

HERZLICH WILLKOMMEN

Roman Dörn (Engineer)

Fachvortrag MT



ÜBERSICHT

1. Über uns
2. Was ist die Magnetpulverprüfung (MT)
3. Wie funktioniert die MT Prüfung
4. Typische Anwendung und Grenzen des Systems

Roman Dörn

New Business Development & Technical Sales Manager

- *Ingenieur für Verfahrenstechnik*
- *Seit 10 Jahren Anwendungsexperte bei der MR Chemie GmbH*
- *Business Development und Technical Sales*
- *PT/MT Stufe 2*

 +49 2303 / 95151-42
 doern@mr-chemie.de
 www.mr-chemie.de
 www.linktr.ee/mrchemie



1. ÜBER UNS

Wir sind MR Chemie und wir machen das Unsichtbare sichtbar.

MR Chemie ist ein mittelständisches Familienunternehmen mit Sitz im nordrhein-westfälischen Unna, im Herzen des Ruhrgebiets.

In den letzten 50 Jahren sind wir von einem kleinen Unternehmen für industrielle Reiniger zu einem Global Player herangewachsen.

Heute zählen wir zu den Marktführern für qualitativ hochwertige ZfP-Prüfmittel und -Geräte (MR® NDT-Materials) sowie 3D Scanningspray (REFLECON®) und Produkte aus dem Hygienebereich (MR® Smart & Clean).

Unser Streben nach Erfolg und die Treue unserer langjährigen Kunden haben diese einmalige Geschichte ermöglicht. Wir nutzen moderne Technologien, um die Produktlösungen für unsere Kunden von Heute und Morgen zu verbessern. Dabei liegt unser Fokus auf einer flexiblen Produktion, um bestmöglich auf die Bedürfnisse der Kunden einzugehen. Das Thema Nachhaltigkeit lassen wir dabei nicht außer Acht.

+100 Länder

Produktverfügbarkeit

6000 m²

Betriebsfläche

- **Familienunternehmen – gegründet im Jahre 1971**
- **Entwicklung, Abfüllung & Vertrieb**
- **Kundenspezifische Lösungen**
- **Grüne Produktlinie „ECO-Line“**

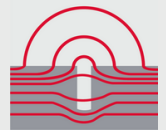


1. PRODUKT-PORTFOLIO



Eindringprüfung

Prüfmittel



Magnetpulverprüfung

Prüfmittel



UV-Technologie

Handleuchten - stationäre Leuchten - Spezialleuchten

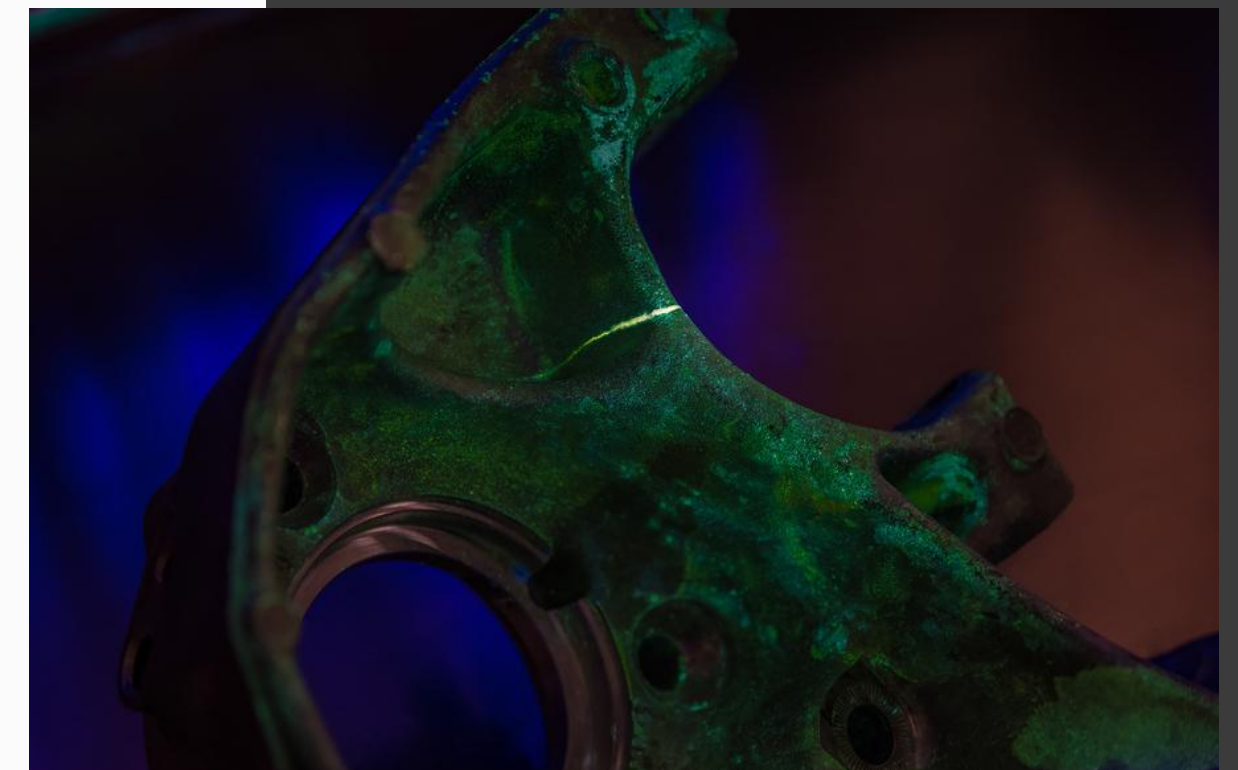


Geräte und Anlagenbau

Handmagnete – Testkörper – Messgeräte – Prüfbänke – etc.

Kerngeschäft

MR[®] CHEMIE
NDT-MATERIALS



1. PRODUKT-PORTFOLIO



Leckprüfung

Prüfmittel & Vakuumglocken



Spezialprodukte

Für die Oberflächenbehandlung

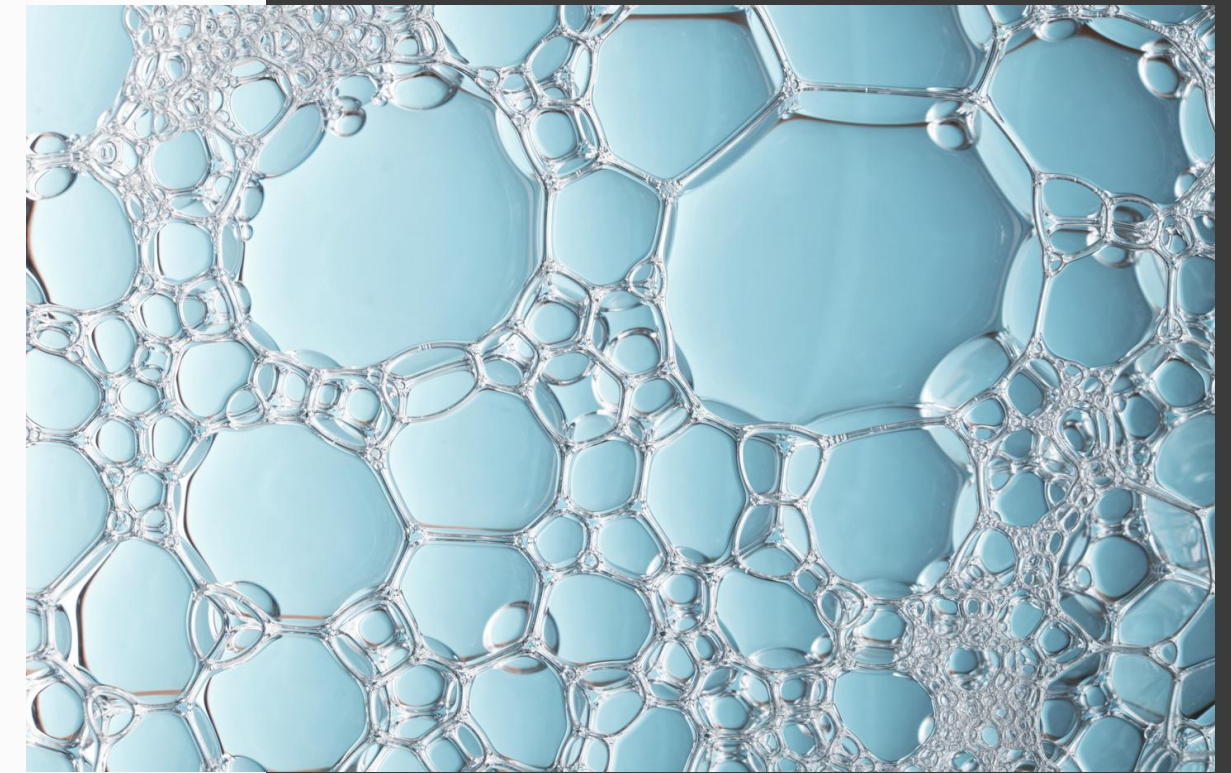


Spezialprodukt "RILUMINATI"

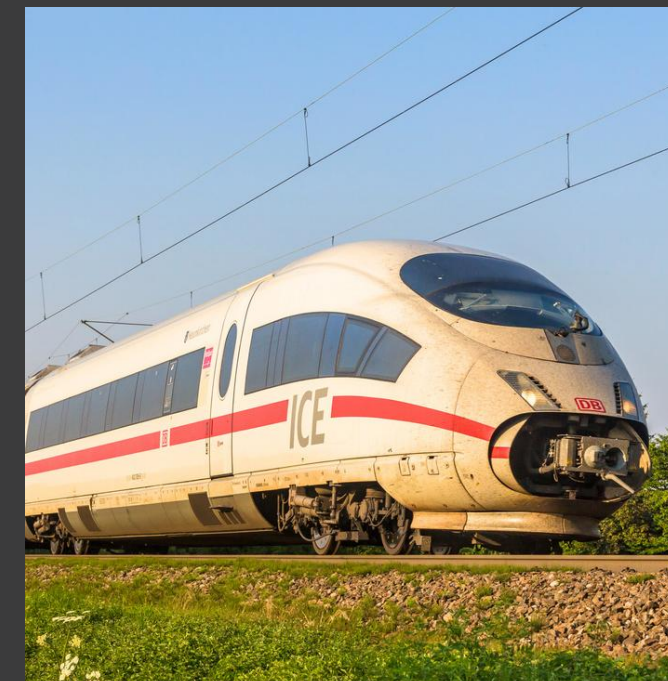
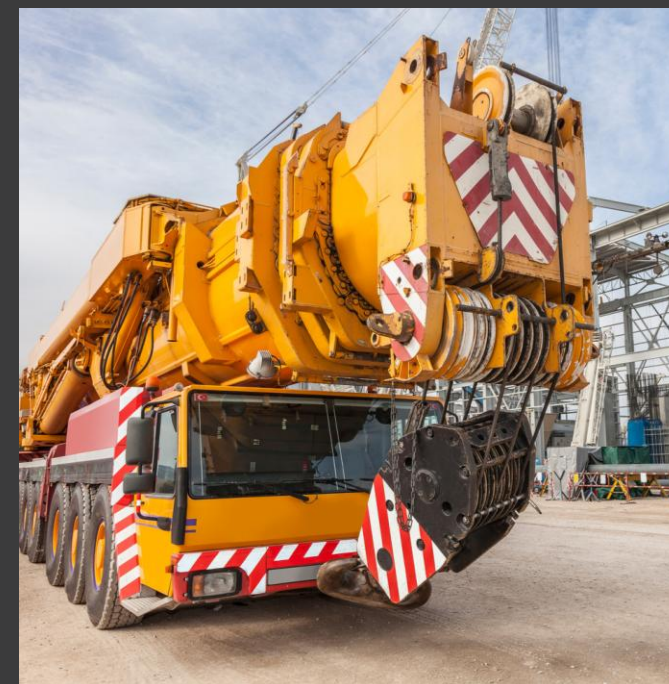
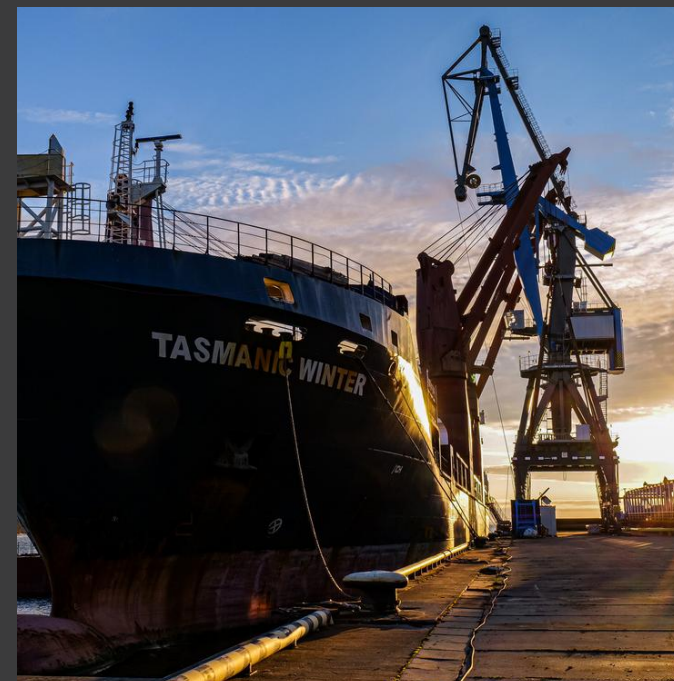
Frühzeitige Erkennung von Ermüdungsrissen

Weitere
Aktivitäten

MR[®] **CHEMIE**
NDT-MATERIALS

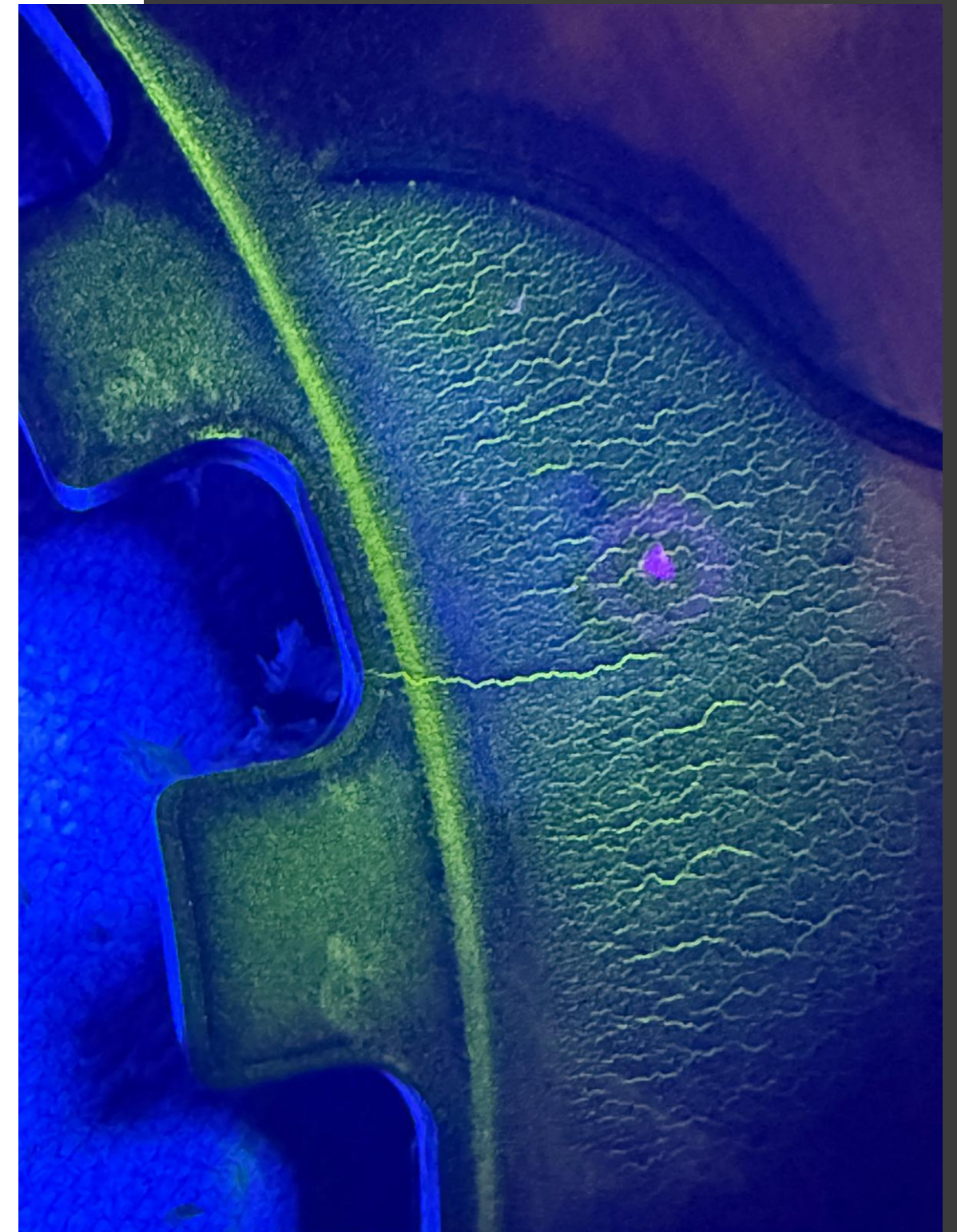
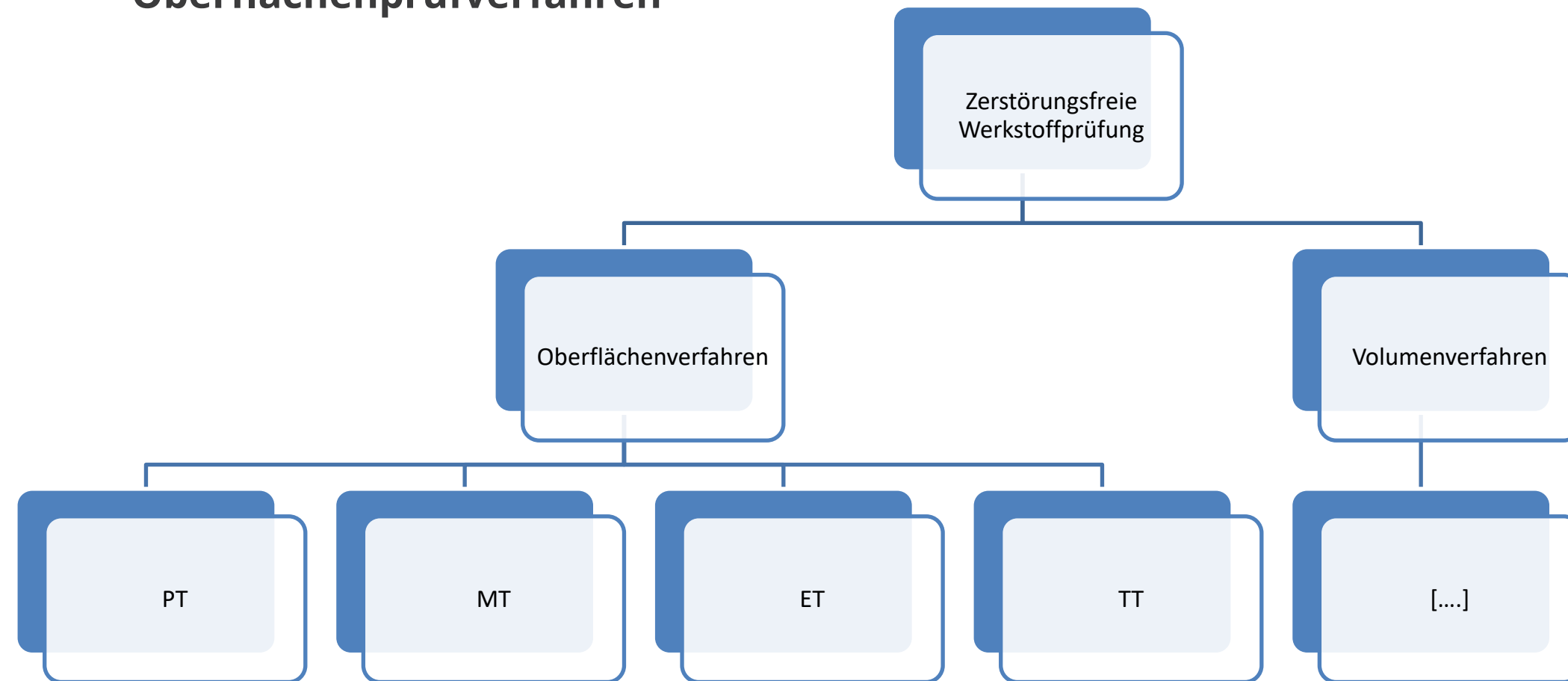


1. MARKTSEGMENTE



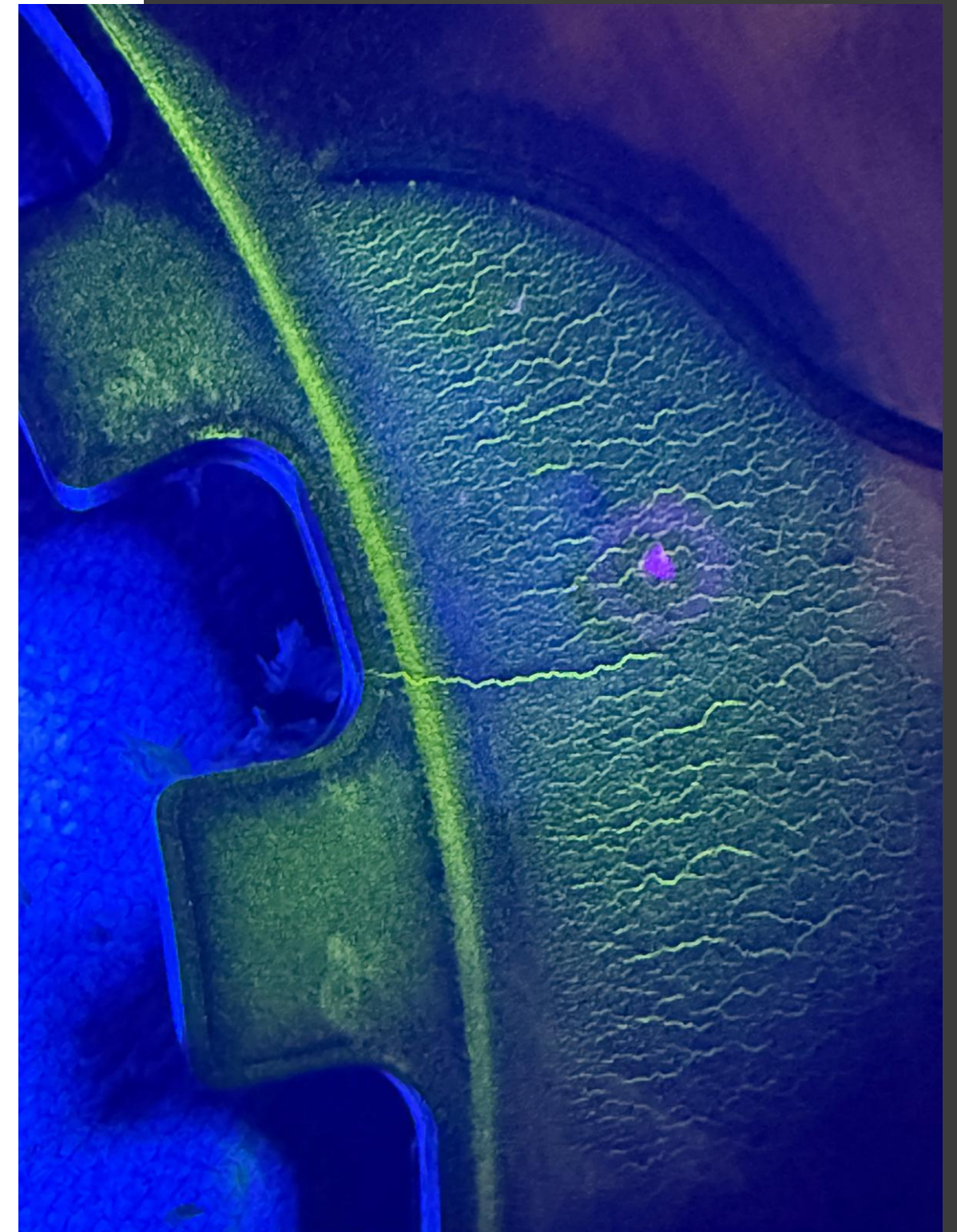
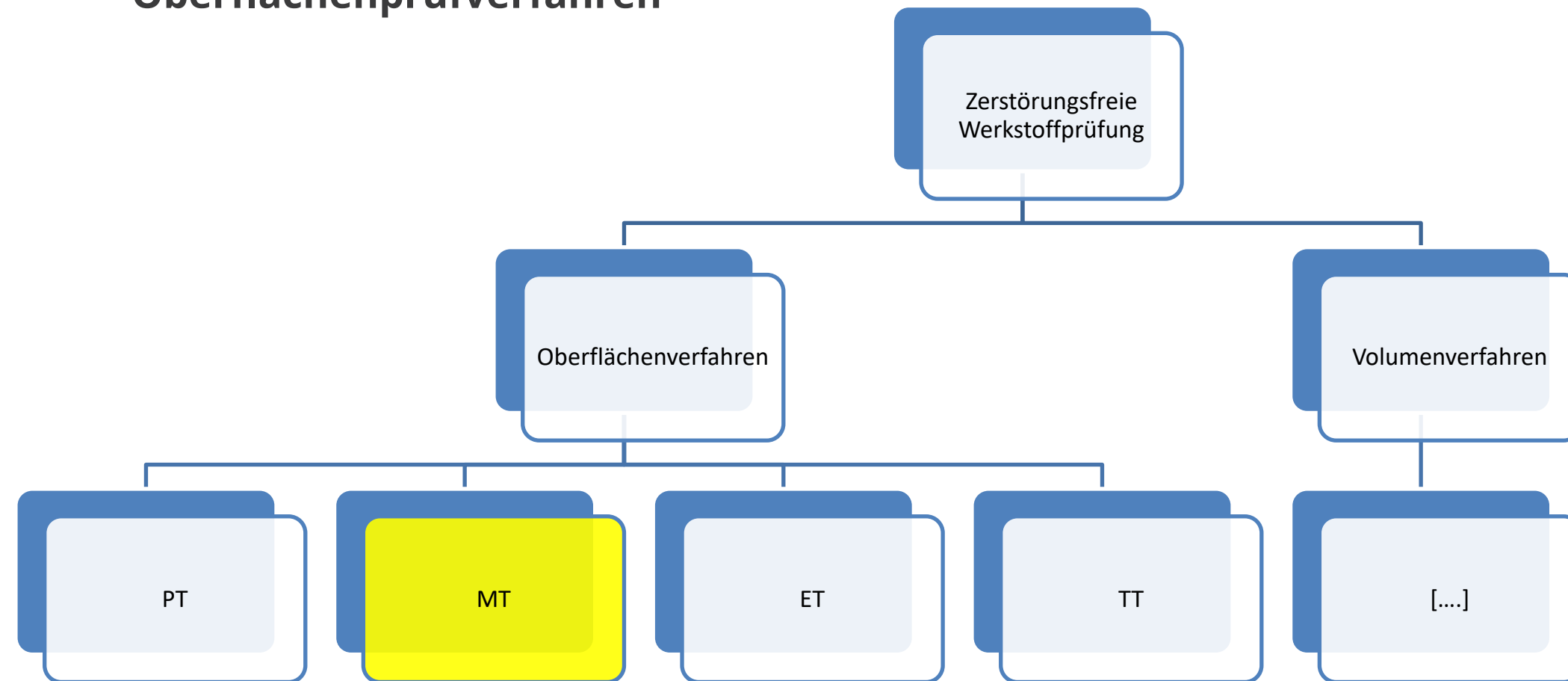
2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Kleine Geschichtsexkursion: Wie entstand die MT?

- **1868** – Erster dokumentierter Ansatz: S. H. Saxby beschreibt in der Zeitschrift „Engineering“, wie Kanonenrohre magnetisiert und mit einer Kompassnadel auf Fehler geprüft werden – das Streufluss-Prinzip, noch ohne Prüfpulver.
- **Frühe 1920er** – William E. Hoke (US-amerikanisches Bureau of Standards) bemerkt, dass Metallspäne auf magnetisch aufgespannten Stahlteilen genau über Rissen Muster bilden – die Idee der Magnetpulverprüfung ist geboren.
- **1928** – A. V. de Forest entwickelt die Zirkularmagnetisierung und gezielt abgestimmte Prüfpartikel und macht das Verfahren praxistauglich.
- **1934** – Erste kommerzielle MT-Ausrüstung erscheint auf den Markt.
- Im Folgenden: Nass-Suspensionen, Handjochs und Entmagnetisierung folgen; in Europa wenden Berthold und Vaupel das Verfahren auf Schweißnähte an. MT etabliert sich in Luftfahrt-, Automobil- und Eisenbahnindustrie.

Quellen:

[1] „History of Magnetic Particle Inspection“, NDT Resource Center (NDE-ED.org), Iowa State University. <https://www.nde-ed.org/NDETechniques/MagParticle/Introduction/history.xhtml>

[2] „The History and Basis of the Magnetic Particle Testing Method“, in: Magnetic Particle Inspection, Springer/Chapman & Hall, 1993. https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-94-011-1536-0_1.pdf

[3] „Magnetic particle inspection“, Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_particle_inspection



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

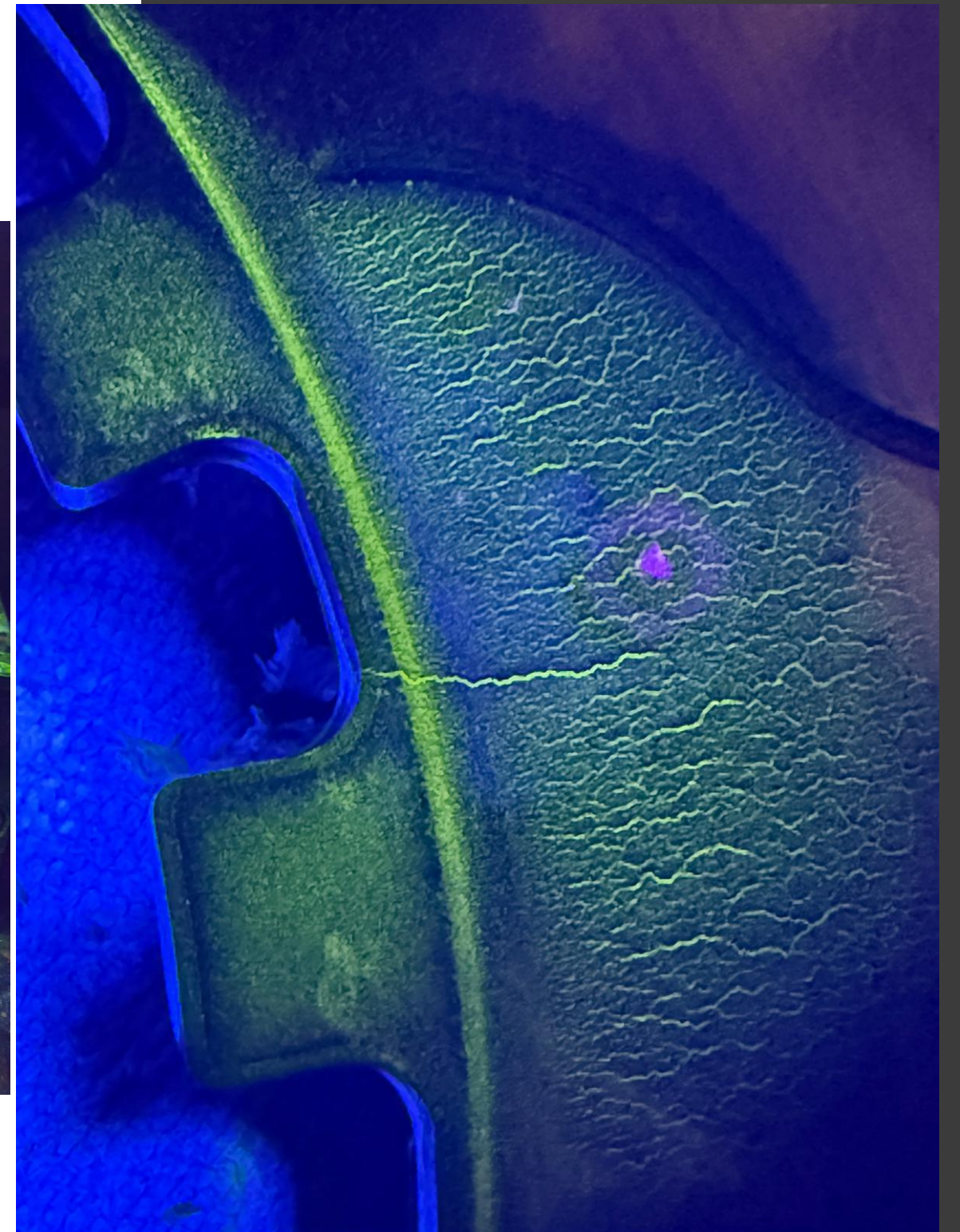
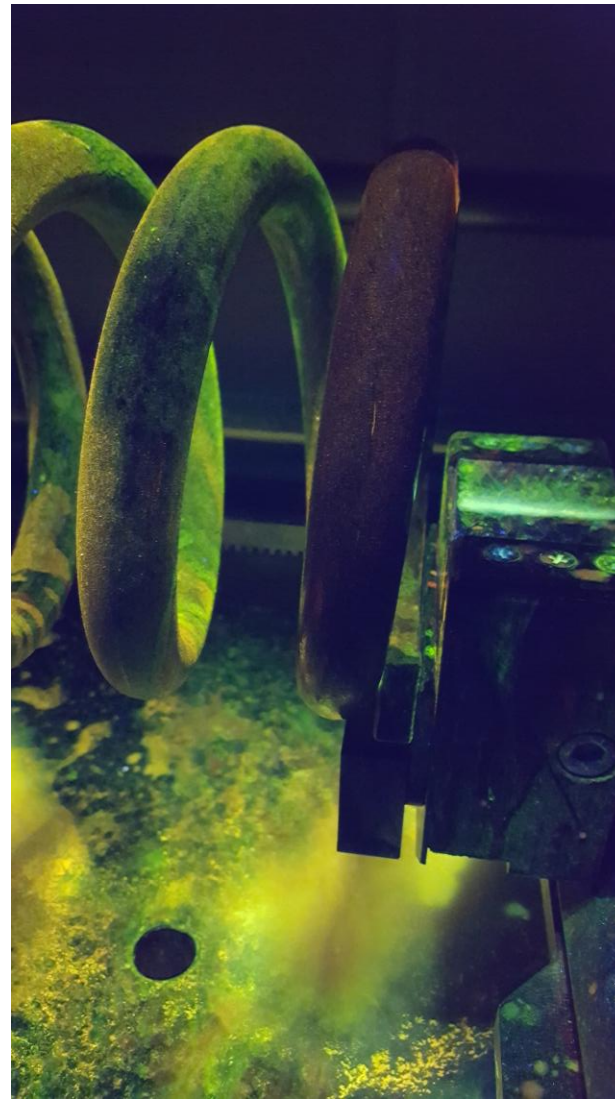
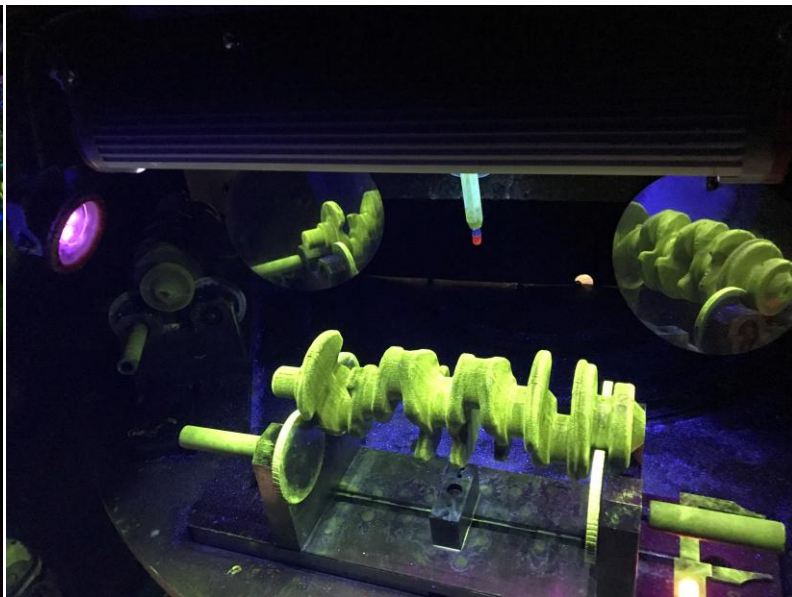


KI-Generiert



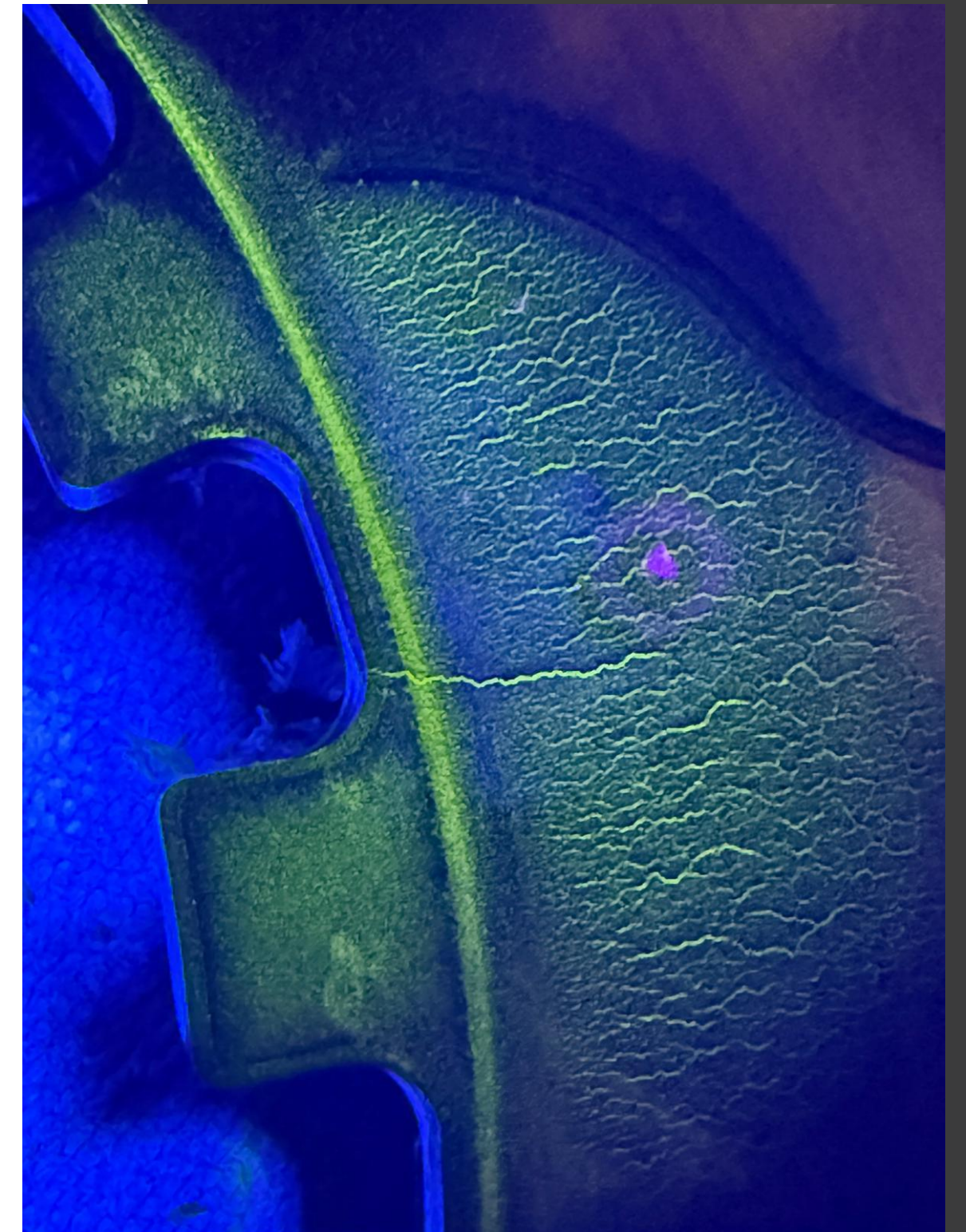
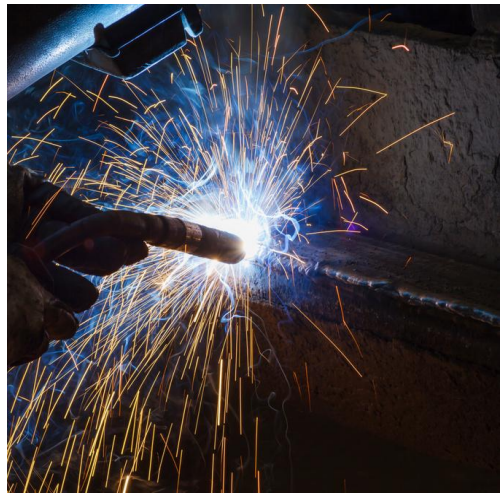
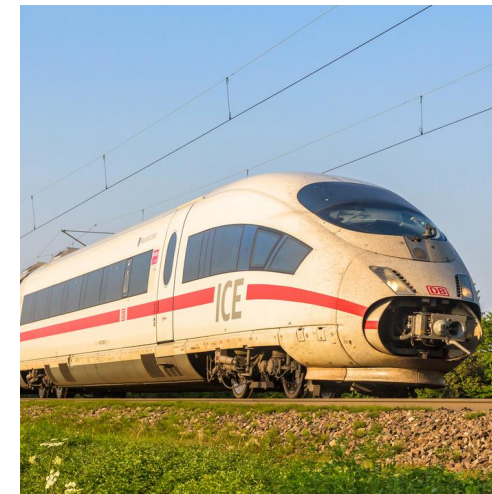
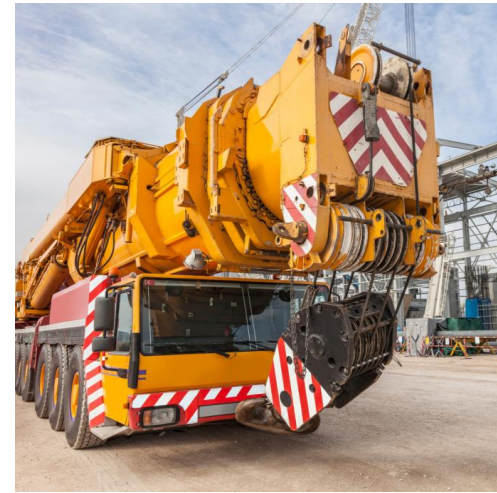
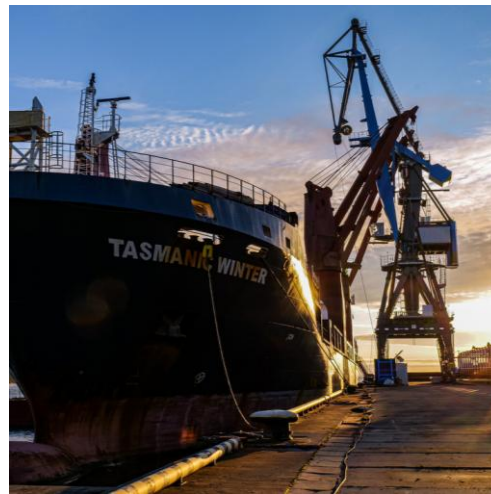
2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



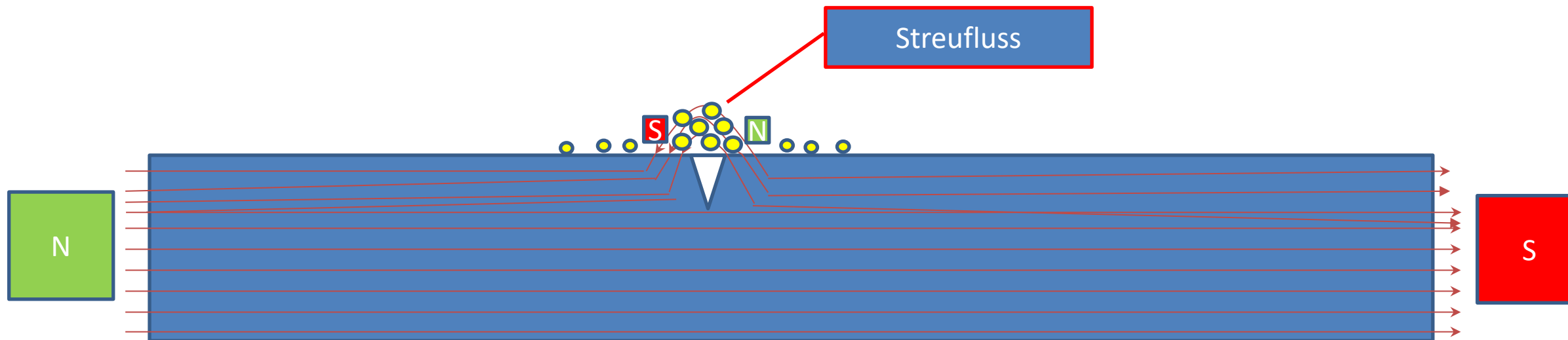
2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



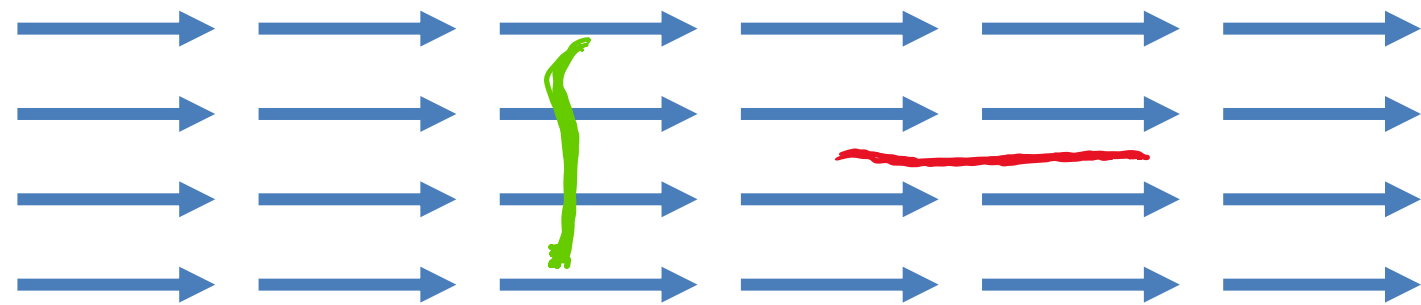
2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

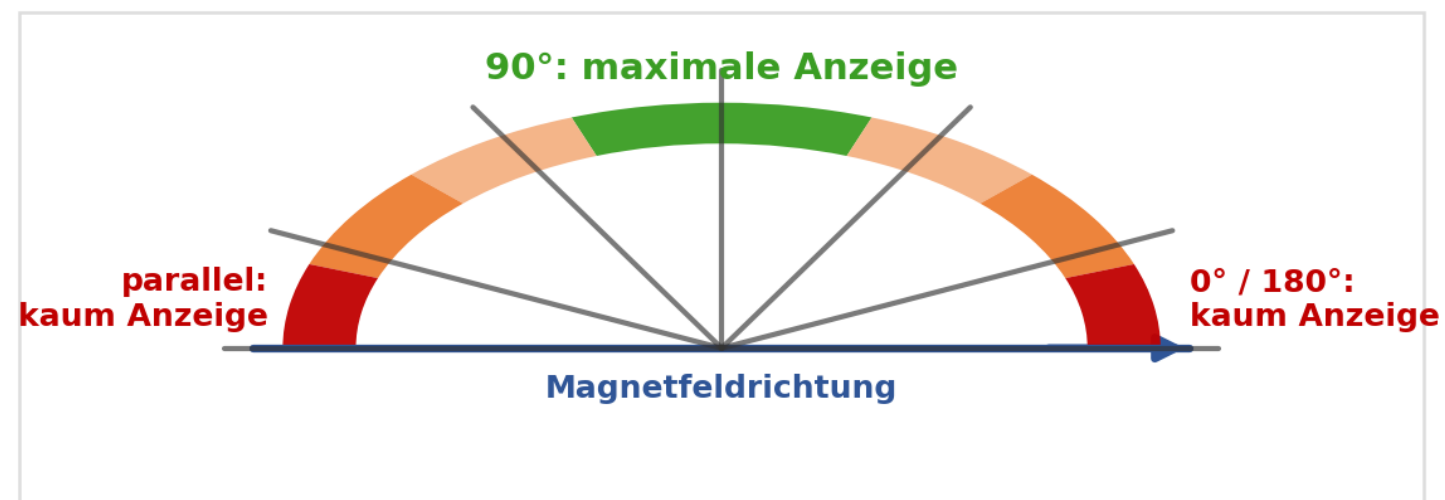


2. Magnetpulverprüfung (MT)

Magnetfeld zur Anzeigeausrichtung



Detektierbarkeit abhängig vom Winkel zum Magnetfeld



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Das MT Verfahren lässt sich nach verschiedenen Parameter unterscheiden

Parameter	Varianten
Magnetfeld	AC · DC
Magnetisierung	Magnetfeldinduziert · Strominduziert
Anlage	Stationär · Mobil
Prüfmittel	Sichtbar (Tageslicht) · Fluoreszierend (UV-Licht)
Magnetisierbarkeit	Ferromagnetisch Ja · Nein



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Das MT Verfahren lässt sich nach verschiedenen Parameter unterscheiden

Parameter	Varianten
Magnetfeld	AC · DC
Magnetisierung	Magnetfeldinduziert · Strominduziert
Anlage	Stationär · Mobil
Prüfmittel	Sichtbar (Tageslicht) · Fluoreszierend (UV-Licht)
Magnetisierbarkeit	Ja · Nein



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Wann funktioniert MT und wann nicht

Ob die MT Prüfung angewendet werden kann, hängt maßgeblich vom zum prüfenden Werkstoff ab.

Es existieren hauptsächlich drei Arten der Magnetisierbarkeit von Werkstoffen:

	Paramagnetisch	Diamagnetisch	Ferromagnetisch
Eigenschaft	Schwach magnetisierbar	Schwach abstoßend	Stark magnetisierbar
Werkstoffe	Platin, Aluminium	Kupfer, Wismut	Eisen, Nickel, Kobalt
Typische Werte für μ_{rel}	>1 Platin 1,000264 Aluminium 1,000021	<1 (~0,999) Kupfer 0,999993 Wismut 0,999847	>>1 (300 – 300.000) Kobalt 245 Nickel 2.400 Hochreines Eisen 280.000

Quelle: Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – Magnetpulverprüfung 2015

Vakuum $\mu_{rel} = 1$ nicht magnetisierbar

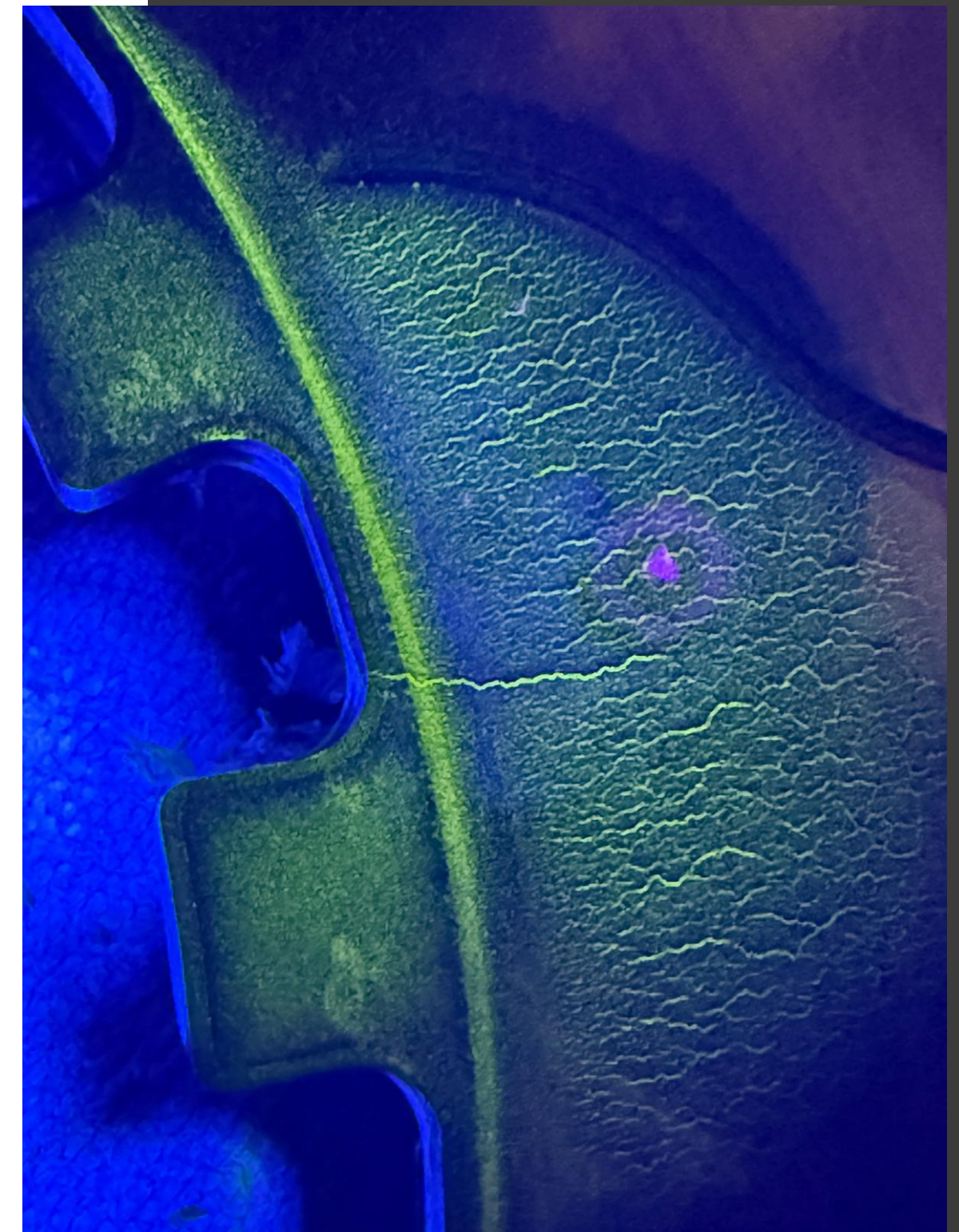
Kunststoffe, Keramiken u.ä. annähernd ≈ 1

$$\mu_{rel} = \frac{B}{\mu_0 * H}$$

B = Magnetische Flussdichte [T]

H = Feldstärke [A/m]

μ_0 = Absolute permeabilität Vakuum = $1,256637 \times 10^{-6}$ Vs/Am



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Wann funktioniert MT und wann nicht

Typischer Wert für MT Prüfung, Werkstoffe $\mu_{rel} \geq 100$ sind prüfbar.



Messgerät für die relative Permeabilität
Messbereich $\mu_{rel} = 1$ bis 5

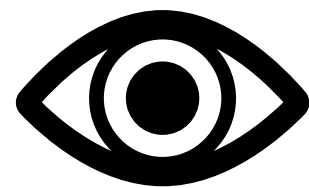
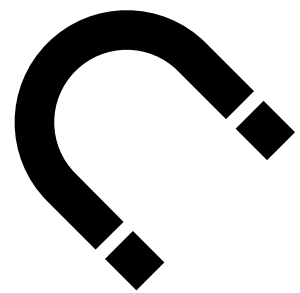
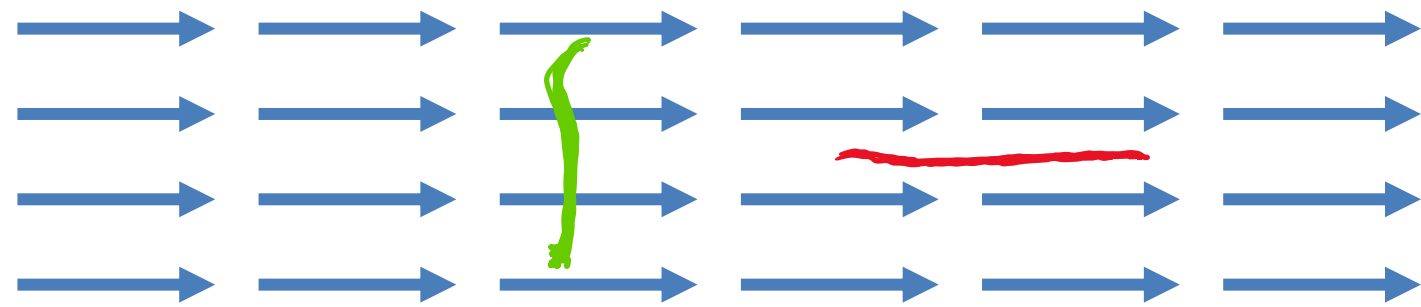


Quelle: Conrad Elektronik
<https://www.conrad.de/de/p/pce-instruments-permeabilitaetsmessgeraet-lm-ferro-pro-messbereich-1-000-5-000-r-aufloesung-0-001-r-datenlogge>



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Wann funktioniert MT und wann nicht

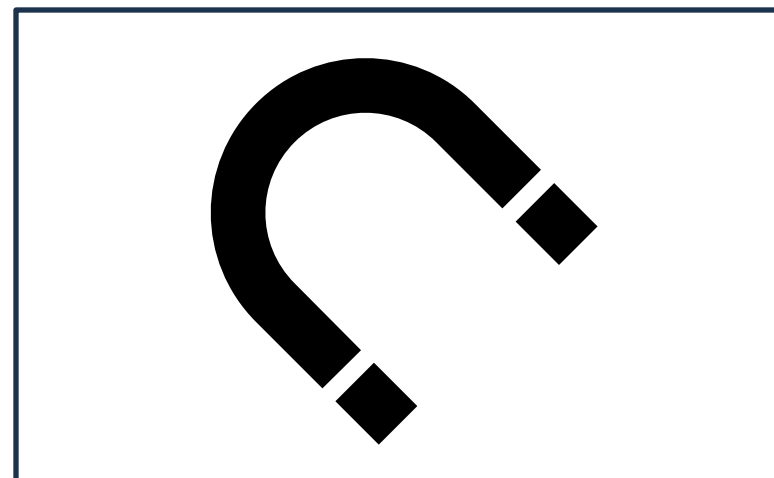


2. Magnetpulverprüfung (MT)

Wann funktioniert MT und wann nicht

Bessere Messgröße: Feldstärke, Mindestanforderung 2kA/m (AC) (DIN EN ISO 9934)

Messgröße Feldstärke



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Wann funktioniert MT und wann nicht

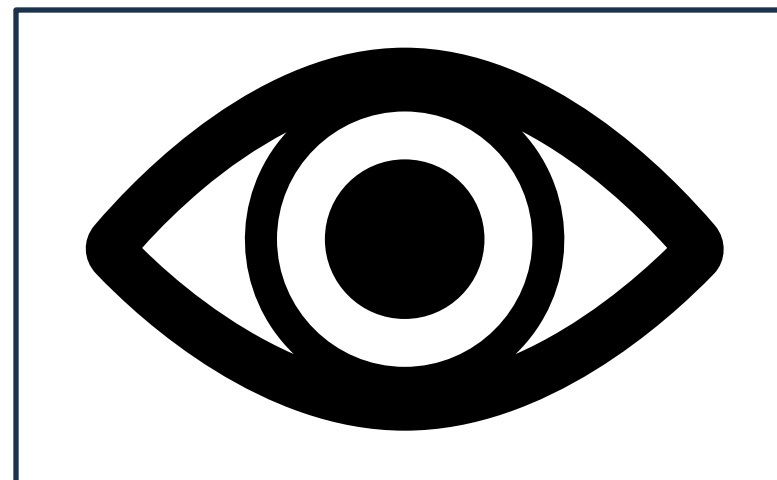
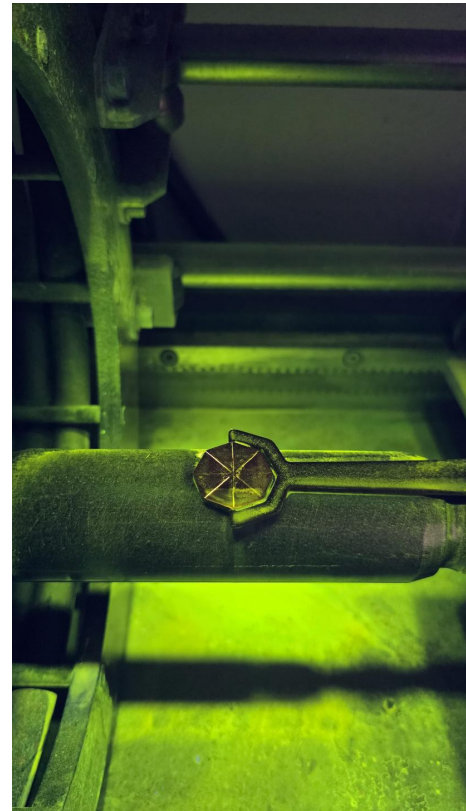
Normakzeptierte Nachweisbarkeiten der ausreichenden Magnetisierung nach DIN EN ISO 9934:

- Referenzprüfteil mit Fehlstellen in ungünstigsten nachzuweisenden Bereichen
- Messung mit einem Tangentialfeldstärkemessgerät
- Berechnungen aus dem Strom (Norm enthält die entsprechenden Formeln)
- Kontrollkörper wie der Berthold, Pie Gauge und weitere können als Hinweis der Größe und der Richtung des Magnetfelds dienen, sollten aber nicht alleine eingesetzt werden.



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Normen:

Beispiele!:

Ausbildung:

DIN EN ISO 9712

Durchführung:

DIN EN ISO 9934

Betrachtung:

DIN EN ISO 3059

Bewertungsnormen:

Branchenspezifisch



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Das MT Verfahren lässt sich nach verschiedenen Parameter unterscheiden

Parameter	Varianten
Magnetfeld	AC · DC
Magnetisierung	Magnetfeldinduziert · Strominduziert
Anlage	Stationär · Mobil
Prüfmittel	Sichtbar (Tageslicht) · Fluoreszierend (UV-Licht)
Magnetisierbarkeit	Ferromagnetisch Ja · Nein



2. Magnetpulverprüfung (MT)

AC oder DC

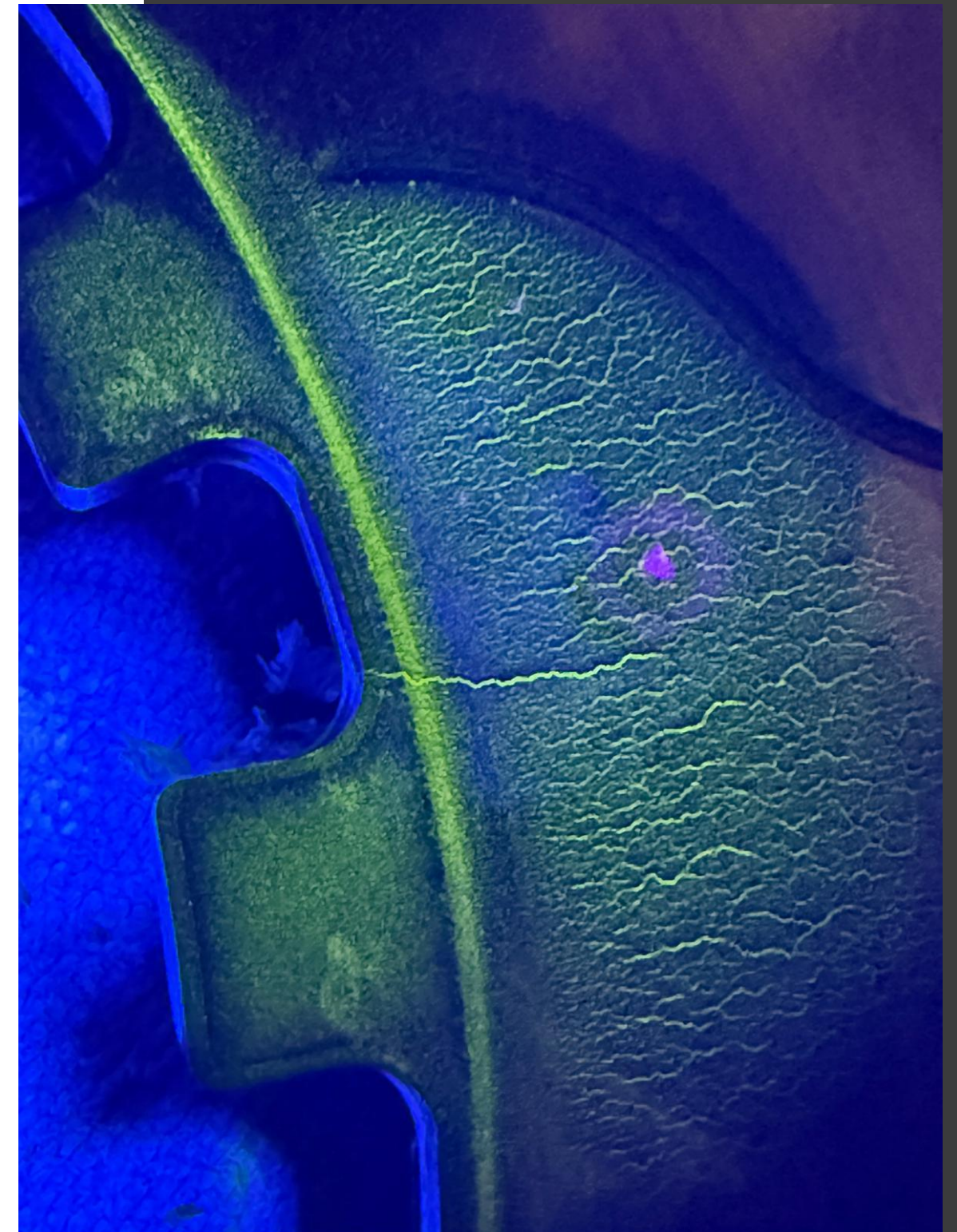
Wechselfeld-Magnetisierung (AC)

- Skin Effekt



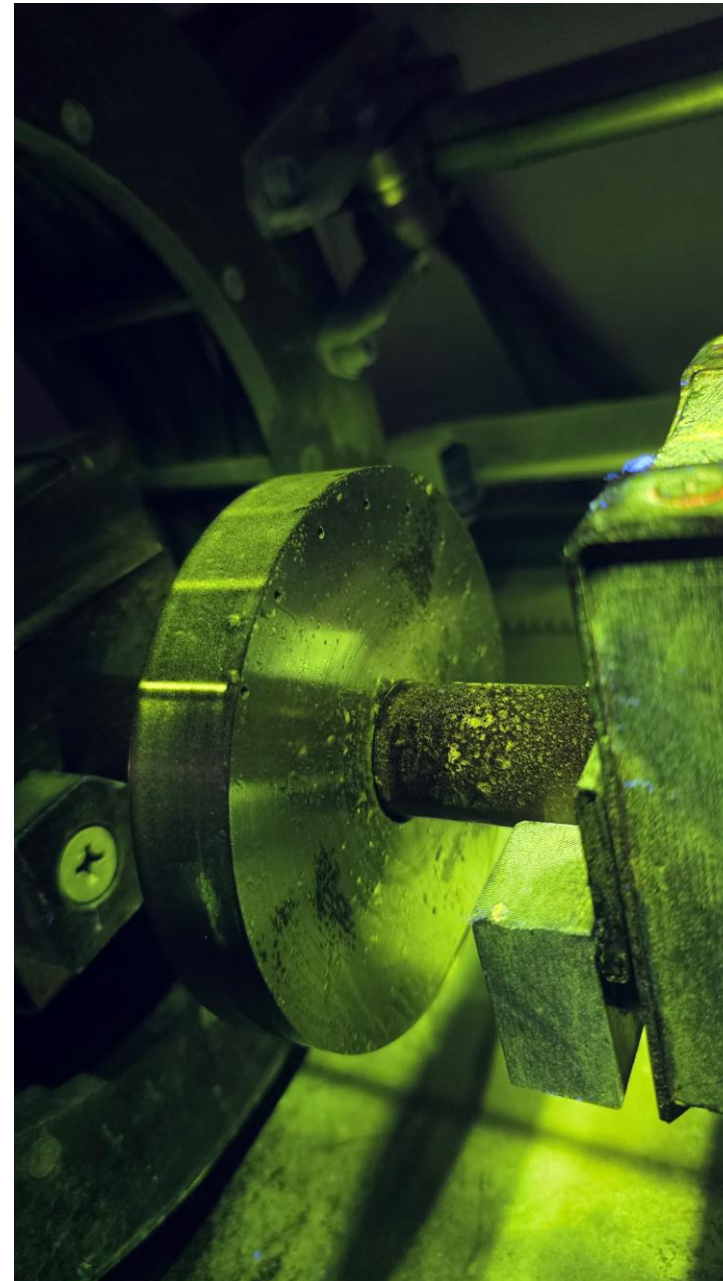
Gleichfeld-Magnetisierung (DC)

- Tiefenwirkung



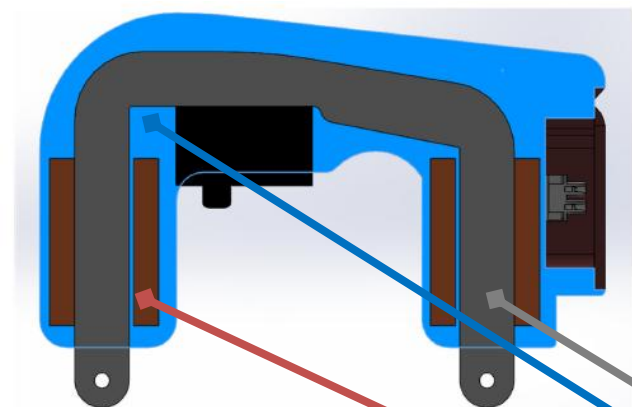
2. Magnetpulverprüfung (MT)

AC oder DC

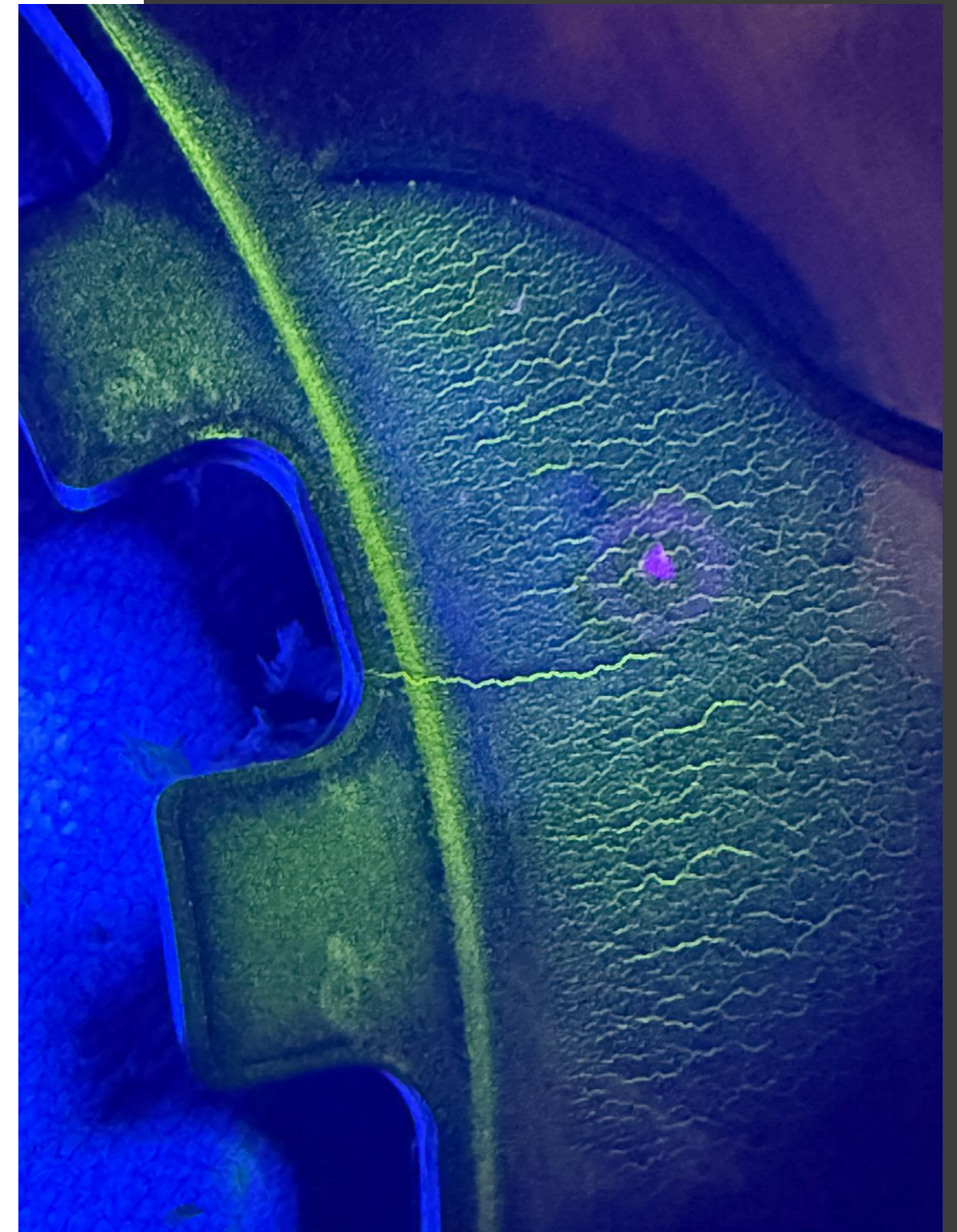


2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



- Eisenkern
- Gehäuse (Gusscharz)
- Spulen



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

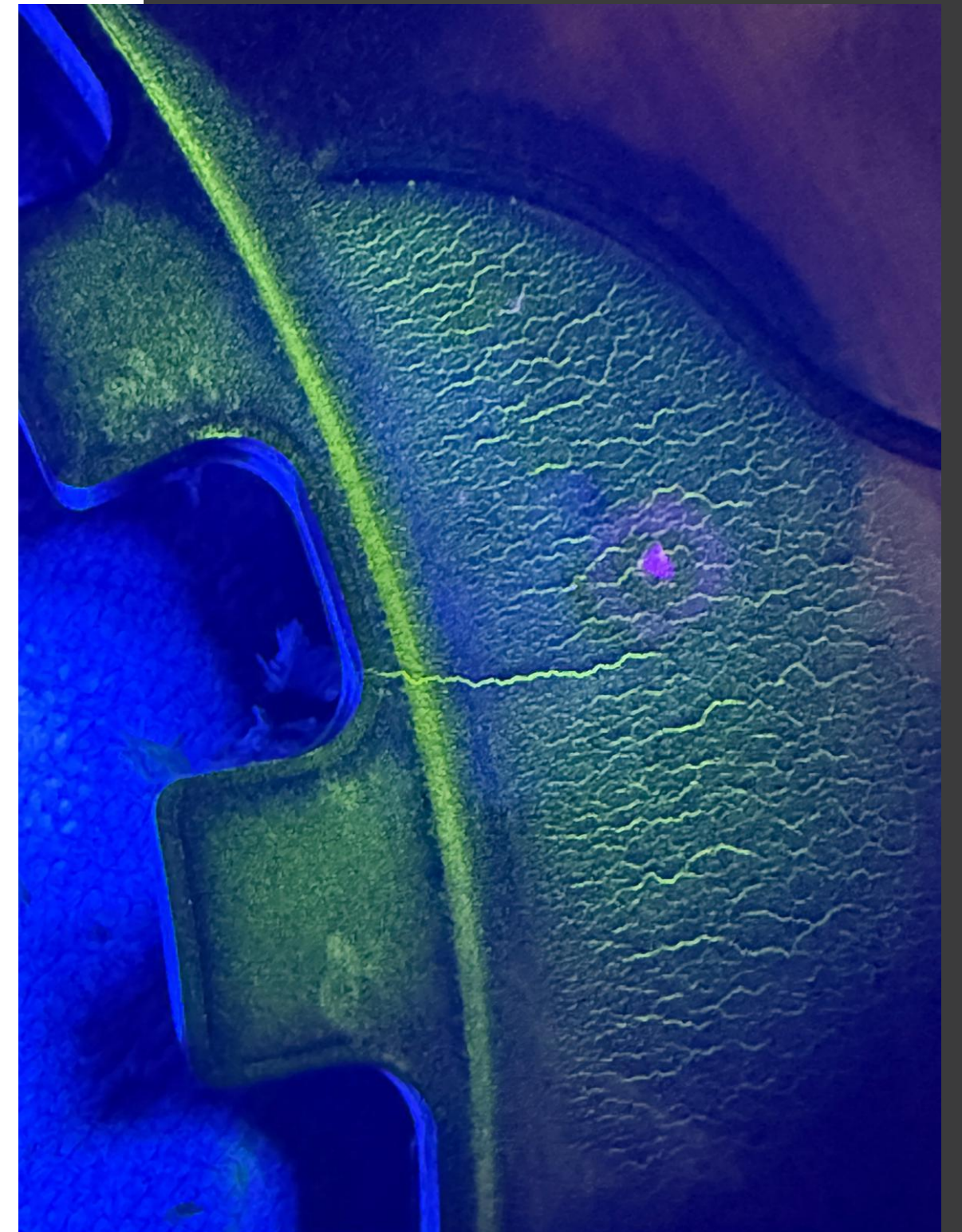
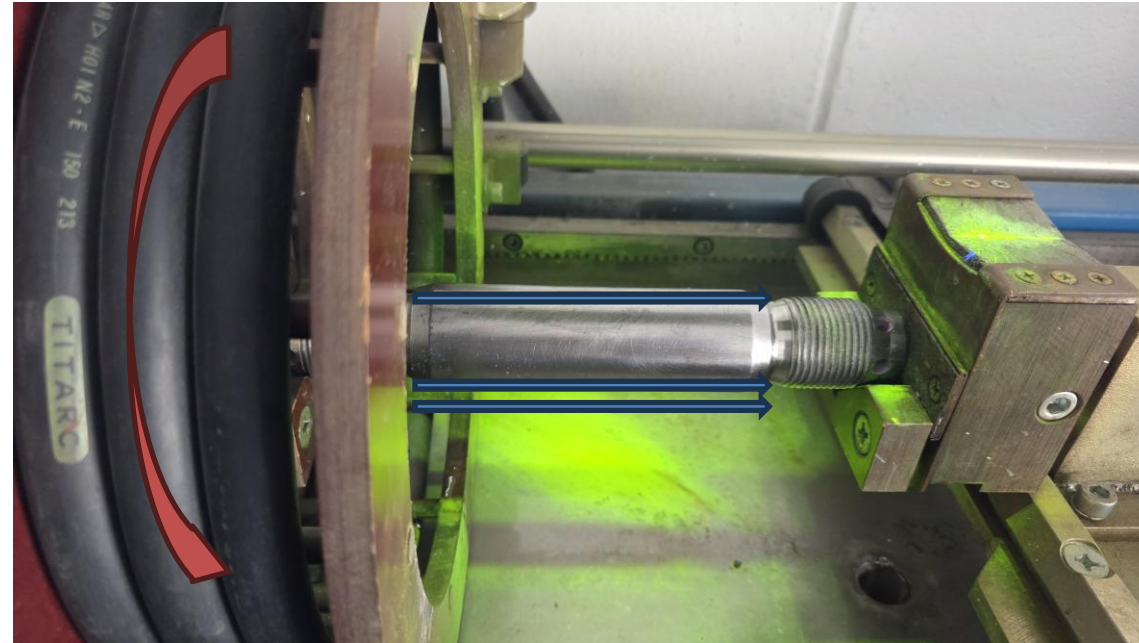
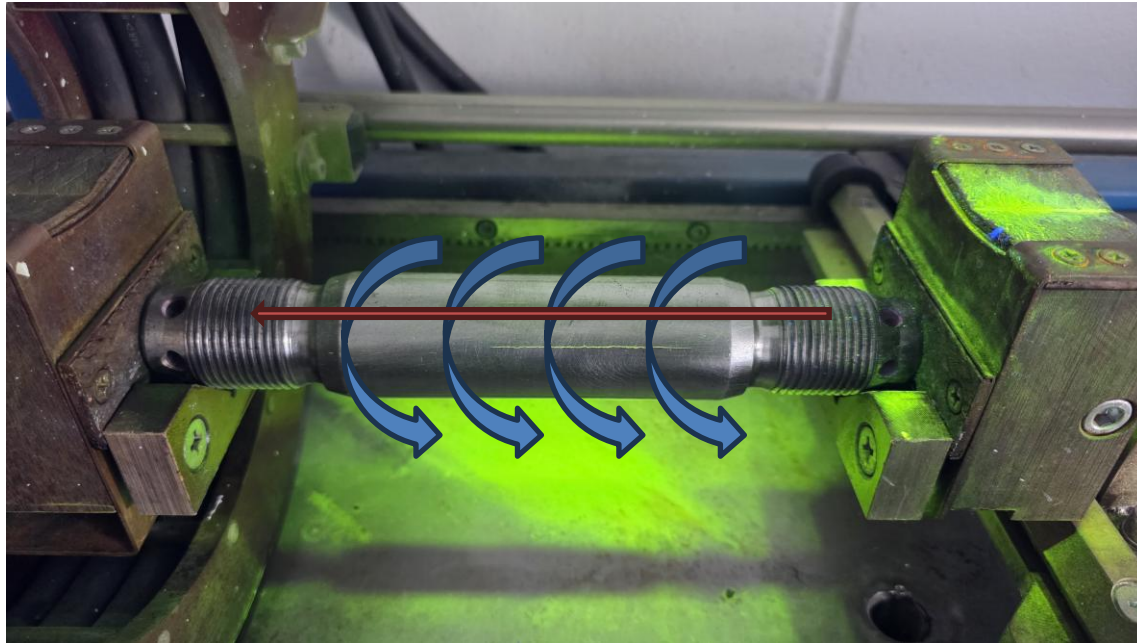
Das MT Verfahren lässt sich nach verschiedenen Parameter unterscheiden

Parameter	Varianten
Magnetfeld	AC · DC
Magnetisierung	Magnetfeldinduziert · Strominduziert
Anlage	Stationär · Mobil
Prüfmittel	Sichtbar (Tageslicht) · Fluoreszierend (UV-Licht)
Magnetisierbarkeit	Ferromagnetisch Ja · Nein



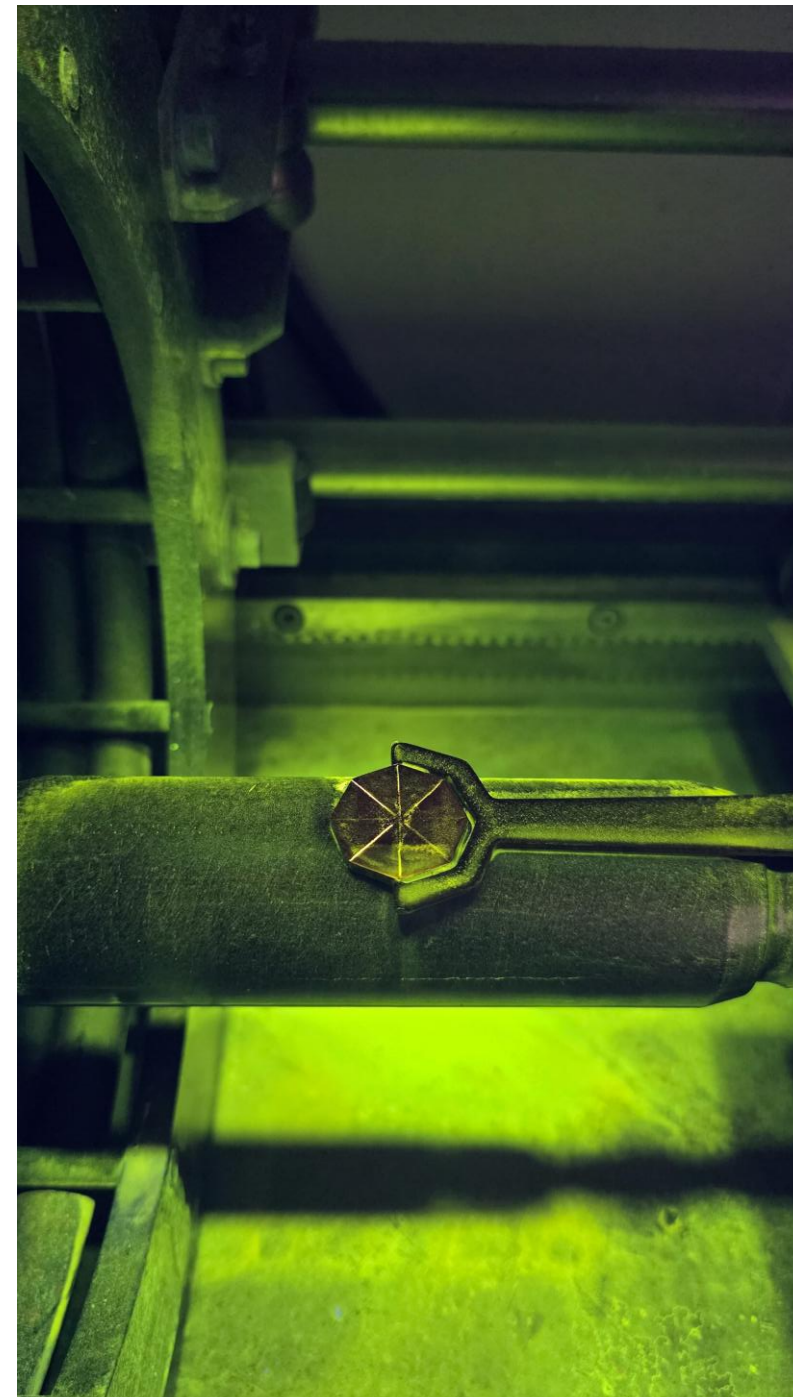
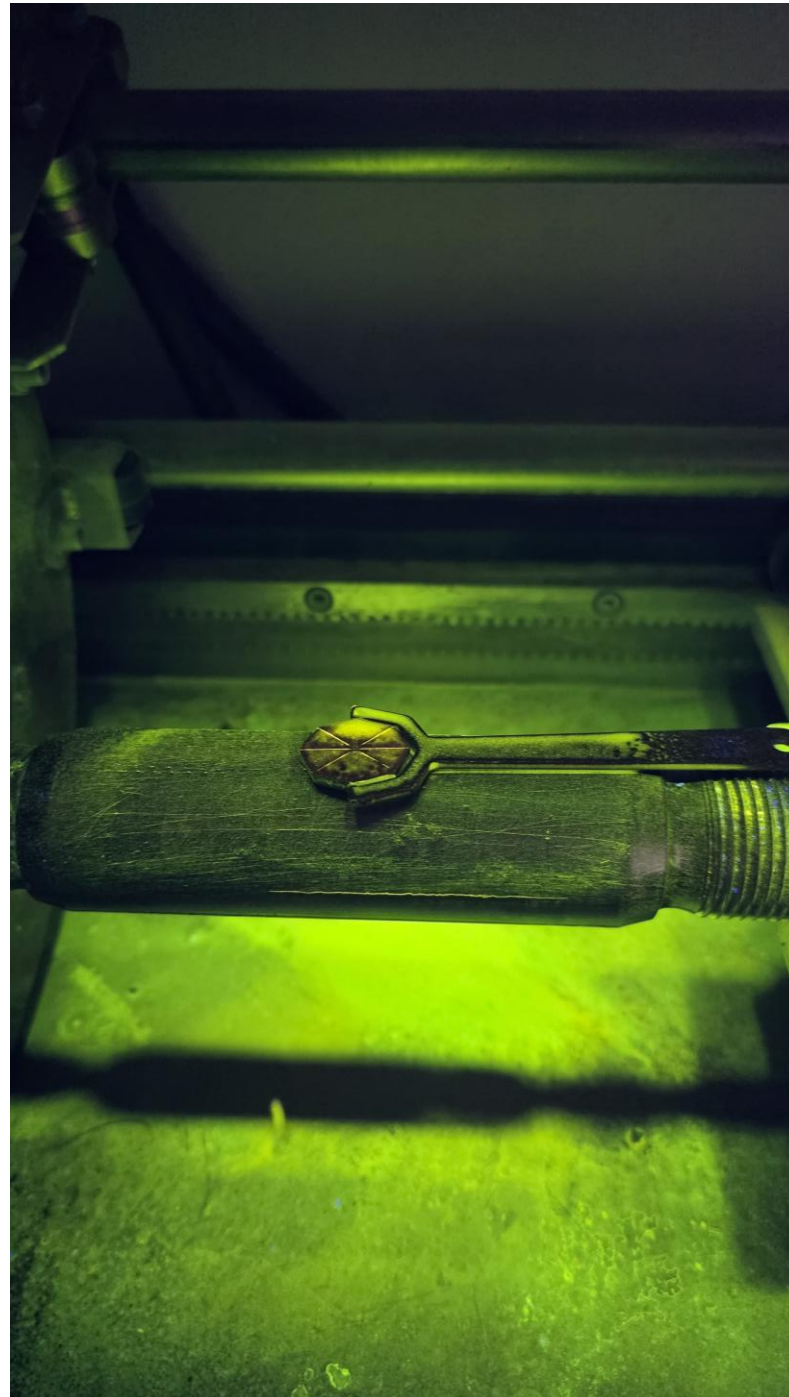
2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

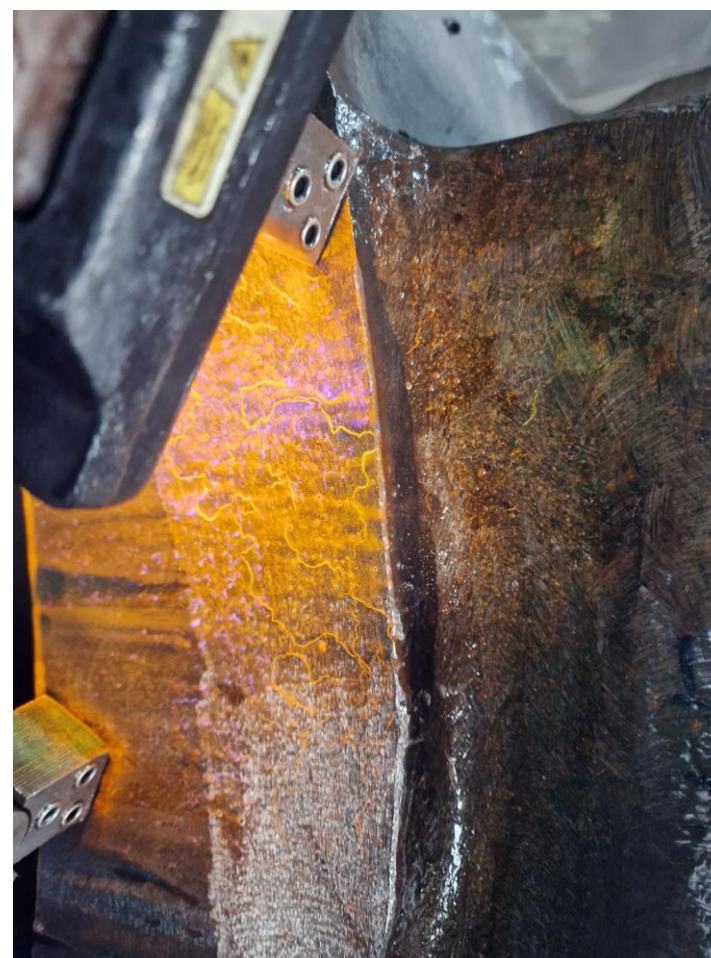
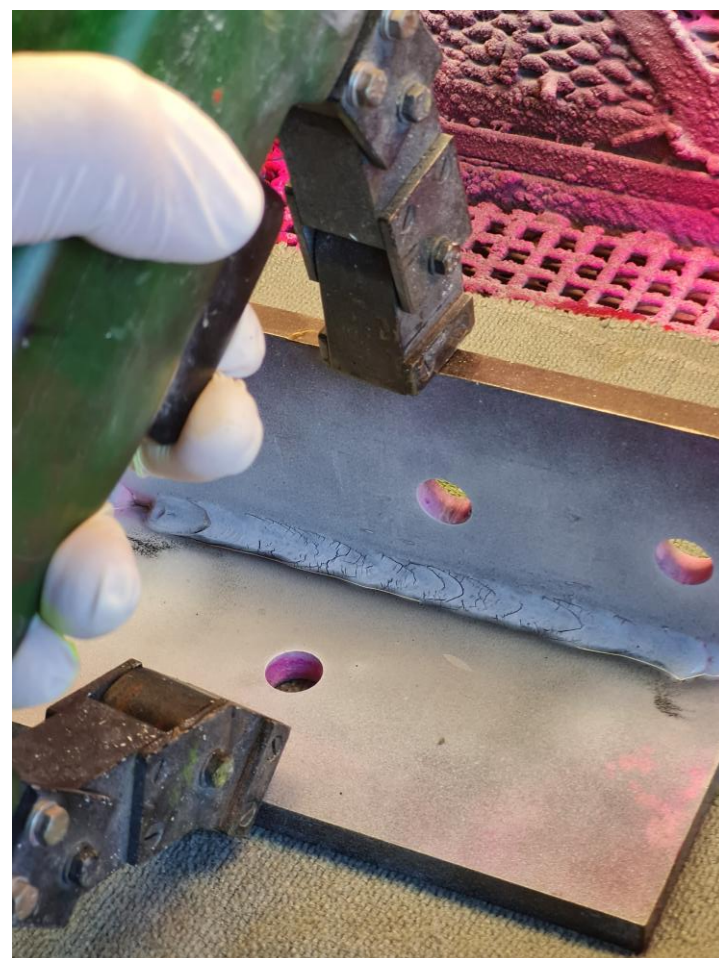
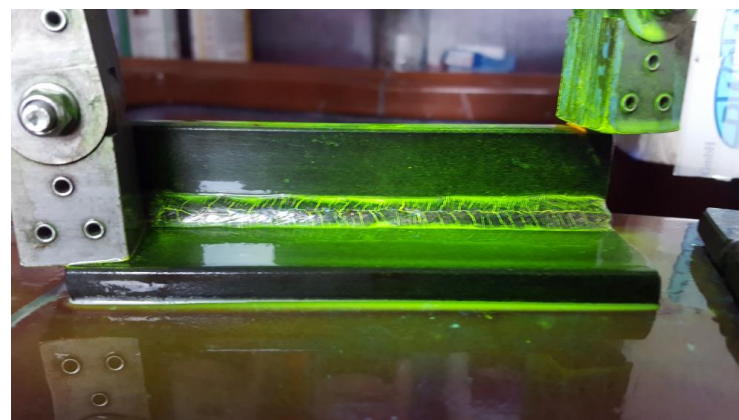
Das MT Verfahren lässt sich nach verschiedenen Parameter unterscheiden

Parameter	Varianten
Magnetfeld	AC · DC
Magnetisierung	Magnetfeldinduziert · Strominduziert
Anlage	Stationär · Mobil
Prüfmittel	Sichtbar (Tageslicht) · Fluoreszierend (UV-Licht)
Magnetisierbarkeit	Ferromagnetisch Ja · Nein

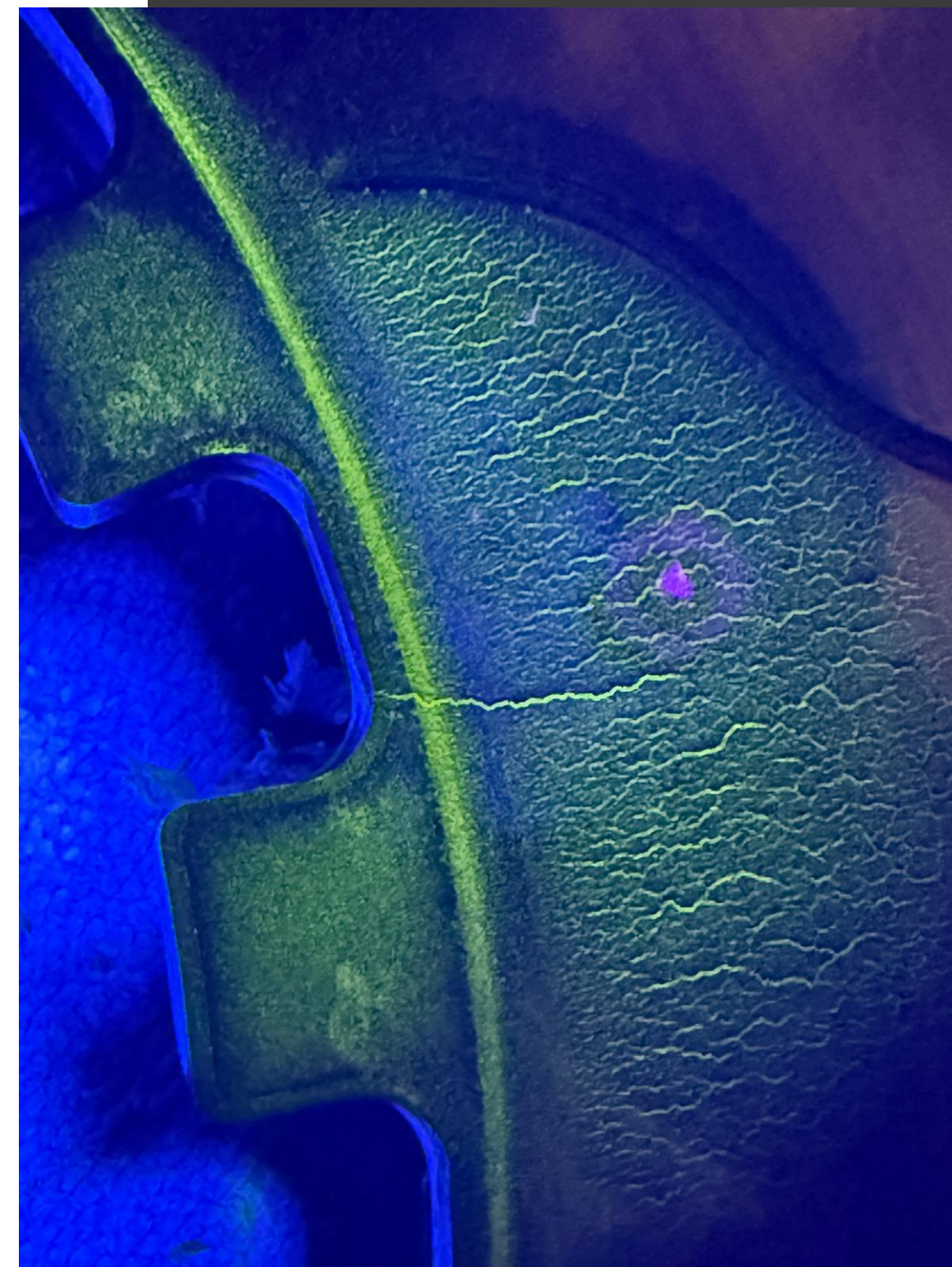


2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren mobil:

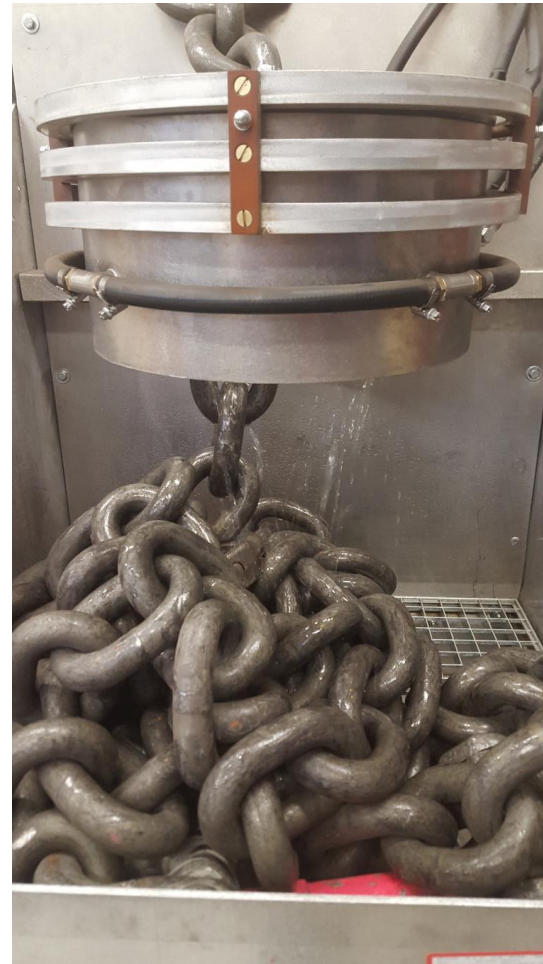
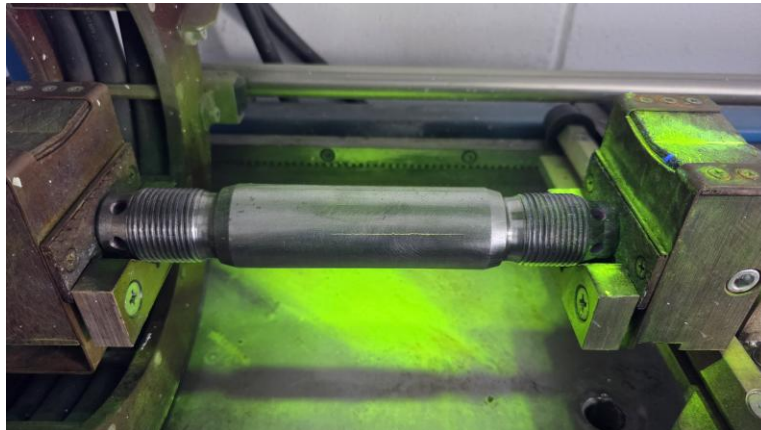


Häufige Anwendungsgebiete: Schweißnähte, Guss- und Schmiedeteile, Instandhaltung, Ingenieurbauwerke, Energieanlagen uvm..



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren mobil:



Häufige Anwendungsgebiete: Schmiedeteile, Gussteile, Drehteile, Serienprüfung

2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

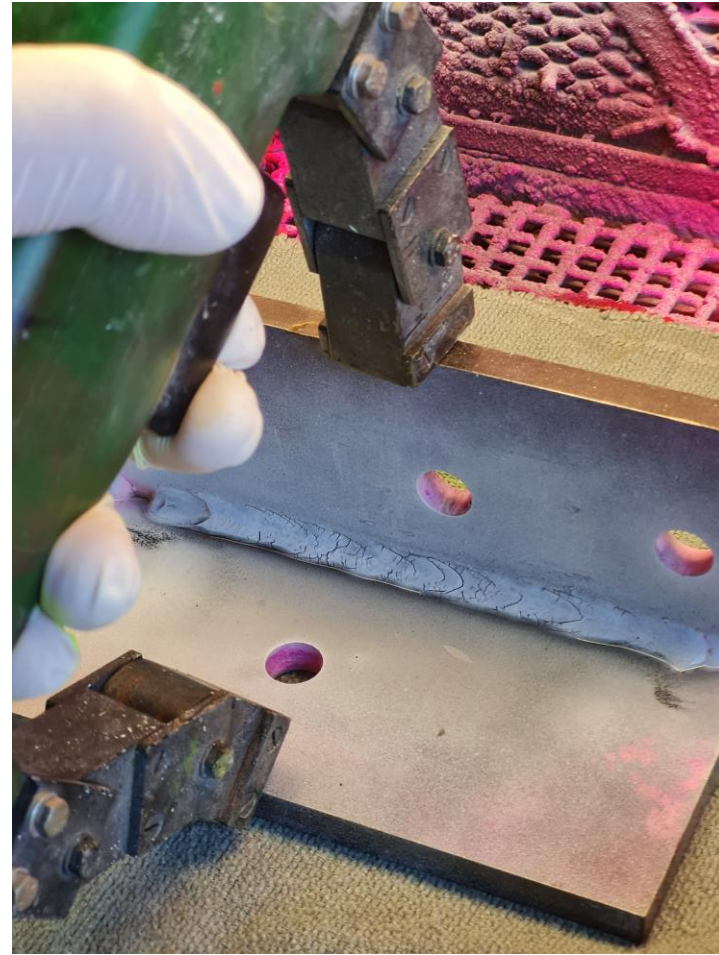
Das MT Verfahren lässt sich nach verschiedenen Parameter unterscheiden

Parameter	Varianten
Magnetfeld	AC · DC
Magnetisierung	Magnetfeldinduziert · Strominduziert
Anlage	Stationär · Mobil
Prüfmittel	Sichtbar (Tageslicht) · Fluoreszierend (UV-Licht)
Magnetisierbarkeit	Ferromagnetisch Ja · Nein



2. Magnetpulverprüfung (MT)

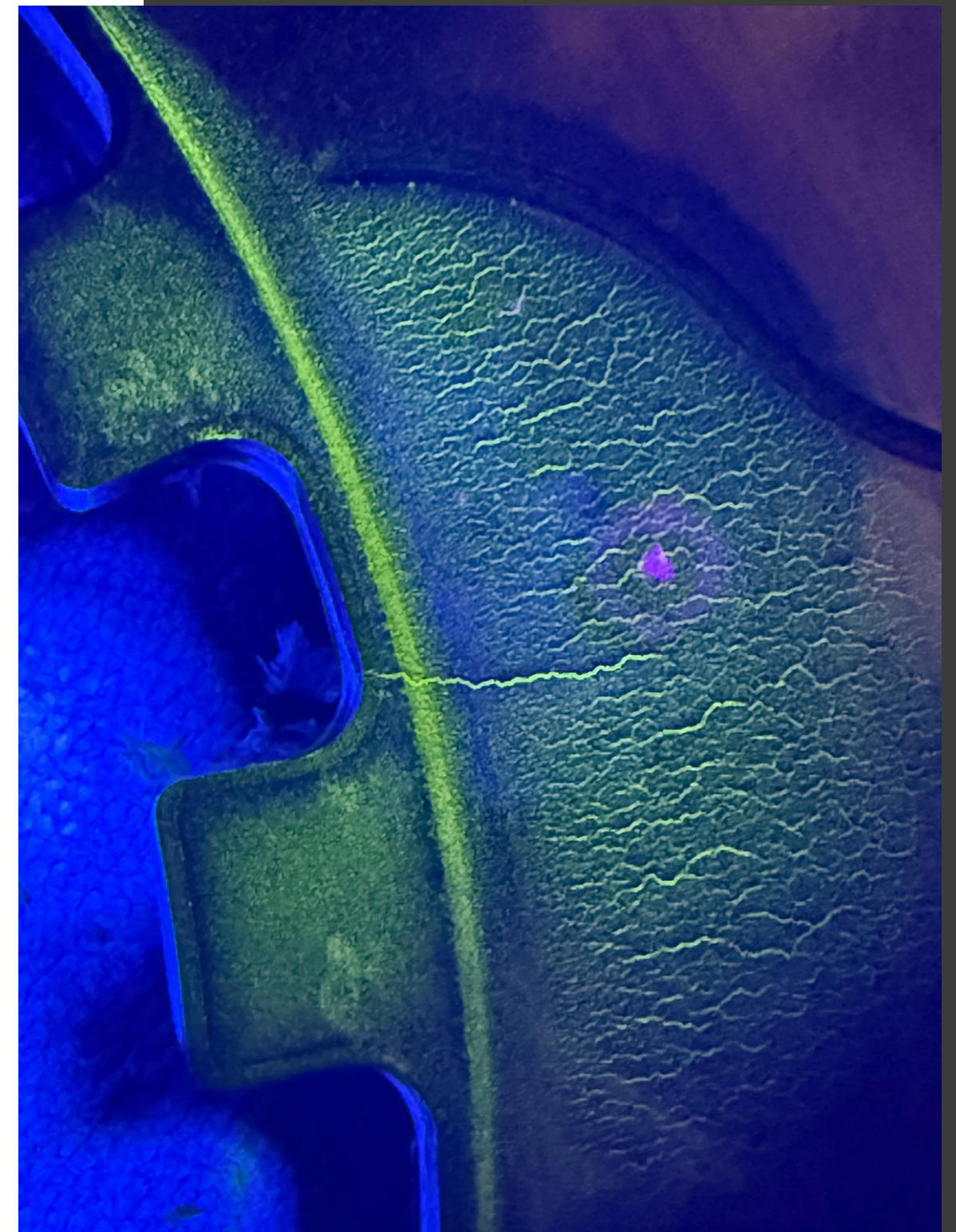
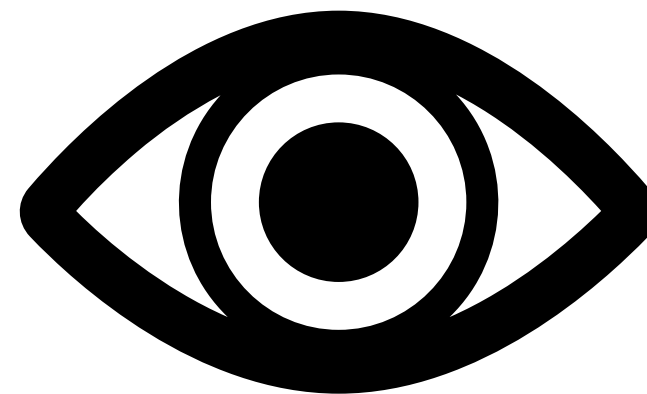
Oberflächenprüfverfahren



Betrachtung: DIN EN ISO 3059

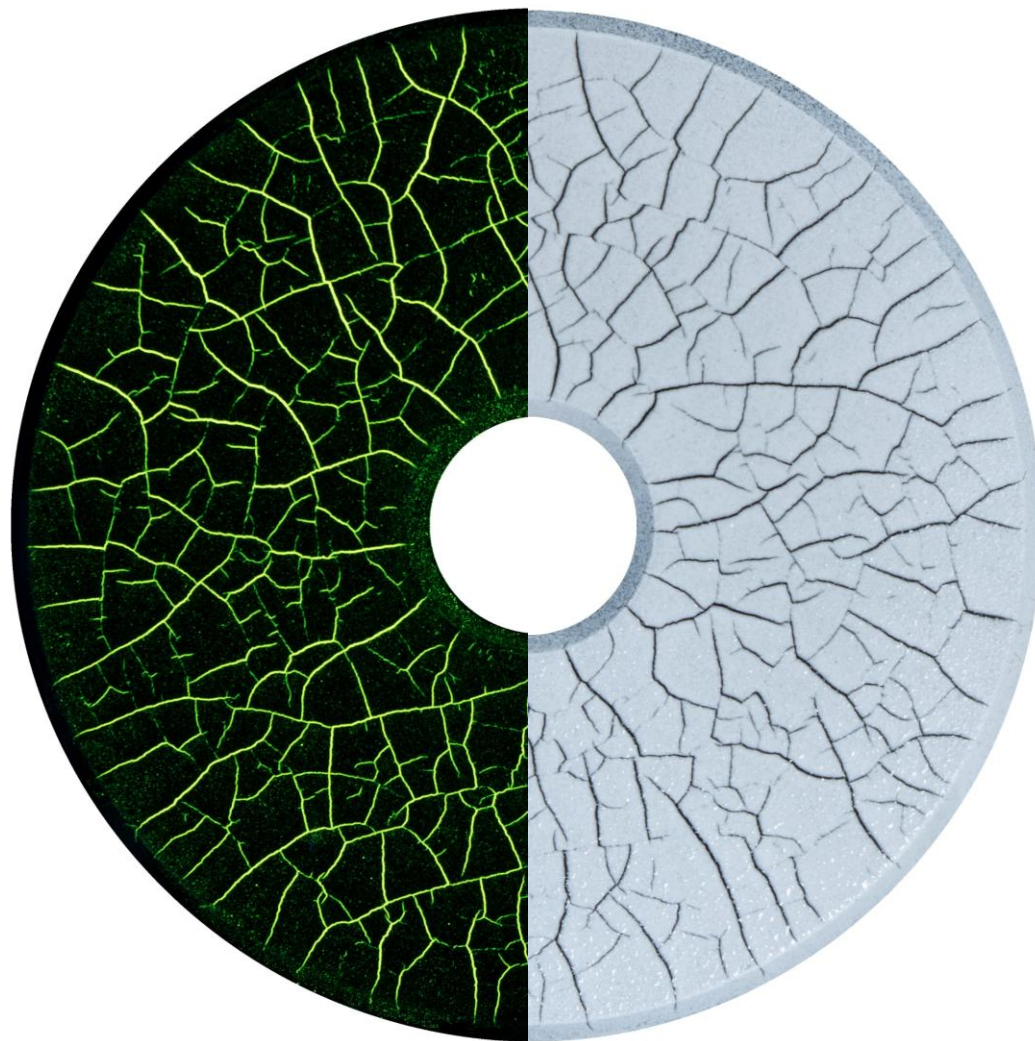
Betrachtung:
Weißlicht: $\geq 500\text{Lux}$

Betrachtung:
Weißlicht: $\leq 20\text{ Lux}$
UV-Licht: $\geq 10\text{W/m}^2$ ($1000\mu\text{W/cm}^2$)



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren



Vorteile Tageslicht Prüfung:

- Keine Abdunkelung nötig

Vorteil UV-Lichtprüfung:

- Empfindlicher
- Keine Kontrastfarbe nötig
- Schneller Anwendbar



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Was wir bis hierhin gelernt haben

- Die Magnetpulverprüfung (MT) ist ein Oberflächenprüfverfahren, das Risse und Fehlstellen über den magnetischen Streufluss sichtbar macht.
- Anwendbar nur bei ferromagnetischen Werkstoffen – prüfbar ab $\mu_{rel} \geq 100$; para- und diamagnetische Werkstoffe sind ungeeignet.
- Prinzip: An Fehlstellen tritt der Streufluss aus und zieht das Magnetpulver an – so entsteht die sichtbare Anzeige.
- Das Verfahren lässt sich nach Parametern unterscheiden: Magnetfeld (AC/DC), Magnetisierung (feld-/strominduziert), Anlage (stationär/mobil), Prüfmittel (sichtbar/fluoreszierend).
- AC wirkt oberflächennah (Skin-Effekt), DC erzielt Tiefenwirkung.
- Ausreichende Magnetisierung: mind. 2 kA/m (AC) nach DIN EN ISO 9934, nachgewiesen per Referenzteil, Feldstärkemessung oder Berechnung.
- Relevante Normen: Ausbildung DIN EN ISO 9712, Durchführung DIN EN ISO 9934, Betrachtung DIN EN ISO 3059.
- Betrachtung: Weißlicht ≥ 500 Lux oder UV-Licht ≥ 10 W/m² (UV empfindlicher, ohne Kontrastfarbe); typische Anwendungen: Schweißnähte, Guss-, Schmiede- und Drehteile.



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Vorteile des Systems

- Hohe Empfindlichkeit für oberflächenoffene und oberflächennahe Fehler wie Risse, Poren und Bindefehler.
Anmerkung: DAKKS – die MT Prüfung soll bei Ferromagnetischen Materialien der Eindringprüfung vorgezogen werden.
- Erfasst auch knapp unter der Oberfläche liegende Fehlstellen – mit DC-Magnetisierung sogar mit Tiefenwirkung.
- Sofort sichtbare Anzeige direkt am Bauteil: Lage und Richtung des Fehlers sind gut erkennbar.
- Schnelles Verfahren – ideal für Serien- und Großserienprüfung großer Prüfflächen.
- Flächig anwendbar
- Einfache Handhabung und geringe Anforderungen an die Oberflächenvorbereitung.
- Flexibel einsetzbar: stationär und mobil (Fertigung, Instandhaltung, Baustelle).
- Für nahezu alle zugänglichen Bauteilgeometrien und ferromagnetische Werkstoffe geeignet.
- Investitionsbedarf für die mobile Prüfung gering. <1000€



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Grenzen des System

- Nur ferromagnetische Werkstoff können geprüft werden.
- Für aussagekräftige Prüfung werden ausgebildete Prüfpersonen benötigt.
- Anzeigen sind qualitativer Natur. Es kann keine Aussage darüber getroffen werden, welche Art der Materialstörung vorliegt, noch über die Struktur in der Tiefe.
- Materialstörung können nur auf der Oberfläche und knapp darunter zuverlässig detektiert werden.
- Oberfläche muss zugänglich und sauber sein; Lacke, Verschmutzungen oder raue Oberflächen mindern die Empfindlichkeit. Lacke sind aber zum Teil nötig.
- Möglicher Restmagnetismus kann störend bei Folgeaufgaben sein. Entmagnetisierung kann nötig sein.
- Anzeige sind richtungsabhängig, es besteht zusätzliche Möglichkeit Defekte zu übersehen.
- Hauptsächlich analoges Verfahren. Manuelle Ausführung und Dokumentation. Ausnahmen in der stationären Prüfung, sind z.T. Automatisierung und Digitalisierung aktuell möglich.
- Anwendung von technisch-chemischen Produkten. Sicherheitsdatenblätter, Entsorgung, PSA.



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Fazit & Diskussion

Die Magnetpulverprüfung ist ein bewährtes, schnelles und wirtschaftliches Oberflächenprüfverfahren für ferromagnetische Bauteile. Sie erkennt oberflächenoffene und oberflächennahe Fehlstellen zuverlässig, vorausgesetzt, Werkstoff, Magnetisierung und Betrachtungsbedingungen sind richtig gewählt. Ihre Grenzen liegen in der Beschränkung auf ferromagnetische Werkstoffe und in der qualitativen Aussage der Anzeigen.

Zur Diskussion:

- Sichtbare oder fluoreszierende Prüfmittel – was passt zu Ihren Prüfbedingungen?
Sichtbarkeit nur bei genormten Bedingungen möglich?
- Wie hoch darf die Schichtdicke bei der MT Prüfung sein.
Bericht: „Die Anwendung von ZFP-Methoden im Spannungsfeld der Normforderungen.“
Normempfehlung ~50µm Schichtdicke hat kein Einfluss, darüber muss auf Eignung kontrolliert werden.
Bericht: z.T. noch bis 300µm Schichtdicke feine Anzeigen möglich
- Wie lassen sich Prüfsicherheit und Wirtschaftlichkeit in Ihrem Prozess am besten verbinden?



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Oberflächenprüfverfahren

Das MT Verfahren lässt sich nach verschiedenen Parameter unterscheiden

Parameter	Varianten
Magnetfeld	AC · DC
Magnetisierung	Magnetfeldinduziert · Strominduziert
Anlage	Stationär · Mobil
Prüfmittel	Sichtbar (Tageslicht) · Fluoreszierend (UV-Licht)
Magnetisierbarkeit	Ferromagnetisch Ja · Nein
Beispiele	



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Beispiele



Bremsscheibe geprüft:

Herausforderungen:

- Sehr kleine Kontaktflächen
- Magnetisierung Strominduziert i.O.
- Magnetfeldinduzierung geeignet?

Lösung:

- Kupferkissen für einen besseren Kontakt
- Pie Gauge und Feldstärkenmessgerät zu Verifizierung der ausreichenden Magnetisierung hinzugezogen.
- Alle Richtungen waren detektierbar.



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Beispiele



Kettenprüfung

Herausforderungen:

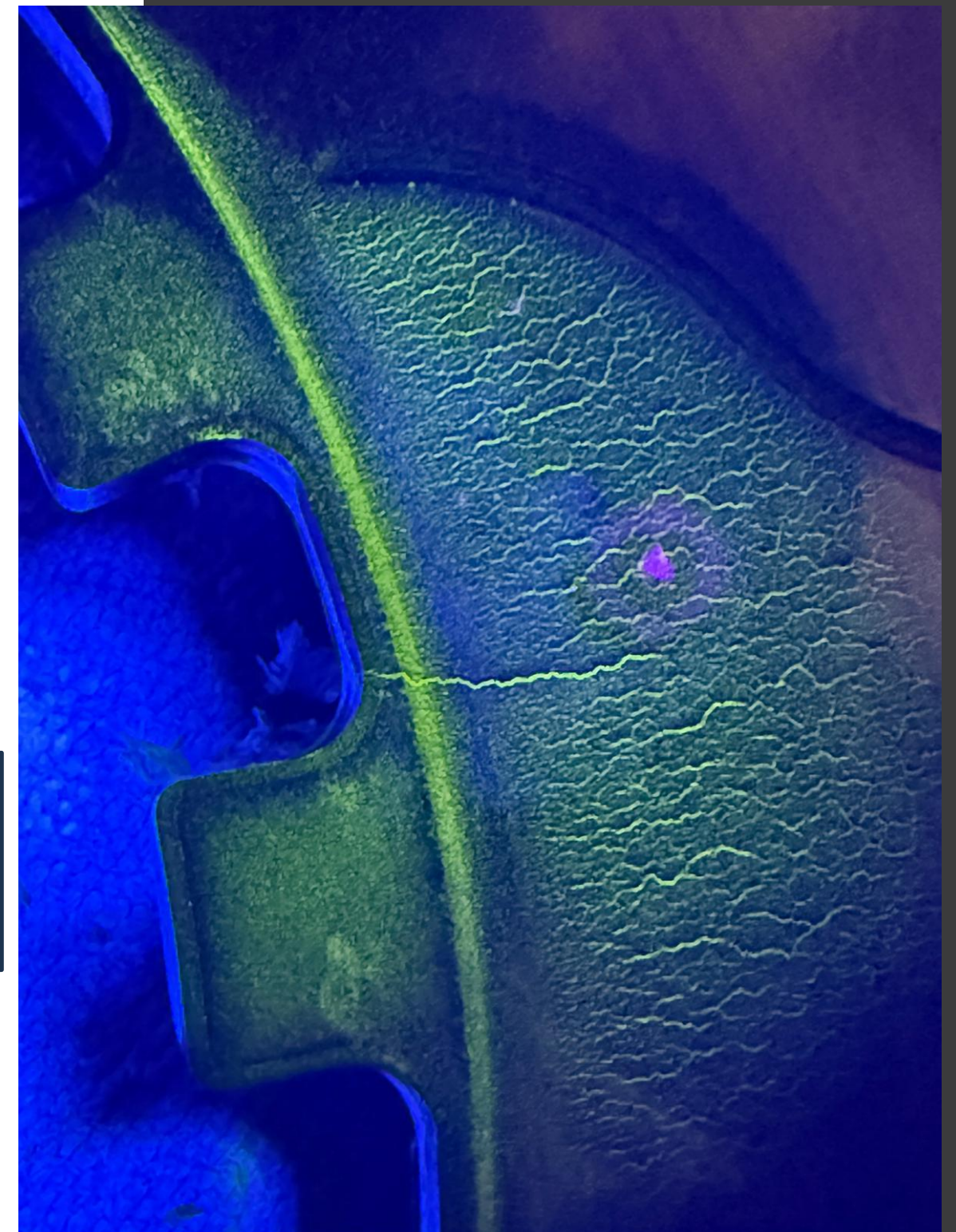
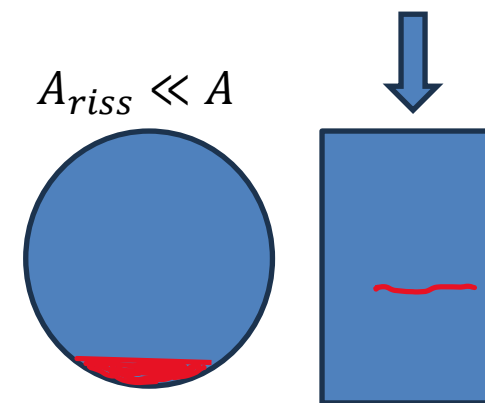
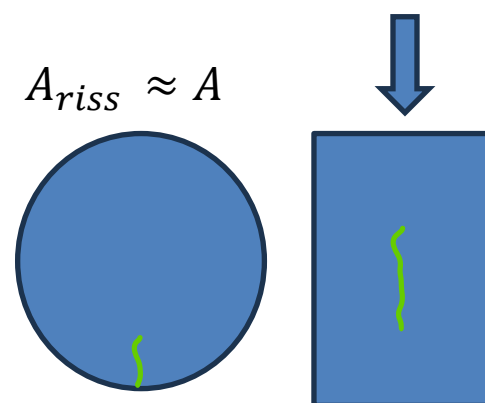
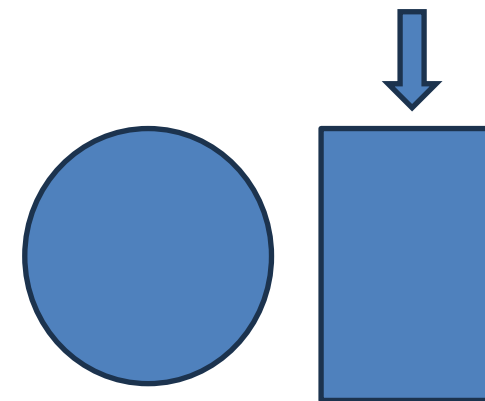
- Rissfreiheit der Schweißung einzelner Kettenglieder feststellen
- Nur ein Richtung vertretbar möglich

Lösung:

- Akzeptiertes Verfahren

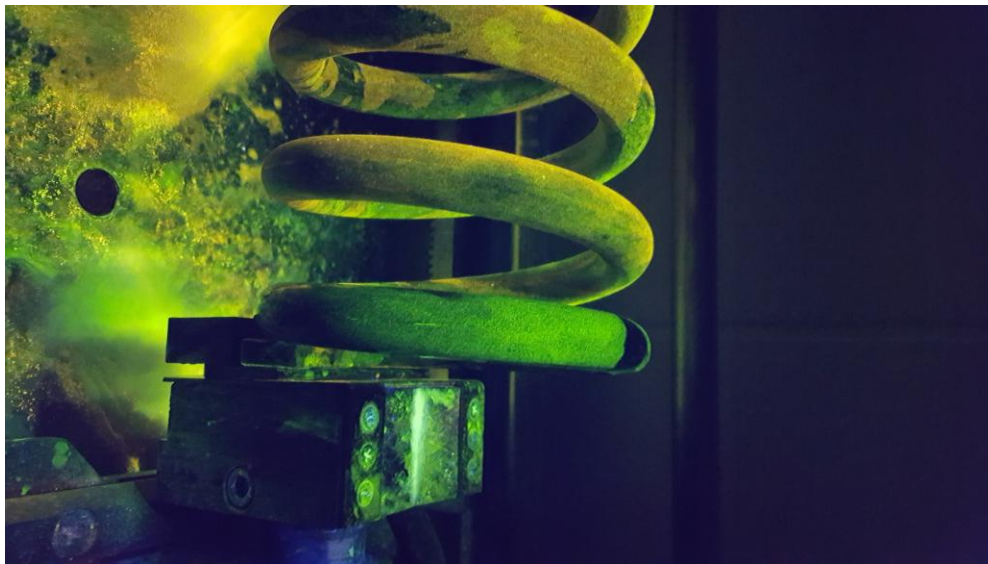
Spannung im Bauteil

$$\sigma = \frac{F}{A}$$



2. Magnetpulverprüfung (MT)

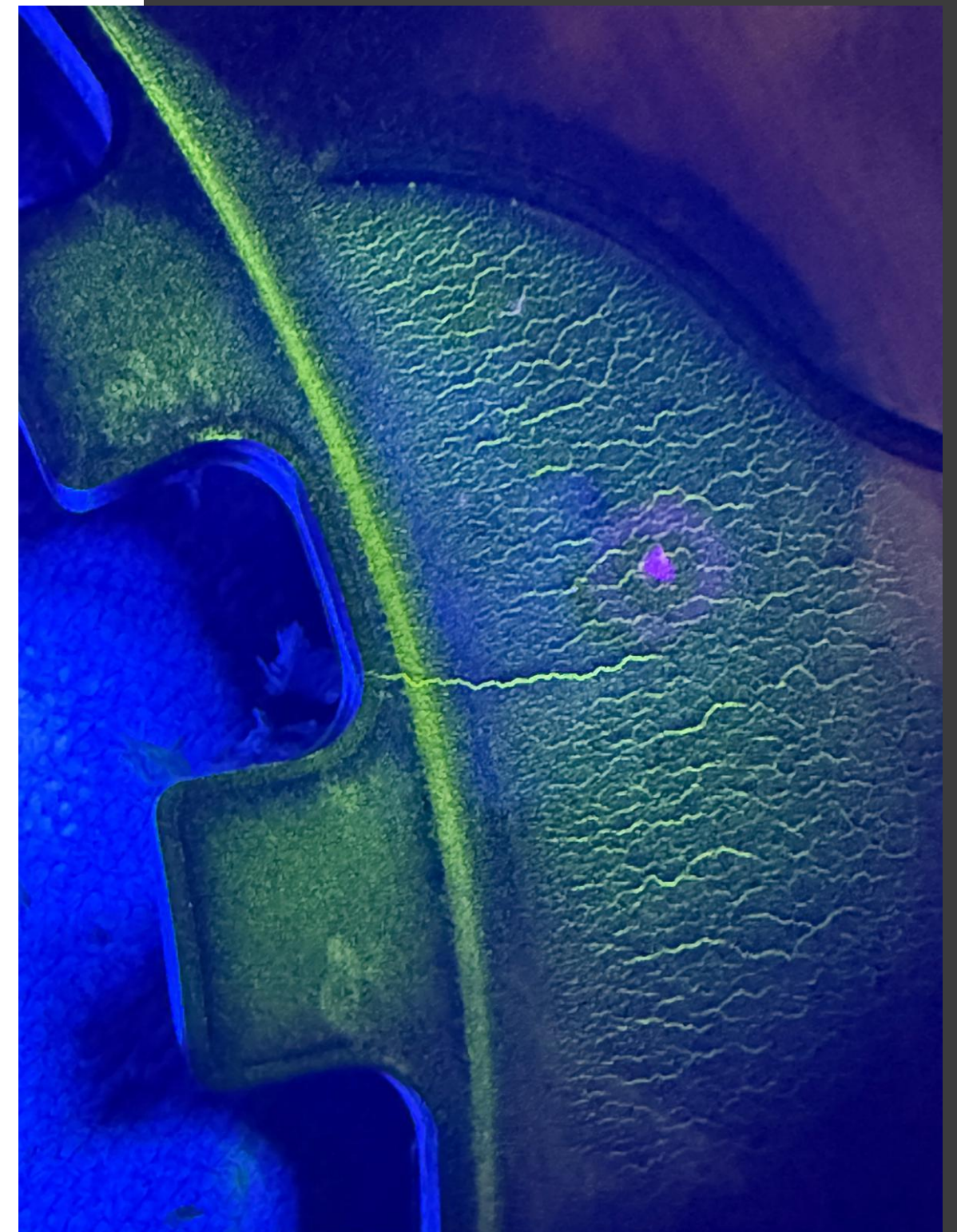
Beispiele



Federprüfung
Herausforderungen:
- Sehr raue Oberfläche

Lösung:
- Hintergrund variiert

Um den Kontrast zu verbessern, wurde der Sedimentanteil verringert und unterschiedliche Farben verwendet.



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Beispiele



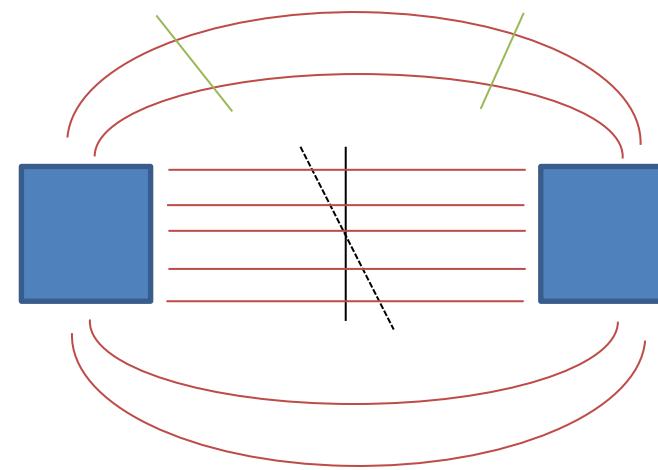
Kehlnahtprüfung

Herausforderungen:

- Beschränkte Zugänglichkeit

Lösung:

- Ausnutzung, dass das Magnetfeld auch im Bogen verläuft. Wichtig ausreichende Magnetisierung nachweisen.



2. Magnetpulverprüfung (MT)

Beispiele



Rohrrinnenprüfung
Herausforderungen:
- Faradayischer Käfig

Lösung:
- Durchgesteckter zentraler Leiter

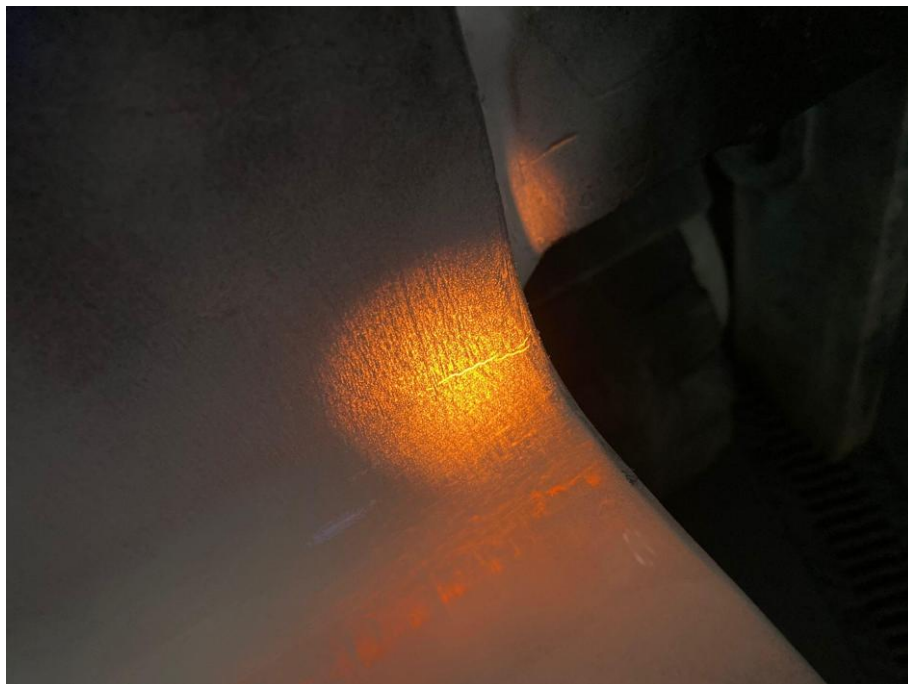
Nach DIN EN ISO 9934-1
Abschnitt 8.3.3.1*



*Allgemeiner Hinweis: Die DIN EN ISO 9934-1 enthält unter 8.3 mehrere allgemeine Magnetisierungstechniken mit Hinweisen und unter Anhang A die dazu passenden Berechnungen der Tangentialfeldstärken

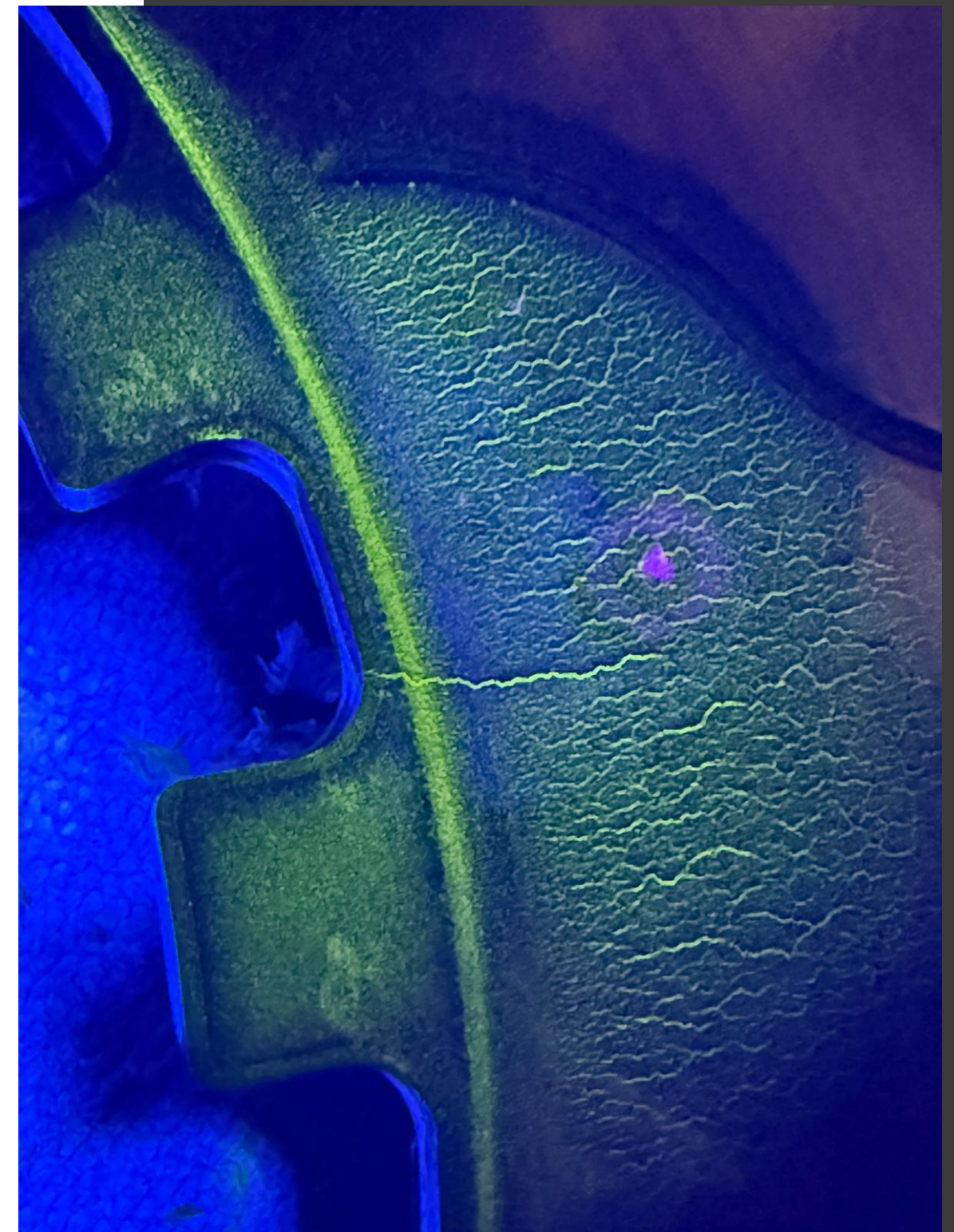
2. Magnetpulverprüfung (MT)

Beispiele: Tageslicht und fluoreszierend Kombimittel



Kombiprüfmittel:

Wenn die Bedingungen der Umgebungen schwanken, können auch spezielle Kombiprüfmittel verwendet werden, die unter beiden Betrachtungsbedingungen der DIN EN ISO 3059 funktionieren.



VIELEN DANK!

Roman Dörn

New Business Development

-  +49 2303 / 95151-42
-  doern@mr-chemie.de
-  www.mr-chemie.de
-  www.linktr.ee/mrchemie



Quellen

- Schiebold, K.: Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung – Magnetpulverprüfung. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 2015.
- Heck, G.; Greimel, F.: ZfP im Spannungsfeld der Normen – Magnetpulverprüfung / Schichtdicke.
- DIN EN ISO 9934: Zerstörungsfreie Prüfung – Magnetpulverprüfung.

