



DGZfP-Berichtsband 66-CD  
Vortrag 14

## **Zusammenfassende Bemerkungen - Ausblick**

G. Dobmann, Saarbrücken

---

### **Zusammenfassung**

Der vorliegende Beitrag hat das Ziel, die Fachtagung 'Bauwerksdiagnose - Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen' mit ihren 14 eingeladenen Vorträgen und 31 Plakatberichten zusammenzufassen und einen Ausblick für die zukünftige Entwicklung der Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen zu wagen. Obwohl der Autor vom Willen beseelt ist, eine objektive Darstellung zu finden, wird sich seine persönliche Note, Handschrift und auch Meinung nicht immer unterdrücken lassen. Kritik - sie ist bei solchen zusammenfassenden Bemerkungen ja wohl gewollt - will als aufbauende und helfende Maßnahme verstanden werden, um unser gemeinsames Ziel, die Qualität im Bauwesen zu verbessern und Kosten zu sparen, noch besser, schneller und zuverlässiger zu erreichen.

Von den 14 Vorträgen standen dem Autor bei Abfassung des Vortragsmanuskriptes 10 und von den 31 Plakatbeiträgen 25 an der Zahl zur Verfügung, so daß bei den nachfolgenden Betrachtungen und Diskussionen zwar kein vollständiger, doch ein repräsentativer Querschnitt erfaßt und beschrieben wird.

### **Methodische Schwerpunkte, Querschnittsthemen**

Während bei den eingeladenen Vorträgen der Programmausschuß sowohl für die Definition der Themen als auch die Auswahl der Vortragenden - und damit für die Attraktivität dieses Programmteiles - verantwortlich zeichnet, finden wir unter den angemeldeten Plakatberichten, die von den Autoren in Eigeninitiative angemeldet wurden, zum einen Ergänzungen und Vertiefungen zu den Vorträgen, um das Verständnis zu erweitern, zum anderen aber auch originäre Einzelbeiträge als Praxisberichte, die von tiefem Praxisverständnis und Expertenwissen zeugen.

Versuchen wir eine methodische Einteilung der Beiträge, so finden wir die nachfolgende Verteilung auf Querschnittsthemen einerseits und methodische Schwerpunkte andererseits (Tabellen 1 und 2). Dabei sind die einzelnen Beiträge unter Beachtung der unterschiedlichen Aspekte auch mehrfach genannt.

Tabelle1: Bautechnische Aufgaben, Querschnittsaufgaben

Bautechnische Aufgaben / Querschnittsaufgaben	Verfahrensmethodische Schwerpunkte	Beiträge	Anzahl
Stahl- und Spannbeton allgemein		V1, V2, V3, V5, V8, V9, V10, P14	8
Betondeckung und Bewehrung		V4, V5, V10, P11, P28	5
Vorspannung / Spanngliedzustand		V3, V5, V9, V10, V13, P2, P3, P11, P16, P18	10
Dichtheit, Hohlstellen, Risse, Wanddicke		V3, V5, V8, V9, V10, V13, P3, P10, P12, P14, P30	11
Mauerwerk		V9, V10, P23, P24	4
Feuchte / Leckage		V9, V10, V13, P9, P10, P14, P20	7
Tragfestigkeit / Restlebensdauer / Erhärtungsverläufe		V3, V11, P6, P19, P29	5
Korrosionsgefahr und -zustand		V2, V3, P10, P27	4
Frostangriff		P31	1
Analytik und Mikrostrukturaufklärung		V10, P4, P21	3

Aus Tabelle 1 lernen wir einerseits, daß neben den allgemeinen Beschreibungen der Aufgaben bei Stahl- und Spannbeton mit 8 Nennungen die Frage des Nachweises der Dichtheit des Betons und damit auch die Fragen nach dem Nachweis von Rissen, Hohlräumen und die Wanddickenbestimmung mit 11 Nennungen etwa gleich starkes Interesse hervorruft wie die Fragen der Zustandsbeschreibung von Spanngliedern (10 Nennungen). Andererseits sind diese Zahlen auch ein Maß für die Häufigkeit von durchgeführten ZF-Prüfungen, die Kundenzufriedenheit erzeugt haben, denn nur zu denen wird ja im allgemeinen berichtet. Es muß den Praktiker befriedigen, daß gerade zu diesen zwei wichtigen Themen die zahlenmäßig stärkste Praxiserfahrung dokumentiert wird. Die Anzahl ist auch ein Maß zur Stärke der Nachfrage aus dem Kundenkreis und unterstreicht damit die Bedeutung dieser beiden Querschnittsaufgaben für die Bauwirtschaft.

Die Häufigkeit der Nennung ist jedoch kein Maß für die spezielle Qualität der Arbeiten; der Leser möge sich selbst ein Urteil bilden.

Bleibt ergänzend noch zu sagen, daß Lösungen zur Feuchtecharakterisierung mit 7 Nennungen und Erfahrungsberichte zur Betondeckungsmessung / Bewehrungscharakterisierung ebenso wie die Tragfestigkeitsmessung / Restlebensdauerabschätzung, sowie das Messen von Erhärtungsverläufe mit 7 Nennungen mit gleicher Häufigkeit angeboten wurden.

Tabelle 2: Verfahrensmethodische Schwerpunkte

Bautechnische Aufgaben / Querschnittsaufgaben	Verfahrensmethodische Schwerpunkte	Beiträge	Anzahl
	Ultraschall- und Impaktedo	V3, V8, V10, V13, P2, P12, P24, P26, P29, P31	10
	Radar- und Mikrowellen, dielektrische Verfahren	V4, V5, V9, V10, V13, P9, P15, P20, P23, P24	10
	Magnetstreufuß, Wirbelstrom	V3, V4, V10, P16, P18	5
	Elektrische Potentialmessung, elektrischer Widerstand	V3, P23, P27	3
	Radiographie, Tomographie, Laminographie, Radiometrie	V4, V10, P10, P11, P21, P28, P30	7
	IR-Techniken	V4, V10, V13, P12, P14	5
	Dehnungsmessung	V3, V11, P6, P19, P31	5
	Schallemission	V11, V13, P6, P13, P31	5
	Fluoreszenz Spektroskopie	P4	1
	Mikroseismik	P23	1
	Kapillarer Saugtest	P31	1
	Dynamischer E-Modul	P31	1

Betrachten wir das Szenario aus Sicht der Verfahrensmethodiken nach Tabelle 2, so ergibt sich zunächst nach dem Verständnis des Autors kein bauspezifisches Bild, sondern wir finden eine Situation vor, wie sie für die ZFP allgemein gilt: Ultraschall ist am weitesten entwickelt (10 Nennungen), üblicherweise immer führend vor der Zahl der Radiographieanwendungen (7 Nennungen). Bauspezifisch können wir hier aber feststellen, daß die Anwendungen zu Radar, Mikrowellen und dielektrischen

Methoden, mit ebenfalls 10 Nennungen die Bedeutung der radiographischen Techniken an Bedeutung übertreffen. Dieses Ergebnis spiegelt sicher auch die Tatsache wider, daß die Radiographie wegen der Strahlenschutzvorschriften, der Beachtung der Gefahrgutverordnung beim Transport von Isotopen, der Notwendigkeit des Einrichten eines Kontrollbereiches unter Baustellenbedingungen und dem Vorhalten eines Strahlensicherheitsverantwortlichen nicht so gern gesehen ist. Bauspezifisch ist auch - im Gegensatz zu metallischen Werkstoffen - daß die magnetische ZFP und Wirbelstromverfahren - bei Metallen naturbedingt ein Werkzeuge der Oberflächenrißprüfung - hier bei mineralischen Werkstoffen nur bei der Überdeckungsmessung eine wesentliche Rolle spielen. Verblüfft ist der Autor über die relativ geringe Nennung von erfolgreichen Anwendungen der Korrosionsüberwachung (3 Nennungen), die in der Häufigkeit der genannten Anwendungen sogar von den thermischen Verfahren und der Schallemission übertroffen wird.

Im Detail seien die nachfolgenden Bemerkungen erlaubt:

### **Ultraschall- und Impaktecho**

Vergleichen wir den Stand der veröffentlichten Technik beginnend mit unserem ersten ZFP-Bau-Symposium in Berlin 1985 [1] mit dem Stand der Fachtagung von heute, so haben wir auf diesem Gebiet die größten methodischen Weiterentwicklungen zu registrieren, die es möglich gemacht haben, die bauspezifischen Anwendungshindernisse schon weitgehend zu überwinden. Haben wir 1985 noch feststellen müssen, daß die Impuls-Echo-Technik an Beton nicht anwendbar war, so haben wir, (siehe V8) dank neuartiger Prüfköpfe basierend auf piezoelektrischen Kompositwandlernmaterialien mit deutlich höherer Energieeinbringung und gleichzeitiger höherer Bandbreite, verglichen mit den Prüfköpfen alter Art, für viele Anwendungen keine Probleme, ein Rückwand-echo zu empfangen. Große Erwartungen setzt der Autor auf die Anwendung von Ultraschallprüfköpfen, die mit Druckluft angekoppelt werden und die in naher Zukunft weitere Anwendungserschwerisse überwinden werden [2].

Signalverarbeitende Techniken unter Nutzung von Prüfkopfgruppen in Arrays mit phasenangepaßter, d.h. die unterschiedliche Laufzeit zwischen den individuellen Prüfköpfen berücksichtigender Signalmittlung im A-Bild, führt schon zu gut bewertbaren Ergebnissen im stark streuenden Material. Lösungen dieser Art werden von der TH Darmstadt (V8) und der BAM (z. B. V10) angeboten, auch ohne bildgebende Methoden auszunutzen. Letztere tragen nochmals deutlich zur Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses bei, wenn hochfrequente A-Bilder gemäß dem SAFT-Algorithmus (P2) phasengerecht überlagert werden, um das Prüfen mit einem virtuellen und fokussierenden Prüfkopf in einer synthetischen Apertur zu simulieren; sie erhöhen aber den Prüfaufwand.

Anregungen zu Verbesserungen wären die breitere Nutzung kodierter Signale, um die Breitbandigkeit weiter zu erhöhen. Köhler aus Dresden [3] hat im Rahmen eines DFG-Vorhabens die Vorteile deutlich aufgezeigt. Auf Fink in Paris [4] geht die Entwicklung der Time-Reversal-Techniken mit Gruppenstrahlern zurück, die an stark streuenden Titanlegierungen der Flugzeugindustrie wesentliche Verbesserungen herbeigeführt haben. Sie setzen jedoch eine spezielle Sende-Empfangselektronik

voraus, die heute als Modul noch nicht kommerziell verfügbar ist, aber mittels DSP-Elektronik [5] kostengünstig realisiert werden könnte

Wie auch immer, es bleiben gravierende Einflüsse auf die Prüfung, die auch noch des besseren, grundlegenden Verständnisses bedürfen. Genannt sei hier nur das Problem der Dispersion sowohl durch Streuung an den Zuschlägen, als auch durch Feuchte und Mikroporosität. Dispersion in diesem Zusammenhang bedeutet z. B. eine für jede Materialzusammensetzung und jeden Feuchtegehalt spezifische Entfernungsabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit. Sie beeinflusst nicht nur den Energietransport durch stärkere Dämpfung, sondern auch die Ortungsgenauigkeit, Lagebestimmung von Reflektoren und Dickenermittlung.

### **Radar, Mikrowellen und dielektrische Verfahren**

Auch hier haben sich in den letzten 10 Jahren wesentliche Verbesserungen ergeben. Sie betreffen die Ausweitung der Spektren in den Bereich von GHz, d.h. Dezimeter bis Zentimeter Wellenlängen in den interessierenden Materialien und die Entwicklung der dafür notwendigen Antennen. Die Beiträge V5, V9, V10 und V13 präsentieren eine Vielfalt von Anwendungen und der Beitrag P9 ist speziell eine schöne Darstellung einer einfachen und sicherlich preisgünstigen Mikrowellensensorik für die Feuchtecharakterisierung.

Verwundert ist der Autor, wie wenig Algorithmen wie SAFT [6], bei der Radartechnik auch SAR genannt, eingesetzt werden, um die Radargramme (farb- oder grauwert-kodiertes hochfrequentes (raw data) Signal) als Funktion der Laufzeit zu visualisieren. Im Ultraschall nennen wir diese Darstellungen auch HF-Laufzeittapete oder HF-B-Bild, wenn die Scanebene in der visualisierten Schnittebene liegt. Werden die Daten in einer Ebene senkrecht zur Scanebene visualisiert, reden wir vom D-Bild. Die HF-Laufzeittapeten im Radar zeigen - ebenso wie beim Ultraschall - für Punktreflectoren die typischen Laufzeit-Ortskurven-Hyperbeln. Aus ihnen folgen durch SAR oder SAFT entsprechend bereinigte B-Bilder. In P15 findet der Interessierte eine herausragend gute Darstellung der erzielbaren Bildverbesserung.

Im Radar haben wir natürlich die gleichen Dispersionsprobleme wie bei der Ultraschall-anwendung, wenn Feuchte in den Poren ortsabhängig, vielleicht sogar unterschiedlich vorliegt.

Verfahrensverbesserungen sind grundsätzlich zu erwarten, wenn der SAR-Algorithmus zwei zueinander senkrechte Polarisationsrichtungen der abgestrahlten Transversalwellen verarbeitet. Das setzt voraus, daß die Prüfungen bistatisch, d.h. mit Sende-Empfangs-Antennenpaaren durchgeführt werden und auch die Modekonversionen von einer Polarisationsrichtung in die andere Berücksichtigung finden [7]. Das Institut des Autors plant derzeit - gemeinsam mit anderen Fraunhofer-Instituten - die Entwicklung von hochminiaturisierten Elektronikbaugruppen mit phasenstabilisierten Sendern und Empfängern. Sie sollen eine preisgünstige Systemrealisierung - weil chipbasiert - für Mikrowellentomographie bis in den mm-Wellenlängenbereich möglich machen.

## **Radiographie, Tomographie, Laminographie, Radiometrie**

Jede der dargestellten Anwendungen ist lobend erwähnenswert. Auch hier liefern die bildgebenden Methoden der Tomographie und Laminographie besonders beeindruckende Ergebnisse, wobei jedoch jeder Anwender vor dem Systempreis in der Größenordnung von 1,5 - 1,8 Millionen DM zurückschrecken wird. Es werden aber in der nächsten Zeit in Europa einige lokale Tomographiezentren entstehen, die analytische und Mikrostrukturuntersuchungen, wie hier dargestellt, als Dienstleistung anbieten werden. Besonders hervorzuheben ist das Plakat P28, weil es die Möglichkeiten der 'undersampled' Rekonstruktionstechniken hervorhebt. Dabei wird mit unvollständiger Dateninformation (Projektionen) gearbeitet, was die Zeit für die Datenerfassung und damit den Zeitaufwand für die praktische Durchführung drastisch reduziert. Empfängerseitig kommt die filmlose Speicherfolientechnik zum Einsatz.

## **Magnetstreufuß, Wirbelstrom**

Die Bedeutung liegt bei der Überdeckungsmessung. In V4 wird über einen Systemvergleich von 5 Systemen berichtet, wobei Vor- und Nachteile diskutiert werden. Wünschenswert für den Autor wäre eine quantitativere Betrachtung der Prüfzuverlässigkeit gewesen. Hat man die Systemhersteller schonen wollen?

P18 ist die einzige Darstellung zum Wirbelstrom und sie zeigt auf, daß die Wirbelstromtechnik von vielen Einflußparametern abhängt. Jeder der Einflüsse ist jedoch ein Störeinfluß, will man einen bestimmten Einfluß in Reinform bestimmen - wir haben einen multiparametrischen Zusammenhang. In anderen Anwendungsbereichen ist die Methodik entwickelt worden [8], wie durch Anwendung einer Mehrfrequenztechnik, digitale Filter optimiert werden können, die - nach einer Lernphase - automatisiert Störsignale unterdrücken und Zielgrößen mit besonders gutem Signal/Störverhältnis visualisieren können. Die in V4 angemahnte Systemtechnik zum Wirbelstrom ist kommerziell verfügbar. Der Algorithmus zur Entstörung muß jedoch noch angelernt/antrainiert werden.

Zum Nachweis von Spanndrahtbrüchen (V3 und V7) konkurrieren derzeit zwei Verfahrensansätze. Sie unterscheiden sich in der Wahl der genutzten Sensoren (Hallsonden-Arrays / SQUID) und in der Art der Spanndrahtmagnetisierung (Zyklische remanente Magnetisierung mit Zwischenprüfungen / aktive Magnetisierung). Ohne sich in einen Wissenschaftsstreit einmischen zu wollen soll hier angeregt werden, beide Methoden einem Reliability-Test an wohldefinierten Blindtestkörpern zu unterwerfen, um ihre Leistungsfähigkeit zu charakterisieren (Trefferrate, Falschtrefferrate, Falschalarmrate). Klar ist jedoch schon immer gewesen, daß der Nachweis von Spanndrahtbrüchen nicht am schlechten Signal/Rausch-Verhältnis irgendwelcher Sensoren scheitert, wobei das Rauschen das elektronische, weiße (stochastische) Rauschen ist, sondern begrenzt wird durch kohärent auftretende Störsignale, hervorgerufen durch die schlaffe Armierung, deren Lage, Durchmesser und Dichte jedoch nicht verlässlich als Zusatzinformation (apriori) aus Zeichnungen oder Bauvorschriften entnommen werden kann - ganz im Gegenteil übrigens zum Spannglieddesign im US-amerikanischen Brückenbau [9]. Wählt man empfindlichere Sensoren, verglichen mit Hallsonden bieten sich heute auch GMR-Sensoren an [10], die im Gegensatz zu SQUIDs nicht auf die Temperatur

des flüssigen Stickstoffes herabgekühlt werden müssen, so muß man leistungsfähige Algorithmen zur Filterung der Amplituden-Orts-Kurven entwickeln.

### **Korrosionsüberwachung**

In V2, V3, P23 und P27 wird über elektrische Potentialmessungen unter Verwendung spezieller Korrosionssensoren und über elektrische Widerstandsmessungen berichtet. Neu im Vergleich zu früheren Fortschrittsberichten sind insbesondere Anoden-Spreiz-Sensorysysteme, die auch noch nachträglich in gefährdete Bauteile einfach integriert werden können.

### **Dehnungsmessungen**

In V3, V11, P6, P19 und P31 wird über Dehnungsmeßtechnik berichtet. Zum einen kommt konventionelle Technik (V11, P6, P31) zum Einsatz, entweder nur einfach zur Längenmessung an Proben (P31) an denen Erhärtungsverläufe von Frischbeton unter Erfassung vielfältiger Parameter studiert werden, oder es werden die Ergebnisse von Tragfähigkeitsmessungen dargestellt (V11, P6), die zur rechnerisch-unterstützten Lebensdauerabschätzung von älterer Bausubstanz genutzt werden. Bei der zuletzt genannten Methode wird das Bauteil bis zu einer vorgegebenen Grenzlast belastet und das Spannungs-Dehnungsdiagramm bewertet. Die Methode ist - übrigens wie jede Wasserdruckprobe (warm oder kalt) an druckführenden Komponenten auch - wegen der möglichen Vorschädigung des Materials nicht unumstritten. Aus diesem Grunde scheint es unabdingbar, daß die Dehnungsmessung mit der Schallemissionsmessung kombiniert zur Anwendung kommt, um schon Mikrorißbildung nachzuweisen und die Versuchsbedingungen zu korrigieren. Mit einem ähnlichen Vorgehen hat sich die Schallemissionsprüfung von Behältern aus faserverstärkten Verbundwerkstoffen in der Chemieindustrie und bei Raffinerien einen großen Anwendermarkt bei Druckprüfungen erschlossen.

In V3 und P19 wird der Vorteil von eingebauten intelligenten (smart) Dehnungssensoren auf der Basis von Glasfaserapplikationen berichtet. Solche Sensoren sind - auch hier integriert in Faserverbundwerkstoffe - in der militärischen Flugtechnik zur Bauteilüberwachung schon länger erprobt worden. Ihre breite Nutzung scheiterte bisher am Preis. Der Autor dieses Beitrages stellt sich auch die Frage, was aus den von der STRABAG entwickelten Glasfaser-Dehnungssensoren geworden ist, zu denen schon 1991 berichtet wurde [11].

### **Infrarottechniken**

Hier ist zu bemerken, daß die Anwendung heute vom lange nicht zugänglichen militärischen Stand der Technik nach Beendigung des kalten Krieges profitiert. Dies hat zu Thermokameras mit konfokalen, örtlich hochauflösenden pixilierten Arraysensoren geführt. Sie bieten auch eine bessere Temperaturlösung, werden z. B. mit einem Sterling-Motor gekühlt und erlauben Bildfolgefrequenzen von einigen kHz.

### **Sonstige Techniken**

Hier seien die Beiträge P4 der BAM und P31 von Auberg/Palecki/Setzer zur Charakterisierung des Frostangriffes genannt. P4 berichtet zu den weltweit nur wenig

zu findenden F&E-Aktivitäten, die chemische Zusammensetzung des Betons zerstörungsarm zu ermitteln. Der Beitrag P31 ist in seiner wissenschaftlichen Klarheit einer der hervorhebenswerten Beiträge dieser Fachtagung.

### **Allgemeine Schlußbemerkungen**

Der Fortschritt ist wie immer eine Schnecke. Jeder Entwickler von zerstörungsfreien Prüfverfahren - und das ist nicht bauspezifisch - wünscht sich natürlich eine große und wachsende Nachfrage nach den Produkten, die er entwickelt. Dieser Wunsch ist legitim und eine wachsende Nachfrage motiviert zum Weiterverbessern der Ansätze und Systeme.

Nach Taguchi [12] charakterisiert man Qualität am besten indirekt durch die Verluste die der Produzent während der Fertigung und der Kunde nach dem Kauf durch Qualitätsmängel erleidet, also durch die Zusatzkosten, die Nacharbeiten bei der Produktion und die Beseitigung von verdeckten Qualitätsmängeln verursachen, die erst bei der späteren Nutzung offenbar werden. Sie lassen sich durch Schwachstellenanalysen (FMEA-Fehler-Möglichkeit und Einflußanalyse [13], QFD-Quality-Function-Deployment [14]) ermitteln.

In einem qualitätsgesichert arbeitenden Betrieb (ISO 9000) sind solche Schwachstellenanalysen Teil der Qualitätsmanagementaufgabe, die zum Ziel hat, die Qualität kontinuierlich zu verbessern und die Ursachen für die Qualitätsmängel abzustellen. Die Erträge werden durch Kostensenkung vermehrt und gleichzeitig durch Qualitätsverbesserung die eigene Marktattraktivität erhöht, was sich erneut positiv auf die Ertragssituation auswirken sollte.

Richtig und schonungslos durchgeführt, zeigt eine Schwachstellenanalyse auf, an welcher Stelle im Prozeßablauf der Prozeß nicht beherrscht wird. Die Nichtbeherrschung des Prozesses kann organisatorische Mängel als Ursachen haben. Das läßt sich meist schnell abstellen. Die Ursache kann aber auch in mangelndem Prozeßverständnis und der Komplexität der Einflüsse begründet sein. Die Qualitätsmethodik fordert dann mit der ihr eigenen Logik, an diesen kritischen Stellen – und genau nur dort – Qualitätsprüfungen mit Überwachungsfunktion und nach Möglichkeit Regelfunktion einzusetzen.

Die Verfahren der Qualitätsprüfung können zerstörend oder zerstörungsfrei sein. Zerstörende Prüfungen basieren auf einer statistisch abgesicherten Prozeßüberwachung und Qualitätslenkung (statistical process control – SPC). Dabei wird bezogen auf eine bestimmte Losgröße nur eine Stichprobe geprüft. Eine zerstörungsfreie Prüfung wird eine zerstörende Prüfung sofort ersetzen, wenn ihre Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit in der Prüfaussage nach einer Validierung bekannt sind und sie zu geringeren Kosten angeboten wird. Sie ist dann als Stichprobenprüfung meist auch eingebettet in ein SPC-Konzept. Bei sicherheitsrelevanten Bauteilen ist – selbst wenn nach dem Nullfehlerprinzip eine  $3\sigma$ -Prozeßbeherrschung gegeben ist - zu 100% die Dokumentation der Qualität gefordert. Das kann nur durch die zerstörungsfreie Prüfung geleistet werden, die objektiv, weil automatisiert eingesetzt, z. B. Nichtkonformitäten nachweisen, klassieren und in der Größe bestimmen kann.

Auf jeden Fall erzeugt die Prüfung Kosten. Es sind dies die Kosten für die Primärinvestition aber auch die Kosten für die Wartung der Prüfsysteme und die Kosten für den Personaleinsatz, die Personalausbildung und -weiterbildung. Bei der zerstörenden Prüfung fallen noch zusätzlich die Kosten für das zerstörte Objekt an bzw. die Kosten für seine Reparatur, welche die Gebrauchstauglichkeit wieder herstellen muß.

Beide Kostenarten, die Kosten für Nacharbeit und Mängelbeseitigung und die Prüfkosten, ergeben zusammen die Gesamtqualitätskosten. Sie gilt es, in dem oben genannten Qualitätsverbesserungsprozeß zu minimieren.

Überall dort, wo Sicherheitsaspekte im Fordergrund stehen, ist das eine nur etwas andere Betrachtung der selben Medaille. Sicherheitsmängel können wegen der Produkthaftung zu unglaublich hohen Folgekosten führen - aber auch die verstärkte Sicherheit kostet Geld und muß sich rechnen.

In einigen Beiträgen zu dieser Tagung wird festgestellt, daß die Nachfrage nach und die Anwendung der ZFP im Bauwesen noch lange nicht die Intensität wie in anderen Industriesektoren erreicht und es werden dafür Gründe gesucht und diskutiert.

Zum einen sind die Möglichkeiten einer ZFP für das Bauwesen, Qualität und Bauzustand objektiv zu beschreiben, in der Industrie noch zu wenig bekannt. Zum anderen verhindert die Tatsache, daß noch keine der angebotenen Techniken validiert ist und daher technische Regeln zum Handeln noch nicht festgeschrieben sind, die Forderung nach Prüfung in den Ausschreibungen zu Bauvorhaben. Blindversuche an präparierten Testkörpern, wie von der BAST durchgeführt (V6), sind das Werkzeug, um Verfahrensalternativen im Leistungsvergleich (performance demonstration) zu testen und die Grenzen für ihren Einsatz zu ermitteln. Nur zuverlässige Techniken werden auch erfolgreich sein.

Dies ist der Schlüssel zum Erfolg. Gelingt die Überzeugungsarbeit, ist der Wunsch der Industrie, Standards für diese so identifizierten, erfolgreichen Methoden zu definieren, nur noch eine logische Folge. Standards führen dann zu einem Mehr an technischer Sicherheit, Zuverlässigkeit und Qualität, was das Vertrauen in die Prüfmethodik stärkt und den Bekanntheitsgrad erhöht. Alles zusammen sollte dann zu einer wachsenden Nachfrage (V1) führen; der Innovationsprozeß ist - sich selbst verstärkend - zurückgekoppelt.

### **Literaturhinweise**

- [1 ] ZFP-Bau-Symposium 'Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen', Berlin, 2. - 3. Oktober 1985, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung
- [2 ] W. Gebhardt; Ultrasonic Measurement of the Exhaust Gas Mass Flow and Temperature with High Temporal Resolutions, Proceedings of the 7<sup>th</sup> European Conference on Non-Destructive Testing, Copenhagen, 26 - 29 May, 1998, p. 468 -
- [3 ] 475B. Köhler, G. Hentges, W. Müller; Improvement of ultrasonic testing of concrete by combining signal conditioning methods, scanning laser vibrometer and space averaging techniques, NDT & E International 31, (1998) p. 281 -

- [4 ] 287V. Miette, M. Fink, F. Wu; Improvement of Time Reversal Processing in Titanium Inspections, review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 15, Edited by D. O. Thompson and D. E. Chimenti, Plenum Press, New York, 1996, p. 757 - 764
- [5 ] H. Rieder; Vernetzte und verteilte Systeme - Software statt Hardware, DGZfP-Sondertagung Automatisierte Ultraschallprüfung, Gerätetechnik und Regeln zur Anwendung, Berichtsband 62 der Deutschen Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfungen, 1997, S. 62 - 97
- [6 ] R. Marklein, K. J. Langenberg, R. Bärmann, M. Brandfaß; Ultrasonic and Electromagnetic Wave Propagation and Inverse Scattering Applied to Concrete, Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 15, Edited by D. O. Thompson and D. E. Chimenti, Plenum Press, New York, 1996, p. 1839 - 1846
- [7 ] K. Mayer, K. J. Langenberg, R. Schneider; Microwave Imaging of Defects in Solids, Review of Progress in Nondestructive Evaluation, Vol. 14, Edited by D. O. Thompson and D. E. Chimenti, Plenum Press, New York, 1995, p. 601 - 606
- [8 ] G. Dobmann; Lifetime Extension - The Contribution of a Low and Multifrequency Eddy Current Technique to Assure the Integrity of the Cladding in Nuclear Power Plant Pressure Vessels, Congrès COFREND sur les essais non destructifs, 22 - 26 Septembre, Nantes 1997, CD-ROM - 170 PDF
- [9 ] Kusenberger et al; Magnetic Inspection of Reinforcing Steel Using Sensor Array, United States Patent 4,531,091, Jul. 23, 1985
- [10 ] Giant Magnetoresistance; Futuretech, Technical Insights, No. 173, May 1994, PO Box 1304, Fort Lee, NJ 07024.9967, USA
- [11 ] H.-J. Miesslerer, R. Wolff; Bauwerksbeobachtungen mit Lichtwellenleitern, 2. ZFP-Bau-Symposium 'Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen', 27. 02. - 01. 03. 1991, Berlin, Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfung, S. 142 - 149
- [12 ] G. Taguchi; Quality Engineering, Minimierung von Verlusten durch Prozeßbeherrschung, gfmt - Gesellschaft für Management und Technologie, München, 1989
- [13 ] Praxisberichte 2, Qualitätssicherung; FMEA, Failure Mode and Effect Analysis, Herausgeber J. P. Bläsing, gfmt - Gesellschaft für Management und Technologie, München, 1988
- [14 ] B. King; Doppelt so schnell wie die Konkurrenz - Quality Function Deployment, gfmt - Gesellschaft für Management und Technologie, München, 1994