

Beschreibung des Prüfkonzeptes
für die Magnetpulverprüfung an den
Polbefestigungen für Generatoren
von Wasserkraftwerken

Prüfkonzept Rev. 4a

PWT Germany / Achim Baßmann
01.08.2016

Magnetpulver Prüfung der Polbefestigung

an den hoch belasteten Radien im Rotor und

an den noch belasteten Radien der Pole und Polendplatten

Mitgeltende Prüfanweisung MP37 Rev. 2 vom 20. Juli 2012

Bei der vorliegenden Rev. 4a wurden Bilder zum besseren Verständnis eingefügt und die Referenzliste aktualisiert.

PWT in Heidenheim hat in den vergangenen 5 Jahren in Zusammenarbeit mit Voith Hydro Heidenheim und der MPA in Stuttgart weltweit über 80 Generatoren, an der Polbefestigung, geprüft. Die Notwendigkeit dieser Prüfung spiegelt sich in den Ergebnissen wieder.

Erfahrungen aus allen diesen Prüfungen haben das vorliegende Prüfkonzept in der Revision 4 ergeben. In dieser Revision 4 werden Einschränkungen der Prüfung bezogen auf die Polbefestigung beschrieben, die in den bisherigen Konzepten nicht so deutlich hervorgehoben wurden.

1. Beschreibung des Prüfkonzeptes	Seite	2
2. Beschreibung der Prüfbereiche	Seite	6
3. mögliche Einschränkungen	Seite	10
4. Ergebnis	Seite	13
5. Grundsätzliche Informationen	Seite	16
6. Prüfanweisung MP37 Rev. 2	Seite	21
7. Referenzliste	Seite	23

1. Beschreibung des Prüfkonzeptes

Die MT Prüfung ist ein Verfahren, mit dessen Hilfe Oberflächenunregelmäßigkeiten (Risse / Trennungen) zerstörungsfrei festgestellt werden können.

Jedoch sollen zusammengefügte Bauteile unterschiedlicher Werkstoffe nach dem Stand der Technik bzw. der Norm mit der Magnetpulver Verfahren nicht geprüft werden. Für den Fall der Magnetpulver Prüfung an Rotoren und an Polen geht das aber nicht anders. Auch aus Gründen der Zugänglichkeit und aus Gründen des zu erwartenden remanenten tangentialen Magnetfeldes kann die Prüfung streng nach Norm nicht durchgeführt werden.

Deshalb beschreibt dieses Prüfkonzept die Durchführung der Prüfung in Anlehnung an die aktuell gültigen Normen.

Versuche mit anderen zerstörungsfreien Prüfmethoden haben gezeigt, dass diese entweder die Anzeigen nicht oder nur unzuverlässig auffinden.

Es erfolgt hier der Hinweis, dass die im Folgenden beschriebene Prüfung keinen Aufschluss auf die Risttiefe geben kann.

Grundsätzlich stehen zwei Methoden zur Verfügung, die betroffenen Bereiche zu prüfen. Es gibt die manuelle Prüfung (visuell mit Spiegel) und die Prüfung mit einem Kamerawagen.

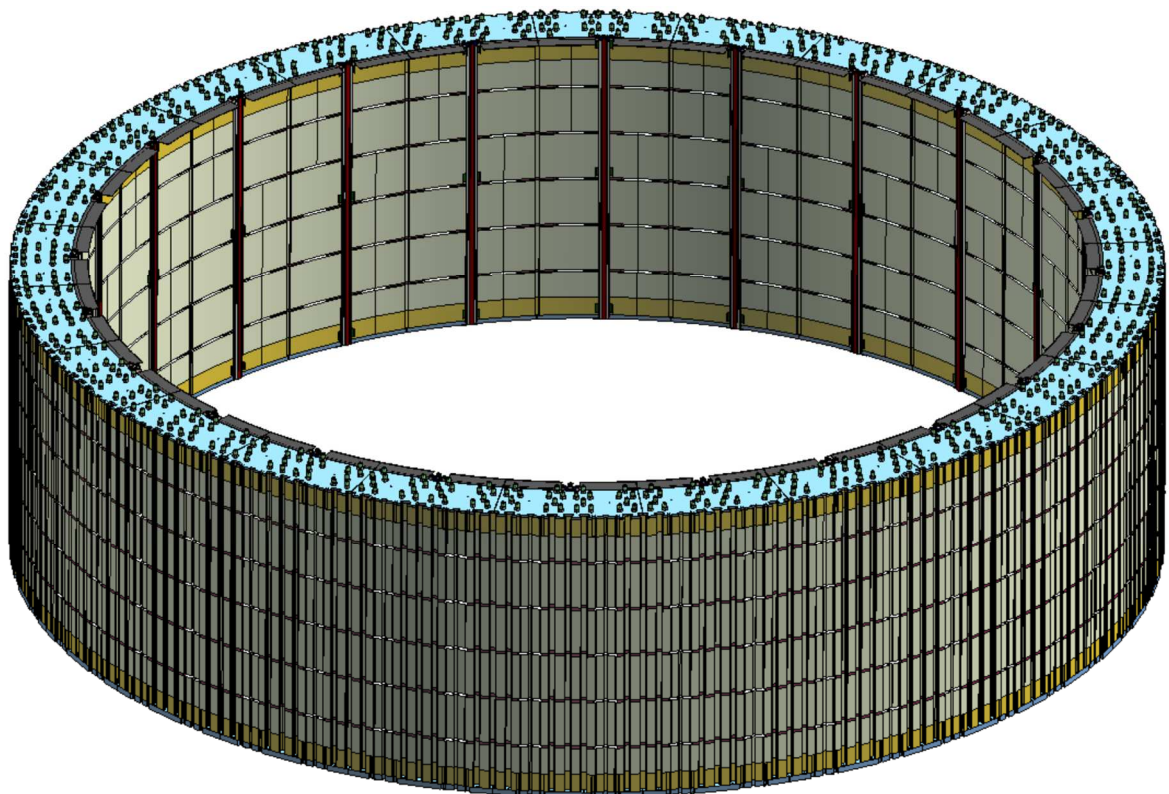
Die manuelle Prüfung ist einfacher und weniger zeitaufwändig als die Prüfung mit einem Kamerawagen. Eventuelle Anzeigen können mit der manuellen Prüfung besser bewertet werden. Sie ist daher zu bevorzugen. Voraussetzung für die Prüfung ist die Demontage der Pole, damit der Rotor und die Pole im Prüfbereich zugänglich sind. Die Pole müssen sicher gelagert sein.

Muss der Rotor im eingebauten Zustand geprüft werden, ist die Verwendung eines Sprühwagens und einer Kamera notwendig. Beide Systeme müssen speziell an jeden Rotor angepasst werden. Auch in diesem Fall müssen die Polkörper demontiert werden.

Die Polendplatten können in der Regel von Hand geprüft werden.

Die Prüfung wird häufig mehrfach durchgeführt. Die erste Prüfung erfolgt mit der remanenten Tangentialfeldstärke. Ergänzende Prüfungen werden entsprechend den Erkenntnissen aus der Messung der remanenten Tangentialfeldstärke durchgeführt. Bei der Prüfung werden die gefährdeten Bereiche der Pol-Nuten und der Polendplatten mit fluoreszierender Prüfflüssigkeit benetzt.

Dafür wird die Prüfflüssigkeit mit speziellen Düsen auf der Bauteiloberfläche aufgebracht. Damit der Eintrag der Prüfflüssigkeit so gering wie möglich ist, wird der zu prüfende Bereich auf das Notwendige beschränkt.



Skizze 1: typisches Aussehen eines geblechten Rotor Rim

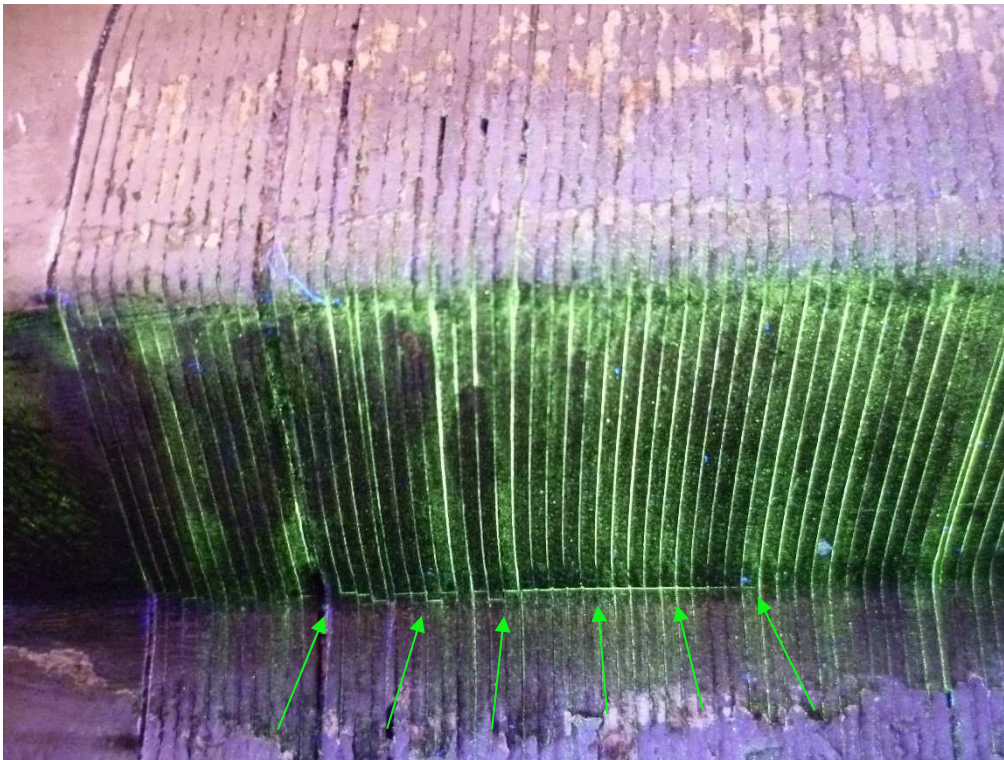


Bild 1: Beispiel einer MT Anzeige in einer Hammerkopfnut.

Es zeigt einerseits auf der linken Seite einen unterbrochenen Verlauf, andererseits auf der rechten Seite einen sehr geraden Verlauf.

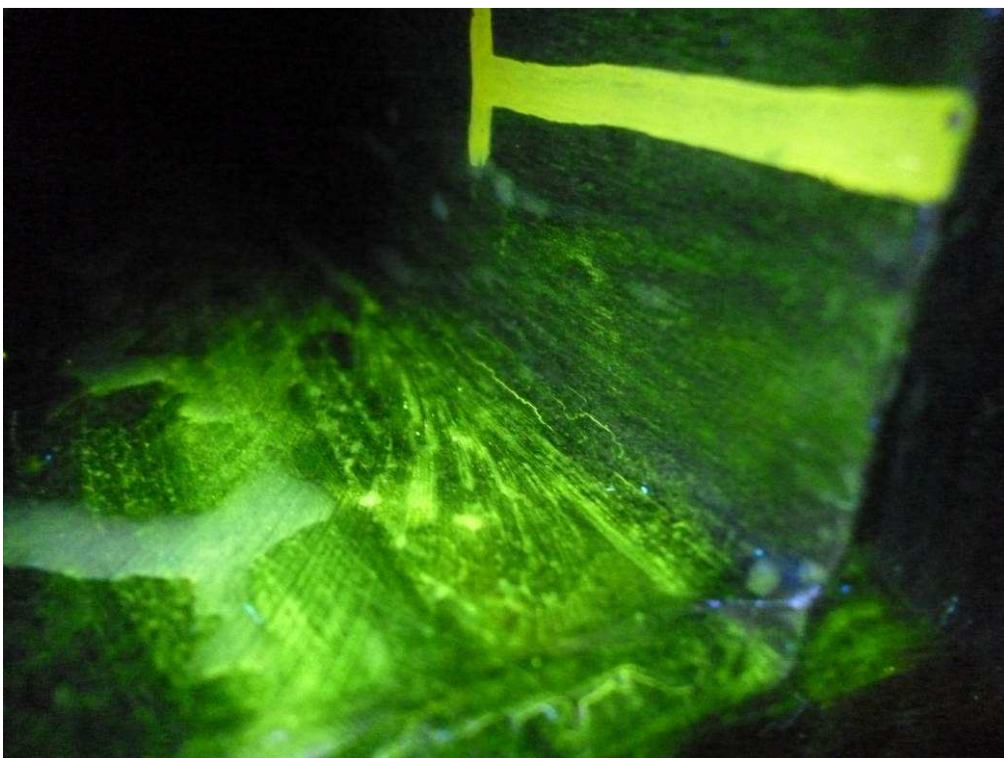


Bild 2: Beispiel einer MT Anzeige an einer gefrästen Polendplatte (PEP)

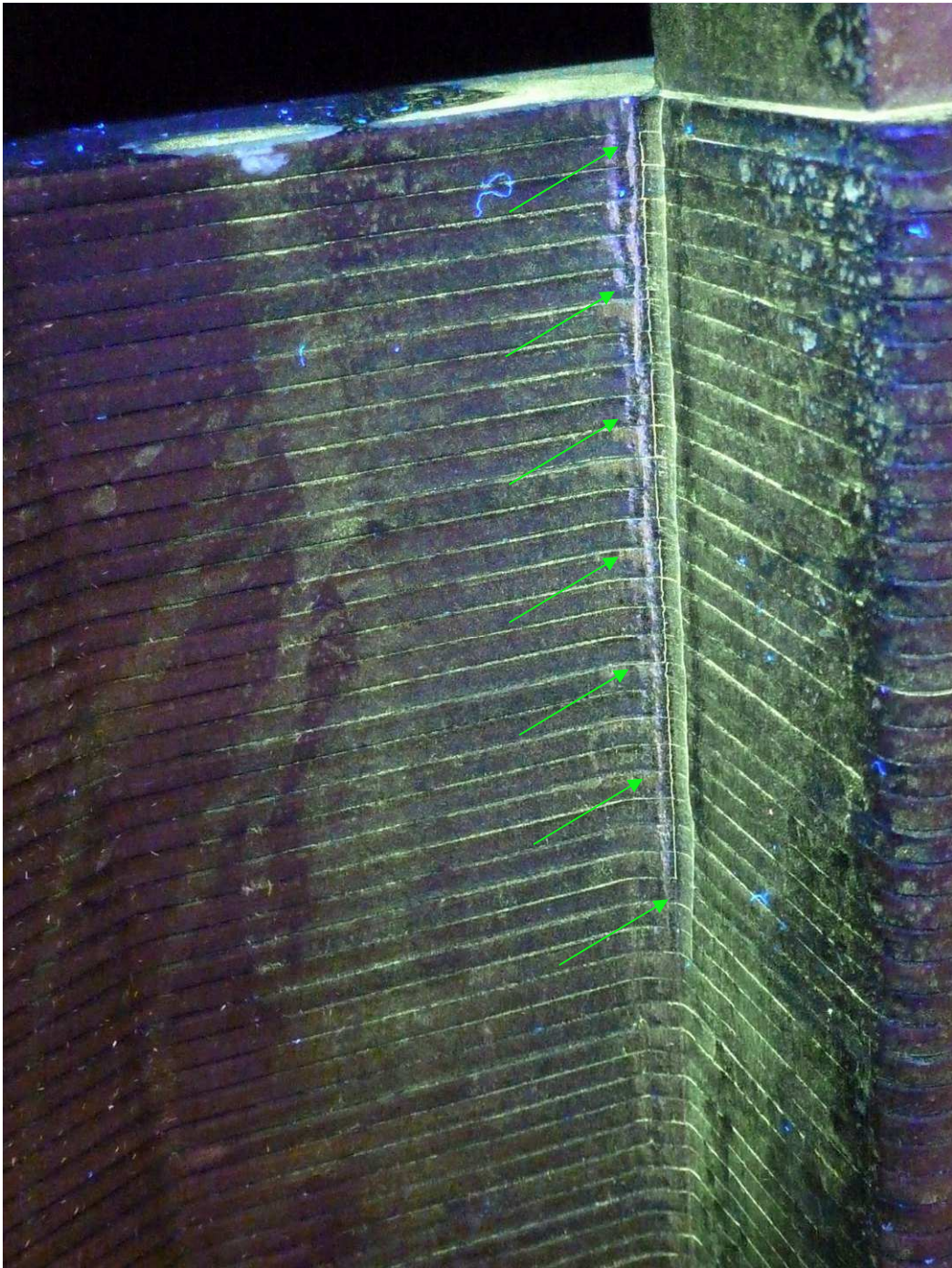


Bild 3: Beispiel einer MT Anzeige im Radius an einer Schwalbenschwanznut nach dem Beschleifen.

2. Beschreibung der Prüfbereiche

Das Prüfkonzept gilt für folgende Bauteile:

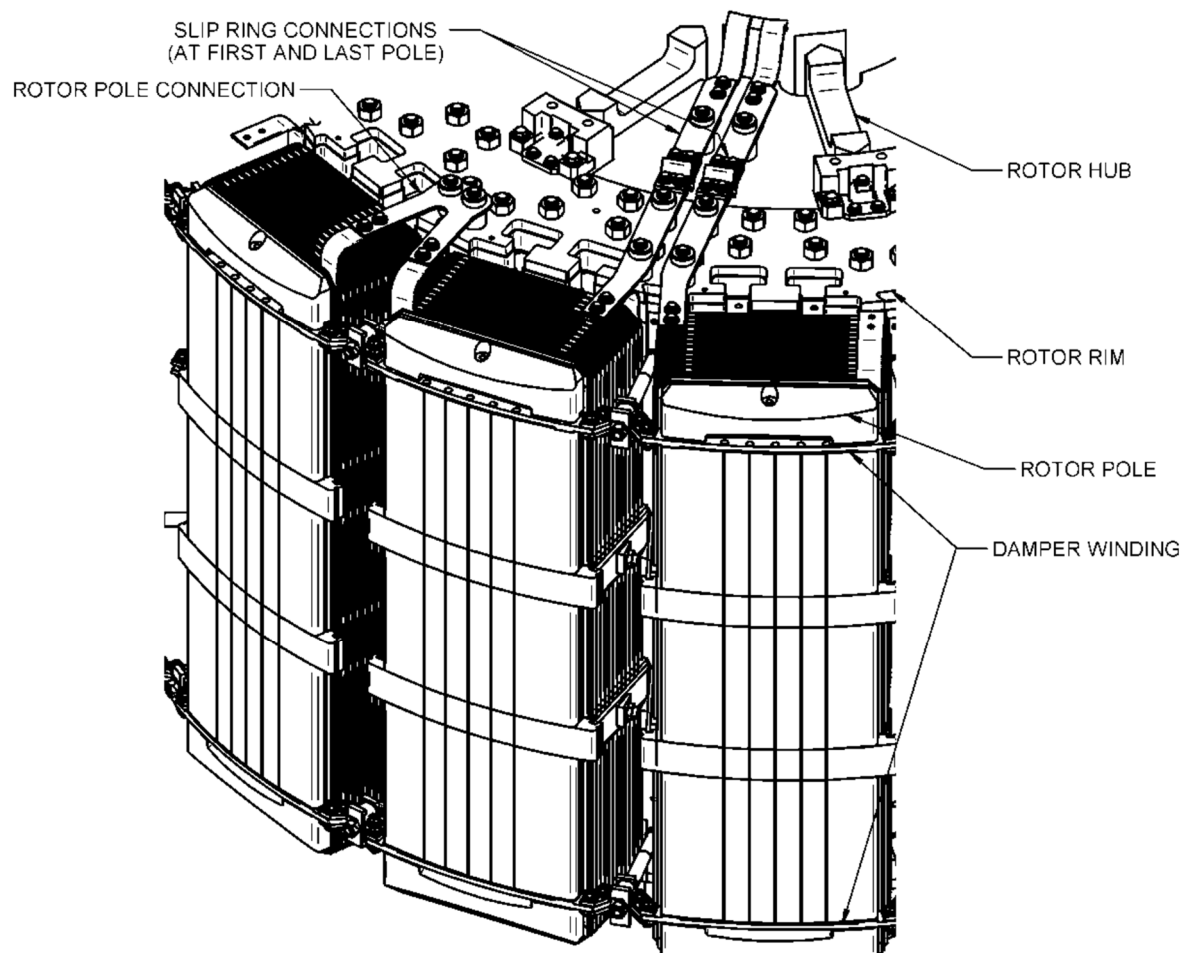
Rotor

Hammerkopfnuten
Schwalbenschwanznuten
Keilnuten

Polendplatten

Hammerköpfe
Schwalbenschwanzköpfe

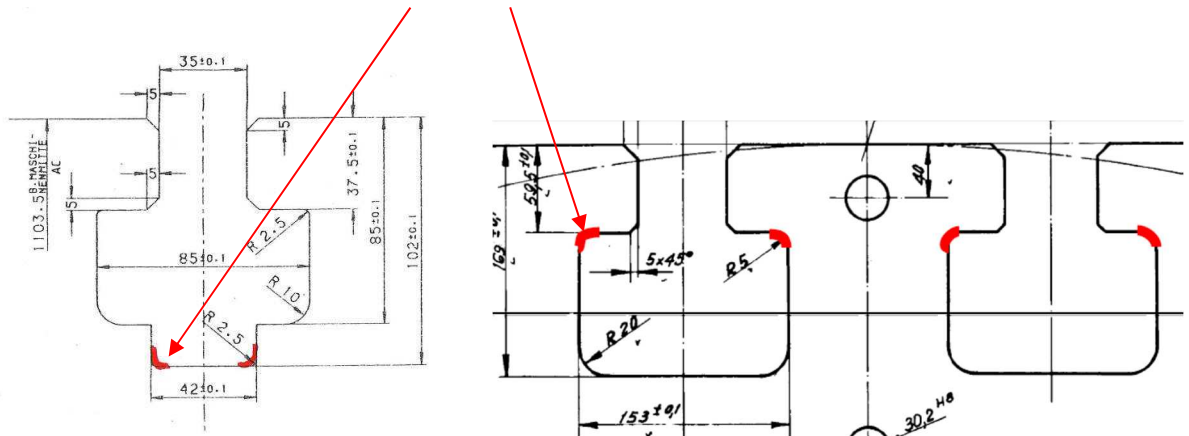
Es ist unabhängig vom Herstellverfahren der Bauteile anwendbar (geschichtete Bleche oder Schmiedeteile).



Skizze 2: typische Polbefestigung

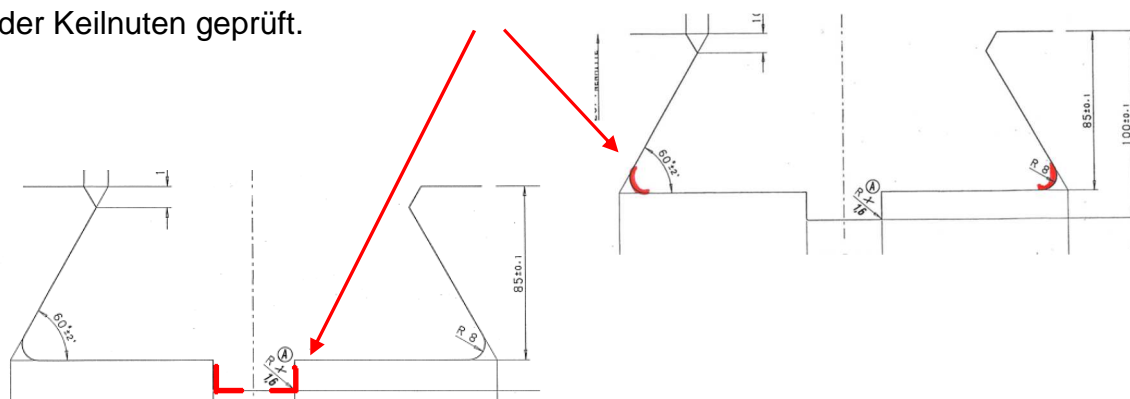
Prüfbereiche an einem Rotor mit Hammerkopfnuten

Es werden die rot markierten, hoch belasteten Übergangsradien aller Hammerkopfnuten und wenn vorhanden bzw. erforderlich die Übergangsradien der Keilnuten geprüft.

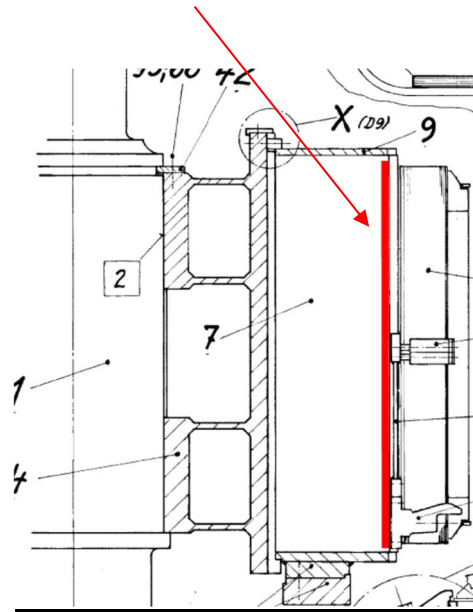


Prüfbereiche an einem Rotor mit Schwalbenschwanznuten

Es werden die hoch belasteten (rot markierten) Übergangsradien aller Schwalbenschwanznuten und wenn vorhanden bzw. erforderlich die Übergangsradien der Keilnuten geprüft.

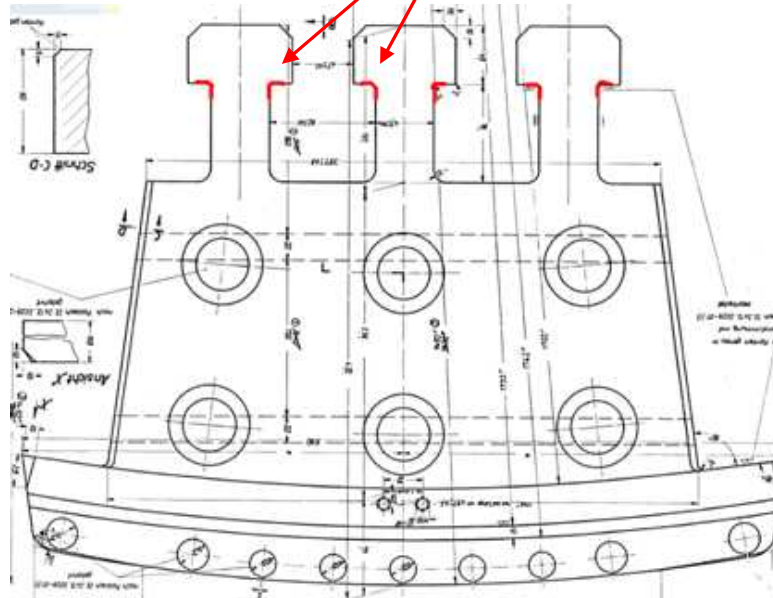


Die Nuten werden im zu prüfenden Bereich auf der gesamten Länge geprüft.



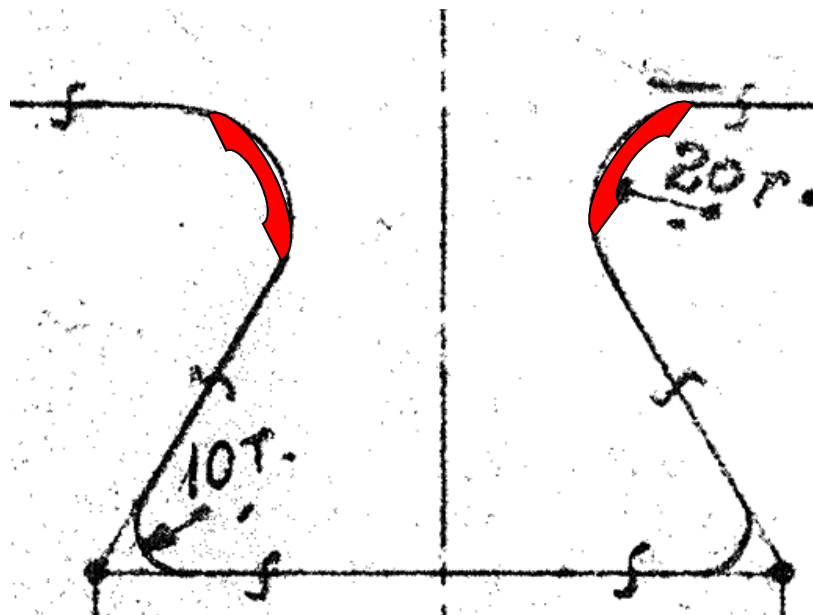
Prüfbereiche an einem Pol mit Hammerkopfnuten

An Polen mit Hammerköpfen werden die rot markierten, hoch belasteten Übergangsradien an allen Hammerköpfen geprüft.

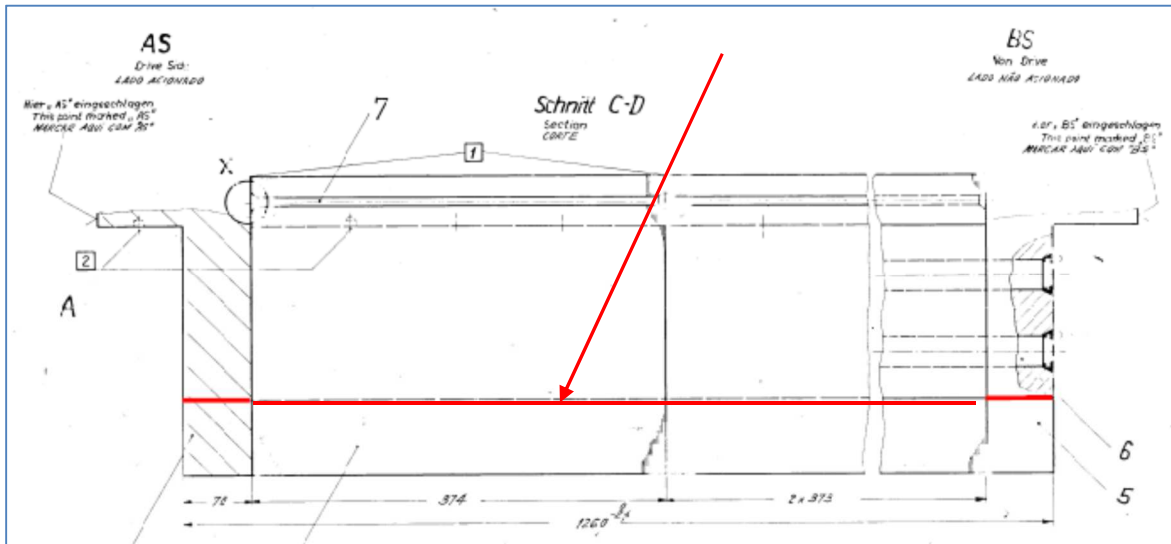


Prüfbereiche an einem Pol mit Schwalbenschwanznuten

An Polen mit Schwalbenschwanznuten werden die rot markierten, hoch belasteten Bereiche geprüft.



Unabhängig der Polkontur werden die Pole einschließlich der Pol End Platte (PEP) komplett geprüft.



3. mögliche Einschränkungen

Mensch

Der Prüfumfang an einem Rotor bzw. an den Polen ist häufig sehr hoch. Bei einer mittleren Anlage ist der zu prüfende Bereich häufig über 1000m lang. Es ist daher notwendig, dem zu prüfenden Personal von PWT die erforderliche Ruhe bei der Prüfung zu ermöglichen. Bei der Prüfung ist daher kundenseitig maximal 1 Begleitperson zugelassen. Der Bereich der Prüfung muss von Störungen ausgenommen werden.

B-H- Kurve

Verschiedene ferritische Werkstoffe (z.B. PEP und Blechpaket) haben abweichende magnetische Eigenschaften. Das kann dazu führen, dass Anzeigen im Übergangsbereich mit dem Gleichstrom Impuls MT Verfahren nicht gefunden werden können, weil die Werkstoffe mit der höheren Magnetisierbarkeit (steilere BH Kurve) das tangentielle Feld ableiten.

Sauberkeit / notwendige Vorbereitungen der Oberfläche

Die zu prüfenden Bereiche müssen frei von Zunder, Öl, Fett, Bearbeitungsriefen und anderen Fremdstoffen (z.B. Staub, losen Partikeln oder Anstriche) sein. An den zu prüfenden Bereichen darf keine Beschichtung vorhanden sein. Zur eindeutigen Interpretation der linearen Anzeigen ist es häufig erforderlich, die Oberfläche z.B. durch Schleifen zu verbessern. Die Rauheit der zu prüfenden Oberflächen dürfen den Wert $R_a = 6,3\mu\text{m}$ nicht überschreiten.

Sind diese Anforderungen an die zu prüfende Oberfläche nicht erreicht, kann die Prüfung nicht durchgeführt werden.

Schweißnähte in den zu prüfenden Bereichen müssen ausgenommen werden.

Remanente Magnetfelder

Nach der internationalen Norm EN ISO 9934-1 ist für die Magnetpulverprüfung eine Tangentialfeldstärke von 2-6kA/m notwendig. Zudem ist der Prüfungsablauf festgelegt. Im vorliegenden Fall kann jedoch eine normkonforme Prüfung nicht durchgeführt werden, da die remanente Tangentialfeldstärke der zu prüfenden Bauteile häufig nicht dieser Norm entspricht. Außerdem entspricht der Ablauf der Prüfung - aufgrund der besonderen Bedingungen bei diesem Prüfkonzept- nicht der vorgegebenen Norm.

Die hier beschriebene Prüfmethodik ist jedoch eng an die Norm angelehnt. Weicht die remanente Tangentialfeldstärke von der genormten Vorgabe ab, zeigt das Prüfverfahren Werkstofftrennungen teilweise ungenügend oder nicht an. Es wird daher immer versucht, die abweichende Feldstärke derart zu beeinflussen, dass eine prüffähige Tangentialfeldstärke vorliegt.

Druckeigenspannung

Betriebsbedingte Druckeigenspannungen unter der Oberfläche bzw. in Oberflächen Nähe der zu prüfenden Bereiche können dazu führen, dass die Werkstofftrennung (Spalt) und damit die Oberflächenunregelmäßigkeit zu klein werden und sich damit keine MT Anzeige bilden kann.

Es hat sich in der Vergangenheit immer wieder gezeigt, dass bei der Überprüfung der Rotoren und der Polendplatten, nach einem mechanischen Abtrag tiefer als 0,1mm, mehr oder längere lineare Anzeigen zu finden sind, die an der originalen Oberfläche nicht zu erkennen sind.

Es wird daher ausdrücklich empfohlen, die zu prüfenden Bereiche vor der Prüfung zu beschleifen/ bearbeiten.

Kontrolle der Magnetfelder

Um festzustellen, ob die für die Prüfung notwendige Magnetisierung erreicht wird, muss die Tangentialfeldstärke in den betroffenen Bereichen gemessen werden. Zudem wird die Richtung der Tangentialfeldstärke mit einem oder mehreren Teststreifen nach ASTM (Burmah Castrol-Strip) überprüft. Teilweise kann es erforderlich sein, dass für die Überprüfung der Tangentialfeldstärke ein eigens für die entsprechenden Rotoren und Pole gebauter Vergleichskörper verwendet werden muss.

4. Ergebnis

Dokumentation der Prüfung

Das Bezeichnungssystem der Pol Nuten für die Dokumentation wird mit dem Kunden vereinbart. Die Pole werden grün bezeichnet, Anzeigen an einzelnen Blechen werden weiß markiert und längere Anzeigen, die über mehrere Bleche gehen, werden gelb markiert. Der Nullpunkt für die Längen- und Lageangaben wird immer läuferseitig festgelegt (siehe Skizze auf Seite 18).

Ergebnis der Prüfung

Das Ergebnis der Prüfung ist die Dokumentation der gefundenen linearen Magnetpulveranzeigen nach Lage und Länge in den verschiedenen Nuten bzw. an den Polen.

unten / lower level	Mitte / middle	oben / upper level	overview to the indications of Pol 7 to Pol 12					
3	1		Pol 7 (10 Indications)	R	L	r	l	
58,5 - 62,5 cm	128 cm							
	66,5 cm							
2	3		Pol 8 (2 Indications)	R	L	r	l	
49 + 53 cm	92,5 - 98,5 cm							
unten / lower level	Mitte / middle	oben / upper level						
	2		Pol 9 (7 Indications)	R	L	r	l	
	78 + 108,5 cm							
unten / lower level	Mitte / middle	oben / upper level						
1			Pol 10 (3 Indications)	R	L	r	l	
49,5 cm	6c							
	101 - 109							
			Pol 11 (2 Indications)	R	L	r	l	
unten / lower level	Mitte / middle	oben / upper level						
	1							
	83,5 cm		Pol 12 (9 Indications)	R	L	r	l	
2								
62,5 - 65 cm			Pol 11 (2 Indications)	R	L	r	l	
unten / lower level	Mitte / middle	oben / upper level						
4c		8c						
55,5 - 56,5		175 - 178	Pol 12 (9 Indications)	R	L	r	l	
unten / lower level	Mitte / middle	oben / upper level						
1+1	3		Pol 12 (9 Indications)	R	L	r	l	
56 + 63 cm	82,5 + 95 + 97,5 cm							
1	2							
55,5 cm	97 + 99 cm		Pol 12 (9 Indications)	R	L	r	l	
1								
45,5 cm			Pol 12 (9 Indications)	R	L	r	l	

Tabelle 1: Beispiel der Dokumentationsübersicht

Erläuterung zu der Ergebnistabelle

Grün werden die Pol Nuten bezeichnet. Dabei ist zu beachten, dass die linken und rechten Nutenseiten von einem im Zentrum stehenden Betrachter aus festgelegt werden.

Gelb sind Anzeigen, die über mehrere Bleche gehen

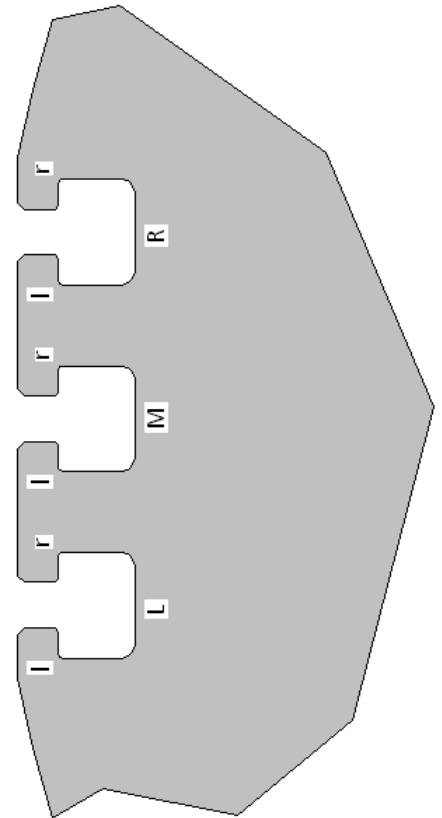
Weiß sind Anzeigen an einzelnen Blechen

Beispiel

$$17c + 2c + 6$$

17c bedeutet eine Anzeige, die über 17 Bleche geht.

Verdeutlicht wird dies noch durch das angehängte „c“ (coherent). Weiter sind an dieser Stelle eine Anzeige, die über 2 Bleche geht und noch 6 Einzelanzeigen.



5. Grundsätzliche Fragen und Informationen an den Betreiber für die MT Prüfung an der Polbefestigung

Sicherheitsunterweisung

- Wie lange dauert die Sicherheitsunterweisung?

Kleidung

- Welche Sicherheitskleidung ist notwendig?
- Muss die Kleidung feuerfest oder/und „Arcresistant“ sein?

Vorbereitung

- Der zugängliche Rotor sollte mit vertikaler Achse aufgestellt sein.
- Die Pole können entweder mit der Polbefestigung nach oben (etwa in Kniehöhe) aufgebockt werden oder sie können über Kopf gelagert sein (so dass ein Mann aufrecht darunter stehen kann). Die Zugänglichkeit muss jedoch in beiden Fällen so sein, dass ein Arbeiten ohne Gefahr möglich ist.
- Die zu prüfenden Bereiche müssen staub-, fett- und ölfrei sein



Bild 1: gereinigter Prüfbereich, zum Prüfen geeignet

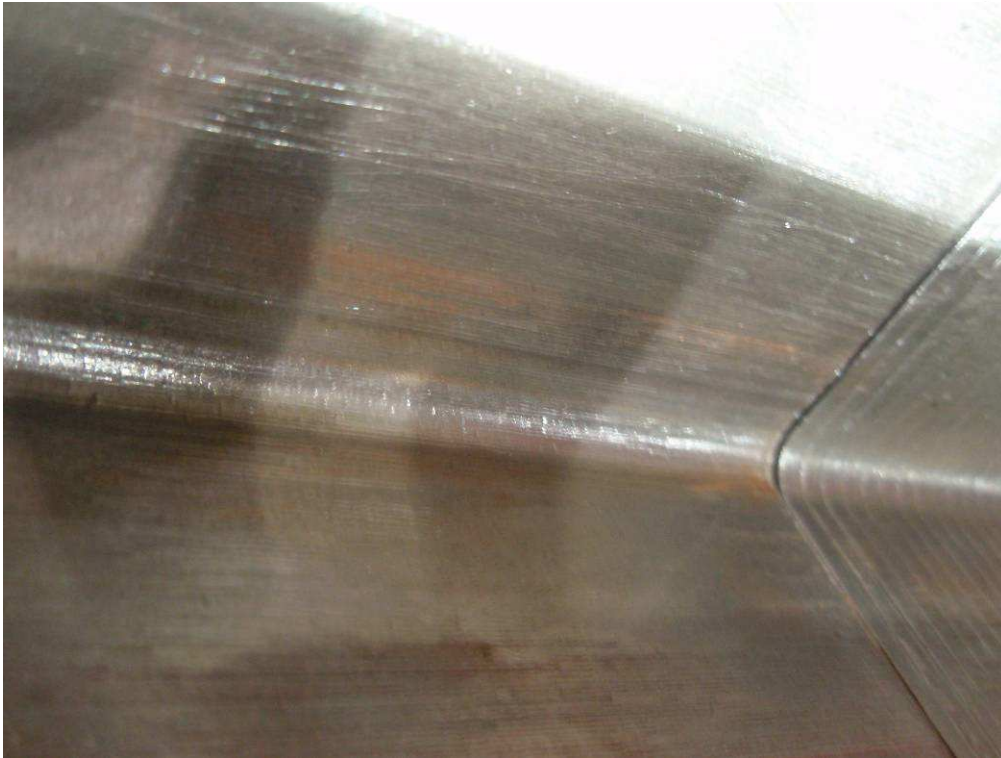


Bild 2: gereinigter Prüfbereich, zum Prüfen geeignet.



Bild 3: gereinigter Prüfbereich, zum Prüfen geeignet.



Bild 4: nicht zulässige Farbreste im zu prüfenden Radius



Bild 5: lose Farbreste im Prüfbereich, nicht geeignet zur Prüfung

- Der Raum, in dem die Prüfung stattfindet, sollte während der Prüfung abgedunkelt werden können (< 50 Lux), falls die Beleuchtung ca. 50 Lux übersteigt.



Bild 6: Abdunkelung für die Prüfung der Pole

Notwendiges Equipment auf der Baustelle

- 230V Stromanschluss
- Scherenhubwagen oder entsprechendes abgenommenes Gerüst (keine Leiter).
- 25l Frischwasser
- Das Equipment für die MT-Prüfung wird von PWT gestellt.

Dauer der Prüfung

- Erfahrungsgemäß werden für die Prüfung des Rotors und der Pole 1-2 Tage benötigt. Eine Verlängerung der Prüfzeit kann sich durch schlechte Lichtverhältnisse oder Zugänglichkeit ergeben. Die anschließende Zeit für die Dokumentation hängt vom Ergebnis der Prüfung ab. Keine Anzeigen gering und viele Anzeigen hoch.

Schleifen

- Am Ende der Prüfung können auf Kundenwunsch vereinzelt ausgewählte Anzeigen beschliffen werden. Somit kann die Anzeige als Riss bestätigt werden. Weiterhin, ist es eine Möglichkeit um die Risstiefe zu ermitteln

Ergebnisse

- Der Anzeigenbereich wird auf dem Prüfobjekt mit Farbstiften markiert und anschließend fotografiert. Des Weiteren werden die Anzeigen tabellarisch je Nut schriftlich dokumentiert.
- Ein Bericht wird im Anschluss an die Prüfung erstellt.

6. Verfahrensbeschreibung MP 37 (VB ZfP MP 37 Rev.2)

Anwendungsbereich:	Magnetpulverprüfung von Hammerkopfnutübergängen an Rotoren und Hammerkopfübergängen an Polendplatten.
Werkstoff:	Geschmiedete oder gegossene Endplatten mit Generatorblechpaketen aus unlegiertem bzw. niedrig legiertem Stahl.
Magnetisierung:	angelegter Leiter (Querschnitt ~ 150 mm ²) bis 6000A.
Gerät:	Gleichstromimpulsgerät „Hirsch“ Multipuls-1003
Oberfläche:	Gereinigt, frei von Schmutz, Öl, Fett, Zunder, Zur eindeutigen Interpretation der Anzeigen kann es erforderlich sein, die Oberflächenbedingungen deutlich zu verbessern, z.B. mit Schleifpapier oder durch örtliches Schleifen.
Magnet-Prüfmittel:	Tiede Fluoflux-Konzentrat Nr. 655 gelb-grün fluoreszierend, mittlere Korngrösse des Magnetpulvers 3 µm, Fluoreszenzkoeffizient >3 cd/Watt (EN ISO 9934-2).
Konzentration der Prüflüssigkeit:	50 ml Konzentrat für 1000 ml Wasser (Verhältnis 1:20).
Aufbringung des Prüfmittels:	Das Prüfmittel wird durch Sprühen während der Magnetisierung auf die zu prüfende Werkstückoberfläche aufgebracht, dabei wird die Magnetisierung so lange aufrechterhalten bis der größte Teil der Trägerflüssigkeit abgeflossen ist.
Nachweis der Magnetisierung:	Auf die Prüfoberfläche aufgelegter Burmah-Castrol-Magnetfeldanzeiger mit künstlich eingebrachten Defekten, entspricht den Bestimmungen der ASME (Ref. ASME Vol. V, Art. 25 Magnetpulver-Standard); oder eigens für die Anlage hergestellter Vergleichskörper
Entmagnetisierung:	Nicht erforderlich.
Prüfumfang:	Alle im Prüfkonzept gekennzeichneten Übergänge 100 %.

Lampen: UV-LED Lampen (365 nm), Bestrahlungsstärke > 10W/m², Weißlichtanteil < 20lx (Anforderungen nach EN ISO 3059).

Interpretation:

a) Nicht relevante Anzeigen sind

- Scheinanzeigen (Übermagnetisierung, Oberflächenrauigkeiten, Schmutz, Streufelder, Prüfmittelanatz zu groß)
- Geometrieanzeigen (scharfe Kanten, abrupte Querschnittsübergänge, Bohrungen, Aussparungen, Gewinde)
- Permeabilitätsanzeigen (Kaltverformungen, Graphiteinschlüsse, mangelnde Wärmebehandlung, abgussbedingte Unterschiede).

b) Relevante Anzeigen sind

- zulässige Anzeigen (Werkstoffinhomogenitäten, die den Verwendungszweck des Prüfgegenstandes **nicht** beeinträchtigen)
- Fehleranzeigen (Werkstoffinhomogenitäten, die den Verwendungszweck des Prüfgegenstandes beeinträchtigen).

Prüfaufsicht:

Steffen Krause: ASNT-TC 1 A Level III

Qualifikation des Prüfers: ASNT-TC 1 A Level II oder DIN EN 473 Stufe 2 oder ein erfahrener, qualifizierter Prüfer von PWT



7. Referenzliste (August 2016)

(wird ständig erweitert, ohne die Referenznummer des Dokumentes zu ändern)

Austria	8 Units
Bolivia	1 Unit
Canada	1 Unit
China	5 Units
France	1 Unit
Germany	25 Units
India	1 Unit
Irland	4 Units
Kongo	1 Unit
Norway	2 Units
Portugal	2 Units
Scotland	2 Units
Spain	11 Units
Switzerland	11 Units
USA Alaska	1 Unit
USA California	3 Units
USA Idaho	1 Unit
USA South Car	1 Unit
USA Tennessee	3 Units
USA Virginia	6 Units
<hr/>	
Σ	90 Units