

Auswirkung des novellierten KTA-Regelwerkes 3201.4 auf die Bewertung und Vergleichbarkeit der Prüfergebnisse wiederkehrender Prüfungen an Komponenten des Primärkreises

Sven HEISE*, Georg CSAPO*
* TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31, 22525 Hamburg
+49 408557 2692
sheise@tuev-nord.de

Kurzfassung. Auf Empfehlung der Reaktor-Sicherheitskommission (RSK) hat der Kerntechnische Ausschuss (KTA) auf Basis des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik die Aktualisierung der KTA-Regel 3201.4 „Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung“ vorgenommen.

Durch die Umsetzung der o. a. Regeländerungen ergeben sich Auswirkungen

- auf die Durchführung und Bewertung von Qualifizierungen der zerstörungsfreien Prüfungen,
- auf den Vergleich aktueller Prüfergebnisse mit den Ergebnissen von vorangegangenen wiederkehrenden Prüfungen (WKP) und das Erfordernis die wiederkehrende Prüfung als erneute Basisprüfung festzulegen.

Anhand eines Beispiels werden die Umsetzung der Regeländerung und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aufeinanderfolgender Prüfungen (WKP) erläutert. Die Anwendung des novellierten Regelwerkes bei der Qualifizierung, Durchführung und Bewertung von zerstörungsfreien Prüfungen führt im Ergebnis zu einer umfassenderen und verbesserten Prüfaussage.

1. Einleitung

Die KTA-Regel 3201.4 „Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren, Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung“ (11/10) legt die für wiederkehrende Prüfungen (WKP) relevanten Maßnahmen fest, um den zum Zeitpunkt der Prüfung vorhandenen Zustand der Komponenten in der Druckführenden Umschließung (DFU) festzustellen und zu bewerten (Prüfung auf Veränderungen). Die Regel enthält Festlegungen zu Prüfumfängen/-Intervallen und -Verfahren, bei deren Anwendung im Betrieb auftretende Fehler an der DFU rechtzeitig vor Erreichen von Zulässigkeitsgrenzen erkannt werden können. Im Hinblick auf den Einsatz zerstörungsfreier Prüfverfahren und -Techniken enthält die KTA 3201.4 u.a. folgende Änderungsschwerpunkte:

- a) Weiterentwicklung und Optimierung der Vorgehensweise bei der Qualifizierung von ZfP-Prüftechniken

Gemäß KTA 3201.4 ist die Eignung von Prüfverfahren und -techniken, deren Anwendung für die Prüfaufgabe nicht ausreichend in Normen beschrieben ist, grundsätzlich nach der Methodik der Richtlinie VGB-R 516 nachzuweisen. Für die Prüfverfahren MT, PT, RT und VT ist die Eignung und Anwendung der Verfahren i.d.R. ausreichend in kerntechnischen Normen (DIN 25435) und in konventionellen Normen geregelt. Die Qualifizierung von Prüftechniken betrifft insbesondere die Verfahren ET und UT.

b) Festlegung von Kriterien zum Nachweis der Eignung von ZfP-Prüftechniken

Für die Prüfverfahren ET und UT sind in der KTA 3201.4 umfangreiche Kriterien zum Nachweis der Eignung der Prüftechniken genannt.

c) Festlegung von Kriterien zur Einstellung der Prüfempfindlichkeit

Hinsichtlich der Einstellung der Prüfempfindlichkeit bei der Ultraschallprüfung von austenitischen Schweißverbindungen, Mischschweißverbindungen und bei der Prüfung plattierter Oberflächen sind neue Vorgaben enthalten, wie z. B. die Einstellung der Prüfempfindlichkeit an den Komponenten entsprechenden Vergleichskörpern (VK). Ähnliche Vorgaben sind erstmalig auch für die Einstellung der Prüfempfindlichkeit bei der Wirbelstromprüfung vorgesehen. In der Vorläuferfassung der aktuellen KTA (KTA 3201.4, Fassung 06/99) waren die Festlegungen/Anforderungen an die Qualifizierung, den Nachweis der Eignung und die Einstellung der Prüfempfindlichkeit teilweise unzureichend oder nicht präzise formuliert und baten somit einen Interpretationsspielraum bei der Auslegung der Regelwerksvorgaben.

Die Bedeutung der eingesetzten Prüfverfahren bei der WKP in kerntechnischen Anlagen ist nach Häufigkeit ihrer Nennung in der KTA 3201.4 feststellbar, woraus sich die besondere Stellung der UT-Prüfung bei der WKP des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren ableiten lässt. Nachfolgende Ausführungen beschränken sich aus diesem Grund nur auf die Anforderungen an die Ultraschallprüfung.

2. Regelwerk und Anforderungen

Für die drei vorgenannten Punkte a), b) und c) fällt insbesondere dem Vergleichskörper (VK) eine zentrale Rolle bei der Qualifizierung von Prüftechniken, dem Eignungsnachweis der Prüftechnik und der Einstellung der Prüfempfindlichkeit zu. Aus der Vorläuferfassung der KTA 3201.4 ging hervor, dass im Rahmen des Eignungsnachweises lediglich gezeigt werden musste, dass die eingesetzten Prüfverfahren/-techniken in der Lage waren, die im Regelwerk festgelegten Registriergrenzen einzuhalten. Aus heutiger Sicht können bei den alten Vergleichskörpern folgende Defizite festgestellt werden:

- VK-Werkstoffe, -Geometrie und -Form entsprechen nicht dem Prüfgegenstand (große Bedeutung bei plattierten Komponenten, austenitischen Schweißnähten und Mischschweißnähten sowie komplizierten Konturen),
- Für den Eignungsnachweis fehlen die nach KTA vorgesehenen Vergleichsreflektoren oder deren Gestaltung weicht von den Vorgaben ab,
- Die Begleitunterlagen (VK-Dokumentation, Messergebnisse) fehlen oder haben nur eine geringe Aussagekraft.

Konsequenz:

Die Mehrzahl alter Vergleichskörper ist nicht ohne weiteres für die Umsetzung des neuen Regelwerkes oder zur Qualifizierung von neuen Prüftechniken einsetzbar, eine Vergleichbarkeit von Prüftechniken ist erschwert. Das nachfolgende Bild 1 zeigt das Beispiel eines alten Vergleichskörpers, der nach dem aktuellen Regelwerk für die vorgenannten Aktivitäten nicht mehr verwendet werden kann. Die Anzahl der Nuten ist zu

gering, die Länge der Nuten ist unterschiedlich und die Eignung einer Prüftechnik ist an diesem Vergleichskörper somit nicht nachweisbar.

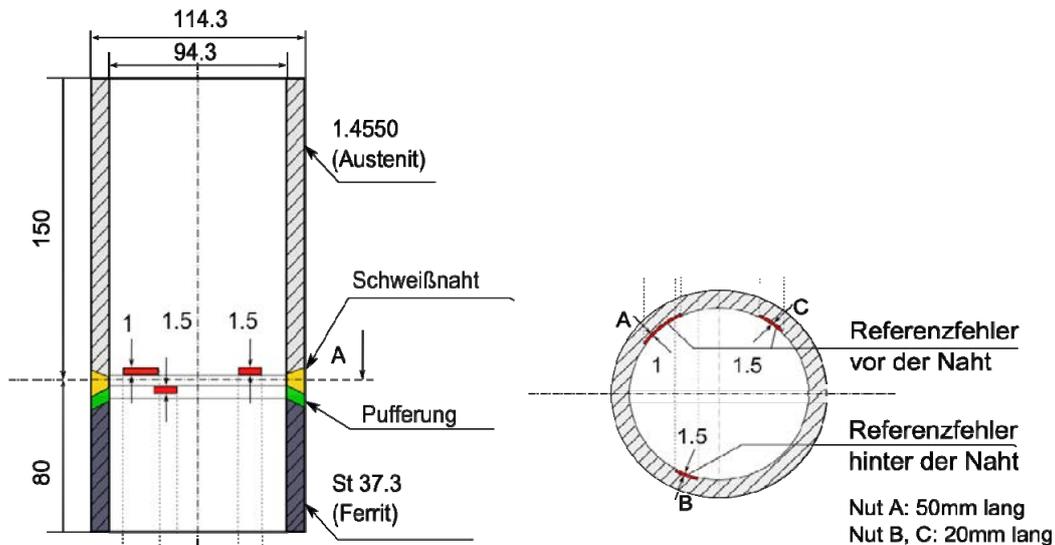


Bild 1. Vergleichskörper zur Einstellung der Prüfeempfindlichkeit und zum Nachweis der Eignung von Ultraschallprüftechniken für die Prüfung einer Mischschweißnaht entsprechend den Anforderungen der alten KTA 3201.4 (06/99)

Der Nachweis der Eignung/Qualifizierung einer Prüftechnik hat nach dem aktuellen Regelwerk an Vergleichskörpern zu erfolgen, wenn schwierig zu prüfende Werkstoffe (z.B. austenitische Werkstoffe, Mischverbindungen, plattierte Oberflächen) oder komplizierte Konturen (z.B. Stutzen, Verrundungen) vorliegen. Vergleichskörper für ferritische Schweißnähte sind i.d.R. nicht erforderlich, wenn keine komplizierten Konturen vorliegen. Ein Vergleichskörper hat in seinen prüftechnisch relevanten Eigenschaften (u.a. Werkstoff, Schweißnahtausführung, Geometrie) dem Prüfgegenstand zu entsprechen und Bezugsreflektoren aufzuweisen, die an die Prüfaufgabe angepasst sind. Dabei sind neben den Vorgaben der KTA 3201.4 für die Wahl der Bezugsreflektoren auch die Qualifikationskategorien gemäß VGB R-516 (Einsatz künstlicher/quasi-natürlicher/natürlicher Fehler) zu berücksichtigen.

Die Eignung der Ultraschallprüftechniken ist für jede Einschallrichtung und jeden Prüfbereich an einem Vergleichskörper mit Nuten unterschiedlicher Tiefe nachzuweisen, wobei je Prüfbereich mindestens drei Nuten und die Kante des Vergleichskörpers bzw. eine ausreichend tiefe Nut anzuschallen sind:

Nut A < Bezugsnut < Nut B << Nut C oder Kante

Die Echohöhen der Reflektoren sind in Abhängigkeit von der Nuttiefe in einem Diagramm aufzutragen (Nutmennlinie). Die Bezugsnut für die Einstellung der Prüfeempfindlichkeit wird wanddickenabhängig gemäß KTA 3201.4, Tab. 4-2 gewählt. Diese neuen Festlegungen führen dazu, dass z.B. für die Qualifizierung und den Nachweis der Eignung einer Prüftechnik für die Prüfung der inneren Oberfläche einer gepufferten Mischschweißnaht auf Längs- und Querfehler der Vergleichskörper mindestens 16 Vergleichsfehler (Nuten) enthalten muss. Das Beispiel eines regelwerkskonform gestalteten Vergleichskörpers ist in Bild 2 dargestellt. Soll der Vergleichskörper auch die Anforderungen einer Herstellungsprüfung mit abdecken, sind ggfs. weitere Reflektoren erforderlich (z. B. für eine Volumenprüfung, Prüfung auf Disbonding).

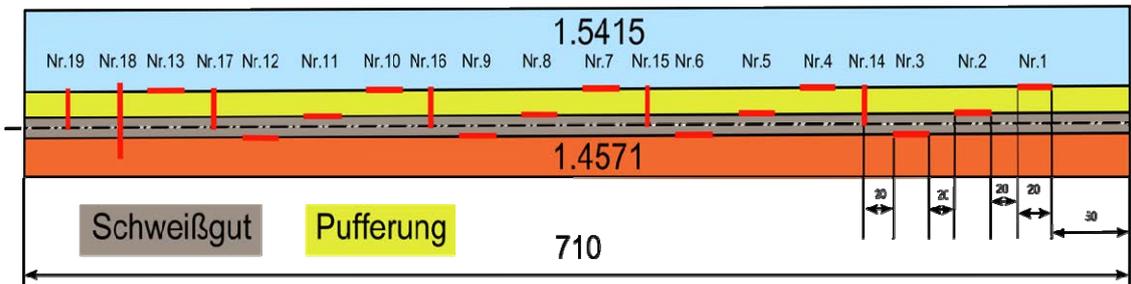
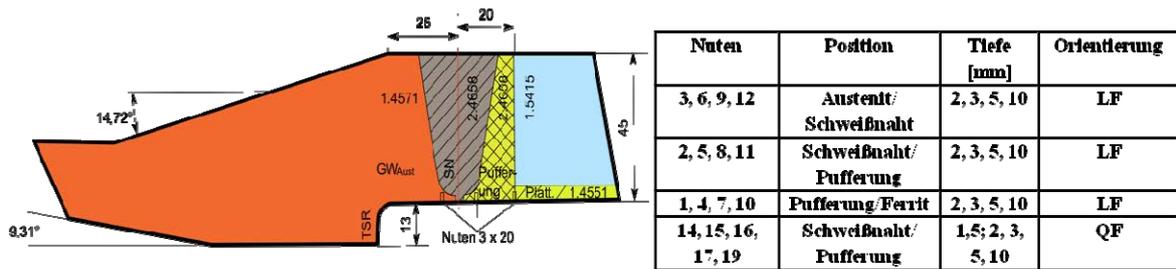


Bild 2. Vergleichskörper zur Einstellung der Prüfeempfindlichkeit und zur Qualifizierung von Ultraschallprüftechniken für die Prüfung einer Mischschweißnahtentsprechend den Anforderungen der neuen KTA 3201.4 (11/10)

Für den Eignungsnachweis der für wiederkehrende Prüfungen eingesetzten Prüftechniken kann die Erweiterung bestehender Vergleichskörper um die fehlenden Reflektoren von Fall zu Fall vorgenommen werden, vielfach wird aber die Herstellung neuer Vergleichskörper erforderlich sein.

Die Bewertung der Ergebnisse wiederkehrender Prüfungen gemäß KTA 3201.4 beruht zunächst einmal auf dem Prinzip der Amplitudenbewertung, d.h. die Amplitudenhöhen von Anzeigen werden in Korrelation zu den Amplitudenhöhen der Bezugsreflektoren/ Vergleichsreflektoren gesetzt. Dementsprechend ist dieses Prinzip in der KTA 3201.4 für die Festlegung von Kriterien zum Nachweis der Eignung von Prüftechniken zu Grunde gelegt worden. Als Beispiel werden nachfolgend die Kriterien zum Eignungsnachweis für die Ultraschallprüfung von Stumpfnähten und von nichtplattierten Grundwerkstoff-bereichen erläutert und veranschaulicht.

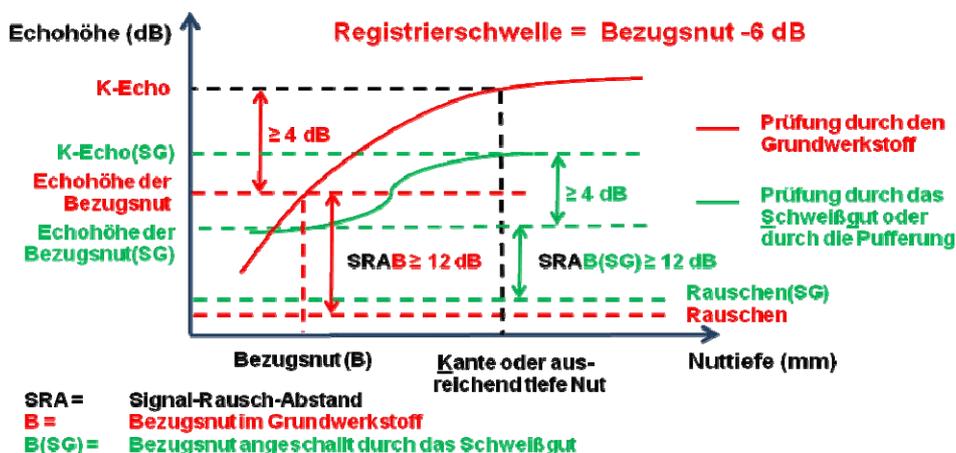
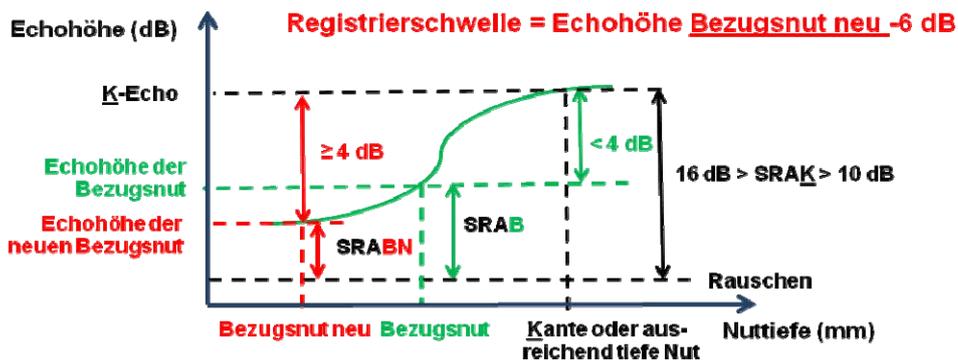


Bild 3. Nachweis der Eignung von Prüftechniken für die Ultraschallprüfung von Stumpfnähten und nicht plattierten Grundwerkstoffbereichen (Fall 1)

Eine Prüftechnik ist nach Bild 3 dann uneingeschränkt geeignet, wenn die an der Bezugsnut festgestellte Echohöhe den Rauschpegel **um 12 dB oder mehr** überschreitet und das Kantenecho die Echohöhe an der Bezugsnut **um mindestens 4 dB überschreitet**. Außerdem müssen die Echohöhen bei Anschallung durch den Grundwerkstoff des Vergleichskörpers mit der Nuttiefe ansteigen. Die Echohöhen bei Anschallung durch das Schweißgut oder durch die Pufferung des Vergleichskörpers dürfen mit steigender Nuttiefe nicht unter die Echohöhe der Bezugsnut abfallen (**KTA 3201.4, Tabelle 4-1, Fall 1**).

Können die Kriterien für die Eignung der Prüftechnik für den **Fall 1** nicht eingehalten werden, so ist ersatzweise nach Bild 4 vorzugehen (**KTA 3201.4, Tabelle 4-1, Fälle 2a und 2b**):

Fall 2a:



Fall 2b:

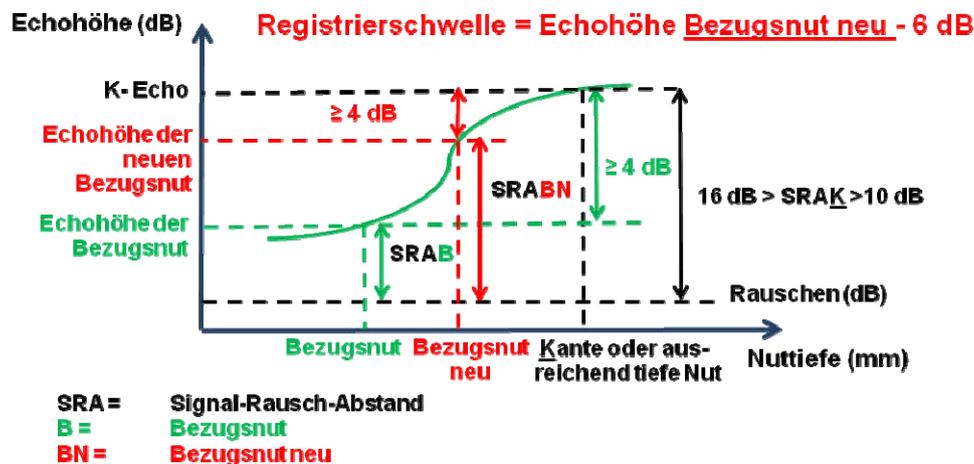


Bild 4. Nachweis der Eignung von Prüftechniken für die Ultraschallprüfung von Stumpfnähten und nicht plattierten Grundwerkstoffbereichen (Fälle 2a und 2b)

- Es ist nachzuweisen, dass das Kantenecho oder die Echohöhe an der ausreichend tiefen Nut den Rauschpegel **um mindestens 10 dB** überschreitet (Fall 2a und Fall 2b).
- Die Einstellung der Prüfempfindlichkeit ist anstelle der eigentlichen Bezugsnut an einer Bezugsnut mit einer solchen Tiefe vorzunehmen, bei der das Kantenecho oder die Echohöhe an der ausreichend tiefen Nut die Echohöhe an dieser neuen Bezugsnut **um mindestens 4 dB** überschreitet (Fall 2a) – **Bezugsnut neu < Bezugsnut alt**.
- Die Einstellung der Prüfempfindlichkeit ist anstelle der eigentlichen Bezugsnut an einer Bezugsnut mit einer solchen Tiefe vorzunehmen, bei der die Echohöhe an dieser Bezugsnut den Rauschpegel **um mehr als 6 dB** überschreitet (Fall 2b) – **Bezugsnut neu > Bezugsnut alt**.

Ergänzend sind für die Fälle 2a und 2b die Anzeigen der Vergleichsreflektoren aufzunehmen, um eine Basis für einen Mustervergleich im Hinblick auf charakteristische Eigenschaften der bei der Prüfung ermittelten Anzeigenmuster zu schaffen.

Sofern die Bezugsnut eine größere Tiefe aufweist als die eigentliche Bezugsnut (ggfs. nur für den Fall 2b), ist die ausreichende Aussagefähigkeit der Prüfung sicherheitstechnisch zu bewerten, wobei den rechnerischen Nachweisen ein in Bezug auf die Längen- und Tiefenausdehnung konservativ abdeckender Fehler zugrunde zu legen ist (Anhaltswert: das Doppelte der Tiefe der Bezugsnut mit einer Länge, die dem gesamten Bereich entspricht, für den die Bezugsnut mit einer größeren Tiefe als die ursprüngliche Bezugsnut zur Anwendung kommt).

Können die Kriterien für die Fälle 1 und 2 in Teilen des Prüfbereiches (z. B. bei Mischschweißnähten mit Pufferung bei der Längsfehlerprüfung im Übergang zwischen Pufferung und Schweißgut oder bei der Querfehlerprüfung) nicht eingehalten werden, so ist entsprechend Bild 5 vorzugehen (KTA 3201.4, Tabelle 4-1, Fall 3):

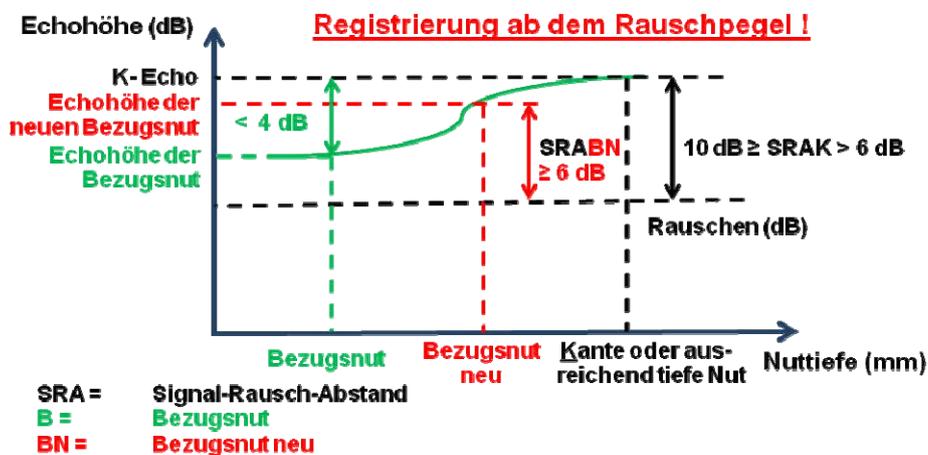


Bild 5. Nachweis der Eignung von Prüftechniken für die Ultraschallprüfung von Stumpfnähten und nicht plattierten Grundwerkstoffbereichen (Fall 3)

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Vergleichskörpermessungen ist als Bezugsnut für die Einstellung der Prüfeempfindlichkeit eine Nut, an der eine Echohöhe von mindestens 6 dB über dem Rauschpegel unter Einbeziehung einer etwaigen Transferkorrektur erreicht wird, festzulegen. Sofern das Fehlernachweisvermögen mit den vorhandenen Nuten nicht ermittelt werden kann, sind hierfür in den Vergleichskörper weitere, in der Tiefe abgestufte Nuten oder realistische Vergleichsfehler (Risse) einzubringen. An allen Nuten mit einer größeren Tiefe als die Bezugsnut müssen Echohöhen von mindestens 6 dB über dem Rauschpegel unter Einbeziehung einer etwaigen Transferkorrektur feststellbar sein. Es muss eine Differenzierung zwischen dem Signalmuster an der Bezugsnut und den Rauschanzeigen sowie eine deutliche Unterscheidung des Signalmusters an der Bezugsnut zum Signalmuster an der Kante gegeben sein. Das Bewertungsverfahren ist anhand der Ergebnisse der Vergleichskörpermessungen in der Prüfanweisung festzulegen (z. B. Mustererkennung, Korrelation der Anzeigenmuster bei unterschiedlichen Einschallwinkeln und Wellenarten, Rissspitzensignalverfahren).

Sofern die Bezugsnut eine größere Tiefe als die ursprüngliche Bezugsnut aufweist, ist die ausreichende Aussagefähigkeit der Prüfung sicherheitstechnisch zu bewerten, wobei für den rechnerischen Nachweis entsprechend dem Fall 2b vorzugehen ist.

3. Bewertung von Prüfergebnissen

Wurde im Vorfeld der WKP_n festgestellt, dass die Eignung einer bestehenden Prüftechnik nicht bestätigt werden kann, z.B. aufgrund von fehlenden geeigneten Vergleichskörpern und Vergleichsreflektoren, sind Qualifizierungsmessungen zum Nachweis der Eignung einer Prüftechnik und zur Festlegung der Registrierschwellen vorzunehmen.

Dies kann einen Wechsel der Prüftechniken erforderlich machen, wodurch auch eine geänderte Vorgehensweise bei der Bewertung der zukünftigen wiederkehrenden Prüfungen bedingt sein kann. Dies führt unter Umständen zu von der vorangegangenen Prüfung abweichenden Ergebnissen. Gemäß KTA 3201.4 ist jedoch gefordert, dass die Ergebnisse aufeinanderfolgender Prüfungen miteinander vergleichbar sein müssen. Bei einem Wechsel der Prüfverfahren oder -techniken ist dann der Nachweis der Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erbringen. Dies darf z.B. durch die Bewertung möglicher Abweichungen oder die ergänzende Anwendung der vorangegangenen Prüftechniken erfolgen. Auf Basis der Forderung der Vergleichbarkeit aufeinanderfolgender wiederkehrender Prüfungen sind für die Bewertung der Prüfergebnisse die Schritte 2 bis 6 nach Bild 8-1 der KTA 3201.4 gemäß Bild 6 neu zu gestalten.

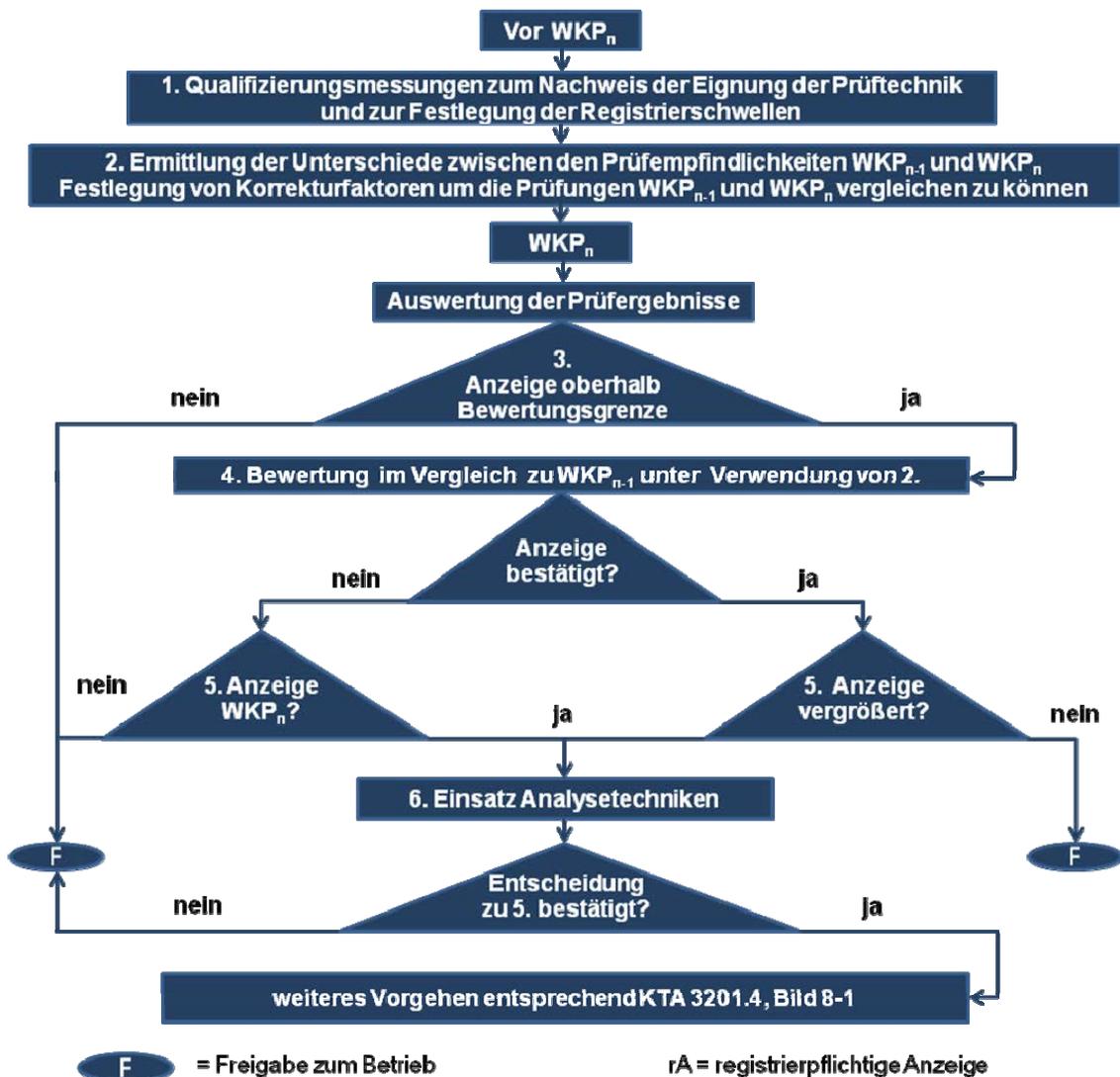


Bild 6. Ergänzung des Entscheidungsplanes KTA 3201.4, Bild 8-1 bei der Umsetzung des Regelwerkes zur Bewertung und zum Vergleich der Prüfergebnisse wiederkehrender Ultraschallprüfungen

4. Beispielbewertung einer wiederkehrenden Prüfung

Bei der Einstellung der Prüfeempfindlichkeit, ganz besonders bei Ultraschallprüfungen von austenitischen Schweißverbindungen, Schweißverbindungen zwischen ferritischen und austenitischen Stählen und bei der Prüfung von plattierten Oberflächen ergeben sich gegenüber der KTA 3201.4 in der Fassung 06/1999 entscheidende Änderungen. Anders als in der Vorgängerfassung erfolgt die Einstellung der Prüfeempfindlichkeit in der aktuellen KTA 3201.4 (11/10) an Bezugsnuten, die sich ausschließlich in geeigneten Vergleichskörpern befinden. Die Einstellung der Prüfeempfindlichkeit an einfachen, ebenen oder gekrümmten Blechen ohne dass der Einfluss einer Schweißnaht, einer Pufferung oder der Plattierung schon während der Qualifizierung ermittelt wurde, ist nicht mehr zulässig.

Die Vorgehensweise bei der Umsetzung des neuen Regelwerkes, um die Ergebnisse aufeinanderfolgender wiederkehrender Prüfungen (WKP) vergleichen zu können, ist durch die nachfolgendes Beispiel für die Bewertung von Anzeigen bei der Prüfung plattierter Oberflächen veranschaulicht:

$$RS_{WKP_{n-1}} = EH_{N3} - (AK_{PL} + AK_{BT} + AK_{KTA})$$

$$RS_{WKP_n} = EH_{NNr.2} - AK_{KTA}$$

Legende:

- RS = Registrierschwelle
- WKP_n = aktuelle wiederkehrende Prüfung
- WKP_{n-1} = vorangegangene wiederkehrende Prüfung
- EH_{N3} = Echohöhe an einer Nut 3 mm tief im unplattierten Vergleichskörper
- AK_{PL} = plattierungsbedingte Amplitudenkorrektur
- AK_{BT} = bauteilbedingte Amplitudenkorrektur
- AK_{KTA} = 6 dB KTA-Amplitudenkorrektur
- EH_{NNr.2} = Echohöhe an der Nut Nr. 2 (KTA 3201.4 (11/10), Abs. 4.2.3.3.4 (6) im plattieren Vergleichskörper (Nuttiefe = Plattierungsdicke + 3 mm))

Die Veränderung einer Anzeige (Anzeige vergrößert) ist dann anzunehmen, wenn die:

$$EH_{\text{Anzeige } WKP_n} \geq EH_{\text{Anzeige } WKP_{n-1}} + RS_{WKP_n} - RS_{WKP_{n-1}} + 6 \text{ dB}$$

ist. Für zukünftige WKP stehen die Ergebnisse der WKP_n als Basismessung für Anzeigenvergleiche zur Verfügung.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Auch mit dem Einsatz neuer Prüftechniken aufgrund eines erweiterten Eignungsnachweises und bei geänderter Vorgehensweisen bei der Einstellung der Prüfeempfindlichkeit muss die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wiederkehrender Prüfungen gewährleistet sein. Abhängig von neu eingeführten Bezugsreflektoren ändern sich die Registrierschwellen auch dann, wenn die eingesetzte Prüftechnik unverändert bleibt.

Nur durch die Durchführung einer Nachbewertung der Messdaten unter Berücksichtigung sämtlicher Randbedingungen ist es möglich, den unveränderten Zustand von Anzeigen nachzuweisen. Wir sind der Meinung, dass im Falle von bewertungspflichtigen Anzeigen die Nachbewertung durch eine Fehleranalyse (SAFT, TOFD) unterstützt werden sollte, die dann als weiterer Basisinformation für zukünftige Anzeigenvergleiche verwendet werden kann.

Die Anwendung des novellierten Regelwerkes bei der Qualifizierung, Durchführung und Bewertung von zerstörungsfreien Prüfungen führt im Ergebnis zu einer umfassenderen und verbesserten Prüfaussage.