

Implementierung eines Analysystems zur Quantifizierung des Leistungsvermögens Zerstörungsfreier Prüfsysteme

Daniel ALGERNON, Christoph KOHL, Harald TRAUTMANN, Michael SCHERRER

SVTI - Schweizerischer Verein für technische Inspektionen,
Nuklearinspektorat, Wallisellen, Schweiz

Kontakt: daniel.algernon@svti.ch

Kurzfassung. Sowohl bei der Personalqualifizierung als auch bei der Qualifizierung spezifischer Prüfvorschriften im Sinne einer Validierung insbesondere in der Kerntechnik, sind praktische Demonstrationen an Testkörpern mit repräsentativen Testfehlern von entscheidender Bedeutung. Der Entwurf geeigneter Testkörper erfolgt anhand von Kriterien wie Anzahl, Beschaffenheit, Orientierung, Größenbereich und örtlicher Verteilung der Testfehler auch in Abhängigkeit des zugrunde gelegten branchen- und länderspezifischen Regelwerks. Im Rahmen der praktischen Demonstration müssen die vom Prüfsystem bzw. Kandidaten an den Testkörpern in Form von Anzeigenlisten erbrachten Befunde mit den aus der Testkörperdokumentation hervorgehenden (As-Built) Angaben verglichen und quantitativ hinsichtlich der jeweils zugrundeliegenden Bewertungskriterien analysiert werden. Dies betrifft insbesondere die Detektion, Charakterisierung, Bestimmung der Längen- und Tiefenausdehnung und die Angabe der Lage im Volumen. Unter Zuhilfenahme der Statistik wird das Gesamtleistungsvermögen beurteilt.

In den von unterschiedlichen Kandidaten an verschiedenen Testkörpern mit individuellen Koordinatensystemen erbrachten Anzeigenlisten ist eine Vielzahl von Informationen enthalten, welche sich nicht immer auf den ersten Blick erschließen. Die intelligente Extraktion dieser Informationen erweist sich oft als komplex. Das hierzu an der Qualifizierungsstelle ZfP Schweiz (QSt) entwickelte und implementierte Auswertungssystem IndEva dient der objektiven, korrekten und möglichst aufschlussreichen Beurteilung von Prüfsystemen. Neben der Überprüfung der Erfüllung der Qualifizierungsanforderungen lassen sich kritische Testfehler ebenso schnell identifizieren wie Bereiche, an welchen sich Falschanzeigen häufen. Statistiken können hierin in Abhängigkeit einer Vielzahl von Parametern und Parameterkombinationen sehr effizient erstellt werden, so dass ein aussagekräftiges Bild hinsichtlich des Leistungsvermögens erhalten wird. Unterschiedliche und länderspezifische Verfahren der Auswertung können miteinander verglichen werden, wodurch sich ferner Erkenntnisse zur kontinuierlichen Weiterentwicklung des Qualifizierungsprozesses gewinnen lassen.

Einleitung

Zerstörungsfreie Prüfsysteme (ZfP-Systeme) zur Bewertung der strukturellen Integrität sicherheitsrelevanter Komponenten haben insbesondere in der Kerntechnik entscheidende Bedeutung. Entsprechend wichtig ist es, das Leistungsvermögen der hierbei angewendeten ZfP-Verfahren sowie des anwendenden Personals zu kennen, um die Zuverlässigkeit der Prüfaussage sicherzustellen.

Dies erfolgt in praktischen Demonstrationen [3,4,5,6,7] an Testkörpern mit darin enthaltenen Testfehlern. Bezüglich der Testfehler ist es wichtig, dass diese möglichst repräsentativ für die im Feld anzutreffenden Fehler sind. Grundsätzlich können reale Fehler, welche aus ausgetauschten Komponenten im Feld entnommen wurden, oder künstlich erzeugte Fehler, welche in Hinblick auf das einzusetzende Prüfverfahren mit realen Fehlern vergleichbar sind [1], zur Anwendung kommen. In jedem Falle muss für die eingesetzten Testfehler jeweils deren Beschaffenheit, Orientierung, Längen- und Tiefenausdehnung bekannt sein, da diese Angaben die Referenz zur Beurteilung des in der praktischen Demonstration erbrachten Leistungsvermögens des Prüfsystems bilden. Eine Verifikation der Testfehlereigenschaften, z.B. mit weiteren ZfP-Techniken im Labor oder ggf. mit mechanischen Messsystemen ist somit stets notwendig.

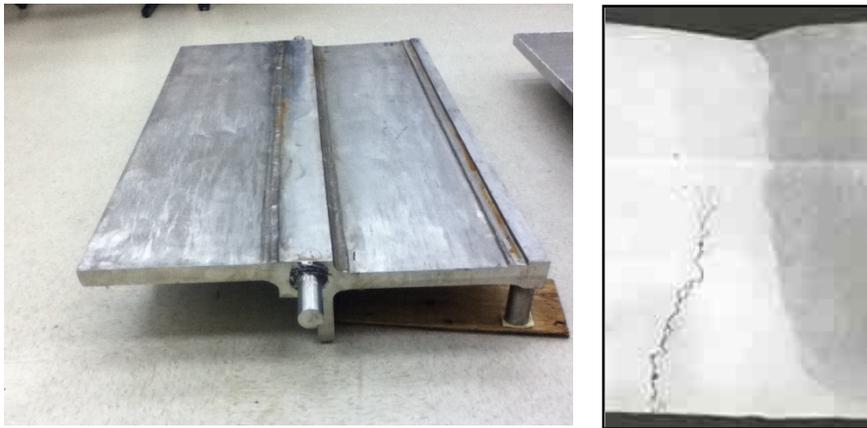


Abbildung 1: Beispiel für Testkörper.

Links: Testkörper zur Qualifizierung eines komponentenspezifischen Ultraschallprüfsystems.

Rechts: Testfehler im Querschnitt eines Testkörpers.

Im Vorfeld praktischer Demonstrationen werden die Testkörper und die darin einzubringenden Testfehler anhand von Kriterien wie Anzahl, Beschaffenheit, Orientierung, Größenbereich und örtlicher Verteilung der Testfehler geplant [2]. Hierbei ist das jeweils zugrundeliegende branchen- und länderspezifische Regelwerk zu beachten.

Im Zuge der praktischen Demonstration sind die Testkörper durch das Prüfsystem zu untersuchen. Unter einem Prüfsystem wird allgemein das Zusammenwirken einer anwendungsspezifischen Prüftechnik, niedergeschrieben in Form einer Prüfvorschrift, sowie der Prüfausrüstung (Prüfköpfe, Gerät, Manipulator, Kabel, etc.) und des entsprechenden Personals verstanden. Dementsprechend sind diese drei Bestandteile des Prüfsystems auch gleichermaßen zu qualifizieren, wobei jeweils unterschiedliche Vorgehensweisen zur Anwendung kommen. Dieser Beitrag soll jedoch vor allem Personalqualifizierungen und die Qualifizierung von Prüftechniken bzw. Prüfvorschriften behandeln.

Bei der Personalqualifizierung beschränkt sich die Leistungsbewertung naturgemäß auf die erzielten Ergebnisse jedes einzelnen Kandidaten für sich betrachtet [3,4]. Hierbei ist es wichtig, dass jeder Kandidat eine untereinander vergleichbare Auswahl von Testkörpern, Testkörperausschnitten bzw. Datensätzen enthält, worin eine ausreichende Anzahl gemäß

dem jeweiligen Regelwerk relevanter Testfehler mit ausreichender Variation der jeweiligen Testfehlerparameter enthalten ist.

Bei der Qualifizierung von Prüfvorschriften muss das Leistungsvermögen zwar (solange es sich nicht um ein wohl nur theoretisch denkbare komplett vollautomatisches Prüfsystem handelt) ebenso durch entsprechendes Personal demonstriert werden, jedoch steht hier nicht die Leistung des einzelnen Kandidaten sondern vielmehr das grundsätzliche Leistungsvermögen der in Prüfvorschrift niedergeschriebenen Vorgehensweise im Vordergrund. Demzufolge kann dieser Nachweis auch durch die zusammenfassende Auswertung der Ergebnisse mehrerer Kandidaten erbracht werden.

In jedem Falle ist zur Beurteilung des Leistungsvermögens ein Vergleich der im Rahmen der praktischen Demonstration erbrachten Ergebnisse mit den aus der Testkörperdokumentation hervorgehenden (As-Built) Angaben notwendig. Letztere bilden die Referenz zur Beurteilung des Leistungsvermögens. Das Prüfsystem bzw. die Kandidaten liefern ihre Ergebnisse in Form einer Auflistung sämtlicher detektierter und gemäß Prüfvorschrift als relevant befundener Fehler unter Angabe der Lage im entsprechenden Koordinatensystem sowie (je nach Qualifizierungsziel) Längen- und Tiefenausdehnung, Charakterisierung und Orientierung. Anhand der je nach Komplexität des Qualifizierungsvorhabens u.U. beträchtlichen Anzahl von Kandidat/Testset-Kombinationen muss schließlich das Leistungsvermögen des gesamten Prüfsystems bzw. jedes einzelnen Kandidaten hinsichtlich der gestellten Prüfaufgabe quantifiziert werden.

Faktoren, die beim quantitativen Abgleich einer gewissen Aufmerksamkeit bedürfen, sind u.a.:

- unterschiedliche Koordinatensysteme der Testkörperdokumentation gegenüber dem laut Prüfvorschrift zu verwendenden Koordinatensystem
- polare gegenüber kartesischen Koordinatenangaben
- unterschiedliche Beschreibung der Testfehlerlage z.B. als Winkel oder Längenangabe
- unterschiedliche Einheiten
- räumliche Winkellage
- etc.

Die Ergebnisse praktischer Demonstrationen enthalten oft wertvolle Informationen hinsichtlich des Leistungsvermögens, welche aufgrund ihrer Komplexität nicht immer auf den ersten Blick erkennbar sind und entsprechend extrahiert werden müssen, u.a. unter Zuhilfenahme der Statistik.

Die Vorgehensweise hinsichtlich der Analyse praktischer Demonstrationen muss also mit dem Ziel erfolgen, die oben beschriebene Komplexität zu bewältigen, die Auswertung korrekt durchzuführen, die in den Ergebnissen enthaltenen Informationen möglichst ergiebig zu extrahieren, und diese übersichtlich zusammenzufassen und anschaulich darzustellen. Zu diesem Zwecke wurde im Nuklearinspektorat des SVTI die Analysesoftware IndEva [8] für die Qualifizierungsstelle ZfP Schweiz entwickelt.

Die unterschiedlichen Gesichtspunkte dieses Analysesystems und die daraus zu gewinnenden Erkenntnisse sollen in diesem Beitrag beleuchtet werden.

Konzeption des Analysesystems IndEva

In praktischen Demonstrationen bearbeiten die Kandidaten im Normalfall eine Vielzahl von Testkörpern oder Testkörperabschnitten. Diese einzelnen Bearbeitungsabschnitte werden in der Qualifizierungspraxis oft als Testsets bezeichnet.

Dabei kann es sein, dass gewisse Testsets von mehreren Kandidaten bearbeitet werden, insbesondere, wenn im Rahmen der Qualifizierung einer Prüfvorschrift gilt, dass jeder relevante Fehler zu detektieren ist, jedoch jeder einzelne Prüfer für sich gesehen diese Anforderungen nicht erfüllen kann und auch nicht muss. Ebenso gilt, dass nicht jeder Kandidat jedes Testset bearbeiten muss, sondern lediglich eine Auswahl, welche dem Qualifizierungsziel und dem entsprechenden Regelwerk gerecht wird.

So ergibt sich innerhalb eines Qualifizierungsvorhabens eine Zuordnung von Testsets zu Kandidaten in Form einer Matrix, wie sie exemplarisch in Abbildung 2 dargestellt ist.

	Kandidat 1	Kandidat 2	Kandidat 3	...
Testset 1	X		X	
Testset 2		X		
Testset 3	X			
Testset 4		X	X	
...				

Abbildung 2: Zuordnungsmatrix zwischen Testsets und Kandidaten

Aus dieser Matrix ergeben sich die für die Qualifizierung relevanten folgenden vier Betrachtungs- bzw. Analyseebenen:

1. Einzelnes Testset, bearbeitet von einem Kandidaten, entsprechend einem einzelnen Feld der Matrix.
2. Alle Testsets, die von einem einzelnen Kandidaten bearbeitet wurden, entsprechend allen ausgefüllten Feldern entlang einer Spalte der Matrix.
3. Einzelnes Testset mit allen Kandidaten, welche dieses Testset bearbeitet haben, entsprechend allen ausgefüllten Feldern entlang einer Zeile der Matrix.
4. Die Gesamtheit aller Testsets bearbeitet durch mindestens einen oder mehrere Kandidaten, entsprechend der kompletten Matrix.

In der Qualifizierungspraxis sind vor allem die Ebene 2 für die Personalqualifizierung sowie die Ebene 4 für die Qualifizierung einer Prüfvorschrift im Sinne einer Validierung von Wichtigkeit, da auf diesen Ebenen die Bescheinigung des Leistungsvermögens in Form von Zertifikaten erfolgt. Auf der Ebene 1 lassen sich zusätzliche Details in Hinblick darauf analysieren, welches Testset einem Kandidaten besonders leicht bzw. schwer fiel, um so individuelle Stärken oder Schwächen erkennen zu können. Die Ebene 3 ist vor allem relevant, um die Schwierigkeit der einzelnen Testsets erkennen zu können.

Die Testset-/Kandidaten-Matrix bildet ein zentrales Element des Analysesystems *IndEva*.

Der eigentliche Abgleich der Kandidatenbefunde mit der Testkörperdokumentation (As-Built) erfolgt auf der Ebene 1, die Ergebnisse aller anderen Ebenen ergeben sich aus einer wie oben beschrieben zusammenfassenden Betrachtung der einzelnen Ebene 1-Abgleiche.

Für die Auswertung wird zunächst die As-Built-Information jedes Testsets eingelesen. Hierbei kann das Bezugssystem der einzelnen Testkörper durchaus auch dann beibehalten werden, wenn dieses vom Koordinatensystem gemäß Prüfvorschrift abweicht; die entsprechende Umrechnung erfolgt durch das Analysesystem nach den entsprechenden Eingaben für die Koordinatentranslation, -drehung oder -streckung. Gleiches gilt für die Eingabe der Anzeigenliste des entsprechenden Kandidaten.

Es ist möglich, einzelne Testfehler als nicht-relevant zu deklarieren, welche von den Kandidaten nicht gefunden werden müssen. Die Gründe dafür können verschiedenartig sein, z.B. wenn die Testfehlergröße unterhalb jener gemäß den Qualifizierungsanforderungen liegt oder aber der Testfehler in seiner Beschaffenheit von der Spezifikation abweicht.

Der Abgleich beginnt zunächst mit der Prüfung hinsichtlich erfolgreicher Detektion sämtlicher relevanter Testfehler des entsprechenden Testsets. Ein Testfehler gilt als gefunden, wenn ein vom Nutzer (Qualifizierungsstelle) gemäß der zugrunde gelegten Richtlinie definierter Anteil (im Allgemeinen 50%) innerhalb eines Rechtecks mit ebenfalls gemäß Richtlinie definierten Kantenlängen liegt. Liegt weniger als der definierte Anteil der Kandidatenanzeige im Rechteck, so gilt der Testfehler als nicht detektiert und es ergibt sich zusätzlich eine Falschanzeige für die gemeldete, jedoch nicht mehr dem eigentlichen Testfehler zugeordnete Anzeige.

Das Analysesystem nimmt auf diese Weise eine Zuordnung der gemeldeten Anzeigen mit den zugehörigen detektierten Testfehlern vor. Daran schließen sich weitere Auswertungen, insbesondere die Größenbestimmung (Längen- und Tiefenbestimmung), oder die korrekte Charakterisierung z.B. als Längs- oder Querfehler, ausgehend von der Innen- oder Außenoberfläche (*ID* oder *OD*), an.

Hinsichtlich der Größenbestimmung werden jeweils die Abweichungen der gemeldeten Anzeige von der als wahr angenommenen As-Built-Information für jeden einzelnen Testfehler bestimmt. Aus diesen Abweichungen lässt sich durch Anwendung verschiedener und ggf. nach Regelwerk vorgegebener statistischer Berechnungsverfahren (Root Mean Square *RMS*, Standardabweichung und Mittelwert, Quantilwert) ein Gesamtergebnis auf allen Auswertungsebenen formulieren.

Der Abgleich hinsichtlich der Charakterisierung erfolgt für alle detektierten Testfehler, d.h. das bestmögliche Ergebnis für eine erfolgreiche Charakterisierung kann maximal dem der Detektion entsprechen.

Die Falschanzeigen, d.h. gemeldete Anzeigen, welche keinem Testfehler zuzuordnen sind, werden als Summe über die entsprechende Auswertungsebene angegeben. Darüber hinaus wird die Summe auch bezogen auf die Untersuchungsfläche bzw. Untersuchungslänge (bei Schweißnähten) ausgegeben (z.B. 3 Falschanzeigen pro Meter).

Die Qualifizierungsanforderungen sind vom Nutzer (Qualifizierungsstelle) einzugeben. Basierend darauf kommt das System zu dem Schluss, ob die Qualifizierung bestanden wurde oder nicht, d.h. auf der Ebene 2 im Falle einer Personalqualifizierung oder auf der Ebene 4 im Falle der Qualifizierung einer Prüfvorschrift.

Anhand der Datenbasis lässt sich darüber hinaus eine Vielzahl weiterer Informationen extrahieren. Eine Häufung von Falschanzeigen innerhalb eines Bereiches eines Testsets wird durch das System explizit angezeigt. Eine Übersicht auf Ebene 3 und 4 gibt an, welche Ergebnisse (Detektion, Charakterisierung, Tiefenbestimmung, Längenbestimmung) für jeden einzelnen Fehler über alle Kandidaten, welche diesen Testfehler bearbeitet haben, insgesamt betrachtet erzielt wurden. Diese Betrachtung kann sowohl in Form eines Mittelwertes, Medianwertes, Maximums oder Minimums erfolgen. Ebenso lassen sich derartige Betrachtungen für Testfehlerkategorien, d.h. Längen- oder Tiefenausdehnungsbereich bzw. von der Innen- oder Außenoberfläche ausgehend anstellen. So lassen sich Stärken oder Schwächen innerhalb des Prüfsystems oder auch bei einzelnen Kandidaten gut identifizieren, um gegebenenfalls eine Basis für zielgerichtete Lösungsansätze zu bieten.

Die Ergebnisse lassen sich in unterschiedlichen Formen ausgeben oder graphisch veranschaulichen. Eine übersichtliche tabellarische sowie graphische Darstellung von Testfehlern und Anzeigen sowie deren Zuordnung zueinander, die Hervorhebung kritischer Testfehler bzw. von Falschanzeigen, eine intuitive Bedienbarkeit sowie die komfortable

Erstellung von Berichten tragen maßgeblich zum effizienten und korrekten Einsatz des Systems bei.

Bedieneranforderungen an das Analysesystem

Die relevanten Testfehlerparameter lassen sich in Form von Testsets komfortabel einlesen, wobei eine Kompatibilität mit dem für Tabellen üblichen *csv*-Format gegeben ist. Gleiches gilt für die Eingabe der Anzeigenlisten der Kandidaten. Sämtliche eingegebenen Informationen müssen sich auf einfache Weise speichern und später wieder öffnen lassen.

Die einzelnen Testfehler bzw. gemeldeten Anzeigen der Kandidaten werden beschrieben durch folgende Angaben:

- Lage des Fehlers: Aussenoberfläche (*OD*), Innenoberfläche (*ID*), im Volumen (*Embedded*)
- Orientierung des Fehlers: *Axial/Circumferential*
- Koordinaten der Fehlerposition (*X1,Y1*), (*X2,Y2*) oder wahlweise (*X,Y*) und Winkel.
- Länge des Fehlers (*Length*)
- Tiefenausdehnung des Fehlers (*Height*)

Der Benutzer kann sowohl metrische Einheiten als auch Inch verwenden. Die Eingabe von Umfangskordinaten bei zylindrischen Bauteilen kann sowohl als Umfangslänge als auch als Winkel erfolgen. Eine entsprechende Umrechnung erfolgt durch das Programm selbst.

Koordinatenursprungsverschiebungen (*Addition*) und Koordinateninvertierungen (*Faktor*) zur Berücksichtigung unterschiedlicher Koordinatensysteme von Testkörperinformationen und Anzeigelisten sind einfach möglich.

Die Testfehler können einschließlich des sie umgebenden Toleranzfensters in übersichtlichen Abwicklungsdarstellungen gemeinsam mit den gemeldeten Anzeigen der Kandidaten ausgegeben werden.

Nicht-detektierte Testfehler, Falschanzeigen sowie durch den Benutzer frei selektierbare Testfehler und Anzeigen lassen sich deutlich hervorheben.

Die Zuordnung der gemeldeten Anzeigen zu den entsprechenden Testfehlern erfolgt automatisch.

Alle Testfehler lassen sich an- und ausschalten, d.h. auch aus der Bewertung ausklammern.

Für alle detektierten Fehler werden die Längen- und Tiefenabweichungen bestimmt und diese zusammenfassend als *Root Mean Square (RMS)* oder als Standardabweichung mit Mittelwert ausgewertet.

Allgemein werden die erzielten Resultate hinsichtlich der vom Benutzer festzulegenden Anforderungen bezüglich Detektion, Charakterisierung, Falschmeldungen, Tiefenausdehnungsbestimmung und Längenbestimmung bewertet.

Per Mausclick lässt sich ein vollständiger Bericht erstellen, der im *pdf*-Format ausgegeben wird und die gesamte Auswertung detailliert dokumentiert.

Demonstration der Anwendung an einem fiktiven Beispiel

Die Umsetzung des oben beschriebenen Konzeptes soll anhand eines fiktiven Praxisbeispiels demonstriert werden. Sämtliche dargestellten Kandidatennamen,

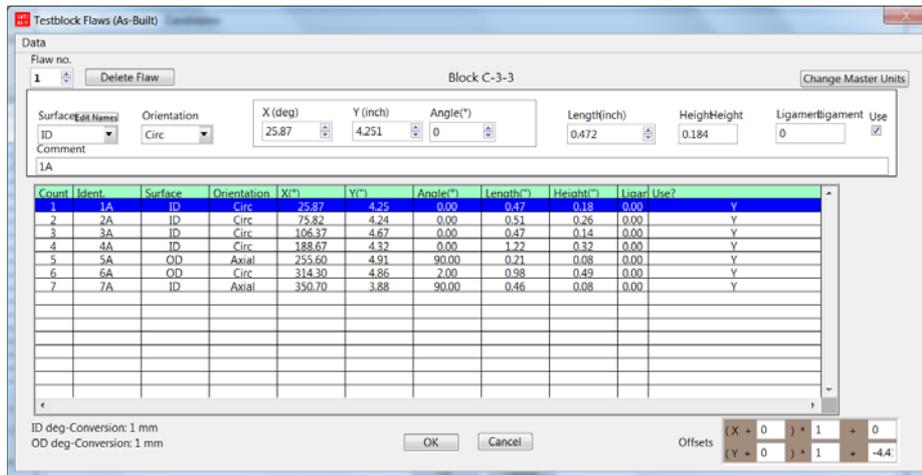


Abbildung 5: Eingabe der Testblock As-Built Information in IndEva

Anschließend werden die Kandidaten benannt, die von Ihnen erstellten Anzeigenlisten eingegeben und den jeweiligen Testsets zugeordnet (Abbildung 3 und Abbildung 6). Auch hier können die *Master Units* frei definiert werden.

Zusätzlich können sowohl für die Testsets als auch für die Anzeigenlisten der Kandidaten Offsets und Skalierungen sowohl in X- als auch in Y-Richtung definiert werden in der Form:

$$(X + \text{Offset } a_x) * \text{Faktor } b_x + \text{Offset } c_x$$

$$(Y + \text{Offset } a_y) * \text{Faktor } b_y + \text{Offset } c_y$$

Damit werden Koordinateninvertierungen, -verschiebungen und -streckungen einfach ermöglicht.

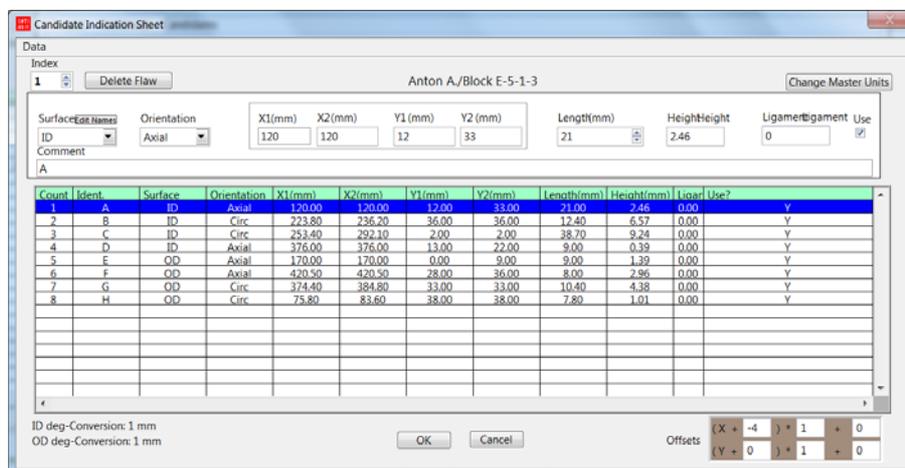


Abbildung 6: IndEva Eingabefenster für die Anzeigenlisten der Kandidaten bezüglich der jeweiligen Testsets

Die Testfehler eines jeden Testsets werden in graphischen Darstellungen abgebildet. Um den Testfehler herum wird ein Rechteck gezeichnet, welches das Toleranzfenster darstellt, innerhalb dessen die Kandidatenanzeige mit mindestens 50% der Längenausdehnung liegen muss, um den Testfehler als erfolgreich detektiert zu bewerten. Die Größe des Toleranzfensters wird in einer Eingabemaske bezüglich der Qualifizierungsanforderungen vom Nutzer festgelegt. In derselben Darstellung werden nun auch die von den Kandidaten notierten Anzeigen geplottet, und so übersichtliche Darstellungen für die jeweils betrachteten Volumenbereiche generiert werden. Interaktiv

lassen sich sämtliche nicht-detektierten Testfehler, Falschanzeigen oder andere individuell selektierte Testfehler bzw. Anzeigen hervorheben.

Die tabellarische Auflistung der Testsetparameter gibt auch Aufschluss darüber, ob der jeweilige Testfehler detektiert und charakterisiert wurde, und mit welchen Abweichungen dh für die Tiefenbestimmung und dL für die Längenbestimmung dessen Größe bestimmt wurde. Neben der qualitativen Angabe ob der Fehler erfolgreich detektiert wurde, erhält der Qualifizierungsexperte auch ein quantitatives Maß darüber, mit welchem prozentualen Anteil ihrer Länge die Anzeige innerhalb des Toleranzfensters liegt, da im Normalfall ein Anteil von 50% ausreichend ist, damit der Fehler als detektiert gilt. Der genaue Wert kann jedoch in der Eingabemaske zu den Qualifizierungsanforderungen frei definiert werden.

Die Beschriftung der Testfehler und Anzeigen kann durch den Nutzer je nach Belieben ein- oder ausgestellt werden.

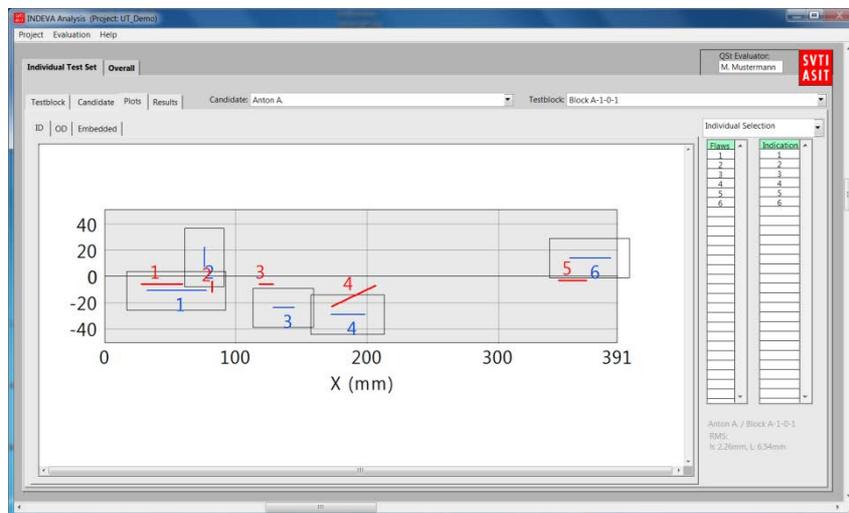


Abbildung 7: Graphische Darstellung der Testfehler eines Testsets einschließlich der Toleranzfenster sowie der entsprechenden Anzeigen der Kandidaten.

Neben der Ausgabe der Ergebnisstatistik des Kandidaten bezogen auf ein spezifisches Testset erfolgt die Ausgabe der Ergebnisstatistik bezogen auf sämtliche von diesem Kandidaten bearbeiteten Testsets (Abbildung 8) mit der schlussendlichen Beurteilung, ob dieser jede einzelne der Qualifizierungsanforderungen erfüllt und die (Personal-)Qualifizierung bestanden hat.

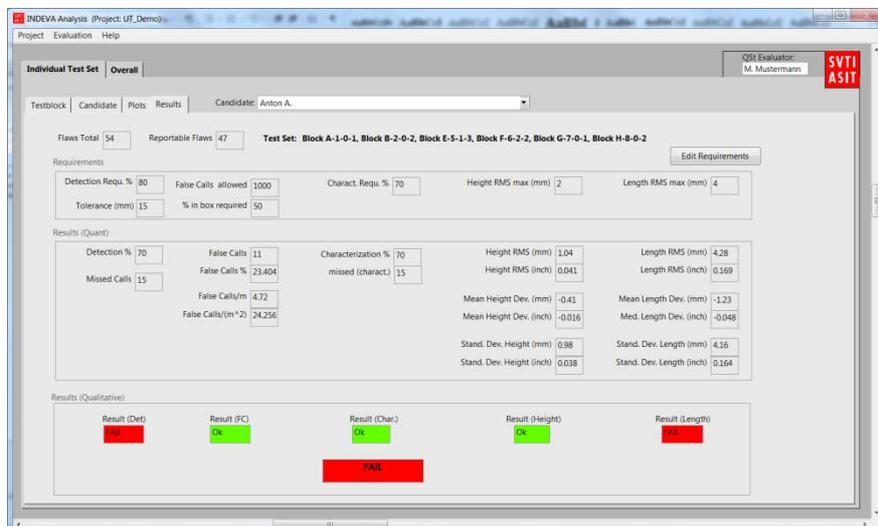


Abbildung 8: Ergebnisübersicht bezogen auf einen Kandidaten.

Insbesondere für die Qualifizierung von Prüfvorschriften ist nicht nur das Abschneiden der einzelnen Kandidaten von Interesse, sondern vielmehr das Gesamtergebnis, d.h. ob in sämtlichen Testsets jeder Testfehler (egal von welchem Kandidaten) erfolgreich detektiert wird und ob das statistische Ergebnis hinsichtlich der Abweichungen in Längen- und Tiefenbestimmungen innerhalb der in den Qualifizierungsanforderungen spezifizierten Grenze liegt. Dafür ist eine Auswertung notwendig, die alle Testsets unabhängig vom einzelnen Kandidaten betrachtet (Abbildung 9).

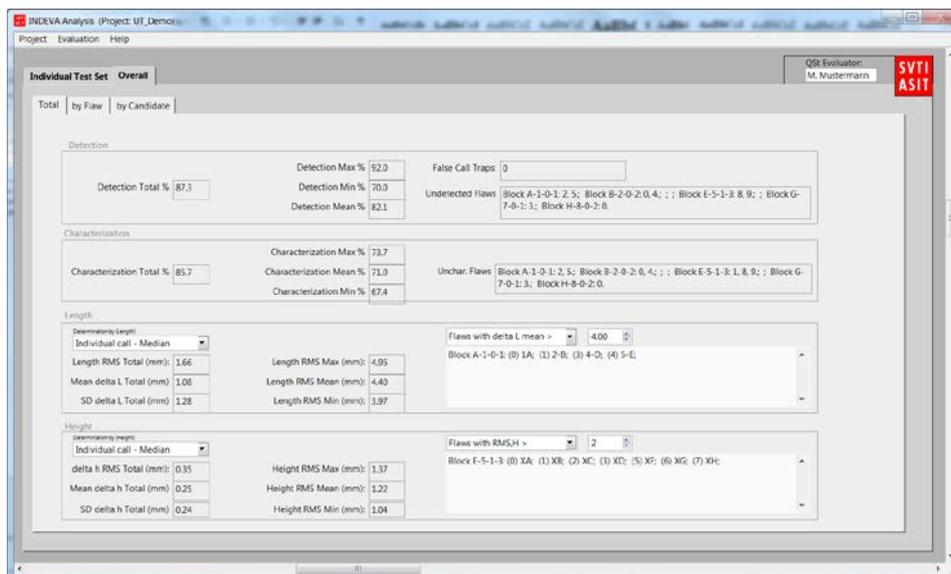


Abbildung 9: Ergebnisübersicht bezüglich der Gesamtheit aller Testsets.

Darin werden hinsichtlich der einzelnen Bewertungskriterien die Ergebnisse unabhängig von den einzelnen Kandidaten als *Total*-Wert ausgegeben und zusätzlich sowohl die Mittelwerte als auch die in der jeweiligen Bewertungskategorie erzielten besten und schlechtesten Ergebnisse der Kandidaten angegeben.

Wenn ein Testfehler von mehreren Kandidaten bearbeitet wurde, ist hinsichtlich der Berechnung der *Total*-Werte für die Längen- und Tiefenbestimmung zu beachten, dass unterschiedliche Vorgehensweisen möglich sind, die entsprechend auch zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Grundsätzlich muss sich der Nutzer entscheiden, welcher Abweichungswert für die Berechnung herangezogen werden soll (Abbildung 10).

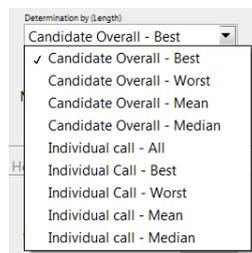


Abbildung 10: Auswahlfeld hinsichtlich der für die zusammenfassende Auswertung heranzuziehenden Abweichungswerte.

Werden sämtliche vorliegenden Werte herangezogen, kann das dann ein Problem sein, wenn nicht alle Testfehler von gleich vielen Kandidaten bearbeitet bzw. detektiert wurden, da dann den einzelnen Testfehlern im Prinzip unterschiedliche Wichtungen zukommen. Wird hingegen für jeden Testfehler jeweils das Ergebnis mit der geringsten Abweichung herangezogen, dann wird das Gesamtergebnis besser ausfallen, als wenn

jeweils der Mittelwert, Medianwert oder gar das Ergebnis mit der größten Abweichung herangezogen wird. Auch denkbar ist, dass nur die Ergebnisse des jeweiligen Kandidaten herangezogen werden, der bezogen auf das jeweils betrachtete Testset (nicht jedoch unbedingt auf jeden einzelnen Testfehler) die insgesamt besten Ergebnisse, d.h. die geringsten Abweichungen erzielen konnte. Die Vorgehensweise muss durch den Nutzer bzw. die entsprechende Qualifizierungsstelle gewählt werden. Andererseits lassen sich so die Ergebnisse der unterschiedlichen Vorgehensweisen vergleichen.

Es erfolgt eine Ausgabe der Testfehler, welche von keinem Kandidaten erfolgreich detektiert bzw. charakterisiert wurden. Zusätzlich können Testfehler ausgegeben werden, deren Abweichung in der Größenbestimmung einen vom Benutzer einzugebenden statistischen Wert oder auch einen Absolutwert überschreitet.

Ebenso lassen sich die statistisch ausgewerteten Ergebnisse unter Einbeziehung aller Kandidaten, die einen bestimmten Testfehler bearbeitet haben, pro Testfehler ausgeben. Dies kann sowohl in tabellarischer (Abbildung 11) als auch in graphischer Form (Abbildung 12) erfolgen. Bei der graphischen Ausgabe kann die jeweils darzustellende berechnete Größe vom Nutzer ausgewählt werden.

The screenshot shows the INDEVA Analysis software interface. The main window displays a table with columns for 'Block', 'Flaw', 'Line', 'Detection', 'Characterization', 'Delta Height (mm)', and 'Delta Length (mm)'. The table lists results for various blocks (e.g., Block F-6-2-2, Block G-7-0-1, Block H-8-0-2) and candidates (e.g., AA, BB, CC, DD, EE, FF, GG, HH, II, JJ, KK, LL, MM, NN, OO, PP, QQ, RR, SS, TT, UU, VV, WW, XX, YY, ZZ). The 'Delta Height' and 'Delta Length' columns contain statistical data such as 'min', 'mean', and 'max' values.

Block	Flaw	Line	Detection	Characterization	Delta Height (mm)	Delta Length (mm)
Block F-6-2-2	6 F	FF	Y	1/2	min: 1.76, mean: 1.76, max: 1.76	min: 2.14, mean: 2.14, max: 2.14
Block F-6-2-2	7 F	GG	Y	2/2	min: 0.01, mean: 0.07, max: 0.14	min: 1.11, mean: 1.11, max: 1.11
Block F-6-2-2	8 F	HH	Y	1/2	min: 0.04, mean: 0.04, max: 0.04	min: 3.63, mean: 3.63, max: 3.63
Block F-6-2-2	9 F	II	Y	1/2	min: 0.07, mean: 0.07, max: 0.07	min: 3.00, mean: 3.00, max: 3.00
Block F-6-2-2	10 F	JJ	Y	2/2	min: 0.01, mean: 0.08, max: 0.14	min: 1.15, mean: 2.50, max: 3.85
Block F-6-2-2	11 F	KK	Y	2/2	min: 0.04, mean: 0.11, max: 0.19	min: 0.42, mean: 0.42, max: 0.42
Block F-6-2-2	12 F	LL	Y	2/2	min: 0.08, mean: 0.14, max: 0.19	min: 1.11, mean: 2.41, max: 3.71
Block G-7-0-1	AA	Y	3/3	3/3	min: 0.96, mean: 1.15, max: 1.45	min: 4.72, mean: 7.32, max: 9.92
Block G-7-0-1	BB	Y	3/3	3/3	min: 0.17, mean: 1.19, max: 3.02	min: 0.17, mean: 5.06, max: 13.17
Block G-7-0-1	CC	N	0/3	0/3	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00
Block G-7-0-1	DD	Y	0/3	0/3	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00
Block G-7-0-1	EE	Y	3/3	3/3	min: 0.08, mean: 0.35, max: 0.58	min: 16.80, mean: 16.80, max: 16.80
Block G-7-0-1	FF	N	0/3	0/3	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00
Block G-7-0-1	GG	Y	3/3	3/3	min: 0.13, mean: 0.20, max: 0.28	min: 0.18, mean: 1.21, max: 2.08
Block G-7-0-1	HH	Y	3/3	3/3	min: 0.38, mean: 0.64, max: 0.82	min: 0.01, mean: 0.05, max: 0.07
Block H-8-0-2	1 AA	Y	0/2	0/2	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00	min: 0.00, mean: 0.00, max: 0.00
Block H-8-0-2	2 BB	Y	2/2	2/2	min: 0.45, mean: 0.45, max: 0.45	min: 0.85, mean: 1.00, max: 1.15
Block H-8-0-2	3 CC	Y	2/2	2/2	min: 0.07, mean: 0.09, max: 0.12	min: 1.08, mean: 1.50, max: 1.92
Block H-8-0-2	4 DD	Y	2/2	2/2	min: 0.06, mean: 0.66, max: 1.27	min: 0.57, mean: 0.90, max: 1.22
Block H-8-0-2	5 EE	Y	2/2	2/2	min: 0.13, mean: 0.20, max: 0.27	min: 0.12, mean: 0.44, max: 0.77
Block H-8-0-2	6 FF	Y	2/2	2/2	min: 0.29, mean: 0.53, max: 0.77	min: 0.91, mean: 1.93, max: 2.91
Block H-8-0-2	7 BB	Y	2/2	1/2	min: 0.59, mean: 0.72, max: 0.85	min: 0.38, mean: 0.95, max: 1.52
Block H-8-0-2	8 DD	Y	2/2	2/2	min: 0.29, mean: 0.40, max: 0.51	min: 1.48, mean: 1.48, max: 1.48
Block H-8-0-2	9 AA	Y	2/2	2/2	min: 0.75, mean: 1.10, max: 1.45	min: 1.09, mean: 1.09, max: 1.09
Block H-8-0-2	10 LL	Y	2/2	2/2	min: 0.02, mean: 0.07, max: 0.11	min: 0.20, mean: 0.20, max: 0.20
Block H-8-0-2	11 SD	Y	2/2	2/2	min: 0.20, mean: 0.24, max: 0.29	min: 0.70, mean: 0.70, max: 0.70
Block H-8-0-2	12 MC	Y	2/2	2/2	min: 0.11, mean: 0.30, max: 0.48	min: 1.11, mean: 1.11, max: 1.11

Abbildung 11: Ergebnisübersicht pro Testfehler in tabellarischer Form unter Einbeziehung aller Kandidaten, die den jeweiligen Testfehler bearbeitet haben.

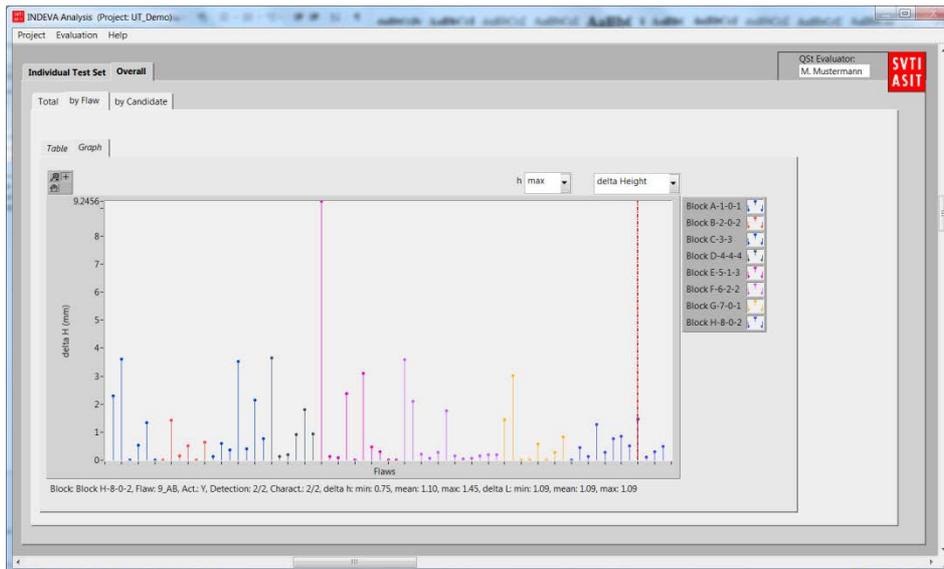


Abbildung 12: Ergebnisübersicht pro Testfehler in graphischer Form unter Einbeziehung aller Kandidaten, die den jeweiligen Testfehler bearbeitet haben.

In der graphischen Darstellung in Abbildung 12 sind die zum selben Testset gehörenden Testfehler jeweils in einer Farbe geplottet. Mit dem Cursor lassen sich Testfehler für die Detailausgabe sämtlicher Ergebnisse auswählen.

Darüber hinaus lässt sich auch das Abschneiden der Kandidaten untereinander zusammenfassend entweder in tabellarischer (Abbildung 13) Form oder in einer graphischen Darstellung (Abbildung 14) vergleichen.

Cand. no.	Candidate Name	Detection %	Characterization %	False Calls	Height RMS (mm)	Length RMS (mm)	PASS/FAIL
1	Anton A.	70.00	70.00	11 (23.40%)	1.04	4.28	NO (Dt: no, Ch: ok, FC: ok, H: ok, L: no)
2	Beta B.	92.00	88.00	4 (14.81%)	1.23	4.95	NO (Dt: ok, Ch: ok, FC: ok, H: ok, L: no)
3	Charlie C.	84.37	81.25	6 (17.65%)	1.37	3.97	Yes

Abbildung 13: Ergebnisübersicht pro Kandidat für die einzelnen Bewertungskriterien und als Gesamtergebnis in tabellarischer Form.

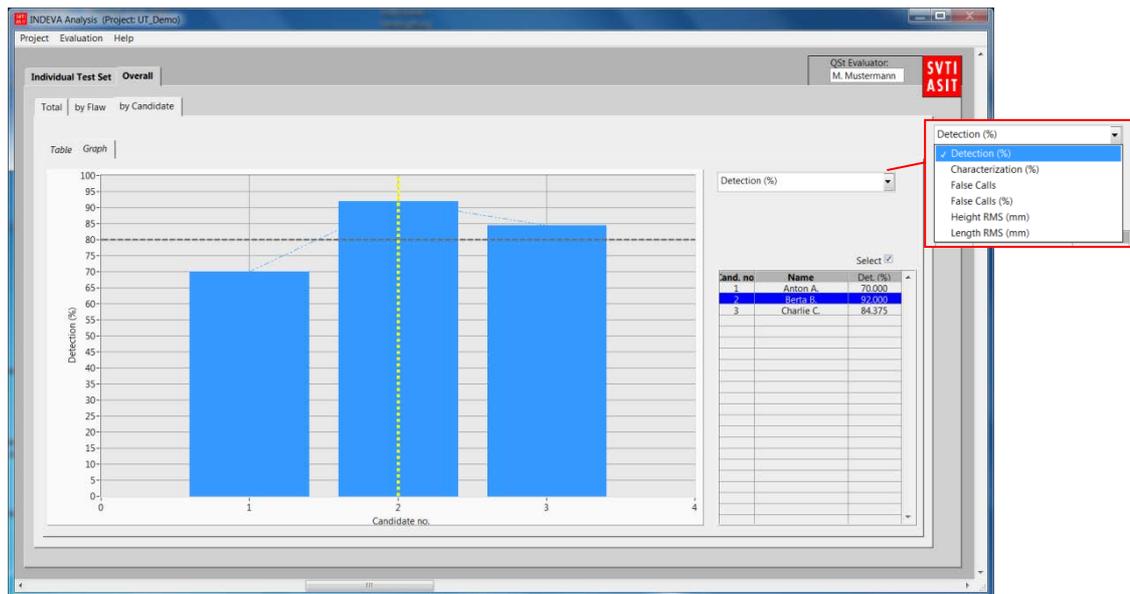


Abbildung 14: Graphische Darstellung der Ergebnisübersicht pro Kandidat bezogen auf ein jeweils auswählbares einzelnes Bewertungskriterium.

Schlussfolgerung

Für die korrekte Bewertung von praktischen Demonstrationen im Rahmen von Qualifizierungsvorhaben bedarf es einer strukturierten Vorgehensweise, welche mit dem in diesem Beitrag vorgestellten Analysesystem *IndEva* in sehr effizienter Form ermöglicht wird. Über den notwendigen Abgleich mit den Qualifizierungsanforderungen hinaus lassen sich hiermit die in den Auswertungen verborgenen Informationen extrahieren und ein aussagekräftiges Bild hinsichtlich des Leistungsvermögens des gesamten Prüfsystems einerseits und einzelner Kandidaten andererseits erstellen. Kritische Testfehler und Testfehlerkategorien lassen sich schnell identifizieren und somit Schwachstellen identifizieren, um so gezielte Verbesserungen zu ermöglichen.

Danksagung

Die Autoren danken dem Schweizerischen Lenkungsausschuss Qualifizierung (LAQ) für die Finanzierung der Entwicklung des Analysesystems *IndEva*.

Weiter sei den Assistenten und Fachexperten der Qualifizierungsstelle ZfP Schweiz für wertvolle Anregungen hinsichtlich der Entwicklung gedankt.

Referenzen

1. Virkkunen, I., Kempainen, M., Ostermeyer, H., Paussu, R. and T. Dunhill: Grown cracks for NDT development and qualification. *Insight* Vol. 51, No. 5, pp. 1-5, (2009).
2. Rössler, G., Trautmann, H. und M. Scherrer: Auswahl von geeigneten Testfehlern unter Berücksichtigung der Komponenteneigenschaften, des Schädigungsmechanismus und des ausgewählten ZfP-Verfahrens. Tagungsband der DACH-Jahrestagung 2015, (eingereicht).
3. The European Methodology for Qualification of Non-destructive Testing, Third Issue, EUR 22906 EN, published by the European Commission, Brussels-Luxembourg, (2007).
4. Guideline ENSI B07 Sicherheitstechnisch klassierte Behälter und Rohrleitungen: Qualifizierung der zerstörungsfreien Prüfungen. Guideline, Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat, effective since Sept. 30, 2008.
5. Dressler, K., Ernst, H., Scherrer, M. und Trautmann, H.: Qualifizierung von Prüfsystemen für wiederkehrende Prüfungen in Schweizer Kernkraftwerken. Tagungsband der DGZfP-Jahrestagung 2009, <http://www.ndt.net/article/dgzfp2009/Inhalt/mi1b3.pdf>, (2009).
6. Dressler, K. und Trautmann, H.: ENIQ based Qualification of NDE Systems in Small Countries - Example Switzerland. Proceedings of the 8th International Conference on NDE in Relation to the Structural Integrity of Nuclear and Pressurized Components, (2010).
7. Dressler, K., Ernst, H., Scherrer, M. and Trautmann, H: International Acceptance of NDE Qualification Results and Cooperation of National Qualification Bodies. Proceedings of the 9th International Conference on NDE in Relation to the Structural Integrity of Nuclear and Pressurized Components, Seattle, (2012).
8. IndEva User Manual. Qualifizierungsstelle ZfP Schweiz, (2014).