

Schulung zur zuverlässigen Ortung von Bewehrung in Stahlbetonbauteilen von Kraftwerken

Alexander TAFFE*, Martin SPIES**, Jörg RECKNAGEL***

*Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Unter den Eichen 87, 12205 Berlin, Tel. 030-8104-4244, Email Alexander.Taffe@bam.de

**Fraunhofer Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik ITWM, Fraunhofer-Platz 1, 67663 Kaiserslautern, Tel. 0631-31600-4276, Email Martin.Spies@itwm.fraunhofer.de

***RWE Power AG, Kraftwerk Biblis, Nachrüstung, Postfach 1140, 68643 Biblis

Kurzfassung. In kerntechnischen Anlagen werden Revisionszeiträume genutzt, um unter anderem Anlagenteile nach dem Stand der Technik zu ertüchtigen und um Nachrüstungsmaßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit durchzuführen. Solche Anlagenteile werden häufig mittels Dübelplatten befestigt. Die Dübel sind in Stahlbetonbauteile einzubringen, die kraftwerkstypisch mit dichter Bewehrung versehen sind. Zerstörungsfreie Untersuchungen zur genauen Ortung bewehrungsfreier Orte sind hierzu erforderlich. Bei dieser vermeintlich einfachen Prüfaufgabe wurde deutlich, dass in der Praxis Bedarf an verbesserter Anwendungssicherheit der zur Verfügung stehenden ZFP-Verfahren besteht, die eng mit der Ausbildung von Prüfern verbunden ist. Dieser Beitrag berichtet über die bislang im Bereich ZfPBau erstmalig umgesetzte Strategie aus Verfahrensanweisung und Schulung zur zuverlässigen Ortung von Bewehrung an Stahlbetonbauteilen. Sie kann als Muster für weitere ZfPBau-Schulungen zur zuverlässigen Anwendung der Verfahren dienen.

(Dieser Beitrag wurde bereits bei der Jahrestagung 2011 der DGZfP veröffentlicht.)

1 Einführung

In kerntechnischen Anlagen werden Revisionszeiträume genutzt, um unter anderem Anlagenteile nach dem Stand der Technik zu ertüchtigen und um Nachrüstungsmaßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit durchzuführen. Solche Anlagenteile werden häufig mittels Dübelplatten befestigt. Die Dübel sind in Stahlbetonbauteile einzubringen, die kraftwerkstypisch mit dichter Betonstahlbewehrung versehen sind. Zerstörungsfreie Untersuchungen zur genauen Ortung bewehrungsfreier Orte sind hierbei erforderlich, um Bewehrungstreffer beim Bohren zu vermeiden. Beim Einsatz handelsüblicher Geräte zur Ortung zeigte sich, dass in der Praxis ein erheblicher Bedarf besteht, Kenntnisse für den zuverlässigen Einsatz von ZfPBau-Verfahren an Stahlbetonbauteilen von Kraftwerken zu vermitteln. Die theoretische wie praktische Schulung ist für den qualitätsgesicherten Einsatz dieser Verfahren unerlässlich.

Im Rahmen der Zusammenarbeit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), des Fraunhofer-Instituts für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM) und der RWE Power AG wurde ein entsprechendes Schulungskonzept erarbeitet. Bereits erste Auswertungen zeigen, dass die Zuverlässigkeit des Einsatzes der ZFP-Verfahren zur Ortung von Bewehrung an kraftwerkstypischen Stahlbetonbauteilen deutlich verbessert werden konnte. Im Zuge der Durchführung von Nachrüstungsmaßnahmen wurde zunächst gemeinsam mit Anlagenplaner und Anlagenbauer eine Verfahrensanweisung zur Bewehrung



rungsart in der Planungsphase entwickelt. Hauptbestandteil dieser Verfahrensanweisung ist die genaue schrittweise Festlegung der Bearbeitung der Prüfaufgabe. Damit diese Verfahrensanweisung von den Prüfern genau eingehalten wird, werden sie theoretisch und praktisch geschult. Dabei sind die Grundlagen der Verfahren (magnetisches Wechselfeldverfahren, Wirbelstrom-, Radarverfahren) und die typische Darstellung von Ergebnissen marktüblicher Geräte genauso Gegenstand der Schulung wie die Grenzen der Verfahren. Alle Prüfer schließen die Schulung mit einem Leistungsnachweis im Blindtest ab.

Dieser Beitrag berichtet über die im Bereich ZfPBau an Kraftwerken erstmalig umgesetzte Strategie als Muster für weitere Schulungen zur zuverlässigen Anwendung der ZfPBau-Verfahren. Es wird über Hintergründe, Schulungsinhalte und weitere Details sowie über die Ergebnisse, die im Rahmen der Blindtests erzielt wurden, berichtet.

2 Hintergrund

In kerntechnischen Anlagen werden Revisionszeiträume genutzt, um unter anderem Anlagenteile wie z.B. Rohrleitungen, Behälter, Pumpen und Antriebe nach Stand der Technik zu ertüchtigen und um Nachrüstungsmaßnahmen zur Erhöhung der Betriebssicherheit durchzuführen. In der Regel handelt es sich dabei um die Installation von Anlagenteilen, die unter Beachtung des Atomrechts sowie weiterer strenger Richtlinien nach genauen Vorgaben mittels Dübelplatten befestigt werden. Die Dübel sind in Stahlbetonbauteile einzubringen, die kraftwerkstypisch mit dichter Betonstahlbewehrung versehen sind. Anhand von Bestandsplänen ist die verlegte Bewehrung hinsichtlich Durchmesser, Stababstand, Anzahl der Lagen und Betondeckung bekannt. Allerdings kann aus den Bestandsplänen nicht auf die konkrete Lage der Bewehrung an einer bestimmten Stelle, die für die Montage einer Dübelplatte vorgesehen ist, geschlossen werden. Dazu sind zerstörungsfreie Untersuchungen zur genauen Ortung der dort verlegten Bewehrung erforderlich. Die Bewehrungsart wird bedingt durch die örtlichen Gegebenheiten hauptsächlich mit Handgeräten durchgeführt, die auf der Grundlage von Wirbelstrom (Messung der Amplitude) oder Radar (Laufzeitmessung) funktionieren.

Wird bei der Montage einer Dübelplatte Bewehrung angetroffen, so bedeutet dies einen zeitintensiven Umplanungs- und (erneuten) Genehmigungsprozess, da die Dübelplatte versetzt werden muss. Unter Umständen führen also Bewehrungstreffer zu erheblichen Verzögerungen in der Anlagenrevision. Daher muss durch zuverlässige Ortung der Bewehrung sichergestellt werden, dass die Zahl der Bewehrungstreffer soweit wie möglich minimiert wird. Die verwendeten Geräte erlauben allerdings die Bewehrungsart nur innerhalb gewisser physikalischer und technischer Grenzen. Darüber hinaus sind große Teile von Flächen durch bestehende Leitungen und Installationen nicht für Messungen zugänglich. Daher können Bewehrungstreffer nicht vollständig vermieden werden. Eine zuverlässige Ortung von Bewehrung ist nur möglich, wenn – wie im folgenden Abschnitt erläutert - die Randbedingungen der Schwierigkeitsstufe I vorliegen.

3 Inhalt und Ziel der Schulung

Auf der Basis einer betriebsinternen Arbeitsanweisung entwickelten BAM, Fraunhofer ITWM in Zusammenarbeit mit dem Bauplaner und RWE eine Verfahrensanweisung mit dem Ziel der qualitätsgesicherten und standardisierten Bewehrungsart. Diese bildet die Grundlage der Schulung, die im Hinblick auf die Festlegung der Bohrlochlage für nachträgliche Verankerungen vor Ort im Kraftwerk Biblis für das eingesetzte Prüfpersonal ausgearbeitet wurde. Am Ende der Schulung sollen die Prüfer

- wissen, wie Bewehrung typischerweise verläuft;
- den Unterschied zwischen Radargeräten und Wirbelstromgeräten kennen;

- wissen, wie die Lage von Dübeln festzulegen ist;
- auch andere Geräte und deren Leistungsfähigkeit kennen;
- die Grenzen der Detektierbarkeit der von ihnen eingesetzten Geräte kennen;
- die Sicherheit haben, auch bei komplexen Bewehrungsverläufen die Stablage einzuzeichnen;
- mit dem Anzeichnen der Bewehrung nach Verfahrensbeschreibung („Schriftbild“) vertraut sein.

Der Erstellung der Verfahrensanweisung ging eine Klassifizierung der Bauteile hinsichtlich der Verlegedichte und der Anzahl der Bewehrungslagen voraus. Wir unterscheiden folgende Schwierigkeitsstufen:

- Stufe I: Bauteile mit zwei senkrecht oder schräg zueinander verlegten Bewehrungslagen ohne weitere tiefere Bewehrung, mit ausreichenden Stababständen
Untersuchungsmethode: Einsatz einfacher Bewehrungssuch- und Radargeräte mit direkter Markierung auf der Bauteiloberfläche;
- Stufe II: Bauteile mit zwei senkrecht oder schräg zueinander verlegten Bewehrungslagen mit weiterer, tiefer liegender Bewehrung, wobei die für den Einsatz des Radar-Verfahrens notwendigen Mindestabstände nicht unterschritten werden
Untersuchungsmethode: Einsatz von Radargeräten mit bildgebender Darstellung;
- Stufe III: Bauteile mit mehr als zwei Bewehrungslagen und/oder Unterschreitung der für den Einsatz des Radar-Verfahrens notwendigen Mindestabstände im oberen Bewehrungsbereich
Untersuchungsmethode: kombinierter Einsatz des Radar- und Ultraschall-Verfahrens mit bildgebender Darstellung.

Da die Mehrzahl der interessierenden Bewehrungszustände am Standort Biblis der Schwierigkeitsstufe I entsprechen, befassen sich die Verfahrensanweisung und die Schulung zunächst nur mit dieser Problemstellung.

4 Teilnehmer der Schulung

Das zu schulende Prüfpersonal besteht aus Mitarbeitern beauftragter Dienstleister, die die erfolgreiche Teilnahme an der eintägigen Schulung nachweisen müssen. Die Teilnehmer sind mit mindestens einem der verwendeten Geräte vertraut. Sie verfügen zum Teil auch schon über praktische Erfahrung in der Umsetzung der Verfahrensanweisung.

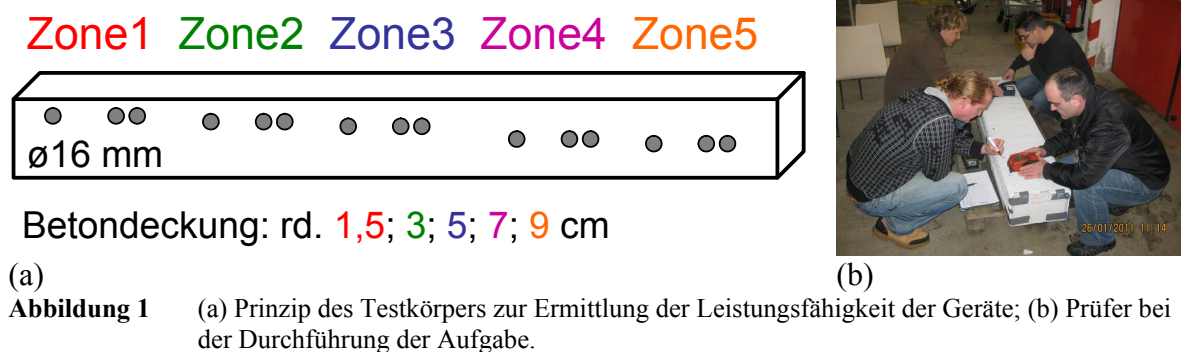
Die Teilnehmer kommen überwiegend aus den typischen bautechnischen Berufen wie Betonbauer und Maurer, teilweise sind auch Schlosser und Zimmerleute vertreten. Ein großer Anteil der Teilnehmer sind Vorarbeiter, Meister oder Poliere. In der Regel verfügen die Teilnehmer allerdings nicht über Kenntnisse der klassischen Betondeckungsmessung, wie sie oft auf Baustellen durchgeführt wird. Die Erfahrung der ersten Lehrgänge hat gezeigt, dass es ausreicht, die physikalischen Unterschiede der Verfahren praxisorientiert zu verdeutlichen. Das Vermitteln von Formelwissen ist nicht hilfreich und hat oft abschreckende Wirkung. Bei der Erarbeitung der fachlichen Inhalte dieser Schulung wurde auf die zum Thema Bewehrungsortung mittels Wirbelstrom, magnetischem Wechselfeld und Radar etablierten Standardveröffentlichungen [1-4] zurückgegriffen.

Die Teilnehmer erhalten nach Abschluss der Schulung und nach erfolgreichem Leistungsnachweis an kraftwerkstypisch bewehrten Testkörpern und Betonbauteilen eine Teilnahmebestätigung von der BAM. Zum Bestehen der ‚Performance Demonstration‘ muss mehr als 80% der verlegten Bewehrung richtig geortet werden; Details hierzu sind in Kapitel 7 beschrieben.

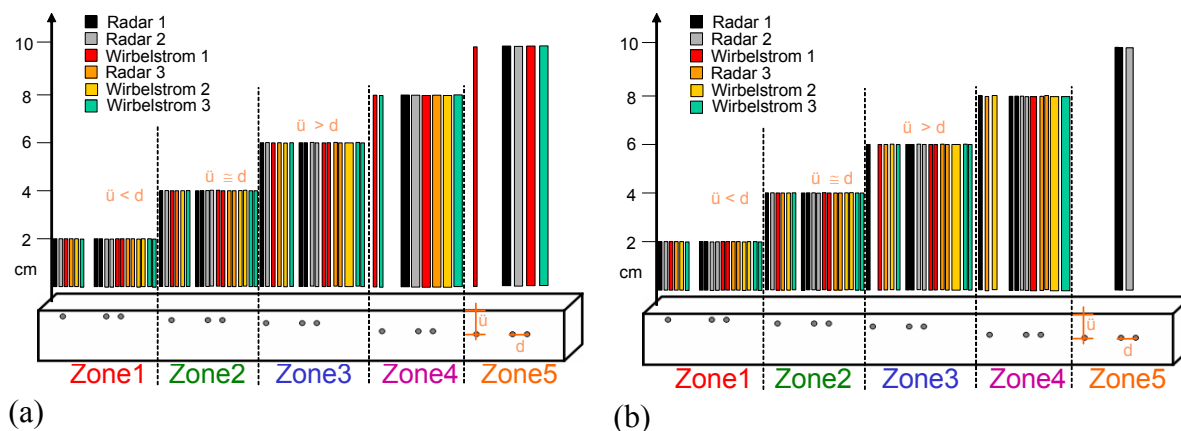
5 Durchführung der Schulung und Bewertung der Ergebnisse

5.1 Schulungsziel: Leistungsfähigkeit der Geräte durch vergleichende Untersuchungen

Zunächst erhalten alle Prüfer eine theoretische und praktische Einweisung für die verschiedenen im Lehrgang verwendeten Geräte. Ziel ist es, die Prüfer dahingehend zu sensibilisieren, was andere Prüfgeräte neben dem von ihnen präferierten Gerät leisten oder wo deren Grenzen liegen. An dem in Abbildung 1 dargestellten Testkörper nimmt die Schwierigkeit der Stabdetektion von Zone 1 bis Zone 5 aufgrund der Tiefenlage zu. Die Auswertung in Abbildung 2 zeigt vergleichend für zwei unterschiedliche Lehrgänge, mit welchen Geräten in welchen Zonen die Stäbe detektiert werden konnten. Dabei wird eine Unterscheidung vorgenommen, ob die Stäbe noch einzeln detektiert werden konnten (schmale Balken) oder ob zwei benachbarte Stäbe als „ein“ Stab detektiert wurden (breite Balken).



(a) (b)
Abbildung 1 (a) Prinzip des Testkörpers zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Geräte; (b) Prüfer bei der Durchführung der Aufgabe.



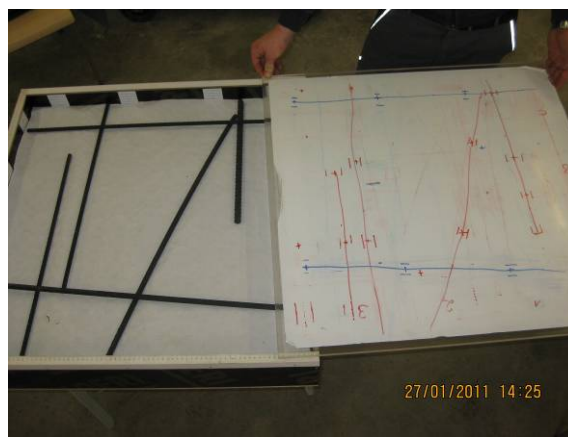
(a) (b)
Abbildung 2 Grafische Auswertung der detektierten Bewehrungsstäbe desselben Testkörpers bei zwei unterschiedlichen Schulungen (a) und (b).

Abbildung 2 zeigt diese Ergebnisse für zwei willkürlich ausgesuchte Schulungen. In allen durchgeführten Lehrgängen zeigte sich, dass bis zur Zone III unabhängig von Gerät und Erfahrung der Prüfer nahezu alle Stäbe detektiert wurden. Erst für die Zonen IV und V treten erhebliche Unterschiede auf. Ob die Stäbe in diesen Tiefen noch detektiert werden, hängt stark von der Erfahrung des Prüfers im Umgang mit dem jeweiligen Gerät ab. Darüber hinaus wird auch deutlich, dass mit bestimmten Geräten – in der Regel die günstigsten mit der geringsten Ausstattung – in den Zonen IV und V die Stäbe unzuverlässig bis gar nicht zu detektieren sind.

Diese Auswertung zeigt deutlich, dass mit leistungsfähigen Geräten nur in Verbindung mit ausreichender praktischer Erfahrung bestmögliche Ergebnisse erzielt werden. Fehlt diese Erfahrung, bleibt auch die größere Leistungsfähigkeit besser ausgestatteter Geräte ungenutzt.

5.2 Schulungsziel: Grenzen der verwendeten Verfahren

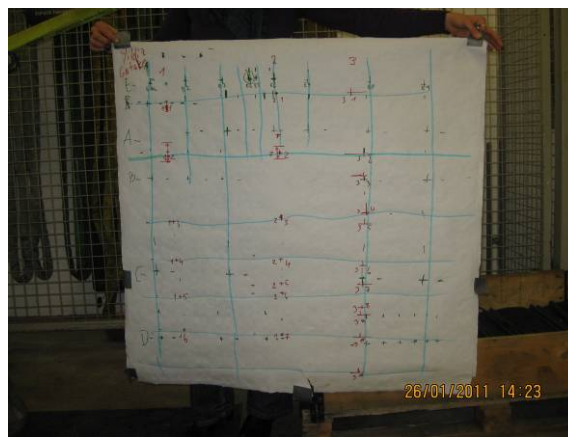
Anhand des in Abbildung 3 dargestellten so genannten Demonstrationsblocks, der mit Bewehrungsstäben mit verschiedenen Durchmessern in beliebigen Tiefen variabel bestückt werden kann, werden verschiedene Bewehrungsanordnungen erzeugt. In Blindtests oder im offenen Test kann der Prüfer so seine Messergebnisse mit dem tatsächlichen Bewehrungsverlauf in Bezug bringen. Diese Möglichkeit ist bei Einsätzen am Bauwerk nie gegeben, sodass auch erfahrene Prüfer Nutzen aus dieser Übung ziehen. Durch die jeweilige Wahl von Bewehrungsanordnungen, die vom Schulungspersonal vorgegeben werden, lernen die Prüfer die Möglichkeiten und die Grenzen ihrer Geräte kennen.



(a) **Abbildung 3** (a) Messung am Demoblock im Blindtest; (b) nach der Messung freigelegte Bewehrungsanordnung.

5.3 Schulungsziel: Leistungsfähigkeit der Prüfer

Abschließend sollen die Prüfer ihre Leistungsfähigkeit in einer ‚Performance Demonstration‘ unter Beweis stellen. Die Messungen werden an dem in Abbildung 4 dargestellten Testkörper durchgeführt. Der Testkörper enthält Stäbe, die mit verschiedenen Abständen und verschiedenen Längen angeordnet sind. Der Prüfer muss selbst festlegen, wie viele Messspuren er anordnet, um den Verlauf der Stäbe genau abzubilden. Bei dieser Übung ist es wichtig, dass der Prüfer lernt, sicher die Entscheidung darüber zu treffen, wo sich ein Stab befindet.



(a) **Abbildung 4** (a) Einzeichnen der detektierten Bewehrung; (b) Ergebnis der Bewehrungsortung mit „Schriftbild“ nach Verfahrensanweisung.

Zur Bewertung des Leistungsnachweises wurde ein Punktesystem entwickelt, mit dem die richtige Ortung von Stäben, die Ortung von schrägen Stäben, Stößen und gering bewehrten Bereichen bewertet wird. Die maximal erreichbare Punktzahl ist 49. Die nachfolgenden Abbildungen geben einen Eindruck über den vorhandenen oder nicht vorhandenen Zusammenhang der ermittelten Punktzahl mit bestimmten Einflussgrößen. Abbildung 5a zeigt die Altersverteilung der Schulungsteilnehmer. In Abbildung 5b ist die Häufigkeit der erreichten Punktzahlen dargestellt.

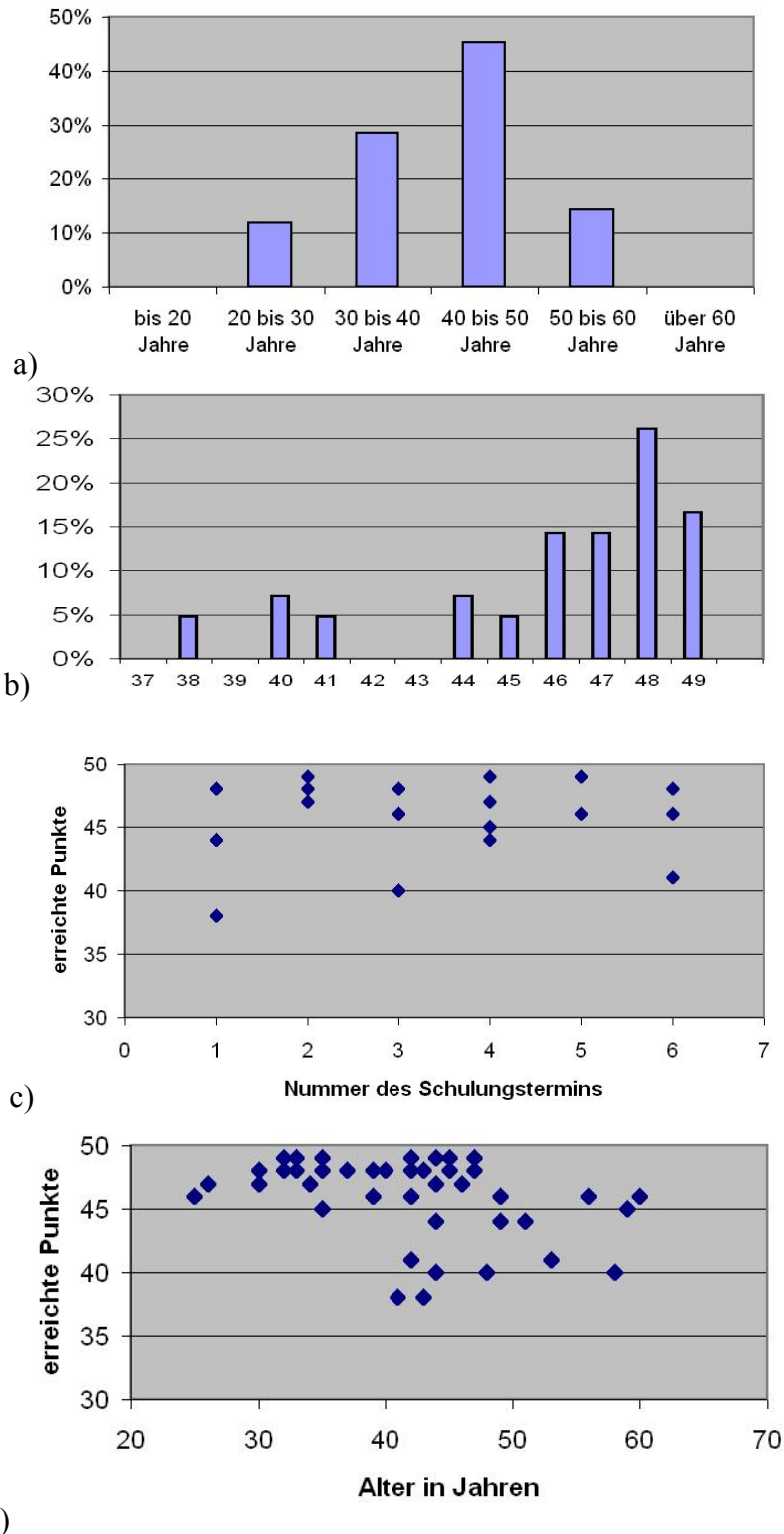


Abbildung 5 (a) Altersverteilung der Lehrgangsteilnehmer; (b) Häufigkeitsverteilung der erreichten Punktzahlen; (c) erreichte Punkte in Abhängigkeit der durchgeführten Schulungstermine; (d) erreichte Punkte in Abhängigkeit des Alters der Prüfer.

Es zeigt sich, dass der Großteil der Prüfer mehr als 90% der Punkte erreicht, die schwächeren Prüfer folgen dann mit einigem Abstand. Vergleicht man die in den bislang sechs durchgeführten Schulungen erreichte Punktzahl (Abbildung 5c), stellt man nahezu eine Gleichverteilung fest mit einer mehr oder weniger großen Streuung der erreichten Punkte innerhalb einer Schulung. Das zeigt, dass die erfahrenen Prüfer der ersten drei Termine nicht besser abgeschnitten haben, als die Prüfer mit weniger Praxiserfahrung. Leider standen keine Informationen über die Vorkenntnisse der Teilnehmer zur Verfügung, um bessere Korrelationen aufzustellen. Auch der Bezug der erreichten Punkte zum Alter zeigt nahezu eine Gleichverteilung. Auffällig ist die Tatsache, dass bei den jüngeren Prüfern die erzielten Ergebnisse etwas weniger streuen. Diese Bezüge zeigen jedoch, dass von einer annähernden Gleichverteilung der Leistungsfähigkeit ausgegangen werden kann, mit einer zu erwartenden Streuung. Diese Ergebnisse bestätigen auch die Richtigkeit der naheliegende Empfehlung, erfahrene mit weniger erfahrenen Prüfern zusammen in einen Prüftrupp zu schicken. Ergänzend könnte man noch empfehlen, auch die Prüftruppe altersmäßig zu mischen.

6 Ausblick

Das Ziel der Schulung ist die qualitätsgesicherte und standardisierte Bewehrungsart zur Festlegung der Bohrlochlage für Verankerungen im Zuge von Nachrüstungs- und Modernisierungsmaßnahmen. Dieses Ziel wurde erreicht, wie sich aus der Dokumentation der Zahl an Bewehrungstreffern vor und nach der Schulung durch den Kraftwerksbetreiber zeigt. Nach derzeitigem Stand konnte die Zahl der Bewehrungstreffer auf etwa ein Viertel gesenkt werden. Der Anteil der restlichen Treffer ist bei näherer Betrachtung den Grenzen des Verfahrens geschuldet, insbesondere dann, wenn die Randbedingungen der Schwierigkeitsstufe I nicht mehr gegeben sind oder die Örtlichkeiten eine optimale Detektion gemäß Verfahrensanweisung nicht zulassen. Des Weiteren ist ein Gradmesser der Wirksamkeit der Schulung, inwieweit sich die Prüfer im Umgang mit den Prüfgeräten gut ausgebildet fühlen und somit sämtliche zur Verfügung stehende Verfahren situationsbedingt sicher anwenden können.

Diese Sicherheit in der Verfahrensanwendung wurde im Rahmen dieser Schulung nicht zuletzt dadurch erreicht, dass neues Wissen über die Grundlagen der Verfahren zusammen mit einem verbesserten Verständnis der Prüfaufgaben und einer realistischen Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen der angewendeten Prüfgeräte vermittelt wurden. Zur Gewährleistung der Qualität wurde außerdem ein Bauprüfplan erstellt: die Prüfer müssen die Einhaltung der in der Verfahrensanweisung spezifizierten Arbeitsschritte anhand einer Checkliste dokumentieren. Nach Abschluss der durchgeführten Arbeiten wird diese Liste von den Mitarbeitern des jeweiligen Bewehrungsartteams unterzeichnet und dem Team-Leiter zur Abnahme und Archivierung übergeben.

Die Erfahrungen des Schulungspersonals der BAM und des ITWM fließen in weitere geplante Schulungen zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen ein. Dabei werden auch neue Medien zur Wissensvermittlung, wie z.B. E-Learning [5], zum Einsatz kommen.

7 Referenzen

- [1] G. Schickert, M. Krause, H. Wiggenhauser. ZfPBau-Kompendium. www.bam.de/zfpbau-kompendium.htm
- [2] C. Flohrer. Orten der Bewehrung und Messen der Betondeckung. In: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst und Sohn (2004) Kap. C1, 2 Strukturauflklärung, Abschn. 2.8, pp. 370–379
- [3] T. Kind, C. Maierhofer. Das Impulsradarverfahren - ein Verfahren zur zerstörungsfreien Strukturauflklärung in Bauwerken. In: Cziesielski, E. (Hrsg.); Bauphysik-Kalender 2004, Berlin: Ernst & Sohn (2004) pp. 333-341
- [4] Merkblatt über das Radarverfahren zur zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen (B10), DGZfP Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, Berlin (2008), <http://www.dgzfp.de/Dienste/Publicationen>
- [5] H. Rieder, A. Dillhöfer, M. Spies, J. Burgard et al. Möglichkeiten und Anwendung von E-Learning-Konzepten in der beruflichen Qualifizierung für die ZfP am Beispiel der Ultraschallprüfung. In diesem Berichtsband, Di.2.B.2