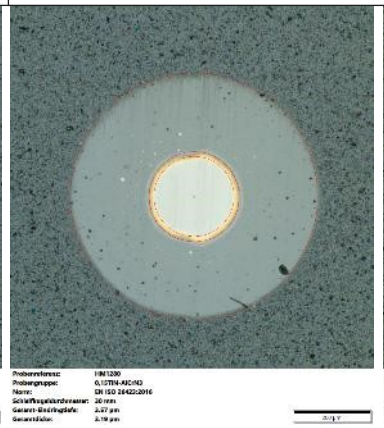
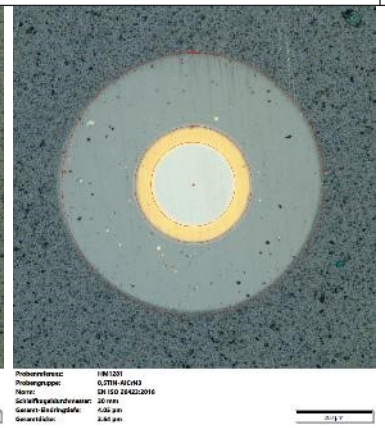
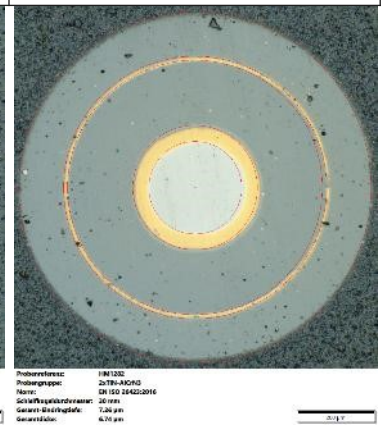
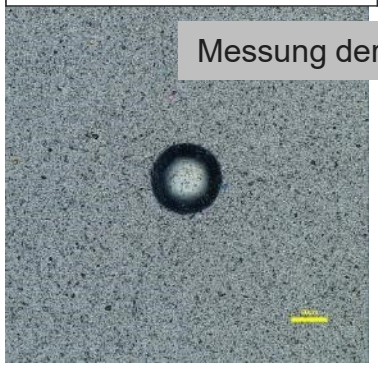
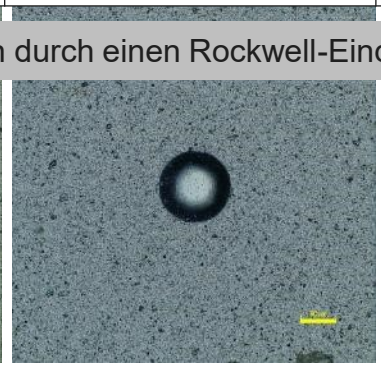
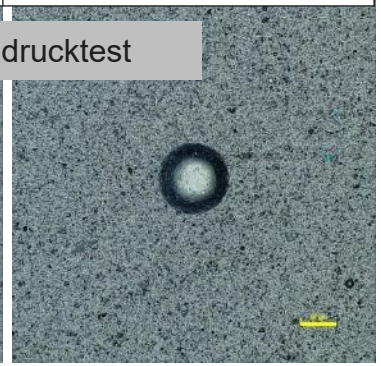




- Schneidenradius 15-20 µm günstig
- Verschiedene Prozesse möglich

# Analyse verschiedener Lösungsansätze

## Schichtabscheidung

Ent-schichtung | Nach-schleifen | Kanten-präparation | Reinigung | **Wiederbe-schichtung** | Nach-behandlung | Werkzeug aufbereitet | Werkzeug-einsatz

| Referenz: AlCrN<br>CrN-Adhäsionsschicht | Optimierte Beschichtung: AlCrN<br>TiN-Haftschicht mit unterschiedlicher Dicke | | | 2x AlCrN-Beschichtung<br>2x TiN-Haftschicht |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |
| **Dicke:**<br>Haftschicht0,15 µm<br>Komplette Schicht 3,5 µm | **Dicke:**<br>Haftschicht 0,15 µm<br>Komplette Schicht 3,1 µm | **Dicke:**<br>Haftschicht 0,30 µm<br>Komplette Schicht 3,2 µm | **Dicke:**<br>Haftschicht 0,50 µm<br>Komplette Schicht 3,5 µm | **Dicke:**<br>Haftschicht 2 x 0,30 µm<br>Komplette Schicht 6,7 µm |
|  |  |  |  |  |

Messung der Haftung der verschiedenen Beschichtungsvarianten durch einen Rockwell-Eindrucktest

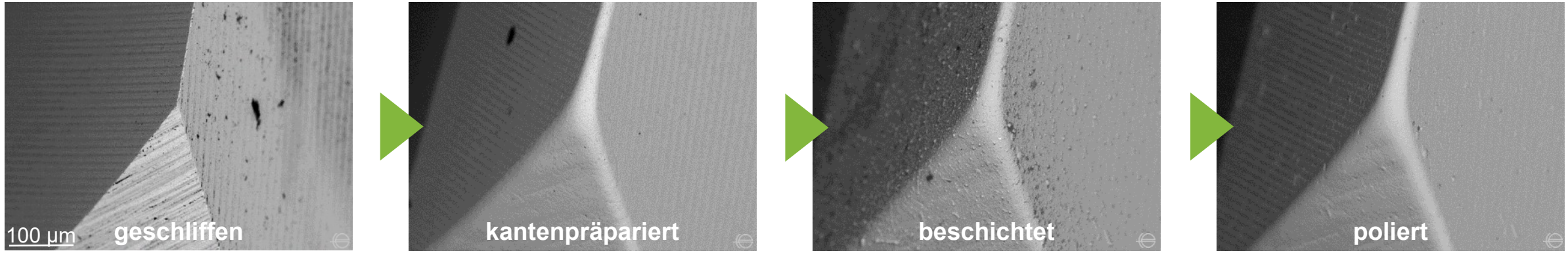
**AlCrN-basierte Schicht**

- Hohe Schichthaftung (Haftfestigkeitskl. HF1)
- Optimierte Dicke der Haftschicht 0,3 µm
- Überbeschichtung mit guter Haftung

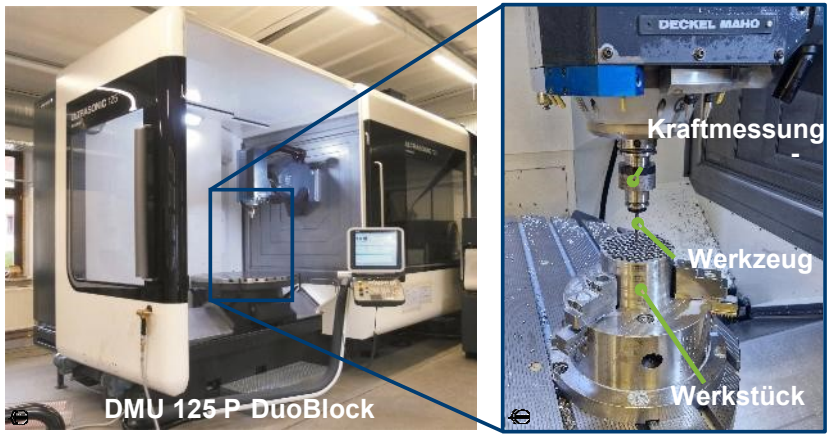
## Werkzeug- und Zerspantests



### Werkzeug



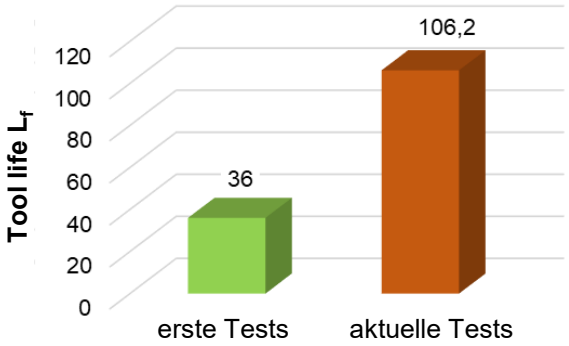

### Zerspanbedingungen







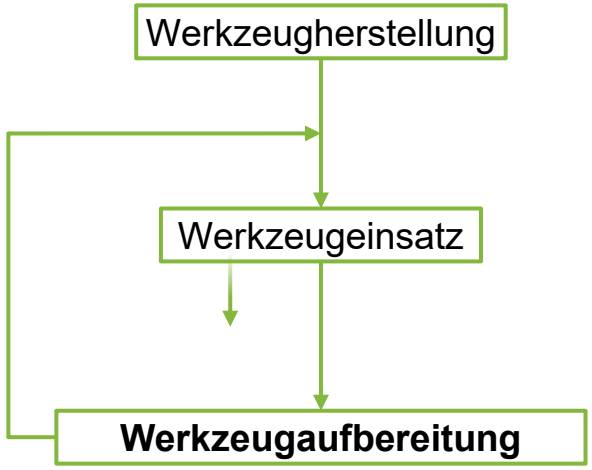
| | |
|---|---|
| **Material:** | 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2) |
| **Werkzeug:** | HM-Bohrer, d = 8<br>Kantenverrundung: 20 µm |
| **Parameter** | $v_c$ = 60 m/min<br>f = 0,14 mm/U<br>$a_t$ = 37,5 mm<br>Bohrtiefe: 5xd |




**Grenzbedingungen für Materialeinsparung**

- Aufbereitung nach $L_f$=40 m
- In ausgewählten Tests: nach $L_f$=100 m

## Test procedure




- Aufbereitung nach $L_f$=40 m
- In ausgewählten Tests: Aufbereitung nach $L_f$=100 m

## Aufbereitungsvarianten

**Variante 1:** Entschichten & Nachschleifen




**Variante 2** Nachschleifen & Entschichten




**Variante 3** Reinigen, Nachschleifen und Entschichten




**Variante 4** Nachschleifen & Überbeschichten

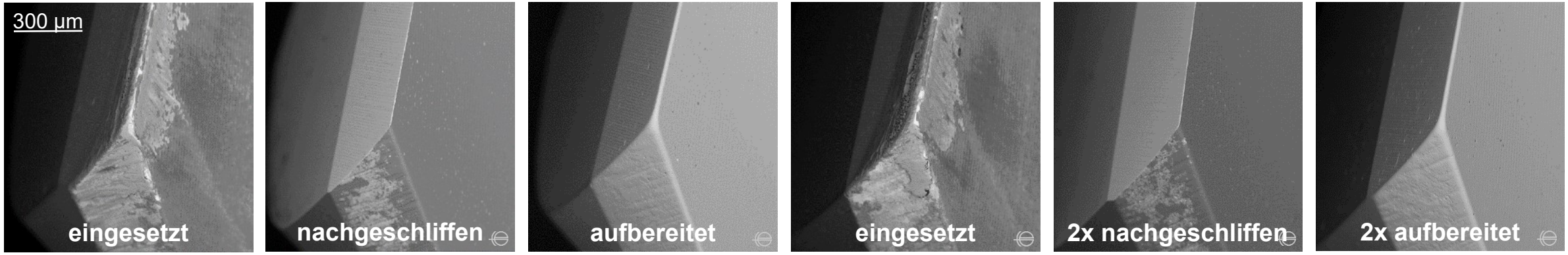


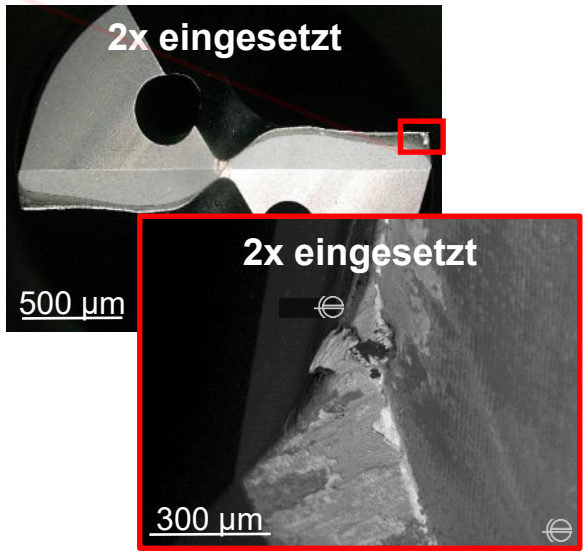

**Variante 5** Nachschleifen, selektive Präparation und Überbeschichtung

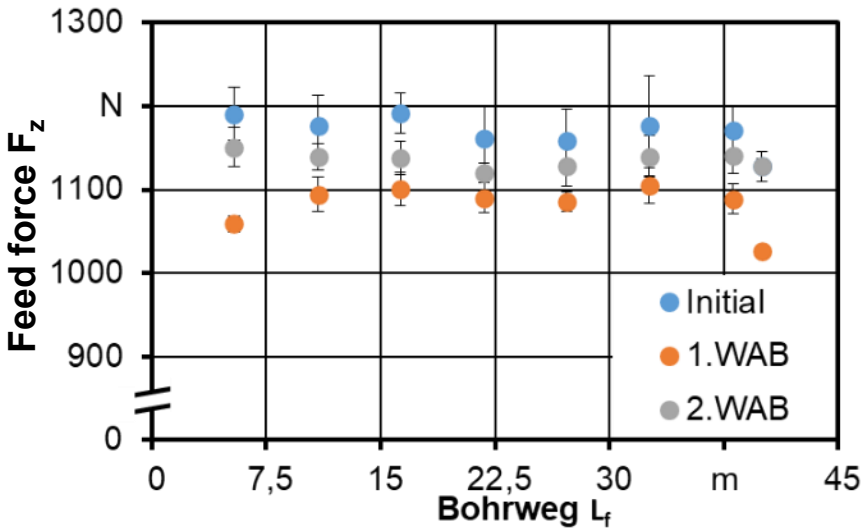


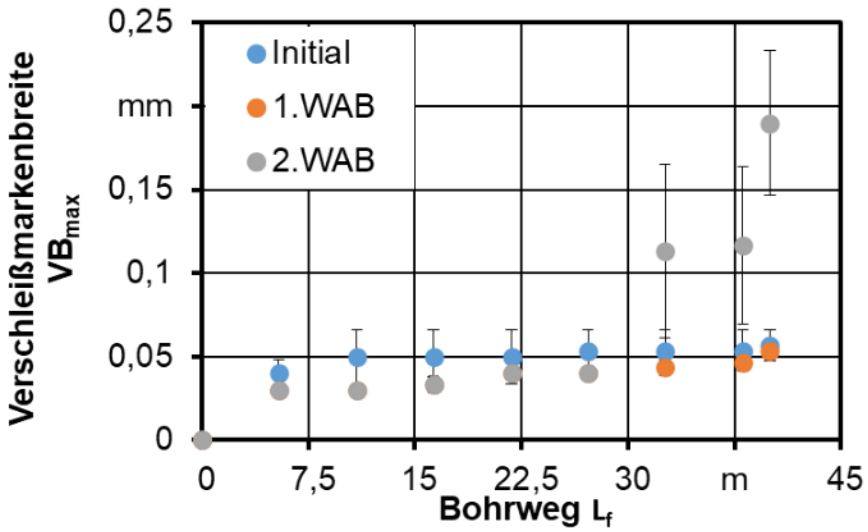
## Aufbereitungsstrategie 1: “Entschichten & Nachschleifen"

Entschichten → Nachschleifen



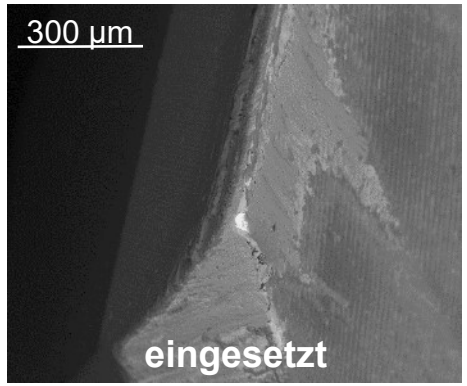



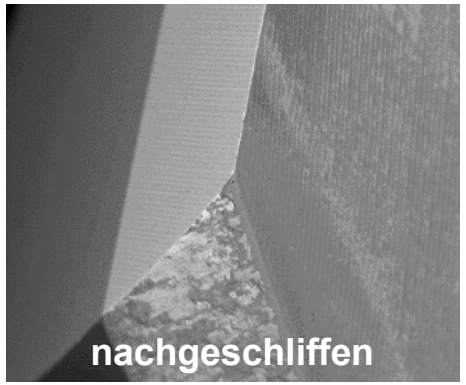



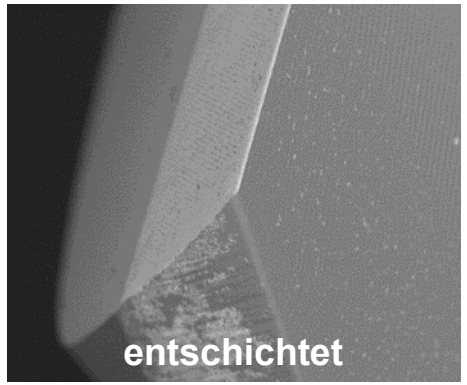
# Untersuchungen an Produktionswerkzeugen

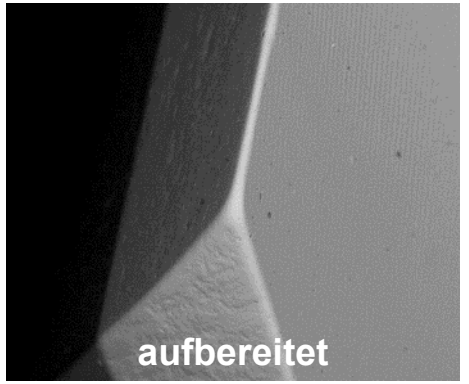
## Aufbereitungsstrategie 2: " Nachschleifen & Entschichten"

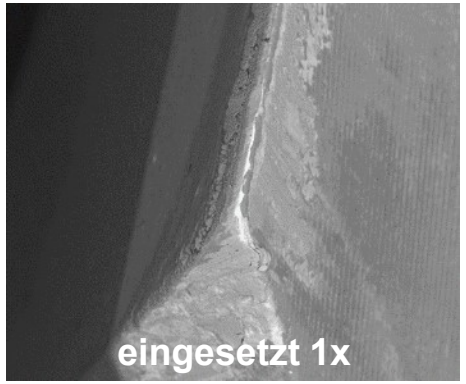
Nachschleifen → Entschichten

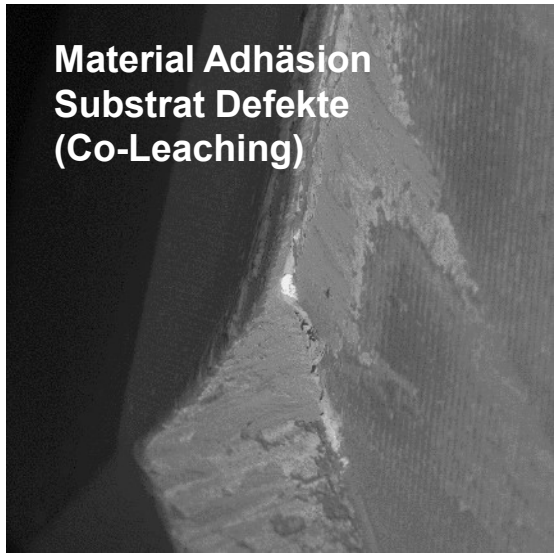


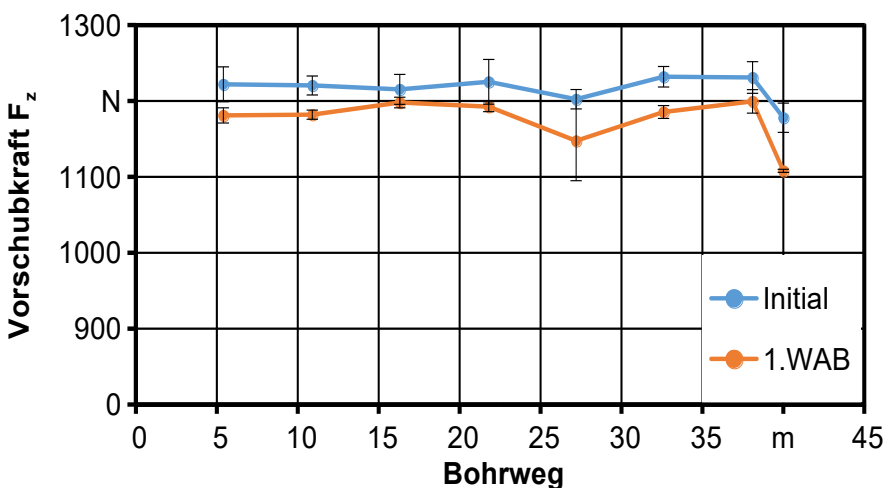



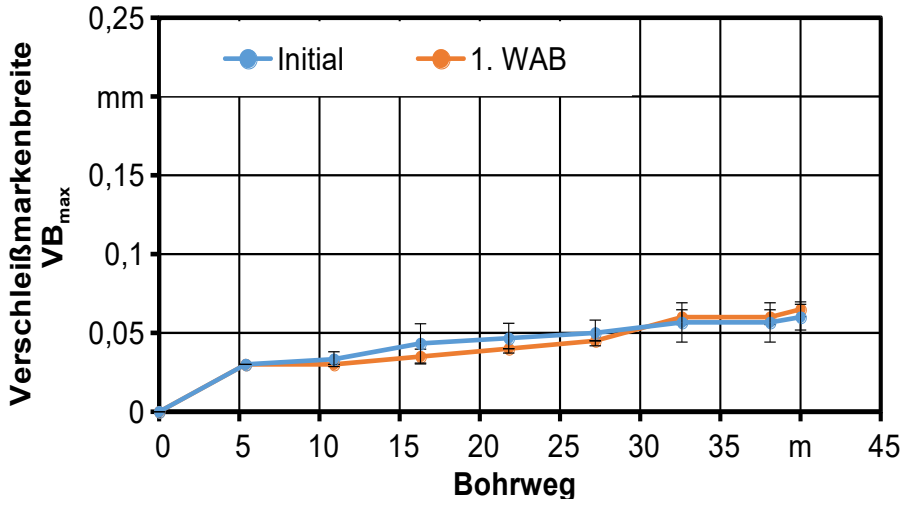



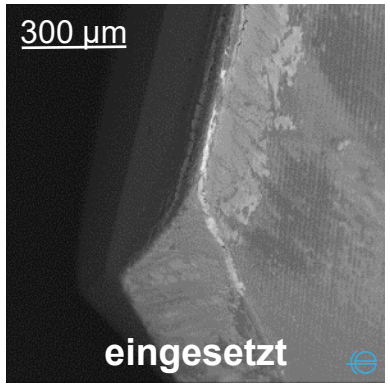



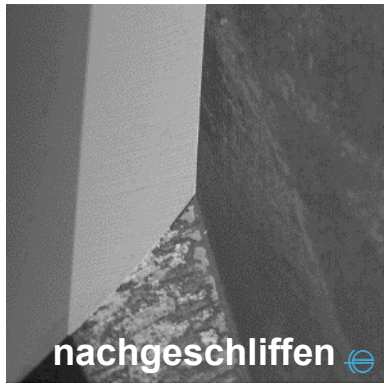



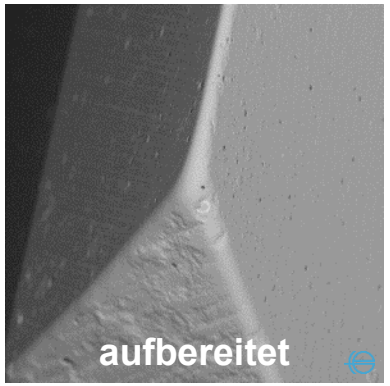



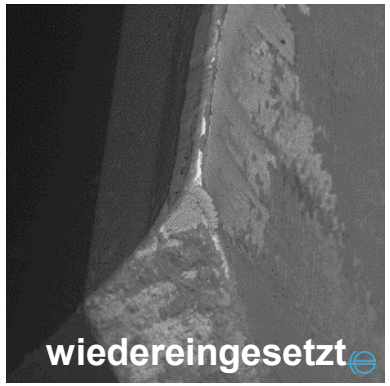



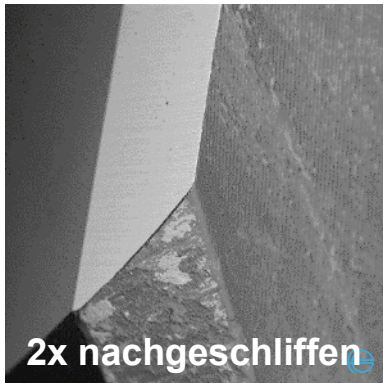
Aufbereitungsstrategie 4: "Nachschleifen & Überbeschichten“ → ~~Entschichten~~ → Nachschleifen →

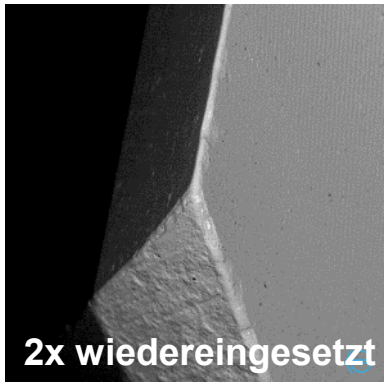


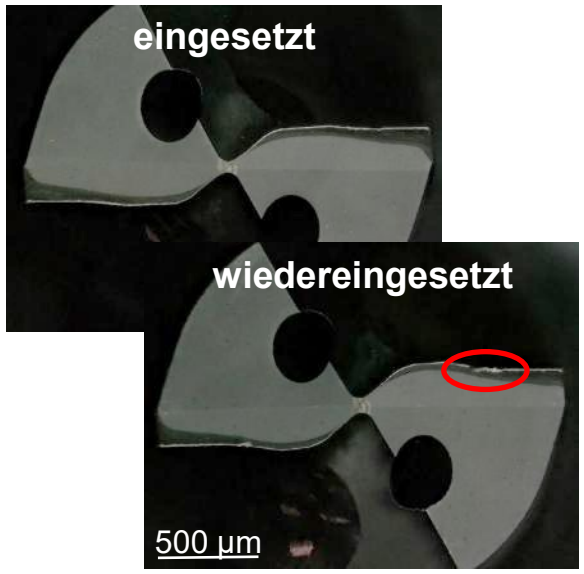



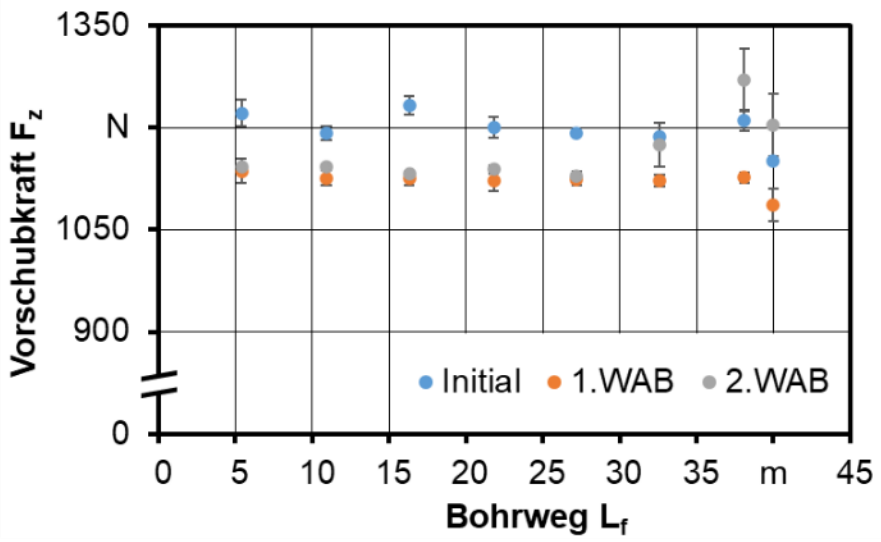



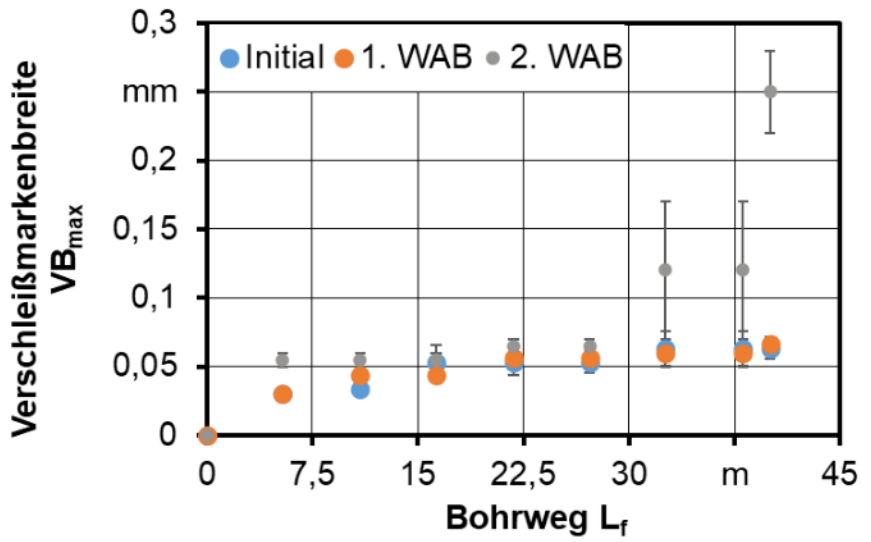



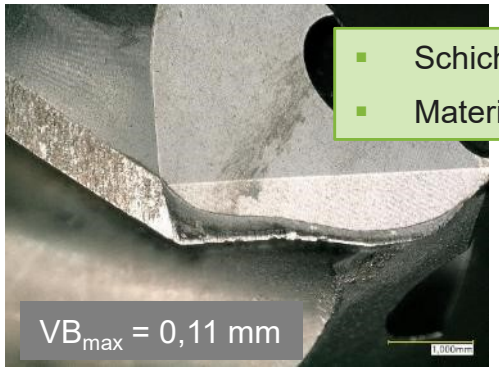



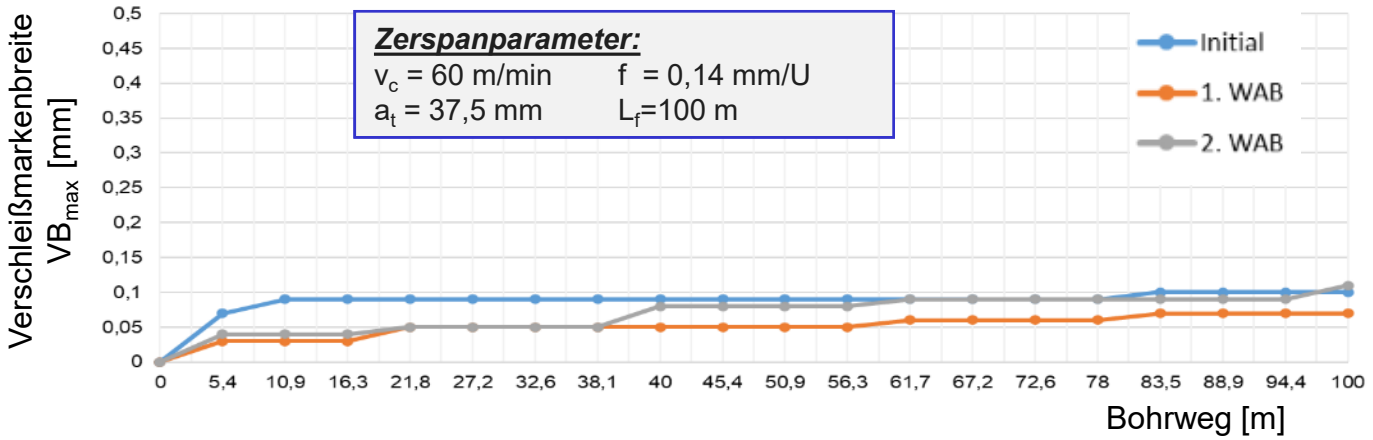



# Vergleich der Strategien für den Bohrweg $L_f$ = 100 m

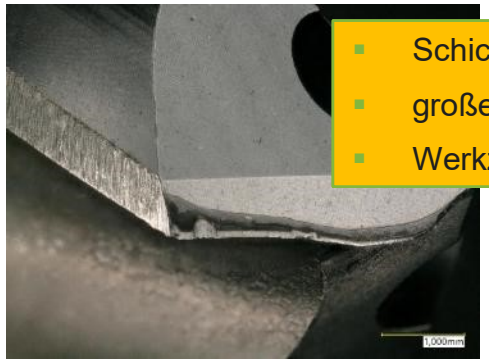
Entschichten → Nachschleifen →



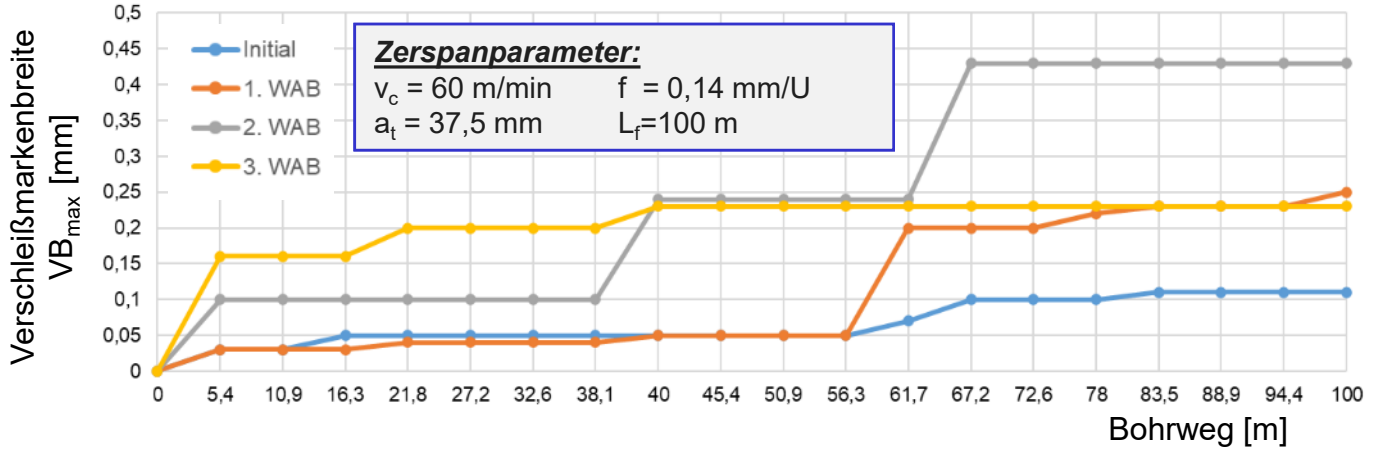

- Schichtabrieb / Abplatzen
- Materialadhäsion




~~Entschichten~~ → Nachschleifen →



- Schichtabrieb / Abplatzen
- große Materialadhäsion
- Werkzeugausbrüche



## Prozesskette

Entschichten → Nachschleifen → Kantenprep. → Beschichtung → Nachbehandl.

- Elektrolyt. gepulste Entschichtung
- Schnelles Entschichten <1 Min

- Durchmesser 8 mm
- Nachschleifen 0,1-0,4 µm

- Schleppschleifen
- Kantenradius 20 µm

- TiN Haftschicht 0,3 µm
- AlCrN basierte Schicht

- Schleppschleifen

## Verschiedene Aufbereitungsstrategien

**Variante 1:** Entschichten → Nachschleifen

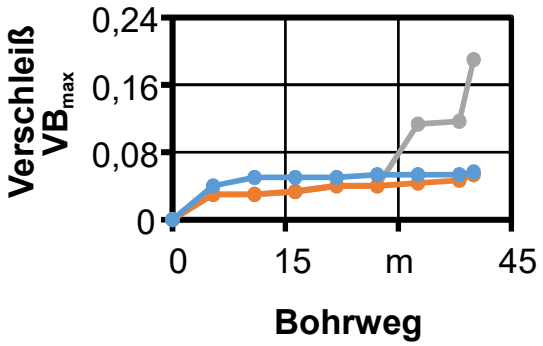
- Das Entschichten führt zu Co-Leaching an den Schneidecken
- Wiederherstellung von Schneidkanten und Oberflächeneigenschaften

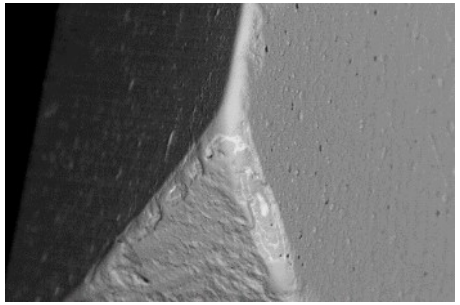
**Variante 2:** Nachschleifen → Entschichten

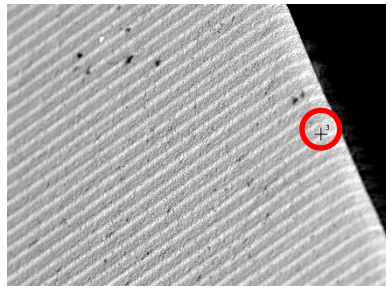
- Großflächiges Co-Leaching durch Entschichtung
- Risiko einer unzureichenden Schichthaftung während der Neubeschichtung

**Variante 4:** ~~Entschichten~~ → Nachschleifen

- Beschichtungsdefekte im Bereich der Oberflächenübergänge
- Erhöhter Verschleiß der Schneide nach der Wiederaufbereitung





## Ergebnisse

- Eine an die Entschichtung angepasste TiN-Haftschicht reduziert Entschichtungsfehler
- Verschiedene Aufbereitungsketten erhöhen das Risiko von Schichtfehlern und verkürzen die Lebensdauer aufbereiteter Werkzeuge
- Entschichten vorm Nachschleifen zeigt die besten Ergebnisse (geringste Beschädigungen der OF)
- 3–4 Wiederaufbereitungen sind möglich, mit zu neuen Werkzeugen vergleichbaren Eigenschaften

## Offene Fragestellungen

- Zeitpunkt / Verschleiß zum Beginn der Wiederaufbereitung
- Nachschleifvolumen,
- Substratveränderungen in der Prozesskette (Ermüdung / Mikrorisse / Co-Leaching)
- Verbesserung der Entschichtbarkeit (andere / ohne Haftschicht / andere Schichtarchitektur / Schichtzusammensetzung)



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Dr.-Ing. Heiko Frank**

**GFE – Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung Schmalkalden e.V.**

Business Unit Manager Hard Coating & Application

h.frank@gfe-net.de

Tel.: +49 3683 6900 772

www.gfe-net.de

Das IGF-Projekt 01IF22913N "Wirtschaftliche Regeneration von Präzisionsbohrwerkzeugen mit Schwerpunkt auf Mikrostruktur unter Berücksichtigung verschiedener Beschichtungs- und Entschichtungsstrategien" der FKM-Forschungsvereinigung wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Programms zur Finanzierung gemeinsamer Industrieforschung (IGF) gemäß einem Beschluss des Bundestages finanziert.

INDUSTRIELLE GEMEINSCHAFTSFORSCHUNG

Gefördert durch:

für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



HYDAC

WHITEPAPER

# MODERNE ÖLE IN DER HYDRAULIK
# **HERAUSFORDERUNGEN ERKENNEN UND MEISTERN**

© Jiraphat.N / *stock.adobe.com / KI generiert*

# Was Sie erwartet

EINLEITUNG

GRUNDLAGEN MODERNER HYDRAULIKÖLE

05 Entwicklung und Trends

07 Aufbau moderner Hydrauliköle

09 Eigenschaften und technische Auswirkungen moderner Fluide

HERAUSFORDERUNGEN IM EINSATZ

11 Verschmutzung als Hauptursache für Ausfälle

12 Partikelkontamination

13 Wasser im Hydrauliksystem

14 Luft im Öl

15 Varnish

16 Ölalterung

17 Micro-Diesel-Effekt

18 Elektrostatische Effekte

LÖSUNGSANSÄTZE UND METHODEN

19 Intelligente Fluidpflege

20 Filtrationstechnologien

21 Innovative HYDAC Filtrationslösungen

22 Zustandsüberwachung

23 Fazit

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# MODERNE HYDRAULIKÖLE

## Neue Herausforderungen für Hydrauliksysteme

**Wie intelligente Fluidpflege Anlagenverfügbarkeit Ölstandzeiten und Systemstabilität erhöht**

Moderne Hydrauliköle leisten heute deutlich mehr als noch vor wenigen Jahren. Sie sollen Maschinen zuverlässig schützen, hohe thermische Belastungen beherrschen, weltweit verfügbar sein und zugleich strengere Anforderungen an Nachhaltigkeit, Regulierung und Effizienz erfüllen. Genau diese Entwicklung verändert jedoch auch die Praxis in Hydrauliksystemen. Denn mit neuen Ölformulierungen entstehen neue Wechselwirkungen im Betrieb, die sich unmittelbar auf Filtration, Ölstandzeit, Wartungsaufwand und Anlagenverfügbarkeit auswirken.

Hydrauliksysteme sind das Rückgrat vieler industrieller und mobiler Anwendungen. Ihre Leistungsfähigkeit hängt nicht nur von Pumpen, Ventilen oder Dichtungen ab, sondern in hohem Maß auch vom Zustand des eingesetzten Fluids.

Moderne hochraffinierte Öle bieten in vielen Bereichen Vorteile, etwa bei Oxidationsstabilität, gleichbleibender Qualität und internationaler Verfügbarkeit. Gleichzeitig sinken jedoch häufig die elektrische Leitfähigkeit und das Lösungsvermögen für Ölalterungsprodukte. **Dadurch steigen Risiken wie elektrostatische Entladungen, Varnish-Bildung, verblockte Filterelemente und schleichende Funktionsstörungen.**

Für Betreiber ist das nicht nur ein technisches, sondern gleichzeitig auch ein wirtschaftliches Thema. Der Zustand des Betriebsmediums beeinflusst Effizienz, Betriebssicherheit und Lebenszykluskosten einer Anlage direkt. Wird die Fluidpflege nicht ganzheitlich betrachtet, können Wartungs-, Reparatur- und Ausfallkosten über den gesamten Lebenszyklus erfahrungsgemäß spürbar ansteigen. Gerade deshalb reicht die Auswahl eines Hydrauliköls heute allein nicht mehr aus.

**Entscheidend ist der umfassendere Blick auf Fluid, Anlage und Pflegekonzept gleichermaßen.**

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

**Mit anderen Worten:**

Wer moderne Öle sicher einsetzen will, sollte ihre Eigenschaften verstehen, kritische Belastungen früh erkennen und geeignete Maßnahmen für Filtration, Entwässerung, Entgasung, Laboranalytik und Zustandsüberwachung etablieren.

**Zu den wichtigsten Veränderungen moderner Hydrauliköle gehören:**

- geringere elektrische Leitfähigkeit
- reduzierte Löslichkeit von Ölalterungsprodukten
- erhöhte Gefahr elektrostatischer Aufladung
- verstärkte Bildung von Ablagerungen (Varnish)

HYDAC beschäftigt sich seit Jahrzehnten intensiv mit der Analyse von Fluiden und der Entwicklung leistungsfähiger Filtrationstechnologien. Fluide werden dabei nicht isoliert, sondern im Zusammenspiel mit Filtration, Fluidpflege, Monitoring und realem Anlagenbetrieb betrachtet.

**Dieses Whitepaper zeigt, wie sich Hydrauliköle verändert haben, welche Herausforderungen daraus entstehen und wie sich diese mit einem systematischen Fluidpflegekonzept beherrschen lassen**.



© KIMINI / stock.adobe.com / KI generiert

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights




# Entwicklung und Trends

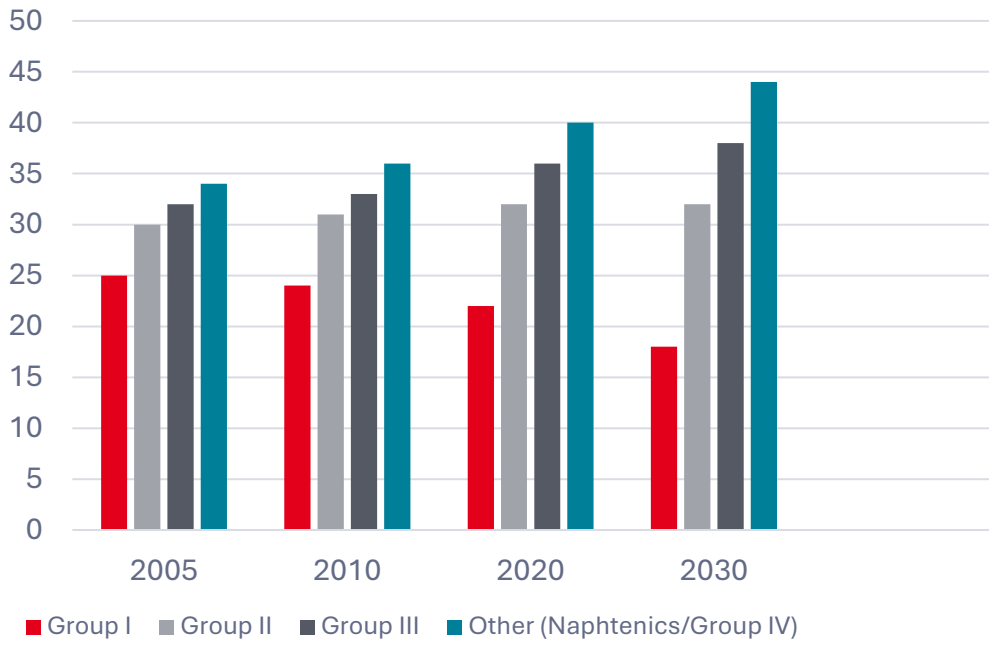
## Veränderungen in der Öltechnologie

**Der Schmierstoffmarkt hat sich in den vergangenen Jahren deutlich verändert.**

Wo früher überwiegend Basisöle der API-Gruppe I eingesetzt wurden, dominieren heute zunehmend höher raffinierte Öle der Gruppen II und III. Diese Entwicklung ist Ausdruck veränderter Markt- und Anwendungsanforderungen. Strengere Umwelt- und Regulierungsvorgaben, höhere Erwartungen an Oxidationsstabilität, global verfügbare Rohstoffqualitäten und Fortschritte in der Additivtechnologie treiben diesen Wandel voran.

**Die niedrig leitfähigen Hydrauliköle haben innerhalb von 10 Jahren etwa 50% Marktanteil gewonnen,** ihren Marktanteil also verdoppelt. Zeitgleich haben niedrig raffinierte Öle der Gruppe 1 in etwa 50% Marktanteil verloren.

**Base Oil Demand by API Group [m tpa]**




Quelle: Sahara Business Group / 2020

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

Für Betreiber ist das besonders deshalb relevant, weil sich mit dem höheren Raffinationsgrad nicht nur bekannte Kenndaten verändern, sondern vor allem zwei Eigenschaften, die in Standarddatenblättern häufig nicht ausgewiesen werden: **die Polarität und die elektrische Leitfähigkeit.** Gerade diese beiden Faktoren entscheiden in vielen Fällen darüber, wie sich ein Fluid unter realen Betriebsbedingungen verhält.

Mit steigender API-Gruppe werden Hydrauliköle unpolarer. Gleichzeitig nimmt ihre elektrische Leitfähigkeit ab. Beides bleibt im Alltag oft lange unbemerkt, hat aber erhebliche Auswirkungen im Betrieb. Eine geringere Leitfähigkeit kann elektrostatische Aufladung und Entladungen im Filtersystem begünstigen.

Die geringere Polarität reduziert das Lösungsvermögen für polare Ölalterungsprodukte. Sobald Alterungsprozesse einsetzen, fallen diese Produkte schneller aus und lagern sich im System ab.



**Je höher der Raffinationsgrad, desto deutlicher verändert sich damit das Verhalten des Fluids im System. Moderne Öle bieten hohe Stabilität und gleichbleibende Qualität, reagieren aber sensibler auf bestimmte Betriebsbedingungen und Belastungen.**

Die Herausforderung verschiebt sich damit von der reinen Ölauswahl hin zu der Frage, wie sich das Fluid im realen System unter Temperatur, Druck, Volumenstrom sowie unter dem Einfluss von Luft, Wasser und Partikeln verhält.

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# Aufbau moderner Hydrauliköle

## Was in modernen Hydrauliköl steckt

Auch moderne Hydrauliköle bestehen weiterhin aus zwei Grundbausteinen: dem Grundöl und einem abgestimmten Additivpaket.

**Das Grundöl**
bildet die Basis des Fluids und bestimmt wesentliche Eigenschaften wie Viskositätsverhalten, Temperaturstabilität und Grundcharakteristik.

**Die Additive**
ergänzen diese Basis gezielt, um das Öl an die Anforderungen der Anwendung anzupassen.

Zu den typischen Additiven zählen unter anderem:

- Viskositätsindexverbesserer
- Antischaumadditive
- Korrosionsinhibitoren
- Oxidationsschutzadditive
- Verschleißschutzadditive

HYDAULIKÖL SCHMIERÖL = BASISÖL/ GRUNDÖL + ADDITIVE




© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

## Klassifizierung Grundöle nach API 1509

**API-Gruppe** (American Petroleum Institute)

| | I | II | III | IV |
|---|---|---|---|---|
| **ÖLTYP** | Raffinat | Hydriertes Grundöl | Syntheseöl | PAO |
| **ANTEIL GESÄTTIGTER KOHLENWASSERSTOFFE** | < 90% | > 90% | > 90% | 100% |
| **POLARITÄT** | hohe Polarität | weniger Polar | nahezu unpolar | keine Angabe |
| **LÖSLICHKEIT VON VARNISH** | hoch | mittel | schwach | schwach |
| **LEITFÄHIGKEIT** | gut | schlecht | sehr gering | gering |

In modernen Ölen kommen dabei immer häufiger polymersynthetische Zusatzstoffe zum Einsatz. Sie ersetzen in vielen Formulierungen frühere metallorganische Bestandteile und tragen dazu bei, Öle leistungsfähiger, weltweit einheitlicher verfügbar und regulatorisch robuster zu machen.

Entscheidend ist dabei nicht nur, welche Additive eingesetzt werden, sondern wie sie sich unter realen Betriebsbedingungen verhalten. **Erst das Zusammenspiel von Fluid, Temperatur, Druck, Volumenstrom, Luft, Wasser und Partikeln bestimmt, wie stabil ein Öl in der Praxis tatsächlich arbeitet.** Die Zusammensetzung moderner Öle beeinflusst also nicht nur klassische Leistungsdaten, sondern auch das Verhalten gegenüber Luft, Wasser, Partikeln und Alterungsprodukten.

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

## Zwei Eigenschaften, die heute besonders entscheidend sind

### Reduzierte Polarität: Warum Alterungsprodukte früher sichtbar werden

Die reduzierte Polarität moderner Öle führt dazu, dass Ölalterungsprodukte schlechter in Lösung gehalten werden können. Früher blieben viele polare Alterungsprodukte länger im Fluid gelöst. Heute trifft häufig ein unpolares Öl auf polare Abbauprodukte. Die Folge ist, dass Alterungsprodukte früher ausfallen und sich als so genannter „Varnish“ oder schlammartige Ablagerungen im System niederschlagen.

Damit verändert sich auch die Wahrnehmung von Ölalterung. Ein modernes Öl muss nicht zwingend schneller altern als frühere Formulierungen. Es zeigt die Folgen der Alterung jedoch früher und sichtbarer – etwa in Form von Ablagerungen, verblockten Filtern, klemmenden Ventilen oder instabilen Regelvorgängen. Gerade deshalb ist es wichtig, Ölzustand und Ablagerungsneigung nicht nur über klassische Laborwerte zu bewerten, sondern um geeignete Frühindikatoren zu ergänzen.



© iStock.com/Totojang

Für Betreiber ist das besonders relevant, weil die Problematik häufig nicht sofort auf eine Veränderung des Fluids zurückgeführt wird. Im Feld entsteht dann der Eindruck, das System verhalte sich plötzlich anders, obwohl – zumindest scheinbar – derselbe Öltyp eingesetzt wird. Genau deshalb erfordert der Umgang mit modernen Ölen heute mehr als einen Blick ins Datenblatt.

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

**Niedrige elektrische Leitfähigkeit: Wenn Filtration elektrisch relevant wird**

Die niedrigere elektrische Leitfähigkeit ist eine weitere zentrale Veränderung moderner Hydrauliköle. Durch die moderne Additivierung haben Ladungsträger im Öl weniger Möglichkeiten, sich auszugleichen. Im Zusammenspiel mit Kontaktflächen und Strömung im Filterelement kann dies zu elektrostatischen Aufladungen und in der Folge zu Entladungen führen.

Diese Effekte bleiben oft lange unsichtbar, können aber erhebliche Folgen haben:

- beschleunigte Ölalterung
- zusätzliche Bildung von Alterungsprodukten
- Schädigung von Filterelementen
- Störungen elektronischer Komponenten
- in Extremfällen sogar sicherheitskritische Situationen

Moderne Filtration muss deshalb heute mehr leisten als „klassische“ Partikelabscheidung. Sie muss auch zum elektrischen Verhalten des eingesetzten Fluids passen.

Hinzu kommt ein praxisrelevanter Punkt:



**Eigenschaften wie Polarität und Leitfähigkeit sind im täglichen Betrieb oft nicht unmittelbar sichtbar und werden in Standarddatenblättern nicht immer ausreichend abgebildet. Genau deshalb können sich Anlagenverhalten und Schadensbilder verändern, obwohl auf den ersten Blick kein grundlegender Ölwechsel erkennbar zu sein scheint.**

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights




# Herausforderungen im Einsatz

## Verschmutzung als Hauptursache für Ausfälle

**Trotz aller Veränderungen bei den Ölformulierungen bleibt eines klar:**

Verschmutzung ist eine der wichtigsten Ursachen für Ausfälle in Hydrauliksystemen. Entscheidend ist jedoch ein erweitertes Verständnis von Verschmutzung. Es geht nicht nur um klassische Partikel im Öl, sondern ebenso um Wasser, Luft, Prozessgase, Ölalterungsprodukte, Varnish und Additiv-Entmischungen.

Moderne Fluidpflege sollte Verschmutzung daher grundsätzlich in vier Formen betrachten:

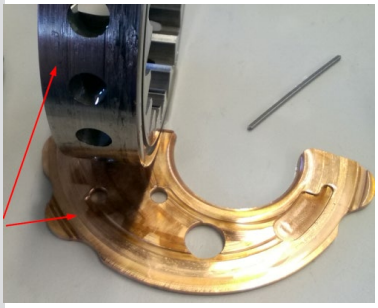
- feste Kontamination
- flüssige Kontamination
- gasförmige Kontamination
- gelartige Kontamination

Gerade in modernen Hydrauliksystemen treten Störungen häufig nicht isoliert auf, sondern als Folge mehrerer gleichzeitig wirkender Belastungen.

Wer Verschmutzung ausschließlich mit Partikeln gleichsetzt, greift bei modernen Ölen deshalb in der Regel zu kurz.

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# FESTE VERSCHMUTZUNG



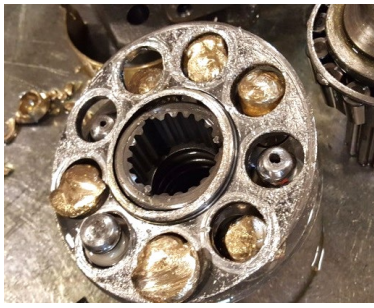
Hohlrad & Gehäuse
Innenzahnradpumpe



Ventilkolben



Axialscheibe Außenzahnradpumpe



Kolbenpumpe

## Partikuläre Kontamination

Partikuläre Verunreinigungen sind in der hydraulischen Praxis weiterhin ein wesentlicher Ausfalltreiber. Sie entstehen durch Montageverunreinigungen, externe Umgebungsverschmutzung, Verschleiß im laufenden Betrieb, Nachfüllvorgänge oder auch durch Ölalterung. Typische Beispiele sind Korund, Zunder, Rostpartikel, Metallabrieb, Fasern, Gummipartikel oder Lackreste.

Besonders kritisch ist, dass viele dieser Partikel mit bloßem Auge nicht erkennbar sind und gleichzeitig genau in den Größenbereichen liegen, die für enge Schmierspalten und hochpräzise Komponenten problematisch werden können. Gelangen solche Partikel in Pumpen, Ventile oder Lagerstellen, wirken sie abrasiv. Es entstehen Riefen, vergrößerte Leckagen, Funktionsstörungen oder im schlimmsten Fall Komponentenausfälle. Gleichzeitig erzeugt Verschleiß wiederum neue Partikel, die im Kreislauf zirkulieren und den Schaden verstärken.

Mit anderen Worten: Partikelkontamination ist kein Randthema, sondern ein permanentes Risiko über den gesamten Lebenszyklus der Anlage. Leistungsfähige Filtration und saubere Serviceprozesse bleiben deshalb die Grundlage jeder wirtschaftlichen Fluidpflege.

### VERSCHMUTZUNGEN

- Korund
- Zunder
- Rostpartikel
- Verschleißmetalle wie z.B. Eisen, Kupfer, Zinn, Zink
- Fasern
- Gummipartikel
- Lackpartikel

### URSACHEN

- Montagverunreinigung
- Umgebungsverschmutzung
- Nachfüllen von Hydraulikflüssigkeit
- Interne Verschleißvorgänge
- Ölalterung

### FOLGEN

- Abrasiver Verschleiß
- Vergrößerte Leckage
- Ausfall von Komponenten
- Veränderung der Schaltfunktionen
- Verklemmen von Steuerkolben
- Metall + Wasser + Sauerstoff = Fluidalterung

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# FLÜSSIGE VERSCHMUTZUNG



Korrosion



Verschlammung



Verblocktes Filterelement



Wassereinbruch ins Ölsystem

## Wasser im Hydrauliksystem

Wasser gehört zu den besonders kritischen flüssigen Verunreinigungen in Hydrauliksystemen. Es gelangt meist von außen in die Anlage, etwa durch feuchte Umgebungsluft, Kühlerleckagen, Dichtungsprobleme, Prozesswasser, Prozessdampf oder unsachgemäße Reinigung.

Die Folgen reichen weit über sichtbare Korrosion hinaus. Wasser reduziert die dynamische Viskosität des Öls, verringert die Schmierfilmdicke und erhöht so das Risiko von Oberflächenkontakt und Verschleiß. Zusätzlich beschleunigt Wasser die Ölalterung. Es kann die chemische Struktur des Fluids verändern, saure Alterungsprodukte fördern und die Bildung von Schlamm begünstigen.

Verblockte Filterelemente, verschmutzte Kühler und instabile Betriebszustände sind häufige Begleiterscheinungen.

Gerade weil Wasser oft schwerer zu beherrschen ist als partikuläre Verschmutzung, verursacht es in der Praxis häufig besonders hohen Handlungsdruck. Umso wichtiger sind angepasste Entwässerungs- und Überwachungskonzepte.

### VERSCHMUTZUNGEN

- Wasser
- Dampf

### URSACHEN

- Feuchte aus der Umgebungsluft
- Kühlerleckagen, Dichtungsleckagen
- Prozesswasser / Prozessdampf, Hochdruckreiniger
- Chemische Prozesse (Verbrennung, Oxidation, Neutralisation)

### FOLGEN

- Korrosion
- Verringerung der dyn. Viskosität
  - Verringerung der Schmierfilmdicke
  - Berührung der Oberflächen
  - Reduzierung der Öllebensdauer
- Veränderung der Ölbeschaffenheit
  - Erzeugung saurerÖlalterungsprod.
  - Zunahme der Ölalterungsgeschw.
  - Bildung von Schlamm

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# GASFÖRMIGE VERSCHMUTZUNG



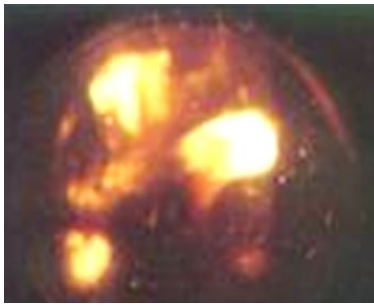
Schaumentwicklung



Materialausbruch Pumpe



Verschlammung Filterelement



Micro-Diesel-Effekt

## Luft im System

Auch gasförmige Verunreinigungen beeinflussen die Systemstabilität erheblich.

Luft kann über die Tankatmung, undichte Saugleitungen, ungünstige Rücklaufführung oder unzureichende Entlüftung in das System gelangen. In einigen Anwendungen kommen zusätzlich Prozessgase hinzu.

Die Folgen sind Schaumbildung, Kavitation, Oxidation und lokale Überhitzung des Öls. Gerade durch den so genannten „Micro-Diesel-Effekt“ können lokal hohe Temperaturen, – quasi „Hotspots“ – entstehen, die das Fluid zusätzlich schädigen und die Bildung von Ölalterungsprodukten beschleunigen. Luft im System ist damit nicht nur ein Komfort- oder Effizienzproblem, sondern ein aktiver Beschleuniger der Fluidalterung.

### VERSCHMUTZUNGEN

- Luft
- Prozessgase

### URSACHEN

- Vermischungen
- Ausgasung des Öls
- Strömungsführung
- Tankdesign

### FOLGEN

- Kavitation
- Oxidation
- Lokale Überhitzung des Öls
- Erhöhung der Ölalterungs-geschwindigkeit
- Regelungenauigkeiten

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# GELARTIGE VERSCHMUTZUNG



Ablagerungen an den Kühlelementen



Wasserschlamm am Tankboden



Verblocktes Filterelement



Ölkohle im Tank

## Varnish und gelartige Ablagerungen

Gelartige und lackartige Ablagerungen entstehen nicht nur durch klassische Ölalterung. Auch Ölvermischungen, inkompatible Nachfüllmedien oder Additiv-Entmischungen können ähnliche Schadensbilder fördern. Varnish sollte deshalb immer im Gesamtzusammenhang von Fluidzustand, Betriebsbedingungen und Wartungspraxis bewertet werden.

Die Folgen:

- verringerte Schmierspalte
- erhöhte Reibung
- steigende Temperaturen
- klemmende Ventile
- instabiles Regelverhalten
- kurze Filterstandzeiten

Gerade bei modernen Ölen wird dieses Thema früher sichtbar und damit auch betriebsrelevanter.

### VERSCHMUTZUNGEN

- Ölalterung/Varnish
- Ölvermischungen
- Additiv-Entmischung (Dropout)

### URSACHEN

- Ölalterung
- Ölvermischung

### FOLGEN

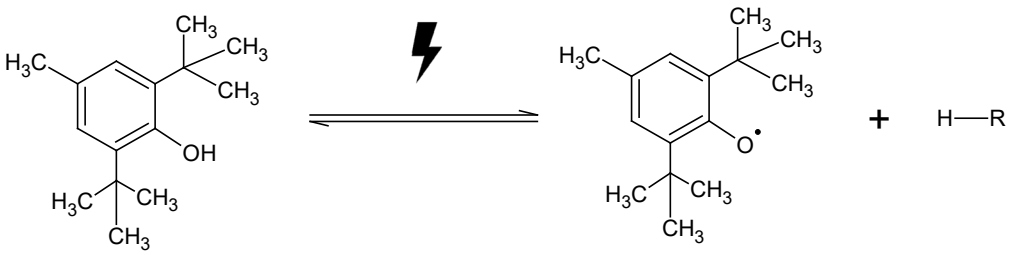
- Verringerung von Schmierspalten durch Ablagerungen
- Erhöhte Reibung und Temperatur
- Erhöhter Lagerverschleiß
- Funktionsstörungen in Ventilen
- Instabiles Regelverhalten
- Beschädigung von dynamischen Dichtungen
- Leckagen
- Verblockung von Filterelementen, kurze Filterstandzeiten

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

## Beschleunigte Ölalterung

### Warum Probleme heute früher auftreten können

Ölalterung ist kein singuläres Ereignis, sondern das Ergebnis verschiedener Belastungsmechanismen. Thermische, oxidative, hydrolytische oder reaktive Einflüsse können die molekulare Struktur des Fluids schädigen. Dabei entstehen Abbauprodukte, die in modernen, unpolaren Ölen schlechter in Lösung bleiben und deshalb früher ausfallen.

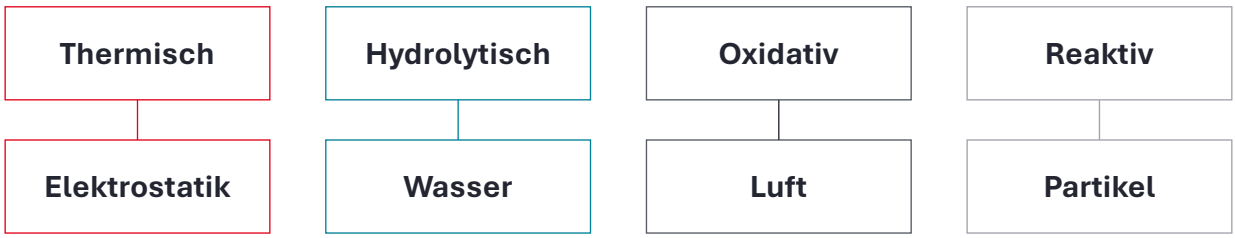



Heißt in der Praxis: Selbst wenn ein modernes Öl in seiner Grundstabilität leistungsfähig ist, können reale Betriebsbedingungen dazu führen, dass Alterungsprodukte früher sichtbar und wirksam werden als in früheren Fluidgenerationen. Kritisch wird das vor allem dann, wenn mehrere Einflussfaktoren gleichzeitig wirken – etwa Luft, Wasser, lokale Überhitzung und elektrostatische Effekte.

Für Betreiber bedeutet das, wie erwähnt, dass Fluidalterung nicht nur als Laborwert, sondern als systemischer Prozess verstanden werden sollte.

**Nur, wer Alterung früh erkennt, kann gezielt gegensteuern. Wer sie zu spät bemerkt, kämpft häufig schon mit Folgeschäden an Filtern, Ventilen, Dichtungen oder Lagern.**

### Verschmutzungsursachen im Hydraulikkreislauf




© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# Micro-Diesel-Effekt

## Explosionen in der Hydraulikpumpe



*Ölalterungsprodukt aufgrund des Mikro-Diesel-Effekts*

Gasförmige Verunreinigungen werden im Alltag nicht selten unterschätzt. Dabei kann Luft auf unterschiedlichen Wegen ins Hydrauliksystem gelangen, etwa durch mangelhafte Entlüftung, ungünstige Strömungsführung, zu niedrige Ölstände, Leckagen an der Saugseite oder ein ungeeignetes Tankdesign. Hinzu kommen je nach Anwendung auch Prozessgase. Sichtbar wird dieses Problem häufig zunächst durch Schaumbildung oder milchige Ölzustände. Die Folgen gehen jedoch deutlich weiter: Luft fördert Oxidation, verschlechtert das Regelverhalten und kann Kavitation verursachen. Besonders kritisch: der sogenannte Micro-Diesel-Effekt. Dabei führen Gasblasen unter Druck und Temperatur lokal zu extremen Belastungen, die das Öl punktuell schädigen oder regelrecht verbrennen können.

| | |
|---|---|
| Luftblasen werden stark zusammengedrückt | ▸ Temp. steigt lokal auf bis zu mehrere 100 °C |
| Das umgebende Öl erhitzt sich schlagartig | ▸ Ölbestandteile entzünden sich selbst |
| Eine Mikro-Explosion findet statt | ▸ Mikro-Diesel-Effekt: ungewolltes Zünden eines Luft-/Kraftstoffgemischs |

Das beschleunigt die Bildung von Ölalterungsprodukten und kann zu Ablagerungen, Materialschäden und instabilen Prozessen führen. Je höher der Anteil fein verteilter freier Luft im Öl, desto größer ist die wirksame Oberfläche für Reaktionen, die die Ölalterung beschleunigen. Deshalb sollte Luftmanagement nicht erst bei Schaumbildung oder Kavitation beginnen, sondern bereits bei Tankauslegung, Rücklaufgestaltung, Entlüftung und Saugseite mitgedacht werden.

### URSACHEN

- Lufteintrag an Pumpensaugseite
- Schlechte Entlüftung des Tanks
- Zu niedriger Ölstand
- Undichtigkeiten oder poröse Schläuche
- Hohe Temperaturen ▸ schlechtere Luftabscheidung
- Kavitation ▸ Bildung und Kollaps von Gasblasen

### FOLGEN

- Oxidation und Alterung des Öls
- Bildung von Ablagerungen (Varnish)
- Schwärzung des Öls
- Beschädigung von Komponenten (insbesondere Pumpen, Ventile, Filter)
- Erhöhung der Temperatur im System

### MASSNAHMEN

- Filtersysteme optimieren (Ablagerungen verhindern)
- Saugseite der Pumpe optimieren (kurze Leitungen, große Querschnitte, keine Undichtigkeiten)
- Geeignete Additive/Öle verwenden (gute Luftabscheidefähigkeit, gute Oxidationsstabilität)
- Kavitation vermeiden
- Ölstand korrekt halten
- System sauber entlüften

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

## Elektrostatische Effekte

### Schleichendes Phänomen mit wirtschaftlichem Risiko

Mit modernen niedrig leitfähigen Hydraulikölen rückt ein Phänomen stärker in den Vordergrund, das früher deutlich seltener auftrat: elektrostatische Aufladung und Entladung im Filtersystem.

Ursache ist das Zusammenspiel aus geringer Leitfähigkeit des Öls, unterschiedlichen Ladungspotenzialen der beteiligten Materialien und großen Kontaktflächen im Filterelement.

Wird niedrig leitfähiges Öl durch ein herkömmliches Filtermedium geleitet, können sich Ladungen trennen und nicht schnell genug abbauen. In der Folge kommt es zu Funkenentladungen.



*Funkenentladungen am Filtermedium*

Diese Entladungen sind im realen Betrieb meist nicht sichtbar, können aber deutliche Spuren hinterlassen: Brandspuren am Element, beschleunigte Ölalterung, zusätzliche Bildung von Ölalterungsprodukten, Störungen elektronischer Bauteile und in Extremfällen sogar Verpuffungen im Tank, wenn ein zündfähiges Gemisch vorhanden ist.

Eine ungeeignete Filtrationslösung ist damit nicht nur ein technisches, sondern auch ein wirtschaftliches Risiko. Sie kann Wartungsaufwand, Ersatzteilbedarf und ungeplante Stillstände erhöhen. Moderne Filtration muss daher sowohl die Reinheitsanforderungen als auch das elektrostatische Verhalten des Fluids berücksichtigen.

**Das oftmals unbemerkte Phänomen der elektrostatischen Entladung sollte bei der Auswahl von Filterelementen und bei der Analyse ungeklärter Ölalterungs- oder Brandspuren systematisch mitgedacht werden.**

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights




# Lösungsansätze und erfolgreiche Methoden

## Intelligente Fluidpflege statt Standardmaßnahmen

Moderne Hydrauliköle verlangen nach einem Fluidpflegeansatz, der über Standardfiltration hinausgeht. Intelligente Fluidpflege bedeutet, unterschiedliche Belastungen des Fluids gezielt zu erkennen und mit passenden Maßnahmen zu kombinieren. Dazu gehören:

- Partikelabscheidung
- Entwässerung
- Entgasung
- die Entfernung von Ölalterungsprodukten
- die laufende Zustandskontrolle

Es geht darum, nicht erst auf Schäden zu reagieren, sondern Risiken frühzeitig sichtbar zu machen und gezielt zu reduzieren. So lässt sich verhindern, dass einzelne Belastungsfaktoren wie Wasser, Luft oder elektrostatische Entladungen unbemerkt eine Kettenreaktion auslösen, die schließlich zu Ölalterung, Ablagerungen und Ausfällen führt.

**Wirksame Fluidpflege setzt deshalb eine systemische Betrachtung voraus.**

Nicht nur das Medium selbst ist relevant, sondern auch Druck, Temperatur, Volumenstrom, Ölqualität, Additivverhalten und die realen Verschmutzungsformen im Betrieb. Erst aus diesem Gesamtbild lassen sich geeignete Maßnahmen mit mehreren Vorteilen sicherstellen:

- höhere Anlagenverfügbarkeit
- längere Ölstandzeiten
- geringere Wartungskosten

**Moderne Fluidpflege ist damit nicht nur Instandhaltung, sondern ein Beitrag zu Produktivität, Ressourceneffizienz und stabilen Prozessen.**

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

## Die passende Technologie für die richtige Belastung

Moderne Fluidpflege braucht nicht das Patentrezept, sondern differenzierte technologische Herangehensweisen. Für Partikel sind leistungsfähige Filterelemente unverzichtbar. Für Wasser sind Entwässerungslösungen gefragt. Bei Luft- und Gaseintrag helfen entgasende Rücklauffilterkonzepte, angepasste Tankauslegung und strömungsoptimierte Rückführungen. Gegen Varnish und Ölalterungsprodukte sind spezialisierte Verfahren notwendig, weil klassische Partikelfiltration hier an ihre Grenzen stößt.

Gleichzeitig sollte immer auch das Risiko elektrostatischer Aufladung berücksichtigt werden. Nicht jedes Filterelement verhält sich bei niedrig leitfähigen Ölen gleich. Entscheidend ist deshalb immer die Kombination aus Fluid, Verschmutzungsart, Betriebszustand und passender Technologie.

HYDAC verbindet diese ganzheitliche, technologieorientierte Sicht mit Anwendungsverständnis und systematischer Analyse.



**Ziel ist nicht die pauschale Standardlösung, sondern ein Pflegekonzept, das exakt zum realen Belastungsbild der Anlage passt. Gerade bei modernen Hydraulik- und Schmierölsystemen entscheidet nicht die einzelne Komponente, sondern das abgestimmte Zusammenspiel der Maßnahmen.**

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

## Maßnahmen zur Fluidpflege und Verlängerung der Lebensdauer

Moderne Hydrauliköle stecken voller Möglichkeiten. Auf der einen Seite bieten sie viele Vorteile, auf der anderen Seite verändern sie die Rahmenbedingungen im Prozess. Da braucht es gute Antworten.

Dank jahrzehntelanger Erfahrungen setzt HYDAC auf die Verbindung zwischen Fachwissen, tiefem Systemverständnis und anwendungsgerechter Technologie. Vorausschauende Fluidpflege ist damit mehr als reine Schadensvermeidung. Sie ist ein effektiver Hebel für Verfügbarkeit, Produktivität, Ressourceneffizienz und niedrigere Lebenszykluskosten.

Wer moderne Öle nutzt, braucht eine ganzheitliche Strategie für Zustandsüberwachung, Fluidpflege und Filtration. Je nach Verschmutzungs- und Belastungsart bieten sich verschiedene Lösungen an:

| **BELASTUNG** Thermisch | **PROBLEM** Elektrostatische Aufladung |
|---|---|
| **MASSNAHME** | |

SUSTAINMICRON HYDAC

Stat-X



| **BELASTUNG** Hydrolytisch | **PROBLEM** Wasser / Ölalterungsprodukte |
|---|---|
| **MASSNAHME** | |

Aqua-X

Cell-X



| **BELASTUNG** Oxidativ | **PROBLEM** Luft/Oxidation |
|---|---|
| **MASSNAHME** | |

**Air-X Technologie**



| **BELASTUNG** Reaktiv | **PROBLEM** Partikel |
|---|---|
| **MASSNAHME** | |

SUSTAINMICRON HYDAC



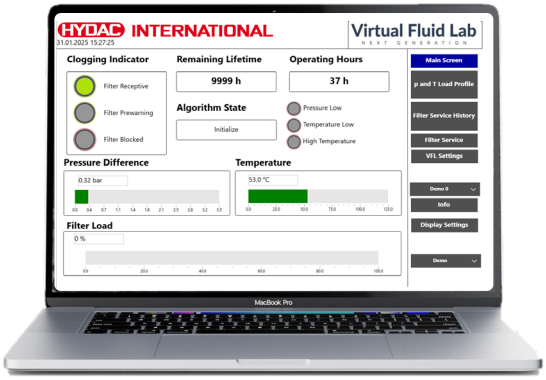
© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

## Zustandsüberwachung: relevante Daten statt Bauchgefühl

Wer moderne Öle sicher betreiben will, braucht belastbare Informationen über den Fluidzustand. Klassische Kennwerte wie Partikelzahl und Wassergehalt bleiben zwar weiter wichtig, reichen aber allein nicht mehr aus. Zusätzliche Parameter liefern wertvolle Hinweise auf kritische Entwicklungen im Fluid, insbesondere:

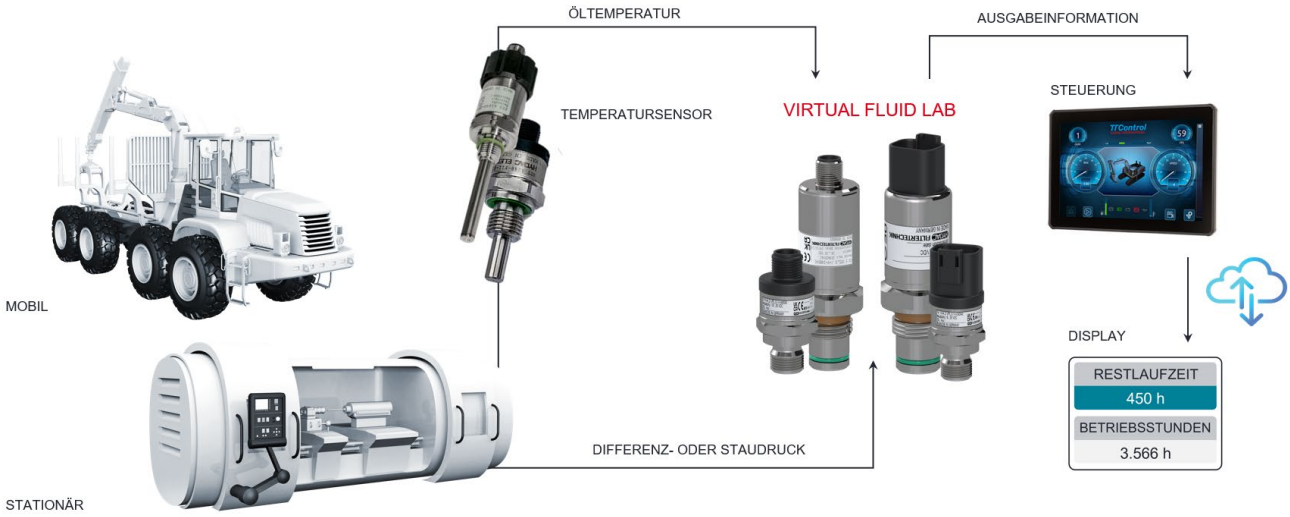
- Leitfähigkeit
- Säurezahl
- MPC-Wert

Gerade der MPC-Wert hat sich längst als Frühindikator bei Varnish-Risiken etabliert.



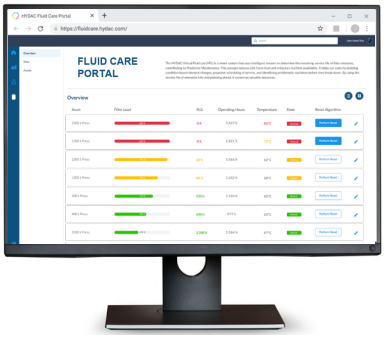

Ein hoher Wert signalisiert keine gute Ölqualität, sondern eine erhöhte Neigung zu lackartigen Ablagerungen. Erst im Zusammenspiel mehrerer Messgrößen entsteht ein belastbares Bild.

## Virtual Fluid Lab – Next Generation




## Fluid Care Portal

Moderne Zustandsüberwachung schafft deshalb Transparenz über das reale Verhalten des Fluids. Trends werden sichtbar, Maßnahmen planbar und Wartung bedarfsgerecht steuerbar. Wer Fluidpflege strategisch denkt, reduziert nicht nur Störungen, sondern verbessert die wirtschaftliche Gesamtleistung seiner Systeme.




© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights




# Fazit

## Bestandsanlagen: Nachrüsten mit Systemverständnis

Gerade bei Bestandsanlagen zeigt sich, wie wichtig ein systemischer Blick auf moderne Öle ist. Nicht selten werden Auffälligkeiten wie elektrostatische Aufladung, kurze Filterstandzeiten oder Ablagerungen zunächst einzelnen Komponenten zugeschrieben, obwohl die Ursache im Zusammenspiel aus Fluid, Betriebsweise und bestehender Filtration liegt.

Vor jeder Nachrüstung sollte deshalb klar sein:

- welches Fluid eingesetzt wird
- welche Belastungen tatsächlich vorherrschen
- ob die vorhandene Filtration dazu passt

Eine wirksame Nachrüstung basiert nicht auf Einzelkomponenten, sondern auf einer systematischen Betrachtung von Fluid, Filtertechnik und Betriebsbedingungen. Erst diese Sichtweise führt zu einer nachhaltigen Lösung.

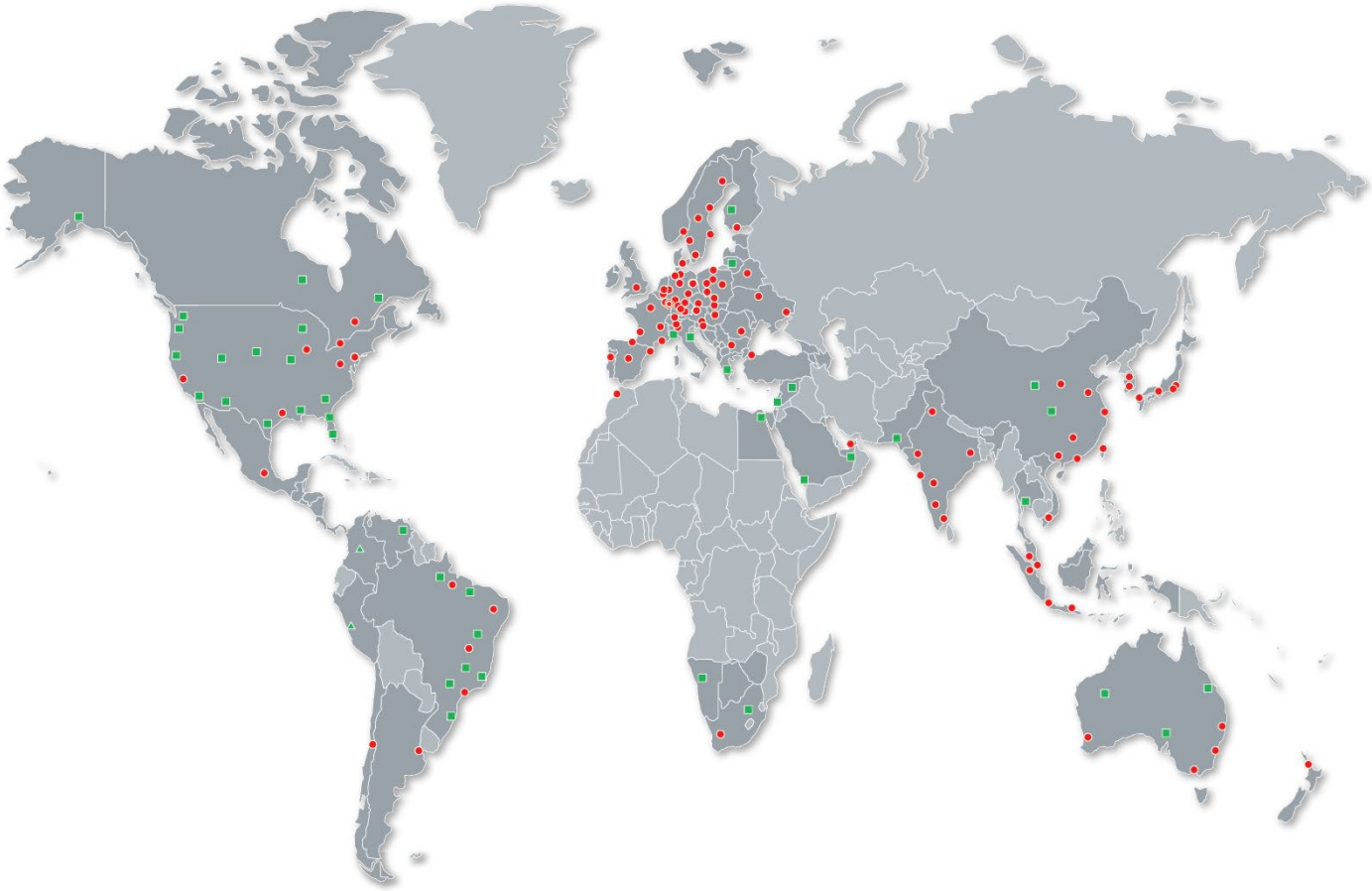
Moderne Hydrauliköle bieten viele Vorteile, verändern aber – mehr oder weniger unbemerkt - die Spielregeln im System. Höhere Raffinationsgrade, geringere Leitfähigkeit und reduzierte Polarität können dazu führen, dass neue Belastungsbilder entstehen oder bekannte Probleme früher sichtbar werden.

Für Betreiber liegt die Lösung nicht in pauschalen Maßnahmen, sondern in einem fundierten Verständnis des eingesetzten Fluids und in einem Pflegekonzept, das exakt zu den Belastungen der Anlage passt. Genau hier bietet HYDAC die Verbindung zwischen praktischem Fachwissen, Systemverständnis und anwendungsgerechter Technologie. Fluidpflege ist damit weit mehr als Schadensvermeidung. Sie ist ein Hebel für Verfügbarkeit, Produktivität, Ressourceneffizienz und niedrigere Lebenszykluskosten.

**Wer moderne Öle erfolgreich nutzen will, braucht nicht nur sauberes Öl, sondern die richtige Strategie für Filtration, Fluidpflege und Zustandsüberwachung.**

© 2026 – All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights

# Globale Präsenz.
# Lokale Kompetenz.
# www.hydac.com



- HYDAC Stammhaus
- HYDAC Gesellschaften
- HYDAC Vertriebs- und Servicepartner
- Freie Vertriebspartner

HYDAC INTERNATIONAL


**HYDAC FILTERTECHNIK GMBH**

Industriegebiet
66280 Sulzbach/Saar
Deutschland

Tel.: +49 6897 509-01

E-Mail: filter@hydac.com
Internet: www.hydac.com


**Anmerkung**
Die Angaben in diesem Whitepaper beziehen sich auf die beschriebenen Betriebsbedingungen und Einsatzfälle.
Bei abweichenden Einsatzfällen und/oder Betriebsbedingungen wenden Sie sich bitte an die entsprechende Fachabteilung.
Technische Änderungen sind vorbehalten.