

Januar 2018

Systematische technische Problemanalysen

Eine wachsende existenzsichernde
Herausforderung für die Industrie

Homepage: Turboconsult.de
E-Mail: tutboconsult@gmx.de



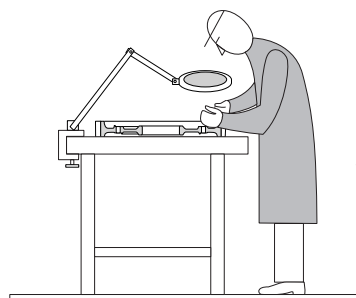
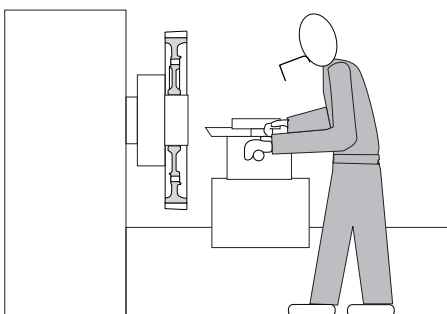
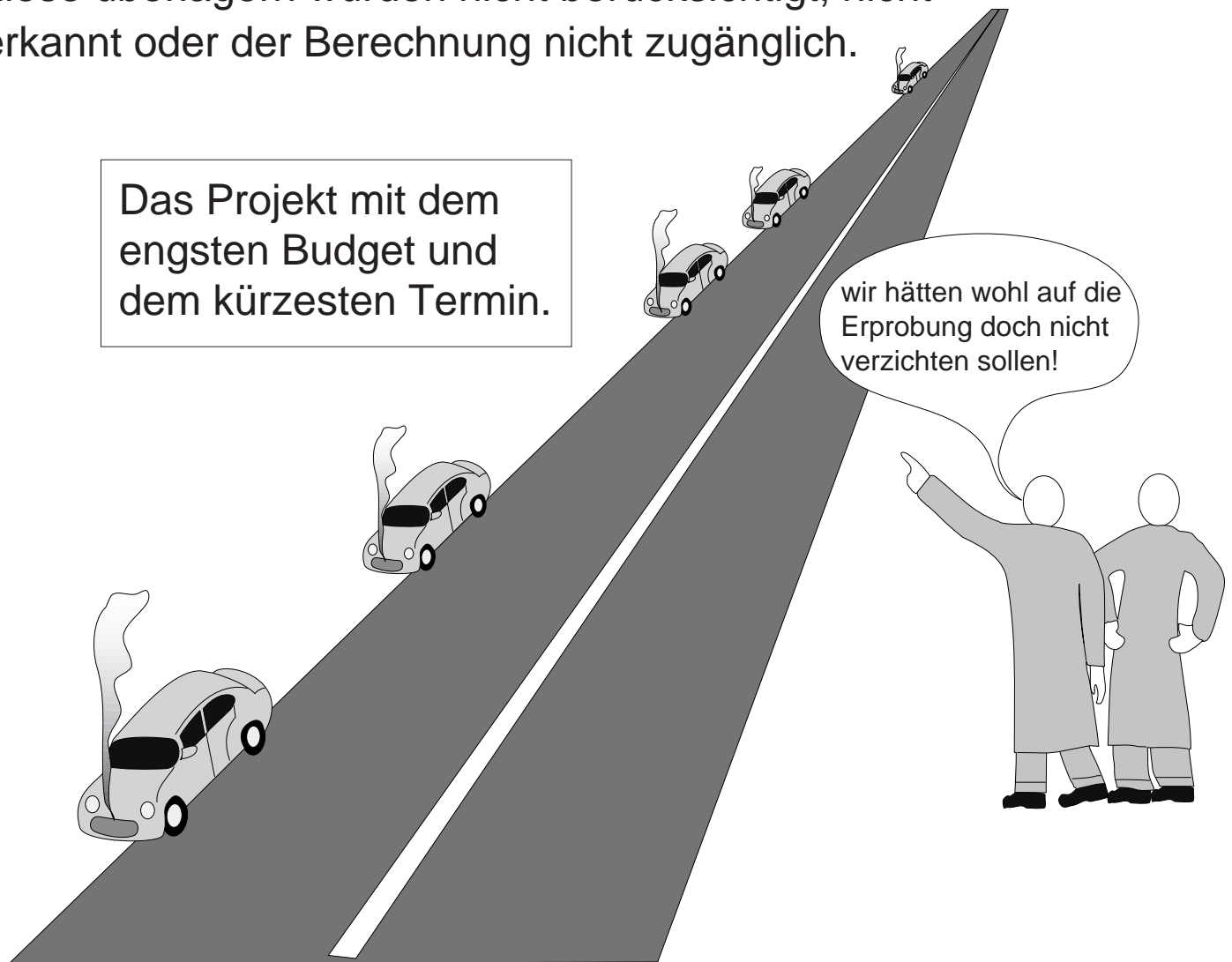
Axel Rossmann

Seite 1

Typische Problemursachen:

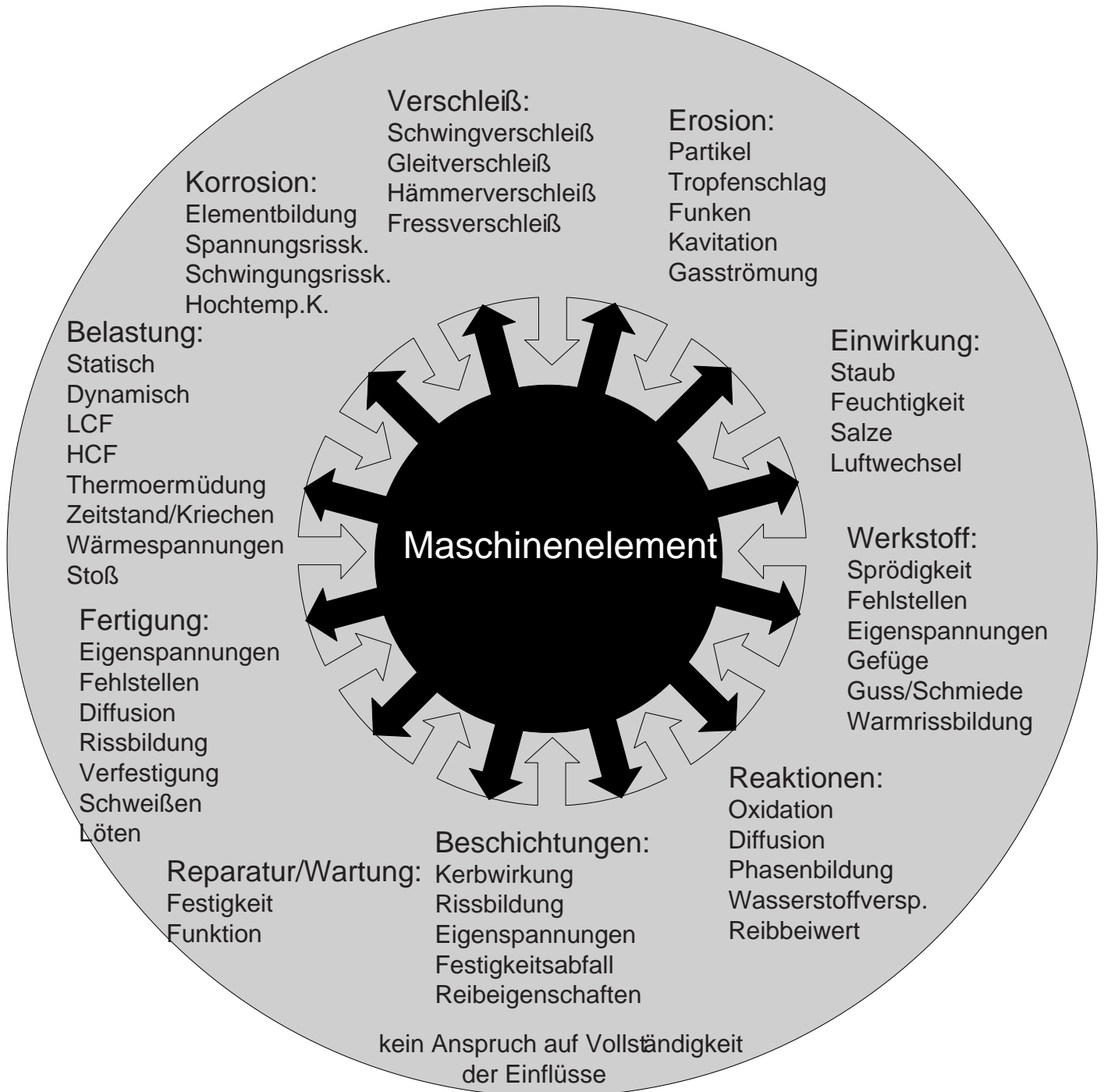
- Kosten und Zeitmangel.
- Ungenügende Erprobung und deren Ausweitung, z.B. 'Dirty Layout' ?
- Fehlende Identifikation beginnender Probleme/Schäden.
- Coputergläubigkeit, Auslegungs-/Berechnungsmängel.

Wichtige Betriebseinflüsse insbesondere wenn sich diese überlagern wurden nicht berücksichtigt, nicht erkannt oder der Berechnung nicht zugänglich.



Rechtzeitige Erprobung kostet Zeit und Geld, sie ist aber unverzichtbar !

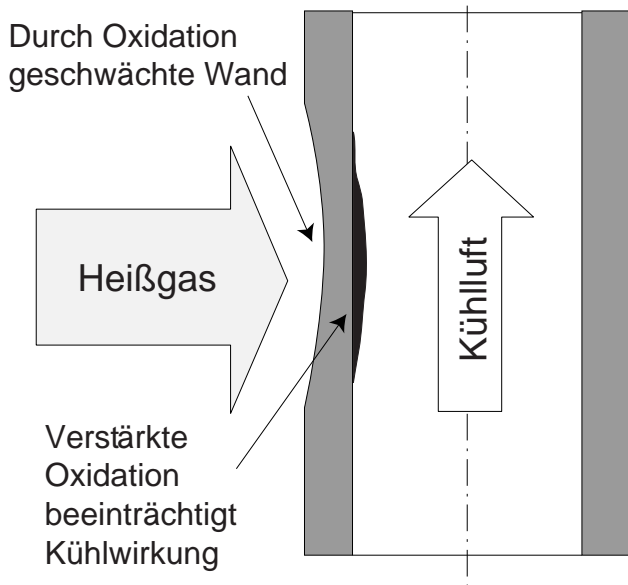
Die Einflüsse auf das Betriebsverhalten eines Maschinenelements sind derart vielfältig und ihr Zusammenwirken so komplex, dass sich die Auswirkungen der exakten Berechnung entziehen.



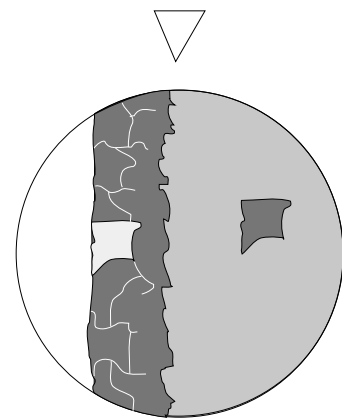
Problemursache: Ungenügende Erprobung und deren Auswertung.

Beispiele: Selbstbeschleunigende Schadensmechanismen aus dem Flugtriebwerksbau

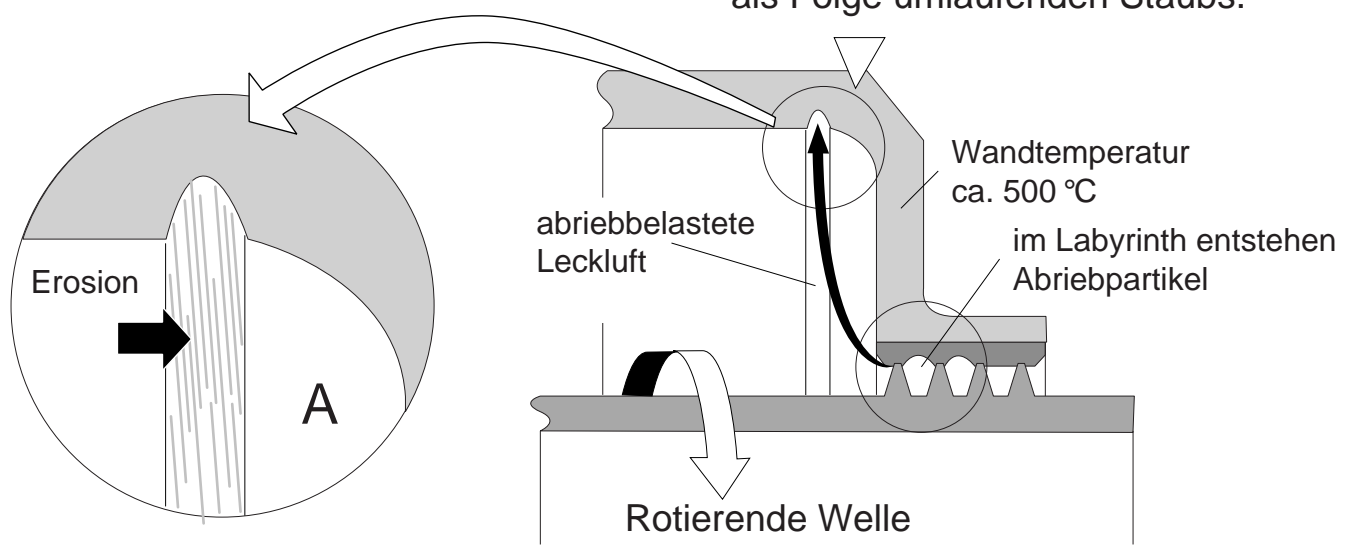
A Beschleunigte Überhitzung eines innengekühlten Bauteils



B Beschleunigte Erosion durch Staubschmelzen



C Beschleunigte Erosion durch Oxidation und abrasiven Abtrag als Folge umlaufenden Staubs.



Auslegungs-/Berechnungsmängel.

Ursachen:

- Computergläubigkeit führt zu:

Unterschätzte Einflüsse, Ursachen:

Geringere Sicherheitsabstände wegen

Empfindlicher Werkstoffe z.B. auf Grund höherer Festigkeit/Härte (Leichtbau!).

Fehlstellen/Schwachstellen werden zu Fehlern.

Werkstoffdaten nicht bauteilrelevant

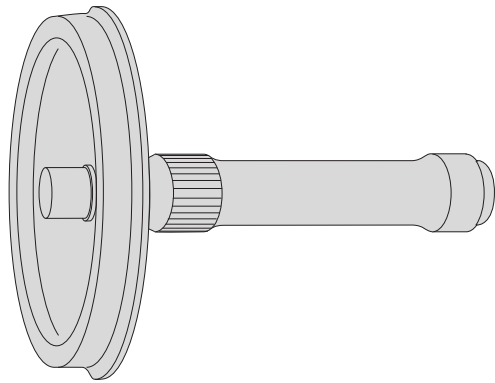
z.B. wegen Probenentnahme, Änderung des Rohteil-Produktionsverfahrens/Lieferantenwechsel.

Wichtige Betriebseinflüsse und oder deren

Zusammenwirken wurden nicht berücksichtigt, nicht erkannt sind nicht bewusst oder sind der Berechnung nicht zugänglich.

- Produktionsprobleme oder Mängel der Qualitätssicherung wurden nicht erkannt

Ein typisches Beispiel wenn Schwachstellen zu Fehlern werden.



Gebrochene Radachse eines "gewichtsoptimierten" Zugs.

Die bisherigen Achsen hatten herstellungsbedingt werkstofftypische zulässige **Schwachstellen** (nicht wachstumsfähig).

In **gewichtsreduzierten** Achsen mit scheinbar risikolos verringertem Durchmesser wurden sie **zu Fehlstellen**.

Die als ausreichend sicher eingeschätzte höhere dynamische Biegespannung führte zu **Risswachstum**. Es kam zum Schwingbruch (LCF durch Umlaufbiegung).

Dies zeigt den Stellenwert der **Bruchmechanik** bei der Auslegung/Berechnung moderner ("Leichtbau") Maschinenelemente.

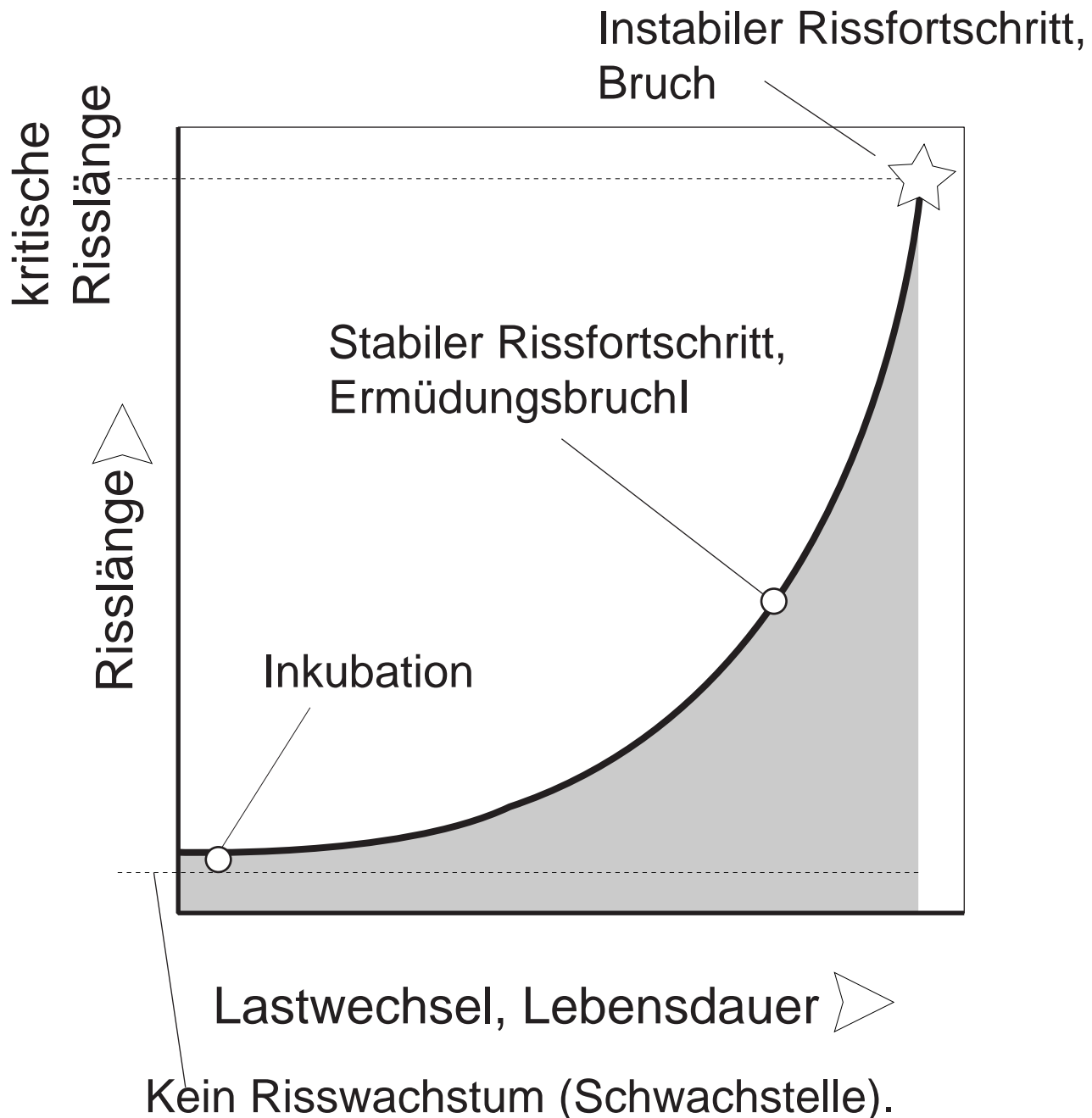
Für gewichtsreduzierte, höher beanspruchte Komponenten (Leichtbau) muss die **Rohteilherstellung, Fertigung und Qualitätssicherung** angepasst werden!

Mit der Werkstofffestigkeit wächst das Schadensrisiko.

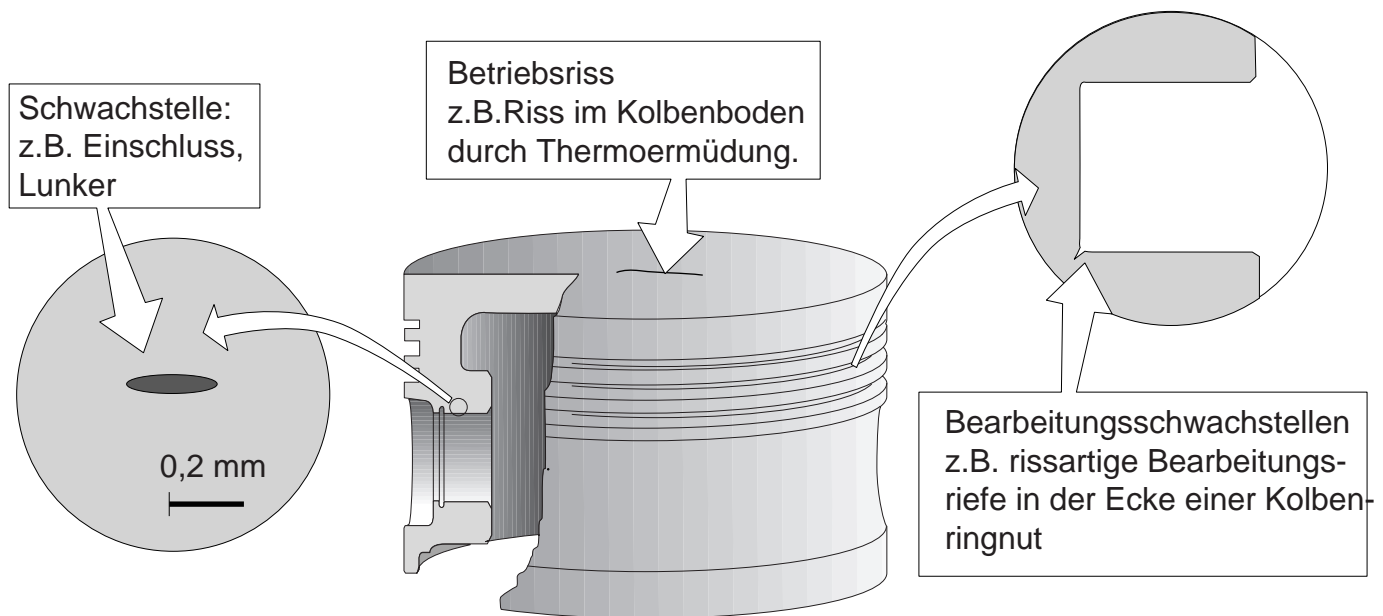
Je höher die Festigkeit um so sensibler reagiert das Bauteil auf:

- **Kerben** (z.B. durch Korrosion oder Verschleiß).
- Stellenwert von **Werkstofffehlern**: Das bedeutet höhere Ansprüche an die **Qualitätssicherung** (z.B. ZfP.).
- Höhere Anforderungen an die **Fertigung**.
- **Versprödungen** wie Wasserstoffverprödung, **Risskorrosion** (Spannungsrisskorrosion).
- **Bruchmechanisches Verhalten**:
Kleinere **wachstumsfähige Fehlstellen**.
Schnelleres **Risswachstum** bei höherer Belastung (lässt sich nicht mehr beherrschen).
- **Kritische Risslänge** bei **Bruch** wird kleiner

Den Einfluss der Festigkeit des Werkstoffs auf das Schadensrisiko zeigt das bruchmechanische Verhalten.



Die vielseitigen Anwendungen der Bruchmechanik können bei der Risikominimierung von Problemen sehr nützlich sein.



■ Risikoabschätzung bei LCF

(z.B. Thermoermüdungsrisso):

- Rissgröße die zum spontanen Bruch führt
- sichere Zyklenzahl bzw. Lebensdauer
- Inspektionsintervalle
- Wachstumsfähige Fehlergröße
- ZfP-Anforderungen definieren

■ Qualitätssicherung/Fertigung

(z.B. Schleifrisse):

- Wachstumsfähige Fehlergröße
- ZfP-Anforderungen definieren
- Spezifikationen
- Ausschuss entscheiden und Nacharbeit bewerten
- Reparaturfähigkeit bei Überholung bewerten

■ Auslegung, Konstruktion

(z.B. Schwachstellen):

- Lebensdauerabschätzung
- Nutzung der Rissfortschrittsphase
- Verfahren zulassen (z.B. EB-Schweißen)
- Spezifikationsforderungen definieren

■ Schadensanalyse:

- Abschätzung von Beanspruchungen bei Rissfortschritt und Restbruch
- Rückschlüsse auf zeitliche Abläufe und Ereignisse

Was erwarten wir von einer technischen Problemanalyse?

- Möglichst verlässliche/sichere Aussagen.
Notwendige Fachkompetenz und Erfahrungen.
Minimierung persönlicher Befindlichkeiten.
- Ermittlung und Wertung schadensrelevanter/ursächlicher Einflüsse.
- Ermittlung des ursächlichen Schadensmechanismus als Basis für die Erarbeitung geeigneter Abhilfen.
- Abschätzung von Risiken bereits ausgelieferter Teile.
- Abschätzung von Aufwand und Risiken durch Abhilfen bzw. Maßnahmen (**Verschlimmbesserung**).

Schematischer Ablauf einer Problemanalyse.

Die drei Hauptphasen einer systematischen Problemanalyse.

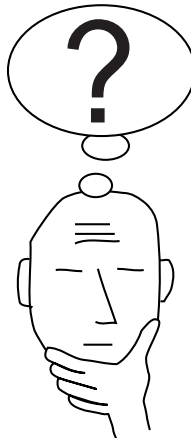
Phase 1

Untersuchung:
Faktensammlung
mit Schadenanalyse



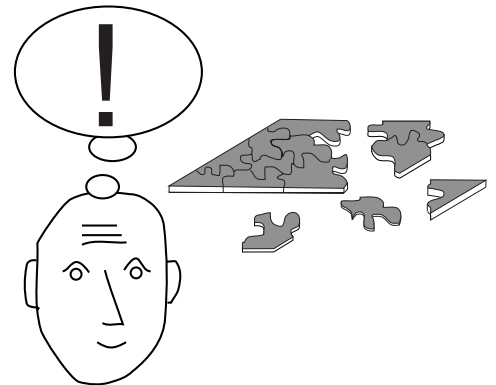
Phase 2

Hypothesen erarbeiten
Kreative Phase



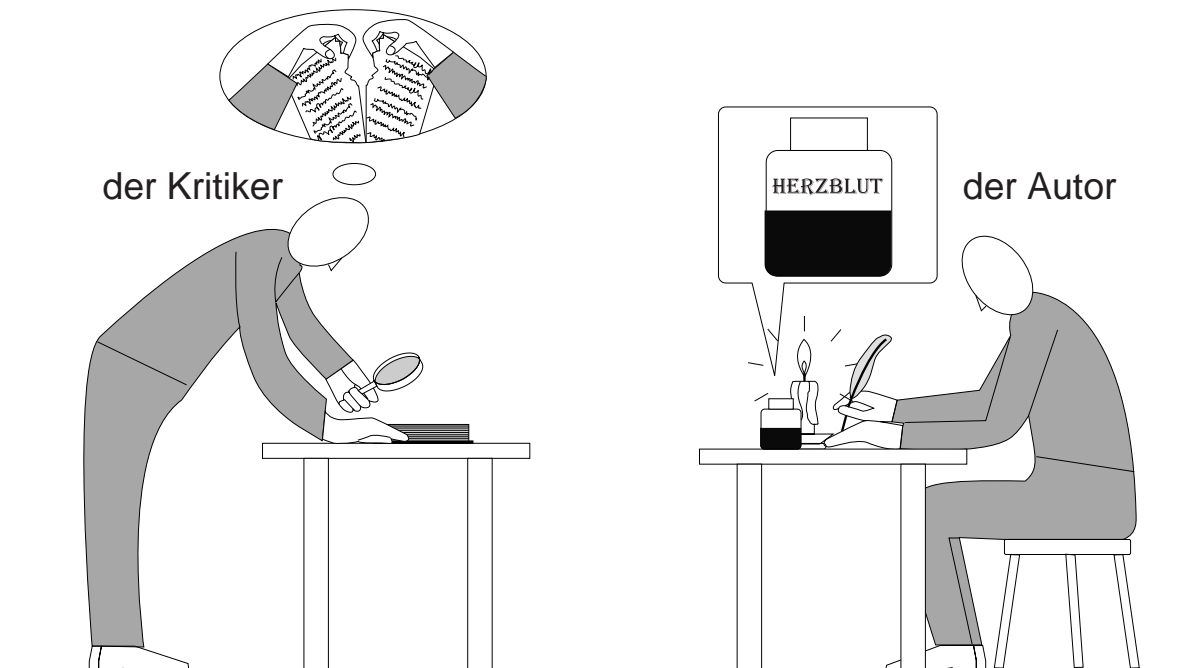
Phase 3

Überprüfung der Hypothesen
an den Fakten



Voraussetzungen für eine Problemanalyse

Es ist erfahrungsgemäß problematisch, wenn der Entwickler eines Verfahrens Betriebsschäden untersucht, beurteilt und für Abhilfen sorgen soll. Nicht ohne Grund gibt es in der Literatur Autoren und Kritiker.



Vorgehen bei einer Problemanalyse (PA)

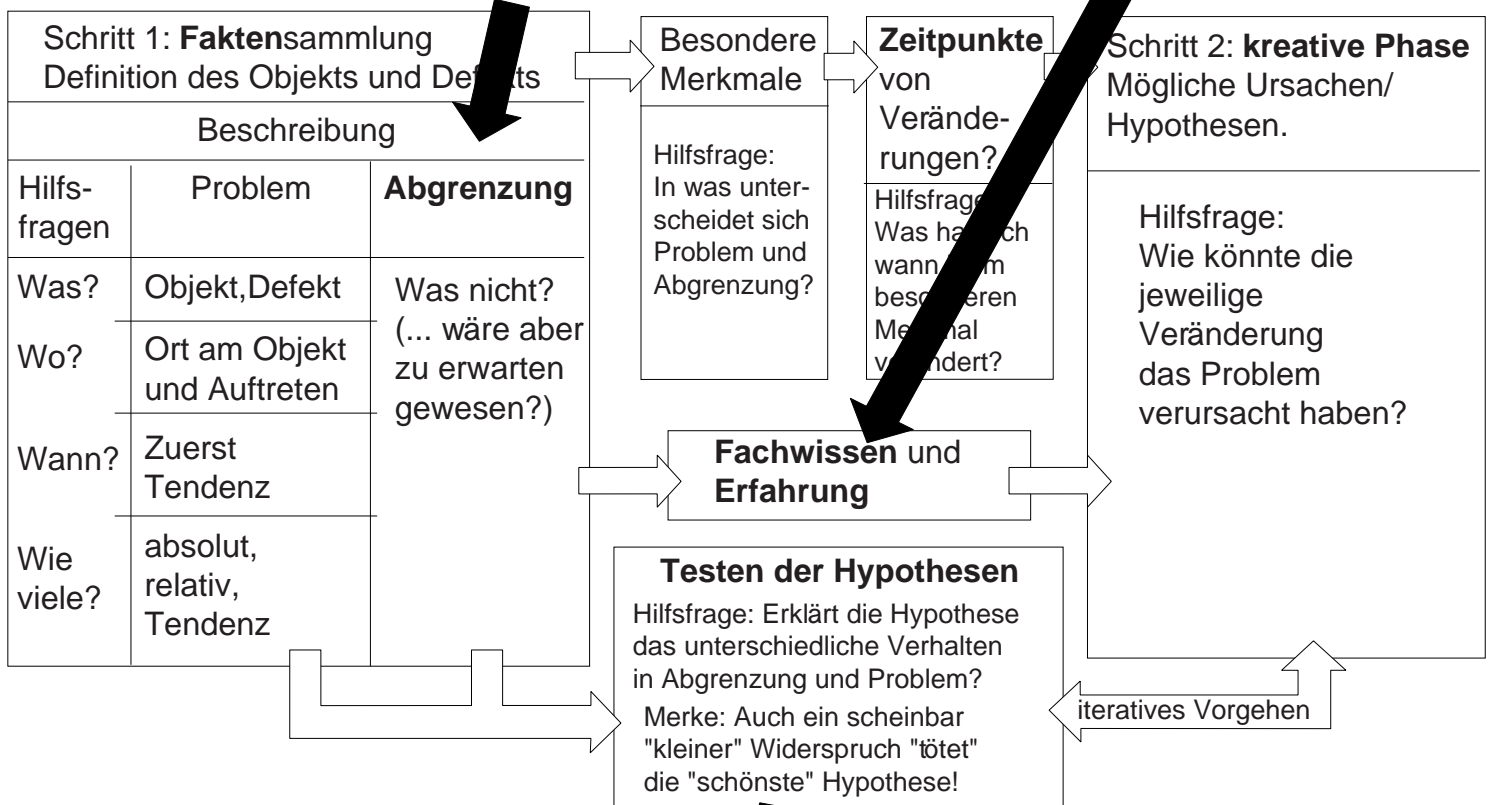
Dient zur Ermittlung der Ursachen für ein Problem bzw. von Abweichungen. Zur Gewährleistung des Ablaufs wird in komplexen Fällen ein **Moderator** empfohlen.

Zur Faktensammlung gehört die **Schadensanalyse**.

Merke: Fakten sind Fakten!

Die **Abgrenzung** kann entscheidend sein

Möglicher Einsatz eines **Wissensmanagements**



Eine Hypothese scheitert zwingend auch an scheinbar nebensächlichen Widersprüchen!

Besondere Vorteile einer Problemanalyse:

Dokumentation des gesamten Analysenvorgangs.

Dies ermöglicht

Transparenz des Analysenvorgangs.

Nachvollziehbare/reproduzierbare Schlussfolgerungen.

Die Ursache von **Fehlschlüssen/**
-Schlussfolgerungen lassen sich gegebenenfalls **rekonstruieren**. Hierzu gehören fehlende und/oder falsche Fakten.

Gesicherte Erfahrung kann so Bestandteil eines Wissensmanagement sein.

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Problemanalyse

Erfahrung!

Einige besondere Hürden

- Ungenügende Erprobung und Auswertung.
- Ungenügende Dokumentationen.
- Fehlendes Wissensmanagement.
- Neues Produkt.
- Zeitmangel.
- Fehlende Erfahrungsträger/unerfahrene Mitarbeiter.
- Fehlende Untersuchungsverfahren.
- 'Computergläubigkeit' bei der Auslegung.

Voraussetzung für optimale Ergebnisse von Metallografie und REM ist eine vertrauensvolle gemeinsame Bewertung der Proben mit dem Auftraggeber. Dieser trägt Hintergrundinformationen bei.

Warten sie auf den unfehlbaren Untersuchungsbefund!



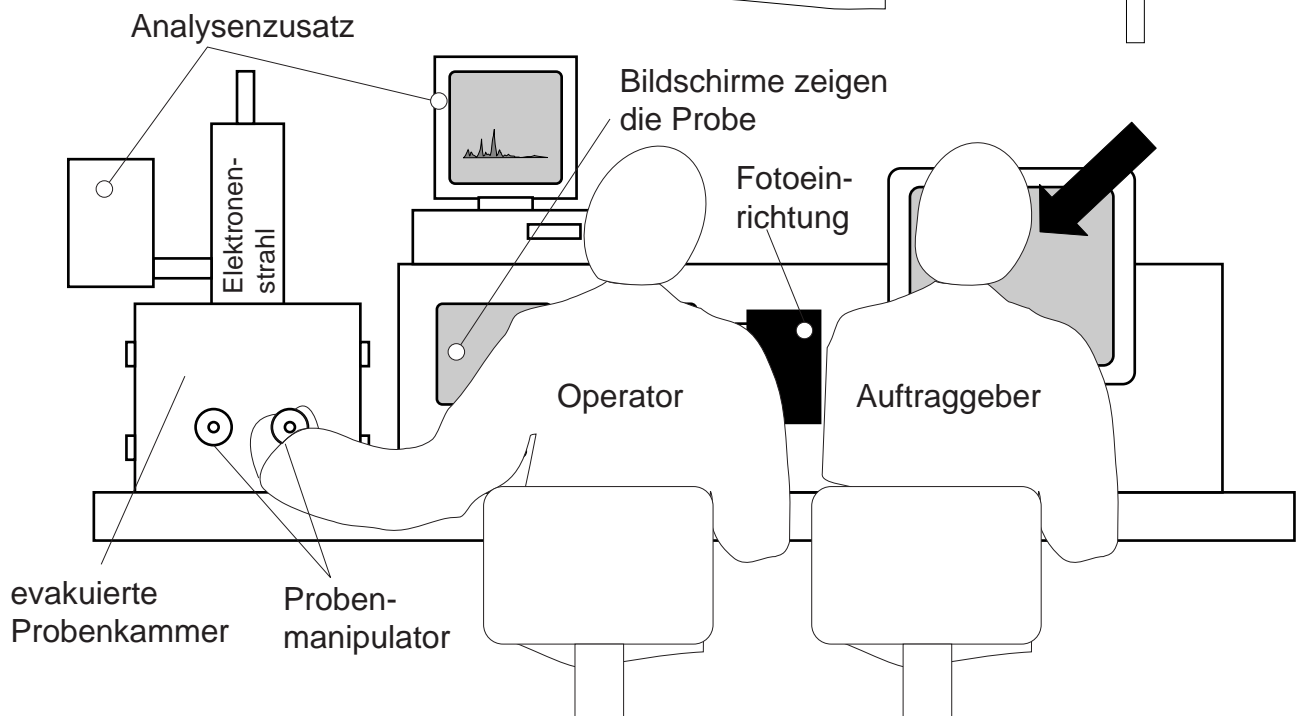
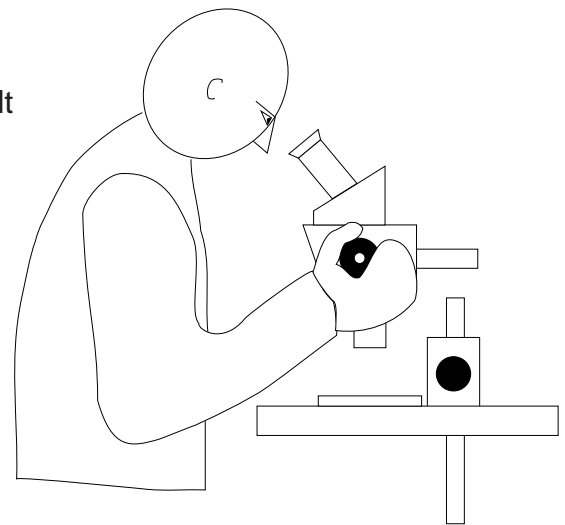
So bitte nicht!

Eine mikroskopische Untersuchung, insbesondere am Rasterelektronenmikroskop (REM), hat deutlich größere Erfolgsaussichten wenn der Auftraggeber dabei ist!

Das Rasterelektronenmikroskop (REM) liefert Bilder mit hervorragender Tiefenschärfe aus dem Mikrobereich.

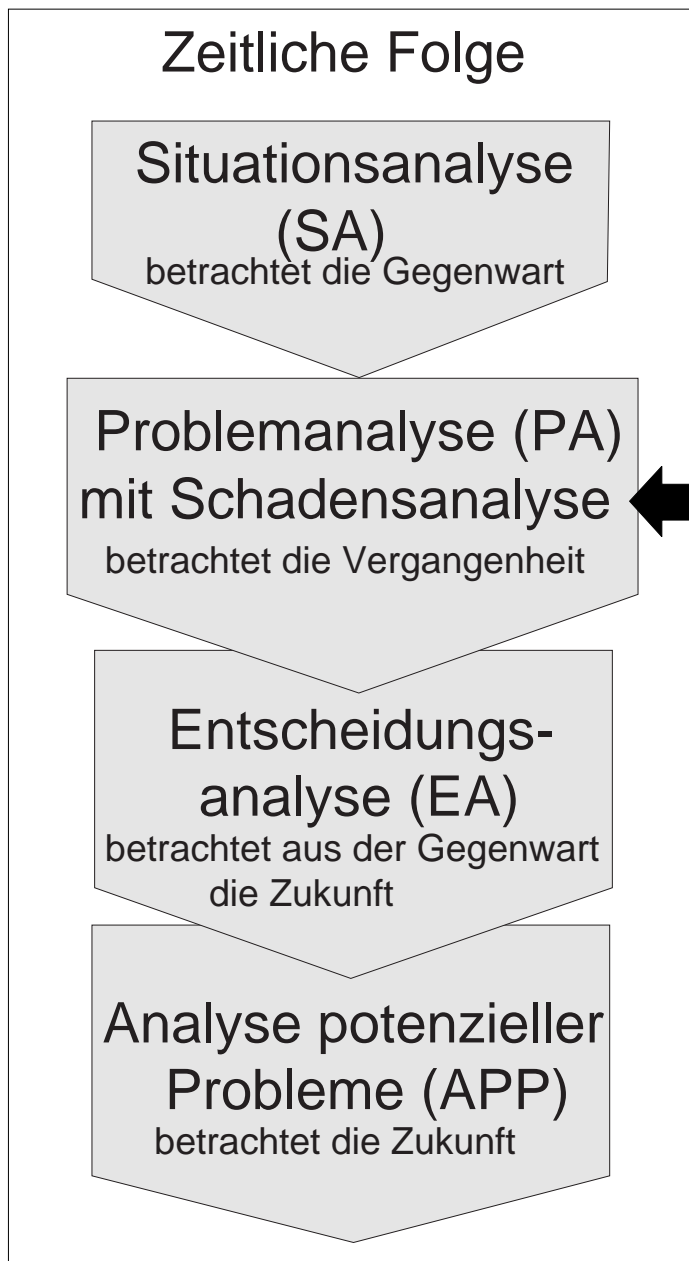
Mit dem Binokular wird vor der REM-Untersuchung die Probenlage ausgewählt

Binokular für lichteoptische Untersuchungen bis zu Vergrößerungen von ca. 100 x



Eine Problemanalyse steht nicht allein!

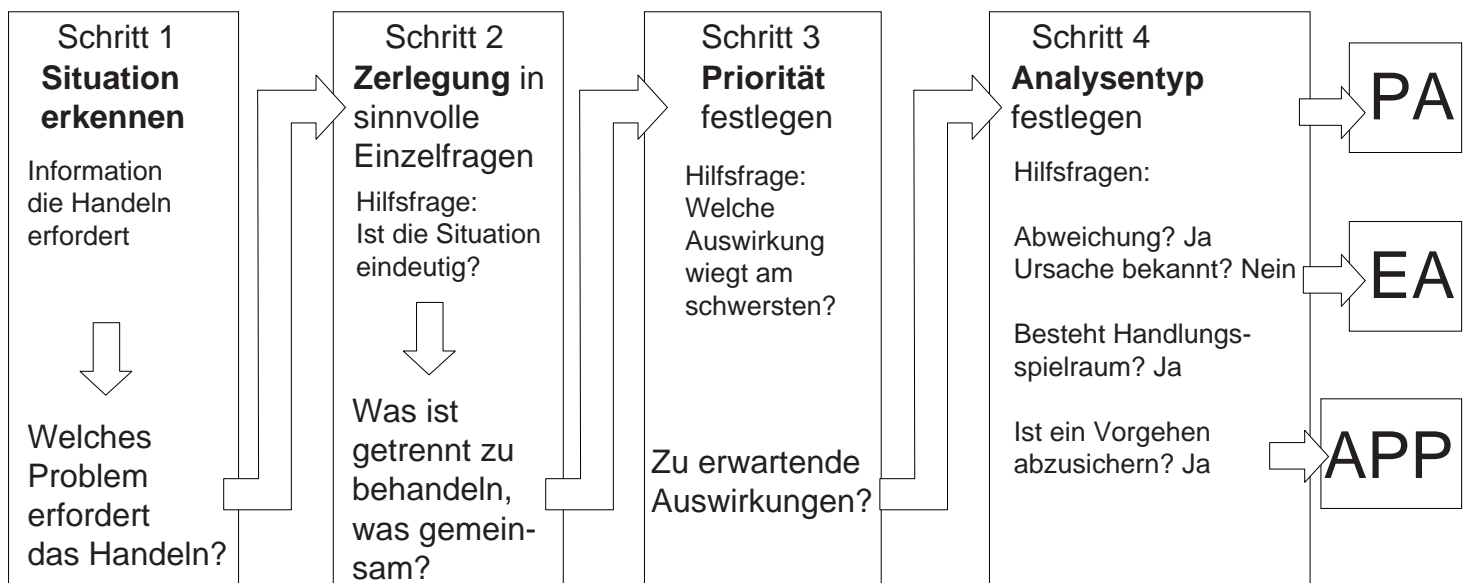
Sie ist lediglich ein entscheidender Schritt unterschiedlicher Analysen eines systematischen Vorgehens.



Eine Problemanalyse beschränkt sich bei Weitem nicht nur auf eine Schadensanalyse.

Die Situationsanalyse (SA)

Dient der Zuordnung der Situation zum geeigneten Analysetyp: Problemanalyse (PA),
Entscheidungsanalyse (EA),
Analyse potenzieller Probleme (APP)

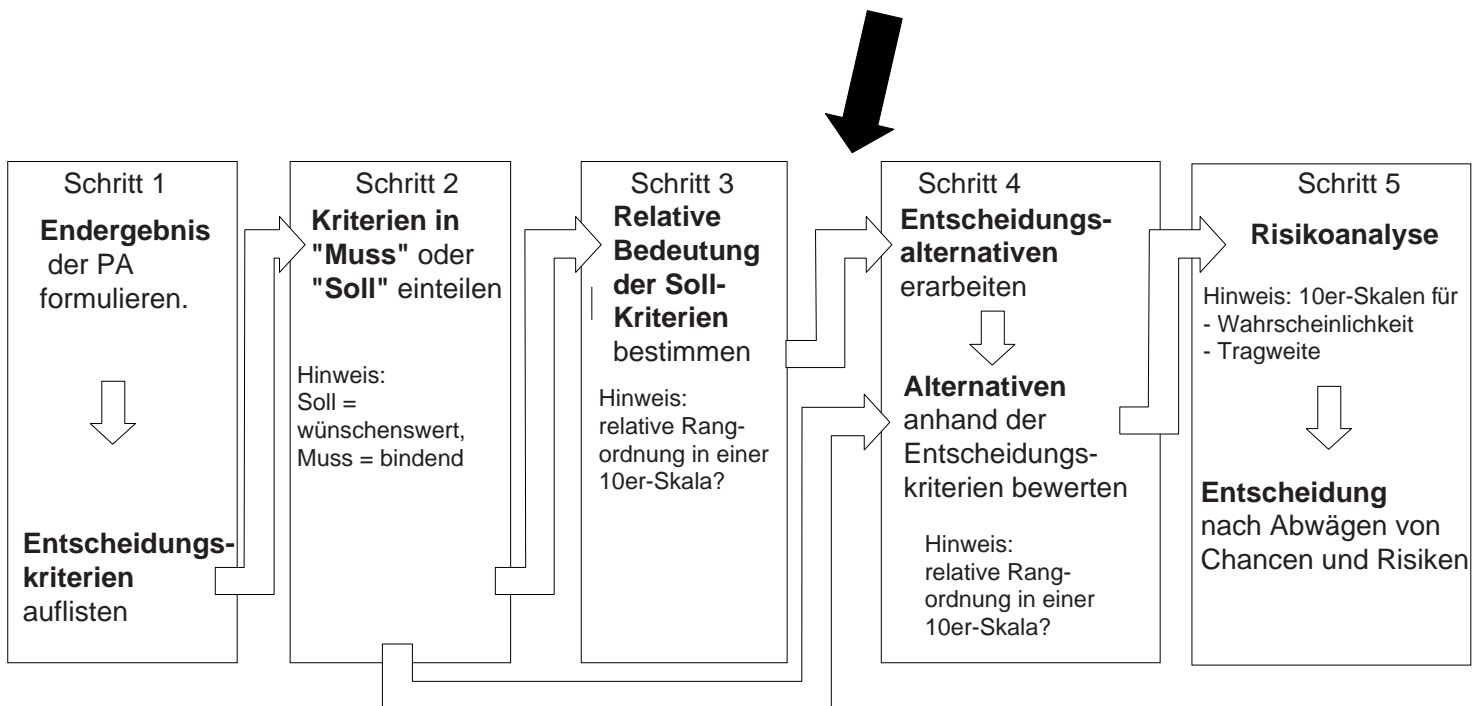


Entscheidungsanalyse (EA)

Soll klären was zu tun ist? Abhilfen

Ermöglicht gut durchdachte, transparente und nachvollziehbare Entscheidungen.

Risikoanalyse z.B. gegen Verschlimmbesserungen.
Siehe auch APP.

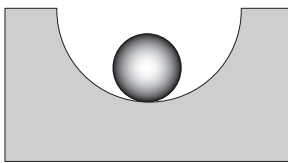


Das Risiko einer Verschlimm- besserung.

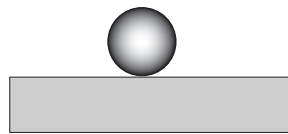
Warum reagieren hoch belastete Maschinen besonders sensibel auf Veränderungen? Hier ein Erklärungsversuch.

Gleichgewichtszustände des Bauteilverhaltens

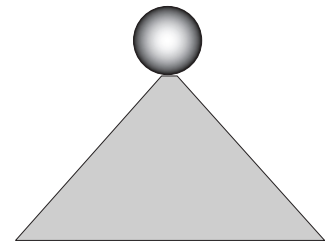
stabiles Verhalten



indifferentes Verhalten



labiles Verhalten



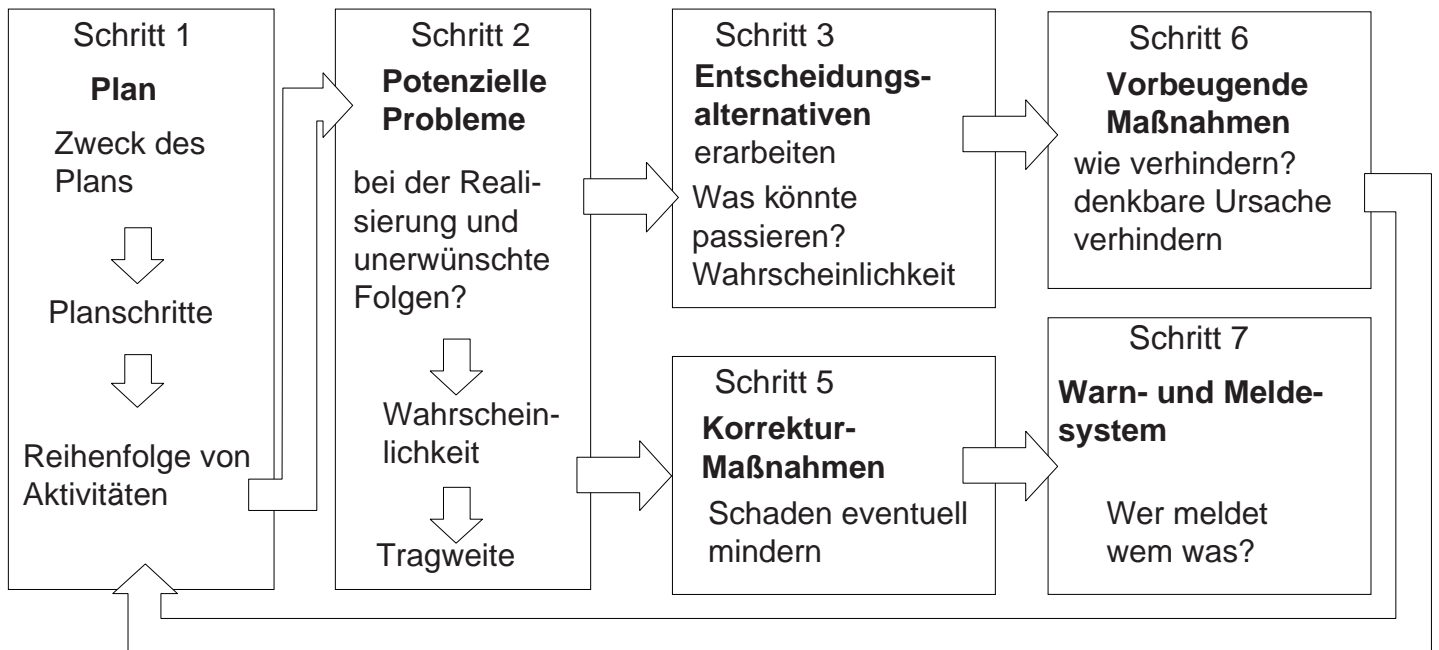
Der Abstand der Kugel zum Plattformrand entspricht der Betriebssicherheit des Bauteils. Die Plattformbreite sagt also etwas über die Sicherheitsreserve bzw. Überdimensionierung aus.

Die Geschwindigkeit der Kugel entspricht dem Schadensfortschritt

Die Kugel symbolisiert das Bauteilverhalten unter den Betriebseinflüssen

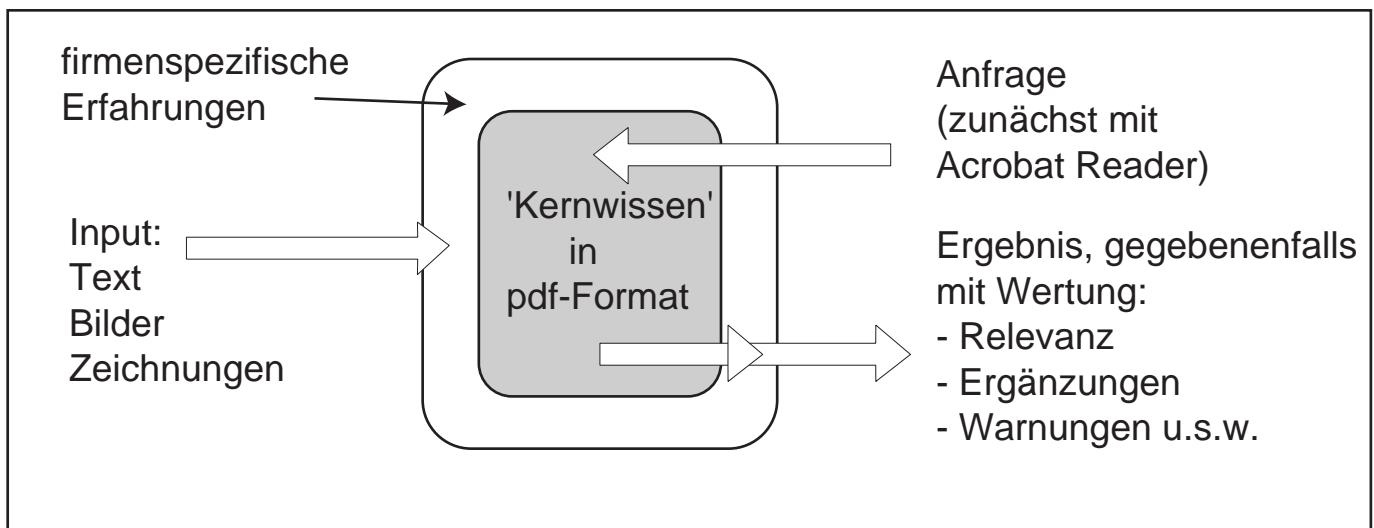
Analyse potentieller Probleme (APP)

Gezielte Absicherung der EA



Wissensmanagement

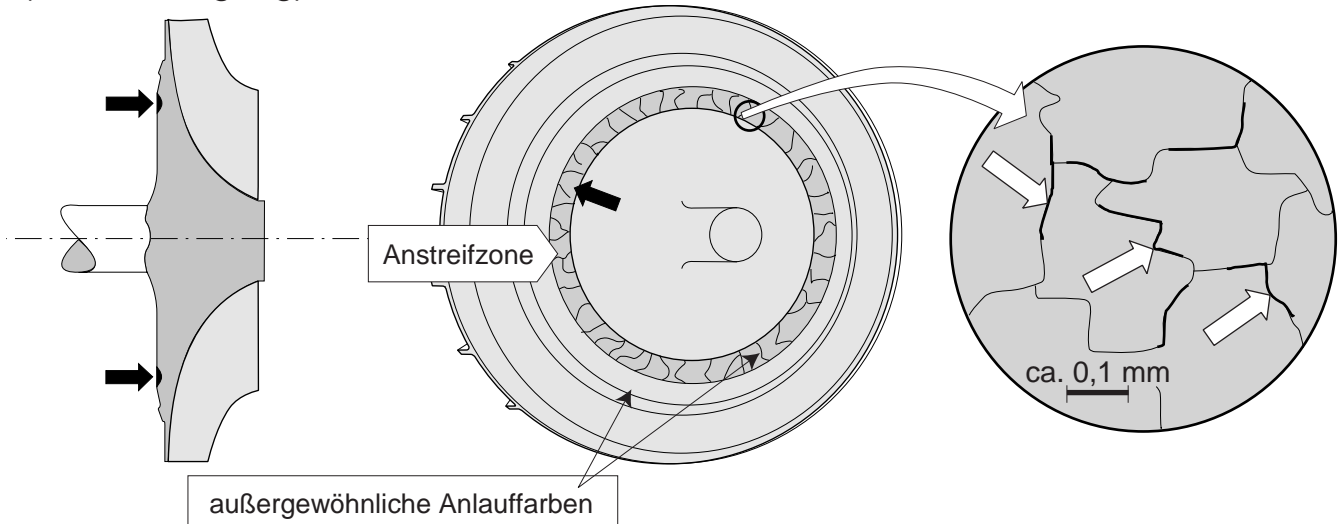
In der Industrie Erfahrung sichern und nutzen.



Das Kernwissen für Probelmanalysen
kann mit einer Lizenz erworben werden.

Anstreifvorgänge und Heißlauf haben ein hohes Schädigungspotenzial.

Typische Hinweise und Nachweise von Überhitzungen an einem Turboladerrad (Anstreifvorgang)



Typische Hinweise und Nachweise von Überhitzungen an einer Kurbelwelle (Heißlauf).

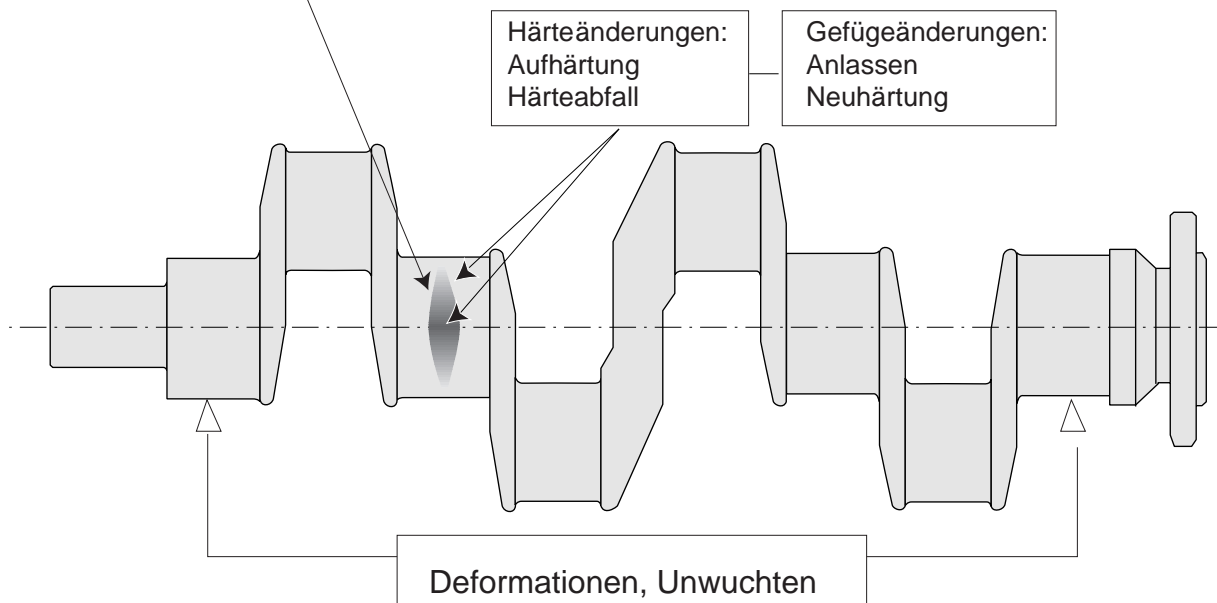


Bild 5.3-5: **Anstreifvorgänge** und Heißlauf können mit gefährlichen Überhitzungen ablaufen. Dabei erweichen oder schmelzen die Korngrenzen und reißen unter den gleichzeitig auftretenden Wärmespannungen auf (Warmrisse, Detail oben). **Diese Rissbildung ist vorzugsweise quer zur Gleit- Anstreifrich-**

tung orientiert. In der oberen Skizze ist das Beispiel eines Turboladerrads dargestellt. Je nach Werkstoff kommt es spontan zu Warmrisse/Heißrisse (Detail oben rechts, typisch für Ni-Legierungen) oder mikrospröden 'Härterisse'. Ähnliche Schäden treten bei der Bearbeitung im Fertigungsprozess (**Schleifen**, hochtouriges Fräsen, Trennen) auf.

Warum scheitert ein Firmen-Wissensmanagement?

Die häufig nicht ausreichend eingeschätzten Probleme:

- Schwerpunkt gelegt auf der Erstellung eines Computerprogramms statt der Erfahrungsbasis.

- Aufwand für die Erarbeitung eines 'Kernwissens':

Zeitaufwand: Typisch sind mehrere Jahre

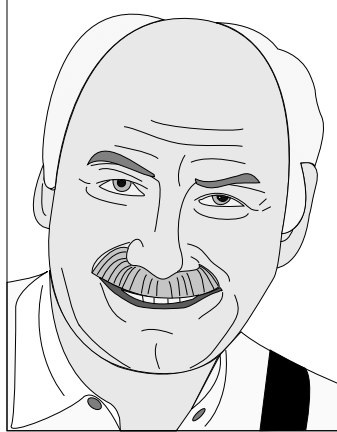
Arbeitsaufwand: Mehrere Spezialisten-/Ingenieurjahre.

- Motivation der Mitarbeiter zur Nutzung

Pflege, z.B. erweitern durch firmeninternes Know How

Hoffentlich konnten Sie einen Eindruck vom Stellenwert der Problemanalyse im modernen Maschinenbau bekommen.

Ich Danke Ihnen für Ihr Interesse.



Der Autor Axel Rossmann wurde 1939 in Berlin geboren. Er hat am Oskar-von-Miller-Polytechnikum Maschinenbau studiert und war von 1965 bis 2004 bei MTU-München als Schadensanalytiker tätig. Zu seinem Aufgabengebiet gehörte die Untersuchung ziviler und militärischer Triebwerke und Gasturbinen im industriellen Einsatz.

Die Arbeiten fanden im Rahmen von Entwicklung, Serienbetreuung, Fertigung und Montage statt. Über die in ca.40 Jahren gesammelten Erfahrungen hat Axel Rossmann mehrere Fachbücher geschrieben. Das vorliegende Buch ist besonders für Betreiber bzw. deren Personal vor Ort gedacht. Es behandelt im Schwerpunkt technische Probleme von Gasturbinen. Das soll dem Praktiker zum Verständnis dienen und ihm ein zielgerichtetes Handeln ermöglichen. Ein Vorläufer dieses Buchs erschien im Vulkan Verlag.

Darüber hinaus wurden zum Thema „Problemorientierte Triebwerkstechnik“ in den letzten Jahren 5 Bände veröffentlicht.

Zusätzlich entstand eine Broschüre im Rahmen des **RoMan-Projekts** welche die Praktiker des Triebwerksbaus zu qualitätsbewusstem Handeln motivieren soll.

Falls Sie mehr wissen wollen: Axel Rossmann ist über die E-mail Adresse **Turboconsult@gmx.de** zu erreichen. Auf seiner Homepage **www.turboconsult.de** erhalten Sie weitere Informationen zu Fachkursen und können dort auch die erwähnte Literatur bestellen.