

# Automatische Überwachung der Anzeigefähigkeit des Magnetpulver-Prüfmittels mit FLUXA-CONTROL

V. SCHUSTER, F. BARTHOLOMAI, P. MÜLLER, W. A. K. DEUTSCH,  
KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau, Wuppertal

## 1 Einführung

Die Magnetpulver-Rissprüfung (MT) ist das empfindlichste Verfahren zum Nachweis von Oberflächenrissen in ferromagnetischem Material ([1], [2]). Diese Prüfung kann sowohl mit mobilen Geräten als auch mit einer stationären Prüfbank durchgeführt werden [3]. Wird das Bauteil magnetisiert, dann entsteht über dem Riss ein sogenannter Streufluss mit Nord- und Südpol an den Rissflanken. Zur Anzeige von Rissen werden kleine, staubkorngroße ferromagnetische Teilchen genutzt, die von diesem Streufluss angezogen und festgehalten werden. Die ferromagnetischen Teilchen sind ein Eisenoxidpulver, welches meistens mit einer hell fluoreszierenden Farbe versehen ist. Für mobile Prüfaufgaben ist das Eisenoxidpulver hauptsächlich in einer Sprühflasche in einer Flüssigkeit als Suspension (z.B. Öl) aufgeschwemmt. Dieses Prüfmittel kommt nur einmal zum Einsatz und wird nicht wieder verwendet. Daher ist für diese Art der Prüfmittelanwendung eine Langzeitstabilität nicht relevant. Bei den stationären Prüfbänken befindet sich das Prüfmittel jedoch in einem geschlossenen Kreislauf und wird oft viele Stunden bis Tage immer wieder zur Prüfung benutzt. Hauptsächlich aus Sicherheitsgründen wird in stationären Anlagen als Trägermittel vornehmlich Wasser verwendet. Die Anzeigeeigenschaften dieser Suspension (Wasser mit Eisenoxidpulver) verschlechtern sich mit der Einsatzdauer und müssen daher in regelmäßigen Abständen überprüft werden.

Aufgrund des besseren Kontrastes werden fast ausschließlich fluoreszierende Magnetpulver-Prüfmittel verwendet. Oberflächen-Rissanzeigen zeigen unter UV-Licht einen hohen Kontrast aufgrund der leuchtenden Anzeige in abgedunkelter Umgebung. Tageslicht-Prüfmittel kommen nur dann zum Einsatz, wenn die Möglichkeit zur Verdunkelung des Prüffeldes nicht gegeben ist (z.B. auf einer Baustelle im Sonnenlicht). Daher ist die Überwachung der Anzeigefähigkeit von fluoreszierenden Prüfmitteln wichtiger als die von Tageslicht-Prüfmitteln.

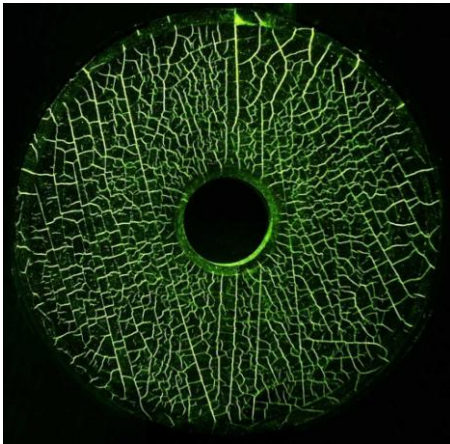
## 2 Konventionelle Prüfmittelüberwachung

Es gibt drei Mechanismen, die zur Verringerung der Anzeigeempfindlichkeit des Prüfmittels in stationären Anlagen führen:

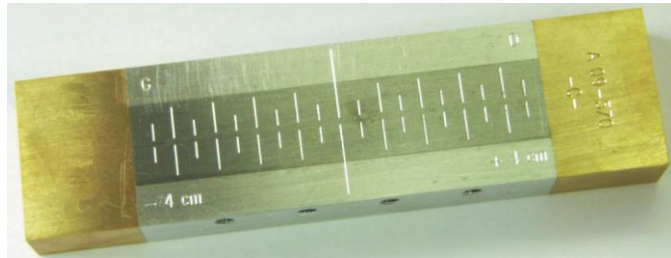
1. Austrag: Es bleibt immer etwas Magnetpulver an den Bauteilen hängen, so dass die Konzentration des Eisenoxidpulvers im Prüfmittel abnimmt.
2. Verschmutzung: eingetragener Dreck, Zunder und Öl verunreinigen das Prüfmittel.

3. Trennung: Durch die mechanische Belastung des Rührwerks trennen sich die Eisenoxid-Teilchen wieder von der fluoreszierenden Farbe. Die Eisenoxid-Teilchen werden dann zwar noch vom Streufluss am Riss angezogen, aufgrund der fehlenden fluoreszierenden Farbe ergibt sich jedoch keine Anzeige mehr.

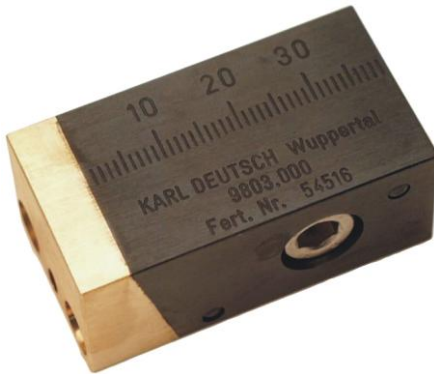
Alle diese drei Einflüsse verringern die Anzeigefähigkeit fluoreszierender Prüfmittel. Daher gibt es unterschiedliche Testkörper, mit denen die Anzeigempfindlichkeit dieser Prüfmittel kontrolliert werden kann (s. Bild 1 bis Bild 4). Zwei dieser Testkörper (s. Bild 1 und Bild 2) werden in der Norm DIN EN ISO 9934-2 (2003) [4] beschrieben und das ist auch die erste Norm in Europa, die derartige Testkörper benennt. In der Norm werden diese Testkörper als „Vergleichskörper 1“ und „Vergleichskörper 2“ bezeichnet. Diese Bezeichnung deutet bereits darauf hin, wie diese Vergleichskörper verwendet werden: Es handelt sich um eine vergleichende Kontrolle.



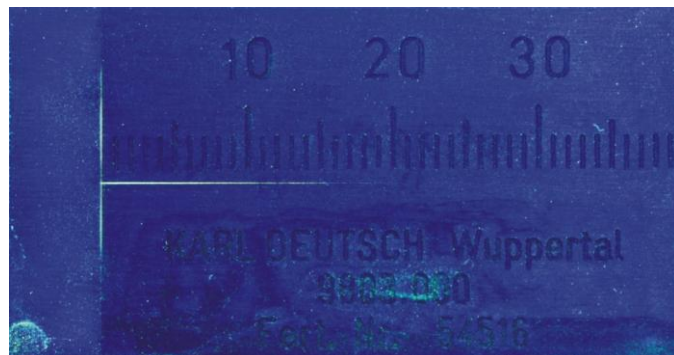
**Bild 1:** Vergleichskörper 1 (gem. DIN EN ISO 9934-2 [4]) (früher MTU Testkörper)



**Bild 2:** Vergleichskörper 2 (gem. DIN EN ISO 9934-2 [4])



**Bild 3:** FLUXA-Testkörper



**Bild 4:** Anzeige am FLUXA-Testkörper unter UV-Licht

Die Vergleichskörper (und auch der FLUXA-Testkörper) werden zunächst mit dem frisch angesetzten Prüfmittel gespült und das Rissmuster bzw. die Anzeigenlänge (s. Bild 4) registriert. In zuvor festgelegten Zeitintervallen wird diese Messung wiederholt und das Ergebnis mit dem ersten Rissmuster verglichen. Deutliche Abweichungen deuten darauf hin, dass die Anzeigempfindlichkeit des Prüfmittels nachlässt und bald gewechselt werden muss. Welche Abweichungen noch zulässig sind, muss zuvor in einer Prüfanweisung festgelegt werden. Da das Rissmuster des Vergleichskörpers 1 durch eine Wärmebehandlung erzeugt wird, ist dieses Muster für jeden Vergleichskörper verschieden.

Aufgrund markanter Rissstrukturen lässt sich immer eine schwache Anzeige finden, deren Verschwinden bei einer Wiederholungsprüfung als Anhaltspunkt für das Auswechseln des Prüfmittels genommen werden kann. Bei der Verwendung des Vergleichskörpers 2 wird die Anzeigenlänge von einem künstlichen Riss als Bewertungsmaßstab für die Anzeigeempfindlichkeit des Prüfmittels herangezogen.

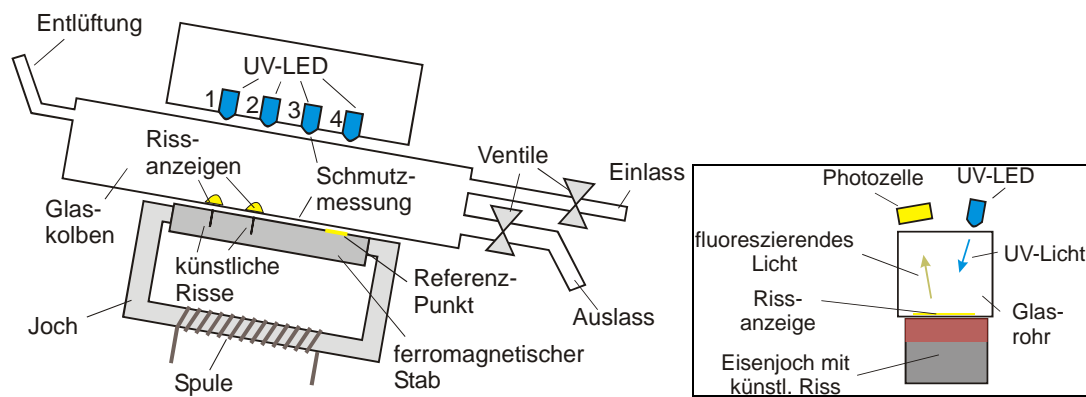
Der Einsatz der Vergleichskörper 1 und 2 bzw. FLUXA-Testkörper ist bei der stationären Magnetpulver-Rissprüfung üblich. Dieses Verfahren hat aber auch gewisse Nachteile:

- Die Bewertung, ob ein Riss noch sichtbar ist oder nicht (Vergleichskörper 1) oder die Ablesegenauigkeit der Anzeigenlänge (Vergleichskörper 2, FLUXA-Testkörper) hängt von der subjektiven Bewertung der Person ab, die die Vergleichsmessung durchführt. Daher sollten alle Wiederholungsmessungen stets von der gleichen Person durchgeführt werden.
- Für die Vergleichsmessungen müssen immer die gleichen Vergleichskörper verwendet werden. Für den Vergleichskörper 1 ist dies offensichtlich, da jeder eine andere Rissstruktur aufweist. Aber auch die Anzeigenlänge am Vergleichskörper 2 ist von Körper zu Körper verschieden.
- Die Vergleichskörper müssen nach jeder Messung ordnungsgemäß gereinigt werden (z.B. Ultraschallbad).
- Die Betrachtungsbedingungen müssen konstant gehalten werden. Hierzu zählen besonders die UV-Bestrahlung und der Tageslichtanteil. Der Tageslichtanteil kann sich schon bei einem Wetterwechsel ändern.
- Die messende Person kann den markanten Riss oder die Anzeigenlänge vergessen, wenn sie die ursprüngliche Messung nicht ordnungsgemäß dokumentiert hat.

Anhand dieser Punkte ist zu erkennen, dass die Vergleichsmessung subjektiv ist, so dass eine präzisere und objektivere Messung gefordert ist. Aus diesem Grund wurde ein Gerät entwickelt (genannt FLUXA-CONTROL) mit dem die Anzeigefähigkeit von fluoreszierenden Prüfmitteln automatisch kontrolliert werden kann.

### **3 Prinzip der automatischen Überwachung mit „FLUXA-CONTROL“**

Die hauptsächliche Idee zur Bewertung der Anzeigefähigkeit von fluoreszierenden Prüfmitteln ist die Messung der Intensität fluoreszierender Anzeigen von zwei Rissen, die in einem ferromagnetischen Stab künstlich und leicht reproduzierbar eingebracht sind. Das magnetische Feld, das von einer Spule erzeugt wird, wird über ein Joch an die künstlichen Risse herangeführt (s. Bild 5). Der Streufluss durchdringt die Glasrohrwandung und während das Glas mit Prüfmittel gefüllt wird, werden Eisenoxid-Teilchen am Streufluss über den Rissen festgehalten. Nachdem das Prüfmittel unter eingeschaltetem Magnetfeld wieder abgeflossen ist, werden die Rissanzeigen innerhalb der Glasröhre mit ultraviolettem Licht beleuchtet. Die fluoreszierenden Rissanzeigen werden von Fotozellen registriert.



**Bild 5:** Aufbau der automatischen Überwachung fluoreszierender Prüfmittel.

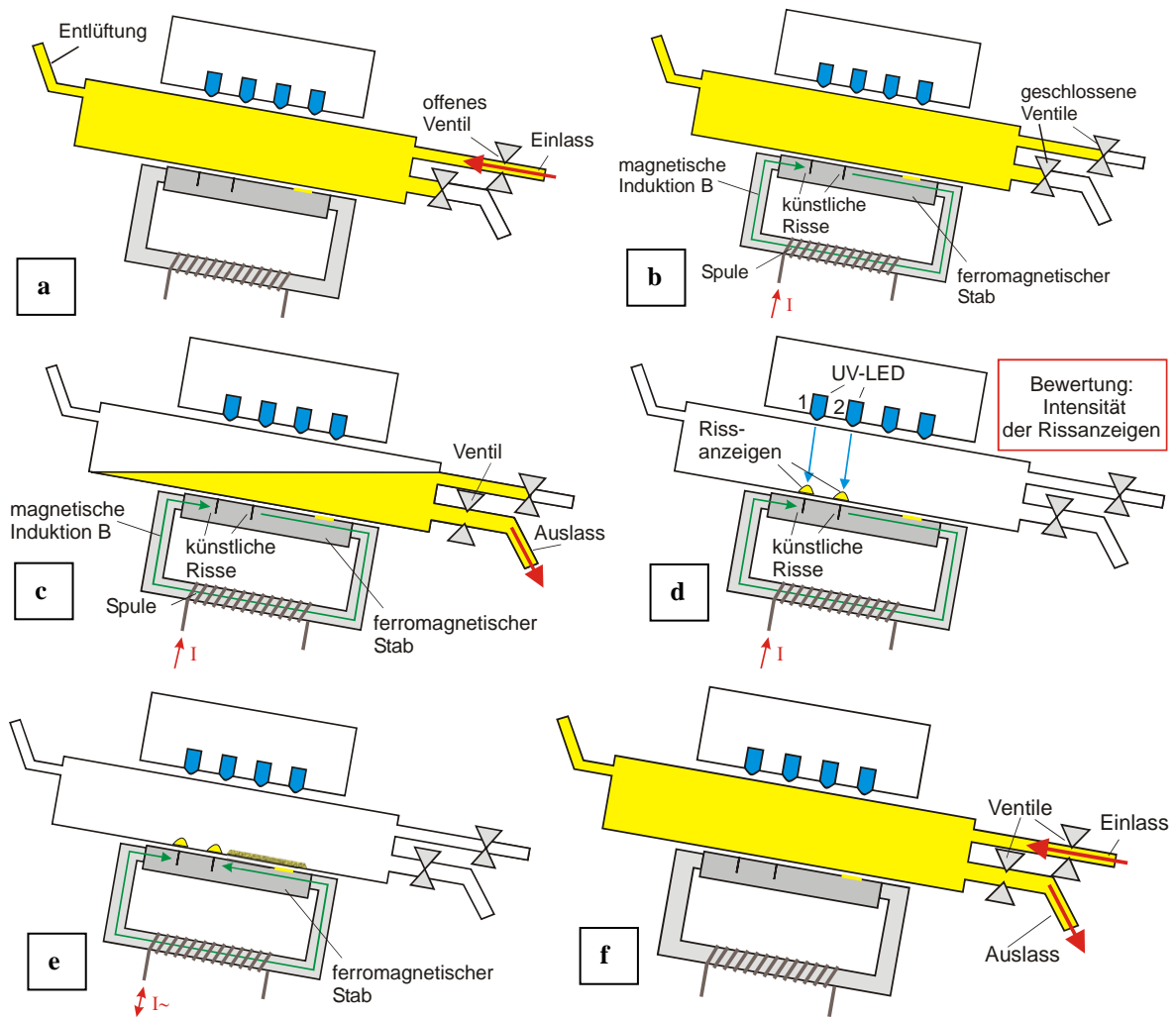
Hierbei misst jeweils eine Fotozelle die Intensität einer Rissanzeige über einem der künstlichen Risse. Der gemessene Intensitätswert ist somit ein Maß für die Anzeigempfindlichkeit des Prüfmittels.

Die Glasröhre besteht aus einem besonderen Material das die folgenden Aufgaben erfüllt:

- Durchsichtig für ultraviolettes und sichtbares (fluoreszierendes) Licht.
- Minimale Verschmutzungsneigung für Magnetpulver an der Innenwandung. Nach jedem Durchgang muss sich das gesamte Magnetpulver durch Spülen des Glasrohres wieder entfernen lassen, so dass die Messung nicht durch Ablagerungen an der Innenwand gestört wird.

Der Messprozess wird mit einer elektronischen Schaltung gesteuert. Ein Messzyklus besteht aus den folgenden Schritten:

- Befüllung der Glasröhre mit Prüfmittel über den Einlass (s. Bild 6a).
- Magnetisierung des ferromagnetischen Stabes (mit den künstlichen Rissen) mit Hilfe von Spule und Joch (s. Bild 6b).
- Entleeren des Glasrohres bei eingeschalteter Magnetisierung über den Auslass (s. Bild 6c).
- Bewertung der Rissanzeigen und des Verschmutzungsgrades (s. Bild 6d).
- Entmagnetisierung des ferromagnetischen Stabes (s. Bild 6e).
- Spülung des Glasrohres mit dem Prüfmittel zur Entfernung der Rissanzeigen (s. Bild 6f).



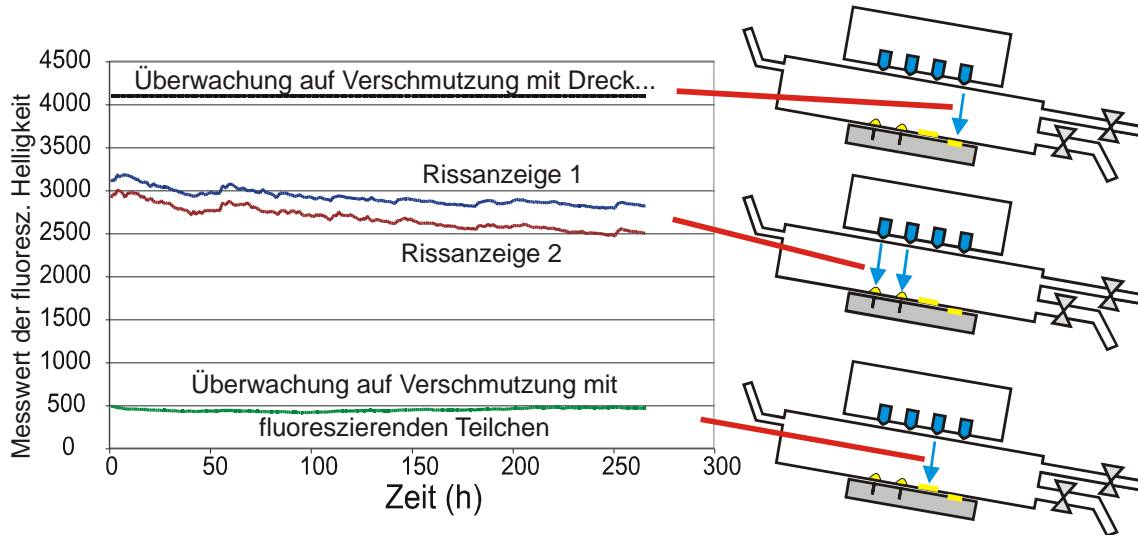
**Bild 6:** Prinzipieller Ablauf einer Vergleichsmessung mit FLUXA-CONTROL.

#### 4 Kontrollmechanismen

Die Bewertung der Anzeigeempfindlichkeit des Prüfmittels wird mit Hilfe der UV-LEDs 1 und 2 sowie der zugehörigen Fotozellen (s. Bild 5 und Bild 7) durchgeführt. Das Paar UV-LED und Fotozelle wird im weiteren Text als „Kanal“ bezeichnet. Zusätzlich verfügt die Überwachungseinheit aber auch noch über zwei Kanäle mit unterschiedlichen Kontrollmechanismen, mit denen die Verschmutzung des Glasrohres überwacht wird:

1. Verschmutzung des Innenrohres mit Prüfmittel. Es kann sein, dass sich bei wiederholten Messungen immer mehr Prüfmittel an der Innenwandung des Rohres absetzt und selbst bei dem Spülvorgang nicht mehr entfernt werden kann. Dies führt zu einer überhöhten Hintergrundfluoreszenz welche im Kanal 3 (s. Bild 5) gemessen werden kann. Hier werden im störungsfreien Betrieb kleine Helligkeitswerte gemessen (s. Bild 7). Wird ein zuvor festgelegter Wert überschritten, dann gibt die Elektronik eine Warnung aus. Dieses Signal kann auch genutzt werden um die Prüfbank und somit den Prüfprozess zu stoppen.
2. Verschmutzung des Innenrohres mit Dreck, Öl, Zunder usw. Wie bereits erwähnt, kann das Prüfmittel durch diversen Medien verschmutzt werden. Diese Verschmutzung kann sich auch auf der Innenseite des Rohres absetzen. Diese Art der Verschmutzung

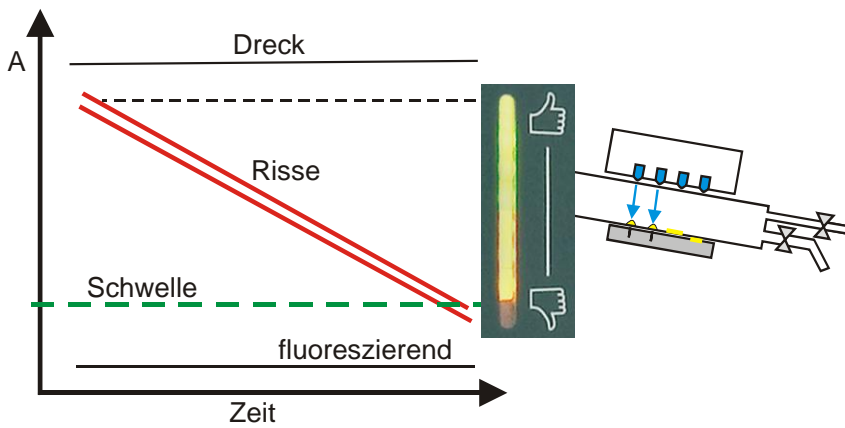
fluoresziert nicht, so dass ein Nachweis im Kanal 3 nicht möglich ist. Zu diesem Zweck wurde eine weitere Kanal 4 (s. Bild 5) eingesetzt, in dem ein permanent fluoreszierender Fleck auf dem ferromagnetischen Stab von der UV-LED bestrahlt und die Fluoreszenzintensität von der Fozozelle gemessen wird. Es wird daher ein hoher Messwert erwartet (s. Bild 7). Erst wenn dieser Messwert eine festgesetzte Schwelle unterschreitet ist die Verschmutzung durch Fremdpartikel zu groß und es wird eine Warnmeldung ausgegeben bzw. der Prüfprozess wird unterbrochen (wie Kanal 3).



**Bild 7:** Messwerte in den vier Kanälen (UV-LEDs und Fozozellen).

Die Messwerte der Rissanzeigen (Kanal 1 und 2) nehmen somit Werte zwischen denen aus Kanal 3 und Kanal 4 (Schmutzwerte) an (s. Bild 7). Nun stellt sich die Frage nach einer geeigneten Schwelle für diese Rissanzeigen. Hierzu wurden Vergleichsmessungen mit den Vergleichskörpern 1 und 2 durchgeführt. Es hat sich gezeigt: Wenn eine sichtbare Veränderung an den Vergleichskörpern zwischen einem frischen und einen gebrauchten Ansatz zu erkennen ist, haben die gemessenen Helligkeitswerte in den Kanälen 1 und 2 immer den gleichen konstanten Wert erreicht. Hieraus lassen sich leicht die Warn- und Abschaltschwellwerte herleiten. Mit einer Kalibrierung an einem frischen Ansatz wird noch der Helligkeitswert für den „Gut-Zustand“ ermittelt, so dass die Qualität (Anzeigeempfindlichkeit) des Prüfmittels von „gut“ über „ausreichend“ nach „ungenügend“ bewertet werden kann. An der Kontrolleinheit wird diese Anzeigeempfindlichkeit mit Hilfe eines LED-Arrays mit unterschiedlichen Farben sichtbar gemacht (s. Bild 8). Hierbei bedeuten:

- Grüner Bereich: die Anzeigeempfindlichkeit ist optimal.
- Gelber Bereich: die Anzeigeempfindlichkeit ist noch ausreichend, das Prüfmittel muss aber bald gewechselt bzw. nachkonzentriert werden.
- Roter Bereich: die Anzeigeempfindlichkeit ist ungenügend und das Prüfmittel muss gewechselt werden.

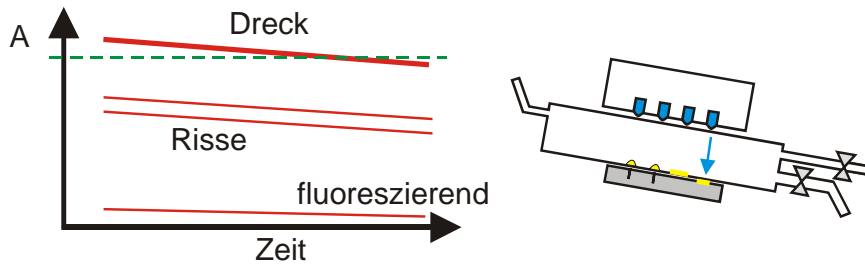


**Bild 8:** Schwelle und Anzeigempfindlichkeit des Prüfmittels.

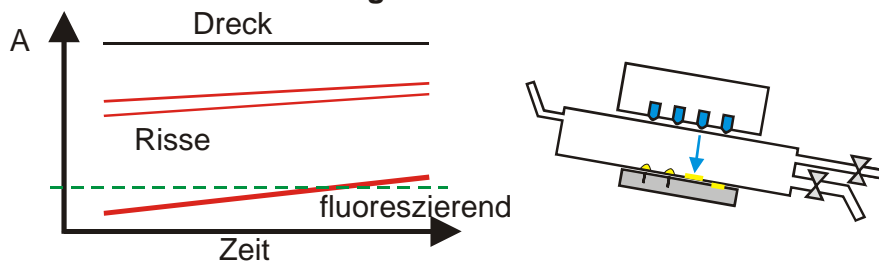
Die Verschmutzung des Innenrohres beeinflusst das Ergebnis der Empfindlichkeitsmessung in den Kanälen 1 und 2. Durch die von außen eingetragene Verschmutzung mit Rost, Zunder usw. sinken auch die Helligkeitswerte in den Kanälen 1 und 2 und somit die Anzeigempfindlichkeit des Prüfmittels (s. Bild 9, oben). Bleibt zu viel an der Innenrohrwandung haften, ist eine ordnungsgemäße Qualitätsbewertung des Prüfmittels nicht mehr möglich und das Glasrohr muss mechanisch gereinigt werden.

Der Einfluss durch die Verschmutzung mit fluoreszierenden Partikeln ist noch gravierender. Hierdurch werden auch die Helligkeitswerte in den Kanälen 1 und 2 angehoben (s. Bild 9, unten), so dass die Empfindlichkeit zu steigen scheint. Daher muss die Bewertungsschwelle im Kanal 3 möglichst niedrig angesetzt werden und wenn das Glasrohr langsam mit fluoreszierenden Partikeln dauerhaft verschmutzt wird, muss die Prüfbank angehalten und das Glasrohr zunächst gereinigt werden.

#### Verschmutzung mit Dreck,...



#### Verschmutzung mit fluoreszierenden Teilchen



**Bild 9:** Schwellen und Einfluss von Verschmutzungen auf die Empfindlichkeitsmessung.

## 5 Vorgehensweise

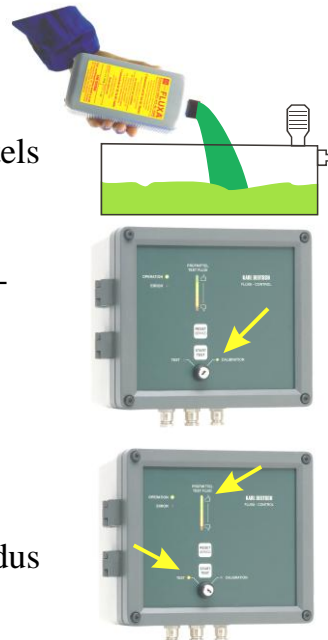
Wie bereits erwähnt, handelt es sich auch bei FLUXA-CONTROL um eine vergleichende Messung, so wie diese auch mit Hilfe der Vergleichskörper durchgeführt wird. Die Kalibrierung des Gerätes geschieht daher mit einem frischen Prüfmittelansatz. Werden die

Vorschriften (Prüfvorschrift, Gebrauchsanleitung,...) eingehalten, kann angenommen werden, dass die Anzeigeempfindlichkeit des frischen Ansatzes den Anforderungen entspricht. Zur Kalibrierung dient ein Schlüsselschalter, der die Elektronik in den Kalibriermodus versetzt. Eine LED zeigt an, wie lange die Kalibriermessungen (Messung der Rissanzeigen mit dem frischen Ansatz) andauern. Sind die Kalibriermessungen abgeschlossen, dann kann der Schlüsselschalter wieder in den Messmodus gebracht werden und die Kontrollmessungen im laufenden Prüfungsbetrieb beginnen automatisch.

Im Prüfungsbetrieb beschränkt sich die Kontrolleinheit des FLUXA CONTROL auf wenig Informationsangaben und Bedienelemente. Neben der Anzeige über die Anzeigeempfindlichkeit des Prüfmittels, zeigen noch zwei Leuchtdioden den Betriebs- und den Fehlerzustand an (s. Bild 11). Ein Fehler liegt vor, wenn eine der Schwellen für die Verschmutzung über- bzw. unterschritten wurde. Dies bedeutet, dass das Glasrohr gereinigt werden muss. Der Reset-Knopf (s. Bild 11) muss betätigt werden, wenn das Glasrohr nach erfolgter Reinigung wieder eingesetzt wurde. Eine Alarmmeldung wird ausgegeben, wenn die minimale Anzeigeempfindlichkeit des Prüfmittels unterschritten wird. In diesem Fall brennt die untere rote LED der Bargraphanzeige sowie die ERROR-LED ständig.

### Vorgehen

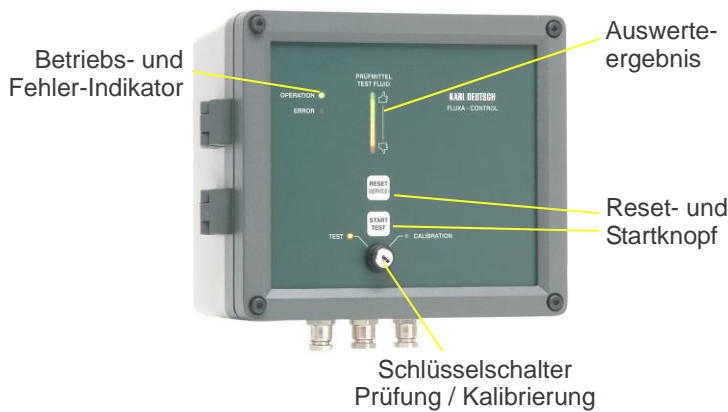
- Frischer Ansatz des Prüfmittels
- Umschalten in den Kalibrier-Modus; Kalibrierung wird durchgeführt (ca. 3 min)
- Umschalten in den Prüf-Modus



**Bild 10:** Kalibrierung von FLUXA-CONTROL.

Arbeitet eine Firma nur im Ein- oder Zweischichtbetrieb, dann bleibt die Prüfbank einige Stunden ausgeschaltet und das Prüfmittel setzt sich am Boden des Prüfmittelbehälters ab. Nachdem die Prüfbank wieder in Betrieb genommen wurde, erfüllt die Pumpe im Prüfmittelbehälter die Aufgabe das abgesetzte Prüfmittel wieder in Schwebelage zu bringen. Während dieser Zeit würde die Kontrolleinheit FLUXA-CONTROL eine zu geringe Anzeigeempfindlichkeit messen und die Prüfbank abschalten. Da dies nicht erwünscht ist, kann die Auswerteelektronik der Kontrolleinheit mit dem Start-Knopf (s. Bild 11) zeitverzögert eingeschaltet werden.

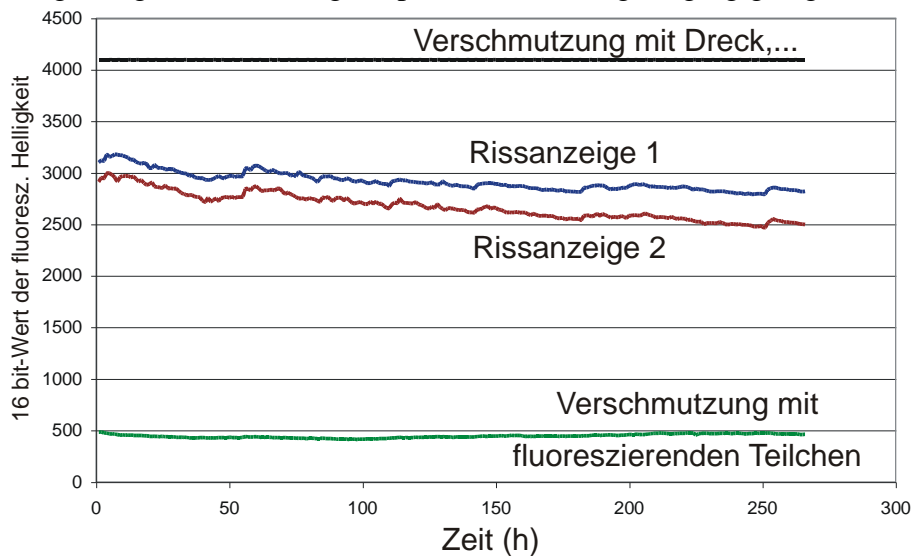




**Bild 11:** Bedienelemente: FLUXA-CONTROL

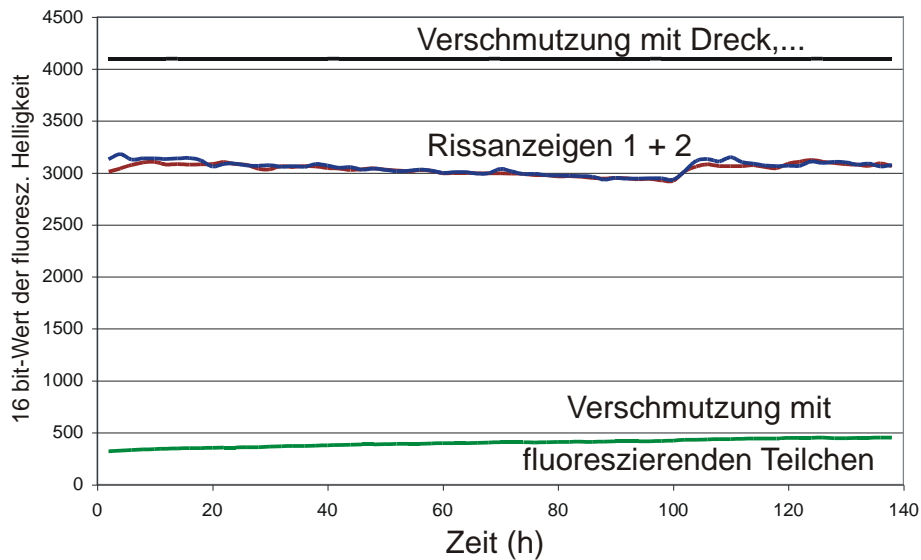
## 6 Ergebnisse von Langzeitmessungen

Um die Arbeitsweise von FLUXA-CONTROL zu überwachen, wurden zunächst Messwerte über einen längeren Zeitraum in einem geschlossenen Prüfmittelkreislauf aufgezeichnet. Hierbei kamen unterschiedliche fluoreszierende Prüfmittel zum Einsatz. Die Ergebnisse sind höchst zufriedenstellend. Bild 12 zeigt die Ergebnisse über einen Messzeitraum von ca. 270 Stunden. Innerhalb dieser Zeit blieb die Verschmutzung nahezu konstant gering, lediglich die Anzeigeempfindlichkeit hat geringfügig abgenommen.



**Bild 12:** Messergebnis mit sinkender Anzeigeempfindlichkeit.

Bild 13 zeigt Messergebnisse eines anderen Prüfmittels, die über einen Zeitraum von ca. 140 Stunden aufgezeichnet wurden. Bei diesem Versuch nahm die Verschmutzung mit fluoreszierendem Prüfmittel langsam zu, bis die Kontrolleinheit nach diesen 140 Stunden abschaltete. Diese beiden Versuche zeigen, dass die Verschmutzung des inneren Glasrohres mit Prüfmittel entweder nicht messbar ist (s. Bild 12) oder nur mit einer sehr geringen Rate erfolgt (s. Bild 13). Ein Reinigen des Glasrohres ist daher nur in größeren Zeiträumen notwendig. Dies hat auch ein Langzeitversuch gezeigt, bei dem das Gerät in einer renommierten Schmiede über ein Jahr getestet wurde und nun dort zum Dauereinsatz verbleibt (s. Bild 14).



**Bild 13:** Messergebnis mit zunehmender fluoreszierender Verschmutzung.

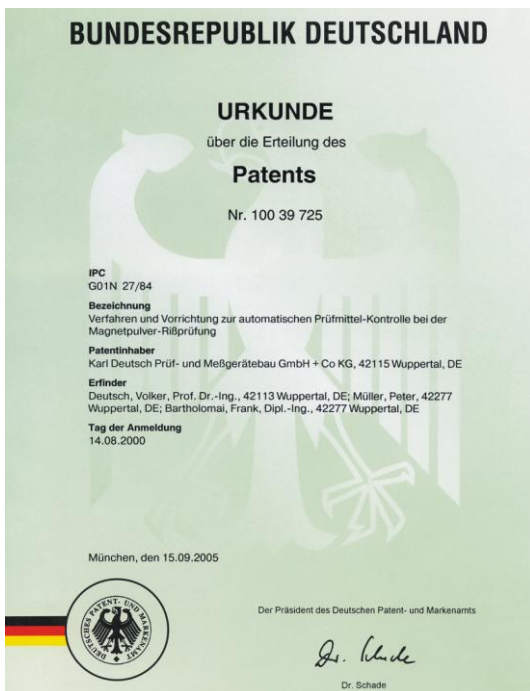


**Bild 14:** Langzeitversuch von FLUXA-CONTROL in einer bekannten Schmiede. Eine nachträgliche Installation an bereits bestehende Anlagen ist ebenfalls möglich.

## 7 Zusammenfassung

FLUXA-CONTROL basiert auf einem patentierten Verfahren zur automatischen Prüfmittel-Kontrolle [5] (s. Bild 15). Es ist ein Verfahren, das auf einer Vergleichsmessung zwischen einem Prüfmittel mit guter (frischer Ansatz) und einem mit reduzierter Anzeigefähigkeit (in Gebrauch befindliches) beruht. Damit beruht dieses Verfahren auf dem gleichen Prinzip wie die Vergleichsmessung mit den gängigen Vergleichskörpern gemäß der Norm DIN EN ISO 9934-2 [4]. Neben der automatischen Kontrolle des Prüfmittels bietet FLUXA-CONTROL sogar noch die Möglichkeit, die Abnahme der Qualität des Prüfmittels mit Hilfe der Bargraphanzeige zu beobachten. Es wird jedoch nicht nur die Abnahme, sondern auch eine Qualitätssteigerung angezeigt. Dies ist der Fall bei einer Nachkonzentration, so dass eine zu hohe bzw. zu geringe Konzentratbeigabe vermeidbar ist. Ein deutlicher Vorteil ist auch die objektive Bewertung, die bei einer manuellen Vergleichsmessung nicht möglich ist. Die subjektive Bewertung von Rissanzeigelängen durch das Prüfpersonal, variierende Betrachtungsbedingungen usw. sind Einflüsse bei der manuellen Vergleichsmessung, die bei einer automatischen Bewertung

nicht auftreten. Hinzu kommt noch, dass nahezu jede Prüfbank auch nachträglich mit diesem System FLUXA-CONTROL ausgestattet werden kann.



**Bild 15:** FLUXA-CONTROL-Patent.

## 8 Referenzen

- [1] V. Deutsch, M. Vogt, M. Platte, V. Schuster: ZfP Kompakt und Verständlich - Band 3: Die Magnetpulver-Rissprüfung, Castell Verlag, Wuppertal, 1999.
- [2] V. Deutsch, W. Morgner, M. Vogt: Magnetpulver-Rißprüfung - Grundlagen und Praxis, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1993
- [3] DIN EN ISO 9934-1: Zerstörungsfreie Prüfung - Magnetpulverprüfung - Teil 1: Allgemeine Grundlagen, Deutsches Institut für Normung, 2002.
- [4] DIN EN ISO 9934-2: Zerstörungsfreie Prüfung - Magnetpulverprüfung - Teil 2: Prüfmittel, Deutsches Institut für Normung, 2003.
- [5] Deutsches Patent Nr. 100 39 725, Verfahren und Vorrichtung zur automatischen Prüfmittel-Kontrolle bei der Magnetpulver-Rissprüfung, September 2005.