

Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim Dubrau
Dr.-Ing. Reinhard Kärger

PRÜFTECHNIK – PRÜFTECHNOLOGIE

1/1 und 1/2

**Prüfprozesse – Grundlagen
Systematik
Ergonomische Aspekte**

Herausgeber:

Institut für Fachschulwesen der
Deutschen Demokratischen Republik
Karl-Marx-Stadt

03 1012 01 1

Dieser Lehrbrief wurde
verfaßt von:

Prof. Dr.-Ing. Hans Joachim D u b r a u
Ingenieurhochschule Dresden
Dr.-Ing. Reinhard K ä r g e r
Ingenieurhochschule Dresden

lektoriert von:

Dipl.-Ing. Klaus B ö d e k e r
VEB Kombinat Elektroprojekt
und Anlagenbau Berlin
Dipl.-Ing. Helmut S c h n e i d e r
VEB Carl Zeiß Jena

bearbeitet von:

FSD Dipl.-Ing. Günter H e l m
Institut für Fachschulwesen der DDR
Karl-Marx-Stadt

Redaktionsschluß: 20. 4. 1978

Als Manuskript gedruckt • Alle Rechte vorbehalten
Veröffentlicht:
INSTITUT FÜR FACHSCHULWESEN DER
DEUTSCHEN DEMOKRATISCHEN REPUBLIK
Karl-Marx-Stadt

Druck und buchbinderische Verarbeitung:
ZENTRALSTELLE FÜR LEHR- UND ORGANISATIONSMITTEL DES
MINISTERIUMS FÜR HOCH- UND FACHSCHULWESEN, ZWICKAU
Ag 613/24/85/700 1. Ausgabe 6. Auflage
Vorzugsschutzgebühr: 2,00 M

Vorbemerkungen

Die Lehrbriefe Prüftechnik – Prüftechnologie sind für die Ausbildung im Lehrgebiet „Meß- und Prüftechnik“ der Grundstudienrichtung Elektroingenieurwesen an Ingenieurschulen vorgesehen. Sie bauen auf Kenntnissen auf, die in den anderen Lehrgebieten der Grundstudienrichtung vermittelt wurden, und setzen enge Querverbindungen zu den weiteren Themengruppen des Lehrgebietes „Meß- und Prüftechnik“ voraus.

Die Lehrbriefe sollen den Studenten ermöglichen, sich der steigenden Anforderungen an die Prüftechnik/Prüftechnologie bewußt zu werden sowie ihnen Fähigkeiten und Kenntnisse vermitteln, um aktiv im Rahmen der Qualitätssicherung im Bereich der Elektrotechnik/Elektronik auf die Steigerung der Arbeitsproduktivität, die Verbesserung der Materialökonomie und die Erhöhung der Zuverlässigkeit von Erzeugnissen einwirken zu können.

Die Teile 1 und 2 des ersten Lehrbriefes der Lehrbriefreihe, *Prüfprozesse – Grundlagen; Systematik, Probleme*, enthalten Themen, die als allgemeingültig für den Bereich der Elektrotechnik/Elektronik gelten dürfen. Der zweite Lehrbrief, *Prüfeinrichtungen, Prüfprogramme für elektronische Baugruppen und Geräte*, ist auf die Belange der Elektronik zugeschnitten. In Vorbereitung ist ein dritter Lehrbrief, der die Spezifik des elektrotechnischen Anlagenbaues berücksichtigt.

Da die Lehrbriefe vorzugsweise im Fernstudium zum Einsatz gelangen, waren die Autoren bemüht, die dadurch gegebenen praktischen Erfahrungen der Studenten zu berücksichtigen. Ein großer Teil der Kontroll- und Übungsaufgaben orientiert deshalb darauf, ausgewählte Bereiche und Probleme des eigenen Arbeitsfeldes zu analysieren und entsprechende Schlußfolgerungen zu ziehen. Auf Grund der konkreten Bedingungen sind demnach keine eindeutigen Lösungen angebar. Die Autoren erwarten dadurch eine Belebung, praxisnahe Gestaltung und aktive Erarbeitung des Lehrstoffes durch die Studenten.

Gesetze, Verordnungen, Standards zur Qualitätssicherung, Prüf- und Meßtechnik elektrischer und elektronischer Einrichtungen

Verordnung über die staatliche Qualitätskontrolle. GBl. der DDR, Teil II, 1970, Nr. 15, S. 110.

Verordnung über die Sicherung und Steigerung der Qualität der Erzeugnisse in den Kombinat und Betrieben – Qualitätssicherungsverordnung –. GBl. der DDR, Teil II, 1970, Nr. 15, S. 118.

Erste Durchführungsbestimmung zur Qualitätssicherungsverordnung. GBl. der DDR, Teil II, 1971, Nr. 15, S. 122.

Verordnung über das Meßwesen. GBl. der DDR, Teil II, 1961, Nr. 32, S. 191.

Statut des Amtes für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung – Beschluß des Ministerrates. GBl. der DDR, Teil I, 1975, Nr. 16, S. 301.

Verordnung über den Standard des RGW. GBl. der DDR, Teil I, 1974, Nr. 55, S. 499.

**Grundlagen der
Qualitätssicherung:**

TGL	8871	GOST	15.467–70
	8872		16.035–70
	8874		16.431–70
	16223		16.456–70
	29432		16.504–70
	29512		17.102–71
	29513		17.341–71

**Statistische
Qualitätskontrolle:**

TGL	14449	GOST	11.004–74
	14450		15.893–70
	14451		15.894–70
	14452		15.895–70
	14454		16.467–70
			16.490–70
			16.493–70
			16.498–70
			16.949–71
RS	966–67		18.242–72
	1855–69		18.321–73
	4239–73		18.353–73

Meß- und Prüftechnik / Prüftechnologie:

TGL	9198	GOST	2.001–70	RS	3472–72	ASMW-Vor-
	9199		2.111–68		4250–73	schriften
	9200		2.116–71			55
	9203		3.1001–71			341
bis			3.1101–70	MS	6–73	430
	9211		3.1102–70		14–71	450
	9219		3.1104–71			484
	14091		3.1109–73			485
	14283		8.000–72			558
						592
	14591		8.001–71			1603
	15003		8.002–71			1136
	15040		8.009–72			1137
	15041		8.011–72			1224
	15042		8.061–73			30–278
	15165		8.103–73			36–232
	15166		9.867–61			36–238
	18704		14.001–73			36–313
	18753		14.002–73			
	19472		14.636–69			
	19484		16.236–70			
	22500		16.305–74			
	22747		16.306–74			
	29435		17.195–71			
	31491		17.420–72			
	31532		18.831–73			

bis

31536
 31542
 31550
 31754
 0-1319
 0-1953
 0-5033
 27-99007
 45-11081
 200-0057
 200-0644

Zuverlässigkeit:

TGL	26096	GOST	13.216-74	RS	4091-73	ASMW-Vor-
	200-0028		13.377-67			vorschriften
			16.468-70			604
			16.503-70			1068
			17.331-71			1098
			17.509-72			
			17.510-72			
			17.572-72			
			18.049-72			
			18.333-73			

Ergonomie:

TGL 10687
 22310
 22311
 22315
 32603
 200-0617
 2860-56

Arbeitsschutz:

TGL	14283	ASVO
	15165	ABAO 3/1
	22310	31/2
	26994	430
	30000	900
	30001	
	32600	
	200-0600	
	200-0602	
	200-6111	
	200-0618	
	200-0619	
	200-0635	
	200-0644	
	200-0645	

Inhaltsverzeichnis	Seite
Lehrbrief 03 1012 01 1	
Verzeichnis der Kurzzeichen	6
0. Einleitung	7
1. Grundlagen	8
2. Fertigungsvorbereitung, Fertigung und Fertigungskontrolle	11
2.1. Aufgaben der Prüftechnik/Prüftechnologie im Produktionsprozeß	11
2.2. Fehler und Fehlerquellen im Produktionsprozeß	18
3. Systematik der prüftechnologischen Vorbereitung	23
3.1. Überblick	23 ⁴⁰
3.2. Analyse des Fertigungsprozesses und des Prüfobjektes, Bestimmung der Prüfmerkmale	24
3.3. Bestimmung der Prüfbedingungen	27
3.4. Bestimmung der Prüffolge und des Prüfortes	27
3.5. Bestimmung der Prüfart, der Prüfschärfe und des Prüfumfangs	29
3.6. Bestimmung der Prüfgenauigkeit	30
3.7. Wahl des Prüfverfahrens	31
3.8. Bestimmung des Prüfprogramms	33
3.9. Bestimmung der Prüfmittel	34
3.10. Prüforganisation	36
3.11. Arbeitsunterlagen für den Prüftechnologen und für die Ausführung von Prüfarbeitsgängen	39
Lehrbrief 03 1012 01 2	
4. Ergonomische Aspekte der Prüftechnik	42
Lösungen der Aufgaben	52
Literaturverzeichnis	54
Sachwörterverzeichnis	55

Verzeichnis der Kurzzeichen

a	Ausgangsgröße	q_{po}	Toleranzgrenze, obere
e	Eingangsgröße	q_{pu}	Toleranzgrenze, untere
K_e	Ersatzkosten	q^i	Idealwert des Qualitätsmerkmals
K_f	Folgekosten	q^r	Realwert des Qualitätsmerkmals
K_p	Prüfkosten	R	Widerstand
Op	Operator	s	Störgröße
p	Wahrscheinlichkeit	t, T	Zeit
p_k	Fehlerrate, kritische	Δ	Wert einer Abweichung
q	Qualitätsmerkmal	δ	Fehler, relativer
q_M	Meßwert	ϵ	Toleranzintervall
q_N	Wert des Normals	σ	Standardabweichung

0. Einleitung

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt hat zu einem starken Bedarf an elektrotechnischen/elektronischen Geräten, Einrichtungen und Anlagen in allen Gebieten der Volkswirtschaft, in Naturwissenschaft und Technik bis in den sozial-ökonomischen Bereich geführt. Von 1950 bis 1975 stieg der Produktionsumfang des elektronischen Gerätebaus in der DDR etwa auf das fünfundzwanzig- bis dreißigfache.

Mit dem Großeinsatz von Halbleiterbauelementen ist ein Qualitätssprung in der Technologie elektrotechnischer/elektronischer Einrichtungen verbunden. Die Befestigung diskreter Bauelemente auf einem Chassis, ihre Einzelverdrahtung und Lötkontaktierung wurde durch die Fertigung funktionell mehr oder weniger stark abgeschlossener Baugruppen (konstruktiv als gedruckte Leiterplatte gestaltet) und ihrer variablen Zusammenschaltung mittels Steckverbinderverdrahtung in einem standardisierten Gefäßsystem zu Einschüben, Geräten, Anlagen und Systemen abgelöst.

Diese Technologie ist gegenwärtig und auch für die nähere Zukunft im Rahmen gewisser Modifikationen bestimmend, wobei die Spezifik der Entwicklung hauptsächlich im Grad der Schaltungsintegration zu sehen ist. Über die Entwicklungsstadien Modul-, Mikromodul- und Dünnschichttechnik ist heute ein Integrationsgrad der Größenordnung 10^4 Schaltelemente/cm³ erreicht. Die theoretische Grenze wird bei 10^8 /cm³ [1] gesehen. Damit ist es möglich, immer kompliziertere Funktionseinheiten in immer geringeren Volumina unterzubringen. Die Anzahl der Bauelemente je Gerät steigt in jeweils 10 Jahren auf etwa das zehnfache.

Das Zusammenwirken einer ständig steigenden Zahl von Bauelementen und Baugruppen stellt in verstärktem Maße die Frage nach ihrer Zuverlässigkeit.

Im Ergebnis der skizzierten Entwicklungstendenzen ändert sich auch der Umfang der notwendigen Prüfhandlungen, ihr Charakter und die dabei einzusetzende Technik. Noch in der Fertigung der ersten elektronischen Rechner war es üblich, vollständige Funktionseinheiten auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen. Dafür standen hochqualifizierte Fachleute zur Verfügung, die, zumeist auf ihre Intuition bauend, mit universellen Meß- und Prüfgeräten aufgetretene Fehler aufspürten. Der qualitative Sprung in der Elektrotechnik/Elektronik führte dazu, daß im Grenzfall nach jedem technologischen Schritt seine qualitätsgerechte Erfüllung überprüft wird und daß spezielle Prüfverfahren und Prüfmittel in Anwendung kommen.

Der Anteil der Prüfhandlungen am Fertigungsprozeß ist z. Z. ca. 50 % bis 80 %. Das unterstreicht nachdrücklich die Notwendigkeit der rationellen Gestaltung von Prüfprozessen und die Bedeutung der Prüftechnik/Prüftechnologie.

Auffällig ist, daß trotz vielfältiger Rationalisierungsbestrebungen der Anteil der Prüfhandlungen im wesentlichen nicht geringer wird. Neue Technologien wie z. B. die integrierte Schaltungstechnik führen zur Einsparung von Fertigungskosten und manueller Arbeit sowie zu höherer Zuverlässigkeit, aber in der Regel auch zu einem höheren *Prüfaufwand*.

Die dargelegten Probleme führten dazu, daß schon 1971 im Komplexprogramm des Rates für gegenseitige Wirtschaftshilfe eine spezielle Aufgabe zur Automatisierung von Meß-, Kontroll- und Prüfprozessen gestellt wurde.

Die Aktualität dieser Aufgabenstellung ist in der „Direktive des IX. Parteitagcs der SED zur Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR 1976 – 1980“ unterstrichen:

„Zur Sicherung der Produktion qualitativer hochwertiger und kostengünstiger Erzeugnisse ist eine rationelle Meß- und Prüftechnik zu schaffen und anzuwenden. Sie muß den Anforderungen hocheffektiver Technologien und Verfahren entsprechen und den Anteil manueller Meß- und Prüfarbeiten entscheidend senken. In enger Zusammenarbeit mit der UdSSR und

anderen sozialistischen Ländern sind rationelle Prüfverfahren und dementsprechende Meßmittel weiterzuentwickeln und anzuwenden." [2]

1. Grundlagen

Das Ziel des sozialistischen Produktionsprozesses ist die Erzeugung materieller Güter zur Befriedigung gesellschaftlicher und individueller Bedürfnisse. Die gefertigten Erzeugnisse sind für eine bestimmte Verwendung vorgesehen und erfüllen auf Grund ihrer qualitativen und quantitativen Eigenschaften in einem gewissen Grade diesen Zweck bis zu ihrem physischen oder moralischen Verschleiß.

Die Erwartungen, die an ein Erzeugnis geknüpft werden, sind vielschichtiger Art (z. B. Abmessung, Masse, Funktion, Genauigkeit, Bedienungskomfort usw.). Sie werden durch den *Qualitätsbegriff* zusammengefaßt (s. a. [3]).

A 1.1. Erläutern Sie die in [3] definierten Begriffe *Qualität*, *Qualitätsmerkmal* und *Qualitätskennwert*!

Die Qualität eines Erzeugnisses wird entscheidend durch den Produktionsprozeß bestimmt. In jedem realen Produktionsprozeß treten *Störgrößen* auf, die das Qualitätsmerkmal eines Erzeugnisses beeinflussen.

Wesentliche Störgrößen resultieren aus:

- Unzulänglichkeiten der Erzeugnisentwicklung, der Fertigungsprozeßvorbereitung und -gestaltung,
- Unzulänglichkeiten des technologischen Ablaufes,
- Unzulänglichkeiten der technologischen Ausrüstung,
- Mängeln der Ausgangsprodukte,
- Umwelteinflüssen,
- subjektiven Einflüssen der Arbeitskraft.

Beispiele:

1. Bei der Bestückung einer Leiterplatte mit Bauelementen kann als Störgröße die verwischte Kennzeichnung eines Bauelementes auftreten.
2. Als Störgrößen des Erzeugnisses „Meßverstärker“ können Versorgungsspannungsschwankungen oder Umgebungstemperaturänderungen gegeben sein.

Im Produktionsprozeß ist man bestrebt, die Differenz zwischen dem Idealwert und dem Istwert des Qualitätsmerkmals eines Erzeugnisses zu minimieren. Grenzen sind hierbei durch den aktuellen Entwicklungsstand der Produktivkräfte sowie das optimal zu gestaltende Aufwand-Nutzen-Verhältnis gegeben. Deshalb wird ein genügend kleiner, beherrschbarer Bereich ϵ als Sollqualität vereinbart, innerhalb dessen sich der Wert des Qualitätsmerkmals bewegen darf und zwar so, daß

$$|q^r - q^i| = \Delta \leq \epsilon. \quad (1.1)$$

- q^r Realwert des Qualitätsmerkmals
 q^i Idealwert des Qualitätsmerkmals

Im Zusammenhang mit der *Qualitätssicherung* (s. [3]) besteht immer die Aufgabe der *Prüftechnik/Prüftechnologie* darin, die notwendigen Voraussetzungen für einen Qualitätsnachweis eines Erzeugnisses bzw. zum Nachweis eines Fehlers zu schaffen, Fehler zu lokalisieren sowie deren Ursachen aufzudecken.

Der dabei auszuführende Vorgang wird als *Prüfen* bezeichnet und bereits im Lehrmaterialbaustein zur Einführung in die Meß- und Prüftechnik [4] eindeutig bestimmt.

A 1.2. Erläutern Sie die Begriffe Prüten und Messen!

Die *Prüftechnik* umfaßt die Gesamtheit der technischen Prüfeinrichtungen sowie die Technik des Prüfens und der Fehlerlokalisierung, also die Bereitstellung von Meß- und Prüfmitteln sowie von Verfahren und Methoden des Prüfens.

Die *Prüftechnologie* hat die Ermittlung der Prüferfordernisse, die Art und Weise des Einsatzes und der Einordnung von Prüfeinrichtungen, von Verfahren und Methoden in den technologischen Prozeß zum Inhalt.

Im Mittelpunkt des *Prüfens* steht zunächst nicht der konkrete Wert q_p einer Eigenschaft des untersuchten Objekts, sondern seine Lage in bezug auf ein vorgegebenes *Toleranzbereich*. Im Falle eines positiven Ausgangs der Prüfhandlung gehört der Merkmalswert q_p einer Menge Q_p an:

$$q_p \in Q_p \quad (1.2)$$

für die als Bildungsgesetz die Ungleichung

$$q_{pu} \leq q \leq q_{po} \quad (1.3)$$

unter der Voraussetzung $|q_{po} - q_{pu}| \leq \epsilon$ zugelassen ist [5].

q_{pu} und q_{po} sind die *untere* bzw. *obere Toleranzgrenze*.

Die Abwesenheit der geforderten Eigenschaft an einem *Prüfobjekt* bzw. die Verletzung der *Toleranzgrenzen* durch ihre quantitativen Charakteristika wird als *Fehler* bezeichnet.

Interessiert z. B. zu Zwecken der Fehlerursachenermittlung der konkrete Wert des jeweiligen Merkmals, so muß dieser einer Messung unterzogen werden.

Der als *Messen* bezeichnete Vorgang ist auf die quantitative Bestimmung der Eigenschaften materieller Realitäten gerichtet und wird als Vergleich der Meßgröße q_M mit der Größe eines Normals q_N mittels technischer Einrichtungen realisiert (s. a. [4]). Durch Variation des Vergleichsnormals wird

$$q_N = q_M \quad (1.4)$$

ermittelt. Der Istwert der Meßgröße q_M ist aber nur im Idealfall, dem tatsächlichen Wert der Meßgröße (Sollwert) gleich. Eine verbleibende Abweichung des Meßwertes vom Sollwert stellt den absoluten *Fehler der Messung* dar.

Aus dem bisher gesagten ist eine Reihe von Feststellungen ableitbar:

- Prüfen und Messen dienen dem Nachweis bzw. dem Bestimmen von Eigenschaften materieller Realitäten und sind auf Erkenntniszuwachs gerichtet.
- Prüfen und Messen sind Mittel der Qualitätssicherung.
- Der Vorgang Prüfen ist umfassender als der Vorgang Messen.
- Beinhaltet ein Prüfvorgang Messungen, so ist eine anschließende Bewertung des Meßwertes gemäß Gl. (1.3) notwendig.
- Im Gegensatz zum Messen sind nicht für jeden Prüfvorgang technische Hilfsmittel erforderlich, es ist ein Prüfen ohne Messen möglich.

Gleichfalls ist das funktionelle Schema ableitbar (Bild 1.1), welches jedem Prüfvorgang und jeder Prüfeinrichtung zugrunde liegt.

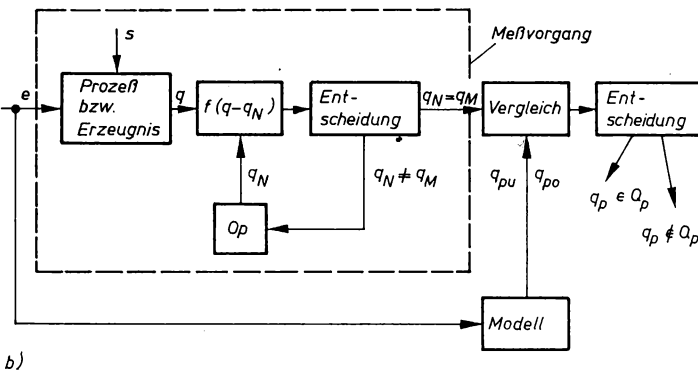
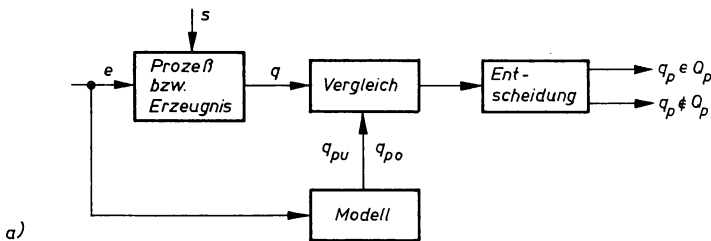


Bild 1.1: Funktionelles Schema des Prüfvorganges

a) Prüfen ohne Messen

b) Prüfen unter Einfluß des Meßvorganges

Das Qualitätsmerkmal q des Prozesses oder des jeweiligen Erzeugnisses unterliegt einem Vergleich bezüglich der Toleranzgrenze q_{pu} , q_{po} (Bild 1.1. a), in dessen Ergebnis die Entscheidung über die

Einhaltung bzw. die Verletzung der Toleranzgrenzen erfolgt. Die Bezugsgrößen q_{pu} , q_{po} werden über ein Modell des Prozesses bzw. Erzeugnisses bereitgestellt. Ist das Modell mathematischer oder empirischer Art, so werden q_{pu} , q_{po} rechnerisch bzw. aus Erfahrungswerten bestimmt. Ist das Modell physikalischer Art, d. h. eine materielle Nachbildung des Prozesses (Erzeugnisses), so steht die Bezugsgröße unmittelbar als physikalische Größe zur Verfügung. Grundlage der Modellierung ist natürlich u. a. die Kenntnis der Eingangsgröße e . Vielfach ist es üblich, den Prozeß (das Erzeugnis) mittels anderer als im normalen Einsatzfall auftretender Eingangsgrößen anzuregen (zu aktivieren), eine das Qualitätsmerkmal repräsentierende Ausgangsgröße abzugeben.

Beinhaltet die Prüfhandlung einen Meßvorgang, so wird zunächst der Meßwert $q_N = q_M$ ermittelt und danach letzterer wieder dem Vergleich mit den Bezugsgrößen q_{pu} , q_{po} unterworfen (Bild 1.1 b).

Zusammenfassung zu Abschn. 1.

Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand von Wissenschaft und Technik ist eine Produktion elektrotechnischer/elektronischer Erzeugnisse ohne Abgleich, Nacharbeit und Ausschuß fast unmöglich. Auf den Produktionsprozeß wirkt eine Vielzahl von Störfaktoren ein, die zu einer Diskrepanz zwischen der geforderten, der Sollqualität, und der tatsächlich erzeugten, der Istqualität, führen kann. Den Toleranzbereich verletzende Qualitätsabweichungen müssen nachgewiesen und – falls dies überhaupt möglich ist – Maßnahmen zur Wiederherstellung der Sollqualität (Abgleich, Nacharbeit, Reparatur) eingeleitet werden.

Vorzuziehen ist eine Steuerung und Regelung des Fertigungsprozesses mit Hilfe von Informationen, die aus ihm durch Meß- und Prüfprozesse gewonnen werden.

Damit erfüllt die Prüf- und Meßtechnik nicht in erster Linie Sortierfunktionen, in deren Ergebnis der Ausschuß von qualitätsgerechten Erzeugnissen getrennt wird, sondern schafft durch die Bereitstellung notwendiger Informationen die Voraussetzung für die Sicherung der Übereinstimmung von erzeugter und geforderter Qualität.

A 1.3. Geben Sie für ein ausgewähltes Erzeugnis an, welche Störgrößen in welcher Art und Weise seine Qualitätsmerkmale beeinflussen!

A 1.4. Nennen Sie für ein ausgewähltes Erzeugnis variable und attributive Qualitätsmerkmale!

A 1.5. Veranschaulichen Sie sich anhand einer Wheatstone-Brücke das funktionelle Schema des Prüf- und Meßvorganges!

2. Fertigungsvorbereitung, Fertigung und Fertigungskontrolle

2.1. Aufgaben der Prüftechnik/Prüftechnologie im Produktionsprozeß

Nachdem im Abschnitt 1. grundlegende Zusammenhänge erläutert und die Prüftechnik/Prüftechnologie als Mittel der Qualitätssicherung charakterisiert wurde, ist die Frage nach ihrer Beziehung zu den einzelnen Phasen des Produktionsprozesses und notwendigerweise nach der Konkretisierung der Aufgabenstellung in diesen Phasen zu stellen.

Ausgangspunkt ist der Gedanke, daß die Qualitätsmerkmale erzeugt und nicht in die Erzeugnisse hineingeprüft werden. Damit ist gesagt, daß konzeptionelle Planung, Erzeugnisentwicklung,

Fertigungsvorbereitung, Fertigungstechnologie, prüftechnische Vorleistungen, Prüfmittelentwicklung und technische Kontrollorganisation einen Komplex bilden und entsprechende Verflechtungen beachtet werden müssen (Tafel 2.1).

Tafel 2.1.: Grundphasen des Produktionsprozesses und zuzuordnende Qualitäten

Produktionsprozess	Bedarfsermittlung, Marktforschung	Bedarfsqualität
	Produktionskonzeption	Sollqualität
	Erzeugnisentwicklung Fertigungsvorbereitung Fertigungsprozessgestaltung	potentielle Qualität
	Fertigung	Istqualität
	Absatz, Service	Garantiequalität

Die auf der Grundlage der *Marktforschung* und *Bedarfsermittlung* für die Produktion konzipierten *Qualitätsmerkmale* stellen einen Kompromiß zwischen speziellen Forderungen einzelner Bedarfsträger und vorzunehmender Systematisierung, Typisierung und Standardisierung dar, ohne die eine Produktion nicht ökonomisch, rationell und effektiv gestaltet werden kann. Die Prüftechnik/Prüftechnologie bringt in die wissenschaftlich-technische Konzeption ein:

- Entwicklungstendenzen der Prüf- und Meßtechnik,
- aussagefähige Qualitätsmerkmale und anzustrebende Kennwerte,
- prüftechnische Bewertung der Zielvorstellungen, d. h., materiell-technische, ökonomische, zeitliche und kadermäßige Anforderungen aus prüftechnischer Sicht,
- wissenschaftlich-technische Aufgabenstellungen für die Prüftechnik.

Durch die *Erzeugnisentwicklung* sowie die *Vorbereitung* und *Gestaltung des Fertigungsprozesses* wird die *potentielle Qualität* des Erzeugnisses, die das geistig vorweg genommene Ergebnis des Produktionsprozesses darstellt, bestimmt. In entscheidendem Maße wird hier über die Qualität des künftigen Produkts entschieden.

Bei der Aufgabenstellung zur **Entwicklung und Einführung von Erzeugnissen, Verfahren und technologischen Prozessen** (*Arbeitsstufe K 1 bzw. V 1*)¹⁾ sind durch die Prüftechnik

- die *Qualitätsmerkmale* und deren Kennwerte (einschließlich der *Zuverlässigkeitskenngrößen* [6]) mit auszuwählen. Zulässige Grenzen der Sollwerte von Funktionen sind unter Einbeziehung der Zulieferer, Anwender und des Amtes für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung (ASMW) als Ausfallkriterien festzulegen;

1) Hier und im folgenden sind zur Orientierung Arbeitsstufen gemäß [7] angeführt.

- die Möglichkeiten und Bedingungen zum Erreichen der Qualitätsforderungen abzuschätzen;
 - die Nutzungsmöglichkeiten bekannter Prüfverfahren, Prüftechnologien und Prüfeinrichtungen zu analysieren und eventuell Aufgabenstellungen für eigene Aktivitäten abzuleiten. In Abhängigkeit vom Neuheitsgrad des Erzeugnisses können Probleme
 - der Erfassung neuer physikalischer Größen,
 - der Arbeit von Prüf- und Meßmitteln unter neuen Einsatzbedingungen,
 - der entscheidenden Erhöhung ihrer Empfindlichkeit und Genauigkeit,
 - der Sicherung der Einheitlichkeit und Richtigkeit von Messungen, d. h. der Schaffung neuer Normale, Vorbereitung von Standards u. ä.
- gestellt sein.

A 2.1. Nennen Sie unter dem Gesichtspunkt von Qualitätsforderungen die unter Produktionsbedingungen möglichen Fehler bei der Messung von Zeit, Frequenz, Stromstärke, Spannung, Widerstand, Temperatur!

Bei der Erarbeitung möglicher funktioneller und konstruktiver Varianten des zukünftigen Erzeugnisses ist zu gewährleisten, daß das Prüfen seiner Qualitätsmerkmale mit geringstem Aufwand erfolgen kann.

Die *Prüfgerechtigkeit* wird u. a. dadurch charakterisiert, in welchem Maße eine Vorauswahl der Bauelemente erforderlich ist, welche Abgleichhandlungen und speziellen Prüfmittel notwendig sind, wie hoch die Anzahl der zu prüfenden Parameter ist, in welchem Maße Fehler unterscheidbar und lokalisierbar sind und welche Qualifikation der Arbeitskraft vorausgesetzt werden muß. Aber auch Vorgaben über die zulässige Packungsdichte und freizuhaltende Zonen oder Räume, z. B. zur Leiterkartenkennzeichnung für die Belange der Prüftechnik, werden erwartet.

In Zusammenarbeit mit dem Entwickler sind eine minimale Anzahl von *Prüfparametern* und ihre Toleranzen auszuwählen und davon ausgehend, Vorgaben für Zulieferungen und Kooperation festzulegen und abzustimmen. Dies betrifft u. a. die Vereinbarung von Prüfparametern für Zuliefererzeugnisse, ihre Zuverlässigkeit und Fehlerrate, Annahmekriterien und eine möglichst zu vermeidende Vorauswahl.

Die konstruktiven und technologischen Lösungswege sind zu bewerten und Schwachstellen sind zu ermitteln.

Durchzuführende *Prüfungen*, *Prüfbedingungen* und *Prüfverfahren* und entsprechende *Prüfeinrichtungen* müssen konzipiert werden.

Gegebenenfalls sind in Standards für das zu fertigende Erzeugnis die Prüfbelange zu berücksichtigen.

In der Phase der *Fertigungsvorbereitung* liegt der Schwerpunkt auf der Erarbeitung der *Prüftechnologie* für die nachfolgend aufzunehmende Fertigung (s. Abschnitt 3.).

Auf der Grundlage der erarbeiteten *Prüfvorschrift* sind die Versuchsmuster zu prüfen und zur Wahl der optimalen Variante Beiträge zu leisten, wobei hier nochmals die prüfgerechte Gestaltung zu kontrollieren ist.

Die Erprobung des Funktionsmusters (Arbeitsstufe K 5) bzw. der verfahrenstechnischen Lösung (Arbeitsstufe V 5) muß unter Betriebsbedingungen erfolgen.

Weitere Aktivitäten hängen vom Charakter der Produktion ab. Für Einzel- und Kleinserienfertigung erfolgt die Freigabe zur Produktion auf der Grundlage des Funktionsmusters, für Serienproduktion ist der Bau und die Erprobung von Fertigungsmustern (Arbeitsstufe K 8), für Großserien- und Massenproduktion die Fertigung einer Nullserie (Arbeitsstufe K 10) Voraussetzung.

Zu diesem Zeitpunkt ist die Fertigungsdokumentation fertigzustellen, die die prüftechnologischen Angaben und Unterlagen beinhalten muß.

Der Großteil der industriellen Warenproduktion der DDR unterliegt der staatlichen Qualitätskontrolle durch das ASMW (s. [3]). Mit Gesetzeskraft (Anlage) werden

- anmeldepflichtige Erzeugnisse, die stichprobenartig kontrolliert werden,
- prüfpflichtige Erzeugnisse, die ständig kontrolliert werden, und unter letzteren
- klassifizierungspflichtige Erzeugnisse, die ein Gütezeichen erhalten,

festgelegt.

Die Klassifizierung von Erzeugnissen, die ein Gütezeichen erhalten, wird als *Typprüfung* durchgeführt, d. h., die Qualitätsmerkmale sind an einigen Vertretern eines Serienerzeugnisses nachzuweisen.

Beispiel:

Für elektronische Meßgeräte sind u. a. einer Typprüfung zu unterziehen [8]:

- | | |
|--|------------------------------|
| – Funktion und Genauigkeit | – Übertemperatur, |
| – Schutz gegen zufälliges Berühren betriebsmäßig unter Spannung stehender Teile, | – Isolationswiderstand |
| – Ableitstrom, | – Isolationsspannung, |
| – Kurzschlußverhalten, | – Klimatische Beständigkeit, |
| | – Mechanische Festigkeit, |
| | – Transportsicherheit. |

Im **Fertigungsprozeß** sind unter konsequenter Befolgung der Prüftechnologie die Einhaltung der technologischen Disziplin, der erforderlichen Parameter und der technologischen Ausrüstung zu überwachen sowie die *Wareneingangs-, Zwischen- und Endprüfungen* am Erzeugnis vorzunehmen.

Bild 2.1 zeigt den vereinfachten technologischen Ablauf der Fertigung einer elektrotechnischen/elektronischen Einrichtung. Aus methodologischen Gründen sind wesentliche Prüfkomplexe gesondert dargestellt worden.

Bei *Wareneingang* sind hauptsächlich die vereinbarten *Qualitätsmerkmale* von Bauelementen und komplettierenden Baueinheiten sowie in Vorbereitung der Fertigung weitere Parameter, wie z. B. die Lötbarkeit der Ausgangsmaterialien oder die Zusammensetzung von Hilfsstoffen (z. B. Flußmittel), zu überwachen. *Zwischenprüfungen* unterliegen im Fertigungsprozeß geometrische, strukturelle, nichtelektrische (mechanische) und elektrische Parameter; das Verschalten und das Zusammenwirken der einzelnen Systemkomponenten sind zu prüfen, und mit der *Endprüfung* ist der Einschub, das Gerät, die Anlage oder das System in Betrieb zu nehmen. Theoretische Untersuchungen und Analysen im Produktionsprozeß zeigen, daß hierzu 20 ... 30 Prüfmittel unterschiedlichster Bestimmung und Kompliziertheit notwendig sind.

Besondere Bedeutung kommt der Überwachung der eingesetzten Prüf- und Meßmittel zu. Während der teilweise oder vollständige Ausfall einer Prüfeinrichtung unmittelbar ihren Einsatz nach sich zieht, können zeitliche Änderungen ihrer Kennwerte zunächst unbemerkt bleiben und zu fehlerhaften Qualitätsaussagen über das Erzeugnis führen. Durch regelmäßiges Warten, Abgleichen, Nacheichen und den Ersatz von Teilen mit irreversiblen Änderungen in wissenschaftlich begründeten Zeitabschnitten wird einem irregulären Ausgang von Prüfhandlungen vorgebeugt.

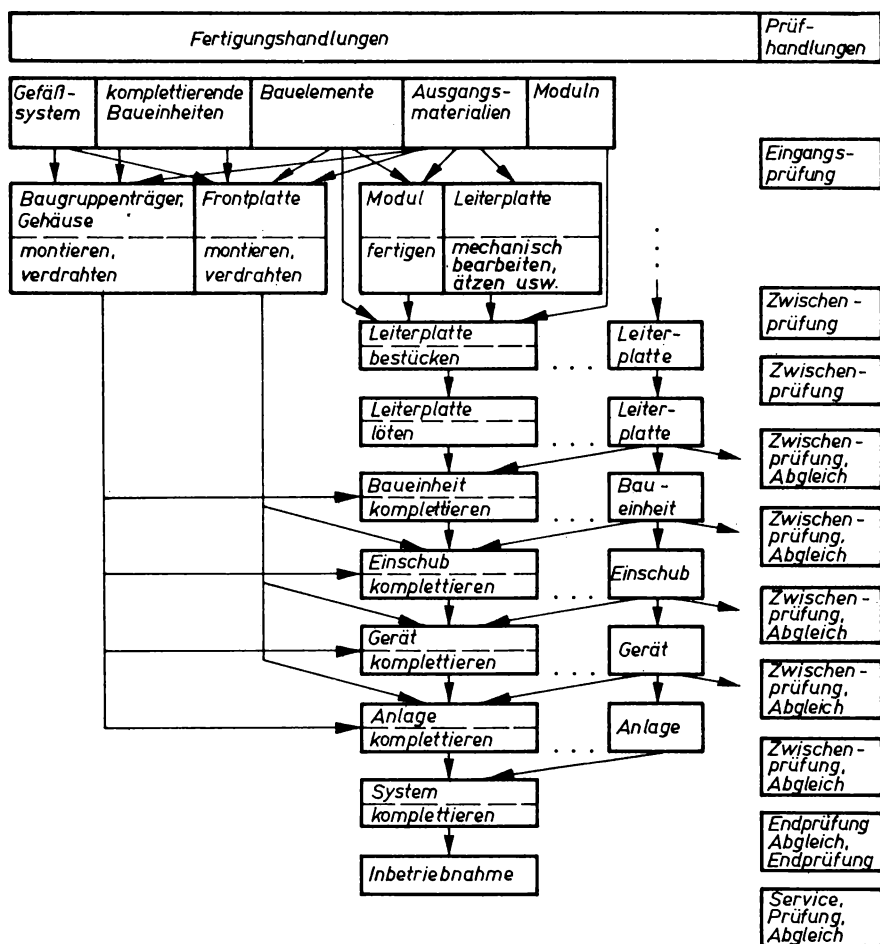


Bild 2.1: Technologischer Ablauf der Fertigung elektronischer Einrichtungen (vereinfacht)

Das kontinuierliche Auswerten aller gewonnenen Prüfergebnisse ist eine Voraussetzung für die Effektivierung und Intensivierung der Produktion. Selbst bei qualitätsgerechter Durchführung aller Phasen des Produktionsprozesses bis hin zur Auslieferung des Erzeugnisses sind zufällige Defekte in der Zeit ihres Einsatzes möglich, wodurch Prüfhandlungen im Rahmen der Garantie- bzw. vertraglich gebundenen Serviceleistungen notwendig werden.

Tafel 2.2: Vereinfachter Werdegang eines Erzeugnisses

Erzeugnis- entwicklung	Fertigungs- vorbereitung	Planung, Organisation Beschaffung	Fertigung	Prüf-, Meß- aktivitäten
1	2	3	4	5
Aufgaben- stellung				Aufgabenstel- lung für Meß- und Prüftech- nik erarbeiten
Aufgaben- stellung für funktionelle und konstruk- tive Entwick- lung		Aufgabenstel- lung Arbeitskräfte Arbeitsmittel Arbeitsgegen- stände Räumlichkei- ten		Prüfgerech- theit beeinflus- sen Zulieferungen bewerten – Zuverlässig- keit – Klassieren – Annahmekri- terien Prüfmerkmale, Toleranzen, festlegen Entwicklung v. Prüfmitteln Prüfvorschrift vorbereiten Versuchsmuster „prüfen“ Qualitätskenn- werte, Prüf- merkmale, Tole- ranzen präzi- sieren
funktionelle, konstruktive Varianten erarbeiten	Aufgabenstel- lung für Fertigungs- vorbereitung	Bereitstellung – Arbeitsmit- tel – Arbeitsge- genstände		
Anfertigung des Ver- suchsmusters	Erarbeiten der Ferti- gungsvarian- ten			
Korrekturen				
Wahl der op- timalen Va- riante				

1	2	3	4	5
	Versuchseinrichtungen fertigen			Prüfmerkmale, Toleranzen des Fertigungsprozesses präzisieren
				Prüfvorschrift für Versuchseinrichtungen erarbeiten
	Wareneingang, Versuchseinrichtungen prüfen			
	Prüftechnologie erarbeiten, Qualifizierung des Prüfpersonals			
	muster, Prüf-Meßmittel prüfen			
	Bereitstellung für Fertigung	Korrekturen		Fertigen der Nullserie
			Fertigungsschritt	Wareneingangs-, Zwischenprüfung
			Reparatur	
			.	.
			.	.
	Inbetriebnahme	Endprüfung		
				Einsatz

In Tafel 2.2 ist der vereinfachte Werdegang eines Erzeugnisses mit einer Auswahl der erläuterten Aktivitäten schematisch zusammengefaßt.

- A 2.2. Stellen Sie fest, welche Erzeugnisse in Ihrem Arbeitsbereich der Kontrollpflicht durch das ASMW unterliegen!
- A 2.3. Welche Bedeutung hat im System der Qualitätssicherung die Typprüfung?
- A 2.4. Stellen Sie im technologischen Ablauf eines ausgewählten Erzeugnisses die eingelagerten Prüfhandlungen analog zu Bild 2.1 fest!

2.2. Fehler und Fehlerquellen im Produktionsprozeß

Eine effektive Gestaltung der Prüfprozesse erfordert eine gute Kenntnis des Produktionsgeschehens, der in ihm verborgenen Fehlerquellen und der charakteristischen Fehler mit ihren Auswirkungen. In Tafel 2.3 ist eine Klassifikation der Fehler nach verschiedenen Klassifikationsmerkmalen angegeben.

Das fehlerfreie, mit den geforderten Qualitätsmerkmalen ausgestattete Erzeugnis ist das Resultat der qualitätsgerechten Gestaltung aller Phasen des Produktionsprozesses.

Nicht wenige Qualitätsmängel haben ihren Ursprung im Stadium der Produktionsvorbereitung – in der Entwicklung und Konstruktion. Häufig werden Bauelemente in der Nähe ihrer Grenzwerte betrieben, Umwelt- und Betriebsbedingungen vernachlässigt oder, durch den Wissenstand bedingt, bestimmte Gesetzmäßigkeiten vereinfacht berücksichtigt. Dadurch hervorgerufene Fehler werden in der Regel erst durch eine längere Betriebszeit des Erzeugnisses sichtbar.

Tafel 2.3: Fehlerklassifikation

Klassifikationsmerkmal	Fehler			
Phase des Produktionsprozesses	Entwicklungs-, Konstruktionsfehler		Fertigungsfehler	Betriebsfehler
Charakter des Auftretens	systematische		zufällige	grobe
Fehlerart	Bauelementefehler	Kontaktfehler	Verbindungsfehler	Bestückungsfehler
Fehlerwirkung	Funktionsfehler		Parameterfehler	
Fehlerzahl	Einzelfehler		Mehrfachfehler	
Betriebsart des Erzeugnisses	statische Fehler		dynamische Fehler	
zeitliche Dauer der Fehlerwirkung	ständige Fehler		intermittierende Fehler	

Der Großteil der Fehler liegt jedoch in der engeren Fertigung begründet.

Selten sind *grobe Fehler*. Sie beruhen auf Unachtsamkeiten und sind im wesentlichen durch Schulung der Arbeitskräfte, eindeutige Arbeitsanweisungen und entsprechende Fertigungs- und Prüfunterlagen zu vermeiden.

Gleichfalls vermeidbar bzw. korrigierbar sind *systematische Fehler*, da sie in Betrag und Vorzeichen konstant sind bzw. sich nach ermittelbaren Gesetzmäßigkeiten ändern.

Zufällige Fehler sind nicht korrigierbar und vermeidbar, da sie in Betrag und Vorzeichen streuen. Sie stellen den Hauptteil der Fehler dar, die im Prüfprozeß nachgewiesen, lokalisiert und anschließend beseitigt werden müssen.

A 2.5. Geben Sie für die Fertigung eines ausgewählten Erzeugnisses Beispiele grober, systematischer und zufälliger Fehler an!

Die detaillierte Untersuchung der Prüfprozesse erfordert die Auffächerung und Untergliederung des technologischen Ablaufs der Fertigung elektrotechnischer/elektronischer Einrichtungen. Dies führt zu seiner Unterteilung in Grundbestandteile, die z. B. durch

- Warenübernahme, Lagerung, Verpackung, Warenübergabe, Transport,
 - mechanische Bearbeitung und Montage,
 - Modulfertigung,
 - Fertigung unbestückter Leiterplatten,
 - Bauteilvorbereitung,
 - Bestücken,
 - Kontaktieren,
 - Verdrahten
- gegeben sein können.

Die technologischen Fragen dieser Verfahrensschritte sind Gegenstand des Lehrgebietes Grundlagen der Technologie. Hier sollen lediglich die Brücke zwischen Fertigung und Fertigungskontrolle geschlagen und die prüftechnisch und prüftechnologisch relevanten Probleme erörtert werden.

A 2.6. Wiederholen Sie die technologischen Besonderheiten der genannten Fertigungsabschnitte! Arbeiten Sie mögliche Fehlerquellen heraus!

Die Verfahrensschritte, die es bis zur Fertigstellung einer elektronischen Einrichtung zu realisieren gilt, beinhalten viele Möglichkeiten der Entstehung von Fehlern, beginnend bei fehlerhaften Ausgangsmaterialien über die Verletzung von Verfahrensbedingungen und der technologischen Disziplin, die Unzulänglichkeiten der technischen Ausrüstungen bis zu den subjektiven Mängeln der Arbeitskraft. Die im jeweiligen technologischen Stadium verursachten Fehler können sich unmittelbar oder über eine Kette von *Folgefehlern* als *Funktions-* bzw. *Parameterfehler* der elektrotechnischen/elektronischen Einrichtung auswirken.

In Tafel 2.4 sind wesentliche *Fehler* technologischer Schritte zusammengestellt. Da im allgemeinen Zwischenprüfungen unumgänglich sind, wurden die Folgefehler gekennzeichnet. Sie lassen sich als

– *Leiterbildfehler* (Abhebungen von Leiterzügen u. ä.),

- **Bestückungsfehler**,
 - **Kontaktfehler** (kalte Lötstellen, Zapfen, sprödes Lot u. ä.),
 - **Verbindungsfehler** (Kurzschlüsse, Unterbrechungen, falsche Verbindung)
- klassifizieren.

Tafel 2.4: Fehlermöglichkeiten

- Leiterbildfelder** – Breite, Stärke, Abstände von Leiterzügen, Haftung usw.
- Kontaktfehler** – Sprödigkeit, mechanische Festigkeit, elektrischer Widerstand, Benetzung, Lotmenge, Zapfen, Niederschläge
- Verbindungsfehler** – Kurzschlüsse, Unterbrechungen, falsche Verbindung
- Finalfehler** – Funktionsfehler, Parameterfehler

Fertigungsschritt	Fehler	Folgefehler				
		Leiterbildfehler	Bestückungsfehler	Kontaktfehler	Verbindungsfehler	Finalfehler
1	2	3	4	5	6	7
Warenübernahme, Warenübergabe Verpackung, Transport	fehlerhafte Bauteile					x
	Verwechslungen		x			
	mechanische Beschädigungen, Deformationen	x			x	x
	Verschmutzungen	x		x		
	Überlagerung	x		x		
	Qualitätsminderung durch Umwelteinflüsse	x		x		
Leiterplatten- fertigung – mechanische Bearbeitung – thermische Behandlung	Kratzer, Risse, Abschabungen, Druckstellen	x			x	
	Delaminierungen	x				
	Folienabhebung	x			x	
	Hofbildung					x
	Grat, Ausfaserungen, Verbren- nungen, Verschmierung	x		x		
	Positionierfehler	x	x		x	
	Maß-, Formfehler	x	x		x	
	Schrumpfung, Dehnung	x	x			
	Rückstände flüssiger Reagenzien	x			x	

1	2	3	4	5	6	7
– Vorbehandlung	ungenügende Reinigung Rückstände fester und flüssiger Reinigungsmittel Gasblasen unerwünschte Reaktionen mit Basismaterialien, Markierungen, Schichten	x		x	x	
– Herstellen des Leiterbildes	fehlerhafter Ätzschutz fehlerhafter Galvanoschutz fehlerhafte Isolation fehlerhafte Metallisierung fehlerhafter Korrosionsschutz fehlerhafter Lötstopp Unterätzen Rückstände von Ätzmitteln	x x x x x x x x	x		x x x x x x x	
– Pressen	Deformationen mangelnde Polymerisation Deckungsfehler fehlerhafte Isolierschicht Lageveränderung der Leiterzüge	x x x x x	x		x x x x x	x
Bauteilevorbereitung	Verwechselungen Deformationen mechanische Beschädigungen mangelnde Kennzeichnung Verunreinigung		x x x x	x x x	x x	x
Bestücken	falsche Bauelemente falsche Orientierung fehlerhafte Fixierung mechanische Beschädigungen elektrische Beschädigungen Verunreinigung			x x x	x x x	x x x
Kontaktieren	Unterbrechungen Kurzschlüsse beschädigte Bauteile Verbrennungen Delaminierungen Abheben von Leiterzügen Qualitätsminderung der Kontaktstelle (Sprödigkeit, mangelnde Benetzung, zu wenig Lot, Niederschläge, Zapfenbildung, mechanische Festigkeit)				x x x x x x	x x x x x

1	2	3	4	5	6	7
Verdrahten	Lageveränderung				x	
	Versenken von Leiterzügen				x	x
	Kurzschlüsse				x	
	Unterbrechungen				x	
	falsche Verbindungen				x	

Mehrere Kennzeichnungen in einer Zeile bedeuten, daß sowohl der eine als auch der andere Folgefehler möglich ist. Da sie meist zu Parameter- oder Funktionsfehlern führen, wurde eine weitere Markierung unterlassen. Sie erfolgt nur, wenn sich der Primärfehler unmittelbar auf das Fertigungsergebnis auswirkt. Berücksichtigung fanden auch Fehler (Delaminierungen u. ä.), die unter Umständen erst nach längerer Zeit beim Einsatz des Erzeugnisses zu seinem Ausfall führen.

Beim aufmerksamen Studium von Tafel 2.4 wird sichtbar, daß hier sowohl Fehler des technologischen Prozesses (Abweichungen von technologischen Normativen oder Vorschriften) als auch Erzeugnisfehler erfaßt sind. Durch Steuerung der technologischen Prozesse (z. B. Temperaturregulierung, Regelung der Lotbadzusammensetzung usw.) und Anwendung von erprobten und optimierten Typentechnologien läßt sich die Erzeugnisfehlerrate senken; ausschließen lassen sich Fehler gegenwärtig nicht.

A 2.7. Analysieren Sie für die Fertigung eines ausgewählten Erzeugnisses die anfallenden Fehler und ihre Ursachen! Schlagen Sie Maßnahmen zu ihrer Vermeidung vor!

Zusammenfassung zu Abschn. 2.

Die *Prüftechnik* (*Prüftechnologie*) ist ein organischer Bestandteil des gesamten Produktionsprozesses. Es ist unzulässig, die Prüftechnik nur auf die Kontrolle gefertigter Produkte zu beschränken. Die rationelle und effektive Lösung der Aufgaben der Qualitätssicherung erfordert ein enges Zusammenwirken von Entwicklern, Konstrukteuren, Technologen, Ökonomen, Prüf- und Meßtechnikern sowie der Werk tätigen in der Fertigung.

Es wäre verfehlt, die Aufgaben der Prüftechnik/Prüftechnologie jedoch nur als naturwissenschaftlich und technisch-technologischen Aspekt der Einflußnahme und Mitwirkung bei der Produktion qualitätsgerechter Erzeugnisse zu sehen.

Die *Qualitätssicherung* ist ein planmäßig zu leitender Prozeß, der nur in der Einheit von wissenschaftsorganisatorischen, methodologischen, technisch-technologischen Fragen und gesellschaftlicher Motivation unter dem zwingenden Gesichtspunkt der Aufwandsoptimierung beherrschbar ist. Insbesondere ist die politisch-ideologische Seite der Herausbildung eines Qualitätsbewußtseins kaum zu überschätzen, wie es sich in solchen Masseninitiativen der Werk tätigen wie „Meine Hand für mein Produkt“ oder „System der fehlerfreien Arbeit“ (Saratower-System) zeigt.

3. Systematik der prüftechnologischen Vorbereitung

3.1. Überblick.

In der Vorbereitungsphase der Produktion sind Verfahren und Methoden für einen Nachweis vorhandener bzw. fehlender Qualitätsmerkmale, zur Fehlerlokalisierung und Fehlerursachenermittlung festzulegen, die dafür benötigten Prüf- und Meßmittel zu bestimmen und die Umstände und Bedingungen ihres Einsatzes im Fertigungsprozeß anzugeben (vgl. Tafel 2.2). Dabei müssen eine Vielzahl von mathematischen, logischen und nicht zuletzt auch empirischen Beziehungen sowie technische und technologische Anforderungen unter dem beherrschenden Gesichtspunkt einer Kostenoptimierung berücksichtigt werden.

Beispiel:

Schon ein Blick in die Serviceunterlagen oder die Bedienungsanleitung ist ausreichend, die große Zahl von Qualitätsmerkmalen (wenn auch nicht alle) zu erkennen. Welches sind die wichtigsten? Gibt es zwischen ihnen Abhängigkeiten? Müssen alle Merkmale überprüft werden?

Ein wesentliches Qualitätsmerkmal ist die Genauigkeit oder besser gesagt die Ungenauigkeit der Verstärkung. Sie ist *Prüfmerkmal*. Als einem Vergleich zugänglicher *Qualitätskennwert* wird der Grundfehler angegeben.

Als Grundfehler ist die Abweichung der statischen Istkennlinie von der Sollkennlinie definiert. *Prüfparameter* ist ist damit z. B. die Ausgangsspannung des Verstärkers, die sich bei vorgegebener Eingangsspannung in einem bestimmten *Toleranzintervall* bewegen darf.

Aus letzterem läßt sich die *Prüf- und Meßgenauigkeit* ableiten. Davon ist die ordnungsgemäße Eichung (Abgleich, Einmessen) des Verstärkers abhängig, aber auch die Wahrscheinlichkeit, mit der ein qualitätsgerechtes Gerät als fehlerhaft oder ein fehlerhaftes Gerät als qualitätsgerecht bezeichnet werden.

Bei der Kontrolle des Grundfehlers müssen sich mögliche Einflußgrößen im Referenzbereich befinden. Es müssen *Prüfbedingungen* eingehalten werden.

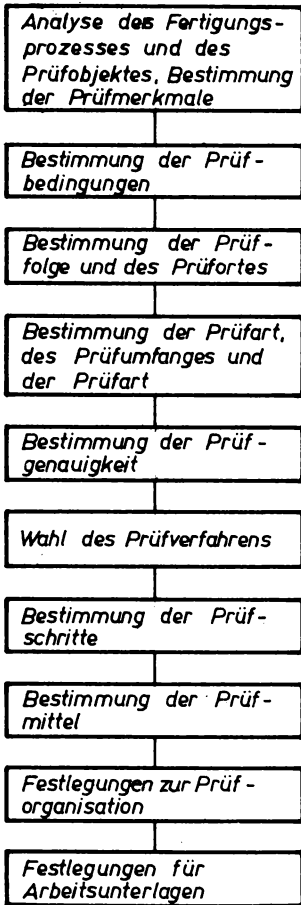
Die Kennlinie kann „Punkt für Punkt“ mit Spannungsmessern aufgenommen und der Grundfehler berechnet werden. Sie kann aber auch mit Hilfe einer zeitproportionalen Eingangsspannung und mit einem XY-Schreiber aufgezeichnet und ausgewertet werden. Welches *Prüfverfahren* ist anzuwenden?

Muß bei allen gefertigten Geräten die Grundfehlergrenze überprüft werden oder ist eine andere *Prüfart*, die Stichprobenprüfung, anwendbar? Wenn ja, wie ist die *Prüfschärfe*, die Rückweisrate, zu wählen?

Muß mit fehlerhaften Erzeugnissen gerechnet werden, treten weitere Fragen auf. Wie stabil ist der Fertigungsprozeß? Welche Fehlerquellen weist er auf? Ist es vorteilhaft und notwendig, Zwischenprüfungen vorzusehen? Welche Signale werden benötigt, um Fehler zu lokalisieren?

Mit welchen *Prüfmitteln* läßt sich der Prüfprozeß ökonomisch und rationell durchführen und wie ist er zu organisieren? Wie ist der Prüfplatz zu gestalten? Wie werden die Belange des Gesundheits- und Arbeitsschutzes gewährleistet?

Welche Arbeitsmaterialien benötigt der Prüftechniker?



Die Fülle der Fragen sowie die Menge der möglichen Antworten erfordern ein systematisches Herangehen zur Erarbeitung der Prüftechnologie. Sie zeigt aber auch die erforderliche Konkretheit und Detailkenntnis. Die folgenden Ausführungen können deshalb nur ein Leitfaden bei der Lösung wesentlicher Probleme sein, die in Form eines Programmablaufes im Bild 3.1 angeführt sind.

Bild 3.1.: Systematik der Prüftechnologie

3.2. Analyse des Fertigungsprozesses und des Prüfobjektes, Bestimmung der Prüfmerkmale

Die Wahl der *Prüfmerkmale* stützt sich auf die vorgegebenen Qualitätskennwerte.

Die *Qualität* eines Erzeugnisses als integrale Größe setzt sich aus einzelnen *Qualitätsmerkmalen* zusammen. Diese Merkmale haben eine unterschiedliche Bedeutung für den zweckgebundenen Einsatz des Erzeugnisses. Sie können gewichtet werden

- auf Grund der Kosten, die für ihre Realisierung aufgewandt werden müssen;
- auf Grund der Auswertung von individuellen Bewertungen, die von einer größeren Anzahl von Experten erhalten wurden;
- auf Grund der Wahrscheinlichkeit einer Abweichung des Qualitätskennwertes von einem Sollwert.

Wesentlich ist auch festzustellen, ob Qualitätsmerkmale voneinander unabhängig oder abhängig sind. Abhängige Qualitätsparameter sind z. B. Klirrfaktor oder Nichtlinearität der Kennlinie eines Meßverstärkers.

Oft wird ein Qualitätsmerkmal erst in Verknüpfung mit einem anderen aussagekräftig. So wird für Operationsverstärker gewöhnlich das Verstärkungs-Bandbreite-Produkt angegeben.

Das *Qualitätsmerkmal* eines Fertigungsproduktes setzt sich aus vielen *partiellen* Merkmalen zusammen, die in den verschiedenen Fertigungsstufen gebildet werden und für den Anwender des Erzeugnisses letztendlich uninteressant sind. Der Prüftechnologe schafft sich mit der Untergliederung des Fertigungsprozesses in einzelne technologische Stufen und Operationen die Möglichkeit, ihren Einfluß auf die Endqualität zu bestimmen und im weiteren aus der Menge der Qualitätsmerkmale eine Untermenge von Prüfmerkmalen auszuwählen (vgl. Bild 2.1 und Tafel 2.4). In analoger Weise erfolgt durch Untergliederung des Prüfobjektes die Ermittlung der Einflüsse auf einen Finalparameter.

Ist das mathematische Modell eines Prozesses oder Erzeugnisses durch die Gleichung

$$q = Op\{e, s\} \quad (3.1)$$

gegeben, dann läßt sich der Einfluß der beteiligten Größen über eine Taylorentwicklung bestimmen:

$$\begin{aligned} \Delta q \approx & \frac{\partial Op\{e_i, s_j\}}{\partial e_1} \Delta e_1 + \dots + \frac{\partial Op\{e_i, s_j\}}{\partial e_n} \Delta e_n + \\ & + \frac{\partial Op\{e_i, s_j\}}{\partial s_1} \Delta s_1 + \dots + \frac{\partial Op\{e_i, s_j\}}{\partial s_m} \Delta s_m \end{aligned} \quad (3.2)$$

vorausgesetzt, daß die Änderungen der jeweiligen Parameter relativ klein sind. Als kritisch im Sinne einer *Prüfnotwendigkeit*, müssen die Parameter angesehen werden, die die größte Änderung Δq bewirken. Aus der maximal zulässigen Abweichung $|q_{po} - q_{pu}| \leq \epsilon$ (Gl. (1.3)) sind dann auch die Extremwerte der Abweichungen Δs_i ersichtlich.

A 3.1. Die Verstärkung eines idealen invertierenden Operationsverstärkers errechnet sich aus $V = R_2/R_1$ (R_2 – Widerstand im Rückführzweig, R_1 – Widerstand im Eingangszweig). Bestimmen Sie den Einfluß auf die Festlegung der Verstärkung, wenn die Widerstandswerte Toleranzen aufweisen!

Die nach dieser Methode erhaltenen Werte sind im allgemeinen jedoch zu eng toleriert. Realere Angaben werden mittels statischer Analyse technologischer Prozesse erreicht [3]. Ist der analytische Zusammenhang zwischen einem Qualitätsmerkmal und dieses beeinflussender Größe nicht bekannt, so muß er experimentell ermittelt werden.

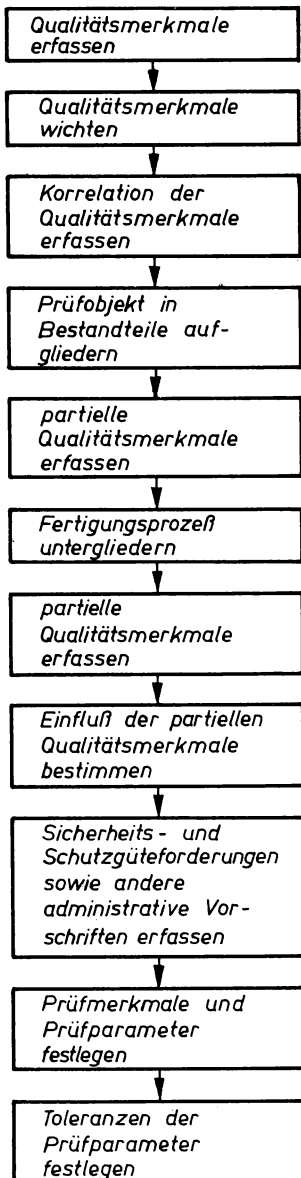


Bild 3.2.: Bestimmung der Prüfparameter

Die Prüfparameter eines Erzeugnisses müssen so gewählt werden, daß

- ihre eindeutige Verknüpfung mit Qualitätsmerkmalen gewährleistet ist bzw. partielle Qualitätsmerkmale als Voraussetzung für die Finalqualität erfaßt sind;
- im Fehlerfall eine Aussage über Ursache und Fehlerart möglich ist;
- in Abgleichprozessen ein Qualitätszuwachs indiziert wird;
- die Prüfhandlungen reproduzierbar und standardisiert sind;
- ihre Erfassung ein Minimum an Aufwand erfordert und subjektiv wenig beeinflusst wird.

Es besteht die Möglichkeit, mehrere Qualitätsmerkmale durch einen integralen Prüfparameter zu kontrollieren. Nicht ungewöhnlich ist, daß Qualitätsmerkmale und Prüfparameter unterschiedliche physikalische Größen repräsentieren. Ideal sind Prüfparameter, die digital, möglichst binär, im Sinne einer „gut – schlecht“-Aussage bewertbar sind.

Die gewählten Prüfparameter unterscheiden sich in der Regel hinsichtlich ihrer Aussagefähigkeit. Zum Beispiel wird es Parameter geben, die sofort auf die Funktionsfähigkeit des Erzeugnisses schließen lassen, während die Verletzung der Toleranzgrenzen anderer „nur“ zu einer Qualitätsminderung führt. Es ist deshalb geraten, Prüfparameter entsprechend zu ordnen und zu wichten.

Weitere Gesichtspunkte bei der Auswahl der Prüfmerkmale sind Sicherheits- und Schutzgüteanforderungen sowie andere gesetzliche oder betriebliche Vorschriften (Standards u. ä.). Typische Prüfparameter elektronischer Einrichtungen werden in [9] vorgestellt.

Die wesentlichen Etappen der Bestimmung von Prüfparametern und ihrer Toleranzen sind im Bild 3.2. gezeigt.

Die Analyse von Fertigungsprozeß und Prüfobjekt ergibt darüber hinaus weitere wesentliche Vorgaben für die Prüftechnologie:

- Die Fertigungsorganisation und Unterteilung des Produktionsprozesses zeigt die Reparaturmöglichkeiten auf, wodurch auch die Wahl des *Prüfortes* beeinflusst wird;

- Es ist festzustellen, ob durch nachfolgende Fertigungsschritte nicht Mängel vorhergehender Arbeiten verdeckt bzw. nicht mehr reparierbar werden;
- Mechanisierungs- bzw. Automatisierungsgrad der Produktion bestimmen die Stabilität und Reproduzierbarkeit der Erzeugnisparameter und beeinflussen die Wahl der *Prüfart* (*Stück-* bzw. *Stichprobenprüfung*);
- Verschiedene Fertigungsarten (Einzel-, Serien-, Massenproduktion) erfordern unterschiedlich gestaltete Prüfmittel;
- Besonderheiten der angewandten technologischen Verfahren, wie sie z. B. im Abschnitt 2. analysiert wurden, geben Aufschluß über Fehlerquellen, Fehlerart, Fehlerwahrscheinlichkeit und Häufigkeit ihres Auftretens. Eine mehr oder weniger detaillierte Fehlerklassifikation (Tafel 2.3), ausgehend von den Besonderheiten des Prüfobjektes und des bei der Produktion ähnlicher Erzeugnisse gesammelten statistischen Materials, schafft Voraussetzungen für weitere im Ablaufplan (Bild 3.1) angegebene Entscheidungen.

3.3. Bestimmung der Prüfbedingungen

Sollen Prüfhandlungen reproduzierbar sein, müssen auch Werte von Größen (*Prüfbedingungen*) festgelegt werden, die nur mittelbar bei der Bestimmung der Qualitätskennwerte eine Rolle spielen. Dies sind

- die natürliche Umwelt charakterisierende Größen (Lufttemperatur, Luftdruck, relative Luftfeuchte, elektromagnetische Felder usw.),
- die Funktion der elektronischen Einrichtung charakterisierende Größen (Arbeitspunkt, Änderungsbereich der Eingangs- und Ausgangsgrößen usw.),
- das Zusammenwirken mit anderen Einrichtungen charakterisierende Größen (Innen- und Abschlußwiderstand, induktive, kapazitive, ohmsche Last, Toleranz der Netzspannung usw.),
- den zeitlichen Ablauf der Prüfung charakterisierende Größen (Vorwärmzeit, Einschwingzeit).

Hinweise dafür gibt TGL 22500.

A 3.2. Erläutern Sie den Einfluß des Innenwiderstandes eines Prüfgerätes auf eine Strom- und Spannungsmessung!

3.4. Bestimmung der Prüffolge und des Prüfortes

Die im Abschnitt 2. gewonnenen Aussagen besagen eindeutig, daß der Nachweis vorgegebener Qualitätskennwerte bzw. die Lokalisierung und die Beseitigung von Fehlern nicht erst mit der Inbetriebnahme und Endprüfung der kompletten Einrichtung in Angriff genommen werden können. Eindeutig ist der Trend festzustellen, daß Prüfhandlungen immer stärker in die technologische Kette verlagert werden.

Da Prüfungen jedoch meist den unmittelbaren Fertigungsprozeß unterbrechen, ist es vom Aufwand her keineswegs unerheblich, wie oft und in welchem technologischen Stadium geprüft wird.

Zunächst lassen sich einige allgemeine Richtlinien zur Einordnung von *Prüfhandlungen* angeben (vgl. auch [10]):

- nach technologischen Schritten, die partielle Qualitätsmerkmale erzeugen, welche nachfolgende Merkmale bzw. das Qualitätsmerkmal des Finalerzeugnisses stark beeinflussen (vgl. Abschnitt 3.2.),
- an Bauteilen, die bei mangelnder Qualität beim Vorfertiger reklamiert bzw. für die Garantiesprüche geltend gemacht werden müssen,
- nach fehlerintensiven technologischen Schritten,
- vor aufwandsintensiven technologischen Schritten, um Verluste zu vermeiden,
- vor technologischen Schritten, die davor entstandene Mängel verdecken können,
- nach wärmeintensiven Arbeitsgängen,
- nach Arbeitsgängen, deren Prüfung spezielle Prüfeinrichtungen erfordert.

Gute Hilfe leistet bei dieser Entscheidung eine aussagekräftige Fehlerstatistik.

Im allgemeinen wird davon ausgegangen, daß es kostengünstiger ist, einen Fehler in einem möglichst frühen technologischen Stadium zu erkennen. Dies ist jedoch nicht absolut zutreffend. Einschränkungen zeigt die Überlegung auf, daß z. B. unnötiger Aufwand getrieben wird, wenn auf nicht vorhandene oder selten auftretende Fehler nach jedem technologischen Schritt geprüft wird.

Es sollten deshalb zur Entscheidung unbedingt auch

- die bei der Prüfung eines Erzeugnisses entstehenden Kosten – die *Prüfkosten* K_p ,
 - die für den Ersatz (Reparatur) fehlerhafter Erzeugnisse notwendigen Kosten – die *Ersatzkosten* K_e ,
 - die dadurch entstehenden Kosten, daß ein fehlerhaftes Element erst in einem späteren technologischen Schritt gefunden und ersetzt werden muß – die *Folgekosten* K_f
- verglichen werden.

Bei einer *Fehlerrate* p sind die zur Lokalisierung und Beseitigung eines fehlerhaften Elements erforderlichen Kosten

$$\frac{K_p}{p} + K_e .$$

Sind diese Kosten kleiner als die Folgekosten, so ist die Prüfung im gegebenen technologischen Schritt zu empfehlen. Sind sie größer, so kann im höheren Systemniveau geprüft werden, wenn nicht andere Gründe dagegen sprechen. Den Grenzfall erhält man bei Gleichheit der Kosten, woraus sich eine *kritische Fehlerrate* berechnen läßt.

$$p_k = \frac{K_p}{K_f - K_e} \quad (3.3)$$

Diese Verhältnisse veranschaulicht bei konstant angenommenen Folgekosten Bild 3.3.

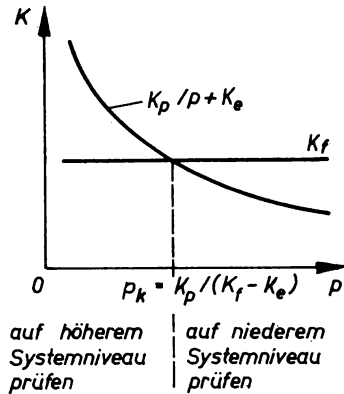
A 3.3. Nach [11] betragen die Kosten für die Ortung und Beseitigung eines Lötfehlers auf einer Leiterplatte im direkten Fertigungsprozeß etwa 2 M, im Prüffeld einer Rechnerprüfung jedoch schon 600 M. Berechnen Sie die kritische Fehlerrate, bei deren Überschreiten eine Prüfung auf dem Niveau der Leiterplatte vorzuziehen ist!

In der Praxis sind weitere Fragen wie Kapazität des Prüffeldes oder der Bedarf an Arbeitskräften, die erforderliche Qualifikation u. a. mit in Betracht zu ziehen.

Möglicherweise läßt sich dieses einfache Modell nicht in jedem Fall anwenden. Es müssen dann umfassendere Optimierungsverfahren, wie sie z. B. in [17] beschrieben werden, genutzt werden. Weitere Kostenfragen werden in [9] behandelt.

Bild 3.3.: Auswahl des Prüffortes in Abhängigkeit von den Kosten

K Prüfkosten
p Fehlerrate



3.5. Bestimmung der Prüfart, der Prüfschärfe und des Prüfumfangs

Die im Produktionsprozeß notwendig werdenden *Eingangs-, Zwischen- und Endprüfungen* lassen sich prinzipiell als 100%ige Prüfungen (*Stückprüfung*) oder *Stichprobenprüfung* gestalten. Die Entscheidung für eine der *Prüfarten* hängt von den konkreten Gegebenheiten der Produktion und des späteren Einsatzes des Erzeugnisses ab.

Da eine Stichprobenprüfung die Möglichkeit der Auslieferung defekter Erzeugnisse einschließt, müssen Endprüfungen als Stückprüfungen durchgeführt werden. Dies gilt auch dann, wenn das betreffende Erzeugnis in andere Produkte (Anlagen) eingeht und dort nochmals in Gesamtprüfungen erfaßt wird. Der durch Folgekosten, Reklamationen, Produktionsausfälle usw. entstehende Aufwand rechtfertigt diese Forderung. Dabei muß dies nicht für alle Prüfmerkmale gelten. Einige können durchaus stichprobenmäßig überwacht werden.

Unbefriedigend ist, wenn auch Zwischen- und Eingangsprüfungen als Stückprüfungen ausgeführt werden müssen, weil die Folgekosten nicht entdeckter Fehler hoch sind. Gelingt es, die Haupteinflußgrößen Mensch, Maschine, Material und Methode so zu beherrschen, daß relativ stabile und konstante Fertigungsbedingungen vorliegen, läßt sich oft eine Stichprobenprüfung vorsehen.

Eine *Wareneingangsprüfung* stellt eine Wiederholung der Endprüfung beim Hersteller durch den Abnehmer dar. Sind mit dem Zulieferer die für den Abnehmer wesentlichen Prüfparameter vertraglich gebunden, ist in Abhängigkeit von der Sicherheit der von ersterem gegebenen Garantien eine *Stichprobenprüfung* ausreichend. Sind diese Sicherheiten nicht gegeben oder besteht die Möglichkeit, daß sich Qualitätskennwerte z. B. durch Lagerungsbedingungen verändert haben, muß eine *Stückprüfung* ins Auge gefaßt werden.

Eine Entscheidung kann gegebenenfalls auf der Grundlage der kritischen Fehlerrate (Gl. (3.3)) gefällt werden. Für den Fall $p \ll p_k$ ist keine Prüfung, bei $p \approx p_k$ ist eine Stichprobenprüfung und bei $p \gg p_k$ eine Stückprüfung vorzusehen. Stichprobenprüfungen sind nach TGL 14450 oder 14452 zu gestalten, die notwendige *Prüfschärfe* und der *Prüfumfang* sind festzulegen.

Zu beachten ist, daß auch bei einer Stückprüfung keine absolute Sicherheit des Prüfergebnisses besteht. Der Prüfprozeß selbst beinhaltet Unsicherheiten wie Fehler der Prüfmittel und subjektive Fehlhandlungen der Arbeitskraft. Erzeugnisse besonderer Bedeutung werden unter Umständen wiederholter Stückprüfungen unterworfen.

3.6. Bestimmung der Prüfgenaugkeit

Ausgangspunkt für die Festlegung der Genauigkeit der einzusetzenden Prüfmittel sind die für die *Prüfparameter* ermittelten *Toleranzbereiche*. Auf Grund der begrenzten Genauigkeit der Prüfmittel sind vier Möglichkeiten im Ergebnis der Prüfung denkbar (Tafel 3.1.).

Tafel 3.1.: Entscheidungsmöglichkeiten im Ergebnis der Prüfung

Nr.	tatsächliche Lage des Qualitätskennwertes (Prüfparameter) q im Toleranzbereich	im Ergebnis der Prüfung angenommene Lage im Toleranzbereich
1	$q_u < q < q_o$	$q_u < q^* < q_o$
2	$q_u < q < q_o$	$q^* < q_u$ oder $q^* > q_u$
3	$q < q_u$ oder $q > q_o$	$q^* < q_u$ oder $q^* > q_o$
4	$q < q_u$ oder $q > q_o$	$q_u < q^* < q_o$

q^* mit begrenzter Genauigkeit ermittelter Qualitätskennwert

Im 2. Fall wird ein qualitätsgerechtes Erzeugnis als fehlerhaft und im 4. Fall ein fehlerhaftes Erzeugnis als qualitätsgerecht ausgewiesen. Solche Fehlentscheidungen lassen sich in der Praxis einschränken, wenn der *Fehler* der Prüfmittel zehnmal, in Ausnahmefällen dreimal kleiner als der Toleranzbereich ist. Bei ersterem wird die Wahrscheinlichkeit, fehlerhafte Erzeugnisse als qualitätsgerecht und qualitätsgerechte als fehlerhaft zu bezeichnen, 1 % ... 1,5 %, bei letzterem 3 % ... 4 % betragen.

Werden Gerätekombinationen benutzt, sind die mögliche *Fehlerfortpflanzung* und der entstehende *Größtfehler* zu berücksichtigen.

A 3.4. Die in einem ohmschen Widerstand umgesetzte elektrische Leistung soll mittels Strom- und Spannungsmessung mit einem Fehler $\delta \leq \pm 1 \%$ bestimmt werden. Es steht ein Strommesser mit einer Fehlerklasse 0,5 zur Verfügung. Welche Fehlerklasse darf der Spannungsmesser aufweisen?

3.7. Wahl des Prüfverfahrens

In Abhängigkeit von der Art der zu prüfenden Merkmale, ihren vorgegebenen Toleranzen, der Fertigungstechnologie und den zu erwartenden Fehlern sind die *Prüfverfahren* auszuwählen. Der Vorzug ist

- möglichst universell einsetzbaren,
- standardisierbaren,
- reproduzierbare Prüfergebnisse erzielenden,
- von subjektiven Einflüssen der Arbeitskraft möglichst freien Prüfverfahren zu geben.

Das Bestreben, diesen Anforderungen immer vollständiger zu entsprechen, die Mannigfaltigkeit der Prüfparameter und Prüfaufgaben haben zu einer kaum zu überschauenden Zahl von *zerstörenden* und *zerstörungsfreien* Prüfverfahren geführt, deren wesentliche Gruppen im Bild 3.4 erfasst sind. Als Klassifikationsmerkmal ist der Informationsträger gewählt. Nicht eingeordnet sind eine Reihe von Verfahren zur Prüfung von Abmessungen, der Masse sowie andere allgemein technische Verfahren, die z. B. Protonen- oder Elektronenstrahlen nutzen.

Zerstörende Verfahren werden noch häufig zur Prüfung von Schichtdicken, der Haftfestigkeit und Beschaffenheit galvanisch erzeugter Schichten, von Durchkontaktierungen an Leiterplatten, der Qualität von Löt- und anderen Verbindungen verwendet. Sie sind mit dem Trennen, Schleifen, Polieren, Anätzen der entsprechenden Objekte und ihrer nachfolgenden visuellen Untersuchung mit optischen Hilfsmitteln verbunden. Zur Stückprüfung von Erzeugnissen sind diese Verfahren ungeeignet.

In immer stärkerem Maße werden jedoch *zerstörungsfreie Prüfverfahren* eingesetzt.

Zur Prüfung des Leiterbildes von gedruckten Schaltungen, zum Auffinden von *Löt- und Bestückungsfehlern* finden verbreitet visuelle Prüfverfahren Anwendung. Ihr Nachteil liegt im subjektiven Einfluß des Prüfenden begründet. Es fehlt nicht an Versuchen, durch geeignete Hilfsmittel, wozu z. B. auch färbende oder luminiszierende Flüssigkeiten zählen, das Prüfergebnis zu objektivieren.

Die am universellsten einsetzbaren Verfahren sind elektrischer Art, die sowohl *Funktions-* als auch *Parameterfehler*, *statische* und *dynamische Fehler* unterschiedlichster Objekte erkennbar werden lassen. Ihre gerätetechnische Realisierung und deren Automatisierung ist weit fortgeschritten.

In letzter Zeit wird stark an der Entwicklung von Prüfverfahren unter Nutzung infraroter Strahlen gearbeitet.

Bei der Wahl des Prüfverfahrens ist es naheliegend, die zur normalen Funktion des Erzeugnisses ohnehin erforderlichen Ein- und Ausgangssignale sowie andere Signale zur Grundlage zu nehmen. Es soll jedoch noch einmal unterstrichen werden, daß Prüfverfahren auf der Basis integraler und indirekter Prüfparameter effektivere Aussagen liefern können.

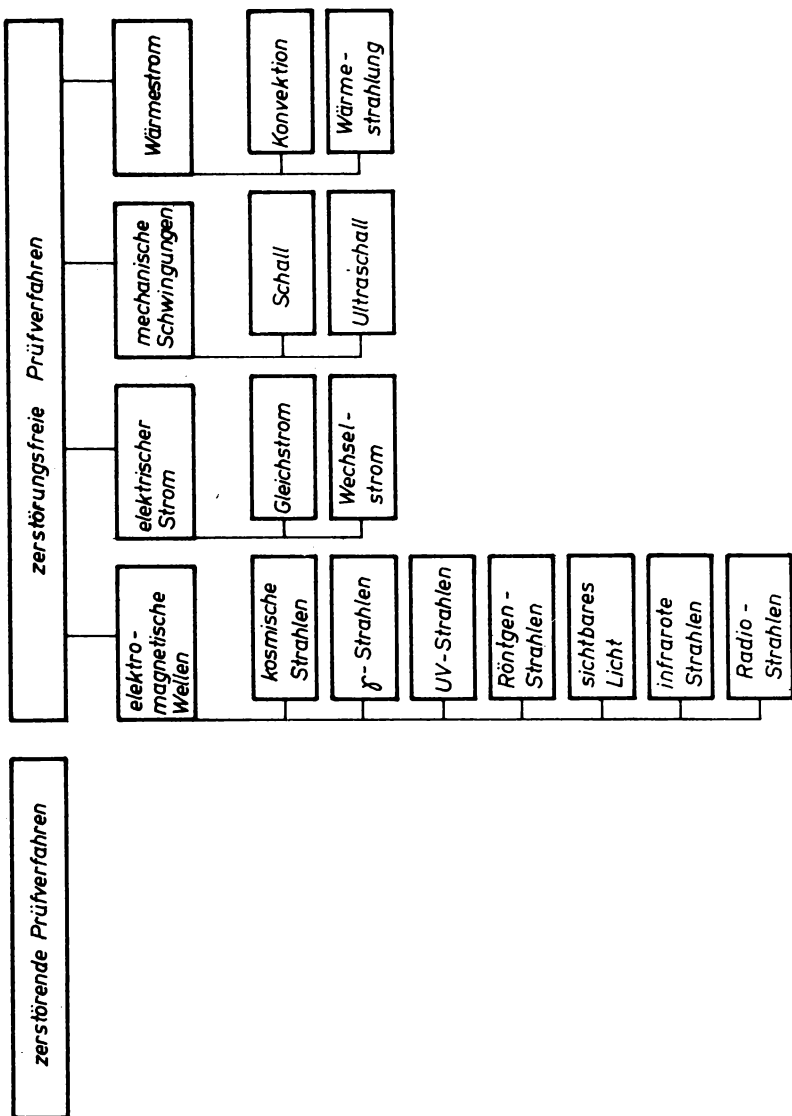


Bild 3.4.: Prüfverfahren

3.8. Bestimmung des Prüfprogramms

Mit steigendem Systemniveau der Erzeugnisse verkompliziert sich der Nachweis bestimmter Qualitätskennwerte, das Erkennen und Lokalisieren etwaiger *Fehler* – durchzuführende Prüfprozesse sind nicht mehr elementarer Art. Im allgemeinen sind eine oder wenige Prüfhandlungen (Prüfschritte) nicht hinreichend, um ein aussagefähiges Resultat zu erhalten.

Unter Anwendung des im Abschnitt 3.2. angegebenen Modells eines Prozesses oder Erzeugnisses (Gl. (3.1)) wird eine elektronische Einrichtung durch die Menge ihrer Eingangs (e_i)- und Ausgangsgrößen (a_i) sowie gegebenenfalls ihrer inneren (Speicher-) Zustände (i_i) sowie ihrer Verknüpfung charakterisiert:

$$\vec{a} = \text{Op} \left\{ \vec{e}, \vec{i} \right\} \quad (3.4)$$

Sind der Einrichtung beobachtbare Fehler f_i eigen, so wird die Ausgangsgröße einen von Gl. (3.4) verschiedenen und von f_i abhängigen Wert annehmen:

$$\vec{a}^r = \text{Op} \left\{ \vec{e}, \vec{i}, \vec{f} \right\} \quad (3.5)$$

Die Aufgabe besteht in der Regel darin, auf Grund vorgegebener Eingangssignale und ihrer Kombination, bekannter innerer Zustände und der zu beobachtenden Ausgangssignale auf vorhandene Fehler zu schließen bzw. die Fehlerfreiheit des Objektes nachzuweisen. Nicht selten ist es auch notwendig, die sich im Inneren der Einrichtung einstellenden Signale zu beobachten.

Jedes der möglichen Signale bzw. jede ihrer Kombination, die einen Fehler erkennbar oder lokalisierbar werden lassen, stellt einen potentiellen *Prüfschritt* (Test) dar. Die Gesamtheit von Prüfschritten nennt man *Prüfprogramm* (Testsatz). Hinzu kommen Steueranweisungen wie z. B. Einstellen von Meßbereichen, Pegelfestlegungen, Zuordnung von Signalleitungen und Schaltungspunkten usw.

Tafel 3.2. zeigt einen Ausschnitt aus einer möglichen Darstellungsform eines Prüfprogramms für digitale Schaltungen.

Als triviale Lösung der gestellten Aufgaben bietet sich an, die Menge aller möglichen Eingangssignale in Kombination mit der Menge der Speicherzustände zu generieren und die erhaltenen Ausgangssignale mit den aus Gl. (3.4) bestimmten Sollwerten zu vergleichen.

A 3.5. Bestimmen Sie für eine binäre Schaltung mit

a) Anzahl der Eingänge $n = 20$, der Speicherelemente $m = 0$

b) $n = 20$, $m = 20$

die erforderliche Prüfzeit für alle möglichen Belegungen, wenn ein Prüfschritt in $1 \mu\text{s}$ angelegt und ausgewertet werden kann!

Die für das Prüfen aller möglichen Testschritte erforderliche Zeit ist unverträglich hoch. In der Praxis werden jedoch weit weniger Prüfschritte benötigt. Um diese erforderlichen Prüfschritte zu bestimmen, sind Verfahren entwickelt worden, deren Grundzüge in [9] dargelegt werden.

Tafel 3.2.: Ausschnitt aus einem Prüfprogramm

	Eingänge	Speicher- zustände	Ausgänge	Fehler- hinweis
Anschlußstift, Speicherplatz	$e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_i$	$i_1 \quad i_2 \quad \dots \quad i_j$	$a_1 \quad a_2 \quad \dots \quad a_i$	
Prüfschritt 001				
009	1 0 ... 0	0 0 ... 0	0 0 ... 1	überprüfe Pos. 14
010	1 0 ... 1	1 1 ... 0	1 1 ... 1	23
011	0 0 ... 1	0 1 ... 1	0 1 ... 1	11

3.9. Bestimmung der Prüfmittel

Die angeführten Untersuchungen und Festlegungen finden ihren materiellen Niederschlag in der Auswahl, Bereitstellung und eventuellen Entwicklung von einzusetzenden *Prüfmitteln*.

Ausgangspunkt sind die Charakteristika des Fertigungsprozesses, des zu prüfenden Objektes und der Arbeitskräfte. In Tafel 3.3 sind einige Kenngrößen zusammengestellt, die aufeinander abgestimmt sein müssen. Unbedingt zu beachten sind ökonomische sowie ergonomische Gesichtspunkte wie Arbeitsplatzgestaltung, Arbeitsbedingungen, Mensch-Maschine-Beziehungen, Arbeitskräftebedarf usw.

Das Anwachsen des Prüfumfanges, die erhöhten Anforderungen an die Produktivität der Prüfmittel und an die Zuverlässigkeit der Prüfung löste das Bestreben aus, die Prüfhandlungen zu automatisieren. Von Prüfmittelproduzenten werden *Prüfautomaten* verschiedener Komplexität, einschließlich mit frei programmierbaren Digitalrechnern, angeboten. Ihr Einsatz öffnet große Möglichkeiten der Steigerung der Arbeitsproduktivität, ist aber auch mit subjektiven und objektiven Problemen verbunden. Nachteilig sind heute noch die hohen Investitionskosten, der große Aufwand zur Einsatzvorbereitung und in der Unterhaltung, ungenügendes Software-Angebot und der große Aufwand bei der Erstellung der Prüfprogramme. Nur Groß- oder Zentralproduzenten können sie wirtschaftlich voll auslasten. Die Wirtschaftlichkeit solcher Automaten hängt stark von ihrer Universalität und Flexibilität ab und ist bei einer Jahresproduktion von einigen zehntausend bis hunderttausend Erzeugnissen gegeben.

Tafel 3.3: Anzunpassende Kenngrößen von Fertigungsprozess, Prüfobjekt und Prüfmittel

Fertigungsprozess	Prüfobjekt	Prüfmittel
Fertigungsprozess-phase		Art des Prüfmittels (Labor-, Fertigungsprüfmittel)
Fertigungsprogramm (Typenvielfalt)	Prüfparametervielfalt	Universalität, Flexibilität, Komplexität
Fertigungsaufwand		Prüfaufwand
Automatisierungsgrad		Automatisierungsgrad
Fertigungsunsicherheit	Prüfparameter-toleranzen	Fehlerklasse (Grundfehler)
Fertigungsbedingungen	Einsatzbedingungen, Prüfbedingungen	Zusatzfehler
Stückzahl/Zeiteinheit	Anzahl der Prüfparameter, Länge des Prüfprogramms	Prüfgeschwindigkeit
Art des Qualitäts- oder Prüfmerkmals	Art des Qualitäts- oder Prüfmerkmals	Prüf-, Meßgröße
Qualitätskennwert, Nennwert des Prüfparameters	Qualitätskennwert, Nennwert des Prüfparameters	Anwendungsbereich

In vielen Bereichen der Volkswirtschaft wird jedoch auf Grund der Vielfalt der Prüfangaben, geringer Produktionszahlen und breiter Nomenklatur der Erzeugnisse ein entsprechendes Sortiment aufwandsgünstiger, leicht zu handhabender, kombinierfähiger, auf- und abrüstbarer Prüfmittel benötigt. Dabei ist gewöhnlich ein Kompromiß zwischen einer gewissen Universalität (typengebunden) und Spezialisierung (erzeugnisgebunden) der Prüfmittel einzugehen. Die Schaffung solcher an gemeinsamen Prüfparametern der Erzeugnisse orientierten Prüfmittelgruppen ist im allgemeinen dem jeweiligen Betrieb selbst überlassen – eine Aufgabe für den Rationalisierungsmittelbau.

Die Auswahl der Prüfmittel wird wesentlich erleichtert, wenn sich der Prüftechnologe auf einen Prüfmittelkatalog stützen kann, der neben Angaben schon erwähnter Gerätekenngrößen auch die etwaigen Kosten einer Prüfoperation und die vorzusehende Qualifikation der Arbeitskraft aufweist.

3.10. Prüforganisation

Neben den aufgeführten sind eine Reihe weiterer Entscheidungen und Festlegungen zu treffen, die als *Prüforganisation* verstanden werden können. Sie hat zunächst die Frage nach der räumlichen, zeitlichen und personellen Ein- und Zuordnung der Prüfprozesse sowie nach den erforderlichen Kapazitäten zu beantworten.

In vieler Hinsicht ist es psychologisch und ökonomisch vorteilhaft, den Produktionsarbeiter mit der Prüfung seiner Arbeitsergebnisse zu betrauen und somit Fertigungs- und Prüfoperationen zu kombinieren. Das setzt eine fertigungstechnische Realisierungsmöglichkeit voraus, wobei auch das erforderliche Qualifikationsniveau eine Rolle spielt. In der Fertigung elektrotechnischer/elektronischer Einrichtungen überwiegen Lösungen, die spezielle *Prüf- und Reparaturplätze* oder *Prüffelder* im Sinne der TGL 200–0644 vorsehen.

Damit steht auch die zeitliche Trennung von Fertigungs- und Prüfprozessen in Zusammenhang. Gebräuchlich ist die Zusammenstellung von Fertigungslosen oder auch Serien, insbesondere wenn der Prüfprozeß eine höhere Arbeitsproduktivität aufweist als davor liegende Fertigungsschritte.

Verbreiteter ist allerdings das Problem, mehr Prüf- und Reparaturplätze als Fertigungsplätze vorsehen zu müssen.

Bestimmende Ausgangsgrößen für die Anzahl der erforderlichen Prüfplätze sind

- die mittlere für eine Prüfhandlung und ein Erzeugnis erforderliche Zeit t_p ,
 - die mittlere für eine Prüfhandlung zulässige Zeit t_z , um die Kontinuität des Fertigungsablaufes nicht zu stören,
- oder
- die mittlere Anzahl der pro Zeiteinheit zu prüfenden Erzeugnisse n ,
 - die mittlere Anzahl der pro Zeiteinheit an einem Prüfplatz prüfbaren Erzeugnisse m .

Daraus resultiert die Anzahl der einzurichtenden Prüfplätze

$$k = \frac{t_p}{t_z} = \frac{n}{m} . \quad (3.6)$$

Die Struktur der *Prüfzeit* t_p ist im Bild 3.5 gezeigt. Sie setzt sich aus der Vorbereitungs- und Abschlußzeit t_v (auch mit Rüstzeit, Hilfszeit bezeichnet) und der *Prüfzeit* im engeren Sinne t_{p} zusammen. Zur Vorbereitungszeit werden das Kontaktieren, Vorwärmzeiten des Prüfobjektes, Abklingen von Übergangsprozessen u. ä. gezählt. Die Prüfzeit im engeren Sinne setzt sich aus der Zeit für den Nachweis des geforderten Prüfparameters bzw. für die Fehlererkennung t_E und aus der Zeit für die Fehlerlokalisierung t_L zusammen, wobei man bei beiden durch die Prüfmittel bestimmte Zeiten t_{EG} , t_{LG} und zur Auswertung und Entscheidungsfindung notwendige Zeiten t_{EA} , t_{LA} unterscheidet.

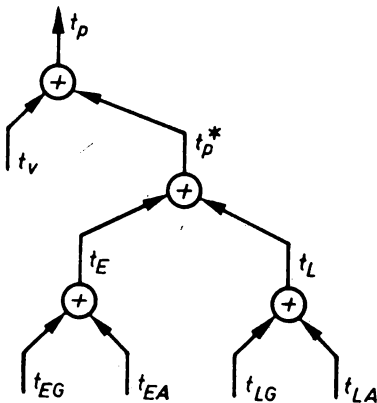


Bild 3.5: Struktur der Prüfzeit

Es ist ersichtlich, daß selbst bei vollständig automatisierten Prüfprozessen die Prüfzeit t_p nicht determiniert, d. h. nicht exakt im voraus angebar ist, da zumindest die Zeiten zur Fehlerlokalisierung von der Anzahl der Fehler abhängen und damit zufälligen Charakter tragen. Hinzu kommt, daß die zur Prüfung vorgesehenen Erzeugnisse gewöhnlich nicht zu vorbestimmten Zeiten am Prüfplatz eintreffen. Es bilden sich Warteschlangen von zu prüfenden Erzeugnissen. Um die Kontinuität der Prüfarbeitsgänge zu sichern, müssen Pufferlager eingerichtet werden. Die nach Gl. (3.6) bestimmte Zahl der Prüfplätze ist nicht ausreichend und muß erhöht werden.

Die starke Streuung der Prüfzeiten erlaubt für viele Prüfhandlungen keine exakten Vorgaben von Normzeiten – ein Fakt, der die Planung der Prüfprozesse erschwert. Charakteristisch ist weiterhin, daß sich eine zeitliche Veränderung infolge wachsender Erfahrung im Produktionsprozeß, besserer Beherrschung der Verfahren usw. ergibt. Einem großen Prüfaufwand bei Produktionsaufnahme eines Erzeugnisses steht ein geringerer nach der sogenannten Einlaufzeit gegenüber.

In engem Zusammenhang mit der Frage nach den Prüfkapazitäten steht der Arbeitskräftebedarf, das Qualifikationsniveau und die Organisationsform des prüftechnischen Personals.

Die eingesetzten Prüf- und Meßmittel unterliegen natürlicherweise auch Verschleiß- und Alterserscheinungen. Zur Sicherung der Einheitlichkeit und Richtigkeit der Prüfungen und Messungen sind deshalb organisatorische Festlegungen für ihre periodische Überprüfung, Kalibrierung oder Eichung erforderlich.

Die Erfassung, Weitergabe und statistische Auswertung aller über den Qualitätszustand eines Erzeugnisses aussagefähigen Daten und eine entsprechende Rückwirkung auf den Fertigungsprozeß erfordern eine sorgfältige Organisation. *Prüfprotokolle* müssen Hinweise über die festgestellten Fehler, ihre Ursachen, den möglichen Verursacher enthalten. Ein Beispiel einer Erfassungskarte ist in Tafel 3.4 gezeigt.

Ist auf diese Weise die qualitätsgerechte Erfüllung bestimmter Arbeitsgänge für einzelne Werkstücke oder auch Kollektive nachweisbar, können materielle und moralische Stimuli, qualitätsabhängige Entlohnung, Prämien, persönliches Qualitätskennzeichen u. ä., ganz auf die Entfaltung ihrer schöpferischen Initiativen gerichtet werden.

Große Bedeutung hat die kontinuierliche Qualifizierung und Schulung der Werk tätigen, insbesondere bei Einführung neuer Verfahren, Methoden oder Arbeitsmittel.

Abschließend sei auf den Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutz als nicht nur formale Aufgabenstellung verwiesen, sind doch Werk tätige an Prüfplätzen gewöhnlich höheren Gefährdungen ausgesetzt als an anderen Arbeitsplätzen.

Tafel 3.4: Ausfallkarte zur Datenerfassung für die Qualitätskontrolle (Vorder- und Rückseite) /18/

1 Ausfallkarte für Geräte 39 (UKM)															
2	Baugruppe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3 Kostenstelle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4 Prüfdatum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Prüfung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6 Prod.-Datum	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7 Prüfer:		
8 Fehler: _____ _____															
9 Bemerkungen: _____ _____															

10 Bestückungsfehler															
01.1 Fehlpositionierung	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	14 falscher Wert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.2 Anschluß nicht durchgeführt	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
10.3 Bauelement fehlt	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	15 fehlerhafte Baugr.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10.4 Anschluß falsch gebogen	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16 Codierung der BE - Arten 01 Widerstand W 02 Kondensator C 03 Transistor Ts 04 Spule Sp 05 Trafo Tr 06 Modulator Md 07 Filter Bp 08 Gleichrichter Gr 09 integr. Schalteinheit A 10 sonstige BE									
10.5 Bauelement verpolt	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
11. Bauelementefehler															
11.1 elektrisch	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
11.2 mechanisch	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
12 Lötfehler															
12.1 Schluß zw. Leiterzügen	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
12.2 schlechte Lötstelle	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
13 sonstige Fehler															
13.1 Meßplatzfehler	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
13.2 Nachgleich	2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
13.3 Verdrahtungsfehler	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
13.4 übrige sonstige Fehler	4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
						17 Bauelement <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>									
						18 Ausfallbearbeiter:									

3.11. Arbeitsunterlagen für den Prüftechnologen und für die Ausführung von Prüfarbeitsgängen

Bei der Gestaltung der Qualitätssicherung, der Prüftechnologie und daraus abgeleiteter Vorschriften und Anweisungen sind sowohl

- gesamtwirtschaftliche Aspekte, durch Gesetz, Verordnung oder Anordnung der Deutschen Demokratischen Republik oder in Grundlagenstandards verbindlich fixiert,
- über den nationalen Rahmen hinausgehende, insbesondere in den RGW-Standards präzisierende Verpflichtungen (vgl. [12]),
- für den Fachbereich, die VVB, das Kombinat, den Betrieb gültige Standards oder Festlegungen,
- für die Erzeugnisgruppe, den Erzeugnistyp, das konkrete Erzeugnis oder Verfahren zutreffende Standards, Festlegungen oder andere Angaben

zu berücksichtigen (Bild 3.6).

In der **Anlage** ist eine Auswahl der wesentlichsten Vorschriften angegeben.

Mit der „Verordnung über den Standard des RGW“ von 1974 (s. [12]), einem Ausdruck der wachsenden ökonomischen Integration der sozialistischen Länder, sind auch von nichtexportierenden Betrieben und Institutionen übernationale Festlegungen bei der Gestaltung des Produktionsprozesses zu beachten.

Die Gesetzgebung von Export- und Importländern stimmt selten mit der nationalen überein; in Kooperations-, Export- und Importverträgen können erweiterte oder eingeschränkte Qualitätsfestlegungen enthalten sein.

Die gestiegenen Forderungen an Qualitätserzeugnisse machen es erforderlich, Weltstandsvergleiche, wenn auch nicht im Sinne von Vorschriften, in alle Überlegungen einzubeziehen.

In den einzelnen Bereichen der Volkswirtschaft (Ministerien, VVB, Kombinate, Betriebe) haben sich Richtlinien für die Entwicklung, Konstruktion, Fertigungs- und Prüftechnologien durchgesetzt. Auf Grund verallgemeinernder Analysen konkretisieren sie die gesetzlichen Bestimmungen, grenzen Verantwortlichkeits- und Geltungsbereiche ab, vereinheitlichen Entscheidungsgrundlagen, regeln prinzipielle Vorgehensweisen zur Entscheidungsfindung, treffen Festlegungen zur anzuwendenden technologischen Dokumentation usw.

Da jeder technologische Prozeß Besonderheiten aufweist, ist es vorteilhaft, diese Richtlinien in einem Zwischenstadium zunächst in *Rahmenprüfvorschriften* für Prüfaufgaben mit typisierbarem Inhalt umzusetzen. Diese Typisierung kann in Hinsicht auf

- einheitliche oder ähnliche Fertigungsverfahren,
- einheitliche oder ähnliche Erzeugnisgenerationen, -gruppen oder Erzeugnisse,
- einheitliche Qualitätsmerkmale bzw. Prüfparameter

erfolgen. Weitere Gesichtspunkte sind vorhandene oder zu vereinheitlichende Prüfmittelsysteme, Adaptionsprinzipien, zu verallgemeinernde Bestlösungen.

Das Vorhandensein einer Rahmenprüfvorschrift erlaubt, schon mit Beginn der Entwicklung und parallel zu ihr die konkreten Festlegungen der Prüftechnologie weitestgehend vorzubereiten.

A 3.6. Stellen Sie Angaben zusammen, die eine Rahmenprüfvorschrift enthalten sollte!

Unter Einbeziehung detaillierter erzeugnispezifischer, fertigungs- und prüftechnologischer Unterlagen können dann die Arbeitsunterlagen für die Ausführung der Prüfarbeitsgänge erstellt werden. Von der Spezifik der Produktion (Einzel-, Klein-, Mittel-, Großserien-, Massenfertigung) hängt es

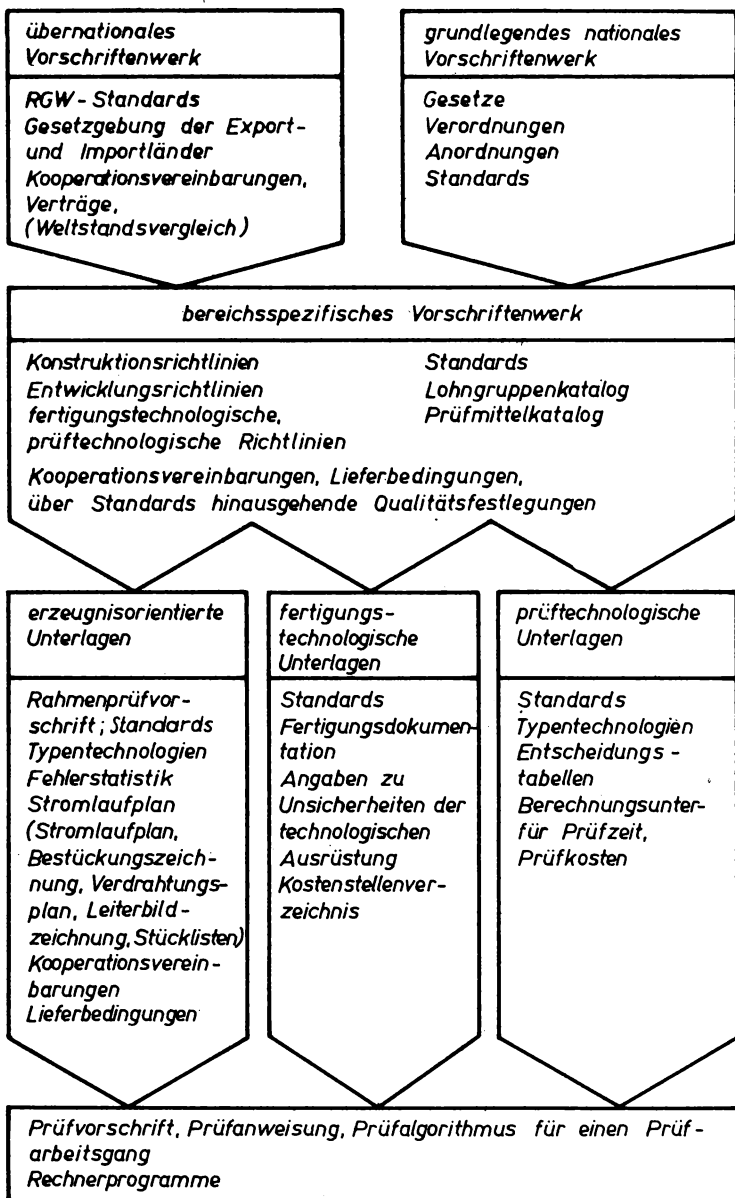


Bild 3.6: Arbeitsunterlagen für den Prüftechnologen

ab, ob die prüftechnologischen Festlegungen in die die Fertigung begleitende Arbeitsplanstammkarten usw. aufgenommen oder ob Prüfvorschriften und bei komplizierten Prüfarbeitsgängen Prüfalgorithmen in Anwendung kommen.

Zusammenfassung zu Abschn. 3.

Die prüftechnologische Vorbereitung ist Bestandteil der Gesamttechnologie. Sie verbessert selbst nicht die Qualität der Erzeugnisse, sondern hat die Aufgabe, Maßnahmen zur Sicherung und Beurteilung der Qualitätsmerkmale zu konzipieren. Das erfordert genaue Kenntnisse über gesellschaftliche, ökonomische, technologische und organisatorische Beziehungen im Produktionsprozess. Die optimale Lösung der Aufgaben schließt intuitive Entscheidungen aus; es gilt, systematisch und sachgerecht auf wissenschaftlicher Grundlage objektive Entscheidungskriterien zu beachten. Aufwand und Nutzen sind sorgfältig in jede Überlegung einzubeziehen.

- A 3.7. Welche Probleme sind bei der Wahl der Prüfparameter zu beachten?
- A 3.8. Unter welchen Fertigungsbedingungen ist eine Stückprüfung und wann eine Strichprobenprüfung vorzusehen?
- A 3.9. Welche Anforderungen sind bei der Wahl von Prüfverfahren zu beachten?
- A 3.10. Was ist unter einem Prüfprogramm zu verstehen? Welche Angaben enthält es?
- A 3.11. Analysieren Sie die Prüforganisation eines ausgewählten Fertigungsabschnittes und geben Sie Schlußfolgerungen an!
- A 3.12. Informieren Sie sich über gebräuchliche Fertigungsunterlagen und die darin enthaltenen Prüfanweisungen für ein ausgewähltes Erzeugnis!

4. Ergonomische Aspekte der Prüftechnik

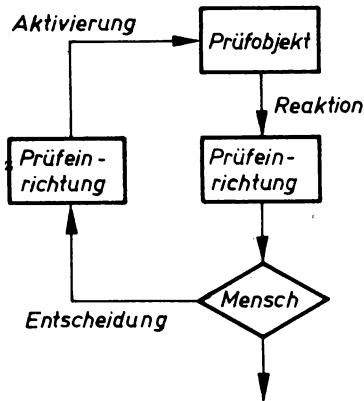


Bild 4.1.: Prüfstruktur

Prüfprozesse laufen in einer typischen *Mensch-Maschine-Wechselwirkung* (Bild 4.1) ab. Der Mensch aktiviert mittels der Prüfeinrichtung zunächst das Prüfobjekt. Damit wird eine Reaktion auf das Anregungssignal bewirkt. Die Prüfeinrichtung stellt diese Reaktion in einer dem Menschen zugänglichen Weise dar. Daraufhin hat dieser Entscheidungen zu treffen, die zu einer erneuten Einwirkung auf das Objekt bzw. zu dessen „gut – schlecht“-Klassifizierung führen.

Die Effektivität dieser *Mensch-Maschine-Wechselwirkung* hängt von Faktoren ab, die sowohl das System im gesamten als auch seine Elemente im einzelnen charakterisieren. In Anlehnung an [13] sind im Bild 4.2 diese Faktoren und Tätigkeitsmerkmale des Menschen gezeigt.

Die erste Etappe der Tätigkeit des Menschen beginnt mit der Wahrnehmung von Signalen, die ihm das Prüfobjekt bzw. die Prüfeinrichtung anbietet. Aus einer Menge von Signalen sind die wesentlichen auszuwählen und vom störenden Hintergrund, dem Rauschen, abzuheben. Möglicherweise sind die Nutzsignale zu dekodieren. Die wahrgenommene Information und die entstandene Situation werden analysiert, verallgemeinert – bewertet und zwar um so besser, je gefestigter die Modellvorstellungen des Menschen sind.

Die bewertete Information, mit Hilfe des konzeptionalen Modells verarbeitet, ist Grundlage für zu treffende Entscheidungen. Dieser Prozeß beinhaltet das Abwägen verschiedener Möglichkeiten und Varianten, wobei Entscheidungshilfen in Anwendung kommen können.

In der letzten Etappe des Zyklus wird die Entscheidung in eine Handlung umgesetzt, die einen neuen Zyklus einleitet bzw. den Prüfprozeß abschließt.

A 4.1. Analysieren Sie für eine ausgewählte Prüfaufgabe den Einfluß der im Bild 4.2 aufgeführten Faktoren!

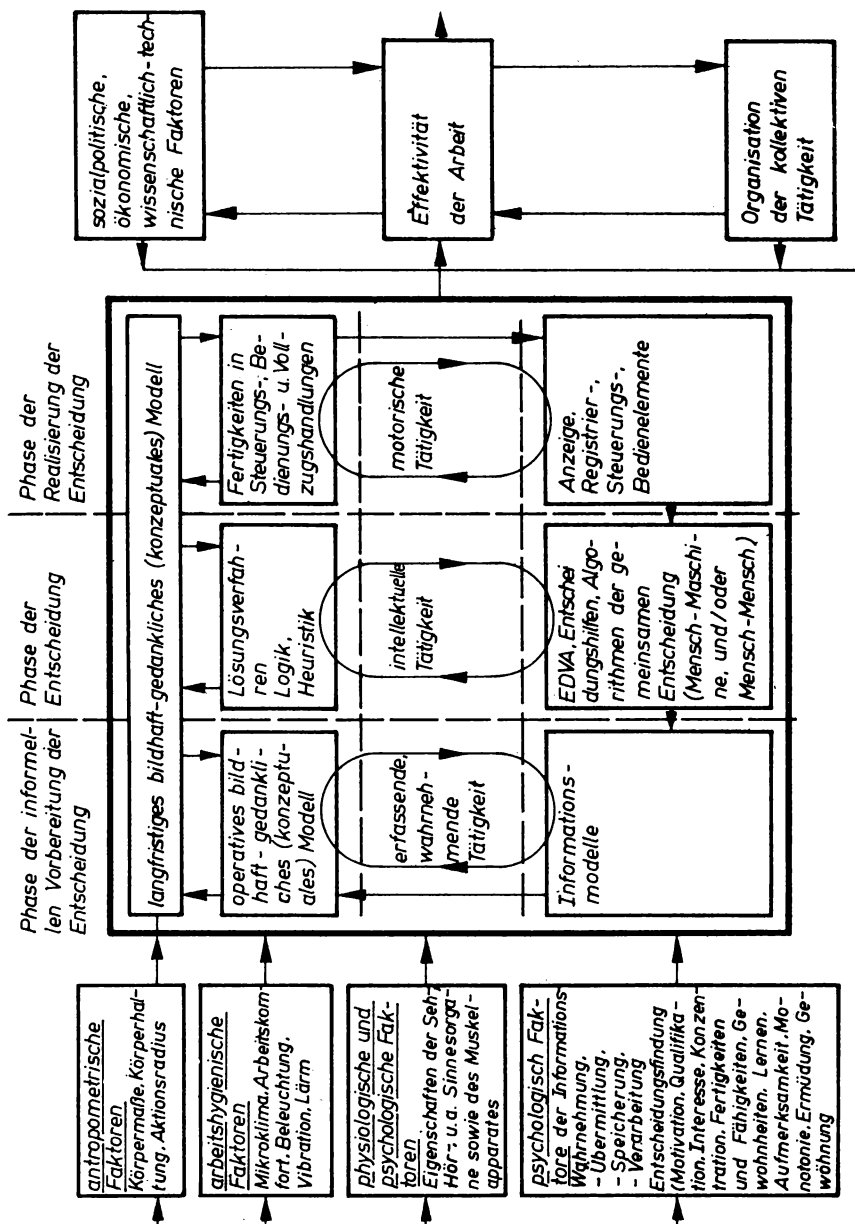

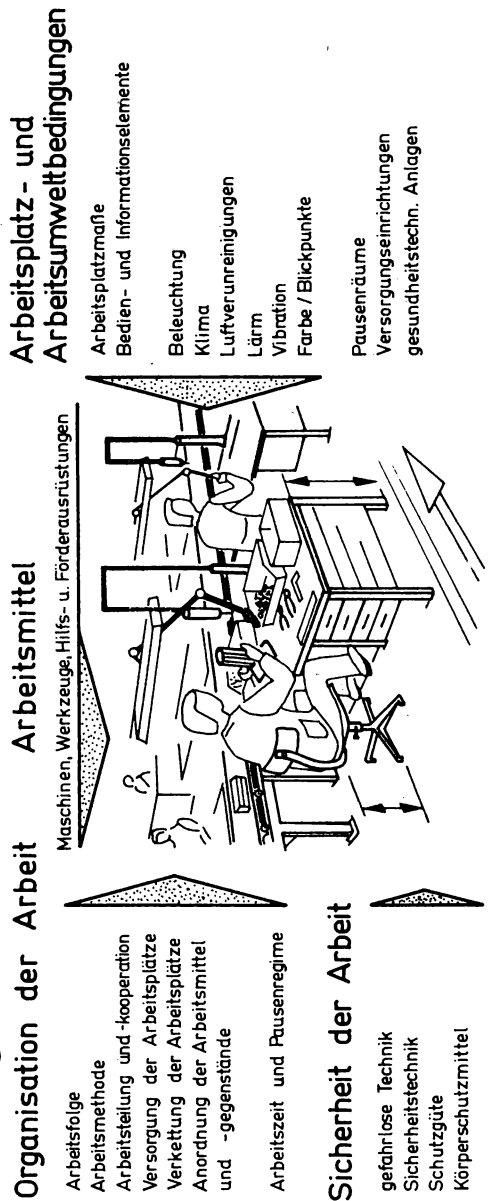


Bild 4.2: Tätigkeitsmerkmale und -mittel eines Werktätigen (stark umrandet) und Faktoren der Effektivität seiner Arbeit

 ZENTRALES FORSCHUNGsinstitut FÜR ARBEIT DRESDEN	Anleitung zur Durchsetzung der Wissenschaftlichen Arbeitsorganisation	BEST.-NR. 0801	Arbeitsgestaltung BEARB.: Dr.-Ing. P. Storm
---	--	---------------------------	---

Wirkungsbereiche der Arbeitsgestaltung



Formen komplexer Gestaltungs-

aufgaben :

lösungen :

Anforderungsbilder

an Arbeitsmittel, Arbeitsplätze u. kompl. Produktionsanlagen

Typenlösungen der WAO

für Arbeitsplätze und Produktionsabschnitte

Bild 4.3: Wirkungsbereiche der Arbeitsgestaltung

Ziel muß es sein, unter Beachtung der Einflußfaktoren optimale Methoden und Mittel zur Anpassung der menschlichen Tätigkeit und der Arbeit der technischen Einrichtungen sowie der anderen Systemelemente zu gewährleisten, d. h.:

- Mensch und Prüfaufgabe,
- Mensch und Prüfmittel,
- Mensch und Prüfobjekt,
- Mensch und Umwelt,
- Mensch und Arbeitsorganisation.

Dies muß sich unter Beachtung technologischer, ökonomischer, soziologischer, pädagogischer und rechtlicher Restriktionen in konstruktiven und technologischen sowie organisatorischen Maßnahmen der Arbeitsgestaltung niederschlagen (Bild 4.3).

A 4.2. Gehen Sie Wirkungsbereiche der Arbeitsgestaltung für Prüfprozesse an!

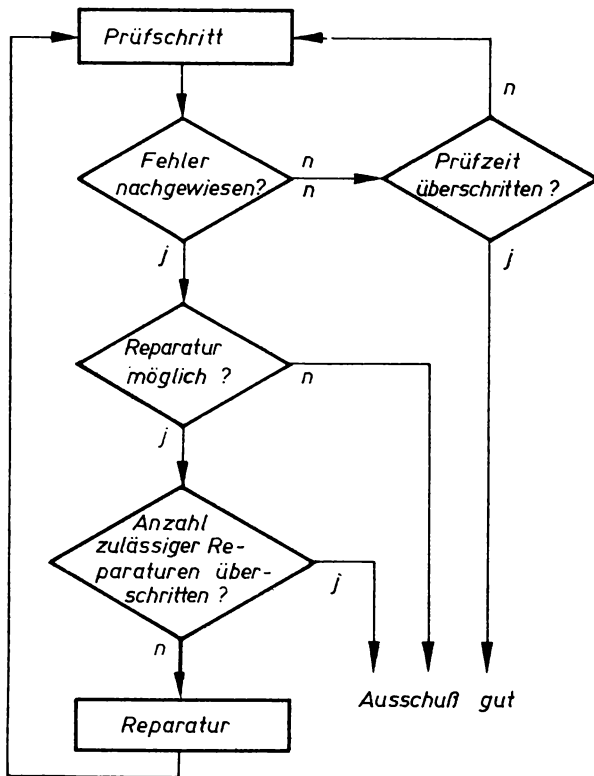


Bild 4.4: Tätigkeitsfolge manueller Prüfhandlungen

Im weiteren sollen einige *ergonomische Aspekte* von Prüfprozessen erläutert werden.

Der in Prüfprozessen eingesetzte Werkträger hat im allgemeinen folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Prüfung nach vorgegebenem Programm,
- operative Prüfhandlungen,
- Abgleichhandlungen
- Reparatur.

Nur in den wenigsten Fällen gelingt es, eine *Prüfung* so zu konzipieren, daß die Erkennung aller *möglichen Fehler* und die *Lokalisierung des Fehlerortes* mit *maximaler Objektivität*, nach *streng vorgegebenem Programm*, mit minimalem Entscheidungsspielraum für den Werkträger erfolgt.

Abgesehen von der Prüfung weniger in Massenproduktion erzeugter Produkte (Bauelemente, Konsumgüter) erfordern in der vorherrschenden Klein- und Mittelserienenfertigung manuelle, mechanisierte und teilautomatisierte Prüfprozesse das unmittelbare operative Eingreifen des Werkträgers mit erhöhter intellektueller Komponente.

Bild 4.4 zeigt die allgemeine Tätigkeitsfolge für *manuelle*, insbesondere für *visuelle Prüfhandlungen* (Prüfen des Leiterbildes, Bestückungsprüfung, Lötprüfung u. a.).

Der Zyklus wird solange durchlaufen, bis alle Fehler erfaßt sind bzw. eine Entscheidung über den Abbruch der Prüfung getroffen wird. Die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden eines *Fehlers* hängt etwa exponential von der Suchzeit ab (Bild 4.5):

$$p = 1 - e^{-at} \quad (4.1)$$

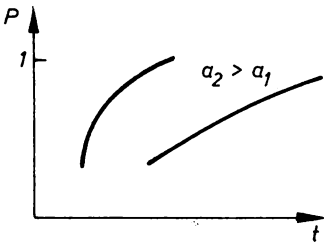


Bild 4.5:
Wahrscheinlichkeit der Fehlererkennung
in Abhängigkeit von der Suchzeit

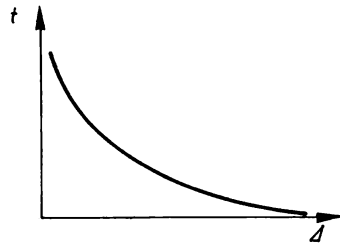


Bild 4.6:
Abhängigkeit der Entscheidungszeit vom
Grad der Abweichung des Prüfparameters

Der Parameter *a* charakterisiert u. a. den Grad der Abweichung des Prüfparameters vom zugelassenen Sollzustand (die Unterscheidbarkeit von fehlerhaftem und qualitätsgerechtem Zustand), bei Leiterbildprüfungen z. B. den Kontrast einer Rißbildungsstelle und des umliegenden Leiterzuges.

Für die Entscheidung, ob der Wert des Prüfparameters in das Toleranzintervall fällt oder nicht, wird eine Zeit benötigt, die wieder abhängig vom Grad seiner Abweichung ist (Bild 4.6).

Schlussfolgernd sind durch entsprechende technische Mittel die Fehlersignale zu verstärken. Letzteres steht auch in Übereinstimmung mit der gesicherten Erkenntnis, daß die Reaktionszeit des Menschen von der Intensität des wahrzunehmenden Signals abhängt. Rißbildungen können z. B. durch Kontrastmittel hervorgehoben werden. Beim Wechselbildverfahren hebt sich das fehlerhafte Objekt durch Flimmern von seiner Umgebung ab.

Weitere Einflußgrößen auf die Wahrscheinlichkeit der Fehlererkennung und die Suchzeit sind

- Anzahl der gesuchten Fehlerarten (z. B. Bestückungsfehler, Leiterzugunterbrechung, Kurzschluß usw.),
- Anzahl der in Betracht zu ziehenden Sollgrößen,
- Struktur des Prüfobjektes (gibt es Orientierungshilfen für eine geometrische Untergliederung),
- Komplexität des Prüfobjektes.

In vielen Prüfprozessen ist es notwendig, die Reaktionszeit des Menschen auf ein angebotenes Signal zu berücksichtigen; sei es, um die Anregungssignale bei Fehlern des Prüfobjektes abzuschalten, Prüfmittel in einen anderen Betriebszustand zu versetzen oder bestimmte Taktzeiten zu realisieren.

Zwei Zeitintervalle sind wesentlich [14]:

T Zeit zwischen dem Anlegen des Anregungssignals und der Beschädigung des Prüfobjektes bzw. Prüfmittels auf Grund eines Fehlers

T_0 Zeit für die vollständige Realisierung eines Zyklus nach Bild 4.1.

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \quad (4.2)$$

t_1 Verzögerungszeit der Prüfmittel,

t_2 Zeit zur Wahrnehmung des Signals,

t_3 Zeit für Entscheidung,

t_4 Zeit für motorische Handlungen.

Eine eingeplante Reservezeit t_r schafft zusätzliche Sicherheiten:

$$t_r = T - T_0 \quad (4.3)$$

Das Zeitintervall t_2 wird bestimmt durch das angesprochene Sinnesorgan (die Reaktionszeit auf ein akustisches Signal mittlerer Intensität beträgt im Mittel 150 ms, die auf ein visuelles Signal 180 ms) sowie die Intensität des Signals (Bild 4.7), die Signalüberhöhung gegenüber dem Rauschen u. a. Kürzere Reaktionszeiten werden beim Verschwinden des Signals als bei seinem Erscheinen erzielt.

Die für die Entscheidung benötigte Zeit wird beeinflusst durch die Anzahl der Entscheidungsmöglichkeiten N und wird nach Literaturangaben durch

$$t_3 = \lg N \quad (4.4)$$

abgeschätzt. N ist deshalb zu minimieren.

Die Zeit für motorische Handlungen hängt von der Kompliziertheit derselben ab; für das Umlegen eines Schalters werden z. B. 100 ... 200 ms benötigt.

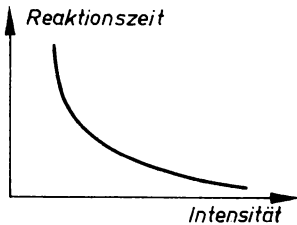


Bild 4.7: Abhängigkeit der Reaktionszeit von der Signalintensität

Viele Operationen des Menschen im Prüfprozess sind durch die Aufnahme visueller Informationen und entsprechende Bedienungsfunktionen gekennzeichnet. Deshalb bedarf die den sensorischen und motorischen Besonderheiten des Menschen angepaßte Gestaltung von Anzeige- und Bedieneinrichtungen besondere Aufmerksamkeit.

Faktoren, die *Anzeigeelemente* charakterisieren, sind u. a.:

- Informationsdarstellung (analog, digital, codiert),
- Verständlichkeit der Informationsdarstellung,
- Lage, Abmessung, Anordnung,
- Trägheit und Stabilität der Darstellung,
- Skalengestaltung.

Faktoren, die *Bedienungselemente* charakterisieren, sind u. a.:

- Lage, Abmessung, Anordnung,
- Übereinstimmung von Bedienungseinrichtung und Änderungsrichtung der beeinflussten Größe,
- Kraftaufwand, Einstellgenauigkeit,
- Unterscheidbarkeit.

Die Beachtung dieser und anderer Faktoren erlaubt, die Beanspruchung des Werktätigen durch Wahrnehmungs- und Bedienungsfunktionen zu senken.

Zur Zeit sind in der Prüftechnik Leuchtanzeigen (Glühlämpchen, Leuchtdioden), Skalanzeigen (analog, digital), elektro-mechanische oder elektronische Aufzeichnung üblich. Stärker führen sich integrale Anzeigen, die die kompakte Erfassung mehrerer Signale erlauben, ein. In Verbindung mit dem Einsatz von Mikro- und Kleinrechnern erhält der Mensch die Information über Schreibmaschinen- oder Druckerauszug bzw. über eine Bildschirmeinheit.

Wesentliche *Bedienfunktionen* bestehen im Programmieren der Prüfmittel über Steckelemente (Kreuzschienenverteiler) oder Tastenfeld. Vorteilhaft ist die Verwendung von beleuchteten Tasten, um gleichzeitig eine Anzeige des gewählten Zustandes zu ermöglichen und Fehlhandlungen zu begegnen. Als Einstellregler setzen sich solche mit diskreter Stufung durch, jedoch sind für Abgleichzwecke Einstellregler mit kontinuierlicher Charakteristik erforderlich.

Detaillierte Hinweise zur Gestaltung und für den Einsatz von Anzeige- und Bedienungselementen sind u. a. in [13] und [15] zu finden.

In *Prüfprozessen* wird vom Werktätigen eine konstante Aufmerksamkeit gefordert, die durch

- längere ununterbrochene Arbeitsperioden,
 - Isolation von anderen Arbeiten und Sinneseindrücken,
 - Informationsmangel (Fehler sind relativ selten),
 - mangelnde Arbeitsplatz- und Arbeitsumweltgestaltung
- gemindert wird. Qualitativ sind grob drei Phasen der Erfüllung von Arbeitsaufgaben (*Arbeitsphasen*) erkennbar (Bild 4.8).

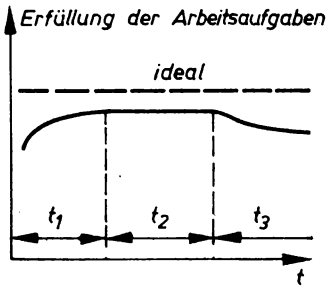


Bild 4.8: Arbeitsphasen

t_1 Einlaufphase,
 t_2 stabilisierte Arbeitsweise,
 t_3 Sinken der Arbeitsleistung

So nimmt z. B. mit steigender Arbeitsdauer die Wahrscheinlichkeit der Wahrnehmung eines Signals ab, die Reaktionszeit erhöht sich.

Durch entsprechende Gestaltung der Prüfprozesse sind die einzelnen Zeitabschnitte beeinflussbar, wobei insbesondere die Gestaltung des Pausenregimes eine Rolle spielt, um dem Sinken der Arbeitsleistungen vorzubeugen.

Eine ähnliche Charakteristik ist bei Aufnahme einer neuen Arbeitsaufgabe anzutreffen, die mit *Lern-* und *Einarbeitungsprozessen* verbunden ist. Diese Phase ist durch eine geringere Arbeitsproduktivität, höhere *Fehlerrate* und stärkere Beanspruchung des Werk tätigen gegenüber der Stabilisierungsphase gekennzeichnet. Problemreich sind Klein- und Mittelserienfertigungen, da hier die Einarbeitungsphase einen relativ hohen Anteil am gesamten Fertigungszeitraum einnimmt. Der Ausweg besteht darin, leicht verständliche und überschaubare

Entscheidungshilfen einzusetzen sowie typisierte Prüfprozesse und standardisierte Prüfmittel anzuwenden, um den Neuheitsgrad der Aufgabenstellung möglichst gering zu halten.

Wie bereits im Abschnitt 3.6. aus der Genauigkeit von Prüfmitteln begründet, gibt selbst eine 100%ige Prüfung keine absolute Sicherheit, daß alle Erzeugnisse den Qualitätsbedingungen entsprechen. Die bisher erörterten ergonomischen Aspekte der Prüftechnik lassen den Schluß zu, daß dabei auch der menschliche Faktor einkalkuliert werden muß. Zusammengefaßt treten *subjektiv bedingte Fehlhandlungen* auf, die aus

- grober Unachtsamkeit, Verstößen gegen die prüftechnologischen Festlegungen,
- kurzzeitigen Fehlfunktionen des Nervensystems (Denkfehler, Gedächtnisfehler, Konzentrationsschwäche),
- Veränderungen des psychischen Zustandes (Ermüdung, Unlust, Emotionen),
- mangelnder psychophysiologischer Anpassung der sensorischen und motorischen Charakteristika des Werk tätigen und der Prüfmittel,
- mangelnder Qualifikation und Einarbeitung

resultieren. Im Ergebnis werden qualitätsgerechte Erzeugnisse als fehlerhaft und fehlerhafte als qualitätsgerecht eingestuft.

Ein großer Teil der Einflußfaktoren, die mit dem Einsatz des Menschen in Prüfprozessen verbunden sind, läßt sich durch eine Weiterentwicklung der Prüfmittel beherrschen oder eliminieren. Es wäre jedoch illusorisch anzunehmen, daß sich mit steigender Mechanisierung und Automatisierung die ergonomischen Probleme erschöpfen. Sie stellen sich mit neuer Qualität auf dem Systemniveau. Insbesondere ist dann die effektive Verteilung der Funktionen zwischen Mensch und zu automatisierender Prüfeinrichtung zu lösen. In erster Näherung kann man dieser Verteilung einen Vergleich der Vor- und Nachteile der beiden Komponenten zugrunde legen [15], [16] (Tafel 4.1).

Tafel 4.1: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile von Mensch und automatisierter Prüfeinrichtung

Mensch	automatisierte Prüfeinrichtung
Geringe Geschwindigkeit der Wahrnehmung und Verarbeitung von Signalen (ms-Bereich)	hohe Geschwindigkeit der Aufnahme und Verarbeitung von Daten (μ s-Bereich)
Begrenzte Kanalkapazität	hinreichend große Kanalkapazität
Größere Universalität und Flexibilität, gutes Lernverhalten, fähig bei Überlastung zu arbeiten	im allgemeinen weniger universell, Universalität und Flexibilität wird mit hohem Programmieraufwand erkauft
Gute Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse, fähig zur Arbeit unter stark gestörten Verhältnissen (Rauschen), fähig zur Entscheidung bei Informationsmangel	begrenzte Möglichkeiten
Originalität des Denkprozesses	programmgebunden
Gute Fähigkeit zur Objekterkennung, zu Schlußfolgerungen auf einen Gesamtzustand auf Grund einzelner Symptome	Vorteile bei Klassifizierungsaufgaben
Begrenzte Arbeitszeit	unbegrenzt im Rahmen der Lebensdauer
	Vorteile bei der Erfassung und Analyse seltener Ereignisse
	Vorteile bei der Bearbeitung großer Datenmassive
	Vorteile bei sich wiederholenden Routinefunktionen
	hohe, jedoch vom Aufwand abhängende Genauigkeit

Zusammenfassung zu Abschnitt 4.

Die Gestaltung von Prüfprozessen schließt die Berücksichtigung der anthropometrischen, physiologischen und psychologischen Gegebenheiten des Menschen ein. Körperlich und geistig ermüdende Funktionen müssen durch geeignete Maßnahmen umgangen bzw. technischen Einrichtungen übertragen werden. Viele Prüfaufgaben können von automatischen Einrichtungen übernommen werden, womit die Unzulänglichkeiten des Menschen ausgeschaltet werden. Diese Einrichtungen haben einen komplizierten Aufbau, wodurch ihre technische Zuverlässigkeit gegenüber autonomen, durch den Werktätigen bedienten Prüfmitteln gemindert ist. Weitere bedenkenswerte Parameter sind Masse, Kosten, Mobilität usw. Eine Entscheidung ist unter Beachtung von Systemgrößen der Mensch-Maschine-Beziehungen möglich.

Lösungen der Aufgaben

A 1.1. Die Antwort ist [3] zu entnehmen.

A 1.2. Die Antwort ist [4] zu entnehmen.

A 1.3. Die Antworten sind anhand des 1. Abschnittes zu erarbeiten!

A 1.4.

A 1.5. Die Antwort ist dem 1. Abschnitt zu entnehmen! Berücksichtigen Sie das Null- und das Ausschlagverfahren!

A 2.1. Die Antwort ist dem Lehrstoff der Themen 1. und 2. des Lehrgebietes Meß- und Prüftechnik zu entnehmen.

A 2.2. Es sind einige fachrichtungstypische Erzeugnisse anzugeben.

A 2.3. Die Antwort ist dem Lehrstoff des Abschnittes 2. zu entnehmen.

A 2.4. Der technologische Aufbau eines fachrichtungstypischen Erzeugnisses ist durch

A 2.5. Anwendung von Kenntnissen aus dem Lehrgebiet Grundlagen der Technologie unter Berücksichtigung der im Lehrgebiet Meß- und Prüftechnik behandelten Meß- und Prüfverfahren darzustellen. Für das betreffende Erzeugnis sind mögliche Fehler zu klassifizieren. Dabei ist zu beachten, daß gleiche Fehlerarten auch bei Meßvorgängen auftreten (s. [4]), diese aber nicht mit den Fertigungsfehlern verwechselt werden dürfen.

A 2.6. Die Antwort ist aus dem Lehrstoff des Lehrgebietes Grundlagen der Technologie zu

A 2.7. erarbeiten.

A 3.1. Die Toleranz der Verstärkung liegt in der Größenordnung der Widerstandstoleranzen.

$$\frac{\Delta V}{V} = \pm \left(\left| \frac{\Delta R_2}{R_2} \right| + \left| \frac{\Delta R_1}{R_1} \right| \right)$$

A 3.2. Bei einer Strommessung muß der Innenwiderstand des Prüfgerätes die Bedingung $R_i \ll R$ (R – Widerstand des Stromkreises, in dem der Strom zu messen ist) erfüllen; bei einer Spannungsmessung gilt $R_i \gg R$!

A 3.3. $p_k \approx 0,3 \%$!

A 3.4. Fehlerklasse 0,5!

A 3.5. Im Fall a) gibt es $2^n \approx 10^6$ Eingangsbelegungen. Die benötigte Prüfzeit beträgt 1 s.
Im Fall b) beträgt die Zahl der Kombination von Eingangsbelegungen und inneren Zuständen $s^{n+m} \approx 10^{12}$ Stunden!

A 3.6. Die Antwort ist aus Abschn. 3 zu erarbeiten!

Beispiel:

1. Geltungsbereich:

- a) Betrieb, Kombinat, Ministerium,
- b) Erzeugniserzeugung, Erzeugnisgruppe,
- c) Schaltungsart (analog, digital, hybrid),
- d) Fertigungstyp (Massen-, Serien-, Einzelfertigung).

2. Begriffe, Benennungen.
3. Festlegung der Prüfbedingungen.
4. Festlegungen für das Prüfobjekt.
 - 4.1. Entwicklungsrichtlinien.
 - z. B. – Trennen von analogen, digitalen Sonderschaltungen,
 - räumliche Aufteilung umfangreicher Schaltungen,
 - Vermeidung von Redundanzen,
 - Beschränkung der Spannungswerte,
 - 4.2. Konstruktionsrichtlinien,
 - z. B. – Gefäßsystem,
 - geometrische Abmessungen,
 - Steckverbinder: Art und Beschaffenheit,
 - Adaptierung,
 - Packungsdichte,
 - Meßpunkte.
5. Festlegung von Prüfparametern.
6. Festlegungen zur Prüfmethode (Stückprüfung, Stichprobenprüfung, Typprüfung),
 - z. B. Lötbarkeitsprüfung für jede 100. Leiterplatte.
7. Prüffolge, Prüfablauf, Prüforganisation
 - 7.1. Prüffolge, z. B.
 - 7.1.1. Wareneingangsprüfung,
 - 7.1.2. ...
 - 7.1.3. ...
 - 7.1.n. ...
 - 7.2. Prüfablauf, z. B.
 - 7.2.1. Kurzschlußprüfung ohne Speisespannung,
 - 7.2.2. Prüfung der Stromaufnahme,
 - 7.2.3. ...
 - 7.2.n. ...
 - 7.3. Prüforganisation,
 - z. B. Prüfung durch Produktionsarbeiter, spezielle Prüfplätze, Prüffelder,
8. Prüftechnik
 - 8.1. Prüfverfahren,
 - 8.2. Prüfmittel.
9. Gestaltung und Symbolik des Prüfprogramms.
10. Gestaltung der Prüfdokumentation.

- | | | |
|---|---|---|
| A 3.7.
A 3.8.
A 3.9.
A 3.10.
A 3.11.
A 3.12. | } | Die Antworten sind aus Abschn. 3 zu erarbeiten! |
| A 4.1.
A 4.2. | } | Die Antworten sind aus Abschn. 4 zu erarbeiten! |

Literaturverzeichnis

- [1] *Bogorodickij, N. P.; V. V. Pasynkov:* Mikrominiaturisierung im elektronischen Gerätebau (russ.). Izvestija vyssich ucebnych zavedenij. Priborostroenie (1967) 1, S. 3 – 6.
- [2] ...: Direktive des IX. Parteitages der SED zur Entwicklung der Volkswirtschaft der DDR 1976 – 1980.
- [3] *Reineck, H.:* Qualitätssicherung und statistische Qualitätskontrolle. Lehrbrief für das Fachschul-Fernstudium. Katalog-Nr. 03 1011 01 1. Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen 1981.
- [4] *Richter, W.:* Einführung in die Meß- und Prüftechnik. Lehrbrief für das Fachschul-Fernstudium. Katalog-Nr. 03 1006 01 1. Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen 1981.
- [5] *Dubrau, H.-J.; Kärger, R.:* Einige Probleme der Prüftechnik elektronischer Einrichtungen und ihre Behandlung in der Lehre an der Ingenieurhochschule Dresden. Wissenschaftliche Berichte der Ingenieurhochschule Leipzig (1976) 8, S. 29 – 41.
- [6] ASMW – VW 1068: Forderungen zur Gewährleistung der Zuverlässigkeit elektrotechnischer Erzeugnisse.
- [7] Nomenklatur der Arbeitsstufen und Leistungen von Aufgaben des Planes Wissenschaft und Technik. Berlin: Staatsverlag der DDR 1975.
- [8] TGL 14283: Elektronische Meßgeräte.
- [9] *Dubrau, H.-J.; Kärger, J.:* Prüftechnik/Prüftechnologie. Prüfeinrichtungen. Prüfprogramme für elektronische Baugruppen und Geräte. Lehrbrief für das Fachschul-Fernstudium. Katalog-Nr. 03 1012 02 1. Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR 1981.
- [10] ASMW – VM 30 – 278: Fertigungskontrolle. Richtlinie für die technologische Festlegung.
- [11] *Naumann, R.:* Ausgewählte Probleme des Aufbaus eines zentralen Fertigungsbetriebes für elektronische Baugruppen im VEB Robotron. Feingerätetechnik 23 (1974) 12, S. 561 bis 563.
- [12] ...: Verordnung über den Standard des RGW. GBl. der DDR, Teil I, 1974, Nr. 55, S. 499.
- [13] *Sintschenko, W. P.; Munipow, W. M.; Smoljan, G. L.:* Ergonomische Grundlagen der Arbeitsorganisation. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1976.
- [14] *Kotik, M. A.:* Kurzer Lehrgang der Ingenieurpsychologie (russ.). Tallinn, Valce 1971.
- [15] Autorenkollektiv: Arbeitswissenschaften für Ingenieure. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1973.
- [16] *Gubinskij, A. I.:* Zuverlässigkeit komplexer Systeme „Mensch – Technik“. ODNT 1967.
- [17] *Terplan, K.:* Prozeßrationalisierung durch optimale Prüfstrategie. Angewandte Informatik (1972) 9, S. 425 – 429.
- [18] *Holle, W.; Tietz, D.:* Qualitätssicherung bei der Fertigung gedruckter Schaltungen. Sozialistische Rationalisierung 3 (1974) 3, S. 68 – 73.

Sachwörterverzeichnis

- Anzeigeelement 51
- Arbeitsphase 51
- Aspekt, ergonomischer 49

- Bedarfsermittlung 12
- Bedienfunktion 51
- Bedienungselement 51
- Bestückungsfehler 20, 31

- Einarbeitungsprozeß 52
- Eingangsprüfung 29
- Endprüfung 14, 29
- Ersatzkosten 28
- Erzeugnisentwicklung 12

- Fehler 9, 18, 19, 30, 33, 37, 49
 - , dynamischer 31
 - , grober 19
 - , statischer 31
 - , systematischer 19
 - , zufälliger 19
- Fehlerfortpflanzung 30
- Fehlerrate 28, 52
 - , kritische 28
- Fehlhandlung
 - , subjektive 52
- Fertigungsprozeß
 - , Vorbereitung 12
 - , Gestaltung 12
- Folgefehler 19
- Folgekosten 28
- Funktionsfehler 19, 31

- Größtfehler 30

- Kontaktfehler 20

- Leiterbildfehler 19
- Lernprozeß 52
- Lötfehler 31

- Marktforschung 12
- Mensch-Maschine-Wechselwirkung 45
- Messen 9, 10
- Meßvorgang 11

- Modell, des Prozesses 11
 - , des Erzeugnisses 11

- Parameterfehler 19, 31
- Prüfart 27, 29
- Prüfaufwand 7
- Prüfautomat 34
- Prüfbedingung 13, 27
- Prüfen, Prüfung 9, 10, 13
- Prüfeinrichtung 13
- Prüffeld 36
- Prüfgerechtigkeit 13
- Prüfhandlung 27
 - , manuelle 49
 - , visuelle 49
- Prüfkosten 28
- Prüfmittel 34
- Prüfobjekt 9
- Prüforganisation 36
- Prüfort 26
- Prüfparameter 13, 26, 30
- Prüfplatz 36, 37
- Prüfprogramm 35
- Prüfprotokoll 32
- Prüfprozeß 51
- Prüfschärfe 30
- Prüfschritt 33
- Prüftechnik 9, 11
- Prüftechnologie 9, 11, 13, 26
 - , Systematik 24
- Prüfumfang 30
- Prüfung 49
- Prüfverfahren 13, 31
 - , zerstörendes 31
 - , zerstörungsfreies 31

- Prüfvorgang 10
- Prüfvorschrift 13
- Prüfzeit 36

- Qualität 8, 24
 - , potentielle 12
- Qualitätsbegriff 8
- Qualitätskennwert 8
- Qualitätsmerkmal 8, 12, 14, 24, 25
- Qualitätssicherung 9

Rahmenprüfvorschrift 39
Reparaturplatz 36

Sollqualität
Stichprobenprüfung 27, 29
Störgröße 8
Stückprüfung 27, 29

Toleranzgrenze 9
 , obere 9
 , untere 9
Toleranzbereich 9, 30
Typprüfung 14

Verbindungsfehler 20

Wareneingangsprüfung 14, 29

Zuverlässigkeitskenngröße 12
Zwischenprüfung 14, 29