

Zur Wertschöpfungskette der Zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen

Daniel ALGERNON¹

¹ SVTI Schweizerischer Verein für technische Inspektionen

Nuklearinspektorat, ZfP-Labor

Kontakt E-Mail: daniel.algernon@svti.ch

Kurzfassung. [ABSTRACT] Moderne zerstörungsfreie Prüfverfahren für das Bauwesen finden aktuell zunehmenden Einzug in die Praxis. Die Möglichkeiten der ZfP werden erkannt und die zunehmend auch in Serie gefertigten und kommerziell vertriebenen Geräte werden mitunter von Ingenieurbüros angewendet.

Die Dynamik in der Entwicklung hinsichtlich der Anwendung von ZfP-Verfahren im Bauwesen sowie die daraus resultierende Situation des Marktes sind für alle direkt oder indirekt Beteiligten auf diesem Gebiet wichtige strategische Aspekte. Während sich der Markt der ZfP in anderen Industriezweigen wie der Luft- und Raumfahrt oder der Kerntechnik bereits in einem weiter fortgeschrittenen Reifestadium befindet und ausgeprägte Geschäftsfelder existieren, befindet sich die ZfP im Bauwesen noch in einem jüngeren Wachstumsstadium. Dementsprechend hoch kann somit das Wachstumspotenzial sein, weshalb der Markt u.a. für Ingenieure, ZfP-Dienstleister und Unternehmer aus anderen Industriezweigen wie insbesondere der Kerntechnik relevant wird und ein Interesse zur Diversifikation erkennbar ist.

Neben der eigentlichen Prüfdienstleistung beinhaltet der Markt vor allem auch das Erstellen von Gutachten unter Einbeziehung von ZfP. Darüber hinaus sind die Prüftechnikentwicklung, die Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Prüfsystemen sowie die Schulung und Zertifizierung von Personal potenzielle Eckpfeiler dieses Fachgebietes.

Im Rahmen dieses Beitrags soll die aktuelle Situation des Marktes für Produkte und Dienstleistungen bezüglich der ZfP im Bauwesen betrachtet werden. Weiter soll auf den Bedarf für derartige Leistungen bzw. auf die Möglichkeiten und Risiken für Anbieter und Kunden eingegangen werden.

1. Einführung

Die Zerstörungsfreie Prüfung im Bauwesen (ZfPBau) erhält zunehmenden Einzug in die baubegleitende Qualitätssicherung, Zustandsbeurteilung bestehender Bauwerke sowie Schadensdiagnose. Moderne zerstörungsfreie Prüfverfahren basieren insbesondere auf der Nutzung elastischer oder elektromagnetischer Wellen, welche mit dem Material, Inhomogenitäten oder konstruktiven Bestandteilen im Innern sowie den geometrischen Grenzflächen in Wechselwirkung treten. Zur Anwendung kommen in besonderem Maße Verfahren wie Ground Penetrating Radar (GPR), Ultraschallprüfung, Impact-Echo oder die aktive Thermografie. Durch die erfolgreiche Forschungs- und Entwicklung, welche über einen längeren Zeitraum ihren Schwerpunkt primär in Universitäten sowie öffentlichen Forschungsinstitutionen hatte, existiert heutzutage eine technische Basis für die Anwendung derartiger



Verfahren in der Praxis [1]. Die Verfahren haben bei Geräteherstellern bereits begonnen Einzug in kommerzielle Produktserien zu finden und dabei mitunter auch einen technologisch sehr hohen Stand erreicht [2]. Darüber hinaus seien heutzutage als klassisch bezeichnete Verfahren wie die Rückprallhammerprüfung, Potenzialfeldmessung oder auch Bewehrungsartortung genannt, welche hier nicht unbedingt im Fokus stehen, da sie sich schon in einem deutlich reiferen Stadium der Einbeziehung befinden.

Die Geräte werden von Ingenieurbüros und Serviceanbietern zunehmend bezogen und genutzt; das Angebot an Prüfdienstleistungen wächst. Bauwerksgutachter können diese für Expertisen nutzen.

Erkennbar ist, dass eine konsequente Einbeziehung sich über einen weiteren Bereich als allein die Durchführung von Messungen und Analyse der Daten erstreckt. Ziel ist die Beschaffung von Information in einer Form, die der jeweiligen Aufgabe gerecht wird. Darüber hinaus wächst der Bedarf an leistungsfähigen Prüfsystemen, welche dem anwendungsspezifischen Bedarf an Information nachkommen. Schnell wird klar, dass eine Vielzahl von Aspekten und Beteiligten dazu beizutragen haben, dass die ZfPBau in der Praxis erfolgreich ist und maximalen Wert generiert. Im Folgenden wird versucht, die Akteure in prägnante Gruppen zu klassifizieren. Gemäß der Lieferanten- und Abnehmerbeziehungen wird eine Kette modelliert, welche den Prozess der Wertschöpfung verdeutlicht. Auf Grundlage dieses Modells sollen Betrachtungen des Bedarfs und der Abhängigkeiten angestellt werden. Weiter sind die Charakteristiken des Marktes für die ZfPBau anzusprechen.



Abbildung 1: Ultraschallprüfung exemplarisch für die praktische Anwendung moderner ZfPBau.

2. Wertschöpfungskette

2.1 Generieren von Werten

Die Fragestellungen und Szenarien, welche zur Einbeziehung von ZfP führen, sind vielfältig. Für die Betrachtungen in diesem Beitrag sei davon ausgegangen, dass der Einsatz von ZfP zum Zweck der Beschaffung von Informationen hinsichtlich des Zustandes eines Bauteils oder Bauwerks erfolgt. Die übergeordnete Motivation wird generell als die Gewährleistung von Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit des entsprechenden Objektes angenommen [3]. Diesbezüglich besitzt die strukturelle Integrität einen entscheidenden Anteil. Im Sinne der Dauerhaftigkeit wird das Ziel sein, Abweichungen frühzeitig zu erkennen, um ihnen entgegenzuwirken und auf diese Weise eine fortschreitende oder spätere Schädigung zu vermeiden.

Um den Wert langfristiger Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu erbringen, sind grundsätzlich unterschiedliche Prozesse denkbar. Insgesamt erscheint die Annahme plausibel, dass die Informationslage hinsichtlich des Bauwerkszustandes während der Herstellung, im Anschluss daran oder auch in einem fortgeschrittenen Alter des Bauwerks für das zielführende Handeln dabei sehr relevant ist. Eine Maximierung der bauwerksbezogenen Information führt zu einer Verbesserung der Entscheidungsgrundlage. Diese Information ist in der Realität begrenzt. Um zu gewährleisten, dass Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit nicht beeinflusst werden, muss ein Informationsmangel stets durch konservative (ungünstige) Annahmen kompensiert werden. Im Extremfall kann dies zur vollständigen Sperrung von Bauwerken führen bzw. einen Rückbau erzwingen. Auf der anderen Seite können nicht ausreichend konservative Annahmen u.U. fatale Folgen haben.

Generell dient die Einbeziehung von ZfP in einen Prozess der Erhöhung des Informationsstandes und somit der Verringerung von Annahmen aus Unsicherheit.

2.2 Wertschöpfung durch ZfP

Gleich in welcher Industrie oder in welchem Szenario ZfP Anwendung findet, lässt sich ihr Zweck mit der Zurverfügungstellung objektbezogener Information beschreiben (Abbildung 2). Die Objekteigenschaft, die durch die ZfP-Prüfung beschrieben werden soll, sei als Prüfmerkmal bezeichnet. Dieses ist Teil des Prüfobjektes, dessen Eigenschaften, wie beispielsweise Material, Geometrie oder Oberflächenbeschaffenheit, u.U. bei der Prüfung berücksichtigt werden müssen. Ebenfalls kann die Umgebung, in der sich das Prüfobjekt befindet, die Prüfung beeinflussen.

Im Normalfall werden die gesuchten Objekteigenschaften nicht direkt bestimmt. Vielmehr bezieht sich die ZfP-Prüfung auf die Messung bestimmter physikalischer oder chemischer Parameter, anhand derer auf die eigentlich gesuchten Eigenschaften geschlossen wird und so die Information bereitgestellt wird.

Eine ZfP-Inspektion besteht in der Anwendung eines ZfP-Verfahrens in Form von Equipment, welches durch Personal gemäß einer bestimmten Vorgehensweise (Procedure) angewendet wird. Naturgemäß muss das dazu eingesetzte Personal die entsprechende Kompetenz besitzen, welche durch Ausbildung, Training und Erfahrung erlangt werden kann.

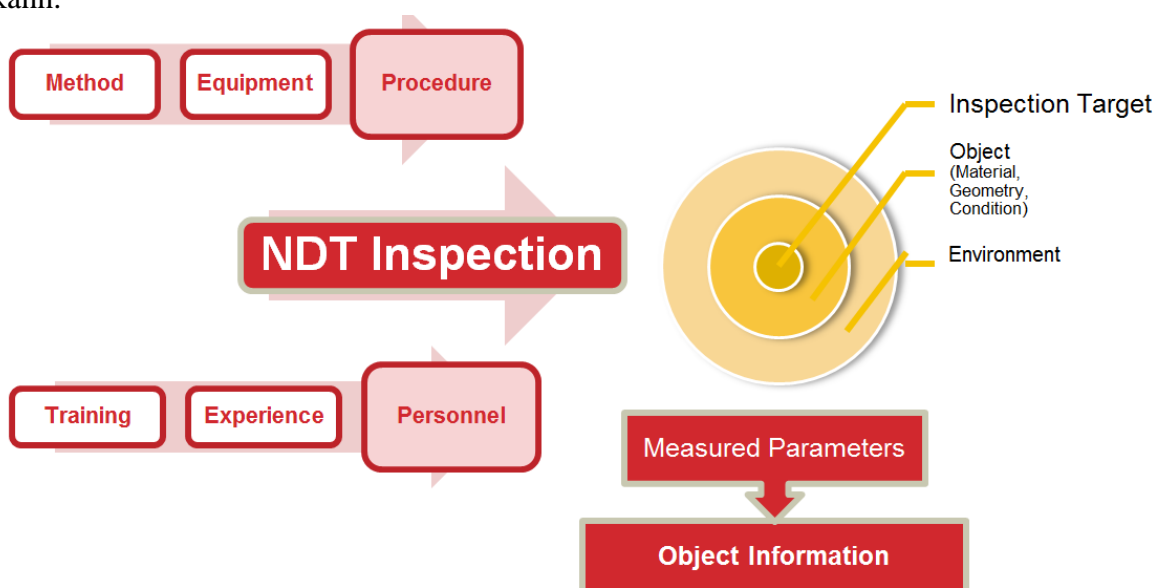


Abbildung 2: Abstrahierende Darstellung von ZfP als Lieferant von Information bzgl. der Beschaffenheit eines Objektes.

Hinsichtlich des übergeordneten Wertes von Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit liegt der Beitrag der ZfP somit im Bereitstellen von Informationen zur Einbeziehung in einem Prozess, der der Erreichung des übergeordneten Ziels dient. Der Wert der ZfP-Anwendung entspricht in diesem Prozess dem Wert der dadurch beschafften Information. Deren Wert ergibt sich aus ihrer Relevanz für den Prozess sowie der Zuverlässigkeit (Abbildung 3).

Die Relevanz ergibt sich aus dem übergeordneten Prozess. Für die Beschreibung der Zuverlässigkeit bedarf es einer Quantifizierung. Diese erweist sich in vielen Fällen als nicht trivial und ist u.a. Gegenstand der Arbeit an Forschungs- und Prüfanstalten [4], [5] sowie in Fachgremien [6]. Auch können technische Studien auf Basis von Modellierung und Simulation zielführend sein [7], [8], [9]. Auf Ansätze aus anderen Industrien [10] kann dabei durchaus zurückgegriffen werden, jedoch ist eine branchen- und bedarfsgerechte Adaption unabdingbar. Eine Unsicherheit in der Kenntnis bzw. Bestimmung der Zuverlässigkeit muss einer logischen Schlussfolgerung zur Sicherung der Prozesseffektivität entsprechend wiederum durch konservative Annahmen berücksichtigt werden. Aus dieser Perspektive betrachtet kommt der Optimierung einer derartigen Quantifizierung von Zuverlässigkeit eine ähnliche Priorität und somit ein Wertanteil zu wie der Optimierung des Leistungsvermögens eines ZfP-Verfahrens selbst.

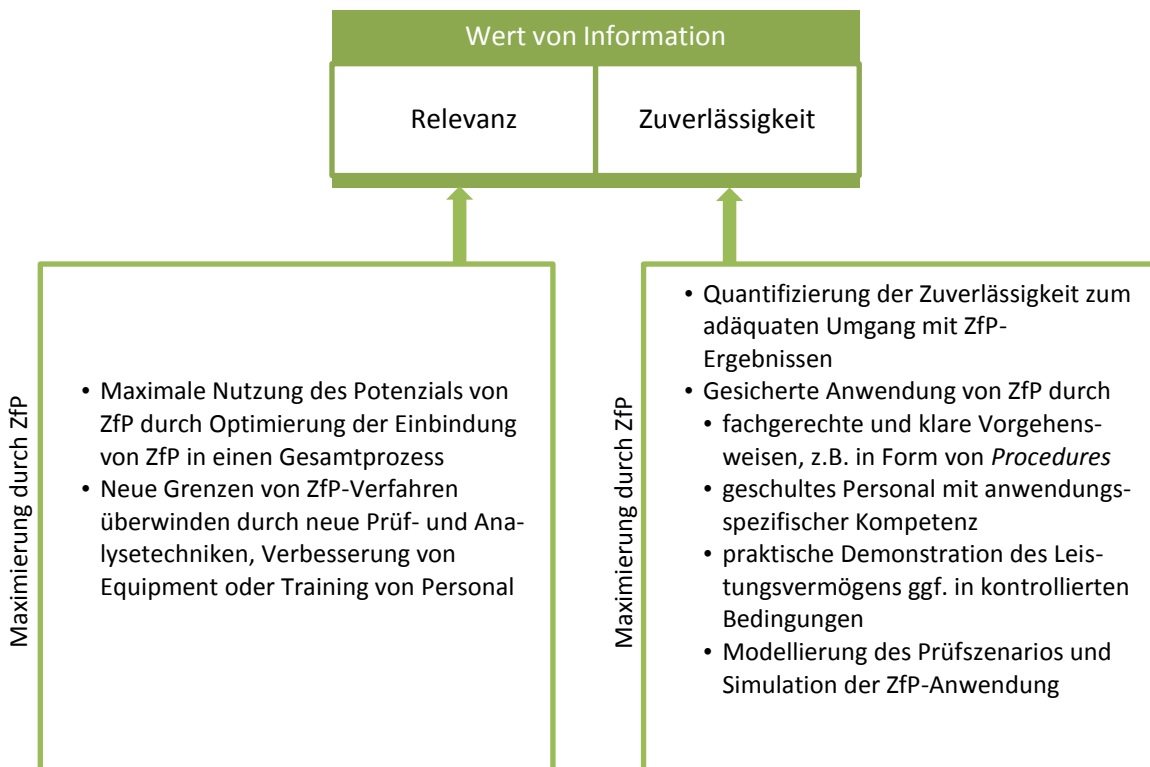


Abbildung 3: Der Wert von ZfP ist der Wert der Information, die sie erbringt. Deren Wert ergibt sich aus Relevanz und Zuverlässigkeit. Hinsichtlich beider Dimensionen sind in der Auflistung Möglichkeiten der Maximierung exemplarisch genannt.

2.3 Effektivität und Effizienz

Auch hinsichtlich des betrachteten Ziels der Gewährleistung von Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit gilt, dass dieses grundsätzlich durch verschiedene Prozesse erreicht werden kann. Für eine rationale Entscheidung müssen die Alternativen bewertet werden. Wesentliche Dimensionen zur Beurteilung wertschöpfender Prozesse sind Effektivität und Effizienz [11].

Der Begriff Effektivität beschreibt das Maß oder die Vollständigkeit der Zielerreichung, d.h. den Output des Prozesses. Der Aufwand für die Erreichung dieses Outputs ist nicht berücksichtigt. Demgegenüber stellt die Dimension Effizienz [12] das Verhältnis zwischen Output zu Aufwand dar und beschreibt somit die Wirtschaftlichkeit eines Prozesses [13].

Konkretisiert auf die Aspekte der Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken wird der Grad, zu dem diese Aspekte sichergestellt werden, durch die Prozesseffektivität beschrieben. Während ein effizienter Prozess diese Effektivität mit einem relativ geringen Aufwand erreicht, wird ein ineffizienter Prozess hingegen vergleichsweise aufwandsintensiver sein. Zur Beurteilung des Bauwerkszustandes ist Effektivität unabdingbar um diesen korrekt einzuschätzen und Effizienz notwendig um diese Effektivität in einem vertretbaren Rahmen von Zeit-, Material, Personal- und letztlich Kostenaufwand zu erbringen.

Ziel der ZfP sollte es sein, durch ihre Einbindung in einen Prozess, dessen Effektivität zu erhöhen bzw. das geforderte Maß sicher zu erreichen und gleichzeitig dessen Effizienz zu maximieren.

2.4 Eine Kette der Wertschöpfung

Um die Verknüpfungen und Abhängigkeiten zwischen Tätigkeitsfeldern zu modellieren, welche für einen effektiven und effizienten Einsatz von ZfP notwendig sind, wird hier der Begriff der Wertschöpfungskette [14] herangezogen (Abbildung 4).

Der zu erbringende Wert sei dabei die Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit eines Bauwerks. Der Endkunde, der am Ende der betrachteten Wertschöpfungskette steht, wird angenommen als Bauherr, Betreiber oder generell als Bauwerksverantwortlicher. Diesem ist ein Mehrwert in Zusammenhang mit Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit bei gleichzeitig optimaler ökonomischer Effizienz zu erbringen. Das erfolgt zum einen in der Bauwerksplanung durch eine geeignete Auslegung, beim Bau durch eine qualitativ hochwertige Ausführung und über die Zeit des Gebrauchs durch geeignete Nutzung, Wartung, Instandsetzung oder gegebenenfalls Substitution. Der hohen Verantwortung des Endkunden entsprechend ist davon auszugehen, dass ein hohes Maß an sicherheitstechnischer Effektivität gefordert wird und nur unter solchen Alternativen selektiert wird, welche diese auch tatsächlich erbringen können. Somit kann die Optimierung gemäß maximaler Effizienz erfolgen.

Neben der reinen Bauausführung bedarf es der technischen Einschätzung durch entsprechende Experten wie insbesondere Bauingenieure. Diese wird auf Basis der jeweiligen Informationslage erfolgen. Die Unsicherheit hängt einerseits von der Erfahrung des Experten und andererseits von gezielten Maßnahmen zur Informationsbeschaffung ab, welche diese Unsicherheit reduzieren und die Informationslage verbessern. Unsicherheiten müssen durch konservative Vorgehensweisen in Form von Sicherheitsmargen kompensiert werden. Im Sinne maximaler ökonomischer Effizienz ist eine Maximierung der Information respektive Verringerung der Unsicherheit anzustreben. Dem entgegen wirken jedoch Aufwand bzw. Kosten für die Beschaffung der Information, resultierend in einem Optimierungsproblem.

Neben anderen Alternativen – exemplarisch seien Sondierungen oder weitere zerstörende bzw. minimalinvasive Maßnahmen genannt – können gewisse Informationen durch Einsatz von ZfP beschafft werden. Hierfür bedarf es zunächst der Extraktion des eigentlichen Prüfproblems für die ZfP. Die von der ZfP erbrachte Effektivität hängt ab von dem entsprechenden Leistungsvermögen zur Erbringung der jeweiligen Parameter im Hinblick auf das entsprechende Prüfproblem. Ebenfalls zu berücksichtigen sind sämtliche Randbedingungen sowie die Korrelation der gemessenen Parameter mit der gesuchten In-

formation. Abweichungen schränken die Effektivität im Sinne einer verringerten Zuverlässigkeit ein. Letztlich resultiert das in einer größeren Unsicherheit, welche wiederum durch konservative und somit unwirtschaftliche Annahmen kompensiert werden muss.

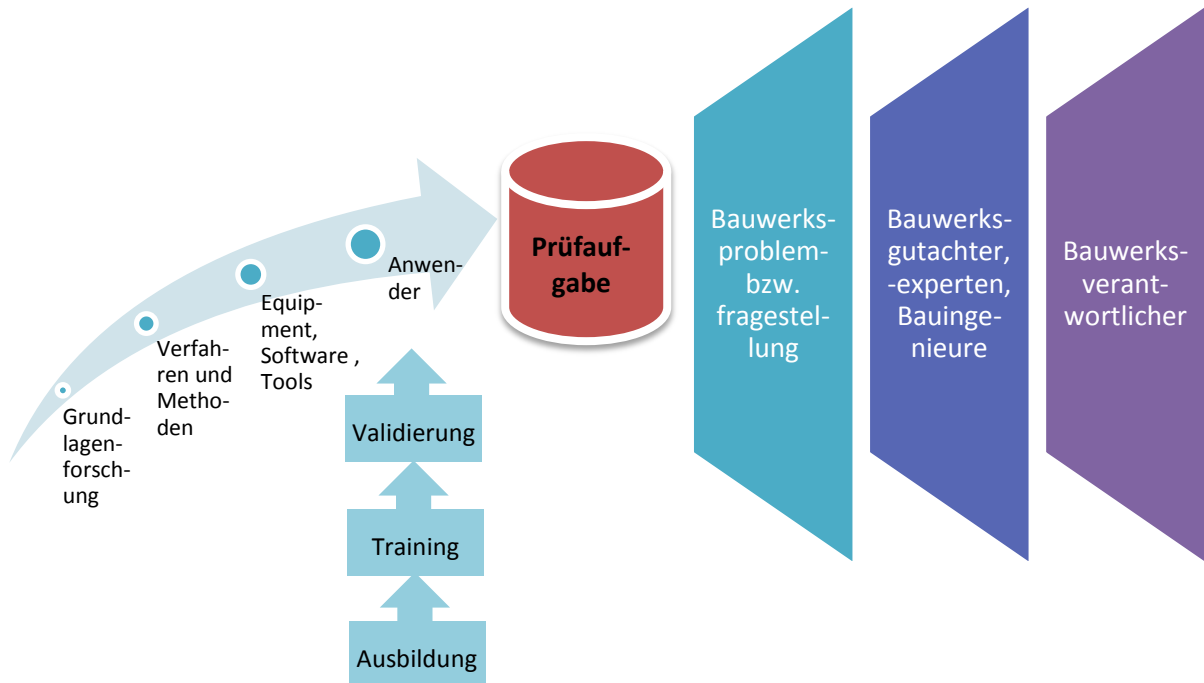


Abbildung 4: Wertschöpfungskette ZfPBau. Schematische Darstellung der Verknüpfung unterschiedlicher Elemente auf Anbieter- und Nachfragerseite in Bezug auf bauwerksbezogene Prüfaufgaben .

Die Effektivität der ZfP ergibt sich also aus der Korrelation der gelieferten ZfP-Parameter mit der Information, welche zur Beurteilung eines Bauwerks von den entsprechenden Experten benötigt wird, und der Relevanz dieser Information zur Beurteilung des Gesamtzustands. Der Wert wird verringert durch Unsicherheiten im Prozess, welche durch unwirtschaftliche konservative Annahmen und Maßnahmen zu kompensieren sind.

Die Bereitstellung leistungsfähiger ZfP-Systeme bedingt der Erzeugung von Wert hinsichtlich der drei Elemente Prüfprozedur, Equipment und Personal. Dies setzt die prüfproblemspezifische Entwicklung oder Einbeziehung von Prüftechniken voraus, auf deren Basis eine Prüfprozedur erstellt wird. Für die Anwendung bedarf es wiederum leistungsfähigen Equipments, welches in der Lage ist, die Prüftechnik physikalisch und systemtechnisch umzusetzen. Die Erarbeitung von Prüfprozeduren sowie die Anwendung von Equipment gemäß einer Prüfprozedur einschließlich Analyse und Beurteilung der Ergebnisse zur letztendlichen Lieferung der ZfP-Parameter als Output der ZfP ist Aufgabe von Personal, welches hierfür geeignet ist. Diese Eignung beinhaltet Ausbildung, Training und Erfahrung, welche in ausreichendem Maße vorhanden sein müssen. Diese werden durch geeignete Institutionen und Unternehmen bereitgestellt.

Gerätehersteller versuchen gezielt den Markt von ZfPBau-Anwendern zu bedienen und dazu beizutragen, deren Effektivität und Effizienz kontinuierlich zu steigern. Insbesondere kann durch die Anknüpfung an moderne Technologien und Konzepte wie dem Internet of Things (IoT) oder Augmented Reality beachtlicher Wertzuwachs für Kunden erbracht werden (Abbildung 5) [2]. Dafür betreiben Hersteller eigene Forschung und Entwicklung und können darüber hinaus auf den wissenschaftlichen Erkenntnissen und Entwicklungen

aufbauen, welche von Forschungs- und Entwicklungsinstitutionen wie insbesondere Universitäten und Bundesanstalten der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden.

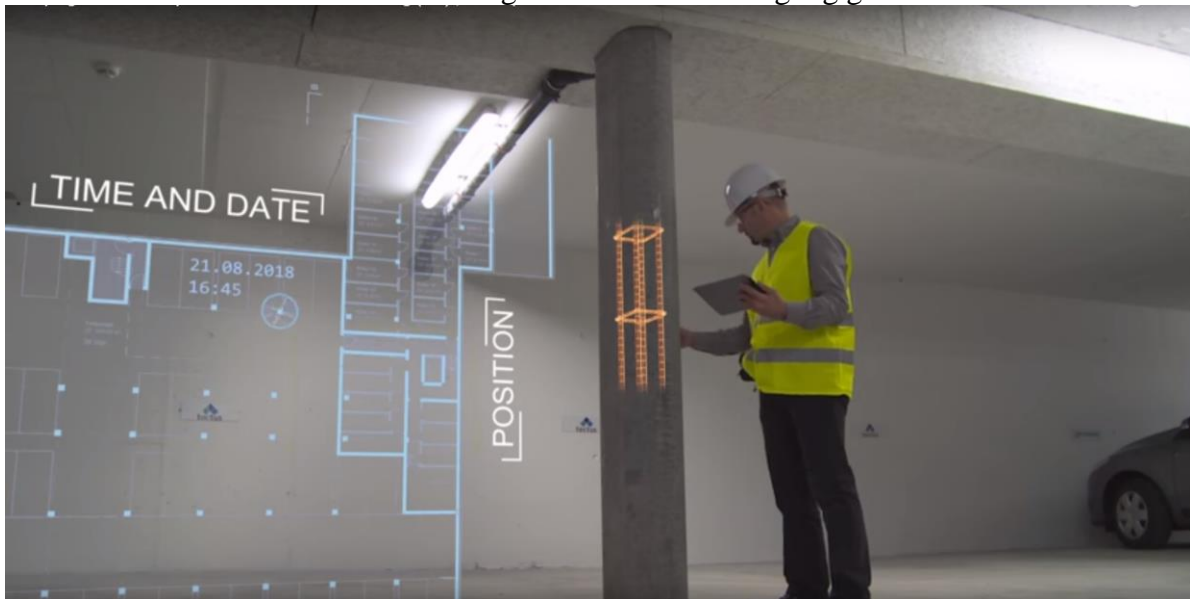


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung innovativer Konzepte wie dem Internet of Things und Augmented Reality in Verbindung mit ZfPBau-Anwendungen [2]. Bildquelle: Proceq SA

2.5 Herausforderungen in der Ausprägung der Wertschöpfungskette

Das Zustandekommen einer Wertschöpfungskette setzt sowohl das Vorhandensein einer ausreichenden Grundnachfrage am Ende der Kette als auch die ausreichende Ausrichtung von Angebot und Nachfrage auf allen Stufen der Kette voraus. Daraus folgert, dass die jeweiligen Kundenbedürfnisse erfüllt werden und die Beziehung zwischen Anbieter und Kunden zu ausreichenden Vorteilen auf beiden Seiten führt. Insbesondere bedingt es, dass auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette die Leistung zu einem Preis angeboten werden kann, welcher dem jeweiligen Kunden einen Vorteil gegenüber der Wahl jeder möglichen Alternative bietet, entsprechend einem Wettbewerb. Dies betrifft andere Anbieter gleichartiger Dienstleistungen oder Produkte ebenso wie alternative Techniken, Methoden oder Konzepte.

Der Wettbewerb führt zu einer stetigen Verbesserung des Angebotes für den jeweiligen Kunden und gleichzeitig zu einer Steigerung von Effizienz im Sinne einer Minimierung der Grenzkosten.

Entlang der Wertschöpfungskette optimiert sich somit die Interaktion zwischen aufeinanderfolgenden Elementen indem die Erfüllung des Kundenbedarfs maximiert und Effizienz gesteigert wird. Dies setzt voraus, dass die Nachfrage des Endkunden zu einer Nachfrage auf jeder Stufe der Wertschöpfungskette führt und sich somit entlang der Kette fortsetzt.

Unter der idealen Annahme eines freien und funktionierenden Marktes regulieren sich Angebot und Nachfrage dabei über den Preis [15]. Somit lässt sich schließen, dass Konzepte, welche auf der Informationsbeschaffung mittels ZfP basieren und einen Bedarf bei gleicher Effektivität effizienter befriedigen als jede andere Alternative, sich diese Vorgehensweise im Wettbewerb durchsetzen wird.

Einschränkend lässt sich jedoch feststellen, dass die in der Realität anzutreffende Komplexität beträchtlich sein kann und die angestellten Überlegungen in der dargestellten idealisierten Form nicht vollständig zum Tragen kommen.

Ein wesentliches Merkmal eines freien und funktionierenden Marktes ist dessen Transparenz und die vollständige Informiertheit auf Anbieter- und Kundenseite. Diese ist in der Praxis gerade bei komplexen Angeboten, wie sie in der ZfPBau die Regel sind, nicht vollständig gegeben. Markteintrittsbarrieren können in Form von Richtlinien oder Weisungen auf Seiten des Endkunden bestehen, welche ZfP-gestützte Lösungsansätze nicht vorsehen. Es ergibt sich ein zusätzlicher Aufwand für die Einbeziehung durch die Abweichung vom konventionellen Entscheidungsprozess und somit auf Seite des Endkunden die Notwendigkeit zur Erarbeitung eines Alternativprozesses für den Einzelfall. Das kann u.U. einen erheblichen Mehraufwand bedeuten, der die ökonomische Effizienz einer solchen Lösung zunächst mindert. Zur Minimierung dieses Zusatzaufwandes wird die ZfP-gestützte Lösung darauf abzielen, nahe am Handlungsprozess des Endkunden zu agieren bzw. sich in maximalem Maße in diesen einzugliedern. Unter der Voraussetzung eines vollständig informierten Endkunden wird dieser das Potenzial ZfP-gestützter Lösungen erkennen und in Prozessen derartige Optionen vorsehen, so dass mittel- bis langfristig hierdurch maximal profitiert werden kann.

2.6 Risiken erhöhen Anforderungen an Effizienz

Das Beschreiten neuer Wege erfolgt getrieben durch die Motivation eines langfristigen Erfolgs. Vor diesem Hintergrund ist die Bereitschaft absehbare Risiken einzugehen vertretbar. Grundsätzlich ist jedoch von einem risikoaversen Vorgehen auszugehen, so dass einer Erhöhung des Risikos eine entsprechende Erhöhung des erwarteten Gewinns gegenüberstehen muss [16].

Dieses muss berücksichtigt werden bei der kritischen Beurteilung von Alternativen und der Abschätzung des Erfolgs eines ZfP-lastigen, bzw. allgemein innovativen Prozesses im Wettbewerb mit anderen Prozessen. Somit erhöhen sich weiter die Anforderungen an die notwendige Effizienz für den innovativen Prozess.

2.7 Externe Effekte

Ein Vorteil ZfP-gestützter Prozesse kann u.a. in der Verringerung von Nutzungseinschränkungen oder gar Ausfällen von Bauwerken führen, was bedeutend zur Effizienz dieser Prozesse beiträgt. Die Quantifizierung erscheint dabei nicht immer eindeutig. Insbesondere ist entscheidend, in welchem Ausmaß die dadurch gewonnene Effizienz beim entsprechenden Endkunden verankert ist [17] und dementsprechend die Entscheidung zwischen Alternativen beeinflussen wird. Exemplarisch wäre bei Verkehrsbauten ein öffentlicher Endkunde denkbar. Hinsichtlich der Fragestellung, wie dieser den Effizienzgewinn durch die Vermeidung von Nutzungseinschränkungen bewertet, wäre zu klären, aus welcher Perspektive die entstehenden Kosten durch die Nutzungseinschränkung betrachtet werden, z.B. indem der volkswirtschaftliche Schaden durch Verkehrsverzögerungen ermittelt wird. Werden derartige Kosten in der Kalkulation berücksichtigt, sind die Folgen intern, anderenfalls könnte die Analogie von externen Effekten herangezogen werden [18]. Ob diese für einen Effizienzvergleich von Alternativen zu internalisieren sind [19], kann maßgebend das Resultat dieses Vergleichs und somit die Bewertung der wertrelevanten Effizienz beeinflussen.

3. Ausprägung von Arbeitsteilung und Schnittstellen

Zur Maximierung von Effektivität und Effizienz sind hinsichtlich der Abfolge von Arbeitsgruppen die Arbeitsteilung und die Ausbildung klarer Schnittstellen von Wichtigkeit. Das Prinzip der Arbeitsteilung basiert auf der Nutzung komparativer Vorteile, welche eine

Grundlage für wirtschaftliches Handeln bildet [20]. Die damit einhergehende zunehmende Spezialisierung erscheint sich in der ZfPBau bislang langsam zu vollziehen. Insbesondere sei die Vermutung erlaubt, dass dies durch die traditionellen Entscheidungs- und Handlungsprozesse erschwert wird, in welchen eine klare Schnittstelle für die ZfP alleine nicht immer zu finden bzw. zu isolieren ist. Somit kann die Einbeziehung von ZfP mitunter die Anpassung bisheriger Prozesse in relativ beträchtlichem Maße notwendig machen. Ebenso sind die Schnittstellen zwischen den einzelnen Wertschöpfungsaspekten entlang der modellierten und in Abbildung 4 skizzierten Kette noch nicht immer eindeutig und effizient ausgeprägt, was insbesondere der hohen Individualität der Prüfaufgaben bzw. der bauwerksbezogenen Fragestellungen geschuldet ist. Somit ist zu beobachten, dass Generalisten, wie z.B. Ingenieurbüros, welche gesamte Instandsetzungsprojekte betreuen und darin selbständig die Informationsbeschaffung durch ZfP einbeziehen und durchführen, häufig anzutreffen sind.

4. Die ZfPBau in ihrem aktuellen Lebenszyklus

Ohne den Anspruch auf die Erbringung gültiger Nachweise zu erheben, soll der Markt der ZfP im Bauwesen in Kürze beleuchtet werden. Generell ist eine Marktcharakterisierung eine wesentliche Grundlage für das strategische Verhalten von aktuellen oder potenziellen Marktteilnehmern [21].

Während die ZfP in einigen anderen Industrien wie insbesondere der Kerntechnik oder der Luft- und Raumfahrt bereits ein fester Bestandteil von Prozessen der Qualitätssicherung und Instandhaltung ist und in Richtlinien sowie Produkt- und Anwendungsnormen fest verankert und gefordert ist, trifft dies für die moderne ZfPBau bislang eher vereinzelt zu. Beispiele wären hier die Forderung von ZfPBau in der Tunnelinnenschalenrichtlinie [22] oder die planmäßige Berücksichtigung im Zusammenhang mit der Objektbezogenen Schadensanalyse bei der Prüfung von Bauwerken im Zuge von Straßen und Wegen nach DIN EN 1076 [23]. Obgleich eine sorgfältige Implementierung und planmäßige gesicherte Anwendung ohne Zweifel das Ziel ist, macht das weiterhin junge Stadium dieses Bereiches der ZfP ihn in ökonomischer Hinsicht interessant. Hierfür sei das Modell der Industrielbenszyklen [24] herangezogen, welches an das Modell des Produktlebenszyklus [25] [26] anknüpft und dabei Produkte und Dienstleistungen in aggregierter Form betrachtet [27]. Dementsprechend wird in die vier aufeinanderfolgenden Lebenszyklusphasen Entstehung, Wachstum, Reife und Alter unterschieden (Abbildung 6). Der genaue Verlauf dieser Phasen kann je nach betrachteter Industrie durchaus sehr unterschiedlich verlaufen.

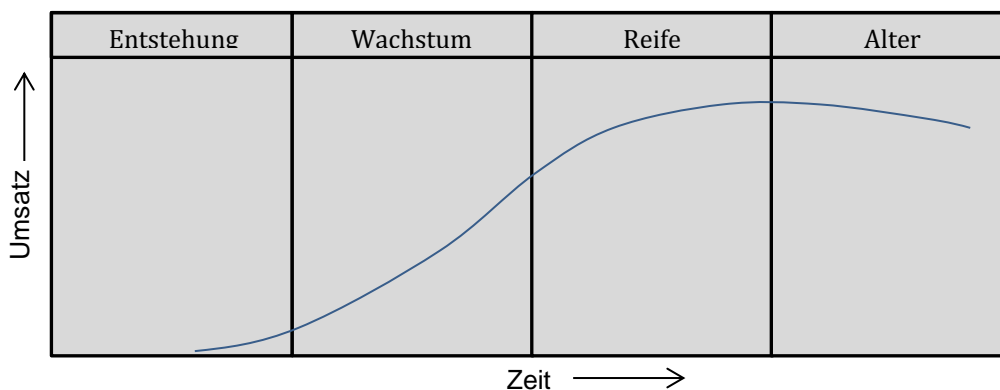


Abbildung 6: Lebenszyklusphasen einer Industrie nach Arthur D. Little

Eine Charakterisierung der Lebenszyklusphasen ist Abbildung 7 tabellarisch zusammengefasst. Auf dieser Grundlage lässt sich schlussfolgern, dass sich die ZfPBau aktuell im Lebenszyklus des frühen Wachstums befindet. Insbesondere erscheint die Anzahl der Wettbewerber sowohl im Hinblick auf Gerätehersteller, Anbieter von Prüfdienstleistungen als auch auf Gutachter und Projektleiter, welche die ZfP in Prozesse aufnehmen, aktuell anzuwachsen. Dennoch wird erkannt, dass das Potenzial vor allem im Wachstum der gesamten Branche liegt, so dass konstruktive Bestrebungen zur Wertschöpfungen im Sinne der Einbringung in Fachausschüssen und Gremien dem Konkurrenzgedanken erfreulicherweise zunächst überwiegen.

	Entstehung	Wachstum	Reife	Alter
Wachstumsrate	Unbestimmt	Hoch	Gering	Null
Marktpotenzial	Unklar	Klarer	Überschaubar	Bekannt
Sortiment	Klein	Rasche Erweiterung	Langsame bzw. keine Erweiterung	Bereinigung
Anzahl der Wettbewerber	Klein	Erreicht den Höchstwert	Konsolidierung; Grenzanbieter scheiden aus	Weitere Verringerung
Verteilung der Marktanteile	Nicht abschätzbar	Stetig fortschreitende Konzentration		
Stabilität der Marktanteile	Gering	Höher	Hoch	
Kundentreue	Gering	Höher	Abnehmend	Höher
Eintrittsmöglichkeiten	Gut (weil noch kein starker Wettbewerber vorhanden)	Noch gut – vor allem bei hohem Wachstum	Geringer	Meist uninteressant
Rolle der Technologie	Hoher Einfluss; Konzeptentwicklung und Produkt-Engineering	Hoher Einfluss; Produktlinie erweitern	Produktlinie erneuern und Herstellverfahren rationalisieren	Technologie ist bekannt, verbreitet und stagnierend

Abbildung 7: Bestimmung der Lebenszyklusphase einer Industrie nach Arthur D. Little, vgl. [24].

5. Fazit

Die ZfPBau ist ein vielfältiges Arbeitsfeld, welches neben technischen interessante ökonomische Aspekte aufweist. Eine interdisziplinäre Wertschöpfungskette lässt sich identifizieren. Entscheidend sind der Bedarf des Endkunden und dessen effektive Befriedigung. Das ist die grundlegende Motivation für die Wertschöpfungskette insgesamt und sollte dementsprechend klar identifiziert sein. Die Wertschöpfungskette beinhaltet zahlreiche Kunden-Lieferanten-Beziehungen in sich, welche die Schnittstellen bilden. Um die volle Effektivität und Effizienz zu gewährleisten müssen diese Schnittstellen sauber ausgebildet sein, um unnötige Verluste, welche mitunter beträchtlich sein können, zu vermeiden.

Der Wert der ZfP an sich besteht in der Information, welche sie bereitstellt. Diese ist allgemein durch Relevanz und Zuverlässigkeit gekennzeichnet. Dafür ist die Kenntnis dieser beiden Charakteristiken wichtig, da nur so eine Bewertung vorgenommen werden kann. Hinsichtlich der Relevanz von ZfP ist vor allem deren Einbindung in die entsprechenden Prozesse entscheidend.

Allgemein kann von Prozessen ausgegangen werden, welche die Gewährleistung von Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken zum Zweck haben und dabei die ZfP als wesentliche Informationsquelle heranziehen. Hierbei muss der von der ZfP zu erbringende Wert die Steigerung von Effektivität und Effizienz sein, bzw. bei gleicher Effektivität effizientere Prozesse zu ermöglichen. Die Bewertung kann jedoch in Abhängigkeit der konkret gewählten Messkriterien durchaus variieren.

Mit dem relativ jungen Lebensstadium der ZfPBau gehen teilweise noch vorhandene Ineffizienzen einher. Daraus ergibt sich jedoch ein erhebliches weiterhin vorhandenes

Potenzial für Optimierung und somit Wachstum. Entscheidend ist dabei, dass sich dies nicht auf die Anwendung oder die Technik der ZfP speziell bezieht, sondern auf den gesamten Wertschöpfungsprozess, in welchem diese technischen Aspekte einbezogen sind.

6. Danksagung

Gedankt sei den zahlreichen Gesprächspartnern insbesondere aus der ZfP-Praxis für deren Bereitschaft und Zeit mit dem Autor über das Thema zu diskutieren, insbesondere den Firmen Proceq SA, Bewehungsnachweis und -analyse und der Bauconsulting GmbH. Deutlich sei dabei angemerkt, dass die in diesem Beitrag gemachten Aussagen nicht notwendigerweise die Meinung der genannten Firmen oder anderer Gesprächspartner widerspiegeln.

7. Referenzen

- [1] R. Beutel, H.-W. Reinhardt, C. U. Grosse, A. Glaubitt, M. Krause, C. Maierhofer, D. Algernon, H. Wiggenhauser und M. Schickert, „Comparative Performance Tests and Validation of NDT Methods for Concrete Testing,“ *Journal for Nondestructive Evaluation*, Bd. 27, Nr. 1-3, pp. 59-65, September 2008.
- [2] Proceq SA, „Proceq Global Summit 2017,“ 2017. [Online]. Available: www.proceq.com/company/news-events/show/proceq-global-summit-2017. [Zugriff am 12 2017].
- [3] BAST Bundesanstalt für Strassenwesen, Richtlinie zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076, Bergisch-Gladbach, 2017.
- [4] A. Taffe, Zur Validierung quantitativer zerstörungsfreier Prüfverfahren im Stahlbetonbau am Beispiel der Laufzeitmessung (Heft 574), Bd. 574, Berlin: Beuth Verlag (Dissertation an der RWTH Aachen), 2008.
- [5] S. Feistkorn, Gütebewertung qualitativer Prüfaufgaben in der zerstörungsfreien Prüfung im Bauwesen am Beispiel des Impulsradarverfahrens, Bd. 503, DAfStb, Hrsg., Berlin: Beuth, 2012, p. 196.
- [6] D. Algernon, „Der Unterausschuss Qualitätssicherung im Fachausschuss ZfP im Bauwesen,“ *ZfP-Zeitung*, pp. 8-9, 02 2016.
- [7] D. Algernon und C. Grosse, „Einsatz von Modellierung und Simulation bei der Planung, Analyse und Interpretation von Ultraschallprüfungen,“ in *Bauwerksdiagnose*, Berlin, 2016.
- [8] P. Calmon, S. Mahaut, S. Chatillon und R. Raillon, „CIVA: An Expertise Platform for Simulation and Processing NDT Data,“ *Ultrasonics*, Bd. 44, Nr. Supplement 1, pp. 975-997, 2006.
- [9] H. Wirdelius und G. Persson, „Simulation Based Validation of the Detection Capacity of an Ultrasonic Inspection Procedure,“ *International Journal of Fatigue*, Nr. 41, pp. 23-29, 2012.
- [10] ENIQ European Network for Inspection and Qualification, „The European Methodology for Qualification of Non-destructive Testing, Third Issue,“ European Commission, Brussels-Luxembourg, 2007.
- [11] M. G. Pryor, J. C. White und L. A. Toombs, Strategic Quality Management: A Strategic Systems Approach to Quality, Houston, TX: Dame Publications, 1998.
- [12] K. Brunsson, The Teachings of Management, Springer, 2017.
- [13] P. F. Drucker, „Managing for Business Effectiveness,“ *Harvard Business Review*, pp. 53-60, May/June 1963.
- [14] M. E. Porter, Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance, New York, NY: Free Press, 1985.
- [15] A. Smith, The Wealth of Nations, 1776.
- [16] T. Hens und M. O. Rieger, Financial Economics, Berlin: Springer Texts in Business and Economics, 2016.
- [17] F. Breyer und M. Kolmar, Grundlagen der Wirtschaftspolitik. Mohr Siebeck, Tübingen 2010, S. 255–260., M. Siebeck, Hrsg., Tübingen, 2010, pp. 255-260.
- [18] A. Endres und V. Radke, Economics for Environmental Studies - A Strategic Guide to Micro- and Macroeconomics, 2 Hrsg., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2017.
- [19] G. Mankiw, Macroeconomics, 9 Hrsg., New York, NY: Worth, 2016.
- [20] D. Ricardo, The Principles of Political Economy and Taxation, London, 1911.
- [21] H. Assael, P. Reed und M. Patton, Marketing: Principles and Strategy, Sydney: Harcourt-Brace, 1995.
- [22] BAST Bundesanstalt für Strassenwesen, Richtlinie für die Anwendung der zerstörungsfreien Prüfung von Tunnelinnenschalen (RI-ZFP-TU), 2007.
- [23] DIN EN 1076 2010-04, Beuth, 2010.
- [24] H.-G. Servatius, Methodik des strategischen Technologie-Managements. Grundlage für erfolgreiche Innovationen, Berlin: Schmidt Erich Verlag, 1985.
- [25] S. Klepper, „Entry, Exit, Growth and Innovation over the Product Life Cycle,“ *The American Economic Review*, Bd. 86, Nr. 3, pp. 562-583, 06 1996.
- [26] U. Höft, Lebenszykluskonzepte: Grundlage für das strategische Marketing- und Technologiemanagement, Bd. 46, Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1992.
- [27] K. N. Saad, P. A. Roussel und C. Tiby, Management der F& E-Strategie. Wiesbaden:, Gabler-Verlag, 1991.