
Hartmut Baumbach

Die Qualität von technischen, technologischen und Dienstleistungsprozessen*

1. Der Begriff: Entwicklung und Definition
2. Der Zweck: die Prüfung
3. Das Management: die Modellierung und die prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung

1. Der Begriff: Entwicklung und Definition

Historisch gesehen stammt der Begriff *Qualität* im europäischen Sprachraum von Plato (*Theaetetus* 182a). Sein dafür benutztes Wort *poiotēs* wurde von keinem geringeren als Cicero selbst ins Lateinische übersetzt mit *qualitas, -atis*¹. Aristoteles verwendet den Begriff Qualität als philosophische Kategorie (Kategorien, oberste Begriffe, 57) und versteht darunter verkürzt gesagt die Beschaffenheit, und ist somit verschieden vom allgemeinsprachlichen Verständnis im Sinne von Vortrefflichkeit, Exzellenz oder Anspruchsklasse.

Inzwischen haben sich der Begriffsumfang und der Kontext, in denen der Begriff verwendet wird, reichlich entwickelt. So schreibt Kurt Wais über die Grundlagen und Qualität von Balzacs Vater Goriot², veröffentlicht die Bundesministerin für Justiz die Satzung für Qualitätskontrolle der Wirtschaftsprüferordnung³, publizieren die Herren Röbbcke und Simon, dass es „weder klar (ist), was unter >Qualität der Forschung< zu verstehen ist, noch ob und in welcher Form Evaluationen ein geeignetes Instrument zur >Qualitätssicherung< sein können.“⁴

Qualität wird mittels Qualitätsmanagement gemacht. Das Qualitätsmanagement ist eine junge Wissenschaft, die sich etwa seit den 40er Jahren des

* Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften der Leibniz-Sozietät am 21. Juni 2001

20. Jahrhunderts etabliert hat. Pioniere auf diesem Gebiet waren in der neuen Welt die *American Society for Quality Control ASQC*⁵, in Europa die *Niederländische Dutch Foundation of Quality KDI* und die *Deutsche Gesellschaft für Qualität DGQ*⁶. 1956 wurde die *European Organization for Quality EOQ*⁷ gegründet. Sie widmete sich mit dem „glossary of terms“ von Anfang an der Klarstellung von Begriffen.

Die Qualität eines Produktes, einer Dienstleistung oder eines Prozesses wird durch eine Evaluation, eine Prüfung oder ein Audit ermittelt.

„Gérard Toulouse, Physiker und Kognitionswissenschaftler an der Pariser Ecole Normale Supérieure erklärte das 21. Jahrhundert kurzerhand zum Jahrhundert der Evaluation“.⁸ Bis 1970 war der Begriff *Evaluation* in keinem der größeren deutschsprachigen Lexika zu finden, wohl aber in der *Encyclopædia Universalis France*.

Der Begriff *Evaluation* kommt von *valere, valeo, valui*, d.h. im engeren Sinne *stark werden, an Kraft zunehmen* und im übertragenen Sinne *dem Werte nach*. Es wird im Perfekt benutzt im Sinne von *vermögen* und *im Stande sein*⁹. In neuerer Zeit wird *evaluieren* vom französischen *evaluer = abschätzen* abgeleitet und hat im Bildungsbereich den Sinn von sach- und fachgerechter Bewertung.¹⁰

Diese war, was die Evaluierung der Bildungs- und Forschungslandschaft Anfang der 90er Jahre in den neuen Bundesländern betrifft, hinsichtlich der Auditoren meist von Sorgfalt und ernstem Bemühen getragen. Hinsichtlich der Bewertung durch den Wissenschaftsrat war dies eher der Ausnahmefall und politisch vorgeprägt. Diese Evaluierung war insofern methodisch einfach, als als Selektionskriterium die vermeintliche oder tatsächliche sogenannte Staatsnähe diente. Die Konsequenz war die Abwicklung. Der Begriff ist definiert bei H. Göring, „Ausführungsbestimmungen über Arisierung der jüdischen Wirtschaft“.

Ab Mitte der 90er Jahre wurde sie in den alten Bundesländern einerseits zur Systemevaluierung der Max-Planck- und Fraunhofer-Modelle, und andererseits zur Evaluierung der Institute der Blauen Liste (Leibniz-Gemeinschaft). Hier ging es um die Evaluierung von Forschungseinrichtungen und nicht um die von Forschungsprogrammen oder Förderkriterien. Die Qualitätsmerkmale von Forschungsinstituten sind relativ einfach, klar, durchsichtig und akzeptabel zu formulieren.

Die Evaluierung der Universitäten und Hochschulen ist IM WESENTLICHEN steckengeblieben. Das liegt ursächlich in der Problematik der Definition der wesentlichen Qualitätsmerkmale, denn: „Qualität ist nicht nur, die Sachen richtig zu machen, sondern auch die richtigen Sachen zu machen.“¹¹, d.h.: wer definiert die Qualitätsmerkmale? (s. auch Abb. 2). Qualität ist eine Produkt- oder Dienstleistungseigenschaft, die dessen/deren Gebrauchtauglichkeit charakterisiert, und keine Aussage über die Forderungen oder Erfordernisse, welche die Gebrauchtauglichkeit bestimmen. Wer ist Kunde und wie kommt der Kunde oder Auftraggeber zu seinen Anforderungen? Im Januar 2001 hat die EU in ihrer Ausschreibung zum IHP-Programm „Gemeinsamer Bestand an Indikatoren für Wissenschaft, Technologie und Innovation“ einen Aufruf zur Einreichung von Vorschlägen dieser Art gestartet¹², d.h. die Dinge sind noch im Fluss.

Die Fragen der Ethik und der Verantwortung der in der Wissenschaft Beschäftigten werden seit Hiroshima, Nagasaki und den Anwendungen der Genforschung intensiv diskutiert. In der EU gibt es eine Ethikkommission¹³. Damit in Zusammenhang stehen die Bemühungen der EK, die Wissenschaft wieder in den Mittelpunkt der Gesellschaftlichen Diskussion zu stellen.

Der Begriff *Evaluation* kommt somit in eine Reihe zwischen *Audit*¹⁴, *Prüfung* (s. unten) und *Inquisition* zu stehen. Er hat in jüngster Zeit eine ähnliche Modifikation erfahren wie der Begriff *Inquisition* in den zurückliegenden 2000 Jahren. Dieser leitet sich ab von *inquisitio*, *inquisitionis* = 1. *Suchen, Auffinden, Zusammensuchen*, 2. *Untersuchung, Erforschen*, und zwar im philosophischen und im rechtlichen Sinn. Die Inquisition hatte im Römischen Reich vor Kaiser Konstantin dem Großen im schwersten Fall geistliche Bußmittel zur Folge, mit anderen Worten: nur wer an die Sache glaubte, sollte zum Festmahl erscheinen. Erst als das Christentum im Römischen Reich zur Staatsreligion wurde, sind Zwangsmaßnahmen gegen Häretiker eingesetzt worden. Erst im frühen Mittelalter wurden kirchliche Vergehen mit weltlichen Strafen belegt. Mit dem zunehmenden Einfluss der Albigenser, Waldenser, Bogumilen und anderen wurde die Inquisition zur Institution. Diese Verschärfungen wurden unter dem so geachteten Kaiser Friedrich dem I. Barbarossa eingeführt. Mit dem Konzil von Toulouse 1229 wurde durch den Übergang von der bischöflichen zur päpstlichen Inquisition, also der Zentralisierung und Institutionalisierung, die Wirksamkeit der Inquisition erhöht. Als Inquisito-

ren wurden nun Dominikaner und später auch Franziskaner tätig. Kaiser Friedrich II. führte in diesem Zusammenhang in seinen Krönungsgesetzen die Todesstrafe durch Verbrennen ein. Er führte folgende Prozedur ein: erstens: Selbstanzeige, zweitens: Denunziation, drittens: Vorladung, Vorführung, Verhaftung, viertens: Untersuchung mit dem Ziel des Schuldbekenntnisses, fünftens: Geheimhalten der Denunzianten und Zeugen und sechstens: keine Zulassung von Verteidigern. Schließlich genehmigte Papst Innozenz IV. im Jahre 1382 die Folter. Der Strafenkatalog enthielt: 1. Einfache kirchliche Strafen, 2. Konfiszieren der Güter, 3. Überantwortung an die weltlichen Instanzen zur Vollstreckung des Todesurteils durch Verbrennen. In Deutschland war diese Periode der Inquisition im Vergleich zu anderen europäischen Ländern relativ kurz, weil der Großinquisitor Konrad von Marburg nach zweijähriger Tätigkeit 1233 erschlagen wurde. Mit dem zweiten Vatikanischen Konzil 1965 verzichtete der Heilige Stuhl auf weltliche Zwangsmaßnahmen infolge religiöser Verfehlungen.¹⁵

Gegenwärtig wird der Begriff *Qualität* in wenigstens 10 verschiedenen Kontexten definiert¹⁶, wovon hier die wesentlichen sind


- Philosophie
- Linguistik, Musik und Phonetik (Klangfarbe)
- Leben allgemein (Vortrefflichkeit)
- Wissenschaft, Lehre und Forschung
- Produkte und Dienstleistungen der Wirtschaft (Gebrauchstauglichkeit)

Ein historisches Dokument zur Qualität von Produkten der Wirtschaft ist der Erlass des russischen Zaren Peters des I. über die Qualität vom 11. Januar 1723. Darin ist drastisch formuliert, wie das Qualitätsmanagement zu arbeiten hat und wie die entsprechende Motivation in einem ausgewogenen Verhältnis von Tadel und Lob geweckt wird. Im Originaltext liest sich das auszugsweise und in deutscher Übersetzung wie folgt:

„... Die Inspektoren und ihre Gehilfen haben zu prüfen, wie die Aufseher die Gütestempel erteilen. Im Zweifelsfalle haben sie selbst nach eigener Sicht- und Schussprüfung zu urteilen. ... Falls im Heer bei Schlachten Verluste wegen unzureichender Aufsicht durch die Inspektoren und Gehilfen auftreten, so sind diese durch Schläge auf den entblößten Körper erbarmungslos auszupeitschen und wie folgt zu bestrafen. ... befehle ich, den Inspektoren und

ihren Gehilfen Häuser nicht schlechter als das Herrenhaus zu bauen. Falls sie schlechter sind, so soll Demidov [der mit dem Ukas neu berufene Direktor der Tulaer Waffenfabrik] nicht beleidigt sein, wenn ich befehle, ihn vom Leben zum Tode zu befördern.“ (Abb. 1)

Abbildung 1: Ukas Peters des I. über die Qualität



ПЕТР I
О КАЧЕСТВЕ
УКАЗ
ИЗДАНЫ 11 АПР 1725 ПОДЛ

Peter I. Über die Qualität / UKAS vom 11. Januar 1723
Übersetzung: K.-P. Steiger

Ich befehle:

den Herren der Tulaer Fabrik, Kornil Beloglasov, weil er ein Schürke ist, der es wagte, an die Truppen des Staates unbrauchbare Kanonen und Gewehre zu verkaufen, auszuspeitschen und zur Arbeit in die Klöster zu verbannen.

den Oberaufseher, Frol Fuchs, auszuspeitschen und nach Asow zu verbannen; er sollte keine Gütestempel in schlechte Waffen schlagen.

Der Verwaltung für Bewaffnung wurde befohlen, ihren Sitz von Petersburg nach Tula zu verlegen und Tag und Nacht die Funktionsfähigkeit der Waffen zu überwachen.

Die Inspektoren und ihre Gehilfen haben zu prüfen, wie die Aufseher die Gütestempel erteilen. Im Zweifelsfälle haben sie selber nach eigener Sicht- und Beschussprüfung zu urteilen. Monatlich sind zwei Waffen einer Beschussprüfung bis zum Ausfall zu unterziehen.

Falls im Heer bei Schlachten Verluste wegen unzureichender Aufsicht durch die Inspektoren und Gehilfen auftreten, so sind diese durch Schläge auf den entblößten Körper erbarmungslos auszuspeitschen und wie folgt zu bestrafen:

- der Besitzer mit 25 Peitzgenhieben und 1 Tacharwoanz pro Waffe,
- der Chefinspektor ist bis zur Bewußtlosigkeit auszuspeitschen,
- der Oberinspektor der Verwaltung ist zum Unteroffizier zu degradieren,
- der Inspektor ist zum Schreiber zu degradieren. Dem Gehilfen ist das sonstigliche Glas Wodka auf die Dauer von einem Jahr zu entziehen.

Dem neuen Herren der Waffenfabrik, Demidov, befehle ich, den Inspektoren und ihren Gehilfen Häuser, nicht schlechter als das Herrenhaus, zu bauen. Falls sie schlechter sind, so soll Demidov nicht beleidigt sein, wenn ich befehle, ihn vom Leben zum Tode zu befördern.

Heutzutage ist etwas umständlicher und weniger drastisch, national und international verbindlich definiert¹⁷: „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt.“

Inhärente Merkmale gehören zu Produkten, Prozessen oder Systemen, z.B. als geometrisches Merkmal wie der Durchmesser einer Schraube, als physikalisches Merkmal wie der elektrische Widerstand eines Drahtes, als technisches Merkmal wie die Festigkeit eines Betonkörpers, als versicherungsrelevantes Merkmal, wie die Versagenswahrscheinlichkeit eines Bauteils, oder auch als dienstleistungstypisches Merkmal, wie die Wartezeit bei einem Call-center.

Ein zugeordnetes Merkmal, z.B. der Preis für eine gemietete Wohnung, ist kein inhärentes Merkmal dieser, sondern des zugehörigen Mietvertrages.

Eine *Anforderung*¹⁸ ist entweder ein Erfordernis, das in einem Vertrag, bzw. in einem Lastenheft des Auftraggebers, welcher Art auch immer spezifiziert und verbindlich vorgeschrieben ist oder eine Erwartung, die üblicherweise vorausgesetzt werden darf. Bei einem Kleidungsstück werden Größe, Farbe, Material und Design, ggf. auch Pflege und Waschanleitung angegeben und vorgeschrieben, und dass eine Jacke zwei Ärmel hat, wird üblicherweise vorausgesetzt. Von einem Automobil werden technische Spezifikationen in einem Begleitdokument bzw. Kaufvertrag angegeben und festgeschrieben, seine Gebrauchsfähigkeit wird üblicherweise vorausgesetzt.

Die Anforderungen werden von Kunden und anderen interessierten Parteien explizit oder implizit (Erwartungen) formuliert oder vorausgesetzt.

Der *Kunde* ist die „Organisation oder Person, die ein Produkt empfängt“¹⁹, z.B. der Verbraucher, der Klient, der Endanwender, der Einzelhändler, der Nutznießer, der Käufer.

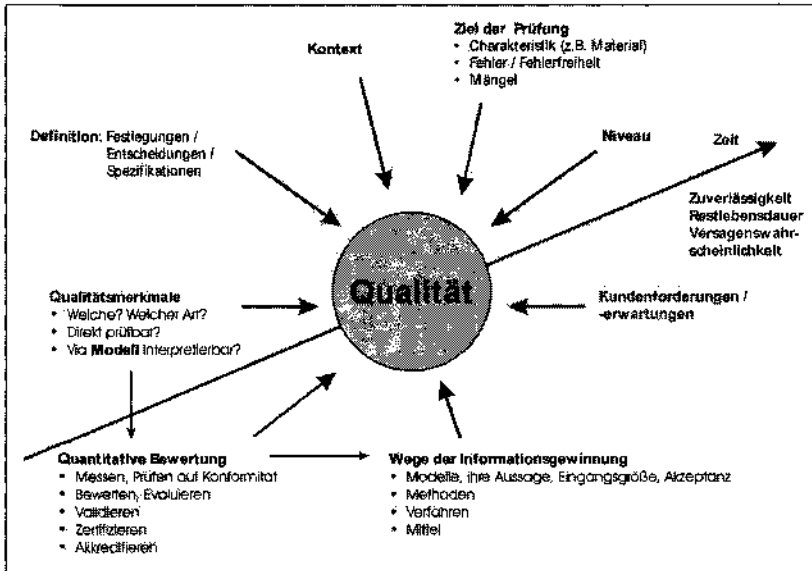
Interessierte Parteien sind „Person(en) oder Gruppe(n) mit einem Interesse an der Leistung oder dem Erfolg einer Organisation“²⁰, z.B. Kunden, Eigentümer, Angestellte, Lieferanten, Bankiers, Vereinigungen, Partner oder die Gesellschaft.

Dieser Begriff der Qualität in den Natur- und Technikwissenschaften und der Wirtschaft trägt *nicht* die Facette der Vortrefflichkeit, der Exzellenz, oder der Anspruchsklasse.²¹

Die in der Erläuterung des Begriffes Qualität genannten Erfordernisse werden von der Gesellschaft bzw. dem Kunden festgelegt, und zwar als Qua-

litätsmerkmale, d.h. Kenngrößen oder Kennwerte inkl. ihrer quantitativen Bewertung und der Wege zur Informationsgewinnung (Abb. 2).

Abbildung 2: Qualität



Hier liegt das erste Problem, z.B. im Hochschulbereich: Wer ist Kunde der Universität und bestimmt bzw. bezahlt damit diese Einrichtung? Der Student oder sein künftiger Arbeitgeber in der Industrie oder bei der öffentlichen Hand bzw. die Praxis, Kanzlei, Sozietät oder Firma, in der er selbständig arbeiten wird, oder auch die Gesellschaft (im föderalen Staatswesen das Land), spricht: der Steuerzahler, der die Universität budgetiert? Und wer oder was ist das Produkt der Universität? Der Absolvent oder die Lehrveranstaltung?^{22,23} Und wie verträgt sich dieses mit dem Wertesystem der Gesellschaft, verankert im Grundgesetz als Freiheit der Lehre und Forschung?

Dazu die Universität der Bundeswehr München: „... die akademische Freiheit ... beinhaltet die Verpflichtung zur eigenverantwortlichen Gestaltung (des Studiums – das heißt insbesondere *frei sein für* das Studium und nicht *frei sein vom Studium*“.²⁴

Der Präsident der Humboldt-Universität zu Berlin, Prof. Hans Meyer, formulierte jüngst in diesem Zusammenhang: „Wenn die Universität nicht mehr als der Ort aufgefasst wird, an dem der Lehrende Leistung erbringt und der Lernende sich lediglich überlegt, ob er sie und wie er sie annimmt, dann bedeutet das Hochschulstudium eine Verpflichtung für beide Seiten.“²⁵

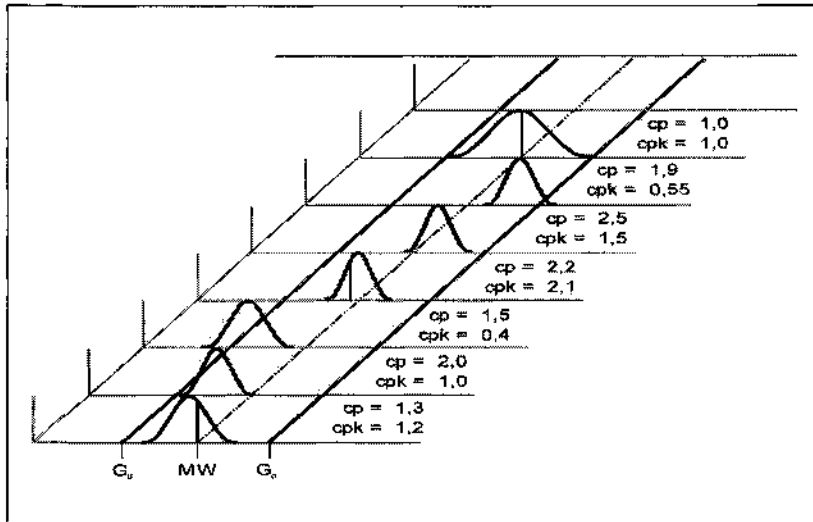
Für die Fächer, wo die zentrale Studienvermittlung wirksam wird, also der Student weder seine Fakultät, noch die Fakultäten ihre Studenten frei auswählen können, klappt der Widerspruch zwischen Macht und Entscheidung der Zentrale und Verantwortung der Fakultät für die Qualität der Ausbildung. Überall wo Macht und Verantwortung getrennt sind, wachsen Formalismus und Bürokratie. Andererseits bestehen bei Fächern ohne Zugangsbeschränkung nur geringe Möglichkeiten der Eingangsselektion, wodurch es angesichts der restriktiven finanziellen und personellen Bedingungen problematisch ist, exzellente Absolventen in großer Anzahl hervorzubringen.

Das zweite Problem liegt darin, eine möglichst hohe Produktivität bei gleichzeitiger definierter und hoher Qualität der mit dem Prozess – seien es Fertigungs-, Forschungs- oder Ausbildungsprozesse – erzeugten Produkte zu erreichen. Dazu bedarf es wenigstens zweier Voraussetzungen: 1. der Prozess muss stabil sein, d.h. beherrscht werden; das ist er dann, wenn die Streuung s und die Lage des Mittelwertes MW des inhärenten Qualitätsmerkmals konstant sind; und 2. der Prozess muss (qualitäts-)fähig sein. Die Prozessfähigkeit wird mit Hilfe zweier Indices beschrieben: C_p und C_{pk} . C_p ist der Quotient von Toleranz und Prozessstreuung (hier z.B. $6 \times s$). Der Faktor vor der Streuung s wird durch die Anzahl der Ausreißer bestimmt, die man im Los zulassen will bzw. mit einer Versicherungsprämie abgedeckt hat. Die Toleranz ist die Differenz von oberem Grenzwert G_o und unterem Grenzwert G_u , d.h. $C_p = G_o - G_u / 6 \times s$. Die Grenzwerte G_o und G_u eines Endproduktes werden vom externen Kunden auf dem Markt bestimmt. In einer Fertigungskette hängen die akzeptablen Toleranzen von den Kosten, mit denen man sie erreicht, und von den Folgekosten ab, die sie in der Weiterverarbeitung verursachen.

$C_{pk} = C_p (1-K)$. K kennzeichnet die Zentrierung des Prozesses ($K = 0$ entspricht einem zentrierten Prozess) und berücksichtigt die Abweichung des Mittelwertes (Lage des Prozessniveaus) μ zur Mitte des Toleranzbereiches. Der Prozess heißt fähig, wenn $C_p > 1$ ist. C_{pk} ist stets $\leq C_p$ (Abb. 3). Ist $C_p < 1$,

führt der Prozess zu fehlerhaften Produkten. Ist $C_p=1$ bei optimaler Zentrierung ($K=0$), so bedeutet $6 \times s$, dass 0,3% der Teile fehlerhaft sein können und schon geringe Abweichungen von der optimalen Einstellung $K=0$ zu einer deutlichen Zunahme des Ausschusses führen. Kundenforderungen von $C_p=1,33 \dots 2$ sind heute normal.

Abbildung 3: Prozessfähigkeit



Alle Verteilungen von relevanten Qualitätsparametern auf einem Mittelwert MW zu halten ist einerseits unmöglich und andererseits unwirtschaftlich. Die Stabilität des Prozesses ergibt sich nicht nur aus einem Wert, sondern aus einer Reihe von Werten, weil der Prozess nicht nur aus einem Schritt besteht. Stabilität oder Beherrschung des Prozesses bedeutet:

1. Dass die Schwankungen der Qualitätsparameter innerhalb der Grenzwerte liegen, d.h. der Mittelwert der Verteilung liegt innerhalb der Grenzwerte, und es gibt keinen Ausreißer der Verteilung außerhalb der Toleranzschranken bzw. Grenzwerte.

2. Die Ursachen der Schwankungen der Einzelwerte um den Mittelwert sind bekannt und werden beherrscht.

2. Der Zweck: die Prüfung

Ziel und Zweck der Definition von Qualitätsparametern ist die Möglichkeit und der Vorgang des Prüfens auf Konformität von inhärenten Produktmerkmalen und Kundenforderungen. Die Ermittlung der genannten Werte und Größen ist Gegenstand der Prüfung.

Der Sinn des Wortes *prüfen* bezieht sich bei Konfuzius²⁶ noch auf den Menschen, im Alten Testament bereits ebenso auf die Rede wie auf die Speise²⁷, also Materialien. Das deutsche Wort *prüfen* leitet sich aus dem Lateinischen *probare*, -avi, -atum ab und beinhaltet sowohl im eigentlichen Sinn die Prüfung auf physische Eignung und im übertragenen Sinn auf moralische Tüchtigkeit.²⁸ Im Mittelhochdeutschen bedeutet *prüeven*: *erwägen, erkennen, beweisen, erproben*.²⁹

Ältere Lexika beziehen die Prüfung, das Examen, auf die Erforschung der Richtigkeit einer Lehre oder Aussage, des Wertes einer Sache oder der Tüchtigkeit eines Menschen, letztere in Zusammenhang mit Schulwesen oder Staatsdienst, und außerdem im Sinne einer kritischen Untersuchung von Geschäftsvorfällen und sonstigen Vorgängen auf ihre Ordnungs-, Gesetz- oder Zweckmäßigkeit.³⁰

Interessanterweise sind unter *Materialprüfung* bereits im Jahre 1897³¹ alle modernen Aspekte der zerstörungsfreien Prüfung (zFP) und des Qualitätsmanagements enthalten:

„Materialprüfung: die Prüfung von Materialien verschiedener Art bezweckt die Feststellung der Eigenschaften in qualitativer und quantitativer Beziehung, von welchen die Brauchbarkeit, Anwendbarkeit, Dauer, Haltbarkeit oder der Gebrauchswert in gesundheitlicher, ökonomischer und konstruktiver Hinsicht abhängt ...

Sehr häufig handelt es sich um den Nachweis von Verunreinigungen, welche der Ware von ihrer Bereitstellung her anhängen, oft aber auch um direkte Verfälschungen, die in ausgedehntem Maß betrieben werden. Gibt es doch Fabriken, welche nur geeignete Fälschungsmittel herstellen: gesiebten und

gefärbten Sand zur Verfälschung von Sämereien (Kleesaat) und wertlose Mischungen verschiedener Art zur Verfälschung von Gewürzen ...

Mit dem Ergebnis der chemischen und mikroskopischen Analyse ist aber nicht immer ein Maßstab zur Beurteilung der Ware geliefert, denn häufig kommen noch Behältnisse in Betracht, welche sich jeder Untersuchung entziehen und besser durch Auge, Zunge, Nase festgestellt werden. Und andererseits bedarf es genauer Kenntnisse der Geschäftsverhältnisse, um die Bedeutung der Untersuchungsergebnisse richtig zu beurteilen. Es ist zugegeben, dass die Unredlichkeit im geschäftlichen Verkehr eine bedenkliche Höhe erreicht hat, andererseits aber stellt auch häufig das Publikum unberechtigte Anforderungen an die Ware. Zur Größe und Sicherung des Verkehrs sind daher auch durch Gesetze, Verordnungen und Vereinbarungen in den Interessenkreisen bestimmte Normen aufgestellt worden, nach welchen die verschiedenen Waren zu beurteilen sind...; Desgleichen wurden Prüfanstalten errichtet, in welchen von autoritativer Seite Untersuchungen bestimmter Materialien vorgenommen werden ...“

Das englische *test* bezeichnet eine kritische Untersuchung, Beobachtung oder Abschätzung. Es hat seinen Ursprung im Lateinischen. *Testum* war die allgemeine Bezeichnung für ein Tongefäß. Im Mittelalter wurde der davon abgeleitete Begriff *test* als Bezeichnung für eine spezielle Art von Gefäß verwendet, welches für die Prüfung von Edelmetallen genutzt wurde. Es handelt sich dabei um eine Kupelle (Engl. *cupel*), eine flache, wasserdurchlässige Schale. Wird unreines Gold oder Silber darin erhitzt, werden die Verunreinigungen durch die durchlässigen Stellen herausgesiebt, so dass nur der reine Gold- bzw. Silberanteil übrigbleibt. *Test* wurde im 14. Jahrhundert als alternative Bezeichnung für diesen Begriff ins Englische übernommen. Später wurde er metaphorisch verwendet. *To put something to the test* besagt, dass etwas einer Prüfung unterzogen wird, um seine Qualität bzw. „Echtheit“ zu bestimmen³².

In der DIN EN ISO 9000-2000 wird dem deutschen Begriff *Prüfung* das französische *Contrôler* im Sinne „Konformitätsbewertung durch Beobachten und Beurteilen, begleitet – soweit zutreffend – durch Messen, Testen oder Vergleichen“³³ zugeordnet, und der englische Begriff *test* im Sinne von „Ermitteln eines oder mehrerer Merkmale nach einem Verfahren“³⁴ definiert.

Contrôler verwendet den Präfix *con* im Sinne von *gegen*, und *rôle* im Sinne von *Liste*. Das Wort bedeutet Gegenregister, Gegenrechnung, historisch auch „Tagebuch eines Majors über Offiziere beym Regimente“³⁵. *Contrôler* entspricht außer seinem verbalen Inhalt „ins Gegenregister eintragen“³⁶ dem ursprünglichen *to test* im Sinne von „Gold- und Silbergeschirr Stämpeln“³⁷ und bedeutet ferner im übertragenen Sinne *tadeln* (*contrôleur*: der *Tadler*).

Die im Deutschen geläufige Vielfalt der Begriffe für ähnliche Sachverhalte im Umfeld des Prüfens, und dies mit unterschiedlichem Überdeckungsgrad und Kontext, findet sich auch aktuell und ursprünglich in anderen lebenden Sprachen, so im Französischen etwa als

- *inspecter*: in *Augenschein nehmen*, *Aufsicht haben*, *nachsehen*.
- *examiner*: *untersuchen*, *genau betrachten*
- *étudier*: *sich genau mit etwas bekannt machen*
- *éplucher*: (*her*)*ausklauben* oder *épluchement*: *ein Werk genau untersuchen*.³⁸

Der aktuelle russische Begriff *контролировать*³⁹, *prüfen*, leitet sich vom niederhochdeutschen *kontrollieren* (schon 1598) ab oder direkt vom französischen *contrôler* her.⁴⁰

Zar Peter I. verwendet in seinem „Befehl über die Qualität“ vom 11. Januar 1723 für *prüfen* das Wort *проверить*: *nachprüfen*, *revidieren*.⁴¹

Das präfixfreie Wort *веритъ* heißt *glauben*, und findet sich im Tschechischen als *věřiti* und im Polnischen als *wierzyć*.⁴²

Der japanische Begriff 試験 (*siken*) für Prüfung enthält als erstes der Kanji-Zeichen jenes für *sprechen*, *fragen*.⁴³

Sinngemäß und zusammenfassend nach DIN EN 45020: 1998, 13.1 und EN DIN 1319-1: 1995-01, 2.14 ist es vom Standpunkt des Geschäftsfelds der zerstörungsfreien Prüfung zweckmäßig, wie folgt zu definieren:

„*Prüfen* heißt *feststellen*, *inwieweit die betrachtete Einheit eine oder mehrere vereinbarte oder festgelegte oder erwartete Merkmale/Größen, Werte, Parameter, Konformität erfüllt*, *insbesondere innerhalb vorgegebener Fehlergrenzen oder Toleranzen*.“

Der Begriff des Prüfens wird je nach Zweck und Kontext in geltenden Normen unterschiedlich definiert. Im Rahmen des Qualitätsmanagements hat der

Vergleich von Qualitätsmerkmalen auf Konformität mit Anforderungen Präferenz⁴⁴. Im Rahmen der Normung dominiert im Begriff des Prüfens die Feststellung bzw. Ermittlung der Prüfgröße⁴⁵. Für die Zwecke der Messtechnik werden beide Aspekte berücksichtigt⁴⁶.

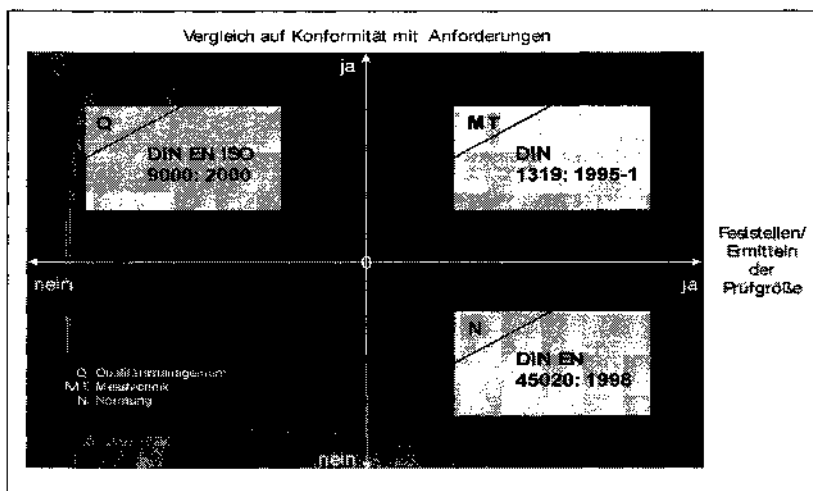
Diese Gewichtung drückt sich auch dadurch aus, dass in diesen Normen unterschiedliche Anteile des Begriffsumfangs in die Definition und die Anmerkungen aufgenommen werden.

„Wird durch eine Messung ein Messwert ermittelt, so ist dies nur dann eine Prüfung, wenn dabei auch festgestellt wird, inwieweit (oder ob) der Messwert eine Forderung erfüllt.“⁴⁷ Auch der Begriff „Prüfen“ und sein Bedeutungsumfang ist an die Definitionsebene gebunden und jede dieser Ebenen hat ihre Voraussetzungen, Modelle und Aussagen/ Sicherheiten (Abb. 4).

Prozesse bestehen im Minimum aus Tätigkeiten und Ergebnissen.

Die hier im Zusammenhang mit der Ermittlung von Qualitätsmerkmalen relevanten Tätigkeiten (Abb. 5) sind:

Abbildung 4: Abhängigkeit der Definition des Begriffes Prüfen vom Zweck und vom Kontext



- das Messen,
- das Prüfen, und,
- wenn für die Prüfaufgabe ein neues oder modifiziertes Prüfverfahren erforderlich ist, das Entwickeln und,
- wenn die Prüfgröße Eingangsgröße in ein Modell ist, das die Erzeugung eines kundenspezifischen Qualitätsmerkmals erst ermöglicht, das Interpretieren,
- und schließlich das Beurteilen.

Das Messen liefert Kenngrößen (inkl. Einheiten) bzw. Kennwerte (Einheit 1). Es erfolgt in der Art des maßlichen/quantitativen Messens (Ergebnis z.B. Durchmesser einer Kugel 3,00 +/- 0,01 mm) oder des nichtmaßlichen/attributionen Messens (z.B. alle Kugeln kleiner 3 mm sind auszusortieren und fallen durch ein Sieb) (vgl. Abb. 6).

Das Messen unterscheidet sich auch insofern vom Prüfen, als Messmittel geeicht werden und Prüfmittel nicht geeicht, wohl aber im Bedarfsfall kalibriert werden. Die Messung selbst wird ggf. verifiziert, die Prüfung dagegen

Abbildung 5: Begriffe

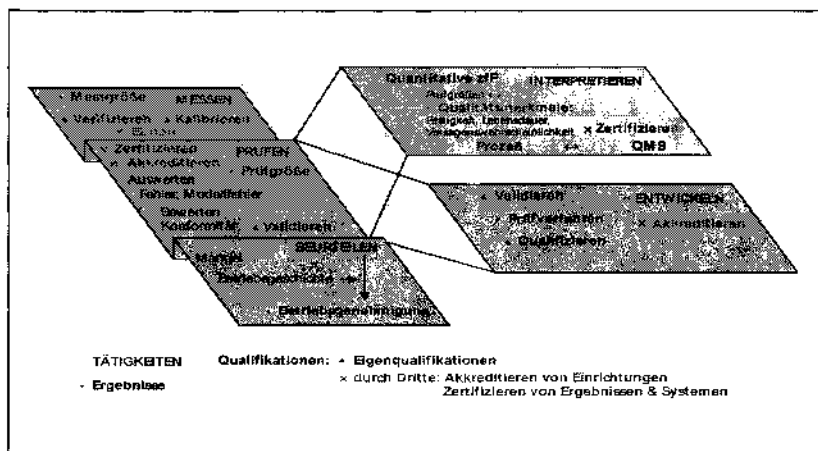
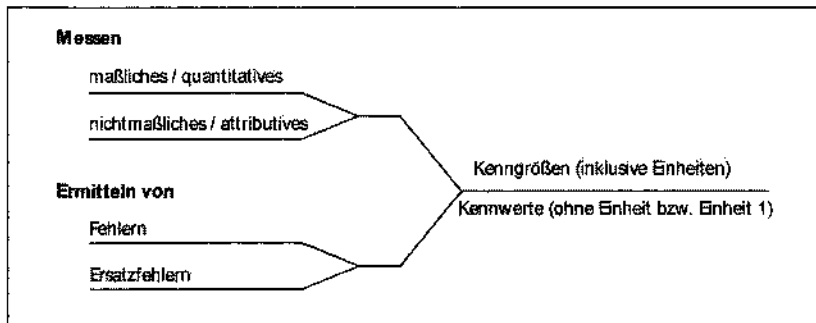


Abbildung 6: Messen



nicht, sie wird jedoch ggf. zertifiziert. Die Prüfer vermeiden den Begriff Messen gern, nicht nur wegen seines reduzierten Begriffsumfangs und eigenen Begriffskontexten, sondern insbesondere weil die mit der Normen- und Gesetzeslage verbundenen zusätzlichen Aufwendungen und Kosten gescheut werden.

Die zFP befasst sich mit der Ermittlung von Fehlern und Materialkennwerten, die physikalisch (z.B. Dielektrizitätskonstante, Leitfähigkeit etc.) oder technisch (Festigkeit, Steifigkeit usw.) definiert sind. Aussagen zu Fehlern betreffen entweder ihre Absolutgröße oder Ersatzfehler. Sie leiten sich aus Signalen her, die aus einer Messung/Prüfung stammen, die mit akzeptierten Modellen oder Vernachlässigungen hinterlegt sind. Beide, Fehlergrößen und Ersatzfehlergrößen, sind Eingangsgrößen von Ingenieurtheorien, z.B. die Bruchmechanik, die Elastizitätstheorie u.a., mit denen die Fehler interpretiert werden können, d.h. eine Fehleranzeige trägt zusammen mit Faktoren wie Materialeigenschaften, Konstruktion, Belastungen, Betriebsparametern zu einer Aussage im Sinne Lebensdauer bzw. Versagenswahrscheinlichkeit einer Komponente bei. Solche Größen bzw. Werte können einer Bewertung unterzogen werden, z.B. im Sinne einer Risikobewertung. Der Bruch eines Trägers, einer Pipeline, eines Kessels etc. in der Weite einer Wüste ist anders zu bewerten als in einem dicht bewohnten Gebiet, einem gelegentlich besetzten Stadion oder einem Krankenhaus.

Die Tätigkeiten wie Messen, Prüfen, Entwickeln, Interpretieren und Beurteilen führen zu Ergebnissen, hier: der Messgröße, der Prüfgröße, der Be-

triebsgenehmigung ggf. mit Auflagen und erforderlichenfalls dem Prüfverfahren und den Qualitätsmerkmalen. Prüfgrößen sind reale Fehler, Modellfehler oder Charakteristiken von Materialien und Bauteilen. Die Prüfergebnisse werden ausgewertet und, sofern die Toleranzen oder kundenspezifischen Forderungen vorgegeben sind, bewertet⁴⁸ und zwar hinsichtlich ihrer Konformität mit den Anforderungen.

Die genannten Tätigkeiten bedürfen der Eigenqualifikation und der Qualifikation durch Dritte. Hinsichtlich der Eigenqualifikation bedarf das Messen des Verifizierens und Kalibrierens, das Prüfen des Validierens⁴⁹, das Entwickeln des Qualifizierens⁵⁰ und Validierens. In Bezug auf die Qualifikation durch autorisierte Dritte bedarf das Messen des Eichens, das Prüfen der Zertifizierung⁵¹ (ebenso wie das gesamte Qualitätsmanagementsystem der Zertifizierung bedarf, und das Prüflabor der Akkreditierung⁵²).

Diese Vorgehensweise ist zweckmäßig, hat sich in der Praxis bewährt, ist in sich stimmig, sagen wir: konsistent, wird jedoch keineswegs allen Orten einheitlich gehandhabt, einfach, weil in der Handhabung bestimmte Interessen zum Ausdruck kommen, und diese in einem zugehörigen Umfeld stehen. Darin liegt zusätzlich zum unterschiedlichen Begriffsumfang der Benennungen in den einzelnen Sprachen auch das Problem der Harmonisierung von Begriffen innerhalb der EU.

Für die Brauchbarkeit von Informationen, hier: von geforderten Qualitätsmerkmalen, die durch Prüfgrößen nachgewiesen werden, sind drei Kriterien wichtig:

1. die Verständlichkeit
2. die Fehlerfreiheit und
3. die Konsistenz.

Unterschiedliche Glieder der Wertschöpfungskette im Qualitätskreis vom Entwickler/Designer bis zum Vertrieb benutzen unterschiedliche Benennungen für die gleichen Begriffe, oder schlimmer, gleiche Benennungen für unterschiedliche Begriffe. Die Konsistenz der Informationen ist charakterisiert durch⁵³:

1. einheitliche Terminologie und einheitliche Präsentation, wie hier beabsichtigt,
2. gleiche Form für gleiche Sachverhalte,

3. vollständige und fehlerfreie Verweissysteme,
4. absprachegemäÙe Präsentation der Informationen.

Beispiele aus Wissenschaft und Technik sollen die Problematik und die Relevanz der Thematik verdeutlichen.

Kenngrößen lassen sich nach ihrer Komplexität klassieren^{54, 55}. Beispiele sind:

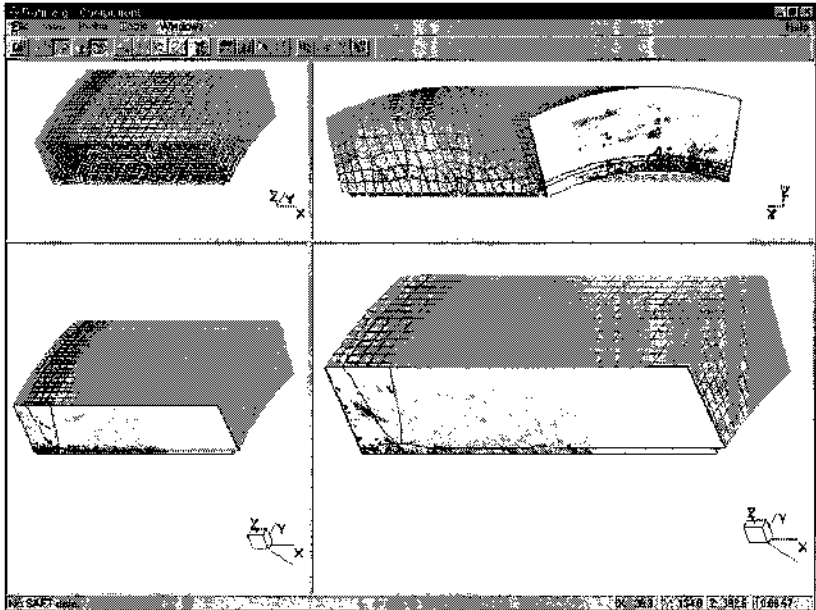
1. Vorgaben wie „die Risslänge soll kleiner als ... sein“,
2. Festlegungen wie „die Festigkeit muss größer sein als ...“ und
3. Abschätzungen der Restlebensdauer und des Versagensrisikos von Bauteilen.

Zu 1.: Modellintegrierte zerstörungsfreie Prüfung (MINT)

Bei der Ultraschall-Handprüfung von Schweißnähten erfolgt die Fehlergrößenbestimmung z.B. der Risslänge über die AVG-Methode^{56, 57} d.h. es wird ein kreisförmiger Ersatzfehler bestimmt, dessen Reflektivität vergleichbar ist mit dem des realen Fehlers. Im „Fitness-for-Purpose“-Konzept reicht diese Aussagegenauigkeit nicht aus. Das im Rahmen der Reaktorsicherheitsforschung zur Anwendungsreife geführte abbildende Ultraschallprüfverfahren „SAFT“⁵⁸ gestattet es, die Position und die Größenausdehnungen von Fehlern zu bestimmen (vgl. Abb. 7). Die Validierung des Verfahrens erfolgte z. B. über ein mathematisch-numerisches Modell, mit dessen Hilfe es möglich ist, auf theoretischem Wege die Signale vorherzusagen, diese als Eingangsgröße für das abbildende Verfahren SAFT zu verwenden und im Vergleich mit den experimentell erhaltenen Aussagen eine verbesserte rechnergestützte Interpretation durchzuführen (vgl. Abb. 8).

Das Fraunhofer-Institut für Zerstörungsfreie Prüfverfahren IZFP wurde als erste Einrichtung in Europa nach DIN EN 45001 akkreditiert und inzwischen nach DIN EN ISO/IEC 17025 reakkreditiert. Die Akkreditierung wurde in Form der Püfartenakkreditierung ausgesprochen und bestätigt dem IZFP die Kompetenz, Prüfverfahren wie das Ultraschallverfahren SAFT neu zu entwickeln oder anzupassen und anzuwenden, ohne dass es einer vorherigen Zustimmung des Akkreditierers bedarf. Damit wurde die Lücke zwischen der Festschreibung von Verfahren durch die Normung und der qualitätsgesicherten Berücksichtigung des technischen Fortschritts geschlossen.

Abbildung 7: Abbildung von Schweißnahtfehlern mit dem 3D-Rekonstruktionsverfahren SAFT und Implementierung in die entsprechende 3D-CAD-Zeichnung; Rohrwandstärke 60 mm, Prüffrequenz 2 MHz



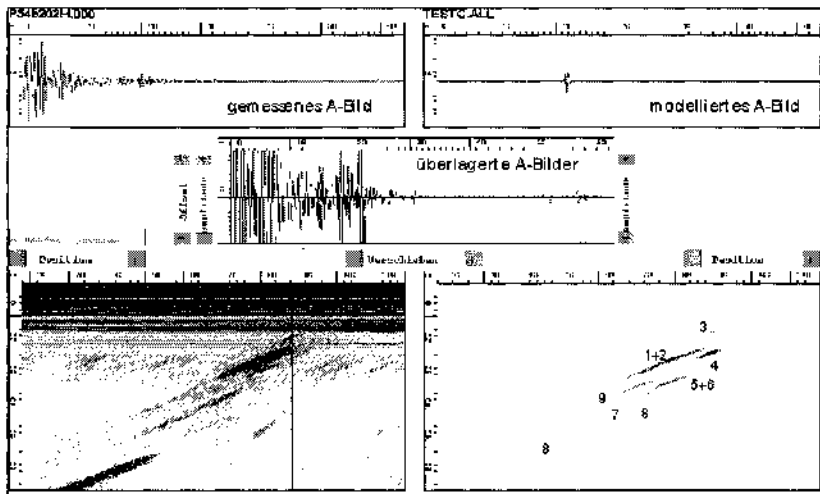
Zu 2.: Würfeldruckfestigkeit via akustische Emission

Die genannten Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit R von Betonwürfeln sind aus mehreren und bekannten Gründen unbefriedigend:

1. es steht immer die Frage nach Repräsentanz der vorliegenden Würfel für das jeweilige Bauteil, und zwar sowohl hinsichtlich der Fertigungsparameter als auch der Lagerungsbedingungen,
2. sind die genannten Verfahren zerstörend, d. h. die Menge der Probewürfel wird bei der Prüfung aufgebraucht und steht somit für weitere oder wiederholte Untersuchung nicht mehr zur Verfügung.

Ausgehend von der Modellierung der Rißausbreitung unter Last im Beton und der damit einhergehenden Freisetzung elastischer Energie W_0 erlaubt die

Abbildung 8: Vergleich gemessener und modellierter Ultraschalldaten mit Identifikation des tatsächlichen Schalllaufweges z. B. 1: als Winkelspiegel und 4: mit Modeumwandlung in eine Rayleighwelle auf der Rißfläche

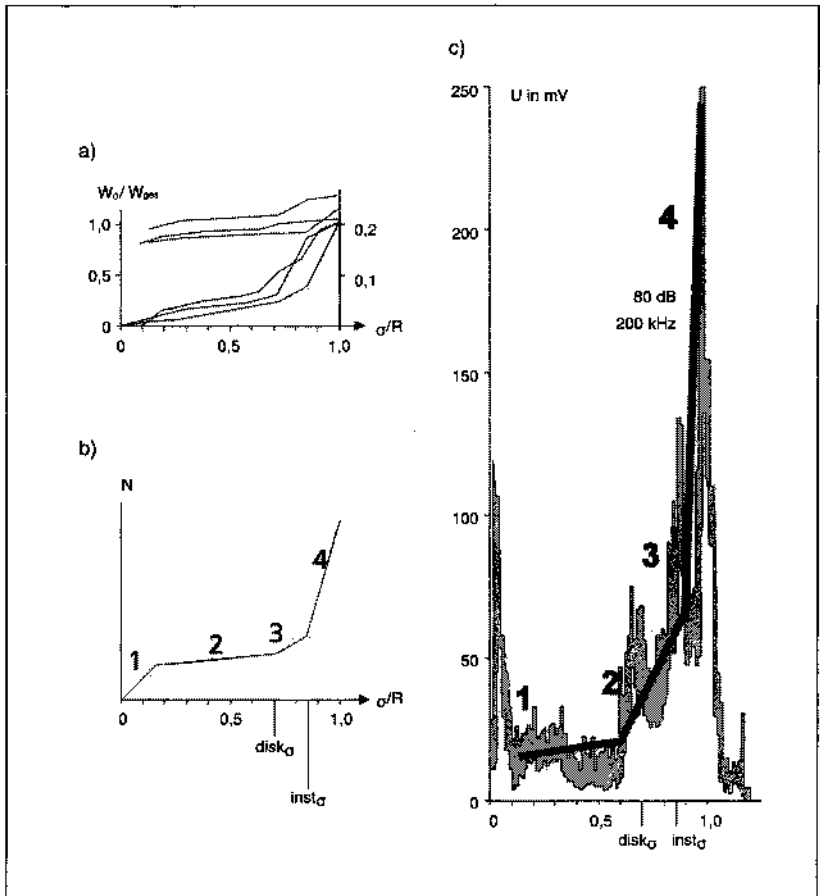


Darstellung der kumulierten akustischen Signale N in Abhängigkeit von der eingetragenen relativen Last s/R die Prognose der Bruchfestigkeit R aus dem Wert $disk\ s$ (hier z. B. bei $s/R = 0,7$) (vgl. Abb. 9, Teilbild b).

Die Modellierung der Rißausbreitung geht von der plausiblen Vorstellung aus, daß es

1. Mikro- und Makrorisse gibt: Mikrorisse grenzen an ein Zuschlagstoffkorn, Makrorisse verlaufen in einem Volumen, das mindestens mehrere Zuschlagstoffkörner umfaßt,
2. eine stabile und eine instabile Rißausbreitung für beide Rißarten existiert: bei stabiler Rißausbreitung ist die freigesetzte Energie W_0 kleiner als die Oberflächenenergie W_{00} ; ein weiterer Rißfortschritt ist nur unter Steigerung der Last möglich. Bei instabiler Rißausbreitung ist die freigesetzte elastische Energie W_0 größer als die Oberflächenenergie; der Rißfortschritt endet bei Laststopp entweder durch Arretierung z. B. an einem Zuschlagstoffkorn, oder durch das Versagen des Bauteils.

Abbildung 9: Gegenüberstellung von theoretischen Werten und Größen (hier für $R = 25...55 \text{ MPa}$) (a), Modellphasen (b) und Meßwerten (c), jeweils in Abhängigkeit von der Lastspannung s bezogen auf die Bruchfestigkeit R . Dabei ist W_0/W_{ges} = relative freigesetzte elastische Energie in der jeweiligen Lastphase; n = Querdehnungszahl; N = Summenhäufigkeit der Signale aus der akustischen Emission; $disk\ s$ = Diskontinuitätsgrenze; $inst\ s$ = Instabilitätsgrenze; 1 = Startphase, 2 = stabile Ausbreitung der Mikrorisse, 3 = instabile Ausbreitung der Mikrorisse, gleichbedeutend mit stabiler Ausbreitung der Makrorisse, 4 = instabile Ausbreitung der Makrorisse; U = gemittelte Spannungsamplitude



Die Grenze der stabilen Ausbreitung von Mikrorissen ist disk s_{stab} . Hier beginnt bei Lasterhöhung die instabile Ausbreitung der Mikrorisse, was gleichbedeutend ist mit der stabilen Ausbreitung der Makrorisse. Die Grenze der stabilen Ausbreitung der Makrorisse inst s bedeutet den Anfang der instabilen Rißausbreitung der Makrorisse, die bei Zugbelastung des Betonwürfels gleich der Bruchspannung R ist. Bei Druckspannungen bilden sich infolge durchgehender Risse im Probekörper Stäbe, die bis zum Abknicken oder Abscheren weiter Druckspannung aufnehmen können. Die Abbildung 9 gibt eine vergleichende Darstellung der relativen freigesetzten elastischen Energie W_0 / W_{ges} in Abhängigkeit von der relativen Last s/R mit dem Verlauf der Querdehnungszahl n als Funktion von s/R . Beide Verläufe sind phänomenologisch synchron. Diesem Teilbild ist zugeordnet die Darstellung der kumulierten Impulszahl N in Abhängigkeit von s/R (Teilbild a) und der Verlauf der über die Zeit gemittelten quadratischen Spannung U als Funktion von s/R (Teilbild c). Daraus ist zu entnehmen, daß aus Messungen der akustischen Emission eingedenk der beschriebenen Modellierung aus disk s weit unterhalb der Bruchlast R diese prognostiziert werden kann, ohne daß der Probewürfel zerstört wird^{59,60}.

Zu 3.: Abschätzung der Restlebensdauer und des Versagensrisikos von Bauteilen

Das Versagen eines Bauteiles ist ein stochastischer Prozeß, da die beteiligten Variablen Materialcharakteristik, Belastungszustände und Fehlerverteilung eine gewisse Streubreite besitzen. Zur Bewertung von belasteten Bauteilstrukturen wurden bei der Fehlerdetektion und der Fehlergrößenbestimmung sowie der computergestützten bruchmechanischen Analyse deutliche Fortschritte erzielt. Nachteilig ist hierbei jedoch, daß in der ingenieurmäßigen Anwendung eine deterministische „Ja/Nein“ Aussage abgeleitet wird, ohne die real existierenden statistischen Variationen der beteiligten Parameter zu berücksichtigen.

Die Komplexität moderner Hochtechnologie und ihre Auswirkung auf die Umwelt und das soziale Umfeld verlangen ein tieferes Verständnis und eine realistische Beherrschung der Risiken im Betrieb technischer Anlagen. Dies kann durch eine Beschreibung von Fehlerwahrscheinlichkeiten erreicht werden, die entsprechend neuester Vorschriften qualifiziert werden.

Die in dem Programm PROGFAD⁶¹ basierend auf FAD (Fracture Assessment Diagram)⁶² realisierte Struktur beinhaltet ein derartiges probabilistisches Modellierungsprogramm für ein Versagen des Bauteiles auf der Grundlage bruchmechanischer Konzepte. Unter statischen Belastungen wurde als Kriterium für ein Versagen die FAD-Methode programmiert. Monte-Carlo-Simulationen können statistische Variationen in der Fehlergröße oder in der Bruchzähigkeit herbeiführen. Die in Betracht kommenden Bauteile sind Balken, Platten, Druckbehälter oder Speichertanks. Die Abbildung 10 zeigt das Eingabemenue für die Wahl der geometrischen Abmessungen eines Druckbehälters und eines angenommenen halbelliptischen axialen Fehlers in der Innenoberfläche.

Abbildung 10: Probabilistische Simulation für das Bauteilversagen eines Druckbehälters mit einem innenliegenden axialen halbzylindrischen Fehler

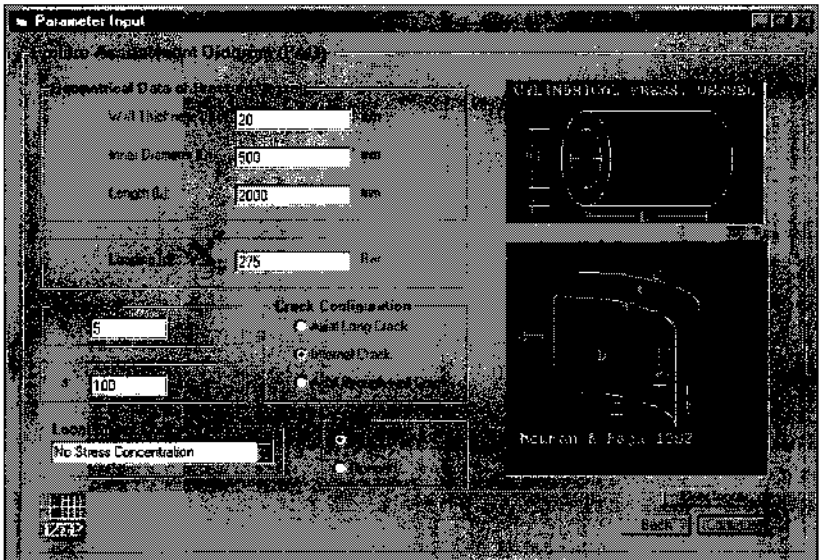


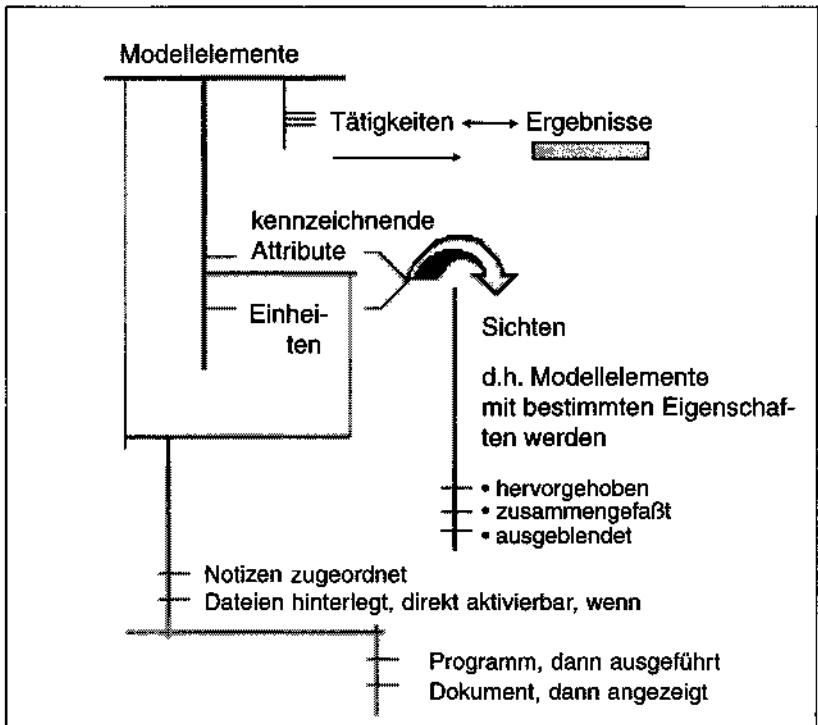
Abbildung 11 zeigt das Ergebnis einer probabilistischen Simulation, wobei sowohl die Rißgröße als auch die Bruchzähigkeit K_{IC} entsprechend einer Drei-

3. Das Management: die Modellierung und die prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung

Wie macht man Qualität – wie organisiert man Qualität?

Das ist die Aufgabe des Qualitätsmanagements. Jeder werttragende Prozess, ob in Fertigung oder Dienstleistung, Forschung oder Entwicklung, wird in Projekten abgebildet, formalisiert, modelliert und nach unterschiedlichen

Abbildung 12: Schematische Darstellung der Prozessmodellierung. Die wesentliche Modellelemente (Tätigkeiten und Ergebnissen) sind durch Attribute inkl. Einheiten charakterisiert und mit Notizen, Dateien, Programmen und Dokumenten hinterlegt. Diese Methodik hat zum Ziel, zugehörige Fragen an den Prozess (seine Tätigkeiten und Ergebnisse) zu beantworten und in definierten Sichten zu präsentieren.



Aspekten ausgeführt und gesteuert: inhaltlichen, zeitlichen und betriebswirtschaftlichen.

Jeder Prozess in Unternehmen und Einrichtungen lässt sich als Folge von Ergebnissen und Tätigkeiten modellieren, die in komplizierten Fällen Informationsknoten enthalten können. Ergebnisse sind Ausgangspunkt und Ziel von Tätigkeiten. Die Modellelemente werden durch kennzeichnende Attribute und durch Einheiten spezifiziert. Diese Vorgehensweise erlaubt zugehörige Fragen zum Prozess zu stellen und Antworten in Form von Sichten zu bilden und diese hervorzuheben, zusammenzufassen oder auszublenden.

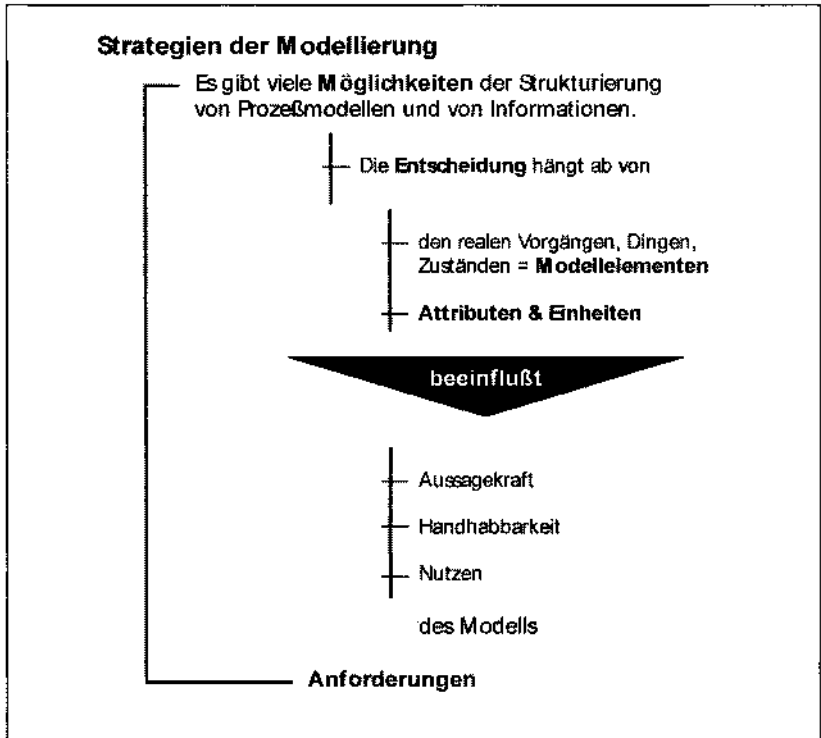
Die Prozessmodellierung dient einerseits der Analyse und Optimierung von Prozessen, d.h. dem Erkennen von Unschärfen im Prozess und ihrer Beseitigung durch Prozessdefinitionen, und andererseits als Informationssystem. Innerhalb dessen wird notiert, welche Tätigkeiten in welcher Reihenfolge und von wem ausgeführt werden und mit welchen Unterlagen und Anweisungen diese Tätigkeiten unterstützt werden (Abb. 12).

Die Strategien der Modellierung von Prozessen bedingen die Strukturierung der Modelle und Informationen sowie die Anforderungen an das Modell. Die Komponenten des Modells sind die Ergebnisse inkl. ihrer Attribute und die Tätigkeiten, die im Rahmen des Prozesses ausgeführt werden (Abb. 13).

Die Attribute bestimmen die Sichten, die auf das Modell gebildet werden können. So können beispielsweise Tätigkeiten des Managements wie Leitungsprozesse, Budgetplanung, etc. hervorgehoben werden und andere Elemente, z.B. zur Fertigung, zusammengefasst werden. Es ist sinnvoll, den Prozess- oder Modellelementen Notizen zuzuordnen oder ihnen Dateien zu hinterlegen (vgl. wiederum Abb. 12). Sichten, Notizen und Dateien können nach den inhaltlichen, zeitlichen und betriebswirtschaftlichen Aspekten ausgeführt und gesteuert werden.

Inhaltliche Aspekte ergeben sich aus der Umsetzung der *Strategieplanung* des Unternehmens zur zielgerichteten Erfüllung der Kundenwünsche und werden formal gesteuert durch das *Verhältnis von inhaltlicher Projektbearbeitung und Inanspruchnahme der Ressourcen*. Sie enthalten die Dominanten des Qualitätsmanagements, die im QM-Handbuch beschrieben sind. Diese sind fokussiert auf die Zertifizierung und die Akkreditierung und erhalten ihre perspektivische Sicht durch Einbeziehung der Geschäftsfeld- und Kompetenzentwicklung.

Abbildung 13: Strategien der Modellierung



Zeitliche Aspekte widmen sich dem konsekutiven Projektablauf, der Planung der erforderlichen Ressourcen und ihrer Inanspruchnahme.

Betriebswirtschaftliche Aspekte widerspiegeln sich in der Harmonisierung von Einnahmen und Ausgaben, Budgetwerten, Hochrechnungen, Erlös- und Liquiditätsrechnungen u.a.

Werkzeuge

Spezielle Programme, z.B. FACETS®, ARIS ... haben sich dabei als qualifizierte Hilfsmittel zur Handhabung des Modells bewährt. Zu den genannten Aspekten werden die notwendigen Instrumente hinterlegt:

- die Strategie mit Geschäftsfeld- und Kernkompetenz-Roadmaps,
- das inhaltliche Controlling und die Projektablaufsicherung,
- das Qualitätsmanagement inkl. prozessorientierter Hinterlegung der DIN EN ISO/IEC 17025 und der DIN EN ISO 9001 als Basis der Akkreditierung und Zertifizierung,
- das Akquisitionsverfolgungssystem,
- die Ressourcenplanung in den Projekten, und
- die betriebswirtschaftlichen Aspekte in Kosten und Erlösen.

Kurz gesagt: es ist das Ziel des Unternehmens, aus seinem *Wissen* mit seinem *Können Nutzen* für seine Kunden zu *machen* (Abb. 14).

Abbildung 14: Wissen und Können zum Nutzen des Kunden

<u>U/nternehmen</u>		<u>Kunden</u>
<i>Wissen</i>	+ <i>Können</i>	<i>Nutzen</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Akquisitionen am Markt • Kenntnis der Kundenanforderung • Verfügbare Technologie • Kreativität im Unternehmen 	<ul style="list-style-type: none"> • strategisches Management: Reduktion der Komplexität • operatives Management: Transfer von Wissen u. Nutzen • Herstellen: qualitätsgesichertes Produkt • Leisten: qualitätsgesicherte Dienstleistungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfüllung von Anforderungen • Imagegewinn • Service: weltweit 24 h online via Satellit

Das *Wissen* besteht aus den Akquisitionen am Markt, den Kundenanforderungen, den verfügbaren Technologien und der Kreativität im Unternehmen.

Das *Können* liegt

- im Management. Dieses enthält zwei Komponenten:
 - das strategische Management: die Fähigkeit, die Komplexität von Systemen und Anforderungen auf eine handhabbare Größe zu reduzieren und
 - das operative Management: Transfer von Wissen in Nutzen
- in qualitätsgesicherten Produkten und Dienstleistungen.

Der *Nutzen* beim Kunden besteht aus der sachlichen Erfüllung seiner Anforderungen, im Imagegewinn und im Service.

Das *Machen* heißt Produkte herstellen und Dienste leisten mit Merkmalen, die die Qualitätsforderungen erfüllen, und zwar in zweckmäßigem Design und mit einer tragenden Botschaft.

Prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung (PINT)

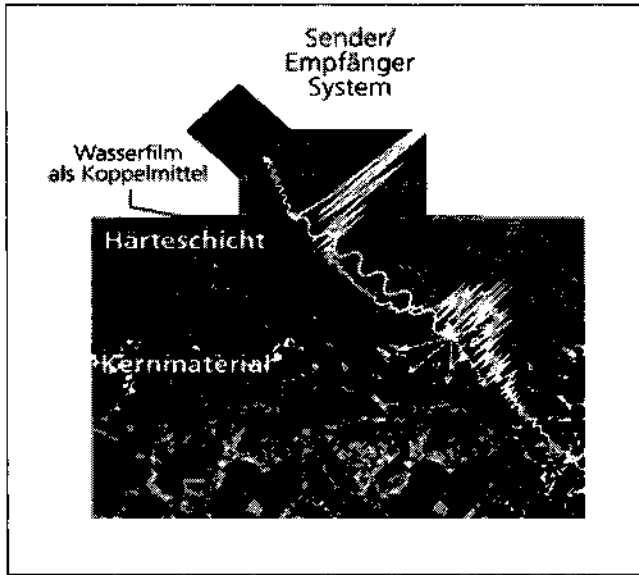
Beispiel für die Kombination von unternehmerischem Wissen und Können zur Erfüllung von Kundenanforderungen ist die Prozessintegrierte zerstörungsfreie Prüfung (PINT), und zwar

- offline zur Analyse des Fertigungsprozesses mit dem Ziele seiner Optimierung bzw. der Materialcharakterisierung unter Gebrauchsbedingungen und
- online zur Steuerung des Prozesses zwecks Sicherung der geforderten Qualitätsparameter.

Als Beispiel für erstere Aufgabe sei der Einsatz der Radiotracer-Methode zur Bestimmung von Verweilzeiten z.B. der Komponenten Sand, Zement und Kalk in einer Drei-Kammer-Kugelmühle bei der Blähbetonherstellung genannt. Aus den Verweilzeitkurven werden Rückschlüsse auf den Mahlprozeß, und zwar des Mahlgutes und der Mahlkörper, sowie auf den Mischprozeß der Komponenten in Abhängigkeit von der Fahrweise der Kugelmühle gezogen. Darauf aufbauend kann einerseits die Mahlgeschwindigkeit für vorgegebene Qualitätsparameter in Abhängigkeit vom Elektroenergieverbrauch der Anlage optimiert werden, andererseits können dem Hersteller von Kugelmühlen für den Revisionsprozeß oder auch die Weiterentwicklung Hinweise zur konstruktiven Veränderung z.B. der Auslegung der Trennwände zwischen den drei Kammern gegeben werden. Analoge Untersuchungen wurden von uns im laufenden Betrieb an Großanlagen wie Drehrohröfen der Zementindustrie, Tierkörperverwertungsanlagen u. a. m. erfolgreich durchgeführt. Die gleiche Vorgehensweise hat sich bewährt für die Charakterisierung von Thermodiffusionsanlagen, Implantationsanlagen und anderen Anlagen, in denen der Materialtransport der wesentliche Vorgang ist, so in der Halbleiterfertigung und bei der Oberflächenbehandlung von Metallen, Ceramen und Kunststoffen.

Die Diffusion von Feuchte und Salzionen durch zementgebundene Betonbauteile, die Fragen des Abriebs, z.B. an Textilien, von Reibung, Schmierung und Verschleiß an gleitenden und rollenden Komponenten waren Gegenstand

Abbildung 15: Messprinzip der Randhärten-Tiefenmessung (Rht)



von Untersuchungen zur Materialcharakterisierung unter Gebrauchsbedingungen.

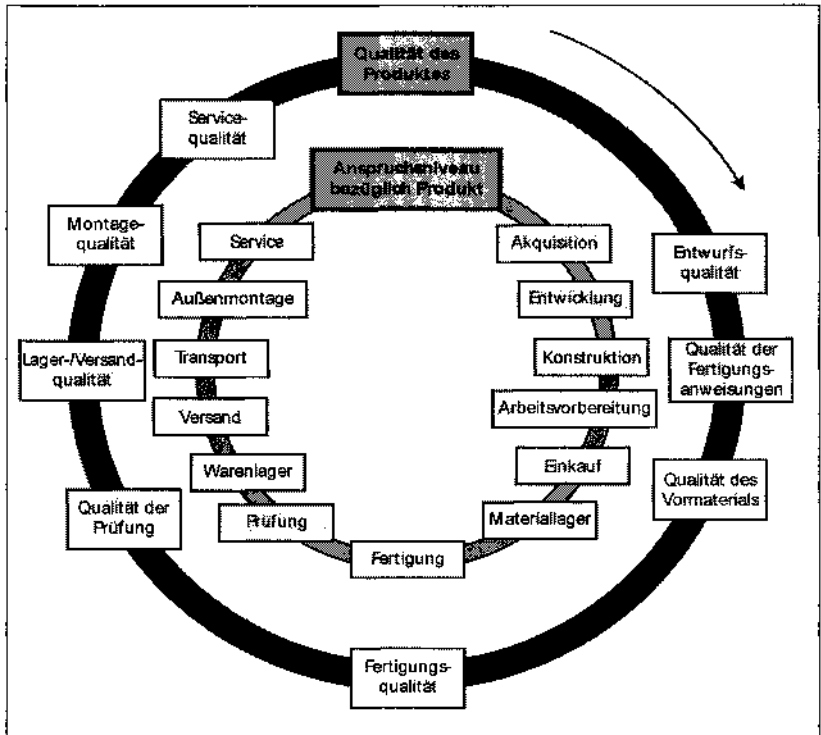
Laserstrahlhärten von Oberflächen ist eine der modernen Technologien in der metallverarbeitenden Industrie. Einer der wesentlichen, die Qualität des Prozesses charakterisierenden Parameter ist die Tiefe der Härtung der Randschicht.

Das Prinzip des Gerätes zur Randhärten-Tiefenmessung (Rht-Gerät) ist der Abbildung 15 zu entnehmen.

Zerstörungsfreie Prüfungen können im Qualitätskreis (Abb. 16)⁶⁴ in den Phasen *Entwicklung* (z.B. bei der Materialcharakterisierung), *Konstruktion* (s. Abschnitte *MINT* und *Würfeldruckfestigkeit*), *Fertigung* (im Rahmen von *PINT*) und *Service* (z. B. Abschnitt *Restlebensdauer*) eingesetzt werden (Abb. 17).

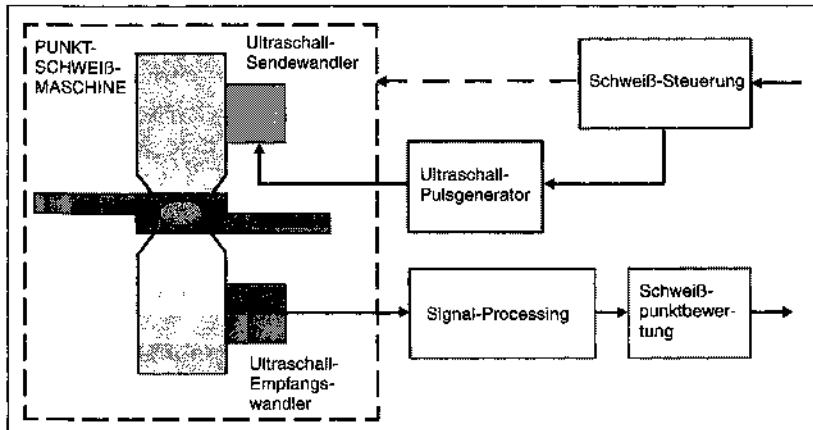
Je früher die zerstörungsfreie Prüfung im Prozess integriert ist, umso höher ist ihr Nutzeffekt. Als Beispiel für die Online-Version der Prozessintegrier-

Abbildung 16: Qualitätskreis



ten zerstörungsfreien Prüfung (PINT) sei ultraschallgesteuerte Qualitätssicherung beim Punktschweißen genannt. Die Vielzahl der Punktschweißungen, z. B. im Automobilbau setzt sich zusammen aus solchen, die für die Funktion notwendig sind, und jenen, die aus Sicherheitsgründen hinzugefügt werden. Eine Qualitätsprüfung konnte bisher nur im Nachhinein, exemplarisch und zerstörend erfolgen. Kennt man die Ultraschalldurchlässigkeit des Schweißgutes in Abhängigkeit von der Temperatur, und installiert man geeignete Ultraschallgeber und -empfänger zweckmäßig an den Halterungen der Schweißelektroden, so kann über die Messung der Ultraschalldurchlässigkeit der Elektrodenstrom unmittelbar und während des Schweißvorganges so ge-

Abbildung 17: Blockdiagramm zur Ultraschallbestimmung der Temperaturabhängigkeit des Schweißprozesses



regelt werden, daß ausschließlich solche Punktschweißungen zustande kommen, die die vorgegebenen Qualitätsparameter garantieren^{65,66,67}.

Im vorliegenden Beitrag sollte exemplarisch gezeigt werden, wie komplexe Kenngrößen im Qualitätsmanagement grundsätzlich gewonnen werden können, wie dies insbesondere zerstörungsfrei erfolgen kann und wo diese Informationen im Prozess zweckmäßig gewonnen werden sollten.

Zusammenfassung

Qualität wird im Kontext von technischen, technologischen und Dienstleistungsprozessen betrachtet, nicht im Sinne der Qualität des Lebens und der Ethik, oder im Sinne einer Skalierung wie Vortrefflichkeit. Aus der Entwicklung des Begriffes werden die Konformitätsprüfung und die Ermittlung von Qualitätsparametern akzentuiert. Qualitätsmerkmale gilt es zu prüfen. Nach obiger Methodik: Entwicklung des Begriffes und Diskussion der aktuellen Definitionen im technischen Kontext werden Beispiele gegeben und der Prozess des Prüfens in Relation zu seinen Nachbarn Messen, Bewerten und Interpretieren gesetzt. Das Ergebnis dieser Tätigkeit sind Kenngrößen/Kennwerte. Sie können unterschiedlichen Komplexitätsgrad haben. Als Beispiele werden die

Risslänge, die Festigkeit, die Restlebensdauer und das Versagensrisiko betrachtet. Die Tätigkeiten, die zu diesen Kenngrößen/Kennwerten führen, sind zu qualifizieren: durch Eigenqualifikation oder durch Fremdqualifikation im Sinne von Zertifizieren und Akkreditieren. Darauf aufbauend liegt der Zweck der Definition der Qualität von technischen, technologischen und Dienstleistungsprozessen und den Möglichkeiten ihrer Prüfung letztlich darin, die Qualität zu organisieren, sie herzustellen. Dazu sind die Prozesse zu modellieren und zu beherrschen. Beide Schritte sind im Text illustriert.

Anmerkungen

- 1 Encyclopedia Britannica, 1973.
- 2 Honoré de Balzac, *Le père Goriot*, Reutlingen: Continental-Verlag 1948, mit einer Studie von Kurt Wais: Grundlagen und Qualität von Balzacs Vater Goriot.
- 3 Bundesanzeiger Nr. 30 vom 13. Februar 2001, S. 2181.
- 4 Röbbcke und Simon, *Zwischen Reputation und Markt*, zitiert in: *Gegenworte. Zeitschrift für den Disput über Wissen*, Heft 5, Frühling 2000, S. 9.
- 5 ANSI/ASQC A3-1978 (American National Standard): *Quality Systems Terminology*. American Society for Quality Control. Approved January 18, 1978.
- 6 Deutsche Gesellschaft für Qualität (DGQ): *DGQ-Band 11-04: Begriffe zum Qualitätsmanagement*, 6. Auflage. DGQ, Frankfurt/M. 1995.
- 7 European Organization for Quality (EOQ): *Glossary of Terms, Used in the Management of Quality*. 6. Auflage, EOQ, Bern 1989.
- 8 *Gegenworte. Zeitschrift für den Disput über Wissen*, Heft 5, Frühling 2000, S. 2.
- 9 Ausführliches Lateinisch-Deutsches Wörterbuch, hrsg. von H. Georges, Zweiter Band I-Z, Hannover und Leipzig 1918.
- 10 Brockhaus Enzyklopädie, sechster Band DUD-EV, Leipzig-Mannheim ²⁰1996.
- 11 W. Masing, „Qualitätssicherung durch Werkstoffprüfung – ein Überblick“, in: 4. Kolloquium Qualitätssicherung durch Werkstoffprüfung der DGZfP, Zwickau, 7.–8.11.1995, Berlin: Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung (DGZfP), 1995 (DGZfP-Berichtsbände, 49).
- 12 Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften C13/8 vom 16.01.2001.
- 13 CORDIS-Focus vom 06.11.2000, S. 5 oder <http://www.cordis.lu.news>.
- 14 DIN EN ISO 9000, 3.9.1: „Audit = systematischer, unabhängiger und dokumentierter Prozess zur Erlangung von Audittatsachen und zu deren objektiver Auswertung, um zu ermitteln, inwieweit Auditkriterien erfüllt sind.“ Sinngemäß: interne Audits, auch Erstparteienaudits genannt, werden von oder im Namen der Organisation für interne Zwecke durchgeführt. Externe Audits sind entweder Zweitparteienaudits, und werden von Parteien, die ein Interesse an der Organisation haben, durchgeführt, oder Drittparteienaudits. Diese werden von externen, unabhängigen Organisationen durchgeführt und bieten die Zertifizierung oder Registrierung der Konformität mit Anforderungen, wie z.B. denen der ISO 9001 und ISO 14001.

- 15 Meyers Enzyklopädisches Lexikon in 25 Bänden, 1973, zum Begriff „Inquisition“.
- 16 Grand Encyclopédique Larousse, tome 8, 1984, S. 8633.
- 17 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.1.1.
- 18 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.1.2
- 19 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.3.5.
- 20 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.3.7.
- 21 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.1.3.
- 22 Hochschulrektorenkonferenz (HRK), Erfahrungsberichte zum Qualitätsmanagement im Hochschulbereich. Beiträge zur Hochschulpolitik 4/2000 und Leitbild der Hochschule – Qualität der Lehre. Beiträge zur Hochschulpolitik 2/2000.
- 23 Wissenschaftsmanagement. Zeitschrift für Innovation, Jahrgang 6, Heft 3, Mai/Juni 2000.
- 24 Universität der Bundeswehr München, Beschreibung des Fachbereichs Elektrotechnik, Stand 06.Oktober 1999, S. 1.
- 25 Hochschulrektorenkonferenz (HRK), Leitbild der Hochschule – Qualität der Lehre. Beiträge zur Hochschulpolitik 2/2000, S. 13.
- 26 Konfuzius, Goldene Sätze der Weltgeschichte, CD World Wide Words, Ed. Hans Böck, 1998/99.
- 27 AT, Buch Hiob 34,3, CD World Wide Words, Ed. Hans Böck, 1998/99.
- 28 Lateinisch-Deutsches Schulwörterbuch, Dr. K.E. Georges, Hahn'sche Verlagsbuchhandlung, Leipzig 1887.
- 29 Brockhaus. Enzyklopädie in 24 Bänden, Leipzig-Mannheim o.J.
- 30 Meyers Großes Konversationslexikon, Bibliograph. Institut Leipzig/Wien 1908, Band 16
- 31 Meyers Konversationslexikon, Bibliograph. Institut Leipzig/Wien 1897, Band 14.
- 32 nach: Webster's New Encyclopedic Dictionary, Black Dog & Leventhal Publishers, New York, 1995.
- 33 DIN EN ISO 9000:2000, 3.8.2.
- 34 DIN EN ISO 9000:2000, 3.8.3.
- 35 M.A. Thibaut, Nouveau Dictionnaire de Poche Francais-Allemand et Allemand-Francais, Leipzig: Melzer, 7. Auflage 1838, 129.
- 36 Ebd.
- 37 Ebd.
- 38 Ebd.
- 39 GOST ISO/MEK 9000:2000, 3.8.2; Anleitung ISO/MEK 2 auch unter <http://SCC.tpu.ru>.
- 40 Max Vasmer, Russisches Etymologisches Wörterbuch, 1. Band: A–K, Heidelberg 1953
- 41 O.N. Nikonowa, Russisch-Deutsches Wörterbuch, Verlag „Sowjetische Enzyklopädie“, Moskau 1973.
- 42 Max Vasmer, Russisches Etymologisches Wörterbuch, 1. Band: A-K, Heidelberg 1953
- 43 Großes Japanisch-Russisches Wörterbuch, Verlag „Sowjetische Enzyklopädie“, Moskau 1970.
- 44 DIN EN ISO 9000: 2000.
- 45 DIN 45020: 1998.
- 46 DIN 1319-1: 1995-01
- 47 DIN 1319-1: 1995-01, 2.14, Anm.
- 48 DIN EN ISO 9000: 2000, 3.8.7.

- 49 Validierung: „Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind.“ (DIN EN ISO 9000: 2000, 3.8.5).
- 50 Qualifizierungsprozess: „Prozess zur Darlegung der Fähigkeit, festgelegte Anforderungen zu erfüllen.“ (DIN EN ISO 9000: 2000, 3.8.6).
- 51 „Verfahren, nach dem eine dritte Seite schriftlich bestätigt, dass ein Produkt, ein Prozess oder eine Dienstleistung mit festgelegten Anforderungen konform ist.“ (DIN EN 45020: 1998, 15.1.2).
- 52 „Verfahren, nach dem eine autorisierte Stelle die formelle Anerkennung erteilt, dass eine Stelle oder Person kompetent ist, bestimmte Aufgaben auszuführen.“ (DIN EN 45020, 12.11).
- 53 Dagmar Boedicke, Handbuch-Knigge: Software-Handbücher schreiben und beurteilen. Mannheim/Wien/Zürich 1990, S. 115
- 54 H. Baumbach et al.: *Zerstörungsfreie Prüfung und Qualitätsmanagement*, in: Internationale Konferenz Schweißtechnik, Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Bruchmechanik und Qualitätsmanagement, Schriftenreihe der TU Wien 1997, 787–795
- 55 Diess.: *Non-destructive Testing and Quality Management*, in: Technology, Law and Insurance, 1998, 3, 191–195
- 56 J. Krautkrämer, H. Krautkrämer: *Werkstoffprüfung mit Ultraschall*. Berlin u.a.: Springer 1986.
- 57 V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt: *Ultraschallprüfung. Grundlagen und industrielle Anwendungen*. Berlin u.a.: Springer 1997
- 58 V. Schmitz, M. Kröning, K. J. Langenberg: „Quantitative NDT by 3D Image Reconstruction“. *Acoustical Imaging* Vol 22 (1996), 735–744
- 59 G. Kapphahn, V. Slowik, H. Baumbach: „Zur Anwendung der Schallemissionsanalyse bei experimentellen Untersuchungen an Beton- und Stahlbetonprobekörpern“. *betontechnik* (1989) 1 (Februar), 17–20.
- 60 V. F. Gordeev, Yu. P. Malyshkov, V. L. Chakhlov, H. Baumbach, G. Kapphahn, V. Slowik, W. Birkholz: „Electromagnetic Emission Checking of the Strength of Concrete“. *Russian Journal of Nondestructive Testing (Defektoskopiya)*, Vol 28, 7 (Juli 1992), 425–429 (russ.), Vol 28, 3 (1993), 76–80 (engl.)
- 61 D. Cioclov, V. Schmitz, M. Kröning: „Probabilistic Assessment in Load-bearing Components“. DGZfP-Jahrestagung 1997 – ZfP als Dienstleistung in einer veränderten Industriestruktur, Dresden, 05.–07.05.1997.
- 62 R. P. Harrison, K. Loosemore, I. Milne: „Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects“. *CEGB Report R/H/R6*, Central Electricity Generating Board, U.K., 1976
- 63 H. Wiedemann, D. Cioclov, Untersuchungsberichte des TÜV-Saar, 1996–97.
- 64 S. auch W. Masing, Einführung in die Qualitätslehre, DGQ-Schrift 11–19, Berlin 1989, 26 und W. Masing, Qualität und Qualitätsmanagement, in: M. Kröning (Hsg.), Handbuch der Zerstörungsfreien Prüfverfahren, Bd. 1, Kap. 1.3.2, München (i.pr.).