

Diss. Nr. 4078

# **Zeitstudie auf statistischer Grundlage mittels Mikromultimomentstudie**

ABHANDLUNG

zur Erlangung  
der Würde eines Doktors der technischen Wissenschaften

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

vorgelegt von

**FRITZ GEORG HAFEN**

dipl. El.-Ing. ETH

geboren am 29. Juni 1934

von Scherzingen (Kt. Thurgau) und Zürich

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. W. F. Daenzer, Referent

Prof. Dr. H. P. Künzi, Korreferent

Juris Druck + Verlag Zürich  
1968

Leer - Vide - Empty

Meiner lieben Frau gewidmet

Leer - Vide - Empty

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist unter der Leitung und mit grosszügiger Unterstützung von Herrn Prof. Dr. h. c. W.F. Daenzer entstanden. Es ist mir eine angenehme Pflicht, ihm und dem Korreferenten, Herrn Prof. Dr. H. P. Künzi für die Uebernahme des Korreferates verbindlichst zu danken.

Mein Dank gilt ferner allen Herren, die mich bei der Lösung dieser Aufgabe unterstützten, insbesondere meinem ehemaligen Vorgesetzten Herrn Prof. W. Bloch für die wertvollen Anregungen, Herrn Dr. K. Bauknecht für die Hilfe bei den Auswertungen auf einer elektronischen Rechenanlage, Herrn H. Kres, Universitäts-Mathematiker, für die Beratungen in mathematisch-statistischer Hinsicht und Herrn A. Maglia, dipl. Ing.-Tech. HTL, für seine Assistenz bei der Durchführung der Versuche.

Im weiteren danke ich der Firma Enicar S.A., Lengnau, für die Durchführung von Versuchen und dem REFA-Verband in Darmstadt für die Ueberlassung von Film- und Zahlenmaterial.

Zürich, im Juni 1967

Fritz G. Hafen

Leer - Vide - Empty

## INHALTSVERZEICHNIS

Standortumschreibung der Zeitbestimmungs-Methoden und im Besonderen der Zeitmessung

0. Einleitung	11
1 Arten der Zeitermittlung	12
1.1 Schätzen und Vergleichen	12
1.2 Rechnen	13
1.3 Simulation	13
1.4 Messen	13
1.5 Systeme vorbestimmter Zeiten, Zeitrichtwerte	14
1.6 Statistische Verfahren	15
2 Zeitgliederung	17
3 Einsatzgebiete der verschiedenen Möglichkeiten der Zeitermittlung	19
4 Verbreitung der verschiedenen Methoden der Zeitbestimmung	22
5 Zeitmessung	24
5.1 Automatische Zeitmessinstrumente	24
5.2 Manuelle Messinstrumente	24
5.2.1 Zählende Messverfahren	25
5.2.2 Registrierende Messgeräte	27
5.2.2.1 Druckende Messgeräte	28
5.2.2.2 Schreibende Messgeräte	29
5.3 Tonbandaufnahmeverfahren	32
5.4 Filmaufnahmeverfahren	34
5.5 Elektronische Hilfsmittel für das Zeitstudium	36
6 Vergleich der Zeitmessgeräte	38
7 Leistungsbeurteilung	44

Prinzip der Multimomentstudie und spezielle Anwendungsformen

8	Multimomentstudie (MM-Studie)	45
8.1	Entstehung	45
8.2	Prinzip der MM-Studie	45
8.3	Mathematische Grundlagen	47
8.4	Zusätzliche Faktoren	49
8.4.1	Abhängigkeitsfaktor c	49
8.4.2	Korrektur-Faktor k nach Mevert	50
8.4.3	Schwankender Tätigkeitsgrad	51
8.4.4	Leistungsgradschätzung in Verbindung mit einer MM-Studie	52
8.5	Gegenüberstellung der MM-Studie und der laufenden Arbeitsstudie	53
8.6	Rundgangsintervall regelmässig oder zufällig verteilt	54
8.7	Zusätzlicher Einsatz von Hilfsmitteln bei der MM-Studie	56
8.7.1	Stoppuhr	56
8.7.2	Fernsehen, Filmaufnahmen	56
8.8	Multimoment-Zeitmessverfahren (MMZ)	57

Anwendung der Multimomentstudie im Gebiet der Mikromultimomentstudie

9	Mikromultimomentstudie (MMM)	60
9.1	Allgemeines	60
9.2	Apparativer Aufbau der Versuchseinrichtungen	61
9.2.1	Signalgeber	61
9.2.2	Zufallszahlenspeicher	63
9.2.3	Signalempfänger	64
9.2.4	Signalart	64
9.2.5	Signaldauer	65
9.2.6	Signalintensität	67
9.2.7	Signale mit Vorwarnung	68
9.3.	Signaldichte	69
9.4.	Zufallszahlen	74
9.5.	Versuchsaufbau	75
9.6	Simulation von Multimomentstudien auf einem Computer IBM 1620, CDC 1604	78



9.7	Einfluss von regelmässigen oder unregelmässigen Intervallen bei periodischen Vorgängen	87
9.8	Berechnung der absoluten und relativen Fehler für einmalige Erscheinungen	102
9.9	Vergleich der Messgenauigkeit mit andern Messgeräten für Einzelercheinungen	111
9.10	Berechnung der Erwartungswerte für die verschiedenen Beobachtungsmöglichkeiten bei einer bestimmten Dauer einer Einzelercheinung mit einer zufällig verteilten Zahlenfolge	114
9.11	Auflösungsvermögen oder Gliederungstiefe der MMM-Studie	129
9.12	Erfassung der Leistung	141
9.13	Zeitaufwand für die Durchführung einer Zeitstudie	143
9.14	Zeitaufwand für die Auswertungen	143
9.15	Vergleich einer Zeitstudie mit MMM-Aufnahmen und Stoppuhren	149
9.16	Praktischer Einsatz der MMM-Studie	153
9.17	Zusammenfassung	160

Literaturverzeichnis	162
----------------------	-----

## Anhang

Programm zur Simulation von MMM-Studien

Leer - Vide - Empty

0 Einleitung

Der gesamte betriebliche Ablauf ist geprägt durch den Zeitgedanken, sowohl auf der Arbeitgeber- als auch auf der Arbeitnehmerseite. Die Arbeitgeberseite baut in den verschiedensten Phasen auf Zeitunterlagen auf, so für:

- die Vorschau (Planung)
- die Gegenwart (Auftragsabwicklung)
- den Rückblick (Kontrolle)

Der Arbeitnehmer interessiert sich hauptsächlich für Zeitvorgaben, die seine Verdienstmöglichkeiten entscheidend zu beeinflussen vermögen.

Als Grundlage für Zeitwerte kann entweder auf vorhandene - in einigen speziellen Fällen berechnete - Erfahrungswerte zurückgegriffen werden, oder man muss sich anhand eines konkreten Ablaufs die anfallenden Zeiten "herausmessen". Je nach der Art des Ablaufs lassen sich selbsttätige Messinstrumente verwenden, oder es muss ein Beobachter, mit entsprechenden Hilfsmitteln versehen, eingesetzt werden.

Stellt man ab auf die Verwendbarkeit (ein- oder mehrmalige Anwendung), so erhebt sich die Frage nach dem vertretbaren Aufwand und, damit verbunden, nach der Genauigkeit. Die Aussagefähigkeit der erfassten Zeiten erhöht sich einerseits mit der zunehmenden Zahl der Erhebungen und andererseits mit dem wachsenden Grad der Genauigkeit der Einzelzeiten.

In der vorliegenden Arbeit soll im Sinne einer Standortbestimmung vorerst eine Uebersicht über die Möglichkeiten einer Zeitbestimmung gegeben werden, um dann auf die Zeitmessung überzugehen.

Nach einem kritischen Vergleich der Messmethoden auf Grund einer Literaturbesprechung wird das Hauptthema der Arbeit, die Mikromultimomentstudie, behandelt.

## 1 Arten der Zeitermittlung

Zur Bestimmung von Zeiten existiert eine reiche Auswahl an Kriterien, die von Fall zu Fall zur Anwendung kommen können, entsprechend den folgenden Bedingungen:

- geforderte Genauigkeit der Zeitwerte
- vorhandene Erfahrung und Ausbildung des Fachmannes
- vorhandene Erfahrungswerte
- wirtschaftliche Aspekte (Aufwand an apparativen Einrichtungen, Messumfang, Grad der Ueberwachung und Auswertungen im Verhältnis zur Anwendung)
- vorhandene Messeinrichtungen und deren Einsatzmöglichkeit.

### 1.1 Schätzen und Vergleichen

Schätzen und Vergleichen stellen Zeitermittlungsarten dar, die vorwiegend auf dem grossen Erfahrungsschatz des Zeitstudienfachmannes beruhen, da der Mensch nur ein sehr schwach ausgeprägtes Zeitgefühl mitbringt. Wie Versuche von Bramesfeld und Scheurer (1) zeigen, sind nur erfahrene Fachleute in der Lage, im eigenen Arbeitsgebiet, wo jeder einzelne über eine Reihe von Vergleichsmöglichkeiten mit bekannten Zeitwerten verfügt, einigermaßen verbindliche Schätzungen abzugeben. Dabei soll das in natürliche Abschnitte unterteilte Schätzen dem summarischen Schätzen vorgezogen werden.

Aus den vorerwähnten Versuchen geht ferner hervor, dass trotz günstigsten Voraussetzungen an Erfahrung und Kenntnissen der zu beurteilenden Arbeiten erhebliche Unterschiede in der Grössenordnung 1 : 2 vorkommen können. Für die Anwendung geschätzter Zeitwerte sind somit grosse Vorbehalte anzubringen.

Trotz allen diesen Bedenken treten Situationen auf, die Schätzen und Vergleichen als einzige Möglichkeit offen lassen, beispielsweise bei

Einzel- oder Kleinserien. Gebiete des Arbeits- und Zeitstudiums, die auch in Zukunft dem Schätzen vorbehalten bleiben, stellen das Schätzen der Leistungsgrade, der Erholungszuschläge und der Arbeitsbewertung dar.

## 1.2 Rechnen

Die rein rechnerische Ermittlung von Zeiten beschränkt sich auf ein ziemlich engbegrenztes Anwendungsgebiet, d. h. auf die unbeeinflussbaren Maschinenzeiten und weitere gesetzmässige Abhängigkeiten zwischen Zeitbedarf und den verschiedenen Einflussgrössen.

Die Varianten sind meist derart spezifischer Art, dass damit nur ein bestimmter Maschinentyp, ein vorgegebenes Material usw. erfasst wird, d. h. von Fall zu Fall ist ein neuer Rechnungsgang notwendig. Um diesem Nachteil zu begegnen, werden vielfach graphische Darstellungen, wie Nomogramme u. a. angewendet (2).

## 1.3 Simulation

Die Simulation als Mittel zum Bestimmen von Zeitwerten gründet auf Zeitunterlagen, die beispielsweise gemessen und/oder gerechnet und meist mit elektronischen Rechenanlagen verarbeitet werden, unter Einbeziehung von zufallsmässigen Erscheinungen (3). Der praktische Einsatz dieser Methode beschränkt sich heute noch auf eine kleinere Anzahl von Beispielen.

## 1.4 Messen

Die Erfassung der Zeiten durch Messungen stellt das breiteste Anwendungsgebiet dar, was sich auch in der Vielfalt der messtechnischen Möglichkeiten widerspiegelt. Ausgehend von der Uhr bzw. der Stoppuhr, wurde immer wieder versucht, diese durch genauere und leistungsfähigere Apparaturen zu ersetzen. Das Ziel dieser Bemühungen zielt darauf

ab, die subjektiven Einflüsse so weit als möglich zu Gunsten der Objektivität zurückzudrängen und die Begrenzungen hinsichtlich:

- Genauigkeit
- Auflösungsvermögen
- Beanspruchung des Beobachters

zu verbessern.

### 1.5 Systeme vorbestimmter Zeiten, Zeitrichtwerte

Die Arbeitsabläufe setzen sich aus gleichartigen Bewegungselementen und Bewegungsgruppen zusammen. Diese Tatsache liess den Wunsch nach einer Rationalisierung der Zeitermittlung selbst aufkommen, indem bereits erfasste Zeiten immer wieder zur Verwendung kommen sollen. In den Systemen der vorbestimmten Zeit, wie z. B. MTM = Methods Time Measurement, WF = Work Factor usw. zerlegte man die Bewegungen in wenige Grundelemente: 8 Elemente der oberen, 15 Elemente der untern Extremitäten und 2 Blickfunktionen. In eingehenden Versuchen bestimmt man den Zeitbedarf in Abhängigkeit der Einflussgrössen, wie Bewegungslänge, Drehwinkel usw. in TMU =  $10^{-5}$  Std., im MTM-System.

In einer Synthese der einzelnen Griff-Elemente zu einem Bewegungsablauf errechnet man die entsprechenden Zeiten. Es liegt auf der Hand, dass durch die sehr detaillierte Betrachtungsweise nebst der reinen Zeitermittlung eine intensive Begutachtung der Arbeitsausführung erfolgt, dies ist allerdings nur mit einem grossen Arbeitsaufwand möglich, der sich nur bei stark repetitiven Arbeiten, wie sie in der Serienfertigung anfallen, rechtfertigt. Um diesem wirtschaftlichen Nachteil zu begegnen, stellte man bei der praktischen Anwendung innerhalb von Branchen fest, dass bestimmte Bewegungselemente-Kombinationen immer wieder vorkamen. In logischer Folgerung entstanden einige Systeme mit zusammengefassten Bewegungselementen, z. B.:

- SSD Simplified Sewing Data (Standardzeiten für Näharbeiten)
- MSD Master Standard Data.

Durch die Vergrößerung des Systems ergab sich zwar eine Einbusse bezüglich des Auflösungsvermögens und der Genauigkeit; dafür aber liess sich der Aufwand ganz erheblich vermindern. Gemäss Angaben aus der Literatur wurden bei einer vergleichenden Studie mit dem Work Factor-System und drei vereinfachten Systemen Zeitreduktionen von 50 - 80 % bei nur unwesentlichen Differenzen der Resultate erreicht.

Das Anwendungsgebiet der Systeme vorbestimmter Zeiten bleibt auf rein manuelle Arbeiten beschränkt, die zudem keinen verfahrenstechnischen oder technologischen Verzögerungen unterliegen dürfen, wie z.B. Löt-, Kleb-, Prüf- oder Justierarbeiten.

Einem ähnlichen Anwendungsprinzip folgen die Zeitrichtwerte. Im Unterschied zu den Systemen der vorbestimmten Zeiten begnügt man sich bei den Zeitrichtwerten mit einer viel gröberen Aufgliederung, indem man nicht auf Bewegungselemente oder -gruppen zurückgreift, sondern ganze Bewegungsablaufgruppen, z.B. Ein- und Ausspannoperationen an Werkzeugmaschinen, klassifiziert. Die gröbere Unterteilung bewirkt wesentlich umfangreichere Unterlagen, die die Anwendung erschweren. Im Gegensatz zu den Systemen der vorbestimmten Zeiten, deren Zeitunterlagen überbetriebliche Gültigkeit haben, lassen sich die Zeitrichtwerte nur in beschränktem Rahmen und erst nach gründlicher Ueberprüfung ausserhalb des Ursprungsbetriebes verwenden.

Sowohl die Systeme der vorbestimmten Zeiten als auch die Zeitrichtwerte beruhen - das ist ihr gemeinsames Merkmal - auf normalisierten Zeiten, d.h. auf Zeiten, die einer Leistung von 100 % entsprechen. Im weiteren gestatten beide Verfahren eine Ablaufanalyse vor der Ausführung der Arbeit.

## 1.6 Statistische Verfahren

Im Bestreben, den Aufwand für die Bestimmung von Zeitunterlagen minimal zu halten, entstand ein statistisches Verfahren, die sogenannte Multimomentstudie, die eine dauernde Beobachtung der Vorgänge durch

ein temporäres Beobachten ersetzt. Der Gewinn dieses Verfahrens besteht vor allem in der Erfassung von Zufallerscheinungen, da die Messungen sehr viel Zeit beanspruchen, bis die Zufallereignisse genügend oft auftreten (4).

Neuere Weiterentwicklungen, wie das Multimoment-Zeitmessverfahren, ermöglichen eine Erweiterung der Anwendungsgebiete.



## 2 Zeitgliederung

Bei genauer Betrachtung der betrieblichen Abläufe lassen sich verschiedene Zeitarten erkennen, die sich u. a. durch die Art der Häufigkeit (Grundzeit - Rüstzeit), die Regelmässigkeit des Auftretens (Verteilzeit - Grundzeit) und die Art der Arbeit (persönliche Verteilzeit - sachliche Verteilzeit) unterscheiden. Es existieren verschiedene Gliederungsschematas, die jedoch auf gleichen Grundgedanken aufbauen und sich nur in der Feingliederung und der Bezeichnung unterscheiden (2) (5) (6), wobei die Gliederung nach REFA diejenige mit der grössten Verbreitung in Europa darstellt.

Es wird unterschieden nach der Gliederung:

- der Vorgabezeit
- der Belegungszeit
- der Verarbeitungszeit.

Als Beispiel sei die Gliederung der Vorgabezeit aufgeführt. (Bild Nr. 1)

Gliederungsschema der Vorgabezeit nach REFA

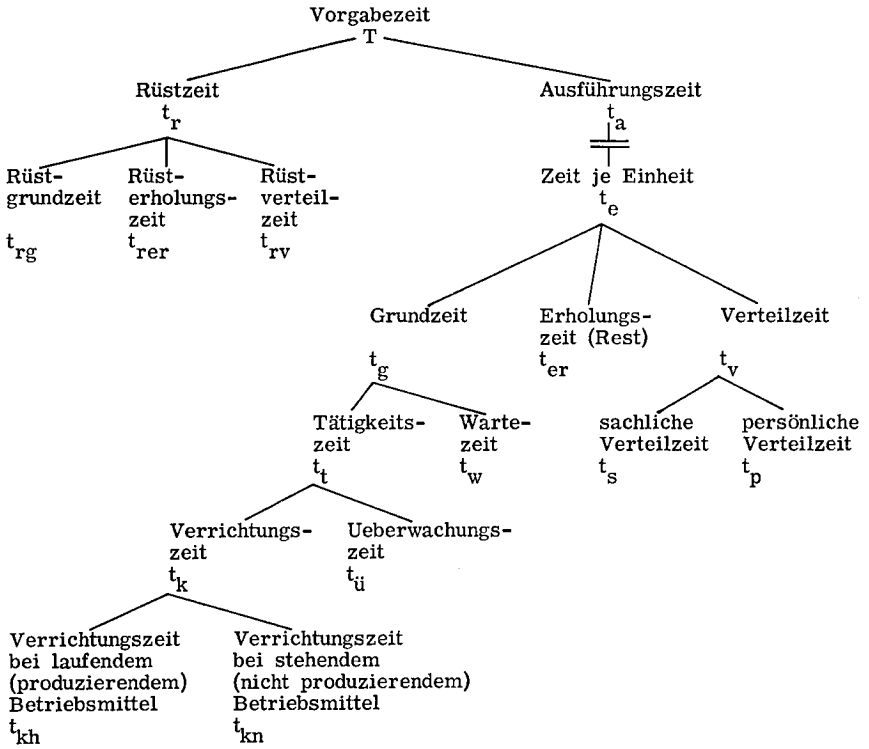


Bild Nr. 1

Für die Definition der einzelnen Zeitartern sei auf das REFA-Buch, Band 2, verwiesen.

### Einsatzgebiete der verschiedenen Möglichkeiten der Zeitermittlung

Mit dem Schema in Bild Nr. 2 wird ein Versuch unternommen, die verschiedenen Möglichkeiten der Zeitermittlung den verschiedenen Zeitar-ten gegenüberzustellen. Dazu ist zu bemerken, dass z. B. Simulationen, neuere Anwendungen der statistischen Verfahren und automatische Zeiterfassung mit elektronischen Geräten zu jung sind, um im heutigen Zeitpunkt die praktischen Anwendungsgebiete endgültig abzugrenzen.

Gliederungsarten	Gliederung der Verarbeitungszeit						Gliederung der Belegzeit						Gliederung der Vorbereitungszeit									
	Werkstoff- Rüstgrundzeit	Werkstoff- Rüstverteilzeit	Einwirkungszeit	Förderzeit	Liegezeit	Werkstoff- verteilzeit	Betriebsmittel- verteilzeit	Brachzeit (arbeits- ablauf bedingt)	Hilfszeit	Hauptzeit	Betriebsmittel- Rüstverteilzeit	Betriebsmittel- Rüstgrundzeit	persönliche Verteilzeit	sachliche Verteilzeit	Erholungszeit (Rest)	Wartezeit	Tätigkeitszeit	Rüstverteilzeit	Rüsterholungszeit	Rüstgrundzeit	Leistungsgrad	
Bezeichnungen der Zeitarten nach REFA	$t_{urg}$	$t_{urv}$	$t_E$	$t_F$	$t_L$	$t_{uv}$	$t_{Bv}$	$t_B$	$t_H$	$t_h$	$t_{Brv}$	$t_{Brg}$	$t_p$	$t_s$	$t_{er}$	$t_w$	$t_t$	$t_{rv}$	$t_{rer}$	$t_{rg}$	LG	
Kurzzeichen	x	x	x	x	x	x					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Schätzen Vergleichen								1)														
Rechnen																						
Zeitmessung automatisch									x	x							2)					
Zeitmessung manuell																						
Zeitricht- werte																						
Systeme vor- best. Zeiten																						
Simulation							6)			7)												
Statistische Verfahren																						
Tafeln für Erholungsrate																						

Bild Nr. 2

Bemerkungen zu Bild Nr. 2

- 1) Nur teilweise.
- 2) Neueste Entwicklungen an elektronischen Messgeräten, z. B. UNOPAR, Laborstadium.
- 3) Ermittlung der durch den Arbeiter tatsächlich in Anspruch genommenen Erholungszeit aus der sich jedoch keine Erholungszuschläge ermitteln lassen.
- 4) Für die praktische Anwendung werden zur Hauptsache Zeitrichtwerte für die Vorgabezeit verwendet.
- 5) Nur teilweise nicht erfassbar sind z. B. technologische bedingte Verweilzeiten beim Löten usw.
- 6) Lässt sich teilweise durch Simulationen ermitteln, jedoch nur mit ziemlich umfangreichen komplizierten Eingabedaten.
- 7) Simulation von Hauptzeiten, wo deren Dauer je Einheit statistische Abhängigkeiten aufzuweisen hat, z. B. beim Spulen von Garnkörpern mit unterschiedlichen Mengen (Gewicht, Länge) je Garnkörper. Simulationen für den Materialfluss sind ohne weiteres denkbar.
- 8) Die eingezeichneten Felder stellen das Gebiet der klassischen Multimomentstudie dar, neuere Entwicklungen, wie das Multimoment-Zeitmessverfahren, ermöglichen eine Ausweitung der Anwendungsgebiete.

4 Verbreitung der verschiedenen Methoden der Zeitbestimmung

Schlauch (7) hat versucht, in einer graphischen Darstellung die Verbreitung von verschiedenen Methoden der Zeitbestimmung anzugeben.

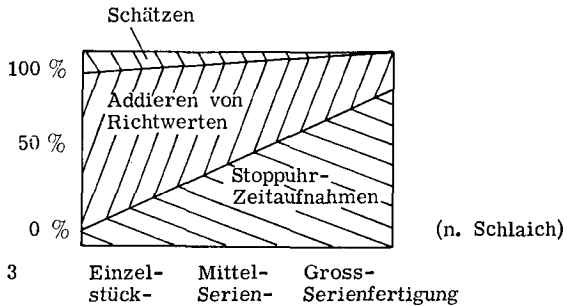
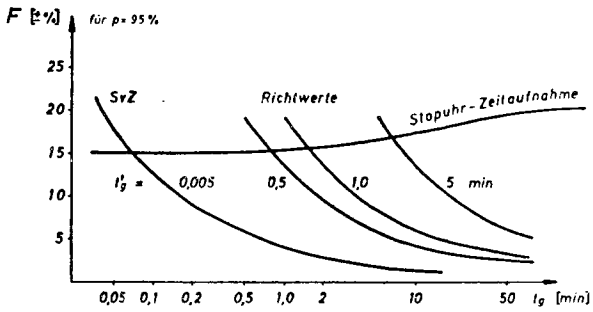


Bild Nr. 3 Einzelstück- Mittel-Serien- Gross-Serienfertigung

Zum Bild ist zu bemerken, dass der Anteil Stoppuhr-Zeitaufnahme die verschiedenen Messinstrumente und nicht nur die Stoppuhr allein umfasst.

Nicht berücksichtigt sind die Systeme der vorbestimmten Zeiten, die unter schweizerischen Verhältnissen nur ein kleines Gebiet für die Vorgabezeit-Bestimmung beherrschen. Der gleiche Autor hat auch die Genauigkeit von verschiedenen Methoden der Zeitbestimmung überprüft, um Schlüsse über das zweckmässigste Einsatzgebiet zu ziehen.

Im Bild Nr. 4 sind die gemessenen Zeiten über die Leistungsgradschätzung in normalisierte Zeiten umgewandelt, um sie mit den übrigen vergleichen zu können.



(n. Schlaich)

Bild Nr. 4 Zufälliger Fehler  $F$  verschiedener Verfahren der Zeitbestimmung

## 5 Zeitmessung

Unter den Möglichkeiten für die Zeitermittlung sticht nebst dem Schätzen und Vergleichen, deren Schwächen bereits unter 1.1 aufgezählt wurden, die Zeitmessung hervor, wobei die vielfältige Anwendung auffällt.

Wie aus den nachstehenden Ausführungen hervorgeht, zeigt sich auch eine grosse Vielfalt an Messinstrumenten (8) (9). In einer ersten Gruppierung kann man zwischen automatischen und manuellen Instrumenten differenzieren, deren Unterscheidungsmerkmal im Grad der Betreuung durch den Beobachter liegt.

### 5.1 Automatische Zeitmessinstrumente

In die Gruppe der automatischen Messinstrumente fallen beispielsweise Betriebsstundenzähler, Tachografen, Centralograf usw., deren Ueberwachen zur Hauptsache im Auswechseln der Registrierscheiben resp. -streifen besteht. Durch diese Instrumente lassen sich z.B. Auslastungen von Maschinen u. ä. messen, jedoch keine Zeitabläufe, die sich unabhängig von Maschinen und Anlagen abwickeln. Ferner können sie keine Angaben über die menschliche Leistung machen. Für Informationen dieser Art muss der Beobachter den Ablauf überwachen und eine Leistungsbeurteilung vornehmen.

### 5.2 Manuelle Messinstrumente

Das Charakteristikum dieser Instrumentengruppe besteht darin, dass der Beobachter während der ganzen Aufnahmezeit anwesend sein muss. Die Auswertung der Zeitaufnahmen erfolgt zur Hauptsache durch den Beobachter, in Einzelfällen durch eine Hilfskraft, und gelegentlich wird der Einsatz von elektronischen Rechenautomaten in Betracht gezogen. Eine Unterteilung der manuellen Messinstrumente lässt sich nach folgenden Gesichtspunkten vornehmen:



- zählende Messverfahren
- registrierende Messverfahren
- Tonbandaufnahmeverfahren
- Filmaufnahmeverfahren
- elektronische Hilfsmittel für das Zeitstudium.

### 5.2.1 Zählende Messverfahren

#### Stoppuhren und ihre Varianten

Selbst in der Gruppe der Stoppuhren für Zeitstudien existiert eine große Zahl von verschiedenartigen Ausführungen, wie Kronenstoppuhr, Stoppuhren mit Schleppeiger, Additionsuhr usw., wobei hauptsächlich Uhren mit einer Hunderterteilung der Minute angewendet werden (10).

Das Verfahren mit den Stoppuhren lässt sich noch aufteilen in:

- Einzelzeitverfahren
- Fortschrittszeitverfahren
- Duostoppverfahren.

Dabei lässt sich das Einzelzeitverfahren mit einer Einzeluhr oder Uhrkombinationen mit 1, 2, 3 oder 4 Uhren verwirklichen.

Die Vor- und Nachteile der Einzel- und Fortschrittszeitverfahren sind:

#### Einzelzeitverfahren:

- Einsparung an Auswertungszeit
- 2. Uhr zur Bestimmung der Gesamtzeit
- Gefahr des Verlustes einer Einzelzeit
- Beeinflussung beim Schätzen des Leistungsgrades

#### Fortschrittszeitverfahren

- zusätzliche Auswertzeit
- Gesamtzeit ergibt sich automatisch
- Gefahr von Rechenfehlern
- keine Beeinflussung beim Schätzen des Leistungsgrades.

Bedingt durch die unterschiedliche Beanspruchung des Beobachters einerseits und durch die Messmethodik andererseits, ergeben sich verschiedene Grade von Genauigkeiten. Durch Versuche konnte nachgewiesen werden, dass bei Einzelzeitverfahren stets ein gewisser Zeitverlust auftritt, der sich in unterschiedlichen Gesamtzeiten gegenüber dem Fortschrittszeitverfahren äussert (11).

Eine weitere Untersuchung zeigt den Einfluss der Art der Arbeit auf den vorerwähnten Messfehler. Muss eine Arbeit beobachtet werden, deren Messpunkte zur Unterteilung der Teilzeiten nur akustisch wahrnehmbar sind, so ergibt sich nur eine unbedeutende Differenz. Besteht hingegen lediglich eine optische Signalisierung, was ein ständiges Beobachten erfordert, so weist das Fortschrittszeitverfahren einen kleinern Fehler gegenüber dem Einzelzeitverfahren auf (12) (13).

Als Nachteil der Stoppuhr-Zeitaufnahmen im Fortschrittszeitverfahren wird der grosse Aufwand für die Auswertung empfunden, so dass in gewissen Fällen bereits der Einsatz von elektronischen Rechenanlagen in Betracht gezogen wird. Dadurch lassen sich in kürzeren Zeiten wesentlich eingehendere Auswertungen vornehmen, z. B. hinsichtlich zusätzlicher statistischer Sicherheit usw. (14).

Als Begrenzung für den Einsatz von Stoppuhren erweist sich das Auflösungsvermögen, das erfahrungsgemäss bei 0,1 Min. liegt (15). Weiterentwicklungen versuchen diese Schranken zu durchbrechen. Der eine Versuch geht in Richtung elektrisch betätigter Stoppuhr, ein anderer in Richtung einer elektronischen Vielfach-Stoppuhr (16). In diesem Falle beleuchtet man die momentane Zeigerstellung, und dank eines nachleuchtenden Zifferblattes kann mit einem Verzug von 10 Sek. bis 1 Min., je nach Helligkeit des Raumes, der Stand abgelesen werden. Die Schranke für das Auflösungsvermögen ist somit weitgehend durch die Schreibgeschwindigkeit des Beobachters gegeben.

Eine mehr mathematische Lösung zur Erfassung kurzer Zeiten stellt die sogenannte Stufenmethode (17) (18) dar. Hierbei werden Teilzeiten zusammengefasst, gemeinsam gemessen und hernach rechnerisch zerlegt.

Ein einfaches Beispiel soll das Prinzip erläutern:

$$\begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} 1. \text{ Stück} \\ t_1 \\ t_2 \end{array} \right\} t_a \\ \left. \begin{array}{l} t_3 \\ 2. \text{ Stück} \\ t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{array} \right\} t_b \\ \left. \begin{array}{l} t_3 \\ t_2 \\ t_1 \end{array} \right\} t_c \end{array} \quad \begin{array}{l} t_1 = \frac{t_a + t_b - t_c}{2} \\ t_2 = \frac{t_a - t_b + t_c}{2} \\ t_3 = \frac{t_b + t_c - t_a}{2} \end{array}$$

Eine weitere Möglichkeit für die Erweiterung des Anwendungsbereiches der Stoppuhr-Zeitaufnahmen besteht in der Ergänzung mit einem Tonbandgerät, der sogenannten diktierten Zeitstudie. Damit kann die Zeit für die Niederschrift der Zeiten und von Bemerkungen verkürzt werden (19). Zudem ist der Beobachter beweglicher bei stark variierendem Arbeitsablauf.

#### Kairos-Zeitähler

Beim Einsatz irgendwelcher Stoppuhren oder Uhrkombinationen muss der Beobachter immer eine Analog-Digital-Umwandlung vornehmen, was zu Fehlablesungen und -übertragungen führen kann. Um diese Schwierigkeiten zu vermindern, entwickelte das Max Planck-Institut in Bad Kreuznach eine elektrische, digitalanzeigende Uhr mit Batterieantrieb, den Kairos-Zeitähler (20) (21). Das Aufnahmebrett, mit 2 Kairos-Zeitählern ausgerüstet, gestattet eine unmittelbare Erfassung von Einzelzeiten, was die Auswertungszeit, wie bei der Stoppuhr Einzelzeitmessung, klein hält.

#### 5.2.2 Registrierende Messgeräte

### 5.2.2.1 Druckende Messgeräte

#### Paraprint (Ferrari) (22).

Mit einem Paraprint lassen sich die gemessenen Einzelzeiten direkt in digitaler Form ausdrucken. Im gleichen Druckvorgang können noch separat einstellbare Werte für die Bezeichnung der Teilzeit und den Leistungsgrad ausgedruckt werden. Die Kapazität für die Einzelzeiten beträgt 9,99 Minuten, für die Bezeichnung der Teilzeiten 20 Ziffern und für den Leistungsgrad der Bereich von 55 bis 150 %, in Stufen zu 5 %. Zur Vermeidung von Zeitverlusten beim Stoppen des Zählwerkes, Drucken, Nullstellen, Zeilenvorschub und Starten wird der Zeitverzug im Zeitspeicher aufgefangen und durch eine Vorgabe kompensiert. Vorteilhaft erscheint die günstige Anordnung der ausgedruckten Resultate, die minimale Fehler in den Auswertungen erwarten lassen, während für die Schwankungsbeurteilung der Einzelzeiten zusätzliche graphische Darstellungen notwendig sind. Nachteilig erweist sich indessen die Gebundenheit an einen festen Standort, bedingt durch den Stromanschluss; zudem ist das Gerät für stationären Gebrauch konstruiert. Für den Fall, dass kleine Zeitwerte erfasst werden sollen, liegt die Begrenzung des Auflösungsvermögens in der Einstellung der Zusatzwerte für Bezeichnung und Leistung. Der zur Verfügung stehende Bereich für die Leistungsbeurteilung bei kurzfristigen Spitzenleistungen ist eher knapp.

Beispiel einer Ausgabe:

			14 Einzelzeit Nr.
14	05	0.23	05 Leistungsgrad 105 %
			0.23 Ergebnis in cmin.

Eine ähnliche amerikanische Konstruktion wurde von Prof. Thuesen von Oklahoma Agricultural and Mechanical College (23) geschaffen, wobei Zeiteinheiten von  $10^{-3}$  Min. erfasst werden können. Bezeichnungen und Leistungsgrade sind handschriftlich einzutragen.

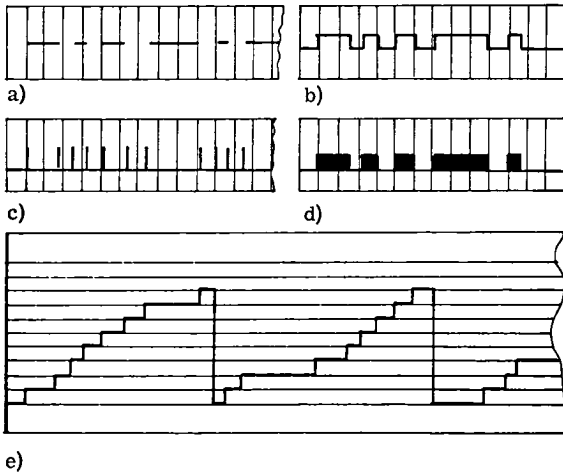
### 5. 2. 2. 2 Schreibende Messgeräte

Schreibende Messgeräte bewirken eine Entlastung des Beobachters, der sich somit in vermehrtem Masse dem Arbeitsvollzug widmen kann, d. h. dem Erkennen der Messpunkte, dem Beurteilen der Leistung, dem Bedienen des Gerätes und dem Ausführen von Notizen. Als Resultat zeichnen die Geräte den Zeitablauf auf, was je nach der Art der Darstellung eine rasche Beurteilung der Gleichmässigkeit der Arbeitsausführung ermöglicht. Notieren muss der Beobachter die Leistungsgradschätzungen und, soweit nötig, die Teilzeitbezeichnungen. Ungünstig ins Gewicht fällt der Aufwand für die Auswertung, indem Distanzen in Zeiten umzuwandeln sind, was eine gewisse Fehlerquelle einschliesst.

Die graphischen Schaubilder lassen sich in verschiedene Arten unterteilen:

#### 1. Zeitvorgang- oder Zeitverlauf-Diagramme, Bild Nr. 5

Das Diagrammpapier wird mit konstanter Geschwindigkeit transportiert, und die Markierung der Teilzeiten erfolgt durch einen Schreiber, der abgehoben, kurzfristig oder länger ausgelenkt oder in Schwingung versetzt wird.



2. Zeit-Zeit-Diagramm, Bild Nr. 6

Sowohl das Diagrammpapier als auch der Schreiber werden senkrecht zueinander mit konstanter Geschwindigkeit transportiert, was ein sägezahnförmiges Schaubild ergibt.



3. Zeit-Weg-Diagramme, Bild Nr. 7

Der Schreiber zeichnet auf dem Diagrammstreifen ein massstäbliches Abbild eines bewegten Teils einer Maschine.



Arbeitsschauuhr (Kienzle) (24)

Die Arbeitsschauuhr kann als Einzelschreiber mit einem Zeit-Zeit-Diagramm oder für Aufnahmen von Mehrstellenarbeiten mit zusätzlichen 7 Schreibern, die ein Zeitverlauf-Diagramm wiedergeben, eingesetzt werden. Kleinste Zeiten können durch Abheben des Schreibers und Verzögerungen durch Arretierung des Schreibers registriert werden. Das Zeit-Zeit-Diagramm erleichtert den Ueberblick über die Regelmässigkeit.

### Diagnostiker (Peiseler)

Dieses Gerät kann als selbsttätiger Zeitschreiber mit einem Zeit-Weg-Diagramm oder als normales Zeitaufnahmegerät mit einem Zeitverlauf-Diagramm eingesetzt werden (Stufendiagramm). Der Chronograph von Michelin (25) und der Marsto-chron (26) sind Geräte, die ein Zeitverlauf-Diagramm gemäss Bild Nr. 5b liefern, jedoch hierzulande keine Verbreitung haben. Bei beiden Geräten dient ein mit konstanter Geschwindigkeit bewegter Papierstreifen zur Informationsaufnahme, indem die Teilzeiten durch gestanzte Marken abgegrenzt werden. Für die Auswertung werden die Distanzen zwischen den Marken ausgemessen und mit der Transportgeschwindigkeit umgerechnet.

Ein weiteres schreibendes Gerät stellt der Kymograph dar, der als selbsttätiges Instrument Zeiten von  $10^{-5}$  Min. misst und anzeigt und vor allem zur Bestimmung von Bewegungselementen verwendet wird. Auslösung des Schreibers durch photoelektrische Zellen oder Mikroschalter (23).

### Stopprechner (Peiseler)

Eine Kombination von schreibendem und zählendem Messinstrument stellt der Stopprechner dar. 10 verschiedene Zeitarten können den Zählern bzw. den Schreibern (Zeitverlauf-Diagramm gemäss Bild 5c) zugeordnet werden. Durch Betätigen der entsprechenden Tasten werden gleichzeitig Zeitzähler, Schreiber und ein Häufigkeitszähler ausgelöst. Der letztgenannte erfasst die Anzahl der gleichartigen Zeiten.

Zur Auswertung kann auf einfache Weise der arithmetische Mittelwert durch Division des Zeitzählerstandes durch den Häufigkeitszählerstand errechnet werden. Diese kurze Auswertzeit lässt sich jedoch nur unter gleichzeitigem Verlust der Information über die Streuung der einzelnen Zeitwerte erreichen. Anhand des Diagramms kann auch diese Information gewonnen werden, wobei der aufgeführte Gewinn an Auswertungszeit verloren geht. Eine Fehlermöglichkeit besteht bei der Registrierung der Häufigkeiten, wenn z.B. eine Zeit durch eine Verteilzeit unterbrochen wird.

Eine Vorstufe zu diesem zählenden und schreibenden Gerät stellt das Zeitnehmergerät "Dekatest, Ferrari" dar, das aber nur mit dem zählenden Teil ausgerüstet ist.

Als Nachteil für alle diese schreibenden Geräte muss der feste Standort bei externer oder die Schwere des Gerätes bei interner Stromversorgung gewertet werden (4).

### 5.3 Tonbandaufnahmeverfahren

Aus dem kombinierten Gebrauch von Stoppuhren und Tonbandgerät, der diktierten Zeitstudie einerseits und dem Prinzip des Chronographs oder des Marsto-chrons andererseits entstand die Tonband-Zeitstudie. Als Schwerpunkt dieser Messart gilt die Reportage des Arbeitsablaufs mit den gleichzeitig aufgegebenen, automatischen Zeitmarken. Zur Signalisierung der einzelnen Teilzeiten können sogenannte Stoppzeichen gespeichert werden, die der Beobachter an seinem Mikrophon auslösen kann.

Bei der Auswertung wird der Text über einen Lautsprecher wiedergegeben, und gleichzeitig registriert ein Zähler die Zeitmarken zwischen 2 Stoppzeichen. Ein Stoppzeichen bringt das Band zum Stehen, wobei an einem Zählwerk die Teilzeit abzulesen ist.

Bild Nr. 8 zeigt das Prinzip von Aufnahme und Auswertung.



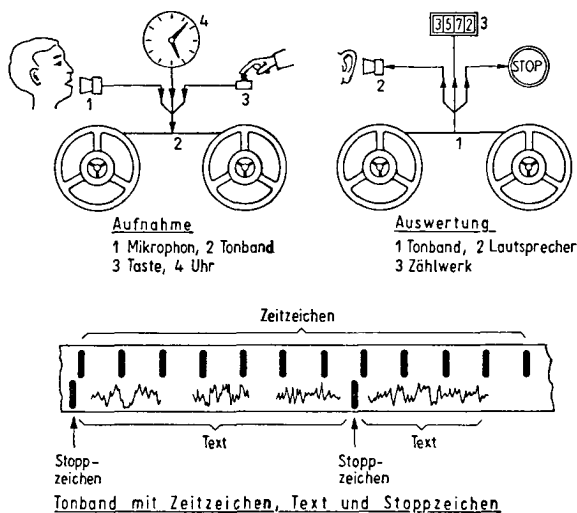


Bild Nr. 8 (n. Lorenz)

Nach einem etwas vereinfachten Aufbau desselben Prinzips arbeiteten die Zeitstudienleute der Société de la Viscose Suisse in Emmenbrücke (29). Bei dieser Anwendung (Aufnahme und Auswertung) wird auf die Zeitmarken verzichtet und nur auf den Zeitbedarf für den Ablauf des Tonbandes abgestellt. Dieses Weglassen der Zeitmarken erfordert aber eine hohe Konstanz der Laufgeschwindigkeit des Informationsträgers sowohl bei der Aufnahme als auch bei der Wiedergabe.

Dieses relativ neue Verfahren bietet eine ganze Reihe von Vorteilen:

- einfache Bedienung des Gerätes, was ein intensives Beobachten des Arbeitsablaufs ermöglicht
- keine vorherige Zeitgliederung nötig, daher günstig bei wechselhaften Arbeitssituationen

- feine Aufgliederung in Teilarbeiten (grosses Auflösungsvermögen) und grosse Genauigkeit der erfassten Zeiten
- chronologischer Ablauf ohne Schreibarbeiten während der Zeitmessung
- keine Ablese- und Uebertragungsfehler.

Diesen Vorteilen stehen folgende Nachteile gegenüber:

- hohe Gerätekosten (Lösung von Simmler (29) erheblich billiger)
- längere Auswertzeit (teilweise durch Hilfskraft ausgeführt)
- erschwerte Transportierbarkeit
- Störanfälligkeit
- fragliche Verständlichkeit des Textes bei Aufnahmen in Räumen mit hohem Lärmpegel.

Im Bestreben, mit diesem Gerät immer kürzere Zeiten bis zu Zeiten für Bewegungselemente zu erfassen, sind Versuche mit Kontakt-Zeitstudien unternommen worden (30). Dabei wirkt sich als begrenzendes Element der Zeitbedarf für die Bezeichnung der einzelnen Teilzeiten aus, und zwar so, dass bei der Auswertung noch eine eindeutige Zuordnung möglich ist. Für die Messung kürzester Zeiten ohne Kontakt-Zeitstudien bedarf es eines ziemlich hohen Einübungsgrades, um den schwierigen synkopischen Rhythmus zwischen Sprache und Handbewegung zu beherrschen (31).

#### 5.4 Filmaufnahmeverfahren

Das Film-Verfahren entstand schon in der Pionierzeit des Arbeits- und Zeitstudiums zur Zeit von Taylor und Gilbreth. Infolge der ziemlich hohen Kosten und des grossen Zeitbedarfes für die Auswertungen hat der Film als Mittel zur Zeitbestimmung nur eine beschränkte Verbreitung gefunden. Ein grösserer Einsatz erfolgte bei der Grundlagenbeschaffung für die Systeme vorbestimmter Zeiten.

Die Aufnahmetechnik lässt sich auf Grund der unterschiedlichen Aufnahme-  
geschwindigkeiten in verschiedene Gruppen aufteilen (32):

- Einzelaufnahmen in regelmässigen oder zufällig verteilten Intervallen  
(Multimomentstudie)
- 50, 60 oder 100 Bilder/Min. bei normaler Projektionsgeschwindigkeit (Fornallaz empfiehlt 100 Bilder/Min., um den Anschluss an die klassische Zeitstudie zu finden.) (Zeitrafferfilm oder Memofilm)
- 960 - 1440 Bilder/Min. (wird als normaler Film bezeichnet)
- 3800 Bilder/Min. bei normaler Projektionsgeschwindigkeit  
Zeitlupenaufnahmen für Bewegungsstudien
- 8 - 10'000 Bilder/Min. bei normaler Projektionsgeschwindigkeit für  
Untersuchungen in der Materialprüfung und für Bewegungsstudien.

Je nach den Gegebenheiten, Filmapparat einerseits und zu erfassender  
Ablauf andererseits, wird zur nachfolgenden Zeitbestimmung entweder lau-  
fend eine Spezialuhr, ein sogenannter Mikro-Minutenzähler mit einer An-  
zeige von  $10^{-3}$  Min., mitgefilmt oder die Zeiten werden anhand der aus-  
gezählten Filmbilder je Arbeitsverrichtung ermittelt. Für das Auszählen  
von Filmen werden wiederum teure Apparaturen benötigt.

Die Vorteile von Filmen im Arbeits- und Zeitstudium sind die folgenden:

- grösste Genauigkeit bis auf  $10^{-3}$  Min. und kleiner
- dokumentarische Wiedergabe des Arbeitsvollzuges, besonders vorteil-  
haft bei Gruppenarbeit
- Wiederholbarkeit der Projektionen unter Laborbedingungen, unter Um-  
ständen bei reduzierter Geschwindigkeit
- Möglichkeit einer unabhängigen Leistungsgradschätzung

Diesen Vorteilen stehen als Nachteile gegenüber:

- hohe Kosten für:
  - Aufnahme
  - Wiedergabe
  - Auswertung
  - Filmmaterial
- hoher Auswerteaufwand (Dauer und Schwierigkeit)
- Abhängigkeit von Lichtverhältnissen.

Aus dem Wunsch heraus, die Vorteile der Filmstudien bei erträglichen Kosten auszunützen, ist der Zeitrafferfilm (Kosten für einen Zeitrafferfilm 6 - 10 % eines Normalfilms) entstanden, wobei in der Literatur über die Eignung dieses Verfahrens für die Zeitbestimmung keine einheitliche Meinung herrscht (23) (33) (34).

## 5.5 Elektronische Hilfsmittel für das Zeitstudium

Bereits sind bei den bisher aufgezählten Geräten z. T. elektronische Apparate zum Einsatz gekommen, z. B. beim Stoppbandgerät mit eingebauter Synchron-Impulsgebung oder bei den lochkartenmässigen Auswertungen. Neuere Tendenzen zeichnen sich nun in den USA ab, indem Geräte entwickelt werden, die eine weitgehende selbsttätige Erfassung von Handarbeiten ermöglichen sollen. Der heutige Stand zeigt schon eine ziemlich grosse Vielfalt an verschiedenartigen Geräten, die verschiedene physikalische Prinzipien anwenden, wie z. B. Dopler-Effekt, Beschleunigung von Massen usw. Das gemeinsame Merkmal dieser Geräte bilden die hohen Anschaffungspreise, der beschränkte Einsatzbereich; überdies stehen sie meist noch im Stadium der Laborversuche (35) (36) (37).

Der Vollständigkeit halber seien hier einige dieser Neuentwicklungen aufgezählt:

UNOPAR Universal Operator Performance Analyser and Recorder

ETR	Electronic Time Recorder
ETMR	Electronic Time and Motion Recorder
SEMTAR	Sequentrial Electronic Motion Timer and Recorder
EDC	Electronic Data Collector

Soweit die Literatur verfolgt werden kann, scheint der UNOPAR bis jetzt die grösste Vielseitigkeit aufzuweisen.

## 6 Vergleich der Zeitmessgeräte

In diesen Vergleich werden nur manuelle Geräte einbezogen. Jedes aufgeführte Gerät weist gewisse Vor- und Nachteile auf, was ihm ein bestimmtes Anwendungsgebiet vorbehält. Dabei spielen die spezifischen Betriebsverhältnisse (zur Verfügung stehendes Zeitstudienpersonal, Lärm, Raumverhältnisse usw.) eine wichtige Rolle.

Bei der Auswahl der Zeitmessgeräte müssen verschiedene Gesichtspunkte in Betracht gezogen werden:

- Geräteabhängiger Messfehler
- Auflösungsvermögen (erzielbare Gliederungstiefe des Arbeitsganges)
- Zeitaufwand für die Durchführung und Auswertung von Messungen
- Geräte- und Verbrauchsmaterialkosten
- Transportfähigkeit
- Abhängigkeit vom Standort (Stromanschluss und Lichtverhältnisse)
- Uebersichtlichkeit der Messdaten (Zeitaufnahmebogen, Diagramme)
- Grad der Beanspruchung des Beobachters durch den Messvorgang resp. freie Kapazität für die Beobachtung der Arbeit hinsichtlich Leistungs- und Arbeitsmethoden-Beurteilung.

An vergleichenden Messungen mit den verschiedenen Geräten kennt man 4 Versuchsreihen aus der Literatur, die eine Klassierung nach mehreren Kriterien ergeben (7) (38) (39) (40). Lorenz (38) führte seine Vergleiche anhand eines Filmes mit Symboldarstellungen und an einer Laborarbeit durch. Haase und Böhrs (39) werteten Demonstrationsversuche im Rahmen einer Vorlesung mittels gefilmter Laborarbeit aus. In beiden Fällen beteiligten sich mehrere geübte Zeitstudienleute an den vergleichenden Versuchen.

Im Falle der Versuche von Eger handelt es sich in einem 1. Teil um gefilmte praktische Arbeiten, die durch denselben Beobachter mit den

verschiedenen Geräten, und einen 2. Teil um gefilmte Laborarbeiten, die durch mehrere geübte Zeitstudienleute erfasst wurden.

Nachstehend die Messresultate einerseits von Lorenz und andererseits von Eger, Erler, Züllich.

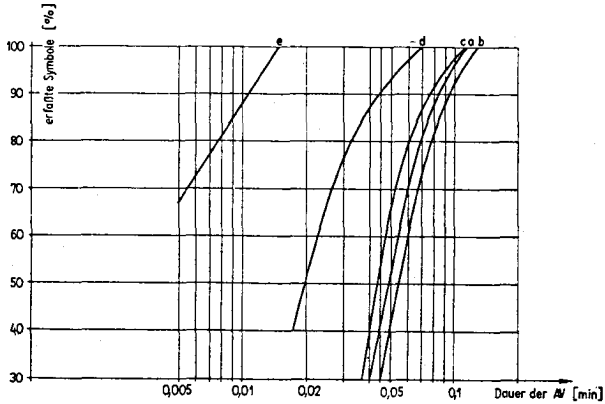


Bild Nr. 9a) Erfassbare Messwerte in Abhängigkeit von der Dauer der Arbeitsverrichtung (n. Lorenz)

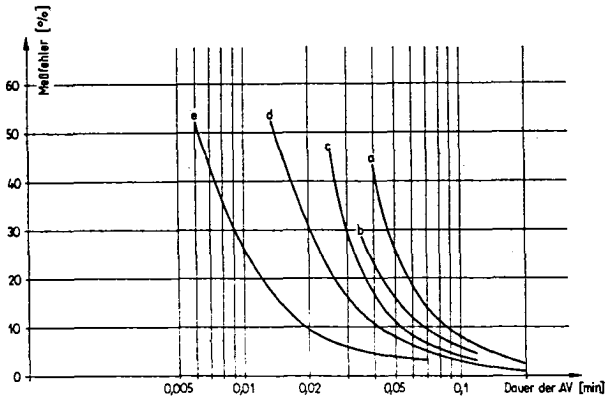
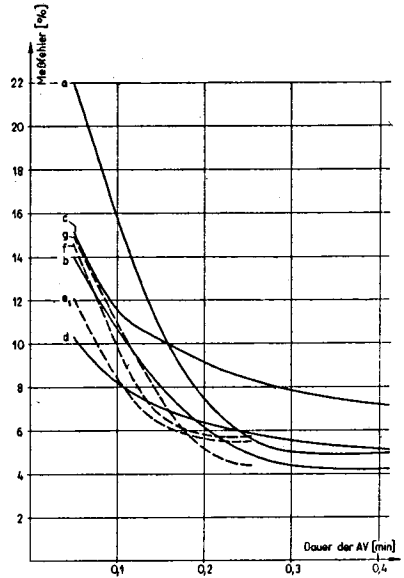
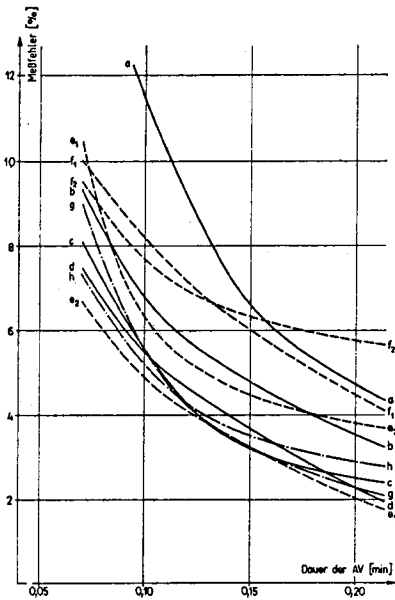


Bild Nr. 9b) Mittlerer prozentualer Fehler in Abhängigkeit von der Dauer der Arbeitsverrichtungen (n. Lorenz)

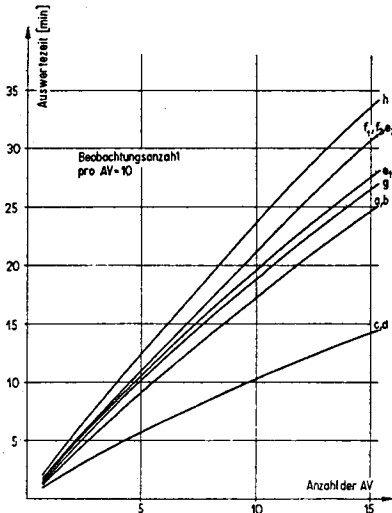
Bezeichnung der Geräte für 9a, 9b Symbolfilm  
a - Stoppuhr, b - Arbeitsschauuhr, c - Uhrkombination  
d - Stoppuhr mit Tonbandergänzung, e - Stoppband



9c) Versuch I: Versuchsfilm

9d) Versuch II: Laborarbeit

Mittlerer prozentualer Fehler in Abhängigkeit von der Dauer der Arbeitsverrichtung



Bezeichnungen für Bild 9c), 9d), 9e):

- a - Kronenstoppuhr/Fortschrittszeitmessung
- b - Schleppeigerstoppuhr
- c - Kronenstoppuhr/Einzelzeitmessung
- d - Uhrenkombination
- e1 - Arbeitsschauuhr/Tintenschreiber
- e2 - Arbeitsschauuhr/Saphirkristall
- f1 - Diagnostiker/50 mm/min Papierorschub
- f2 - Diagnostiker/100 mm/min
- g - Zeitdrucker
- h - diktierter Zeitstudie

9e) Zeitaufwand für die Auswertung der Zeitmessung

(n. Eger, Erler, Züllich)



Nebst der Ermittlung rein zahlenmässiger Resultate hat man versucht, eine Klassierung nach verschiedenen Gesichtspunkten aufzustellen, wie sie aus der nachstehenden Tabelle ersichtlich ist.

Die Ziffern in Klammern geben Hinweise auf die Herkunft der Angaben (s. Literaturverzeichnis).

Rang	A	E	F	G	B(40)	B(39)	C(40)	C(39)	D(40)	D(39)
1	i	b2	a3	a3, 4, 5	i	i	h	i	i	i
2	h	a4, 5	a4, 5		h	h	g	h	d	f
3	g				c, d, e, f	e, f	d	c, d, e, f	e, f	e
4	d	c	b2	b2			c, e, f			h
5	b2	a3	e, g	d		d			g, h	d
6	c	d, e		g		a1, 2/ b1				a1, 2/ b1/c
7	a3		c	f	g		b2	b1	a3, 4 5/b2	
8	a5	h	d	c	a3/b2		a4, 5	a1, 2		
9	e	g	f	e		c				
10	a4	i	h	h	a5		a3			
11			i	i	a4		i		c	

Bild Nr. 10

Legende zu Bild Nr. 10

Erfasste Geräte:

- a1 Einzelstoppuhr nach REFA Fortschrittszeitmessung (39)  
Ablesen ab laufendem Zeiger
- a2 Einzelstoppuhr nach Bedaux Einzelzeit (39)
- a3 Kronenstoppuhr / Einzelzeitmessung (40)
- a4 Kronenstoppuhr / Fortschrittszeitmessung (40)
- a5 Kronenstoppuhr / Schleppeizermessung (40)
- b1 Mehrfach-Stoppuhr (Zweierkombination) (39)
- b2 Uhrkombination (Dreierkombination) (40)
- c Zeitdrucker (Paraprint/Ferrari) (39) (40)

- d Arbeitsschauuhr (Kienzle) (39) (40)
- e Diagnostiker (Peiseler) (39) (40)
- f Stopprechner (Peiseler) (39) (40)
- g Stoppuhr mit Tonbandergänzung (40)
- h Tonband (Stoppband, Lorenz) (39) (40)
- i Film (39) (40)

Klassierungsgesichtspunkte:

Rangordnung in bezug auf:

A die Messgenauigkeit.

Infolge der Abhängigkeit der Messgenauigkeit von der Dauer der Teilzeiten kann es sich nur um eine grobe Abschätzung handeln.

Aus der Aufstellung kann gefolgert werden, dass für die Fortschrittszeitmessung eine Kronenstoppuhr besser durch eine Schleppzeigerstoppuhr ersetzt wird.

B die Gliederungstiefe (Auflösungsvermögen).

Je weniger der Beobachter durch seine messtechnische Manipulationen ausgelastet ist, desto feiner kann die Gliederung in Teilzeiten vorgenommen werden, was gewisse Einflüsse eher zutage treten lässt. Dadurch werden einzelne Rationalisierungsmöglichkeiten besser erkennbar. Die Gliederung wird begrenzt durch die eindeutige Bezeichnung der Teilzeiten und deren vertretbaren Fehlern.

Die Rangordnungen von Haase / Böhrs und Erler / Züllich decken sich gut.

Die rein apparative Ausgestaltung von Stopprechner, Diagnostiker und Zeitdrucker beschränkt diese Geräte in ihrer Anwendung, denn es kann nur zwischen 10 und 20 verschiedenen Zeitarten unterschieden werden.

C die Möglichkeiten, den Arbeitsvollzug zu beobachten und Bemerkungen zu fixieren.

Dieser Punkt ist von Wichtigkeit, wenn stark variable Arbeitsgänge

zu erfassen sind. Auffallenderweise wird die Filmkamera von Er-ler / Züllich im Gegensatz zu Haase / Böhrs am Schluss plaziert, was in Anbetracht der wirklichkeitsgetreuen Reproduktionsmöglichkeit kaum gerechtfertigt erscheint.

D die Anschaulichkeit der Unterlagen.

Hiebei wird nebst der günstigen zahlenmässigen Auswertmöglichkeit das Gewicht vor allem auf die graphische und textliche Darstellung gelegt. Dabei überrascht, dass bei Haase / Böhrs die Arbeitsschauuhr ungünstig beurteilt wird, obwohl das entstehende Zeit-Zeit-Diagramm einen raschen Ueberblick über Schwankungen und Tendenzen vermittelt.

E den Zeitaufwand für die Durchführung und Auswertung der Zeitmessung.

Darin eingeschlossen sind nebst den zeitlichen Aufwendungen für die Aufnahmen diejenigen für die Berechnung von Einzelzeiten, der Mittelwerte, unter Berücksichtigung der Leistungsfaktoren und das Summieren der Mittelwerte.

F die Kosten für Geräte und Verbrauchsmaterial.

G Transportfähigkeit, Handlichkeit, Abhängigkeit vom Stromnetz, Lichtverhältnisse usw.

Je nach dem Einsatzgebiet kann dieser Punkt sehr unterschiedliche Bedeutung haben, z. B. bei Aufnahme auf Bauplätzen.

Diese Tabelle in Bild 10 stellt einen Versuch zur Einordnung der verschiedenen Geräte dar und kann nicht Anspruch auf Allgemeingültigkeit erheben, da doch auch gewisse subjektive Einstellungen bei der Klassifizierung mitspielen.

Eine vergleichende Studie von Schilling (41) über den Einsatz von Stoppuhr (oder andere Zeitmessgeräte) oder Film zeigt, dass, wenn der gleiche Film nach verschiedenen Merkmalen ausgewertet werden soll und nicht hohe Filmgeschwindigkeiten infolge kleiner Teilzeiten erforderlich sind, sich bald ein gleichwertiger Aufwand für Messung und Auswertung ergibt.

## 7 Leistungsbeurteilung

Beim bisherigen Vergleich der Messverfahren erweist sich nebst der erreichbaren Messgenauigkeit die Auslastung des Zeitstudienmannes durch die Manipulationen für den Messvorgang als wichtige Grösse. Im Verlauf der Zeitstudien muss nämlich genügend Zeit vorhanden sein, um den Arbeitsablauf umfassend zu beschreiben, damit im Falle von Reklamationen eine genaue Reproduzierbarkeit möglich ist oder bei kleinen Rationalisierungen sich Revisionen von Zeitunterlagen rechtfertigen lassen.

Im weitem muss eine Leistungsbeurteilung erfolgen, um die gemessenen Istzeiten auf normalisierte Zeiten umzurechnen. Je nach dem Verfahren ist der Leistungsgrad für jede Teilzeit (bei Bedaux) oder mindestens in Intervallen (bei REFA) zu schätzen. Die ganze Leistungserfassung kann trotz grossen Bemühungen bis heute nur geschätzt und nicht gemessen werden. Diesem Schätzen haften trotz den Gliederungsversuchen in Unterkomponenten (z. B. Einsatz und Wirksamkeit bei REFA (2) oder Anstrengung, Geschicklichkeit, Gleichmässigkeit und Arbeitsbedingungen beim Leveling-Verfahren) Unsicherheiten und Fehler an, die unmittelbar in die Berechnungen der Vorgabezeiten eingehen. Auch bei intensivem Training von geübten Zeitstudienleuten kann nur in der Umgebung der Normalleistung (= 100 %) mit einer Abweichung von  $\pm 5\%$  gerechnet werden. Bei Leistungen, die verschieden sind von der Normalleistung, müssen grössere Abweichungen hingenommen werden, wobei in der Regel kleine Leistungen zu hoch und hohe Leistungen zu niedrig eingeschätzt werden (42).

## 8 Multimomentstudie (MM-Studie)

### 8.1 Entstehung

Bereits aus den 30er Jahren stammen die ersten Veröffentlichungen über statistische Verfahren der Zeitbestimmung von E. Kohlweiler und C. H. C. Tippett, wobei der letztgenannte als der geistige Vater dieses Verfahrens bezeichnet wird. Sein klassischer Versuch in englischen Webereien wickelte sich in einer Form ab, wie sie noch heute praktisch unverändert angewendet wird. Durch die Amerikaner Morrow und später Barnes gelangte dieses Verfahren unter der heute üblichen Bezeichnung Work sampling in den USA zum Durchbruch. In Europa wurde die MM-Studie vor allem von de Jong (41) wieder entdeckt, der auch die vorgenannte Bezeichnung prägte, erst zu Beginn der 50er Jahre bekannt. In der Folge verbreitete sich diese Art und Weise der Zeitbestimmung in den industrialisierten Ländern ziemlich rasch (44). Um gewisse Begrenzungen der Multimomentstudie auszu-schliessen und ein noch breiteres Anwendungsgebiet zu bearbeiten treten immer wieder gewisse Anpassungen auf.

### 8.2 Prinzip der MM-Studie

Bei der Multimomentstudie handelt es sich um ein Stichprobenverfahren, das, obwohl keine Zeitmessungen vorgenommen werden, zur Zeitbestimmung eingesetzt werden kann. Aus der Darstellung von de Jong lässt sich deutlich das Vorgehen erkennen.

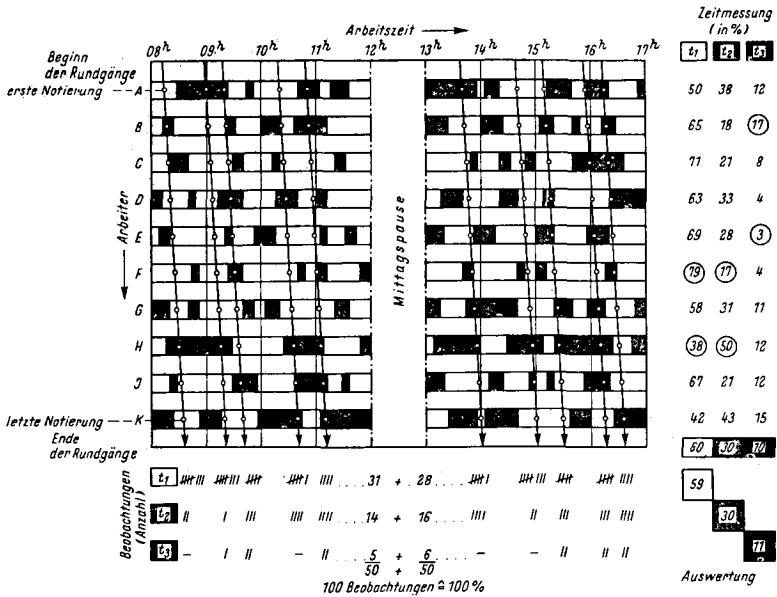


Bild Nr. 11 Prinzip einer MM-Aufnahme (n. de Jong)

In meist unregelmässigen Intervallen führt ein Beobachter Rundgänge in der zu erfassenden Abteilung aus. Dabei kann er nacheinander z. B. mehrere Personen oder Maschinen aufsuchen, um die momentane Art der Ruhe oder Tätigkeit der Personen resp. des Stillstandes oder Laufes der Anlagen festzustellen. Die Bedeutung liegt dabei eindeutig auf der Bezeichnung momentan. Die Feststellungen werden in vorbereiteten Strichlisten, die nach den verschiedenen Personen resp. Zeitarten unterteilt sind, eingetragen. Für die Auswertungen berechnet man auf Grund der Häufigkeit die prozentualen Anteile. Diese Prozentzahlen können entweder als Zuschlagswerte, z. B. Verteilzeitzuschläge, in Zeitvorgabenberechnungen eingehen oder man berechnet, beispielsweise im Zusammenhang mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Verlustzeiten.

Das Hauptanwendungsgebiet der MM-Studie liegt im wirtschaftlichen Erfassen von unregelmässigen Erscheinungen, wogegen andere Zeitbestimmungsverfahren der klassischen Zeitstudie nur unter viel unwirtschaftlicheren Aspekten ähnlich genaue Resultate liefern. Angaben in der Literatur über den Aufwand für Aufnahmen und Auswertung von klassischen Zeitstudien und MM-Studien weisen auf ein Verhältnis von (5 - 10) : 1 hin (4) (45) (46).

### 8.3 Mathematische Grundlagen

Die MM-Studie basiert auf einem Binomialmodell, das sich durch das Urnenexperiment von Bernoulli darstellen lässt. Bei diesem Urnenexperiment sind schwarze und weisse Kugeln vorhanden, die letztgenannten mit einem Anteil  $p$ . Die Erfolgswahrscheinlichkeit, in einem Zug eine weisse Kugel zu greifen, ist  $p$ . Die Wahrscheinlichkeit, in  $n$  Zügen  $w$  weisse Kugeln herauszuziehen, berechnet sich aus

$$f_n(w) = \binom{n}{w} (1-p)^{n-w} p^w$$

unter der Bedingung, dass die gezogenen Kugeln wieder zurückgelegt werden.

Die relative Häufigkeit  $\frac{w}{n}$  stellt eine Zufallsvariable dar, die einer Binomialverteilung mit dem Mittelwert  $p$  und der Streuung

$$\sigma_b^2 = \frac{p(1-p)}{n}$$

folgt (47).

Beim Uebergang von diesem Modell auf die MM-Studie kann man sich die Ja/Nein-Entscheidung auf die Beobachtungen am Arbeitsplatz hinsichtlich Tätigkeit und Wartezeit übertragen denken. In diesem Falle entspricht dann der Wert  $\frac{w}{n}$  einem Schätzwert für den wirklichen Tätigkeitsgrad  $p$ . Von Interesse ist nun die Genauigkeit der Uebereinstimmung von  $\frac{w}{n}$  und  $p$  zu kennen. Für diese Abschätzung der Grenzen wird ge-

mäss Satz von Laplace die Dichtefunktion der Zahl der Erfolge der vorerwähnten Formel für  $n \longrightarrow \infty$  in eine Normalverteilung übergeführt.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[ \binom{n}{w} p^w (1-p)^{n-w} - \frac{1}{\sqrt{2\pi np(1-p)}} \exp - \frac{(w-np)^2}{2 \cdot np(1-p)} \right] = 0$$

Für grosse Stichproben ist der Schätzwert  $\frac{w}{n}$  ungefähr normal verteilt mit dem Mittelwert  $p$  und der Streuung  $\frac{p(1-p)}{n}$ .

Dann ist  $(\frac{w}{n} - p) \sqrt{\frac{n}{p(1-p)}}$  näherungsweise nach  $N(0, 1)$  verteilt. Bei vorgegebener statistischer Sicherheit  $S$  können die Vertrauensgrenzen von  $p$  wie folgt errechnet werden:

$$\frac{w}{n} - \lambda \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \leq p \leq \frac{w}{n} + \lambda \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$$

$$S = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\lambda} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

S (%)	$\lambda$
90	1,64
95	1,96
99	2,58

Für betriebliche Verhältnisse genügen statistische Sicherheiten von 95% vollauf.

Anstelle des unbekanntes Wertes  $p$  wird der Wert  $\frac{w}{n}$  eingesetzt.

Auf Grund der Formel für  $f = \lambda \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}$  kann nun nach Festlegung der geforderten absoluten Genauigkeit  $f$  der Umfang der Stichproben festgelegt werden.

$$n = \frac{\lambda^2 p(1-p)}{f^2}$$



oder für den Fall der relativen Genauigkeit gilt

$$n = \frac{\lambda^2 (1-p) \cdot 10^4}{\tau^2 p} \quad \text{für} \quad \tau = \frac{f}{p} \cdot 100$$

#### 8.4 Zusätzliche Faktoren

##### 8.4.1 Abhängigkeitsfaktor c

De Jong (43) stellte im Gegensatz zu den amerikanischen Zeitstudienfachleuten eine etwas abgewandelte Form der Anwendung auf. Ursprünglich wurden zufällig verteilte Rundenintervalle gefordert, wobei die unter 8.3 erwähnten Formeln für n Gültigkeit haben. De Jong empfiehlt fortlaufende Rundgänge während einer halben Stunde oder länger, um Zeitverluste des Beobachters vor und nach den Rundgängen zu vermeiden. Im übrigen befürchtet er eine bewusste oder unbewusste Beeinflussung der Verrichtungen der beobachteten Arbeiter, die bei langen Beobachtungsintervallen grösser sein soll als in mehreren sich folgenden Rundgängen. Die Möglichkeit, über längere Zeit andere Teilvorgänge als die normalerweise erfolgenden zu verrichten, sei kleiner. Zwischen den einzelnen Arbeitsstellen bestehe immer eine gewisse gegenseitige Beeinflussung von Mensch zu Mensch oder Maschinen zu Mensch, z.B. kurzfristiger Stromausfall in einer Werkstatt, Einflussnahme eines einzelnen Mannes auf die Fließbandfertigung oder Mehrstellenarbeit. Um diese Einflüsse zu berücksichtigen, führte de Jong einen Abhängigkeitsfaktor c als Erfahrungswert ein.

Abhängigkeitsfaktor c in Abhängigkeit des Rundenintervalles.

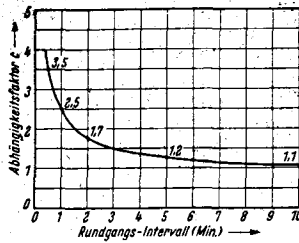


Bild Nr. 12

Im Falle einer binomischen Verteilung wird c gleich 1. Die Formel für die Anzahl notwendiger Beobachtungen wird wie folgt angepasst:

$$n = \frac{\lambda^2 \cdot c^2 \cdot p(1-p)}{f^2}$$

In der Literatur findet jedoch dieser Faktor keine einhellige Unterstützung (44) (46). Haller schreibt (44): "Weder theoretische Ueberlegungen erfahrener Statistiker noch langwierige Modellversuche und umfangreiche Auswertungen aus MM-Aufnahmen der betrieblichen Praxis durch den Verfasser konnten die Existenz eines Abhängigkeitsfaktors c nachweisen."

#### 8.4.2 Korrektur-Faktor k nach Mevert

Für die mathematische Formulierung der Gesetzmässigkeit bei MM-Studien wird unter Ausnutzung des Satzes von Laplace für  $n \rightarrow \infty$  die Binomial- in eine Normalverteilung übergeführt. Mevert (48) hat den Einfluss von endlichen an Stelle von unendlichen Werten für n untersucht und festgestellt, dass bei Verwendung der Formel für f ein zu grosser Vertrauensbereich gerechnet wird, als er in Wirklichkeit existiert, was sich ungünstig auf die Wirtschaftlichkeit dieses Zeitbestimmungsverfahrens auswirkt.

Verlauf des Korrekturfaktors  $k$  in Abhängigkeit der Anzahl der Beobachtungen mit  $p$  als Parameter.

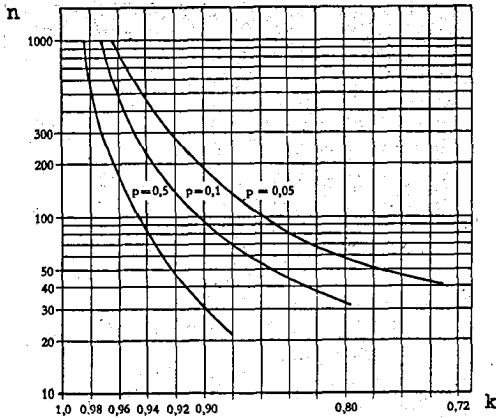


Bild Nr. 13

Die Formel lautet somit

$$n = \frac{\lambda^2 k^2 p(1-p)}{f^2}$$

unter Vernachlässigung des Abhängigkeitsfaktors  $c$  nach de Jong.

#### 8.4.3 Schwankender Tätigkeitsgrad

Einen weiteren Einfluss, den Mevert untersuchte, übt der im Laufe des Beobachtungszeitraumes schwankende Tätigkeitsgrad aus. Diese Schwankungen haben eine Vergrößerung des Streubereiches zur Folge. Es wird empfohlen, getrennte Stichproben für einzelne Teilperioden mit konstantem Tätigkeitsgrad vorzunehmen. In der praktischen Anwendung der Multimomentstudie für die Bestimmung von Arbeitszeiten, wie z.B. Verteilzeitstudien, dürfte es sehr schwer halten, die vorgeschlagene Abgrenzung in Teilperioden vorzunehmen.

#### 8.4.4 Leistungsgradschätzung in Verbindung mit einer MM-Studie

Immer wieder erscheint bei MM-Studien das Problem der Leistungserfassung an den beobachteten Personen. Dieses ist jedoch unwesentlich für den Fall, dass der gleiche Leistungsgrad bei den verschiedenen Zeitarten eingehalten wird; denn bei den gemessenen Zeiten erfolgt eine Leistungsbeurteilung und z.B. Verteilzeitzuschläge werden prozentual zu den Grundzeiten zugerechnet.

Bei ungleichem Leistungsgrad besteht dann eine mögliche Leistungserfassung, wenn sich wechselweise Rundgänge für die Beobachtung der Tätigkeitsarten und des Leistungsniveaus folgen. In den USA ist diese kombinierte Zeit- und Leistungsstudie unter der Bezeichnung Performance Sampling bekannt (45). Im Einflussraum von REFA wird diese Art der Leistungserfassung gemäss der Forderung nach einer intensiven, länger dauernden Beobachtung der zu beurteilenden Arbeit eher negativ beurteilt, wenn nicht gar kategorisch abgelehnt (49) (50).

8.5 Gegenüberstellung der MM-Studie und der laufenden Arbeitsstudie

(nach L. Weber) (46)

Kriterium	Arbeitsstudie	MM-Studie
Aufschreibung bei der Aufnahme	starke Belastung des Aufnehmenden	kleine Belastung mehr Zeit für Beobachtung
Intervall	durch den Arbeitsgang bestimmt (Theoretisch bestehen teilweise auch Unterbrechungen durch Schreiben.)	kann gewählt werden
Beobachtung	dauernd	nur Momente lang
Aufnehmender	geschulter Arbeitsstudienmann	Hilfskraft
Auswertung	praktisch nur selten und ausnahmsweise mathematisch unterbaut	zwangsläufig mathematisch statistisch
Zeitaufwand	100 %	20 - 30 %
Unterbrechung der Aufnahme	meist mit Nachteilen verbunden	beliebig
Geräte	irgendein Zeitmessgerät	ohne Zeitmessgerät

Diesem vorteilhaften Vergleich stehen doch auch Nachteile gegenüber. Die MM-Studie ist anfälliger auf Störeinflüsse und es können z. B. Erholungszeiten auf den Rundgängen nur schwer erkannt werden.

8.6 Rundgangsintervall regelmässig oder zufällig verteilt

In den ursprünglichen Richtlinien für die Anwendung der MM-Studie werden zur Wahrung der Voraussetzungen hinsichtlich Zufälligkeit der Stichproben stets unabhängige Beobachtungen gefordert. Im Zusammenhang mit MM-Studien zur Erfassung von unregelmässigen Erscheinungen stellt sich die Frage, ob regelmässige Rundgangsintervalle nicht ebenfalls zulässig wären. Bereits Haines und Weber zitieren Beispiele mit festen Intervallen von 0,5 resp. 2 resp. 1-3 Min. Intervallängen (46) (51).

Mevert (48) hat auf theoretischem Wege die Streuung des Stichproben-schätzwertes bei korrelierten Beobachtungen berechnet. Er geht dabei von der Linearkombination von Zufallszahlen aus.

$$Z = a_0 + a_1 Z_1 + a_2 Z_a + \dots + a_k Z_k$$

Mit der Streuung

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= a_1^2 \sigma_1^2 + \dots + a_k^2 \sigma_k^2 \\ &+ 2 a_1 a_2 r_{12} \sigma_1 \sigma_2 + 2 a_1 a_3 r_{13} \sigma_1 \sigma_3 + \dots \\ &+ 2 a_{k-1} a_k r_{k-1,k} \sigma_{k-1} \sigma_k \end{aligned}$$

wobei  $\sigma_i^2$  die Streuungen der Zufallsvariablen und  $r_{ii}$  die Korrelationskoeffizienten zwischen je zwei Zufallsvariablen darstellen.

Seine Ueberlegungen führten dann zu einer modifizierten Formel für die Streuung.

$$\sigma_s^2 = \frac{p(1-p)}{n} \text{ geht über in } \sigma_s'^2 = \frac{p(1-p)}{n} \left( 1 + \frac{2}{n} \sum_{i < j} r_{ij} \right)$$

Dieser Wert  $\sigma_s'^2$  kann grösser, gleich gross oder kleiner als  $\sigma_s^2$  sein, je nach dem Verlauf der Korrelationskoeffizienten. Weitere Untersuchungen über den Einfluss der Verteilungen der zu erfassenden Zeiten, z.B. Tätigkeits- und Wartezeiten, ergaben einzig für den Fall zweier

unverschobener Exponentialverteilungen grössere Streuungen, während für eine Reihe anderer Verteilungstypen, wie Kombinationen von Normal-, Rechteckverteilungen usw. gleich grosse oder kleinere Streuungen brachten. Dazu ist zu sagen, dass der Fall zweier unverschobener Exponentialverteilungen in der Praxis des Zeitstudienwesens eher ein Ausnahmefall darstellt. Für Situationen, in denen befürchtet wird, gerade den ungünstigen Fall vorzufinden, gibt Mevert folgende Verhaltensweisen an:

- 1) MM-Studien mit festen Beobachtungsabständen sind zu vermeiden.
- 2) Die untere Grenze des Abstandbereiches der Beobachtungsintervalle soll grösser als die kleinste vorkommende Tätigkeits- bzw. Wartezeit sein.
- 3) Die obere Grenze des Abstandsbereiches soll grösser als die grösste vorkommende Tätigkeits- oder Wartezeit sein.
- 4) Besteht die Vermutung, dass sowohl Tätigkeits- als auch Wartezeit rein exponentiell verteilt sind, so soll die untere Grenze des Abstandsbereiches grösser als der Mittelwert der Tätigkeits- bzw. Wartezeiten sein. Dies ist nicht erforderlich, wenn eine oder beide Exponentialverteilungen verschoben sind.

Zwei Autoren, Flowerdew und Malin (52), führten eine grosse Zahl von Simulationen mit regelmässigen Beobachtungsintervallen durch und folgerten aus den Resultaten, dass regelmässige Intervalle zu wesentlich kleineren Streuungen führen. Für die praktische Anwendung sind dann ziemlich detaillierte Vorschriften bezüglich des Verhältnisses von Beobachtungs- und Zeitintervallen des Arbeitsablaufs zu beachten, deren Begründung in der kurzgefassten Veröffentlichung nicht vorliegt. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass, abgesehen von extremen Voraussetzungen (unverschobenen Exponentialverteilungen), bei regelmässigen Beobachtungsintervallen gleich grosse oder kleinere Streuungen als bei unregelmässigen zu erwarten sind.

## 8.7 Zusätzlicher Einsatz von Hilfsmitteln bei der MM-Studie

### 8.7.1 Stoppuhr

Gemäss einem Vorschlag von Meining wird ein kombinierter Einsatz von Stoppuhr und MM-Studie in Betracht gezogen (53). Einerseits soll damit dem grossen Aufwand einer durchgehenden Zeitmessung und andererseits dem unsichern Erkennen von bestimmten Zeitanteilen, wie Untätigkeit oder Erholungszeit, Grund der Abwesenheit vom Arbeitsplatz usw. gesteuert werden. Als Vorgehensweise wird vorgeschlagen, am ersten Aufnahmetage eine durchgehende Zeitmessung gleichzeitig an einem bis drei Arbeitsplätzen vorzunehmen, um damit einen Gesamtüberblick zu gewinnen. In anschliessenden Stichproben mit der Stoppuhr sollen sogenannte fluktuierende Verteilzeiten erfasst werden, während stetig wiederkehrende und ziemlich gleich lange Verteilzeiten, wie z.B. Vorbereiten des Arbeitsplatzes zu Arbeitsbeginn, periodisches Reinigen der Maschine usw. aus auf Messungen aufgebauten Tabellen entnommen werden.

Dieser Anwendung steht der auch der durchgehenden Messung zur Verteilzeitbestimmung anhaftende Nachteil entgegen, dass auf Grund von Messungen an einzelnen Arbeitsplätzen auf eine ganze Abteilung oder gar Betrieb geschlossen werden muss.

Nebst dem Fehlen praktischer Anwendungen findet diese Art der Verteilzeitermittlung schon in der Literatur starke Ablehnung.

### 8.7.2 Fernsehen, Filmaufnahmen

In der Literatur findet man Hinweise über den Einsatz von drahtgebundenem Fernsehen als Hilfsmittel zur rationellen Durchführung von MM-Studien, doch sind die wirtschaftlichen Aspekte so ungünstig gelagert, dass schon aus diesem Grunde eine Verbreitung hierzulande nicht so bald zu erwarten ist (35).



Der Film als Hilfsmittel für MM-Studien hat sich schon mehrfach bewährt. (Auch diese Art von Film-Zeitstudien wird in der Literatur als Zeitrafferaufnahme bezeichnet.) Es lassen sich damit teilweise Beobachtungen von Zuständen ohne ständige Ueberwachung durchführen, z. B.:

- Belastung von Schalterbeamten
- Verkehrsuntersuchungen.

Eine eingehende Untersuchung über den Einsatz des Films im Sinne einer MM-Studie bei Bewegungsabläufen zur Bestimmung von kurzen Zeiten hat jedoch auch dessen Grenzen aufgedeckt. Zur Ueberprüfung wurden durch Peterschmitt (54) folgende Versuche durchgeführt:

- a) normaler Film
- b) zufällige, verteilte Einzelbeobachtungen am normalen Film
- c) zufällige, verteilte Einzelaufnahmen.

Obwohl bei den Auswertern ausführliche Kenntnisse über den Bewegungsablauf bestanden, war es in den Fällen b) und c) nicht mit Sicherheit möglich, die festgehaltenen Zustände den verschiedenen Operationen zuzuordnen, denn aus den Stellungen der menschlichen Gliedmassen konnten keine Bewegungsrichtungen abgeleitet werden. Handelte es sich jedoch um Arbeitsabläufe, die deutliche differenzierbare Teiloperationen aufwiesen, so ergaben sich bei einigem Risiko Auswertezeiten, die, bedingt durch die Identifikationsschwierigkeiten, wesentlich über denjenigen eines normalen Films lagen (normaler Film: Film-MM-Studie = 1 : 3, 7).

#### 8.8 Multimoment-Zeitmessverfahren (MMZ)

Eine etwas modifizierte Form der MM-Studie stellt das von M. D. Schmid erarbeitete Multimoment-Zeitmessverfahren dar (55) (im amerikanischen als Work Measurement sampling bezeichnet). Das zweckmässigste Anwendungsgebiet liegt bei langzyklischen Arbeitsabläufen, bei kleineren Losgrößen und bei starkem Wechsel der Aufträge und der Erzeugnistypen, während kurzzyklische oder regelmässige Arbeitsabläufe

infolge umfangreicher Auswertungsarbeiten dem klassischen Zeitermittlungsverfahren vorbehalten bleiben.

Vorgehensweise beim MMZ-Verfahren:

Durch einen Zufallsgenerator wird eine kleine Sendeanlage kurzzeitig angestossen, die dem Beobachter über einen Taschenempfänger den Zeitpunkt für den Rundgang markiert. Auf dem Rundgang erfasst der Zeitstudienmann (es können gleichzeitig auch mehrere Beobachter in verschiedenen Abteilungen durch dieselben Impulse gesteuert werden) an bis zu 50 Arbeitsplätzen die Tätigkeitsart, versucht einen Leistungsgrad abzuschätzen und notiert zusätzlich die Bezeichnung von Auftrag, Arbeitsplatz und Kostenstellen. Simultan zur Aussendung des Signals an den Beobachter wird von einem Zeitdrucker die Tageszeit registriert. Das Zusammenfliessen von Zeit und Beobachtung stellt das Zahlenmaterial für eine maschinelle Anlage dar, die die Auswertungen gemäss nachstehendem Prinzip vornimmt:

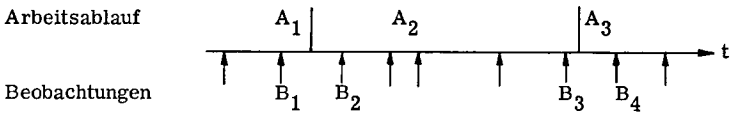


Bild Nr. 14

B<sub>1,2</sub>, B<sub>3,4</sub> halten diejenigen Momente fest, zwischen denen sich ein Arbeitswechsel vollzieht.

Mit den 4 Beobachtungspunkten B<sub>1</sub> ... B<sub>4</sub> kann auch eine Abschätzung des Arbeitsablaufs vorgenommen werden.

Es gilt:

$$t_{Amin} = B_3 - B_2$$
$$t_{Amittel} = \frac{t_{Amin} + t_{Amax}}{2} = \frac{(B_3 - B_2) + (B_4 - B_1)}{2}$$
$$t_{Amax} = B_4 - B_1$$

Als Toleranzfelder ergeben sich:

Einzel- toleranzfeld	$\alpha = B_2 - B_1$	mittleres Toleranzfeld
	$\beta = B_4 - B_3$	$\frac{\alpha + \beta}{2} = \frac{(B_4 - B_3) + (B_2 - B_1)}{2}$

Der mögliche Bereich für den Schätzwert liegt somit in den Grenzen:

$$t_{A \text{ mittel}} - \frac{\alpha + \beta}{2}$$

und

$$t_{A \text{ mittel}} + \frac{\alpha + \beta}{2}$$

Innerhalb dieses Schwankungsbereiches kann noch ein Vertrauensbereich definiert werden, der abhängig ist vom Verhältnis  $\beta/\alpha$ , der Grösse von  $\beta$  und der geforderten statistischen Sicherheit. Auswertungen gemäss den bestehenden Programmen ergeben einerseits Resultate im vorerwähnten Sinne und andererseits entsprechend der konventionellen MM-Studie. Somit erhält man Angaben über die Zeiten von einzelnen Auftragsausführungen, die sich auf Grund der Auftragsgrössen auf Vorgabezeiten pro Stück umrechnen lassen, und Unterlagen, beispielsweise für Verteilzeitanteile, Auslastung von Anlagen usw.

Als Vorteil dieser Methode kann der minimale Zeit- und Kostenaufwand gewertet werden (gegenüber Stoppuhr-Aufnahme sollen die Aufwendungen nur ca. 25 % der Kosten und ca. 10 % der Zeit bei gleicher Genauigkeit ausmachen). Auf die Art der Leistungserfassung wurde bereits früher eingegangen.

## 9 Mikromultimomentstudie (MMM)

### 9.1 Allgemeines

Im Abschnitt Nr. 6 über den Vergleich der verschiedenen Zeitmessgeräte (s. Tabelle Bild Nr. 10) fällt auf, dass Verfahren mit messtechnisch günstigen Eigenschaften schlechter plaziert sind hinsichtlich Analysenaufwand, Kosten für Geräte und Verbrauchsmaterial, Transportfähigkeit, Handlichkeit, Abhängigkeit vom Stromnetz, Lichtverhältnisse usw. und umgekehrt. Wünschenswert wäre somit ein Zeitmessgerät, das die Vorteile beider Gruppen vereinigt. Aus den bisherigen Ausführungen ist leicht zu erkennen, dass sich mit einer MM-Studie bei geringem Aufwand doch sehr genaue Resultate erzielen lassen.

Aus der Gegenüberstellung in Bild Nr. 2 über die Einsatzgebiete der verschiedenen Zeitermittlungsmöglichkeiten ist ersichtlich, dass eine Auswahl zwischen MM-Studie und Zeitmessung nur teilweise besteht. Es stellt sich nun die Frage, inwieweit das Prinzip der MM-Studie anwendbar ist, um in Konkurrenz mit dem Zeitmessverfahren treten zu können.

Um das Untersuchungsgebiet rein qualitativ abzugrenzen, werden die Vergleichskriterien aus Bild Nr. 10 herangezogen.

Kriterien	Eigenschaften der MM-Studie im Einsatz zur Zeitmessung
A Messgenauigkeit	abzuklären
B Gliederungstiefe	abzuklären
C Möglichkeit, den Arbeitsvollzug zu beobachten und Bemerkungen zu fixieren	günstig bezüglich Beobachtung fraglich bezüglich Notizen
D Anschaulichkeit der Unterlagen	Verlust der Information über die Streuung, im übrigen gut
E Zeitaufwand für Aufnahme und Auswertung einer Zeitaufnahme	abzuklären bezüglich Aufnahme, günstig bezüglich Auswertung
F Kosten für Geräte und Verbrauchsmaterial	je nach Art der Durchführung mittel-günstig
G Transportierbarkeit, Handlichkeit, Abhängigkeit vom Stromnetz, Lichtverhältnisse usw.	günstig

Zur Abklärung der vorgenannten Arbeitsgebiete wurden Untersuchungen durchgeführt mit Hilfe von Simulationen auf einem Computer und praktischen Zeitstudien an Filmen mit konkreten Arbeitsausführungen und an speziell gestalteten Farbstreifenfilmen.

Da mit diesem Anwendungsfall der MM-Studie auch kleine Teilzeiten erfasst werden sollen, wird entsprechend dem Verfahren die Bezeichnung Mikro-Multimomentstudie (Kurzbezeichnung MMM) vorgeschlagen.

## 9.2 Apparativer Aufbau der Versuchseinrichtungen

### 9.2.1 Signalgeber

Um die Anforderungen an die Messapparate festzulegen, sei der Arbeitsablauf einer normalen MM-Studie wie folgt kurz rekapituliert:

- 1) Festlegen der zu erfassenden Zeitarten
- 2) Bestimmen der notwendigen Anzahl Beobachtungen, um eine bestimmte Genauigkeitsforderung einzuhalten
- 3) Auswählen der Zufallszahlen und Festlegen des "Fahrplans"
- 4) Beobachtungsrundgänge gemäss Fahrplanzeiten:
  - Herauslesen der nächstfolgenden Fahrplanzeit
  - Feststellen der Zeit
  - Beobachten der Arbeit
  - Notieren der Beobachtungen

Entsprechend dem Wunsch, auch kleine Teilzeiten zu erfassen, müssen sich die Beobachtungsintervalle in sehr kleinen Grenzen halten (Grössenordnung  $1/2 - 2$  Sek.).

Es leuchtet ein, dass sich die verschiedenen Teilvorgänge in diesen kurzen Zeiträumen unmöglich gemäss vorgenanntem Punkt 4) abwickeln lassen. Die Zeitpunkte für die Beobachtungen müssen dem Beobachter von aussen signalisiert werden. Für die Untersuchungen soll im weitern die Möglichkeit gegeben sein, sowohl mit regelmässigen als auch mit zufällig verteilten Intervallen arbeiten zu können.

Im Falle von regelmässigen Intervallen wäre ein einfacher elektronischer Signalgeber, basierend auf einem monostabilen Multivibrator, denkbar. Bei zufällig verteilten Zyklen müsste man einen wesentlich grösseren Aufwand treiben, um auf elektronischem Wege einen Zufallsgenerator mit gleichverteilten Signalfolgen zu finden, z.B. Ausnützung des Rauscheffektes von Halbleitern. Die Bandbreite der Zufallszahlen muss beidseitig begrenzt werden. Die untere Grenze ist gegeben durch die menschliche Leistungsfähigkeit, während die obere variabel sein soll.

Um die verschiedenen Forderungen, wie regelmässige und unregelmässige Signalfolgen, kurze Intervalle, begrenzte aber variable Bandbreite der Zufallssignale, zu berücksichtigen, wurde eine elektromechanische Lösung in Form eines Lochstreifensenders, wie sie von der PTT im Telex-

verkehr eingesetzt werden, verwendet. Dieser Apparat ist aber mit zwei erheblichen Nachteilen behaftet: schwer transportabel und, bedingt durch die Betriebsspannung, standortgebunden. Zur Beseitigung beider Hindernisse wurden die Signale des Lochstreifensenders einem Flugmodell-HF-Sender zugeleitet, der eine drahtlose Signalübermittlung zu einem batteriebetriebenen, leicht transportablen Empfänger erlaubt. Bei Bedarf könnten mit dieser Anordnung gleichzeitig mehrere Empfänger angesteuert werden, und es ist nur eine Frage der Dimensionierung des HF-Senders, um die gewünschte Reichweite zu erhalten.

### 9.2.2 Zufallszahlenspeicher

Da der Lochstreifensender, bedingt durch den Synchron-Antrieb, eine konstante Transportgeschwindigkeit aufweist, können die zufällig verteilten oder regelmässigen Intervalle als entsprechende Strecken auf einen Lochstreifen abgelocht werden.

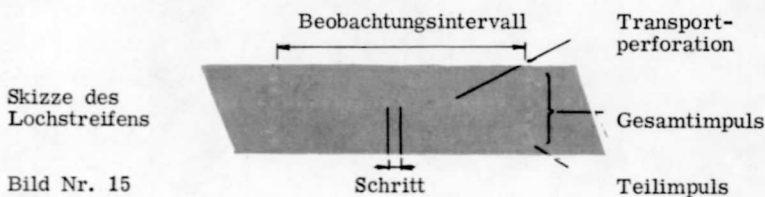


Bild Nr. 15

Als vorgegebene Konstante des Lochstreifensenders beträgt die Schrittzeit  $140 \cdot 10^{-3}$  Sek., wobei der Gesamtimpuls, bestehend aus 5 Teilimpulsen à 20 ms, 100 ms beträgt, mit einer vor- und nachgeschalteten Pause von je 20 ms. Je nach Bedarf kann das auszusendende Signal aus einer variablen Anzahl von Teilimpulsen oder aus unmittelbar folgenden Gesamtimpulsen aufgebaut werden. Diese letztere Kombinationsmöglichkeit erlaubt es, auch akustisch deutlich differenzierbare Signale auszusenden, beispielsweise getrennte Signalisierung von Zeitpunkten für Zustandsbeobachtungen und Leistungsbeurteilungen.

Um eine mehrmalige Verwendung der Lochstreifen zu ermöglichen, konnten Textilstreifen eingesetzt werden, die industriellen Steuerungszwecken dienen und einem viel kleineren Verschleiss unterworfen sind.

### 9.2.3 Signalempfänger

Der Empfänger wandelt die eingehenden HF-Impulse in wahrnehmbare Signale um, entweder in:

- optische
- akustische oder
- kombinierte akustisch-optische Signale.

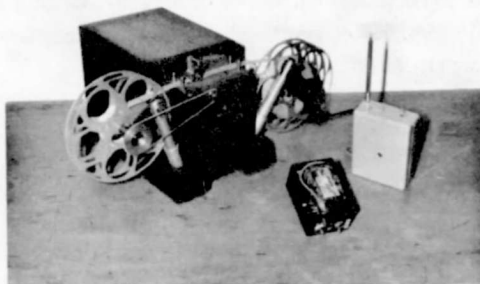


Bild Nr. 16

### 9.2.4 Signalart

Aus den bereits aufgestellten Anforderungen an die Versuchseinrichtungen geht unter anderem hervor, dass in einer vorgegebenen Zeit möglichst viele Beobachtungen (hohe Signaldichte) auszuführen sind. Diesem Umstand muss durch eine optimal angepasste Signalart Rechnung getragen werden, indem man die günstigste Reaktionszeit anstrebt.



Aus der Literatur sind mehrere Versuche über Reaktionszeiten bekannt, die in dieser Richtung weiterhelfen. Zur Abklärung der Zweckmässigkeit von akustischen oder optischen Signalen zeigten Versuchsergebnisse von Hirsch (56), dass hinsichtlich den Reaktionszeiten für einfache Reaktionen Tonsignale im Vorteil sind:

- Lichtsignal 180 ms
- Tonsignal 140 ms

Die Frage, ob kombinierte akustisch-optische Signale einen Gewinn bringen, widerspiegelt sich in den, einem Versuch von Todd an drei Versuchspersonen A, B, C entstammenden, Angaben (56):

Signal	Reaktionszeit in ms			
	A	B	C	Ø
Licht	168	176	186	176
Ton	135	132	160	142
Licht + Ton	133	135	159	142

Abgesehen von diesen Resultaten, besteht bei Lichtsignalen eine zusätzliche Schwierigkeit, indem mit dem gleichen Sinnesorgan zwei verschiedene Informationen, Signal und Arbeitsablauf, aufzunehmen sind, wobei es schwierig ist, die beiden Informationsquellen im gleichen Blickfeld anzuordnen. Damit geht aber ein wesentlicher Vorteil der ständigen Beobachtung des Arbeitsablaufes verloren.

Man beschränkt sich somit vorteilhafterweise auf rein akustische Signale, die nun aber so übertragen werden müssen, dass die beobachtete Person nur minimal gestört wird. Zu einer völligen Abschirmung verhilft ein Ohrsummer, der nur für den Benutzer hörbare Signale liefert.

#### 9.2.5 Signaldauer

Bei der Besprechung des apparativen Aufbaus wurde bereits auf die Möglichkeit hingewiesen, die Signale in ihrer zeitlichen Dauer variabel zu gestalten.

Die nachstehende Skizze zeigt die möglichen Signale.

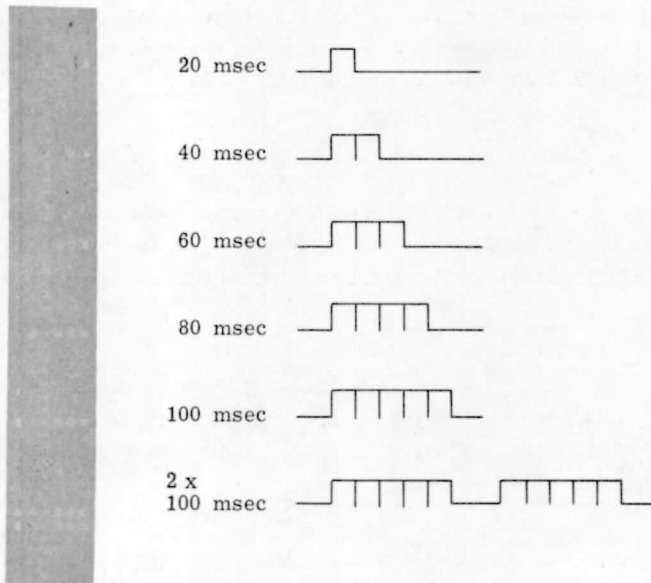


Bild Nr. 16a

Versuche von G. R. Wells und Gregg/Brogden (56) ergaben folgendes:

Lichtsignaldauer in ms	3	6	12	24	48
Reaktionszeit in ms	191	189	187	184	182

wobei ein ähnliches Verhalten auch bei akustischen Signalen festgestellt wurde.

Obwohl eine Signaldauer von 60 ms genügt hätte, wurden für die Versuche 100 ms gewählt, um eine betriebssichere Funktion des Relaissteiles im Empfänger auch bei reduzierter Batteriespannung zu gewährleisten. Die Signalform 6 setzte man für kombinierte Zeit- und Leistungsstudien ein.

### 9.2.6 Signalintensität

Selbst die Signalintensität beeinflusst die Reaktionszeit in entscheidender Weise, wie aus Untersuchungen von Chocholl (56) hervorgeht.

Abhängigkeit der Reaktionszeit von der Signalintensität für einen Ton von 1 kHz und eine Gegenüberstellung mit alltäglichen Lärmpegeln (57).

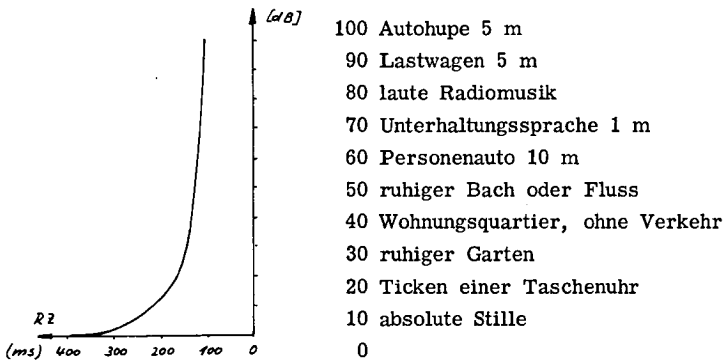


Bild Nr. 17

Aus dieser Gegenüberstellung kann gefolgert werden, dass eine Signalintensität entsprechend der Lautstärke eines leisen Gesprächs am günstigsten erscheint, denn grössere Intensitäten stellen auf die Dauer eine zusätzliche Belastung des Beobachters dar.

Eine weitere Hilfe besteht in der mehrfachen Anregung des gleichen Sinnesorganes, z. B. simultane akustische Impulse an beiden Ohren:

	Reaktionszeit in ms
Impuls an 1 Ohr	147
Impuls an beiden Ohren	133

Eine Möglichkeit, diesen Effekt auszunützen, bestünde im Tragen von 2 Ohrsummern. Dies hätte aber zur Folge, Geräusche des Arbeitsablaufs zu überhören, wobei oft gerade diese Geräusche eine wertvolle Unterstützung zur Abgrenzung von Teilzeiten darstellen. Je nach den Gegebenheiten hinsichtlich des Lärmpegels und der akustischen Unterma- lung des Ablaufs, kann der Zeitstudienmann die eine oder andere Form anwenden.

9.2.7 Signale mit Vorwarnung

Es stellt sich noch die Frage, inwieweit Signale mit Vorwarnung von Bedeutung sind. Die Signalform geht aus nachstehender Skizze hervor.

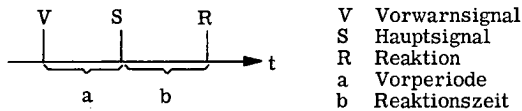


Bild Nr. 18

Versuche von Telfords (56) zeigen folgende Situation (Mittelwerte von 29 Anfängern):

Vorperiode	a	(s)	0,5	1	2	4
Reaktions- zeit	b	(ms)	335	241	245	276

Analoge Versuche mit routinierten Personen ergeben ebenfalls ein Minimum bei einer Vorperiode von 1 - 2 Sek. Besteht nur eine kurze Vorperiode, so reicht sie nicht aus für eine Vorbereitung; wird sie hingegen lang angesetzt, so verflüchtigt sich der ganze Vorbereitungseffekt.

Aus der Forderung nach einer hohen Signaldichte (Größenordnung  $1/2 - 2$  Sek. als Intervalllänge) und der minimalen Reaktionszeit bei einer Vorperiode von der Größenordnung der Intervalllänge hat es wenig Sinn, mit

Warnsignalen zu arbeiten. Da bei der gewählten apparativen Ausrüstung nur mit Signalen von variabler Länge, allenfalls mit einer Signalfolge, jedoch nicht mit verschiedenen Tonhöhen gearbeitet werden kann, wurde auf Vorsignale verzichtet.

### 9.3 Signaldichte

Für die Festlegung der Signaldichte ist wichtig, wieviel Signale/Zeiteinheit einem durchschnittlichen Zeitstudienmann zugemutet werden können. Die Hinweise über Reaktionszeiten unter verschiedenen Signalformen betrafen ausschliesslich einfache Einzelreaktionen und keine wiederholten Wahlreaktionen, wie sie bei der Beobachtung von konkreten Arbeitsabläufen vorliegen.

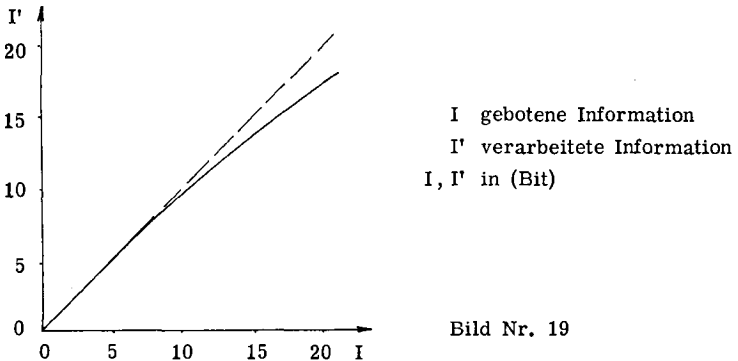
Die Intervalllänge kann nun nicht beliebig verkürzt werden bis hinunter zu Einzelreaktionszeiten, denn es zeigt sich bei praktischen Versuchen, dass jeder Mensch nach jeder Reaktion eine gewisse Erhol- oder Nachperiode benötigt, bevor seine Bereitschaft für eine neue Reaktion wiederhergestellt ist. Zudem unterliegt jeder Mensch ziemlich starken kurz- und langfristigen Schwankungen, wobei verschiedene Einflussfaktoren wirksam sein können. Zur Illustration der Schwankungsursachen sei lediglich der Versuch von Kleitmann, Titelbaum und Teiveson (56) über den Einfluss der Körpertemperatur auf die Reaktionszeiten zitiert:

- Körpertemperatur	( <sup>o</sup> F)	97.5	98.9
- Reaktionszeit	(ms)	137	124

Untersuchungen von Rheinsteins (58) zeigen, dass die Reaktionszeiten für einfache Reaktionen bei einer untersuchten Gruppe von Versuchspersonen über den Tag im Bereich von 185 bis 205 mSek. und über die Woche zu einer bestimmten Tageszeit im Bereich von 145 - 165 mSek. schwankten.

Die verarbeitbare Signaldichte hängt vorwiegend vom Informationsgehalt des beobachteten Ablaufs ab.

Aus Untersuchungen von Westhoff (59) geht hervor, dass mit zunehmender Intensität von Informationen pro Zeiteinheit ein wachsender Verlust bei der Informationsaufnahme entsteht. Die menschliche Höchstgeschwindigkeit liegt etwa bei 25 Bit/sec, wobei die ersten Informationsverluste jedoch bereits bei ungefähr 11 Bit/sec auftreten.



Das Bit (Binary digit) als Mass für den Informationsgehalt einer Aufgabe stammt von C. E. Shannon und entspricht dem Begriff  ${}_2\log N$  mit  $N$  = Anzahl der möglichen Mitteilungen. Zur Illustration der Grenze der fehlerfreien Verarbeitungskapazität sei erwähnt, dass ein Wort, bestehend aus 3 Buchstaben, bereits einem Informationsgehalt von 14,1 Bit entspricht. Diese wenigen Hinweise zeigen, dass für das Erfassen von kurzen Teilzeiten und einer grossen Zahl verschiedener Zeitarten, die nicht in zyklischer Form ablaufen, bald einmal die Grenze der zuverlässigen menschlichen Verarbeitungskapazität erreicht ist. Reihenversuche von Schmidtke und Micko (60) geben Anhaltspunkte hinsichtlich des Wahl-Reaktionsverhaltens von Anfängern und geübten Leuten.

Reaktionszeit in Abhängigkeit der Anzahl Wahlreaktionen  
(n. Schmidtke und Micko)

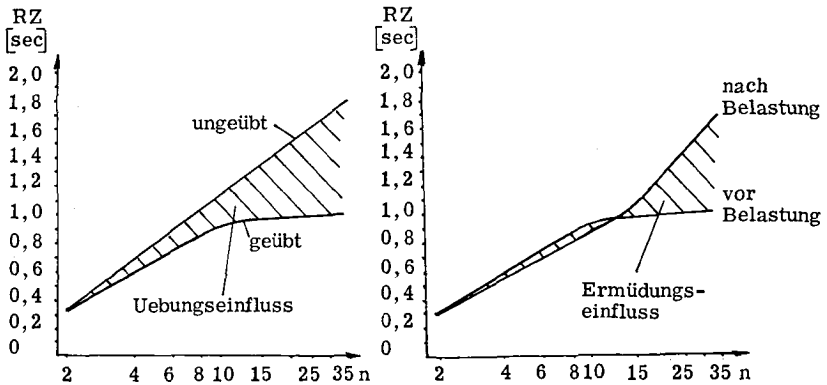


Bild Nr. 20

Regelmässige Beobachtungsintervalle lagen im Vorteil gegenüber unregelmässigen.

Das Anwendungsgebiet der MMM-Studie hat gegenüber den vorerwähnten Versuchen noch gewisse vorteilhafte Voraussetzungen.

- Die Zahl der Wahlentscheidungen, d.h. der verschiedenen Zeitarten ist, verglichen mit den vorerwähnten Versuchen, eher klein.
- Es handelt sich nicht um reine Wahlreaktionen; der Arbeitsablauf wickelt sich, abgesehen z.B. von Verteilzeitanteilen, zyklisch ab.
- Im Falle von zufällig verteilten Beobachtungsintervallen erscheint nicht eine laufende Folge kurzer Intervalle, sondern eine gleichverteilte über die ganze Bandbreite der Zufallsintervalle.
- Für kurze regelmässige Intervalle können kleinere Intervalle als bei unregelmässigen gewählt werden. Die praktischen Versuche zeigten eine rasche Angewöhnung an die rhythmische Beobachtungsfrequenz,

so dass sich das Ueberraschungsmoment von Signal und Arbeitsablaufwechsel auf den letztgenannten beschränkte, was eine vermehrte Konzentrierung auf den Ablauf ermöglichte.

Erfahrungen, die sich aus den später beschriebenen Versuchsserien ergeben haben, zeigen, dass die Verarbeitungskapazität eines routinierten Beobachters bei einer Folge kurzer Zeiten zwischen 0.7 bis 1 Sek. je Teilzeit liegt. Bei kurzen Teilzeiten, die zwischen längern eingestreut sind, kann mit einer Grenze zwischen 0.3 bis 0.5 Sek. gerechnet werden, was die Resultate der Messungen von Lorenz in Abschnitt 6 bestätigt. In solchen Situationen muss der Beobachter nur den momentanen Zustand erkennen; für die Registrierung kann er die folgende längere Teilzeit ausnützen, denn auch ein rasch folgendes Signal, das in eine längere Teilzeit fällt, kann der Beobachter memorieren und mit einem gewissen Zeitverzug notieren. Schwierigkeiten bereiten vor allem rasche Signalfolgen, kurzzeitiger Wechsel der Teilzeiten und die Vielzahl der verschiedenartigen Teilzeiten.

Diese ganzen Betrachtungen geben wohl Hinweise über die menschlichen Möglichkeiten bei der Verarbeitung von kurzzeitigen Informationen. Ein anderer Problemkreis ist damit aber noch nicht berührt: Gelingt es einem Beobachter, einen Arbeitsvorgang in seinem natürlichen Ablauf, nicht auf Grund eines Films, so fein zu zergliedern, dass eine eindeutige Festlegung der Messpunkte und das Erkennen derselben überhaupt möglich ist? Allgemeine Wertangaben hiezu sind nicht möglich, sondern hauptsächlich gegeben durch die Art des Arbeitsablaufs. In dieser Hinsicht bieten beispielsweise Uhrmacherarbeiten, die wohl z. T. sehr kurz, aber schwer differenzierbar sind, grosse Schwierigkeiten.

Für die Versuche mit der MMM-Studie sind Signalstreifen mit folgenden Intervallen resp. Intervallbandbreiten verwendet worden:



a) unregelmässige Beobachtungsintervalle:

(Schritt = 0.140 sec. = Konstante des Lochstreifensenders)

Bandbreite (Schritte)	Bandbreite (sec)	Ø Schrittlänge (Schritte)	(sec)
11 - 15	1,54 - 2,10	13	1,82
11 - 20	1,54 - 2,80	15,5	2,17
11 - 25	1,54 - 3,50	18	2,52
⋮	⋮	⋮	⋮
11 - 60	1,54 - 8,40	35,5	4,97

b) regelmässige Intervalle:

Intervall	
(Schritte)	(sec)
5	0,7
10	1,4
15	2,1
⋮	⋮
50	3,5

Um bei speziellen Vergleichsuntersuchungen von regelmässigen und unregelmässigen Intervallen in vorgegebenen Zeiträumen einen gleichen Stichprobenumfang zu erreichen, wurden noch folgende Signalschleifen verwendet:

entsprechend den zufällig verteilten Signalfolgen

theoretische, mittlere Schrittlänge  
= Schrittlänge für regelmässige  
Intervalle

11 - 15	13
11 - 25	18
11 - 35	23
11 - 45	28

Bei den folgenden Schleifen wurde eine Näherung angewendet, indem an Stelle von Bruchteilen von mittleren Schrittängen eine alternierende Folge der nächst grösseren resp. kleineren Schrittängen traten.

Zufällig verteilte Signalfolge	theoretische mittlere Schrittlänge	periodische Schleife
11 - 20	15,5	15/16
11 - 30	20,5	20/21
11 - 40	25,5	25/26
11 - 50	30,5	30/31

Wie aus dem nächsten Abschnitt hervorgeht und Versuche bestätigen, kann für weitere Ueberlegungen in erster Näherung mit der theoretischen, mittleren Schrittlänge gearbeitet werden.

Im Rahmen von Instruktionen und anschliessenden Test konnten ca. 90% der Versuchspersonen (vollkommene Anfänger) beim erstmaligen Einsatz der Signalfolge 11 - 25 an einem Film mit 4 - 5 verschiedenen Teilmomenten von 6 - 18.8 Sek. folgen; bei einer Signalfolge von 11 - 15 am gleichen Film bekundeten ca. 30 - 35 % Schwierigkeiten. Nach einigen Wiederholungen, d.h. einer erstaunlich kurzen Einübungszeit lassen sich ohne weiteres die Signale 11 - 15 verfolgen.

#### 9.4 Zufallszahlen

Für die Erstellung der Lochstreifen mit den zufällig verteilten Intervallen wurden die Zufallszahlentafeln von Fisher und Yates verwendet (61). Aus den tabellierten Werten erfolgte eine Auswahl gemäss den Zufallszahlen-Bandbreiten, so z.B. für die Reihe 11 - 15 nur die Zahlen in diesem Bereich, während diejenigen kleiner als 11 und grösser als 15 unberücksichtigt blieben.

Eine Ueberprüfung der gleichmässigen Verteilung der ausgewählten Zufallsreihen ergab beispielsweise für die Reihen von 11 - 15 resp. 11 - 20 folgende Werte:

Zufallszahl	11 - 15 Häufigkeit		11 - 20 Häufigkeit	
	absolut	relativ	absolut	relativ
11	419	20,81	170	10,48
12	371	18,43	133	8,20
13	436	21,65	160	9,84
14	405	20,10	164	10,10
15	383	19,01	155	9,55
16			210	12,93
17			134	8,26
18			168	10,34
19			178	10,95
20			152	9,35
Total	2014	100,00	1624	100,00
Ø Intervall	12,981		15,549	
Abweichung gegenüber dem theoretischen Ø Intervall	0,019		0,049	

## 9.5 Versuchsaufbau

Die praktischen Versuche erfolgten hauptsächlich an Filmen und an Arbeitsabläufen, die gleichzeitig gefilmt wurden. Der Film als Versuchgrundlage bietet zwei wesentliche Vorzüge, indem einerseits der Zustand sich beliebig oft reproduzieren lässt und andererseits damit genaue Vergleichswerte existieren.

Für die Projektionen stand ein Apparat Marke Paillard mit variabler Filmgeschwindigkeit im Bereich von ca. 15 - 24 Bilder/sec zur Verfügung. Ein gekoppelter Bildzähler und eine parallelgeschaltete elektrische Uhr erlaubten die Bestimmung der Filmgeschwindigkeit. Dabei konnte es sich aber nur um einen Durchschnittswert handeln, da auf Grund des asynchronen Antriebs immer mit kleineren Geschwindigkeitsschwankungen gerechnet werden muss. Dieser Nachteil spielt bei den Versuchen

nur insofern eine Rolle, als Vergleiche mit Simulationsergebnissen nur beschränkt möglich sind; denn schon geringfügige Schwankungen können zur Folge haben, dass Beobachtungen in der Umgebung eines Teilzeitenwechsels entweder noch auf die vorhergehende oder schon auf die nächstfolgende Teilzeit fallen.

Zur Notierung der Beobachtungen (siehe Aufnahmeformular Bild Nr. 21) genügt es, unter der entsprechenden Operation Striche gemäss einer Strichliste anzubringen, ebenso auch unter der Rubrik Leistungsgradschätzung. Für das Thema Leistungsgradschätzung sei auf Abschnitt 9.12 verwiesen. Diese Art der Notierungen hat sich gut bewährt für den Fall einer Signalfolge 11-25 und nicht zu raschem Wechsel der Teilzeiten. Für das Erfassen kurzer Teilzeiten bei Anwendung kurzer Signalintervalle machen sich die Verweilzeiten bei Notierungen störend bemerkbar. Zudem wird der Zeitstudienmann zu lange von seiner Beobachtungsfunktion abgehalten. Eine Verbesserung lässt sich durch den Einsatz von mechanischen Zählern erreichen. Für die labormässige Anwendung erfüllten 2 Statitest-Zählgeräte von Ferrari, Berlin, mit je 10 Zählern vollkommen den Zweck.

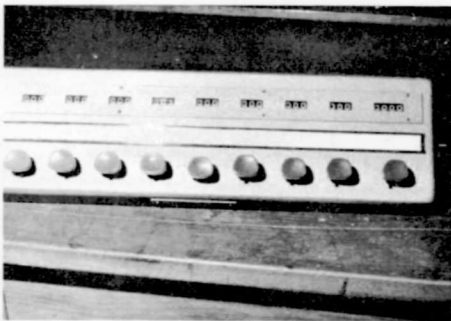


Bild Nr. 22a

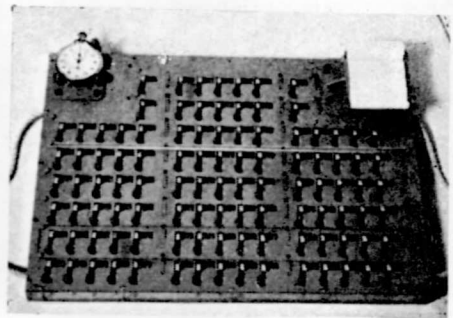


Bild Nr. 22b

M M M STUDIE		Beobachter:	Datum:		
		Arbeiter:	Abt.-Nr.:		
		Auftrags-Nr.:	Stücksahl:		
Arbeitsvorgang (Detaillierte Beschreibungen, Skizzen usw. auf die Rückseite):					
Aufnahme- dauer (Min.)	Normalisierte Aufn.-dauer (Min.)	Norm. Aufn.- dauer - "Sonstiges" (Min.)	Zeit pro Stück (Min.)		
Nr.	O p e r a t i o n e n		Summe	%-Anteil	Zeit- anteile (Min.)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
	"Sonstiges"				
Gesamtsumme				100	
LEISTUNGSBEURTEILUNG:			§ LG		
50	100	150			
5	5	5			
60	10	160			
5	5	5			
70	20	170			
5	5	5			
80	30	180			
5	5	5			
90	40	190			
5	5	5			

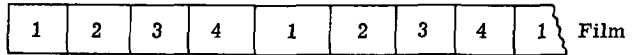
Für den praktischen Einsatz dürfte eher eine Ausführung, wie sie im Bild Nr. 22b dargestellt ist, zum Zuge kommen, wobei jeder Operation und jeder Leistungsgradstufe ein Zähler zugeordnet wird. In der linken Ecke ist gleich noch eine Uhr für die Messung der Aufnahmedauer und in der rechten Ecke eine Möglichkeit vorgesehen, um in Ausnahmefällen Notizen zu machen.

#### 9.6 Simulation von Multimomentstudien auf einem Computer IBM 1620, CDC 1604

Auf Grund der Möglichkeiten, eine MM-Studie auf einem elektronischen Rechner durchzuspielen, kann man das Prinzip dieses Zeitermittlungsverfahrens, ganz unabhängig von menschlichen Einflüssen, durch Vergleich der Simulationsresultate mit dem Inhalt der Grunddaten, z. B. eines Films, überprüfen. Eine Gegenüberstellung von praktischem Versuch und Simulation erlaubt sodann, den Einfluss des Beobachters zu isolieren. Entsprechend den früheren Bemerkungen hinsichtlich Versuchsaufbau liess sich ein direkter Vergleich zwischen Simulation und praktischem Versuch nur im begrenzten Rahmen durchführen.

Das im Anhang beigelegte Programm für den IBM 1620 und in etwas modifizierter Form für die CDC 1604 erlaubt es, entweder Filmschleifen oder aber auch gestreckte Filme zu verarbeiten. Dabei wird der Filminhalt gespeichert, während die Signalfolgen laufend eingelesen werden. An weiteren Eingabedaten folgen nebst Bezeichnungs-codes für Film und Signalfolge, ein Faktor F zur Anpassung von Filmgeschwindigkeit und Apparatekonstante des Lochstreifensenders und, bei Filmschleifen, die Anzahl der Schleifenumgänge.

Die Speicherung des einzulesenden Films erfolgt nach der Anzahl Bilder pro Teilarbeit, wobei die verschiedenen Teilarbeiten durch einen Code differenzierbar sind.



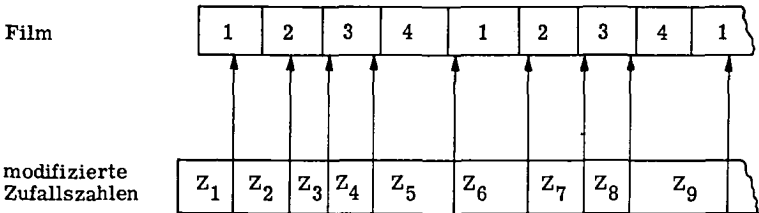
Anzahl Bilder     $a_1$     $b_1$     $c_1$     $d_1$      $a_2$     $b_2$     $c_2$     $d_2$     $\dots\dots$

Bild Nr. 23

Die laufend einzulesenden Zufallszahlen werden aufaddiert und mit dem Anpassungsfaktor F multipliziert.

Die aufsummierten Reihen der Filmbilder je Operation resp. die modifizierten Zufallszahlen werden einander gegenübergestellt und die festgestellten Zustände separat nach den verschiedenen Codes gespeichert. Die Resultate werden gleich in %-Anteilen ausgedruckt.

Prinzip des Programms:



$$\begin{aligned}
 Z_1 &= ZZ_1 \cdot F & ZZ & \text{Zufallszahlen} \\
 Z_2 &= ZZ_2 \cdot F & F & \text{Anpassungsfaktor} \\
 & & Z & \text{modifizierte Zufallszahl}
 \end{aligned}$$

Bild Nr. 24

Als Resultate werden die absoluten und relativen Häufigkeiten je Operation, die Abweichung zwischen dem effektiven prozentualen Filminhalt und dem aus der Simulation hervorgegangenen Resultat sowie, für eine

erste Abschätzung, die Summe der absoluten Beträge der Abweichungen ausgedruckt.

FILM 1, STREIFEN 1115, FAKTOR .503

FARBE	ANZAHL	REL. ANZAHL		
1	103	.07279151	.07313331	.00034179
2	187	.13215547	.12993561	-.00221986
3	261	.18445229	.18555967	.00110738
4	374	.26431095	.26414577	-.00016518
5	468	.33074204	.33078504	.00004300
6	0	0.00000000	.00013700	.00013700
7	1	.00070671	.00027401	-.00043270
8	0	0.00000000	.00041101	.00041101
9	0	0.00000000	.00054802	.00054802
10	1	.00070671	.00068502	-.00002169
11	1	.00070671	.00082203	.00011531
12	1	.00070671	.00095903	.00025231
13	2	.00141342	.00109604	-.00031738
14	2	.00141342	.00123305	-.00018037
15	2	.00141342	.00137005	-.00004337
16	2	.00141342	.00150706	.00009363
17	3	.00212014	.00164406	-.00047608
18	2	.00141342	.00178107	.00036764
19	2	.00141342	.00191807	.00050464
20	3	.00212014	.00205508	-.00006506
TOTAL	1415.		.00784347	

Bild Nr. 25 Output einer Simulation

### Anpassungsfaktor F

Durch den Anpassungsfaktor F wird ein Ausgleich zwischen der Filmgeschwindigkeit v und der Transportgeschwindigkeit des Lochstreifensenders geschaffen.

$$F = \frac{1000}{v \cdot k} \quad \begin{matrix} \text{(Schritt)} \\ \text{(Bild)} \end{matrix}$$

v = Filmgeschwindigkeit (Bilder/sec)

k = Konstante des Lochstreifensenders = 140 msec/Schritt

Die Einzelwerte können der Kurve in Bild Nr. 26 entnommen werden.



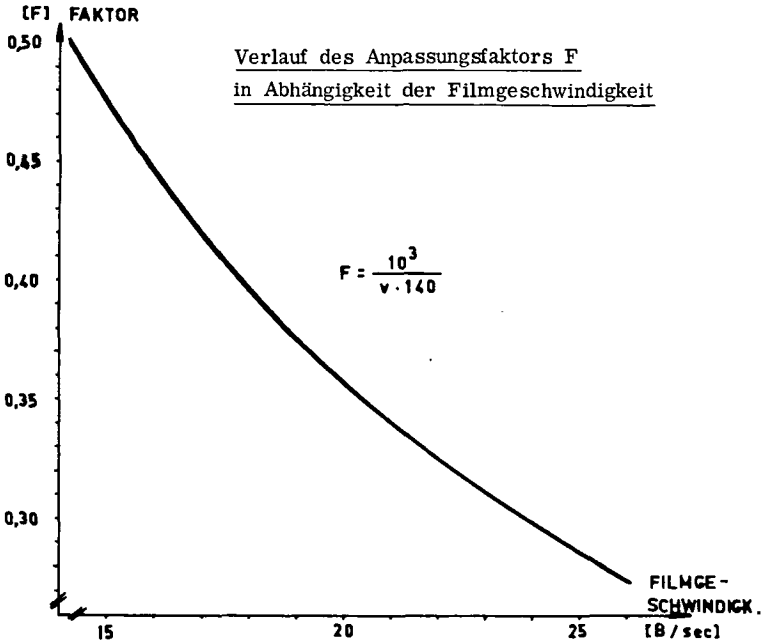


Bild Nr. 26

Symbolfilm anstelle von Filmen mit konkreten Handlungen

Wie bereits erwähnt, wurden die meisten Versuche an Filmen durchgeführt. Dabei zeigte es sich, dass bei MMM-Studien durch verschiedene Beobachter stets Unterschiede auftreten, die vorwiegend durch unkorrekte Zuordnungen zu den einzelnen Teilzeiten entstanden. Wie die Erfahrung lehrt, stellt eine ganz exakte Definition der Messpunkte, d.h. der Abgrenzung der einzelnen Teilzeiten die erste Voraussetzung für eine gute Zeitstudie dar. Schenkt man dieser Bedingung zu wenig Beachtung, so ergeben sich im Laufe einer MMM-Studie immer wieder Unsicherheiten. Auch bei genauester Umschreibung dieser Abgrenzungen können Beobachtungssignale gerade im Moment des Szenenwechsels auftreten. Der Beobachter muss sich dann selbst entscheiden, welcher Teilzeit die

Beobachtung zuzurechnen ist. Ein weiterer Mangel bestand darin, dass für bestimmte Untersuchungen keine Filme mit den gewünschten Zeitannteilen oder Folgefrequenz usw. zur Verfügung standen. Um beiden Schwierigkeiten zu begegnen, wurden sogenannte Farbstreifen-Filme geschaffen, indem man unbelichtetes, entwickeltes Filmmaterial einfärbte. Dabei entsprachen die einzelnen Farben den verschiedenen Teilarbeiten. Kurz vor Abschluss jeder Teilzeit sind Marken angebracht worden, um das bevorstehende Ende zu signalisieren. Diese Massnahme ist sicherlich gerechtfertigt, da bei Zeitaufnahmen an konkreten Arbeiten der Beobachter durch den Ablauf selbst auf den Wechsel vorbereitet wird. Zur Ueberprüfung der Zulässigkeit dieser vereinfachenden Annahme dienten Versuche an Filmen mit konkreten Handlungen (Montage von Winkeltraversen, Montage und Demontage von Duplexpumpen) und deren Nachbildungen durch Farbstreifenfilme. Dazu ist noch zu bemerken, dass diese Vereinfachung mehr oder weniger stark ins Gewicht fällt, je nachdem die Messpunkte eindeutig erkennbar sind.

Auf Grund von Versuchsergebnissen von beiden konkreten Filmen und deren Nachbildungen mittels Farbstreifen wurden mathematisch-statistische Tests vorgenommen, um die Zulässigkeit der vereinfachten Darstellung mittels Farbstreifen zu überprüfen.

Folgende Tests wurden angewendet:

- a) F-Test zum Vergleich der Streuung (62)
- b) t-Test zum Vergleich der Durchschnittswerte (62)
- c)  $\chi^2$ -Test zur Ueberprüfung der Häufigkeitsverteilungen mit dem effektiven Filminhalt (62)
- d)  $\chi^2$ -Test mit einer m mal n - Tafel, d. h. mit 2 x 4 Tafel, um die Häufigkeitsverteilungen unter sich zu vergleichen (47).

a) F-Test

$$s^2 = \frac{1}{N-1} \left[ \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{N} \right]$$

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$$

s Streuung  
 $x_i$  Messwerte  
N Anzahl Messwerte  
 $\bar{x}$  Durchschnittswert

b) t-Test

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_d} \sqrt{\frac{N_1 \cdot N_2}{N_1 + N_2}} \quad \text{für } N_1 = N_2 \quad t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_d} \sqrt{\frac{N}{2}}$$

$$s_d = \sqrt{\frac{s_1^2(N_1 - 1) + s_2^2(N_2 - 1)}{N_1 + N_2 - 2}} \quad \text{für } N_1 = N_2 \quad s_d = \sqrt{\frac{(s_1^2 + s_2^2)}{2}}$$

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{2}}} \sqrt{\frac{N}{2}}$$

c)  $\chi^2$  - Test

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_i - \varphi_i)^2}{\varphi_i}$$

$\varphi_i$  effektiver Filmanteil  
 $f_i$  %-Anteil aus Versuch

d)  $\chi^2$ -Test mit einer m mal n Tafel (Kontingenztafel)

$x_{11}$	$x_{12} \dots x_{1j} \dots x_{1n}$	$N_1$
$x_{21}$	$x_{22} \dots x_{2j} \dots x_{2n}$	$N_2$
$x_{i1}$	$x_{i2} \dots x_{ij} \dots x_{in}$	$N_i$
$x_{m1}$	$x_{m2} \dots x_{mj} \dots x_{mn}$	$N_m$
$X_{1.}$	$X_2 \dots X_j \dots X_n$	$N$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = N_i \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = X_j \quad \sum_{j=1}^n X_j = \sum_{i=1}^m N_i = N$$

Man bildet die Erwartungswerte  $E_{ij} = \frac{N_i \cdot X_j}{N}$

Beispielsweise für  $x_{11}$  (Ereignis 1 in Stichprobe 1) gilt  $\frac{N_1 \cdot X_1}{N}$

Mit diesen Erwartungswerten bildet man für jedes Ereignis ij den Quotienten

$$\frac{(x_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

und summiert alle so erhaltenen Quotienten.

Die Signifikanzschränke für die Summe

$$\sum_1^n \sum_1^m \text{ ist } \chi^2$$

mit Freiheitsgrad  $\nu = (n-1)(m-1)$

Testresultate

1. Film: Montage von Winkeltraversen

Farbe	Film		Farbstreifen		F - Test	t - Test	$\chi^2$ -Werte aus 2x4 Tafel
	$\bar{X}$	$s^2$	$\bar{X}$	$s^2$			
1	25,837	0,822	24,345	0,982	1,20	3,51	} 2,659
2	11,221	1,720	12,309	0,852	2,02	2,15	
3	42,383	0,745	40,952	1,496	2,01	3,02	
4	20,559	1,865	22,395	1,455	1,28	3,19	

$\chi^2$ -Werte für den Vergleich der Verteilungen in den Einzelversuchen und dem effektiven Filminhalt

Versuch	Film konkret	Farbstreifen
11-15	0,346	0,191
11-20	0,362	0,587
11-25	0,151	1,210
11-30	0,241	0,344
11-35	0,297	0,199
11-40	0,266	0,846
11-45	0,401	2,948
11-50	0,833	1,231
11-55	1,016	0,495
11-60	0,357	1,472

2. Film: Montage und Demontage von Duplexpumpen

Farbe	Film	konkret	Farbstreifen		F - Test	t - Test	$\chi^2$ -Wert aus 2x4 Tafel
	$\bar{X}$	$s^2$	$\bar{X}$	$s^2$			
1	31,561	1,233	31,489	0,381	3,23	0,181	} 0,04652
2	10,614	0,597	10,678	0,537	1,11	0,19	
3	18,174	0,539	17,957	0,561	1,04	0,656	
4	39,652	0,789	39,976	0,219	3,57	1,04	

$\chi^2$ -Werte für den Vergleich zwischen Einzelversuch und effektivem Filminhalt

Versuch	Film konkret	Farbstreifen-film
11-15	0,0195	0,0018
11-20	0,0147	0,0257
11-25	0,0516	0,1043
11-30	0,2761	0,1905
11-35	0,1383	0,1750
11-40	0,7321	0,0295
11-45	0,7950	0,1043
11-50	0,2818	0,3991
11-55	1,8435	0,1077
11-60	0,1725	0,1956

Vertrauensschranken (gelten für beide Filme):

$$F \quad (N_1=N_2=10; P=0,05) = 3,17 \quad t \quad (N_1=N_2=10; P=0,05) = 2,101$$

$$F \quad (N_1=N_2=10; P=0,01) = 5,35 \quad t \quad (N_1=N_2=10; P=0,01) = 2,878$$

$$\chi^2 \quad (N=3; S=95\%) \quad = 7,815 \quad t \quad (N_1=N_2=10; P=0,001) = 3,922$$

Auf Grund des Vergleichs der Testresultate mit den Vertrauensschranken kann angenommen werden, dass es sich nur um zufällige Unterschiede handelt und somit ohne weiteres mit der vereinfachten Darstellung der Filme in Farbstreifen gearbeitet werden darf, was auch erwartet wurde.

Ein Grund für das teilweise Uebersteigen der Testresultate der Schranken für  $F$  ( $P=0,05$ ) und  $t$  ( $P=0,05$ ) mag auch darin liegen, dass die Versuche an den konkreten Filmen am Anfang der Untersuchung durchgeführt wurden, diejenigen an den Farbstreifen aber viel später, als die konkreten Filme nicht mehr zur Verfügung standen. In diesem spätern Zeitpunkt sind die Versuchspersonen übungsmässig bereits weitgehend fortgeschritten.

#### 9.7 Einfluss von regelmässigen oder unregelmässigen Intervallen bei periodischen Vorgängen

Die Frage der Anwendung von regelmässigen oder unregelmässigen Beobachtungsintervallen wird zur Hauptsache von der Art der zu erfassenden Vorgänge bestimmt, ob es sich um streng periodische oder aperiodische Zyklen handelt.

Die Anwendung regelmässiger Beobachtungsintervalle würde folgende Vorteile bieten:

- einfacherer apparativer Aufbau
- in bestimmten Zeiträumen grössere Anzahl Beobachtungen als bei zufällig verteilten Beobachtungsintervallen, d. h. kleinere Aufnahmedauer bei gleichem Stichprobenumfang

- grössere Verarbeitungskapazität des Zeitstudienmannes.

Zur Problemstellung ist noch zu bemerken, dass beim praktischen Einsatz der MMM-Studie für das Erfassen von Vorgabezeiten der streng periodische Ablauf eher einen hypothetischen Fall darstellt. Die Erscheinung von streng periodischen Zyklen tritt nur bei Automaten auf, denn sobald ein Ablauf durch menschliche Eingriffe beeinflusst werden kann, ergibt sich ein zufälliger Einfluss.

Diese gegenseitigen Beziehungen zwischen periodischem Arbeitsablauf und regelmässigen resp. unregelmässigen Beobachtungsintervallen wurden mittels Simulationen auf einer IBM 1620 resp. CDC 1604 untersucht.

Als Uebungsobjekt diente eine Filmschleife, bestehend aus 6 verschiedenen Teilarbeiten resp. Farben, wobei jede Farbe insgesamt 4 mal vertreten war. Die Reihenfolge der 6 x 4 Farben wurde zufällig angeordnet, unter Ausschluss der unmittelbaren Folge von 2 oder mehrmals der gleichen Farbe. Die Länge der einzelnen Farbe betrug einheitlich 20 Filmbilder (jeder Farbanteil entspricht 16,667%), was bei einer Filmgeschwindigkeit von 15-16 Bilder/sec einer Projektionsdauer von ca.  $1\frac{1}{3}$  sec je Farbe entspricht. Als Signalfolge wurde eine Schleife mit 20 Schritintervallen gewählt und der Anpassungsfaktor F wurde von 0,275 bis 0,450, entsprechend einer Filmgeschwindigkeit von 16-26 Bilder/sec variiert. Die Simulationen erstrecken sich auf 40 Film-Schleifenumgänge.

Erwartungsgemäss stellen sich bei bestimmten Anpassungsfaktoren F stark überhöhte prozentuale Anteile einzelner Farben ein. Im Bild Nr. 27 sind die maximalen Abweichungen zwischen den Versuchsergebnissen und den Anteilen im Film in Abhängigkeit des Anpassungsfaktors F aufgetragen.

Aus Bild Nr. 28 sind die Ergebnisse des gleichen Versuches ersichtlich, diesmal jedoch als Summe der Abweichungen der 6 verschiedenen Farbanteile in der gleichen Abhängigkeit wie im vorgehenden Bild. Dabei zeigt es sich, dass auch bei der Abweichungssumme ganz bestimmte



Fehler in Abhängigkeit des Anpassungsfaktors F

Film Nr. 40 Schleife mit 6 Farben  
Anzahl Umgänge: 40  
Beobachtungsintervall: 20 regelmässig  
 $\Delta_{\max} = 1\% \text{ Film} - \% \text{ Beob.} \text{ max}$

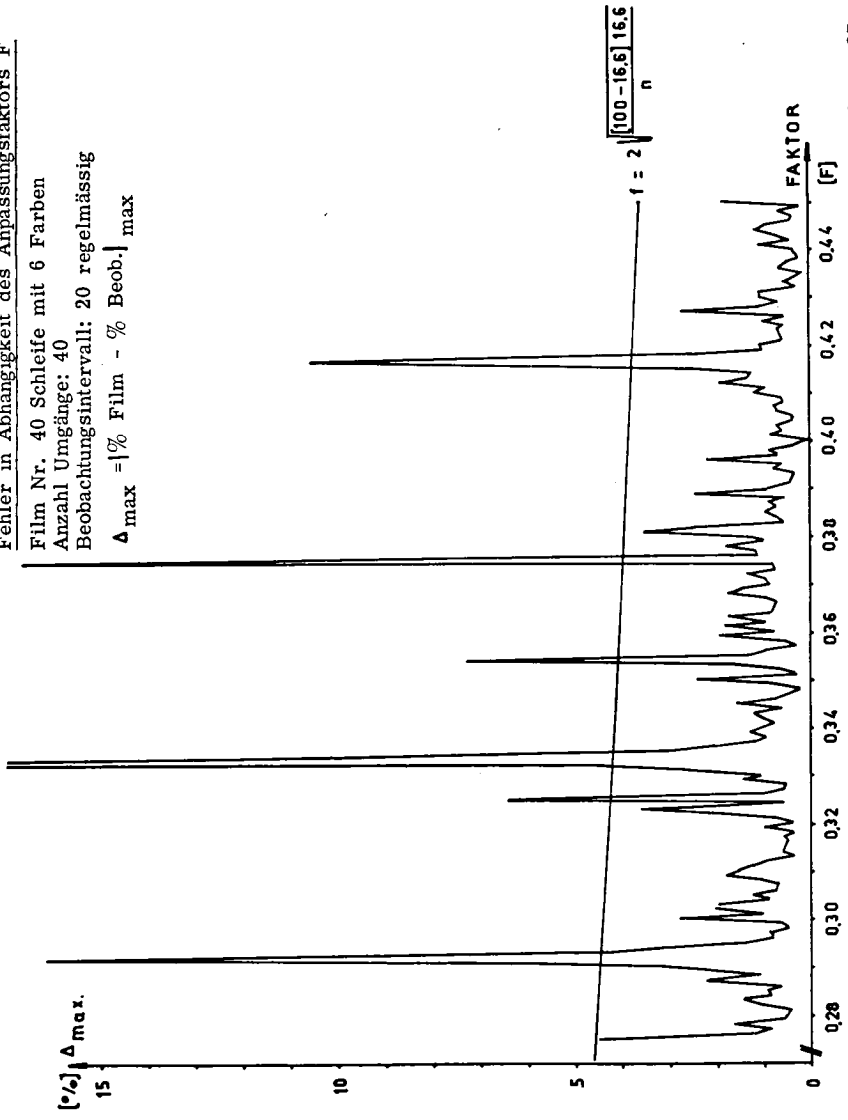
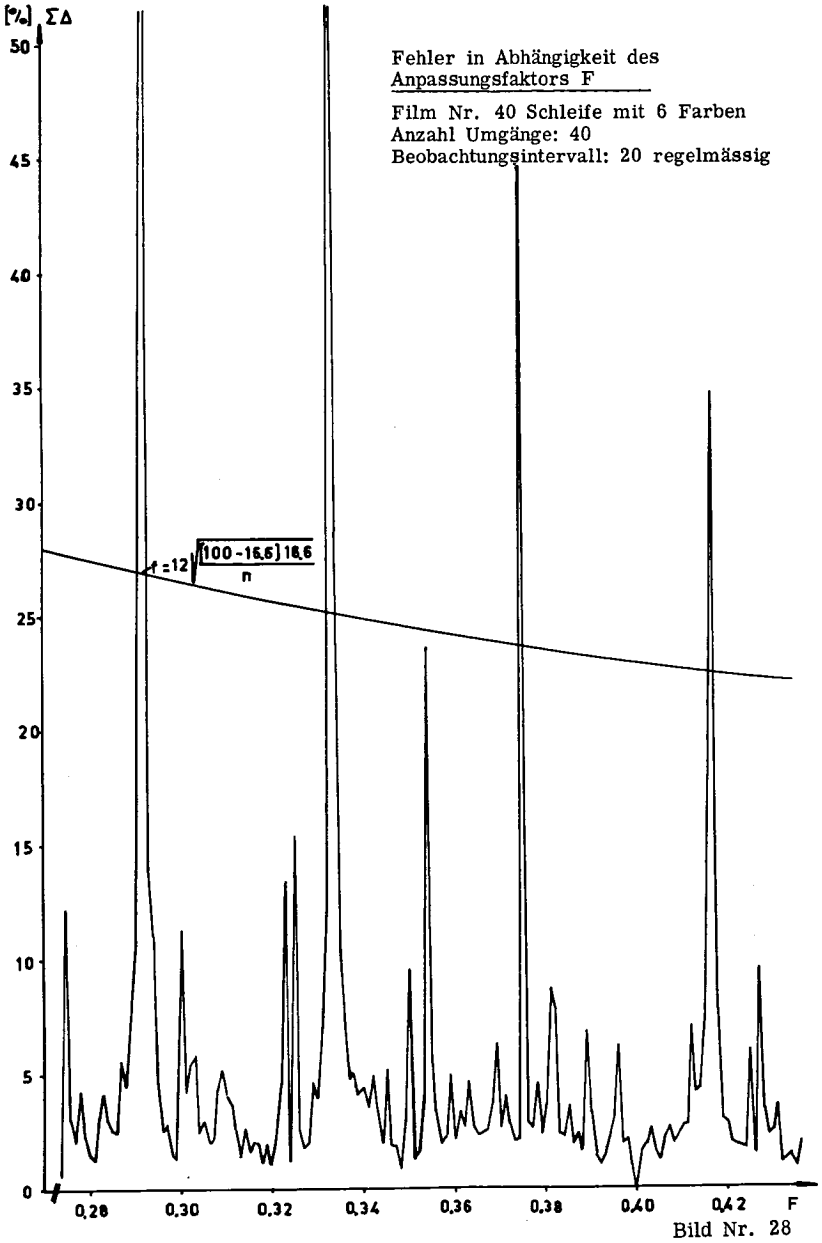


Bild Nr. 27



Faktoren hervorstechen. Die Faktoren, die einen synchronen Lauf ergeben, lassen sich mit folgender Formel berechnen:

$$F_{sn} = \frac{n \cdot I}{L}$$

- $F_{sn}$  Anpassungsfaktor für synchronen Lauf
- $I$  Signalintervall (Schritte)
- $L$  Länge der Filmschleife (Bilder)
- $n$  durchläuft die natürlichen ganzen Zahlen

Entsprechend den Werten für  $n$  ergeben sich verschiedene synchrone Läufe, analog den Grund- und Oktavtönen.

Ausgehend von diesen Gegebenheiten stellt sich die Frage, wie gross muss die Unregelmässigkeit der Zeitfolge sein, damit trotzdem regelmässige Beobachtungsintervalle angewendet werden dürfen. Da es Schwierigkeiten bietet, Filme aufzubauen, die diese Untersuchungen erfordern, wurde das Problem von der andern Seite angegangen, indem eine regelmässige Zeitfolge (d. h. Filmschleifen) beibehalten und dafür die Bandbreite der Zufallsintervalle variiert wurde.

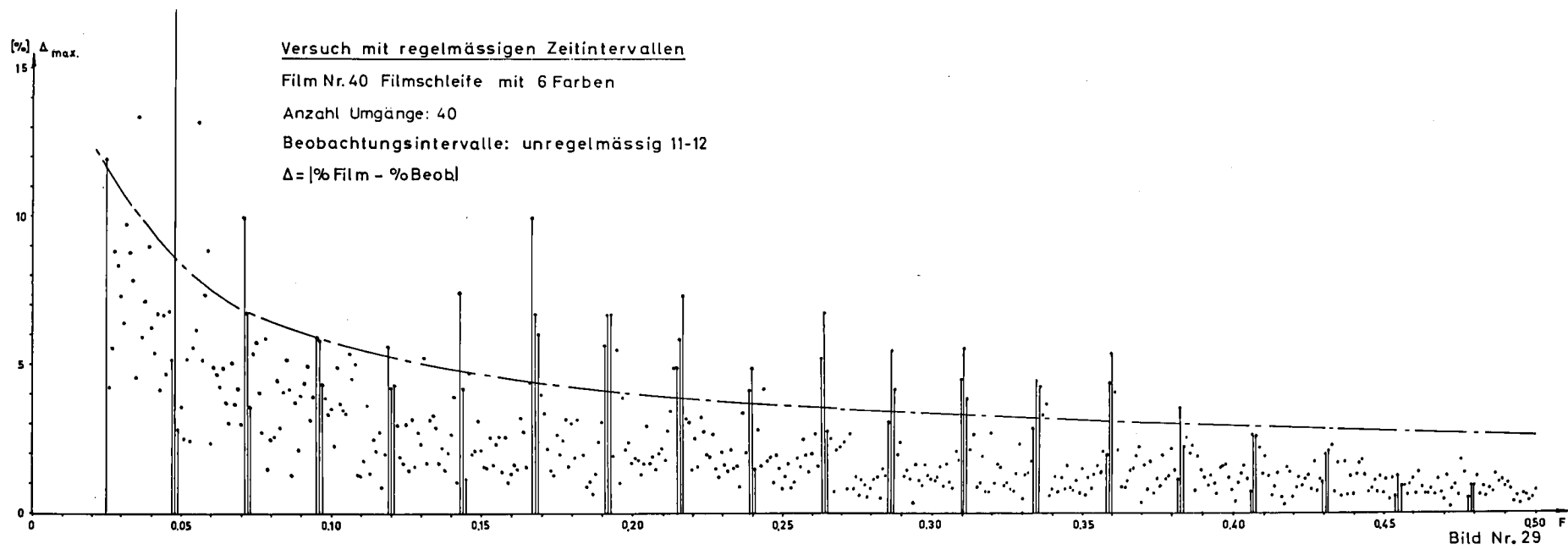
Ein Vorversuch mit einer zufällig verteilten Signalfolge von 20 resp. 21 Schritten zeigte, dass die Fehlerüberhöhungen noch sehr deutlich in Erscheinung traten. Die Formel für den Anpassungsfaktor  $F_{sn}$  muss so weit angepasst werden, als das Signalintervall  $I$  durch  $\emptyset I$  ersetzt wird.

$$F_{sn} = \frac{n \cdot \emptyset I}{L}$$

In der Folge wurden folgende Versuche durchgeführt:

Signalfolge	$\emptyset$ Signalintervall
11-12	11.5
11-13	12
11-14	12.5
⋮	⋮
11-20	15.5

Leer - Vide - Empty



Leer - Vide - Empty

mit 20, 40 und 60 Umgängen der Filmschleife, so dass gleichzeitig allfällige Einflüsse des Stichprobenumfanges abgeklärt werden konnten. In Im Bild Nr. 29a/i wurden wiederum die maximalen Abweichungen der verschiedenen Farben zwischen Versuch und Film in Abhängigkeit des Anpassungsfaktors  $F$  aufgezeichnet. Ferner wurden die Faktoren  $F_{sn}$  und ein Toleranzbereich von  $F_{sn} \pm 0.001$  eingetragen. Wie sich aus dem Versuch mit regelmässigen Intervallen ergeben hat, dürfte dieses Toleranzfeld ausreichen, entfielen doch dabei 8 von 10 Ueberhöhungen auf diese Bereiche. Dieses Feld soll gewisse Rundungsfehler bei der Berechnung von  $F_{sn}$  und ferner die Schwankungen der mittleren Schrittlänge berücksichtigen.

Als Mass für die Beurteilung der Fehlerüberhöhung dient die Grösse  $f = 1,96 \sqrt{\frac{p(100-p)}{N}}$ , die eine Aussage erlaubt über den Abweichungsbereich zwischen Versuch und Film in Abhängigkeit des Versuchsumfanges mit einer statistischen Sicherheit von 95%. Der Korrekturfaktor nach Mevert wurde für die Vergleichszwecke nicht berücksichtigt (48).

In jeder Versuchsreihe wurden die die Kurve von  $f$  übersteigenden Abweichungen ausgezählt und der prozentuale Anteil derjenigen Ueberhöhungen errechnet, die auf die Felder der Synchronfaktoren  $F_{sn} \pm 0,01$  entfielen.

Die nachstehende Tabelle wiedergibt die prozentualen Anteile in Abhängigkeit von Zufallszahlenbandbreite und Anzahl Filmschleifenumgängen (siehe Bild Nr. 30).

Bandbreite \ Umgänge	20	40	60
11 - 12	64.7	71.9	70.8
11 - 13	40.0	47.7	37.0
11 - 14	29.6	19.1	32.5
.	29.2	30.5	18.6
.	8.9	10.5	17.5
.	13.2	22.8	21.3
.	5.8	7.8	7.0
.	3.0	3.8	10.2
11 - 20	6.1	10.5	11.4

Diese Prozentwerte können noch nicht direkt miteinander verglichen werden, da mit zunehmender Bandbreite der Abstand zwischen den Synchronfaktoren ebenfalls zunimmt, so dass in einem vorgegebenen Bereich für den Faktor F die Wahrscheinlichkeit, dass eine Ueberhöhung, die auf einen Synchron-Faktor  $F_{sn} \pm 0,01$  fällt, zum vornherein kleiner ist.

Als Ausgleich wurde noch folgende Korrektur vorgenommen:

$$p = \frac{n_{12}}{n_x} p_x$$

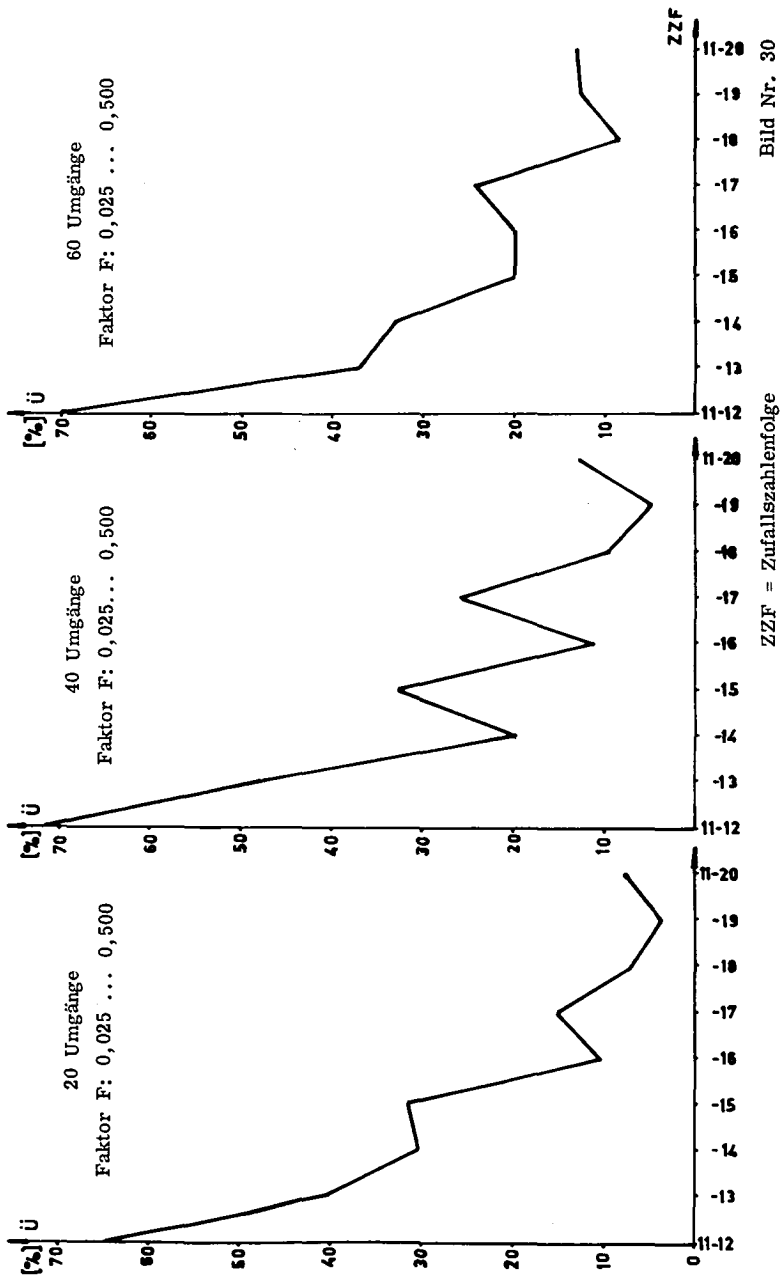
$n_{12}$  = Anzahl Stützwerte im Toleranzfeld des Synchronfaktors  $F_{sn} \pm 0,01$  für die Bandbreite 11-12 im Bereich  $F = 0.025 \dots 0.500$

$n_x$  = analog zu  $n_{12}$  für Bandbreiten 11-13 ..... 1 - 20

$p_x$  = Prozentanteil an Ueberhöhungen für dieselben Bandbreiten



Korrigierter Anteil der Ueberhöhungen, die mit harmonischen Faktoren zusammenfallen



Die unkorrigierten und korrigierten Werte weisen ähnliche Verläufe mit fallender Tendenz bei zunehmender Bandbreite auf, d. h. die zufällige Zahlenfolge verursacht bereits so grosse Schwankungen um die mittlere Schrittlänge, dass der Einfluss der synchronen Läufe immer mehr verschwindet.

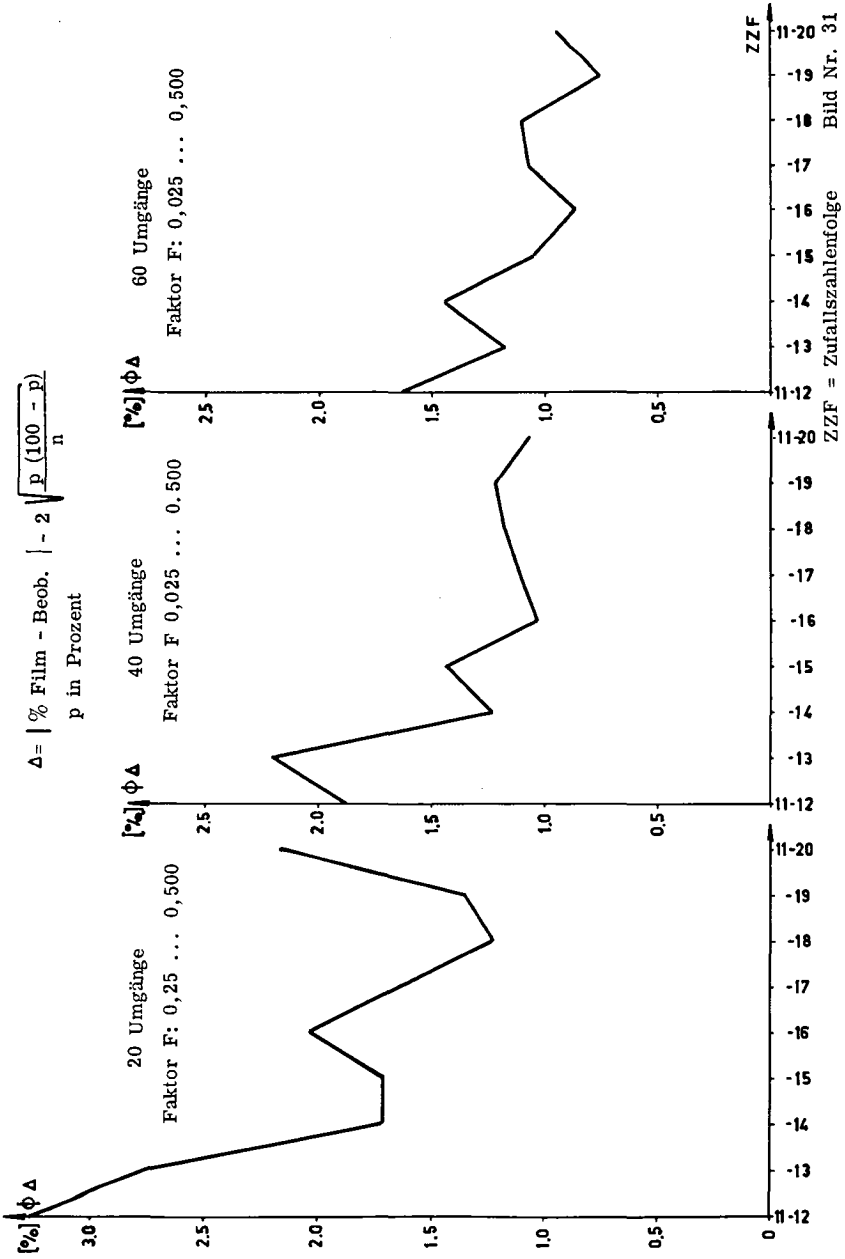
Aehnliche Bilder ergeben sich bei 20, 40 und 60 Filmschleifenumgängen.

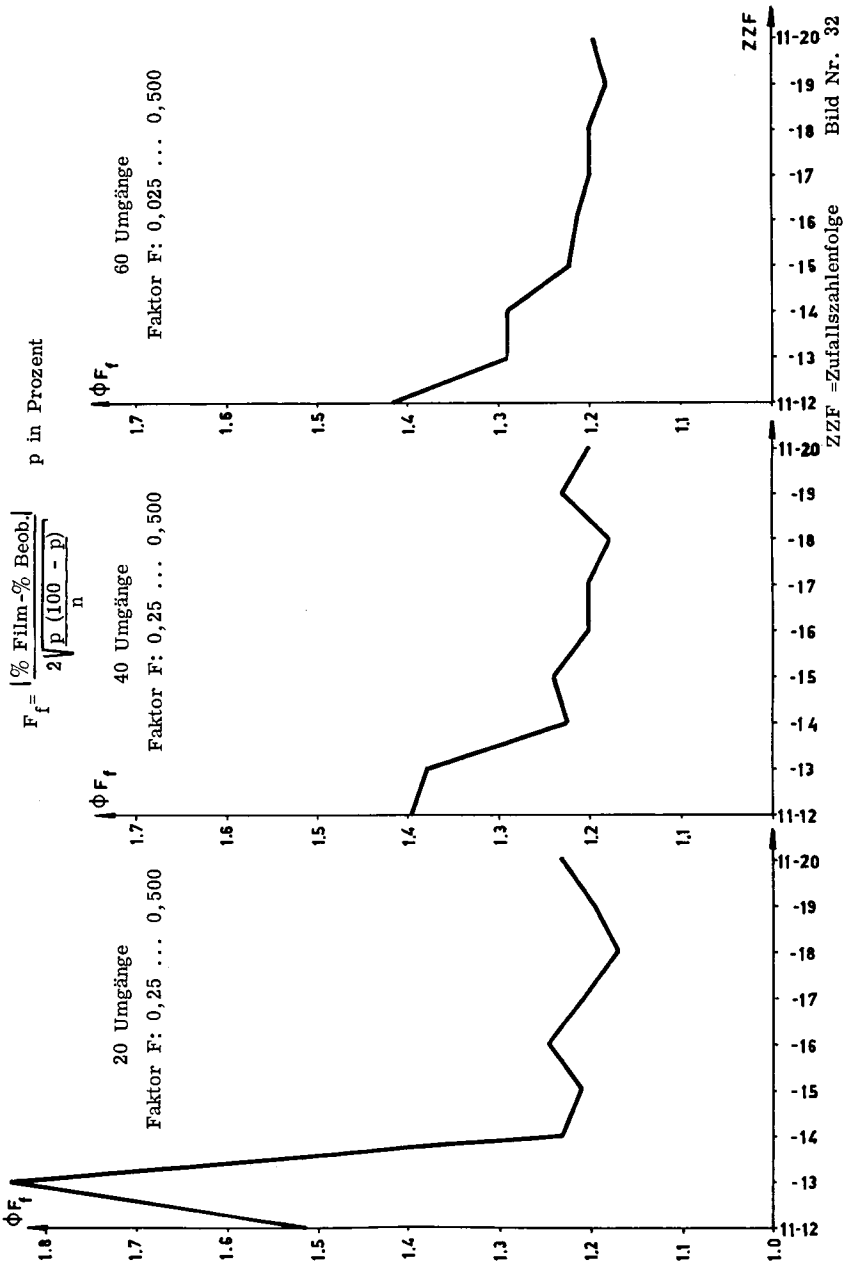
Mit den vorgängig definierten Prozentwerten kann erst eine Aussage über die Häufigkeit des Auftretens von Ueberhöhungen gemacht werden, nicht aber über den Grad der Ueberhöhung. Zur Abschätzung dieses Einflusses wurden folgende 2 Grössen definiert:

$$\begin{aligned} \emptyset \Delta &= | \% \text{ Film} - \% \text{ Beob.} | - 2 \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}} && \text{Durchschnittswert} \\ &&& \text{über sämtliche} \\ &&& \text{Ueberhöhungen} \\ \emptyset F_f &= \frac{| \% \text{ Film} - \% \text{ Beob.} |}{2 \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}}} && \text{Durchschnittswert über} \\ &&& \text{sämtliche Ueberhöhungen} \end{aligned}$$

Die Bilder Nr. 31, 32 zeigen den Kurvenverlauf dieser Werte in Abhängigkeit der Bandbreite für 20, 40 und 60 Filmschleifenumgänge. Auch hier offenbart sich die fallende Tendenz bis zu einem Grenzwert, um den die Werte der grösseren Bandbreiten schwanken. Zu den Werten bei 20 Umgängen ist zu bemerken, dass es sich dabei um ziemlich kleine Stichprobenumfänge handelt ( $n = 40 \dots 300$  für  $F = 0.5$ ).

Aus diesen Uebersichten darf angenommen werden, dass auch im Falle von streng periodischen Arbeitsabläufen Zufallszahlenreihen mit einer Bandbreite von 11- 15, d. h. mit einer Schwankung von 1 : 1,5 angewendet werden dürfen. Da bei allen diesen Versuchen die Folge der periodischen Zeiten resp. Farbstreifen und der Beobachtungsintervalle gleichwertig ist, kann geschlossen werden, dass die gleichen Gesetzmässigkeiten auch für schwankende Zeitfolgen und regelmässige Beobachtungsintervalle gelten. Nach Angaben aus der Literatur wird als Richtlinie eine Schwankung von 1 : 2 gefordert (51).





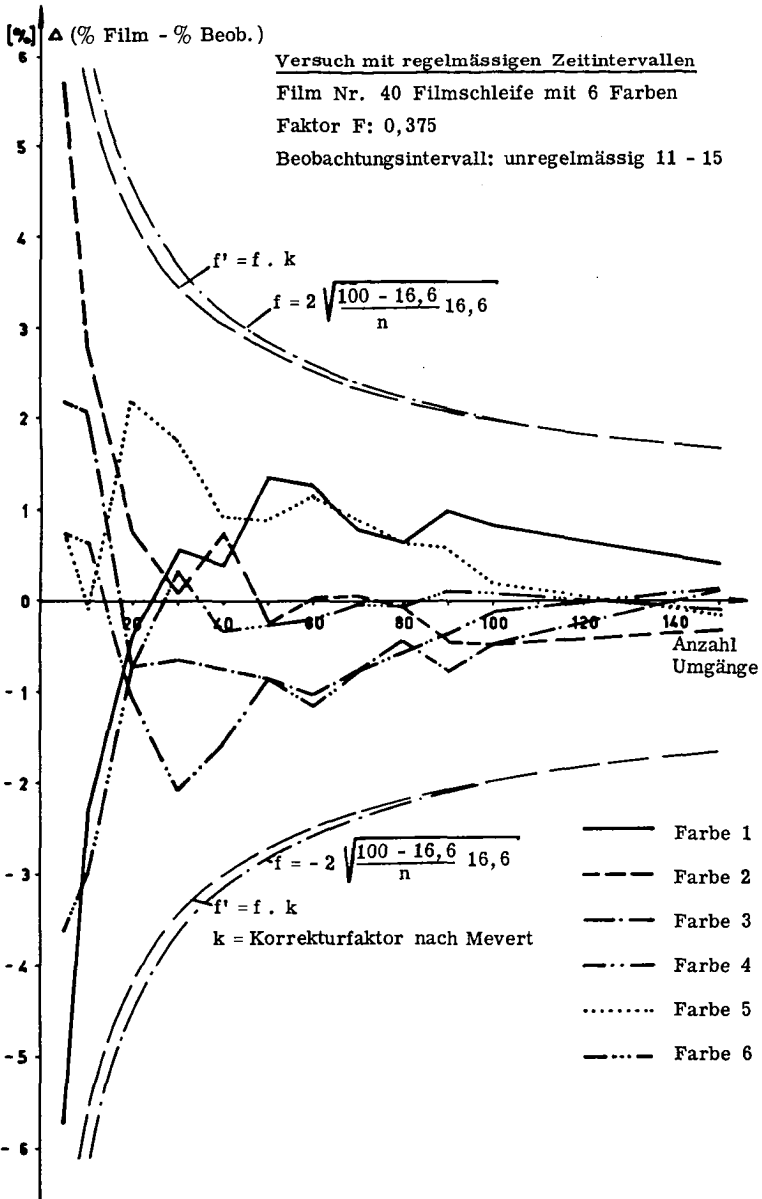


Bild Nr. 33

Da beim praktischen Einsatz einer MMM-Studie im Falle von nahezu zyklischen Abläufen im voraus keine Information über den Grad der Schwankungen besteht, wird mit der Anwendung einer Zufallsreihe 11 - 15 sicher kein Risiko eingegangen.

Um zu zeigen, dass bei streng periodischen Zeitfolgen und einer Beobachtungssignalfolge, entsprechend einer Bandbreite 11 - 15, auch mit zunehmendem Stichprobenumfang keine extremen prozentualen Verteilungen auftreten, wurde eine Versuchsreihe in Abstufungen von 10 zu 10 Filmschleifenumgängen durchgeführt. In Bild Nr. 33 sind die Resultate grafisch dargestellt, die erkennen lassen, dass die Schwankungen der prozentualen Anteile auch bei Berücksichtigung des Korrekturfaktors nach Mevert weit innerhalb des 95%-Bereiches liegen.

#### 9.8 Berechnung der absoluten und relativen Fehler für einmalige Erscheinungen

Bei der Berechnung des Verlaufs des absoluten Fehlers kann man primär von rein periodischen Beobachtungsintervallen ausgehen. Bei jeder Zeiterscheinung können  $n$  oder  $n + 1$  Beobachtungen gemacht werden, wobei  $n$  abhängig von der Dauer der zeitlichen Erscheinung ist.

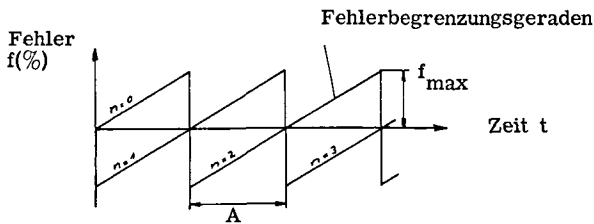


Bild Nr. 34

Trotz der Angabe in Prozenten bei der Ordinate handelt es sich um absolute Fehler, die aus der prozentualen Aufteilung der Gesamtaufnahmezeit einer MMM-Studie hervorgehen.

Um entsprechend der Gegebenheit für jede Zeitdauer 2 verschiedene Beobachtungsmöglichkeiten zu haben, ergeben sich eine obere und eine untere Fehlerbegrenzungsgerade. Der absolute Fehler steigt linear an, bis die zeitliche Ausdehnung die nächsthöhere Beobachtungsstufe zulässt. In diesem Moment setzt ein Sprung der Fehlerbegrenzungsgeraden ein, um anschliessend wieder linear anzusteigen.

Die Formel für den Fehlerverlauf lautet:

$$f_{\text{abs}} = \frac{100}{t_g} \cdot t_x - n f_{\text{max}} \quad \text{mit } f_{\text{max}} = \frac{I \cdot 100}{t_g \cdot c}$$

$$f_{\text{abs}} = \frac{100}{t_g} \left( t_x - n \frac{I}{c} \right)$$

$f_{\text{abs}}$  in % der gesamten Aufnahmezeit

$t_g$  = gesamte Aufnahmezeit

$t_x$  = zeitliche Dauer einer Einzelercheinung

$c$  = Konstante des Lochstreifensenders

für Schrittlänge von 140 msec :  $c = \frac{1}{0.14} = 7,14$

$n = \frac{t_x \cdot c}{I}$  nur ganze Zahlen verwenden

Der Abstand zwischen 2 Sprungstellen A kann aus obiger Formel bestimmt werden:  $A = \frac{I}{c}$

Für den Uebergang von periodischen zu zufällig verteilten Beobachtungen kann man vom gleichverteilten Aufbau der Zufallszahlen innerhalb der vorgegebenen Bandbreite ausgehen. Um die obigen Formeln anwenden zu können, ist jeweils das regelmässige Beobachtungsintervall I durch das mittlere  $I_m$  zu ersetzen, z.B. für die Zufallszahlen 11 - 15 durch den Wert 13.

Für die nächsten Ueberlegungen gelten die folgenden Bezeichnungen:

$I_u$  unteres Beobachtungsintervallende

$I_o$  oberes Beobachtungsintervallende

und entsprechend  $A_u, A_o$ ,

z. B. für Zufallszahlen 11 - 15  $I_u = 11$   
 $I_o = 15$

$f_o$  obere Fehlerbegrenzungsgerade

$f_u$  untere Fehlerbegrenzungsgerade

Bedingt durch die Zufälligkeit der Beobachtungsintervalle wäre eine Folge von  $I_u$  denkbar, was eine vorzeitige Sprungstelle im Abstand  $A_u$  und damit verbunden eine Ueberhöhung des maximalen Fehlers im negativen Fehlerbereich zur Folge hätte. Analog dazu können auch verzögerte Sprungstellen durch eine Folge von  $I_o$  mit einem Abstand  $A_o$  auftreten. Die Fehlerbegrenzungsgeraden haben somit einen erweiterten Gültigkeitsbereich:

Beobachtungsanzahl	Anfang	Ende
n	$(n-1) A_u$	$(n+1) A_o$

Es kann somit durchaus die Situation eintreten, dass sich unter bestimmten Bedingungen hinsichtlich zeitlicher Ausdehnung der Einzelercheinung und Folge der Zufallszahlen an Stelle von 2 Beobachtungsmöglichkeiten 3 oder mehr ergeben können. Die Wahrscheinlichkeit für die Folge solcher extremer Intervalle wird immer kleiner, je länger die Zeiterscheinung dauert; es wird sich vielmehr eine Intervallfolge einstellen, deren durchschnittliche Intervalllänge in der Grössenordnung des mittleren Intervalles liegt.



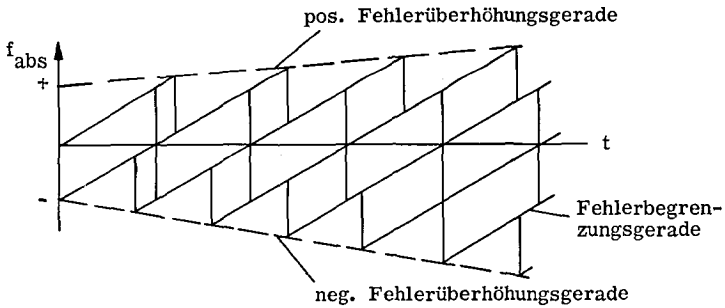


Bild Nr. 35

Zur Umschreibung der Fehlerbereiche gelten folgende Formeln:

$$\text{obere Fehlerbegrenzungsgerade} \quad f_{o \text{ abs}} = \frac{100}{t_g} \left( t_x - n_m \frac{I_m}{c} \right)$$

$$\text{untere Fehlerbegrenzungsgerade} \quad f_{u \text{ abs}} = \frac{100}{t_g} \left( t_x - (n_m + 1) \frac{I_m}{c} \right)$$

$$\text{positive Fehlerüberhöhungsgerade} \quad f_{ü \text{ pos. abs}} = \frac{100}{t_g} \left( \frac{I_o - I_m}{I_o} t_x + \frac{I_m}{c} \right)$$

$$\text{negative Fehlerüberhöhungsgerade} \quad f_{ü \text{ neg. abs}} = \frac{100}{t_g} \left( \frac{I_m - I_o}{I_u} t_x - \frac{I_m}{c} \right)$$

Die obigen Formeln liefern Angaben in Prozenten der Aufnahmedauer. Für den Vergleich der Messgenauigkeit mit andern Messgeräten sind die absoluten Fehler in Sekunden von Interesse.

$$f_{\text{abs}} = t_x \cdot n_m \frac{I_m}{c} \quad (\text{siehe Bild Nr. 36})$$

Für den weitem Vergleich sind noch die Formeln für den relativen Fehler angegeben.

$$f_{\text{rel.}} = 100 \left( 1 - n \frac{I_m}{c \cdot t_x} \right) \quad (\text{siehe Bild Nr. 37, 38})$$

Verlauf des absoluten Fehlers

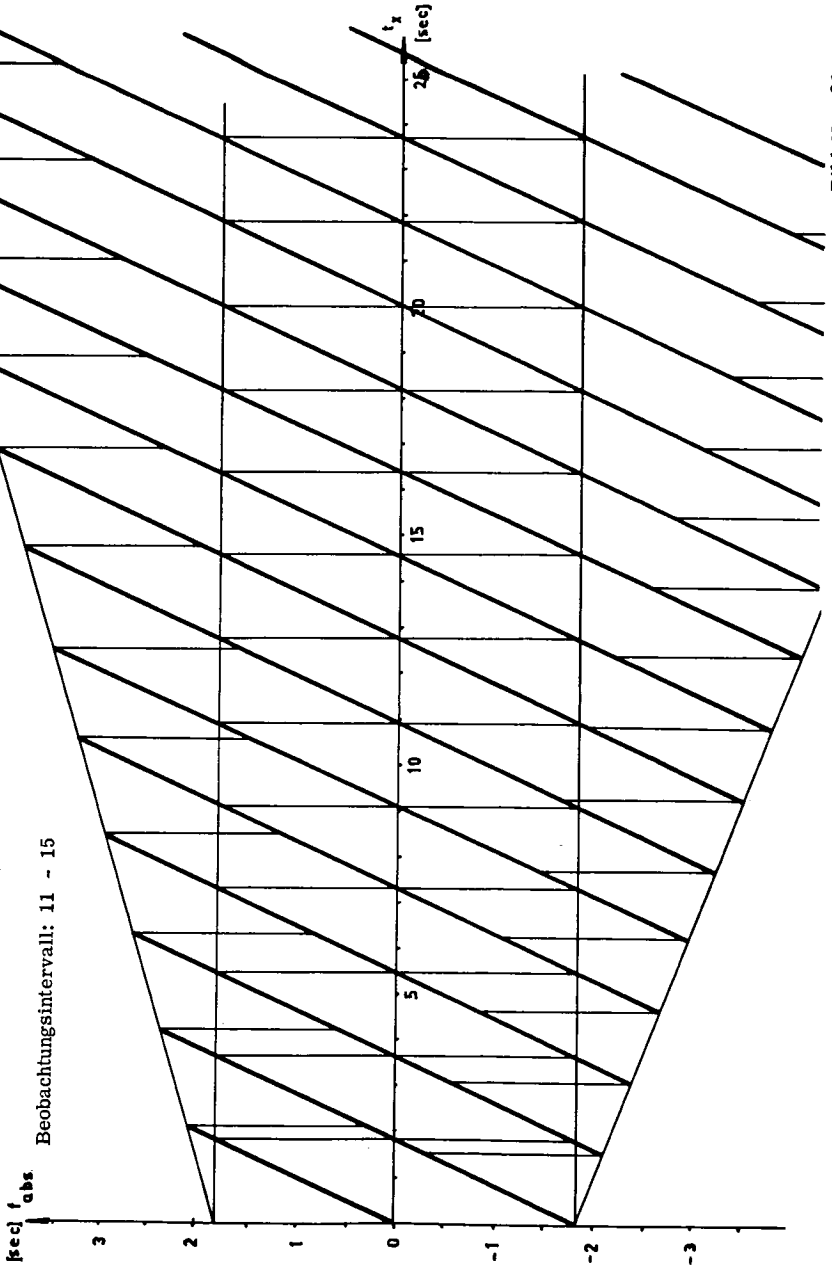


Bild Nr. 36

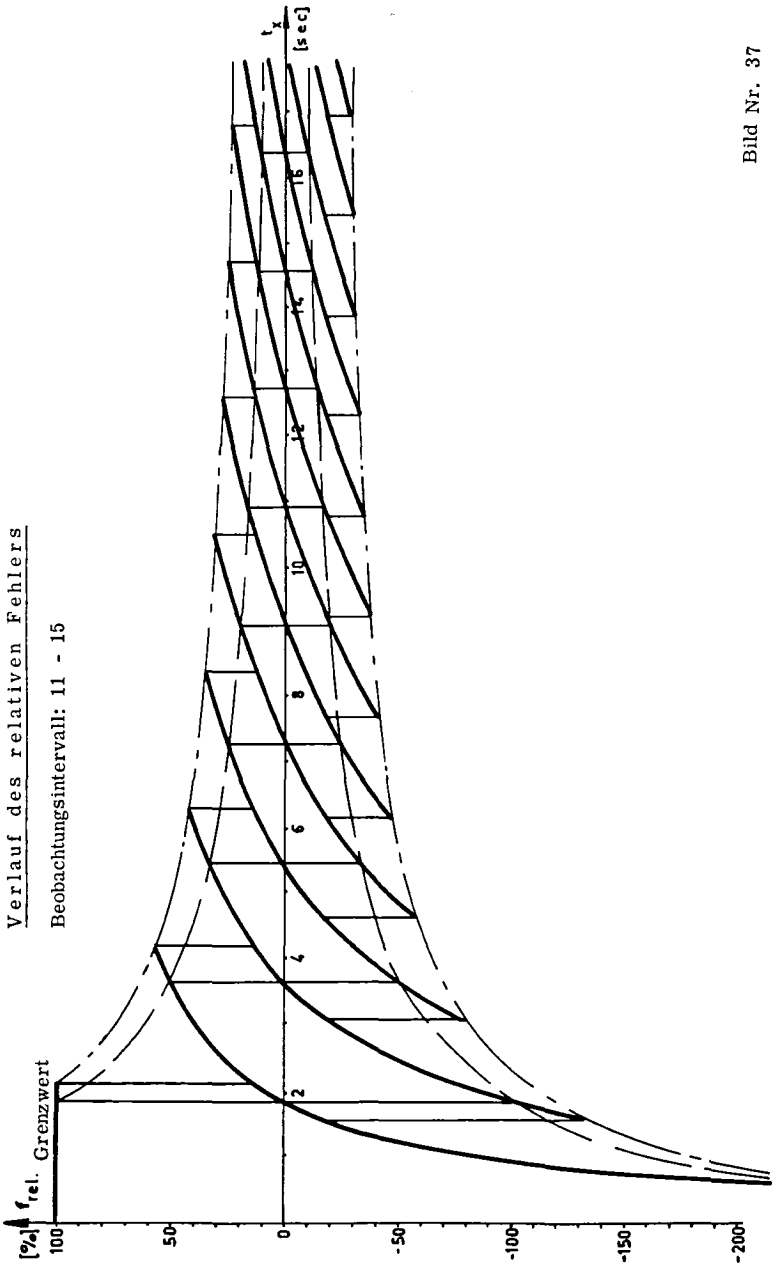
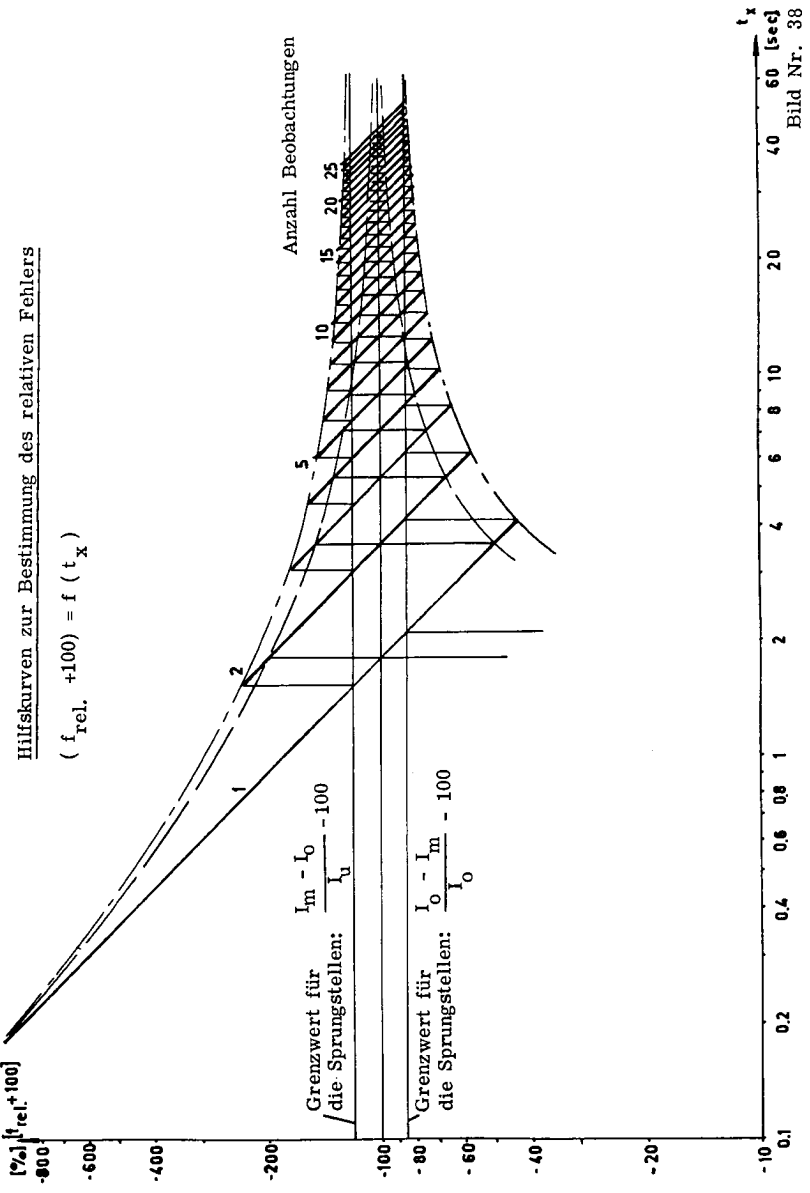


Bild Nr. 37



und für die Fehlerüberhöhungskurven:

$$\text{positiver Bereich: } f_{\ddot{u}} \text{ pos. rel.} = 100 \left( \frac{I_0 - I_m}{I_0} + \frac{I_m}{c \cdot t_x} \right)$$

$$\text{negativer Bereich: } f_{\ddot{u}} \text{ neg. rel.} = 100 \left( \frac{I_m - I_0}{I_u} - \frac{I_m}{c \cdot t_x} \right)$$

Für jede Dauer einer Einzelercheinung kann noch angegeben werden, wieviele Fehlerbegrenzungskurven (Fehlerniveau im positiven und im negativen Bereich) Gültigkeit haben:

$$\text{Total Anzahl: } m = \frac{t_x}{I_u} \cdot c + 2 - \frac{t_x}{I_0} \cdot c$$

$$\text{im positiven Bereich: } m \text{ (pos.)} = \frac{t_x}{I_m} \cdot c + 1 - \frac{t_x}{I_0} \cdot c$$

$$\text{im negativen Bereich: } m \text{ (neg.)} = \frac{t_x}{I_u} \cdot c + 1 - \frac{t_x}{I_m} \cdot c$$

Für die Werte  $\frac{t_x}{I} \cdot c$  sind nur auf ganze Zahlen (abgerundete Werte) einzusetzen.

Bild Nr. 39 zeigt die Ergebnisse zweier praktischer Versuche an einem gestreckten Film mit regelmässigem Beobachtungsintervall von 20 und zufällig verteilten Intervallen von 11 - 15. Beide Bilder lassen eine gute Uebereinstimmung mit dem sägezahnförmigen Fehlerverlauf erkennen. Im weiteren ersieht man aus den gleichen Darstellungen, dass noch mit einem zusätzlichen Fehler gerechnet werden muss. Sowohl bei regelmässigen als auch bei unregelmässigen Intervallen erscheinen Punkte, die ausserhalb der theoretisch zulässigen Fehlerbereiche liegen. Diese werden durch eine falsche Zuordnung einer Notierung oder durch das Versäumnis einer Beobachtung verursacht.

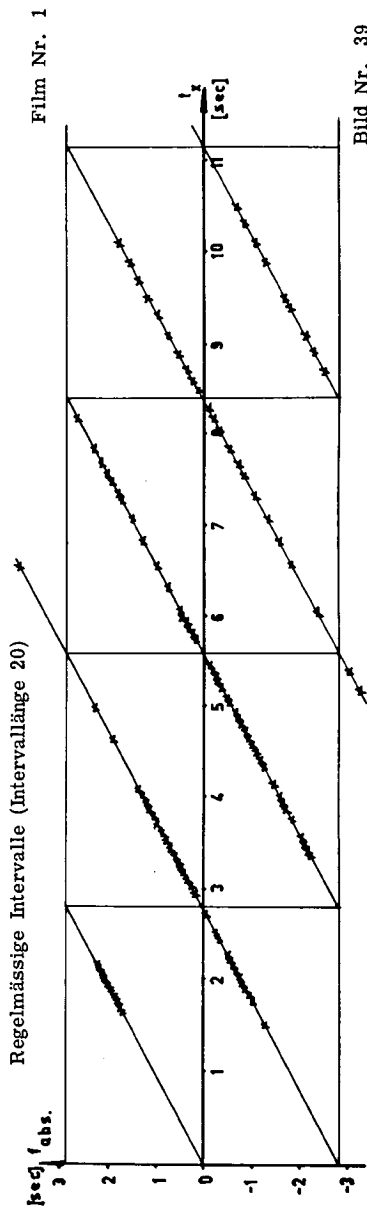
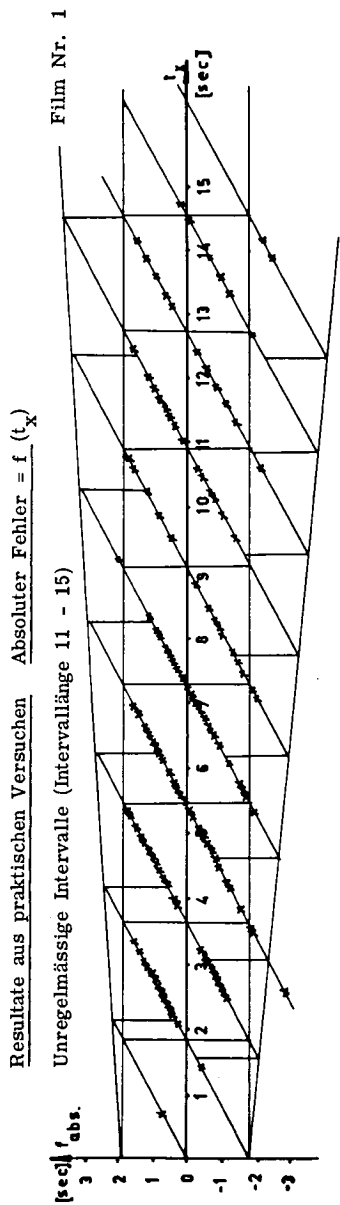


Bild Nr. 39

### 9.9 Vergleich der Messgenauigkeit mit andern Messgeräten für Einzeler- scheinungen

Obwohl es sich beim Prinzip der MMM-Studie nicht um das Erfassen von Einzelercheinungen, sondern einer Vielzahl gleichartiger Erscheinungen handelt, wird der Versuch unternommen, einen Vergleich mit andern Messgeräten hinsichtlich Messgenauigkeit aufzustellen. In Ermangelung eigener Messeinrichtungen und erfahrem Personal bestand aber keine Möglichkeit, eingehende Vergleichsmessungen durchzuführen. Es wurde daher auf die Vergleichsmessungen von Lorenz (s. Kap. 6, Bild Nr. 9) zurückgegriffen. Auch wenn nicht genau dieselben Voraussetzungen geschaffen werden konnten, dürften einem Vergleich kaum wesentliche Einwände entgegenstehen. Für die Gegenüberstellung wurde eine MMM-Studie mit einem Beobachtungsintervall von 11 - 15 gewählt. Aus dem Fehlerverlauf in den Bildern Nr. 40, 41 für absolute und relative Fehler geht der verschiedenartige Charakter des Mess-Prinzips hervor. So kann es vorkommen, dass der Fehler 0 oder wesentlich mehr als bei den übrigen Messverfahren betragen kann. Bei den Fehlerkurven der Messgeräte handelt es sich um  $\pm$  Abweichungen (Grenzwertkurven), während bei der MMM-Studie deutlich unterschieden werden kann zwischen + und - .

Gemäss dem Zufallsprinzip der MMM-Studie haben bei einer bestimmten Zeitdauer die verschiedenen Beobachtungsmöglichkeiten nicht den gleichen Erwartungswert (für die Berechnung des Erwartungswertes wird auf Kapitel 9.10 verwiesen). Aus den Kurven über den Erwartungswert in Bild Nr. 40 kann ersehen werden, dass stets im Gebiet um den Fehler 0 herum der grösste Erwartungswert für die betreffende Beobachtungsmöglichkeit besteht.

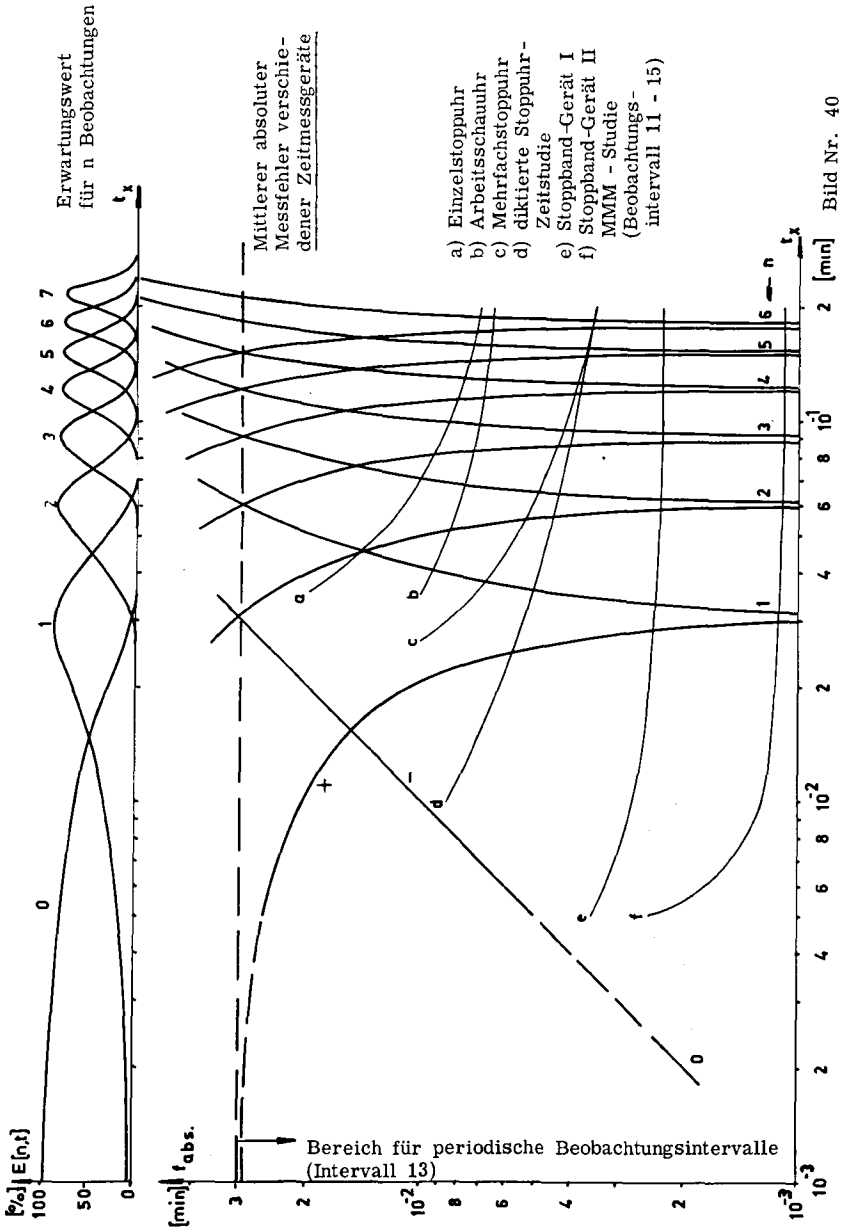
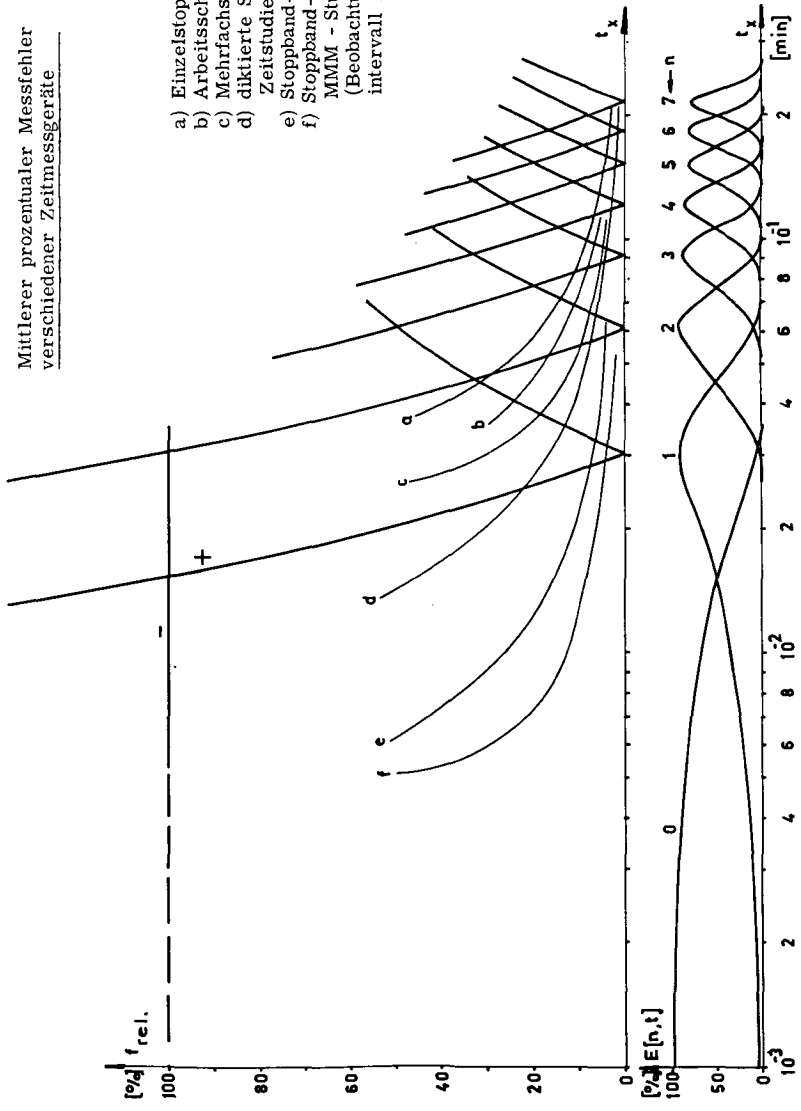


Bild Nr. 40



Mittlerer prozentualer Messfehler  
verschiedener Zeitmessgeräte

- a) Einzelstoppuhr
- b) Arbeitsschauuhr
- c) Mehrfachstoppuhr
- d) diktierte Stoppuhr-Zeitstudie
- e) Stoppband-Gerät I
- f) Stoppband-Gerät II  
MMM - Studie  
(Beobachtungsintervall II - 15



Erwartungswert  
für n Beobach-  
tungen

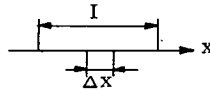
Bild Nr. 41

9.10 Berechnung der Erwartungswerte für die verschiedenen Beobachtungsmöglichkeiten bei einer bestimmten Dauer einer Einzelercheinung mit einer zufällig verteilten Zufallsfolge

Zur Betrachtung des grundsätzlichen Vorgehens wird vorerst der Fall mit regelmässigen Intervallen behandelt. Aus früheren Ueberlegungen geht hervor, dass für regelmässige Intervalle bei irgendeiner Dauer einer Erscheinung immer  $n$  resp.  $(n + 1)$  Beobachtungsmöglichkeiten bestehen.

Den Erwartungswert in einem Zeitraum - um eine Beobachtung machen zu können - stellt der Quotient der Zeitdauer zur Intervalllänge dar:

$$E = \frac{\Delta x}{I}$$



Anhand der folgenden Skizze können die Erwartungswerte angeschrieben werden.

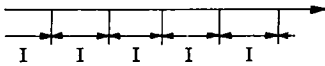


Bild Nr. 42

$x_0$ $\mu$	$E(0) = \frac{1-x}{I}$ für $0 \leq x < I$
$x_0$ $\mu$ $\longleftarrow$	
$x_1$ $\mu$	$E(1) = \frac{x}{I}$ $0 \leq x < I$
$x_1$ $\mu$ $\longleftarrow$	$E'(1) = \frac{2I-x}{I}$ $I \leq x < 2I$
$x_2$ $\mu$ $\longleftarrow$	$E(2) = \frac{x-I}{I}$ $I \leq x < 2I$
$x_2$ $\mu$ $\longleftarrow$	$E'(2) = \frac{3I-x}{I}$ $2I \leq x < 3I$
$x_3$ $\mu$ $\longleftarrow$	$E(3) = \frac{x-2I}{I}$ $2I \leq x < 3I$
$x_3$ $\mu$ $\longleftarrow$	$E'(3) = \frac{4I-x}{I}$ $3I \leq x < 4I$

Allgemein formuliert:

$$E(n) = \frac{x - (n-1)I}{I} \quad \text{für } (n-1)I \leq x < nI$$

$$E'(n) = \frac{(n+1)I - x}{I} \quad \text{für } nI \leq x < (n+1)I$$

x \ n	0	1	2	3	E(0)	E(1)	E(2)	E(3)	E(n)
Divisor	5	5	5	5					
0	5	0			1	0			1                         
1	4	1			0,8	0,2			
2	3	2			0,6	0,4			
3	2	3			0,4	0,6			
4	1	4			0,2	0,8			
5	0	5	0		0	1,0	0		
6		4	1			0,8	0,2		
7		3	2			0,6	0,4		
8		2	3			0,4	0,6		
9		1	4			0,2	0,8		
10		0	5	0		0	1,0	0	
11			4	1			0,8	0,2	
12			3	2			0,6	0,4	
13			2	3			0,4	0,6	

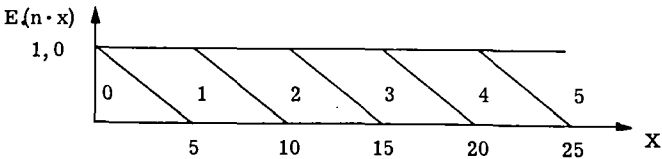
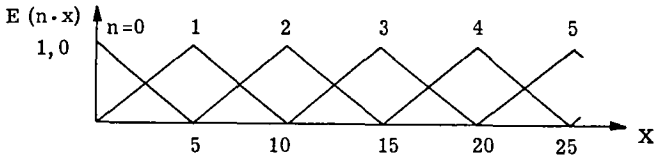


Bild Nr. 43

Beim Uebergang von regelmässigen zu unregelmässigen Intervallen kann das gleiche Vorgehen angewendet werden, wobei nun noch die zufällige Folge von Intervallen unterschiedlicher Länge zu berücksichtigen ist.

Es gilt nur für verschiedene Intervalllängen

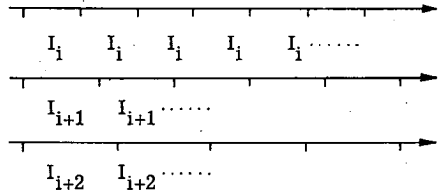


Bild Nr. 44

$$E(n) = \frac{1}{B} \sum_{i=I_u}^{I_o} \frac{x - (n-1) I_i}{I_i}$$

$$E'(n) = \frac{1}{B} \sum_{i=I_u}^{I_o} \frac{(n+1) I_i - x}{I_i}$$

B = Intervallbreite, z.B. für 11 - 15 B = 5

Zusätzlich ist nun noch die Zufälligkeit der Intervallfolge zu berücksichtigen.

An einem vereinfachten Zahlenbeispiel soll das Vorgehen illustriert werden.

Zufallszahlenfolge (ZZF) : 3-5 B=3

Erwartungswert für 0 Beobachtungen:

x \ ZZF	ZZF			E(0,3)	E(0,4)	E(0,5)	$\sum E(0)$
	3	4	5				
Divisor	3	4	5				3
0	3	4	5	1	1	1	1
1	2	3	4	0,66	0,75	0,80	0,737
2	1	2	3	0,33	0,50	0,60	0,477
3	0	1	2	0	0,25	0,40	0,216
4		0	1		0	0,20	0,067
5			0			0	0

Erwartungswert für 1 Beobachtung:

x \ ZZF	ZZF			ZZF			ZZF			$\sum E(1)$	Häufigkeit h der Abschlusspunkte
	3/3	3/4	3/5	4/3	4/4	4/5	5/3	5/4	5/5		
Divisor	3			4			5			3	
0	0			0			0			0	
1	1			1			1			0,260	
2	2			2			2			0,520	
3	3			3			3			0,780	
4	2	3	4	4			4			0,845	
5	1	2	3	2	3	4	5			0,737	
6	0	1	2	1	2	3	2	3	4	0,477	1
7		0	1	0	1	2	1	2	3	0,253	2
8			0		0	1	0	1	2	0,091	3
9						0		0	1	0,022	2
10									0	0	1
Divisor	3(3,4,5)			3(3,4,5)			3(3,4,5)				

Als Ausgangspunkt für 2 Beobachtungen gelten die Endpunkte für 0 Beobachtungen; dabei können die Erwartungswerte für 1 Beobachtung immer wieder verwertet werden.

Erwartungswerte für 2 Beobachtungen:

x \ ZZF	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	$\frac{1}{3} \sum E(2)$
3	0			0
4	0,260	0		0,087
5	0,520	0,260	0	0,260
6	0,780	0,520	0,260	0,520
7	0,845	0,780	0,520	0,716
8	0,737	0,845	0,780	0,787
9	0,477	0,737	0,845	0,686

$$Z_1 : 3(3/3), 3(3/4) \dots 3(5/5)$$

$$Z_2 : 4(3/3), 4(3/4) \dots 4(5/5)$$

$$Z_3 : 5(3/3), 5(3/4) \dots 5(5/5)$$

Erwartungswert für 3 Beobachtungen:

Hiefür gelten die Abschlusspunkte für 1 Beobachtung als Ausgangspunkt. Bei der Betrachtung der Tabelle für 1 Beobachtung fällt auf, dass mehrere gleichwertige Abschlusspunkte vorhanden sind, die eine Vereinfachung des Rechenvorganges erlauben.

x \ h	1	2	3	2	1	$\frac{1}{9} \sum E(3)$
6	0					0
7	0,260	0				0,0234
8	0,520	0,520	0			0,0935
9	0,780	1,040	0,780	0		0,234
10	0,845	1,560	1,560	0,520	0	0,403
11	0,737	1,690	2,340	1,040	0,260	0,547
12	0,477	1,574	2,535	1,560	0,520	0,600
13	0,253	0,954	2,211	1,690	0,780	0,529
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

h Häufigkeit der Abschlusspunkte

Dieses Rechenschema lässt sich nun für die weiteren Beobachtungsstufen anwenden. Die allgemeinen Rechengvorgänge lauten:

h-Werte k-Werte	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub> ... h <sub>s</sub>	$\left(\frac{1}{\bar{B}}\right)^{n-1} \sum kh$
k <sub>1</sub>	k <sub>1</sub> h <sub>1</sub>			$(k_1 h_1) \left(\frac{1}{\bar{B}}\right)^{n-1}$
k <sub>2</sub>	k <sub>2</sub> h <sub>1</sub>	k <sub>1</sub> h <sub>2</sub>		$(k_2 h_1 + k_1 h_2) \left(\frac{1}{\bar{B}}\right)^{n-1}$
k <sub>3</sub>	k <sub>3</sub> h <sub>1</sub>	k <sub>2</sub> h <sub>2</sub>	k <sub>1</sub> h <sub>3</sub>	$(k_3 h_1 + k_2 h_2 + k_1 h_3) \left(\frac{1}{\bar{B}}\right)^{n-1}$
⋮	⋮	⋮	⋮	
⋮	⋮	⋮	k <sub>1</sub> h <sub>s</sub>	
k <sub>m</sub>	k <sub>m</sub> h <sub>1</sub>		k <sub>2</sub> h <sub>s</sub>	
		k <sub>m</sub> h <sub>2</sub>	k <sub>3</sub> h <sub>3</sub>	
			⋮	
			k <sub>m</sub> h <sub>3</sub>	
			⋮	
			k <sub>m</sub> h <sub>s</sub>	$(k_m h_s) \left(\frac{1}{\bar{B}}\right)^{n-1}$

k-Werte: Erwartungswerte für 1 Beobachtung

h-Werte: Häufigkeiten der Abschlusspunkte

### Berechnung der Abschlüsse der Zufallszahlenfolgen

Anhand des Zahlenbereiches mit dem Intervall 3 - 5 soll die Vorgehensweise gezeigt werden.

Abschlusspunkt der Zufallszahlenfolge

für 0 Beobachtungen      1 Beobachtung      2 Beobachtungen  
oder Startpunkt

für 2 Beobachtungen      3 Beobachtungen      4 Beobachtungen

x \ ZZ	3	4	5	Σ
3	1			1
4		1		1
5			1	1
Σ	1	1	1	3

x \ ZZ	3	4	5	Σ
6	1			1
7	1	1		2
8	1	1	1	3
9		1	1	2
10			1	1
Σ	3	3	3	9

x \ ZZ	3	4	5	Σ
9	1			1
10	2	1		3
11	3	2	1	6
12	2	3	2	7
13	1	2	3	6
14		1	2	3
15			1	1
Σ	9	9	9	27

Totalsumme

Die Totalsumme entspricht der Anzahl Variationen mit Wiederholungen zur n-ten Klasse von B-Elementen (63):

$$V_n(B) = B^n$$

Die Abschlusspunkte einer Beobachtungsstufe bilden ganz allgemein die Ausgangspunkte für die übernächste Beobachtungsstufe. Die allgemeine Formulierung für die h-Werte (für B = 3) lautet:

2. Beob. - Stufe	3. Beob. - Stufe	4. Beob. - Stufe
a	a	a
b	a+b	a+(a+b)
c	a+b+c	a+(a+b) + (a+b+c)
	b+c	(a+b) + (a+b+c) + (b+c)
	c	(a+b+c) + (b+c) + c
		(b+c) + c
		c

Die Reihen der h-Werte verlaufen symmetrisch zum zentral gelegenen Wert.



Für andere Werte von B ist die entsprechende Anzahl Startwerte a, b, c, d, e... anzusetzen, und bei den Berechnungen für die nächsten Beobachtungsstufen muss jeweils über B Werte summiert werden. Die Anzahl der Startwerte entspricht der Bandbreite B der Zufallszahlenfolge.

Für die zahlenmässigen Berechnungen sind sämtliche Startwerte a, b, c, d... gleich 1 zu setzen.

Die Anzahl der h-Werte  $H_n$  für die n-te Beobachtungsstufe berechnet sich aus der Formel

$$H_n = B + (n-2) (B-1)$$

Zur Kontrolle der berechneten Erwartungswerte können diejenigen der verschiedenen Beobachtungsstufen entsprechend ihrem Gültigkeitsbereich aufaddiert werden, wobei die Summe immer 1 betragen muss.

Die grafische Darstellung der Erwartungswerte ergibt - 0 Beobachtungen ausgenommen - eine leicht asymmetrische Glockenkurve. Mit zunehmender Anzahl der Beobachtungsstufen nimmt das Maximum der Erwartungswerte ab und die Basisbreite der Glocke gemäss  $(n+1) I_0 - (n-1) I_u$  zu.

Um die Veränderung der Glockenkurven zu zeigen, sind die einzelnen Verteilungskurven bei verschobener Abszisse in Bild Nr. 45 aufgezeichnet. Bei folgerichtiger Aufzeichnung der Erwartungswerte ergeben sich langgestreckte S-Kurven, die sich mit zunehmender Beobachtungsstufe immer mehr gegenseitig überlappen (Bild Nr. 46).

Mit dem Verlauf des absoluten oder relativen Fehlers einerseits und dem Erwartungswert andererseits besteht nun die Möglichkeit, die Bedeutung der Fehlerüberhöhungen bei zufällig verteilten Beobachtungsintervallen abzuschätzen.

In einer grafischen Darstellung wurden die Werte  $E \cdot f_{abs}(\%)$  (Bild Nr. 47, 48) und  $E \cdot f_{rel}(\%)$  eingetragen. Daraus kann entnommen werden, dass die Maxima von  $E \cdot f_{abs}$  im positiven und negativen Bereich gleich

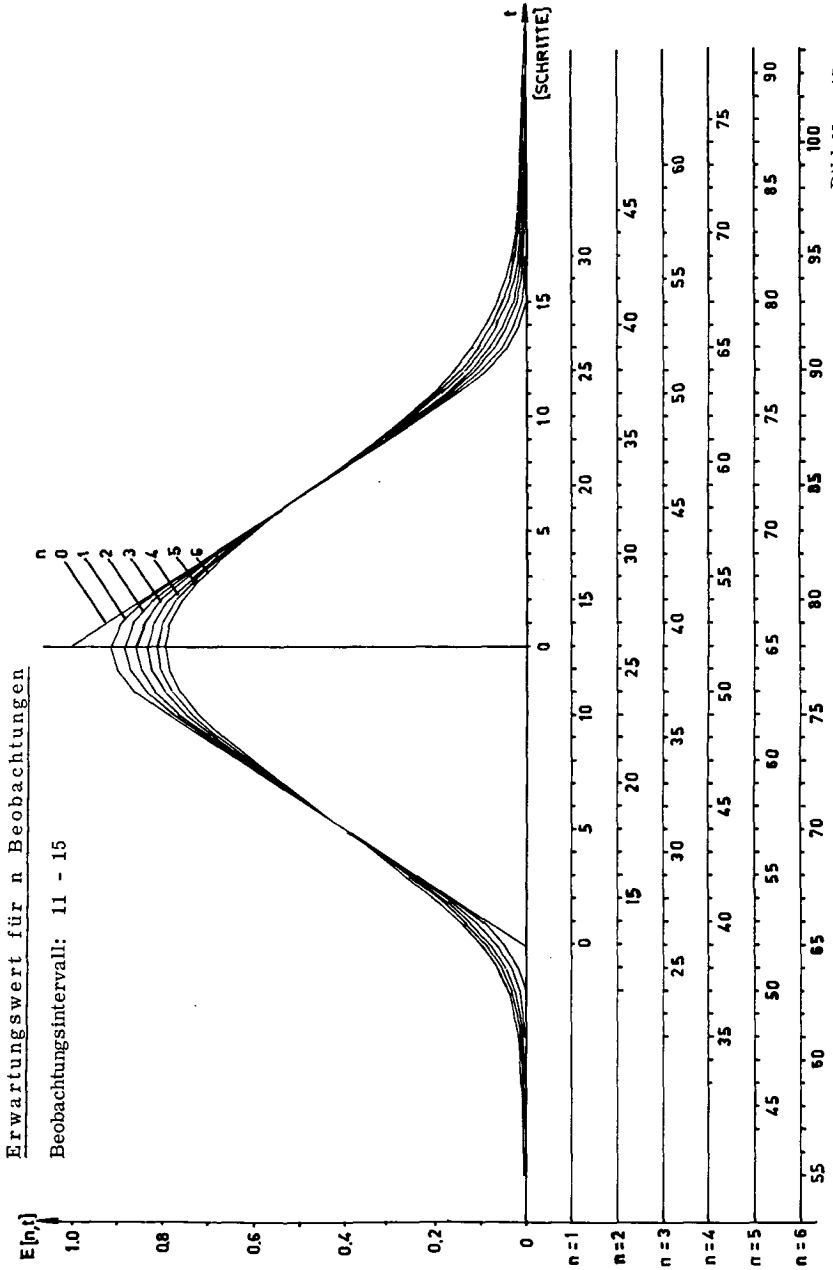
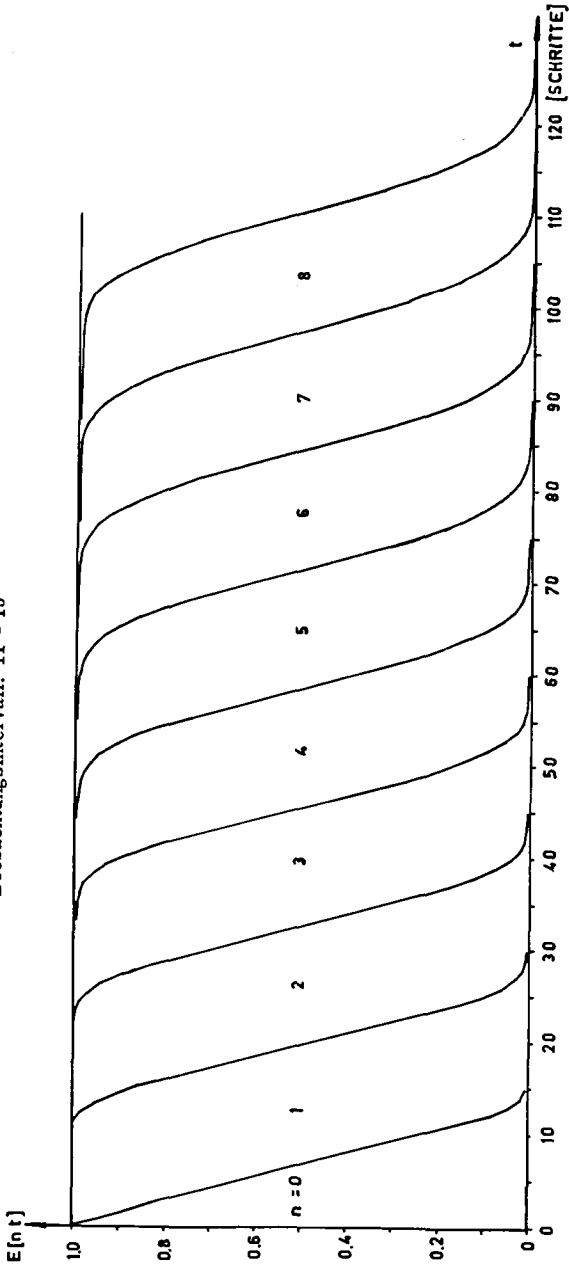


Bild Nr. 45

Erwartungswert für n Beobachtungen

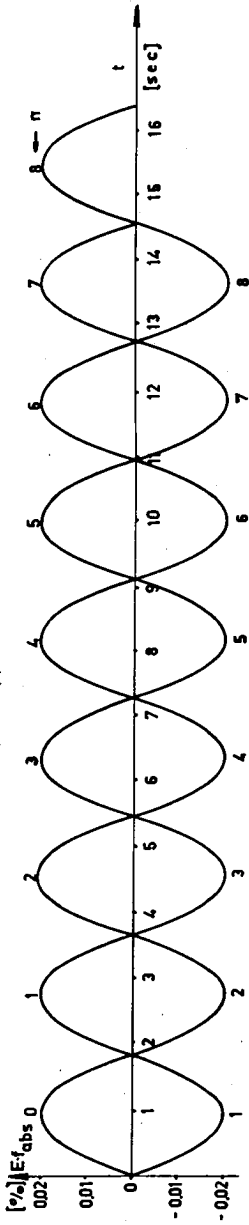
Beobachtungsintervall: 11 - 15



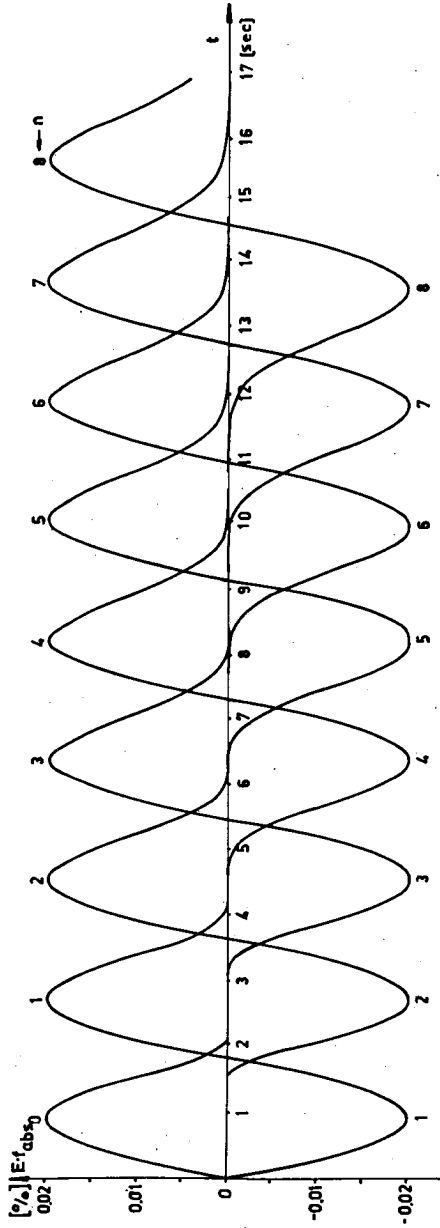
1 Schritt  $\approx$  0,14 sec

Bild Nr. 46

(Erwartungswert) (Fehler absolut) =  $f(t)$



Regelmässige Intervalle (Intervalllänge 13)



Unregelmässige Intervalle (Intervalllänge 11 - 15)

( Erwartungswert ) ( Fehler relativ ) =  $f(t)$

Unregelmässige Intervalle ( Intervalllänge 11 - 15 )

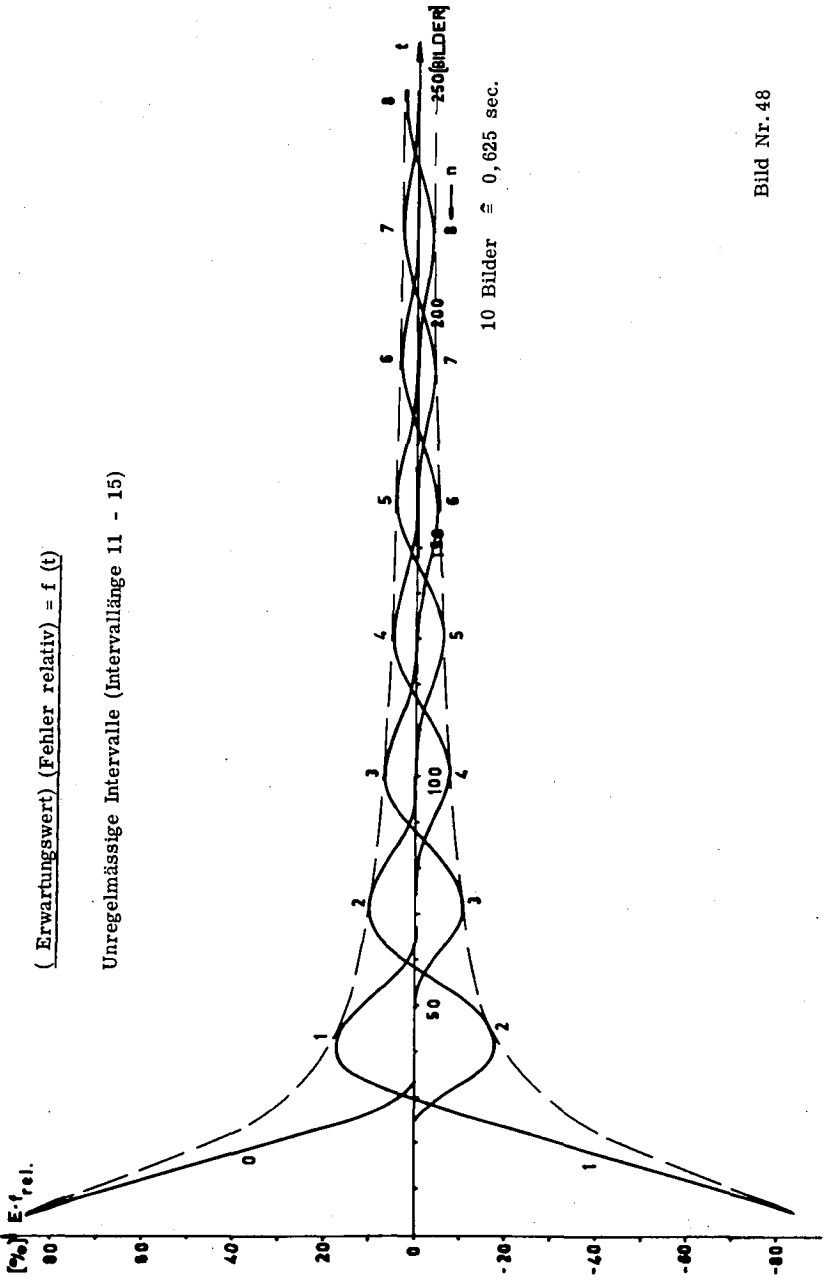
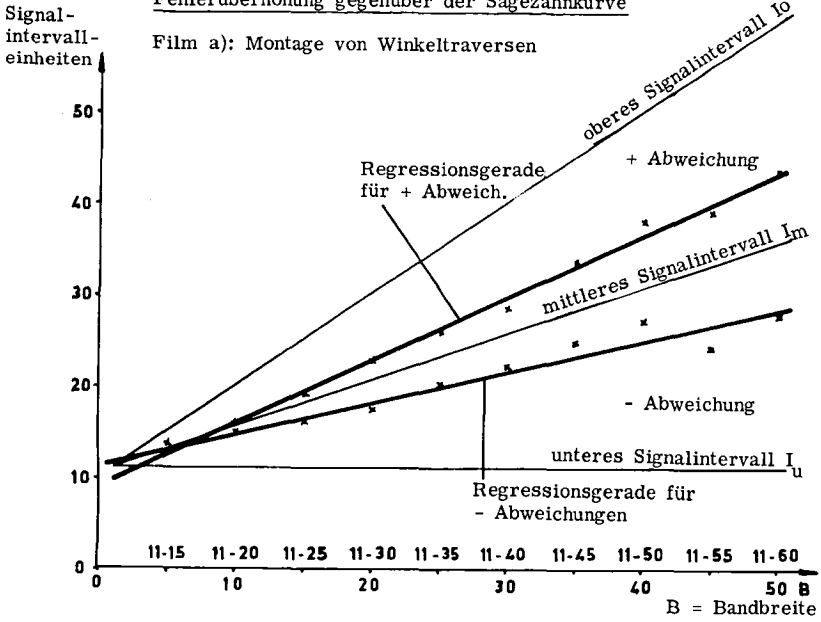


Bild Nr. 48



Fehlerüberhöhung gegenüber der Sägezahnkurve

Film a): Montage von Winkeltraversen



Film b): Nr. II

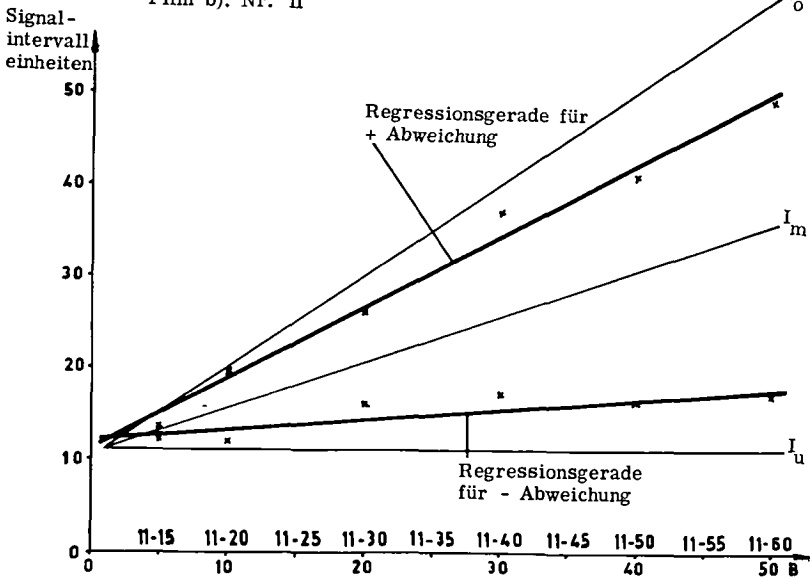


Bild Nr. 49

In allen 4 Fällen kann die Abweichung des Bestimmtheitsmasses von Null als gesichert betrachtet werden.

Die beiden Regressionsgeraden müssten sich theoretisch im Punkt ( $I = 11$ ,  $B = 1$ ) schneiden, weil  $I_0 = I_u = I_m$  wird, mit einer Bandbreite  $B = 1$ .

In der vorstehenden Tabelle sind die Werte von  $I$  für  $B = 1$  berechnet. Jeder Wert weicht mehr oder weniger vom Idealwert 11 ab. Bei Bestimmung der Vertrauensgrenze der Regressionsgeraden im Punkt  $B = 1$  zeigt es sich, dass es sich nur um zufällige Differenzen zwischen Ideal- und Effektivwert handelt.

Die Formel für die Vertrauensgrenze lautet:

$$I \pm t_{0.05} \cdot s \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{(B - \bar{B})^2}{s_{BB}}} \quad (\text{statistische Sicherheit} = 95\%)$$

Im Vergleich der Resultate der Filme a) und b) in Bild Nr. 49 fällt auf, dass die Differenzen der Steigungsmasse der Regressionsgeraden und der Geraden, die dem mittleren Intervall entspricht, im Film a) auffallend kleiner als im Film b) sind.

	Differenz der Steigungsmasse	
	pos. Bereich	neg. Bereich
Film a)	0,190	0,165
Film b)	0,277	0,379

Da im Film a) zeitliche Einzelercheinungen auftraten, die zwischen 6,4 und 24,9 Sek. schwankten, im Film b) hingegen zwischen 0,7 und 14,7 Sek., so bestätigten die grösseren Differenzen der Steigungsmasse die Richtigkeit der Ueberlegung, dass sich bei längern Zeiterscheinungen viel eher eine Signalfolge einstellt, die ungefähr der mittleren Intervalllänge entspricht, als dies bei kürzeren der Fall ist. Mangels ge-



eignetem Filmmaterial musste auf eine weitere Untersuchung dieser Erscheinung verzichtet werden.

Nach diesen Betrachtungen über regelmässige und unregelmässige Beobachtungsintervalle und den Grad der Fehlerüberhöhungen bei unregelmässigen Intervallen sei noch auf eine Simulations-Versuchsreihe hingewiesen (Bild Nr. 50). Am gleichen Film wurden beide Signalarten angewendet, wobei die regelmässigen Intervalle den mittleren Intervallen der unregelmässigen entsprachen, was gleichzeitig etwa gleich grosse Stichprobenumfänge bei gleicher Aufnahmedauer ergibt.

Als Vergleichsmass wurde die Summe der absoluten Fehler aller Farbanteile gebildet. Für den Fall, dass regelmässige und unregelmässige Intervalle ungefähr gleichwertige Resultate liefern, müssten in Bild Nr. 50 etwa gleich viele Punkte ober- und unterhalb oder auf der 45<sup>0</sup>-Geraden liegen. Aus der Darstellung kann man entnehmen, dass, obwohl alle prozentualen Anteile bei einer statistischen Sicherheit 95% innerhalb der Streubereiche liegen, mit regelmässigen gegenüber unregelmässigen Beobachtungsintervallen bessere, gleichwertige oder schlechtere Resultate erreicht werden können, wobei bessere Werte häufiger auftreten.

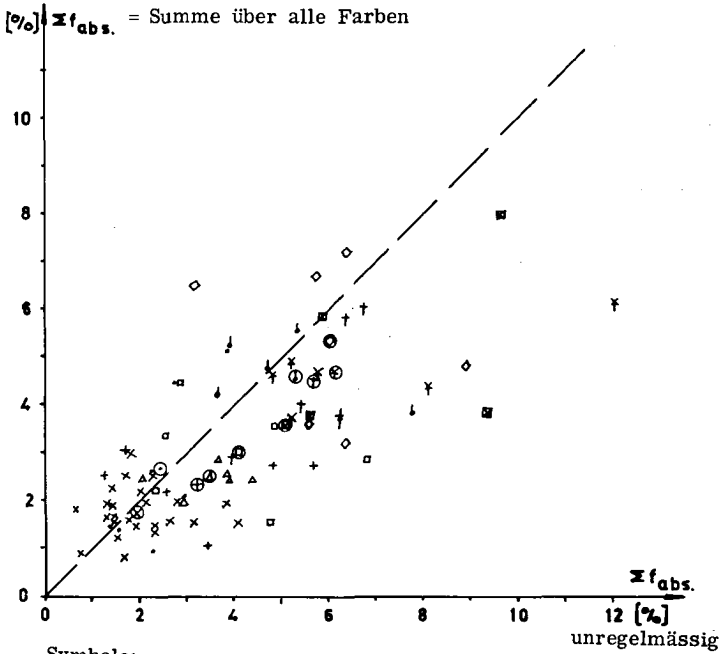
#### 9.11 Auflösungsvermögen oder Gliederungstiefe der MMM-Studie

Wie aus Bild Nr. 9a ersichtlich ist, lassen sich mit den verschiedenen Messverfahren recht unterschiedliche Gliederungstiefen realisieren. Dabei ist zu bemerken, dass die Tonband-Zeitstudie, die diktierete Zeitstudie oder der Film in dieser Hinsicht zum vornherein günstiger liegen, indem bei allen diesen Verfahren im Laufe der Zeitaufnahmen zusätzliche Unterteilungsmöglichkeiten bestehen, während die übrigen Verfahren eine Zeitgliederung und eine Festlegung der Messpunkte zur Abgrenzung der Teilzeiten vor Beginn der Aufnahmen erfordern. Zusätzliche Unterteilung in weitere Zeitarten lassen sich nur noch mit Mühe erfassen.

Simulationen mit regelmässigen und unregelmässigen  
Beobachtungsintervallen

Regelmässige Intervalllänge  $\hat{=}$  mittlere Intervalllänge  
der unregelmässigen  
Beobachtungsintervalle

regel-  
mässig



Symbole:

x	11 - 15	⊕	Durchschnittswert aus 26 Versuchen		
.	11 - 20	⊙	"	"	6 "
+	11 - 25	⊕	"	"	6 "
▲	11 - 30	⊕	"	"	6 "
□	11 - 35	●	"	"	6 "
↓	11 - 40	⊙	"	"	6 "
◇	11 - 45	●	"	"	6 "
†	11 - 50	⊕	"	"	6 "
‡	11 - 55	⊕	"	"	6 "
■	11 - 60	●	"	"	4 "

Bild Nr. 50

Die Gliederungstiefe ist umso grösser, je weniger ein Zeitstudienmann durch Schalt-, Ablese- und Schreiboperationen ausgelastet ist. Zur Abklärung dieses Aspektes im Falle der MMM-Studie wurde eine Vielzahl von praktischen Versuchen an Filmschleifen mit Farbstreifen durchgeführt, die Hinweise über die Verarbeitungskapazität des Zeitstudienmannes geben soll.

Zu den nachstehenden Resultaten ist zu bemerken, dass die daraus ermittelten Grenzen sich lediglich auf eine Gruppe von 2 Versuchspersonen beziehen und es für eine Verallgemeinerung noch zusätzlicher Untersuchungen bedürfte, um damit die Streuungen von Mensch zu Mensch zu berücksichtigen. Die zutage gekommenen Werte geben aber immerhin einen Hinweis über die zu erwartenden Grössenordnungen.

In einem ersten Versuch wurden Filmschleifen, bestehend aus 6 verschiedenen Farben von unter sich gleicher Länge, aufgebaut. Der Film-inhalt betrug somit 16 2/3% je Farbe.

Die Filmschleifen unterschieden sich durch unterschiedliche Längen der Farbstreifen:

Schleife 1	6	Farben à 15	Bilder (B)
" 2	6	" à 20	B
" 3	6	" à 25	B
⋮	⋮	⋮	⋮
" 8	6	" à 50	B
" 9	6	" à 75	B

Bei der Durchführung der Versuche erstreckte sich der Einzelversuch über 30 Min., wobei jeweils nach 5 Min., d.h. nach Ablauf des jeweiligen Filmschleifenumganges die Zwischenstände von:

- Projizierten Bildern \*)
- Versuchsdauer
- Häufigkeitszähler je Farbe
- ausgesendeten Impulsen \*)

abgelesen wurden.

\*) Ablesung an laufenden Zählern resp. Streifen, alle übrigen an ruhenden Instrumenten. Als Signalstreifen wurde eine Zufallszahlenfolge von 11 - 15 gewählt.

Zur Beurteilung der Resultate untereinander wurde je Versuch ein  $\chi^2$ -Test angewendet (62).

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_i - \varphi_i)^2}{\varphi_i}$$

$\varphi_i$  effektiver Filmanteil, in diesem Falle 16 2/3%  
 $f_i$  %-Anteil aus den Versuchen

Als Resultate werden die Werte aus dem  $\chi^2$ -Test aufgeführt.

Versuch 1

Film		$\chi^2$ -Werte					
L (B)	t (sec)	$t_{A=5'}$	10'	15'	20'	25'	30'
15 (11-15)	0,89	6,12	1,51	1,84	23,94 <sup>3)</sup>	35,93 <sup>3)</sup>	78,72 <sup>3)</sup>
20 (11-15)	1,31	2,56	5,44	15,43 <sup>2)</sup>	26,62 <sup>3)</sup>	24,29 <sup>3)</sup>	58,11 <sup>3)</sup>
25 (11-15)	1,63	1,24	1,96	4,03	Film defekt		
30 (11-15)	2,03	1,76	3,05	3,83	5,03	2,76 <sup>1)</sup>	4,03
35 (11-15)	2,35	1,39	1,51	3,91	6,80	12,80 <sup>1)</sup>	10,64
40 (11-15)	2,68	1,19	1,84	6,71	5,59	6,52	9,96
45 (11-15)	3,05	2,21	6,31	10,51	13,48 <sup>1)</sup>	9,19	7,36
50 (11-15)	3,38	1,51	2,83	7,08	12,55 <sup>1)</sup>	11,47 <sup>1)</sup>	9,20
75 (11-15)	5,08	1,03	0,31	1,04	0,64	1,89	1,65

L = Länge der Farbstreifen

t =  $\emptyset$  Projektionsdauer der einzelnen Farbstreifen (hier wird die mittlere Dauer angegeben, da stets kleinere Geschwindigkeitsschwankungen auftreten)

$t_A$  = Versuchsdauer

Schranken für  $\chi^2$  :

$$\chi^2 (N = 5, S = 95\%) = 11,070$$

$$\chi^2 (N = 5, S = 99\%) = 15,086$$

$$\chi^2 (N = 5, S = 99,9\%) = 20,517$$

Anmerkungen zur Tabelle:

- 1) Werte für  $\chi^2$  liegen zwischen  $\chi^2$  (S = 95% und 99%)
- 2) Werte für  $\chi^2$  liegen zwischen  $\chi^2$  (S = 99% und 99,9%)
- 3) Werte für  $\chi^2$  liegen über  $\chi^2$  (S = 99,9%)

Aus den tabellierten Werten kann entnommen werden, dass eine dauernde Folge von Zeiten bis ca. 1,4 Sek. mit einer Signalfolge von 11-15 nicht mehr erfasst werden kann.

Gemäss dem speziellen Versuchsaufbau fielen noch zusätzlich die Resultate für je 5 Min. an. Mit einer Ausnahme, und zwar des Versuchsintervalles zwischen 15 und 20 Min. und einer Farblänge von 15 B  $\hat{=}$  0,99 Sek. ( $\chi^2 = 18,56$ ) lagen alle  $\chi^2$ -Werte unterhalb der Schranken für eine statistische Sicherheit von 95%.

Im zweiten Versuch soll überprüft werden, inwieweit die Periodizität der Farbfolge eine Rolle spielt. Für diesen Versuch wurden Filmschleifen mit einer einheitlichen Farblänge von 20 B eingefärbt. Um die Variation der Periodenlänge zu erreichen, folgten sich wiederum 6 verschiedene Farbstreifen in zufälliger Reihenfolge, unter Ausschluss der unmittelbaren, zweimaligen Folge der gleichen Farbe, wobei in den verschiedenen Schleifen die gleiche Farbe 2... oder 6 mal vorkam. Die Versuchsdurchführung erfolgte analog zur ersten. Bei der Anwendung einer Zufallsfolge von 11-15 können bei einer Projektionsdauer von ca. 1,2 Sek. je Farbe keine Aussagen gemacht werden, denn viele  $\chi^2$ -Werte lagen über der Schranke für S = 99,9%, was auf Grund der Resultate aus Versuch 1 nicht weiter erstaunt.

Mit einer Zufallsfolge von Signalen von 11-20 ergaben sich folgende  $\chi^2$ -Werte:

Versuch 2

Film		$\chi^2$ -Werte					
L' (B)	t (sec)	t <sub>A=5'</sub>	10'	15'	20'	25'	30'
2x20(11-20)	1,30	0,64	2,20	3,76	5,36	11,72 <sup>1)</sup>	9,16
3x20(11-20)		2,24	7,76	21,00 <sup>2)</sup>	15,08 <sup>1)</sup>	9,00	13,60 <sup>1)</sup>
4x20(11-20)		9,68	11,95 <sup>1)</sup>	9,08	5,71	3,37	10,25
5x20(11-20)		1,51	4,53	5,48	1,79	2,45	8,12
6x20(11-20)	1,30	0,56	5,13	9,04	14,60 <sup>1)</sup>	10,76	10,14

L' = Farblänge 20 Bilder mit 2... oder 6 maligem Vorkommen jeder Farbe.

1), 2) siehe Anmerkungen zu Tabelle von Versuch 1.

Aus den  $\chi^2$ -Werten lässt sich erkennen, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen kleinen und grossen Periodenlängen erkennbar sind.

Im weiteren zeigt sich aus diesem Versuch, dass mit der grösseren Bandbreite der Zufallszahlenfolge noch kürzere Teilzeiten erfassbar sind. Um die frühere Behauptung zu überprüfen, wonach die Verarbeitungskapazität des Menschen bei regelmässigen Intervallen grösser als bei zufälligen Intervallen sei, folgte trotz gewisser Bedenken hinsichtlich synchroner Geschwindigkeit ein Versuch mit denselben Schleifen, jedoch mit regelmässigen Intervallen von 15 Schritten.

Versuch 3

Film		$\chi^2$ -Werte					
L' (B)	t (sec)	t <sub>A=5'</sub>	10'	15'	20'	25'	30'
2x20 (15)	1,30	0,77	3,00	3,77	6,65	16,85 <sup>2)</sup>	32,95 <sup>3)</sup>
3x20 (15)		0,92	0,64	2,80	2,23	2,59	4,75
4x20 (15)		0,77	2,01	3,56	8,96	12,60 <sup>1)</sup>	18,92 <sup>2)</sup>
5x20 (15)		0,40	1,03	2,36	3,88	2,75	4,84
6x20 (15)	1,30	1,27	2,63	4,60	6,28	8,82	6,95

1), 2), 3) siehe Anmerkungen zu Versuch 1.

Im Falle von  $\chi^2$ -Werten, die die Sicherheitsschranken übersteigen, können diese entweder infolge der Geschwindigkeitsschwankungen entstanden sein, oder aber die Erfassbarkeit dieser kurzen Teilzeiten ist nicht mehr möglich. Abgesehen von den 3-4 etwas erhöhten  $\chi^2$ -Werten darf angenommen werden, dass tatsächlich eine grössere Verarbeitungskapazität für regelmässige Intervalle besteht.

Versuch 4 soll die Bestätigung der gewonnenen Erkenntnisse für die Versuche 1 und 2 bringen. Dabei variierten die einzelnen Farbschleifen sowohl hinsichtlich der Farblänge als auch der Periodenlänge. Die Zufallszahlenfolge war 11-15.

Versuch 4

Film		$\chi^2$ -Werte					
L' (B)	t (sec)	t <sub>A=5'</sub>	10'	15'	20'	25'	30'
2x25 (11-15)	1,70	0,67	1,72	1,91	2,37	1,12	2,93
2x30 (11-15)	2,04	1,96	4,27	6,04	10,75	9,53	10,99
2x35 (11-15)	2,52	1,39	3,11	2,92	9,76	13,03 <sup>1)</sup>	23,91 <sup>2)</sup>
2x40 (11-15)	2,95	0,88	0,44	1,71	2,51	5,58	7,39
2x45 (11-15)	3,30	1,52	1,99	2,72	3,31	8,08	12,91 <sup>1)</sup>
4x15 (11-15)	1,02	3,71	13,36 <sup>1)</sup>	23,71 <sup>3)</sup>	45,28 <sup>3)</sup>	62,48 <sup>3)</sup>	66,09 <sup>3)</sup>
4x25 (11-15)	0,75	0,20	0,92	3,35	4,29	5,59	5,24

1), 2), 3) siehe Anmerkungen zu Versuch 1.

Die Reihe 4x15 (11-15) bestätigt wiederum, dass mit einer Zufallsfolge von 11-15 eine ununterbrochene Folge von Teilzeiten mit ca. 1,3 Sek. Dauer nicht mehr zuverlässig erfassbar ist. Im weitem zeigt sich für den Fall von Teilzeiten > 1,4 Sek. kein Einfluss mehr bezüglich Dauer der Teilzeiten, und beim Vergleich 2x25 und 4x25 können in bezug auf Periodenlänge ebenfalls keine gesicherten Unterschiede festgestellt werden. Die Resultate aus den Versuchen 1 und 2 haben sich somit bestätigt.

In einem 5. und 6. Versuch soll noch untersucht werden, ob sich irgendwelche Einflüsse bei unterschiedlichem prozentuaem Anteil der Farben abzeichnen. Als zweite Grösse wurde wiederum die Periodenlänge variiert. Der Aufbau der ersten Filmschleife sah beispielsweise so aus:

- weiss (40 Bilder) - grün (20 B) - blau (15 B)
- gelb (25 B) - rot (35 B) - braun (30 B) -



Regelmässige Signalfolge mit 15 Schritten.

Versuch 5

Film	$\chi^2$ -Werte					
	$t_{A=5'}$	10'	15'	20'	25'	30'
1x6 (15)	0,36	1,42	3,94	3,57	3,90	4,51
2x6 (15)	0,78	1,34	0,59	1,70	2,12	2,32
3x6 (15)	1,50	1,58	4,75	5,93	5,90	9,72
4x6 (15)	1,26	4,26	7,59	6,90	8,07	12,87 <sup>1)</sup>
5x6 (15)	2,43	2,37	5,40	13,58 <sup>1)</sup>	8,28	13,28 <sup>1)</sup>

1) siehe Anmerkungen zu Versuch 1.

Signalfolge 11-20

Versuch 6

Film	$\chi^2$ -Werte					
	$t_{A=5'}$	10'	15'	20'	25'	30'
1x6 (11-20)	1,59	11,55 <sup>1)</sup>	17,95 <sup>2)</sup>	12,88 <sup>1)</sup>	11,29 <sup>1)</sup>	10,46
2x6 (11-20)	2,97	3,99	2,40	3,16	2,11	8,52
3x6 (11-20)	0,42	1,41	3,21	4,50	8,63	23,78 <sup>3)</sup>
4x6 (11-20)	1,07	8,27	4,23	3,46	6,12	9,50
5x6 (11-20)	3,29	6,35	9,75	10,03	10,69	11,26 <sup>1)</sup>
6x6 (11-20)	1,25	5,63	7,56	11,21 <sup>1)</sup>	19,62 <sup>2)</sup>	16,04 <sup>2)</sup>

1), 2), 3) siehe Anmerkungen zu Versuch 1.

Sowohl regelmässige als auch unregelmässige Intervalle zeigen für unterschiedliche prozentuale Anteile und für variable Periodenlängen bei Sicherheitsschranken von 99,9% keine gesicherten Unterschiede.

Aus allen diesen Versuchen kann somit gefolgert werden, dass die in Versuch 1 ermittelten, statistisch gesicherten Grenzen für die Verarbeitungskapazität des Menschen auch unter den erschwerten Bedingungen, wie variable Periodenlängen und unterschiedliche Länge der Einzelzeiten, ihre Gültigkeit noch behalten.

Im Zusammenhang mit den Betrachtungen über den Fehlerverlauf im Kapitel 9.8 wurde auf die zusätzliche Fehlermöglichkeit bei versäumten Signalen hingewiesen. Auf Grund der Vielzahl der Versuche 1-6 kann wenigstens eine Grössenordnung der versäumten Signale abgeschätzt werden. Da die Ablesungen der Signalnummer, d. h. die Zahl der ausgesendeten Signale an einem laufenden Signalstreifen, nebst andern laufenden Ablesungen, vorgenommen werden mussten, ist somit der Wert für den Sollwert der ausgesendeten Signale bereits leicht fehlerbehaftet. Trotzdem soll ein Vergleich dieser Sollwerte mit den Summen der Häufigkeiten der einzelnen 5 Min.-Intervall-Versuche gemacht werden.

Die nachstehende Tabelle gibt einen Ueberblick über die Abweichungen der Häufigkeitssumme der einzelnen Farbanteile gegenüber den ausgesendeten Sollwerten.

± Abweichung	11 - 15		11 - 20		Total	
	abs.	%	abs.	%	abs.	%
+ 11	1	0,5			1	0,4
10						
9						
8						
7	1	0,5			1	0,4
6						
5						
4						
3	2	1,0			2	0,8
2	2	1,0			2	0,8
1	22	10,9	4	6,4	26	9,8
0	125	61,8	40	66,2	165	62,7
- 1	30	14,9	14	22,6	44	16,6
- 2	13	6,4	1	1,6	14	5,4
- 3	2	1,0	1	1,6	3	1,1
- 4						
- 5	1	0,5			1	0,4
- 6	1	0,5	1	1,6	2	0,8
- 7						
- 8						
- 9						
- 10	1	0,5			1	0,4
- 11	1	0,5			1	0,4
Summe	202	100	61	100	263	100

Logischerweise wären eigentlich nur negative Abweichungen zu erwarten; es zeigte sich aber im Verlaufe der Versuche, dass bei momentanen Unsicherheiten oder bei Ermüdung des Zeitstudienmannes (ununterbrochene Versuche während 2 Wochen à 8 Std. pro Tag) ein zusätzliches Mal ein Zähler betätigt wurde. Selbst die Zähler zeigten noch kleine Fehlermöglichkeiten, und zwar konnte es bei nicht ganz durchgedrücktem Betätigungshebel vorkommen, dass der Zähler um 2 Ziffern sprang. Wenn man bedenkt, dass sich jeder einzelne Wert in der obigen Tabelle auf einen Versuch mit einem Stichprobenumfang zwischen 150-200 Beobachtungen bezieht, so wird dieser Fehler in der praktischen Anwendung kaum eine Rolle spielen.

Um noch eine Beziehung zu andern Messgeräten herzustellen, wird die Darstellung aus Bild Nr. 9a von Lorenz herangezogen (38). Zur Bestimmung der Gliederungstiefe liess Lorenz einen Symbolfilm, bestehend aus stetig kürzer werdenden Teilzeiten, im Bereich von 12 bis 0,24 Sek. 10 mal durchlaufen. Dabei versuchten durch die Praxis geübte Zeitstudienleute die Teilzeiten mit verschiedenen Zeitmessgeräten zu messen, bezeichnen und richtig zu notieren. Er bestimmte dann anhand der mehrmaligen Durchgänge die Prozent-Sätze der noch richtig erfassten Zeiten.

Für den Vergleich kann man im Falle der MMM-Studie zwei Grenzen angeben:

- eine rein theoretische Grenze, wie sie aus den Betrachtungen über den Erwartungswert für eine Beobachtung hervorgeht (A)
- eine praktisch ermittelte Schranke, wie sie die vorerwähnten Versuche liefern (B).

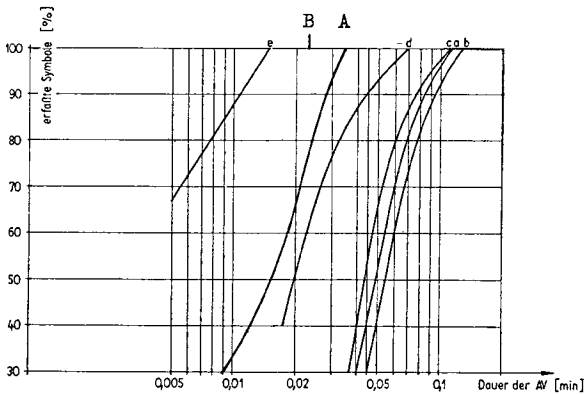


Bild Nr. 51

Bezeichnungen s. Bild 9a

Die theoretische Grenze liegt deutlich rechts der praktischen Grenze. Dies ist vor allem durch das Prinzip der MMM-Studie bedingt, indem nicht einzelne Zeiten gemessen, sondern momentane Zustände erfasst werden.

Zum Verlauf der Kurve für Tonbandgerät und der theoretischen Kurve für die MMM-Studie sei kurz folgendes bemerkt:

In beiden Fällen muss man klar die Grenzen erkennen, indem man mit Zeiten in der Grössenordnung von 0,3 Sek. schon mitten in den Reaktionszeiten für Wahlreaktionen steckt. Wenn man zudem bedenkt, dass der Schwierigkeitsgrad für das Erkennen der Messpunkte zur Abgrenzung der Teilzeiten umso rascher ansteigt, je kürzer die einzelnen Teilzeiten werden, so kann es sich bei den angegebenen Werten eher um Hinweise für die Kapazität des Menschen handeln. Die praktisch anwendbaren Grenzen liegen für beide Verfahren etwa bei 1 - 1/2 Sek.

#### 9.12 Erfassung der Leistung

Bei der Durchführung einer Zeitstudie genügt es in den meisten Fällen nicht, nur die Istzeiten allein zu erfassen; vielmehr muss durch das Abschätzen der Leistung, d. h. des Leistungsgrades die Istzeit in eine normalisierte Zeit umgerechnet werden. Das Festhalten dieser Schätzungen erfolgt durch Notieren auf dem Aufnahmeblatt resp. Aufnahme-diagramm oder durch Besprechen von Tonbändern, und zwar meist getrennt nach den verschiedenen Zeitarten. In der Folge wird dann der zeitliche Durchschnittswert mit demjenigen der Leistung für die betreffende Zeitart multipliziert.

In der MMM-Studie wäre ein ähnliches Vorgehen denkbar. Da aber alle Notierungen der Beobachtungen mit Zählern vorgenommen werden, führte dies zu einem ziemlich unhandlichen Aufnahmebrett. Es wird daher vorgeschlagen, an Stelle der nach Zeitarten getrennten Erfassung eine für alle Zeitarten gemeinsame Zähleinrichtung für Leistungsstufen von 5 zu 5% vorzusehen. Als Folge dieser Vereinfachung wird dann mit dem durchschnittlichen Leistungsfaktor die gesamte Aufnahmedauer normalisiert. Damit diese Vorgehensweise überhaupt möglich ist, müssen aber für alle Zeitarten, beispielsweise auch für Verteilzeiten, Leistungsgrade geschätzt werden. Um jedoch unmögliche Situationen zu vermeiden, wie z. B. bei gewissen, persönlich bedingten Verteilzeiten, kann man die

Aufnahme jederzeit unterbrechen, indem keine Beobachtungen gemacht werden, bei gleichzeitigem Anhalten der Uhr für die Gesamtaufnahmezeit.

Bereits früher wurden die apparativen Möglichkeiten besprochen, um dem Zeitstudienmann die Momente für eine Leistungsbeurteilung zu signalisieren. In Anwendung des Prinzips von REFA, wonach in regelmäßigen Intervallen und nicht erst bei wesentlichen Veränderungen Leistungen geschätzt werden sollen, wurde in den Zufallsstreifen jedes 30. Signal speziell ausgestaltet.

Da diese Signale in die Zufallszahlen eingestreut sind, erfolgen auch die Leistungsbeurteilungen in zufällig verteilten Momenten, was wieder jeder Zeitart die gleiche Chance einräumt, leistungsmässig erfasst zu werden.

Für das Berechnen der Stückzeit muss die normalisierte Gesamtzeit um den Anteil "Sonstiges", der z. B. persönlich und sachlich bedingte Verteil-, Erholungszeiten usw. umfasst, vermindert werden. Ferner muss die gefertigte Menge entweder anhand des Arbeitsauftrages oder durch Auszählen erfasst werden. Praktische Versuche von kombinierten Zeit- und Leistungsstudien haben gezeigt, dass ein routinierter Beobachter ohne weiteres in der Lage ist, im Moment des "Leistungssignals" sowohl die Leistung als auch die momentane Zeitart zu erfassen, dies umso mehr als nach einiger Uebung die einzelnen Zähler nicht optisch gesucht, sondern ertastet werden können. Diese Vorgehensweise erlaubt einerseits eine ständige Beobachtung des Arbeitsablaufs, und andererseits kann der Verlust an Beobachtungssignalen für die Zeitartenerfassung vermieden werden.

9.13 Zeitaufwand für die Durchführung einer Zeitstudie

Ausgehend von der nachstehenden Formel für den Fehlerbereich, kann der Umfang der Stichprobe abgeschätzt werden.

$$N = \frac{1,96^2 \cdot k^2 p(100-p)}{f^2}$$

k = Korrekturfaktor nach Mevert für kleine Stichproben (48). Für den Uebergang auf die Aufnahmedauer kann man entweder mit den mittleren Intervallängen im Falle von unregelmässigen Signalfolgen oder mit den Intervallen bei regelmässigen Beobachtungsfolgen rechnen, wobei noch die Konstante des Lochstreifensenders (140 msec je Schritt) zu berücksichtigen ist.

$$T = \frac{1,96^2 \cdot k^2 p(100-p)}{f^2} I_m \cdot 0,14$$

9.14 Zeitaufwand für die Auswertungen

Wie schon aus den Messungen von Eger, Erler, Züllich (40) hervorgeht, sind ziemliche Zeitaufwendungen erforderlich, um die gemessenen Zeiten auszuwerten. Um auch dafür Vergleichswerte zu erhalten, hat sich eine Reihe von Herren dem Verfasser zur Verfügung gestellt, um eine Tabelle (Bild Nr. 52) mit angenommenen Resultaten von MMM-Studien auszuwerten. Bei diesen Versuchspersonen handelt es sich um Herren mit ganz unterschiedlicher Ausbildung, vom Mechaniker bis zum Ingenieur, wodurch ein guter Querschnitt erreicht wurde. Als Hilfsmittel durfte einzig ein Rechenschieber verwendet werden. In einem ersten Schritt war der durchschnittliche Leistungsgrad je Versuch zu rechnen, um dann mit diesem Wert die angenommenen Aufnahmezeiten zu normalisieren und entsprechend den gewählten Häufigkeiten die prozentuale und zeitliche Aufteilung vorzunehmen. Als Kontrolle waren die beiden Aufteilungen nochmals aufzuaddieren. Der Zeitaufwand wurde für Leistungs- und Zeitrechnungen getrennt erfasst (Bild Nr. 53, 54).

Vers.	1 1465		2 1753		3 2699		4 3450		5 4123		6 6419		7 6667	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
1	347													
2	774		469		621		332		702		666		697	
3	676		425		443		270		566		149		284	
4	256		329		306		135		994		680		565	
5			316		323		571		160		204		969	
6			173		766		373		311		641		495	
7			770		811		217		683		687		572	
8					662		128		745		269		169	
9					342		155		274		146		786	
10							905		299		902		441	
11							201		169		412		841	
12									112		602		509	
13									352		912		833	
14											345		403	
15											852		968	
16											175		884	
17											887		332	
18													502	
19													557	
20													385	
													829	
90														18
95														11
100											14			16
105									11		21			26
110							12		17		20			25
115									24		18			20
120	20				20		11		24		18			25
125	17				11		17		17		12			19
130	34				18		25		21		11			15
135	14				14		11		15		11			12
140					13		19		11		15			20
					17		13		12		14			16

Bild Nr. 52



Zeitbedarf für die Auswertungen, Zeit in Sek.

Zeitauswertung:

Nr.	Name	Klassen	4	6	8	10	12	16	20
1	H. Meier		237	247	290	393	445	565	668*
2	D. Kretz		225	225	215	394	485	459	789
3	W. Truttmann		300	420	450	540	780	900	780
4	H. Eisenring		135	165	315	390	450	645	825
5	H. Hörler		440	415	545	730	825	940	1030
6	K. Müller		200	358	437	539	531	781	857
7	S. Redaelli		301	453	482	611	785	843	983*
8	E. Fischer		204	288	396	396	444	870	769
9	C. Schenk		265	306	390	492	504	700	859
10	H. Hauri		336	306	306	432	420	512	895
11	H. Kappel		255	391	470	600	660	675	905
12	W. Freyberger		183	283	322	487	487	647	755

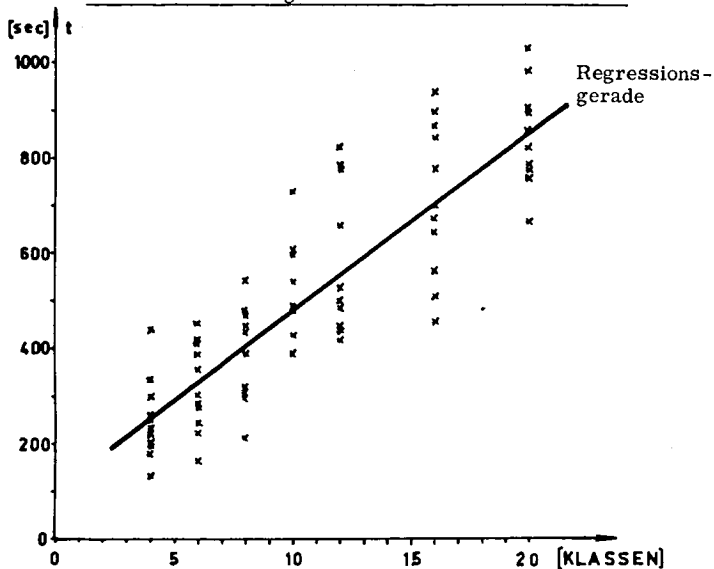
Leistungsauswertung:

Nr.	Name	Klassen	4	5	6	7	8	9	10
1	H. Meier		47	70	101	123	115	120	135
2	D. Kretz		60	90*	120	150	162	167	240
3	W. Truttmann		60	90	145*	150	210	240	270
4	H. Eisenring		60	90	120	150	165	210	225
5	H. Hörler		93	81	95	113	135	155	156
6	K. Müller		62	156	134	143	144	137	141
7	S. Redaelli		65	87	119	142	178	199	221
8	E. Fischer		126	150	108	120	156	132	198
9	C. Schenk		145	169	180	231	246	210	320
10	H. Hauri		120	135	138	186	171	165	186
11	H. Kappel		180	187*	203	195	271	220	303
12	W. Freyberger		117	112	111	141	153	140	177

\* Bei diesen Versuchen sind fehlerhafte Resultate, d. h. Abweichungen grösser  $\pm 1\%$  aufgetreten.

Bild Nr. 53

Auswertzeit zur Berechnung der prozentuellen und zeitlichen Aufteilung



Auswertzeit zur Berechnung des  $\bar{\phi}$  Leistungsgrades

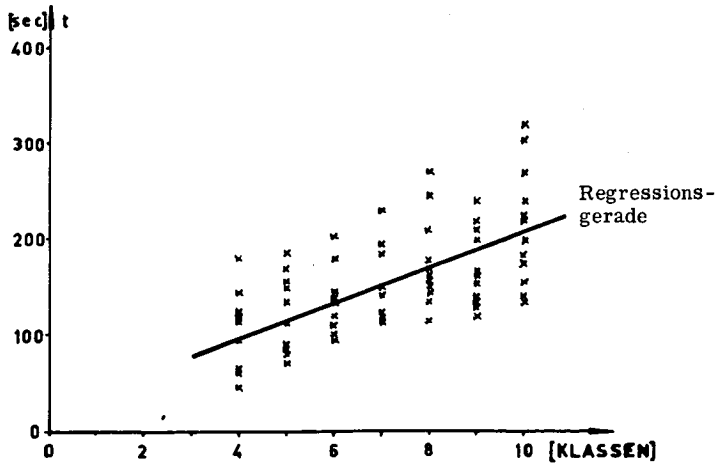


Bild Nr. 54

Wie nicht anders zu erwarten war, zeigten sich ziemlich grosse Streuungen zwischen den einzelnen Versuchspersonen. Mit Hilfe einer einfachen linearen Regressionsanalyse wurde das Zahlenmaterial einer weiteren Auswertung unterzogen.

Es ergaben sich dafür folgende Werte:

	a	b	$s_B$	$s_n$	$s_k$	B	$F$ $N_1=5$ $N_2=77$	t N=82
Zeitauswertung	104,68	37,54	112,42	54,83	115,17	0,757	0,227	15,979
Leistungsauswertung	22,56	18,45	42,11	26,84	42,91	0,440	0,391	8,031

$$Y = a + bx$$

$s_B$  = Streuung der Einzelwerte um die Regressionsgerade

$s_m$  = Streuung der Klassenmittel um die Regressionsgerade

$s_k$  = Streuung innerhalb der Klassen

Signifikanzprüfungen zeigen in beiden Fällen folgendes:

- F-Test: Linearität der Regressionsgeraden bestens angepasst
- t-Test: Steigungsmass b gesichert ungleich Null.

Zur Gegenüberstellung mit andern Messgeräten wird die Regressionsgerade für zeitliche Auswertung in das Bild Nr. 9e eingezeichnet, unter der Annahme von 6 verschiedenen Leistungsgradstufen.

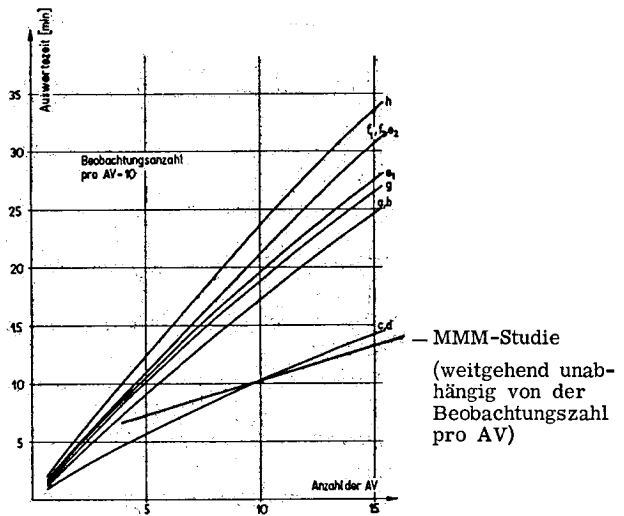


Bild Nr. 55      Bezeichnungen s. Bild Nr. 9e

Nicht berücksichtigt ist die Zeit für die Bestimmung der gefertigten Stückzahl, die aber gewissen Streuungen unterworfen ist, je nachdem ob die Menge aus dem Arbeitsauftrag abgelesen oder ausgezählt werden muss. In dieser Darstellung ist der Stopprechner nicht enthalten, dessen Auswertungen auf einem ähnlichen Prinzip beruhen, wie bei der MMM-Studie, indem die Summe der aufgelaufenen Zeiten je Zeitart durch die Summe der Häufigkeitszähler dividiert wird. Diese Häufigkeiten sind aber unter Umständen fehlerbehaftet, wenn z. B. innerhalb einer bestimmten Zeitart eine Verteilzeit auftritt, so dass die gefertigte Menge anderweitig erfasst werden muss. Analog zur MMM-Studie geht beim Stopprechner die Information über die Streuung verloren. Erst durch eine zusätzliche Auswertung anhand des Diagrammstreifens kann, als Vorteil gegenüber der MMM-Studie, noch das Mass der Streuung bestimmt werden, jedoch nur unter Preisgabe der günstigen Auswertzeit.

9.15 Vergleich einer Zeitstudie mit MMM-Aufnahmen und Stoppuhren

Um ein Urteil über die Bewährung der MMM-Studie im Vergleich zu andern Verfahren abzugeben, wurden Versuche an zwei Farbstreifenfilmen durchgeführt. Im einen Fall stellte der REFA-Verband in verdankenswerter Weise vergleichbare Messresultate aus einem Kurs für Zeitstudienleute zur Verfügung, und im andern Falle erfolgten Zeitstudien mit dem 4-Uhrenbrett und der MMM-Studie gleichzeitig. Bei der Reihe der vorhandenen Messwerte handelte es sich um Messungen im Fortschritts-Zeitmessverfahren am konkreten Film, wobei nur Resultate von 10 Personen mit Zeitstudienpraxis ausgewählt wurden. Für den Vergleich machte man die gleiche Anzahl Versuche mit dem MMM-Verfahren am Farbstreifenfilm.

Als Vergleichskriterien gelten die Durchschnittswerte und die Streuungen, wobei die Zeitstudie mit der Stoppuhr in jeder einzelnen Messreihe einen Mittelwert und eine Streuung, die MMM-Studie jedoch keine Angaben über die Streuung liefert. Für die Gegenüberstellung wurden die MMM-Aufnahmen mittels Gesamtaufnahmezeit der Stoppuhrmessungen in Zeiten umgerechnet und die so erhaltenen Zeitwerte mit den Mittelwerten der Stoppuhraufnahmen in Beziehung gebracht.

Nachstehend die Messresultate für den Film "Winkeltraverse montieren":

Farbe	Film	Stoppuhraufnahmen			MMM-Studie			F-Test	t-Test
	Ø Zeit- anteil (cmin)	$\bar{x}$ (cmin)	$ \Delta $ (cmin)	$s^2$	$\bar{x}$ (cmin)	$ \Delta $ (cmin)	$s^2$		
1	21,960	21,745	0,215	0,135	21,830	0,160	0,115	1,173	0,564
2	9,993	9,063	0,930	0,110	10,034	0,116	0,041	1,055	6,774
3	36,678	37,900	1,222	0,405	36,820	0,042	0,128	3,16	4,906
4	18,587	18,445	0,142	0,101	18,533	0,054	0,153	1,51	0,529

$|\Delta| = |\text{Film-Messresultat}|$

Vertrauensschranken:  $F (N_1 = N_2 = 10, S = 95 \%) = 3,12$

$t (N_1 = N_2 = 10, S = 95 \%) = 2,101$

$t (N_1 = N_2 = 10, S = 99,9\%) = 3,922$

Bei 2 Farben ergeben sich signifikante Unterschiede bezüglich dem t-Test, während beim F-Test nur 1 Wert knapp die Grenze für eine 95%-Sicherheit übersteigt.  $\chi^2$ -Tests ergaben nur zufällige Unterschiede.

Für den Vergleich des 2. Films wurden die gleichen Kenngrößen wie im 1. Versuch verwendet. Der als Versuchsobjekt dienende Farbstreifenfilm bestand aus 68 Zyklen à 5 Farben. Dies ermöglichte im weitern eine Untersuchung über den Einfluss der Aufnahmedauer auf die charakteristischen Beurteilungs-Kenngrößen, insbesondere auf die Streuung. In der Folge wurden die gemessenen resp. beobachteten Werte jeweils nach je 10 Zyklen ausgewertet. Aus den ca. 4000 Messwerten seien in den nachfolgenden Tabellen, stellvertretend für alle Messungen, diejenige eines Versuches und die Werte für den t- resp. F-Test aufgeführt, und zwar nur in ihrer Lage zu den Vertrauensschranken.

Zyklen	Farben	Ø Film- inhalt (cmin)	4-Uhrenbrett		MMM-Studie	
			$\bar{x}$ (cmin)	Vertr.ber.* (cmin)	$\bar{x}$ (cmin)	f* (cmin)
10	1	4,76	4,80	1,26	4,43	1,94
	2	22,11	22,10	3,33	22,75	3,95
	3	8,77	8,60	1,93	8,87	2,83
	4	17,00	17,20	1,84	16,84	3,73
	5	12,78	12,90	1,75	12,71	2,86
20	1	4,76	4,75	1,10	4,84	1,42
	2	22,20	22,25	5,24	22,39	2,82
	3	8,48	8,40	1,77	8,47	2,14
	4	17,27	17,35	2,85	17,24	2,68
	5	12,23	12,30	2,16	12,10	2,05
30	1	4,78	4,77	1,25	4,65	1,16
	2	21,54	21,60	4,07	21,51	2,35
	3	8,50	8,47	1,73	8,58	1,68
	4	17,32	17,35	3,11	17,27	2,20
	5	12,02	12,03	2,78	12,22	1,68
40	1	4,73	4,70	1,21	4,54	1,02
	2	21,42	21,50	3,90	21,48	2,03
	3	8,45	8,39	1,79	8,77	1,46
	4	17,24	17,22	3,13	16,79	1,92
	5	12,14	12,09	2,78	12,40	1,46
50	1	4,71	4,68	1,24	4,48	0,92
	2	21,52	21,60	3,94	21,56	1,83
	3	8,47	8,42	1,76	8,96	1,31
	4	17,21	17,16	2,95	16,66	1,73
	5	12,88	12,08	2,64	12,36	1,32
60	1	4,72	4,73	1,21	4,51	0,87
	2	21,56	21,40	4,42	21,33	1,68
	3	8,38	8,38	1,73	8,82	1,21
	4	17,08	17,00	3,17	16,72	1,60
	5	12,01	11,95	2,65	12,06	1,22

\* Vertrauensbereich bei einer statistischen Sicherheit von 95%.

10 Zyklen entsprechen ca. 6,5 Min. Aufnahmedauer

Anzahl Zyklen	t-Test				F-Test			
	< (95%)	> (95%) < (99%)	> (99%) < (99, 9%)	> (99, 9%)	< (95%)	> (95%) < (99%)	> (99%) < (99, 9%)	> (99, 9%)
10	28	1	4	2	7 (2)	8	11	6(1)
20	16	2		2	5 (3)	2(2)	3	5
30	14	1			4 (4)	1(2)	2	2
40	4	1			2 (1)		1	1
50	5				3 (1)	(1)		
60	3	1	1		2 (2)			1
Total	70	6	5	4	23(13)	11(5)	17	15(1)

Bemerkungen zum F-Test:

- Werte ohne Klammern = Streuungen der MMM-Studien grösser als diejenigen der Stoppuhrzeitstudie
- Werte mit Klammern umgekehrt

Aus der Tabelle geht hervor, dass der Unterschied zwischen den Durchschnittswerten der Stoppuhr-Zeitstudie mit dem 4-Uhrenbrett und der MMM-Studie grösstenteils zufälliger Natur ist. Bei den Streuungen der Mittelwerte der Stoppuhr-Messung resp. der Zeitwerte der MMM-Studie liegen diejenigen der erstgenannten meist günstiger, z.T. treten in vermehrtem Masse gesicherte Unterschiede der Streuungen auf, was sich für die Stoppuhrmessungen als Vorteil erweist.

Die vorgenannte Versuchsanordnung, wonach am gleichen Ablauf 10 Versuchsreihen aufgenommen werden, hat mehr theoretischen Charakter. Für die Praxis ist aber von Interesse zu wissen, in welchem Vertrauensbereich die erhaltenen Durchschnittswerte bei einer vorgegebenen statistischen Sicherheit schwanken können. Dazu ist zu bemerken, dass für Zeitstudien mit den verschiedenen Messverfahren zum vornherein kaum Hinweise bestehen über den Vertrauensbereich, der abhängig ist vom



Grad der Schwankungen der einzelnen Messwerte. Bei der MMM-Studie hingegen ist es möglich, nach Abschätzen des prozentualen Anteils einer Zeitart den Stichprobenumfang resp. Fehlerbereich zu bestimmen.

In Ermangelung einer allgemeinen Aussagemöglichkeit soll anhand des 2. Farbstreifenfilms wenigstens die Grössenordnung der Vertrauensgrenzen bei Zeitmessungen resp. MMM-Studie in Abhängigkeit des Versuchsumfanges angegeben werden.

In Bild Nr. 56 sind die Vertrauensbereiche für 5 verschiedene Farben mit einer durchschnittlichen Zeitdauer von ca. 5...22 cmin bei 10, 20 ...60 Arbeitszyklen aufgetragen. Aus den Bildern kann abgeleitet werden, dass bei einer kleinen durchschnittlichen Zeitdauer mehr Arbeitszyklen resp. eine längere Aufnahmedauer zu erfassen ist als bei einer grösseren.

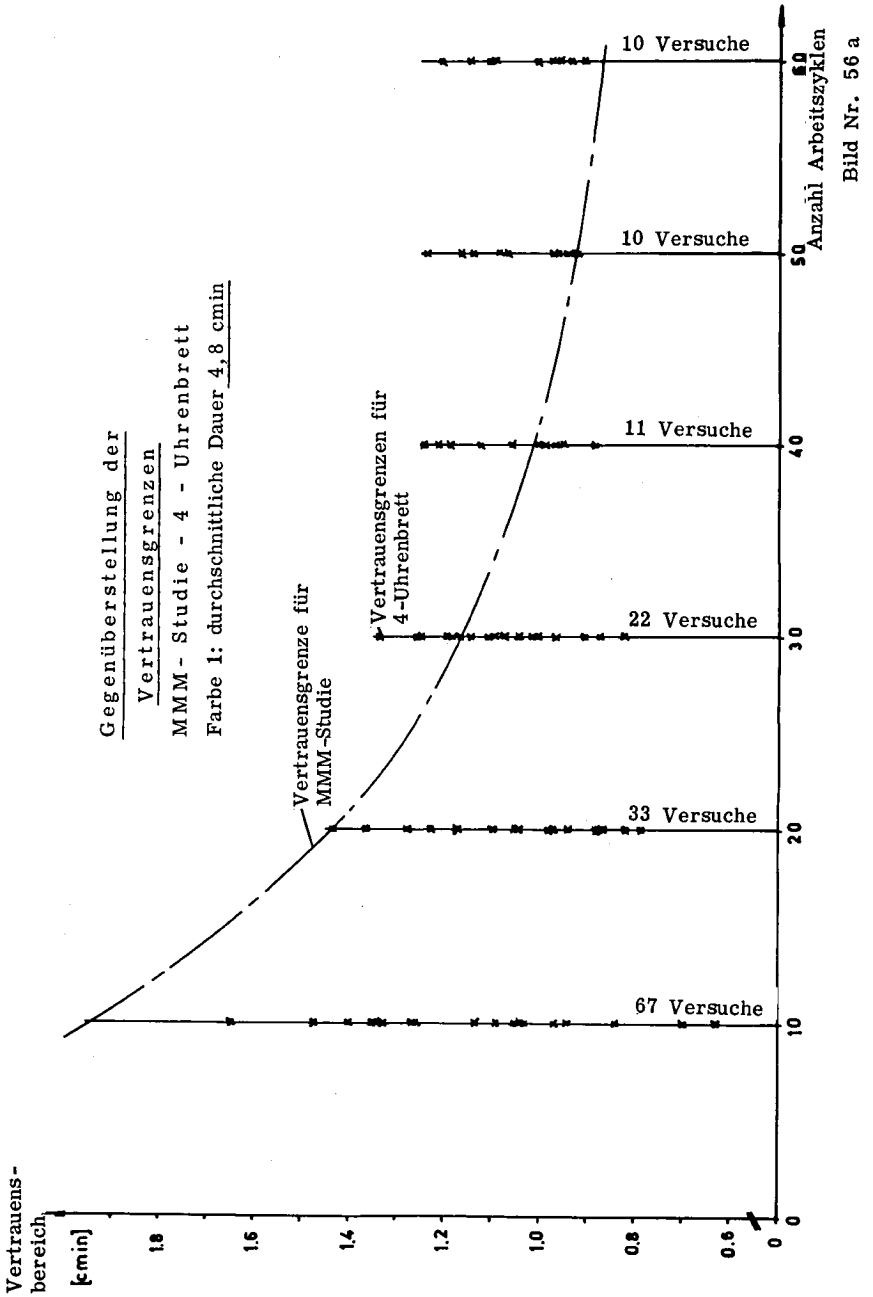
Im weiteren zeigt sich, dass bei einer kleineren Aufnahmedauer die Zeitmessung bezüglich Vertrauensbereich im Vorteil liegt, jedoch ziemlich bald durch die MMM-Studie überholt wird.

Aus den Versuchen an den beiden Filmen geht hervor, dass die MMM-Studie mindestens ebenbürtige, wenn nicht gar bessere Resultate als die Zeitstudie mit Stoppuhren liefert.

#### 9.16 Praktischer Einsatz der MMM-Studie

Um die Bestätigung für die Bewährung der MMM-Studie im praktischen Einsatz und bei der Anwendung durch verschiedene Personen zu erhalten, wurden mehrere Versuche in Arbeits- und Zeitstudienkursen des Betriebswissenschaftlichen Institutes der ETH und in der Industrie durchgeführt.

Obwohl es sich bei den Kursteilnehmern zur Hauptsache um Anfänger auf dem Gebiet des Zeitstudienwesens und um vollständige Neulinge bei der Anwendung einer MMM-Studie handelte, überraschte die Genauigkeit, mit der das Verfahren angewendet wurde und die Resultate ausfielen.



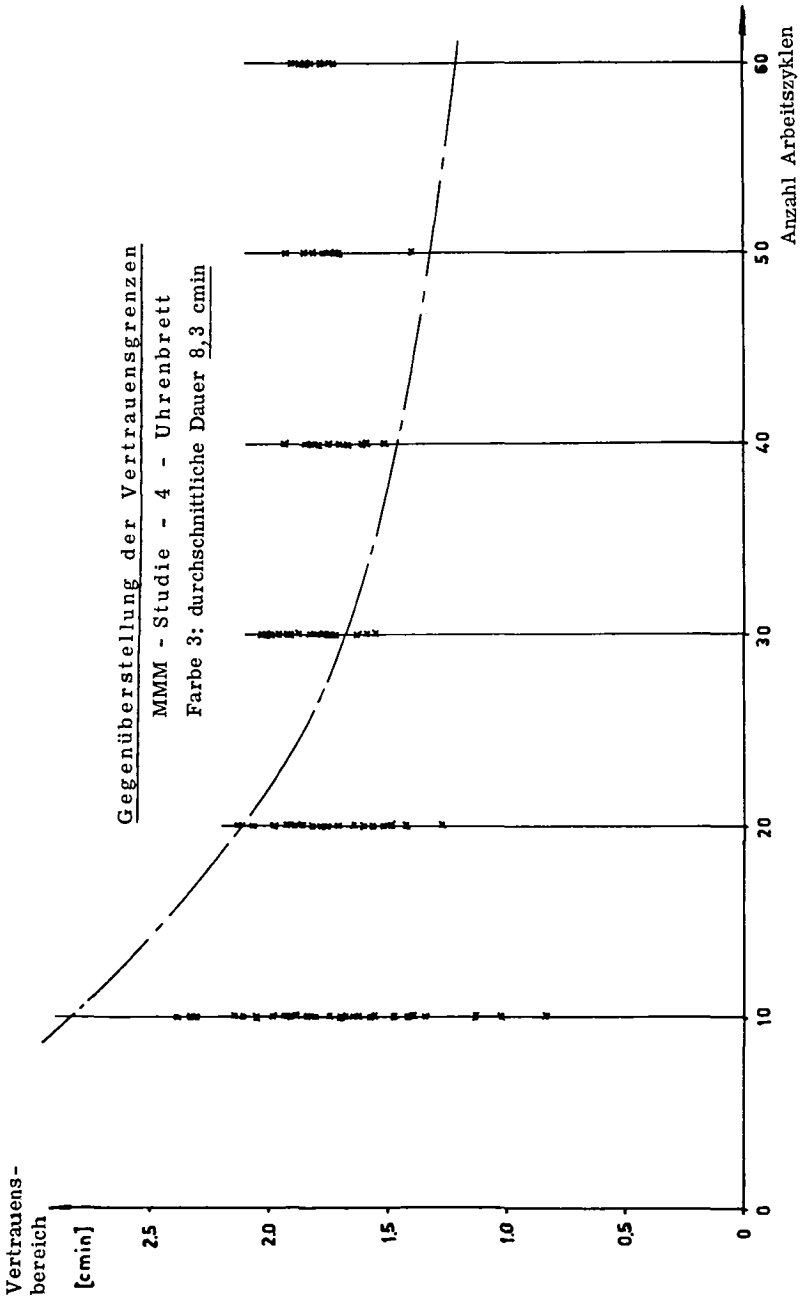
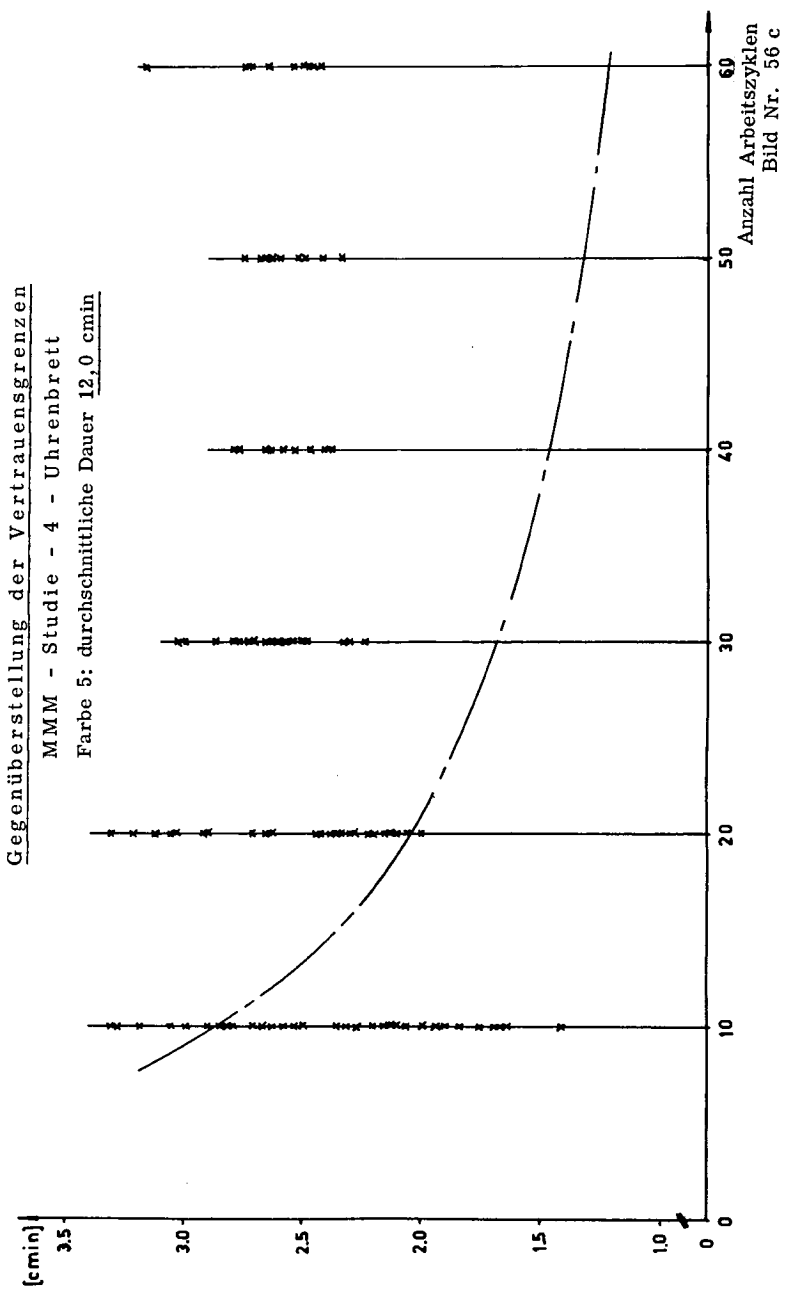
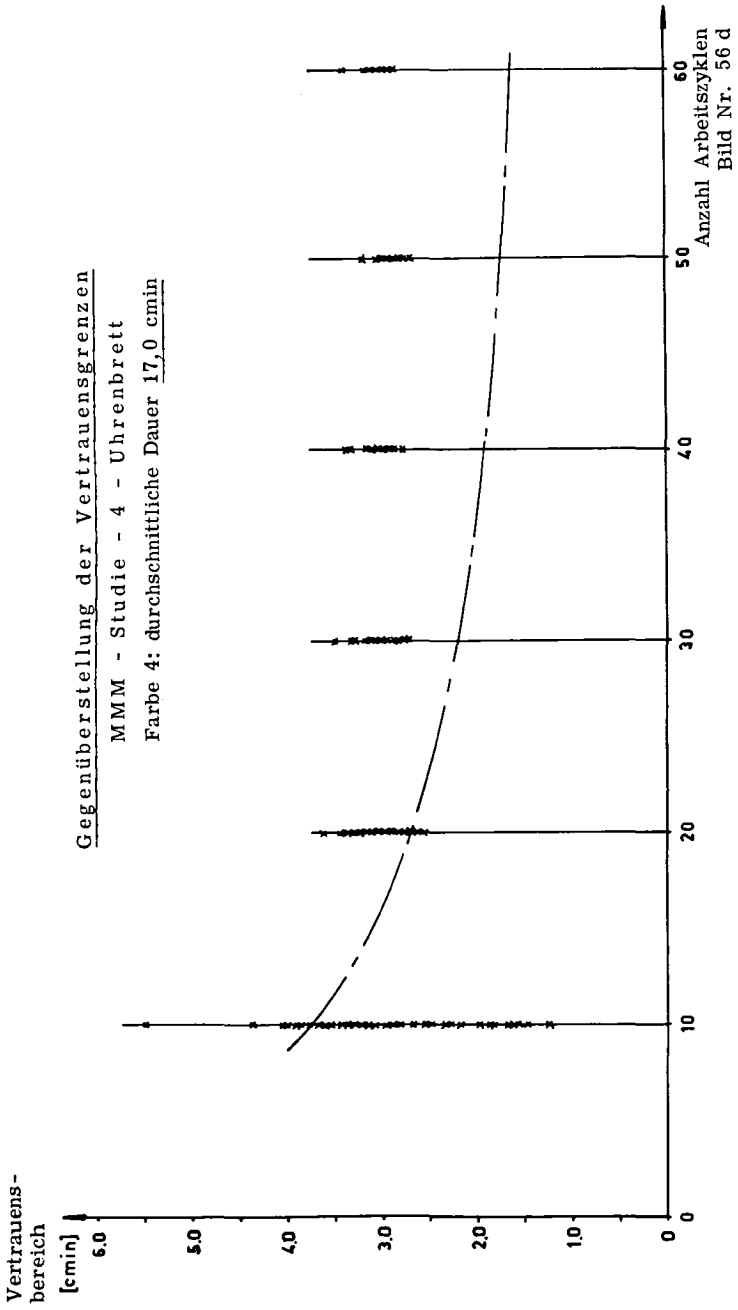


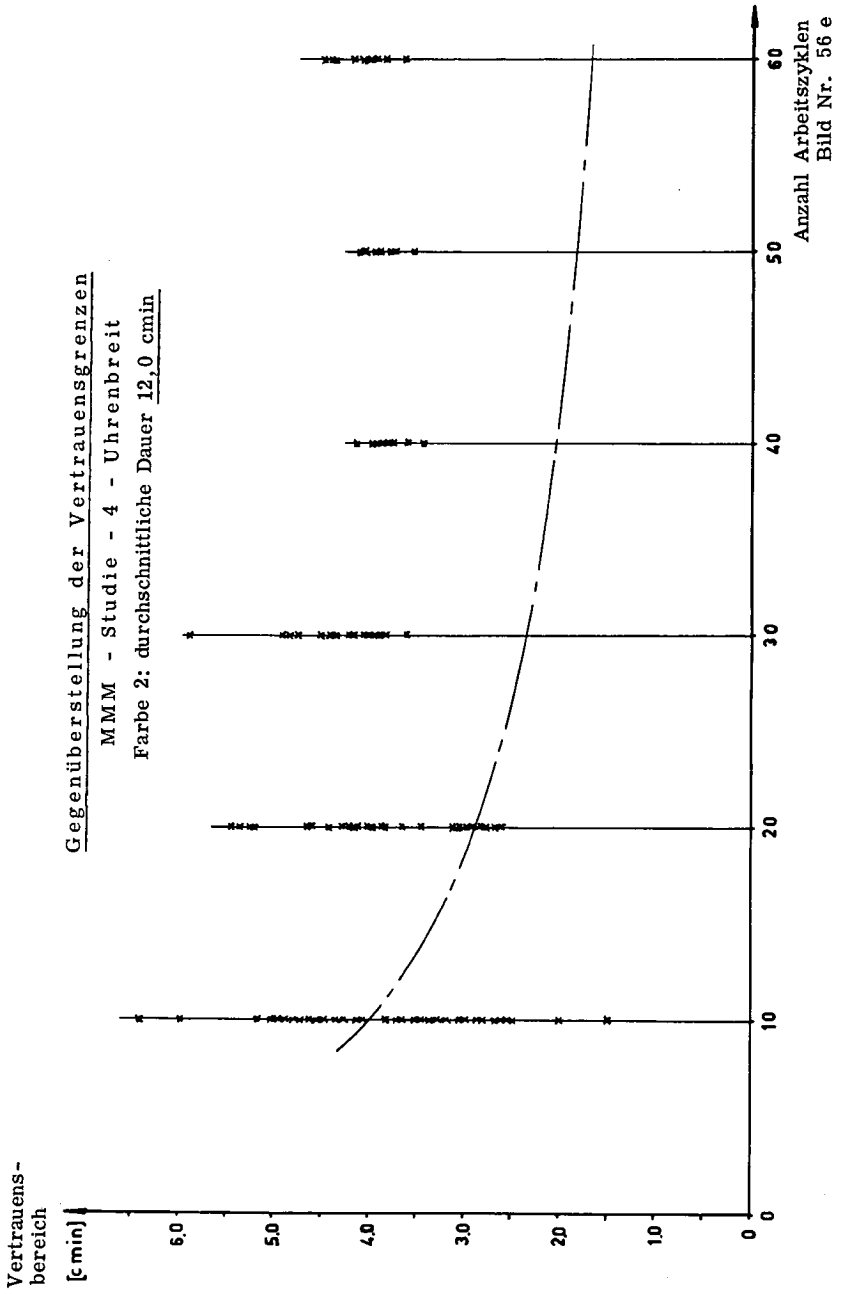
Bild Nr. 56 b

Vertrauensbereich



Anzahl Arbeitszyklen  
Bild Nr. 56 c





Dies zeigt zumindest, dass bei der Anwendung der MMM-Studie für reine Zeitstudien mit kurzer Einübungszeit gerechnet werden kann. Beim Einsatz für die kombinierte Zeit- und Leistungsstudie ist selbstverständlich ein vermehrter Uebungsgrad erforderlich.

Anlässlich von Versuchen in der Firma Enicar S.A., Lengnau, an Arbeitsvorgängen der Uhrenbranche bestätigten sich die im Labor gemachten Erfahrungen, wonach:

- a) eine Zählapparatur günstiger ist als Strichlisten auf Aufnahmeformularen, da die Ablenkung weitgehend ausgeschaltet wird,
- b) eine präzise Definition der Messpunkte zur Abgrenzung der einzelnen Teilzeiten eine unbedingte Notwendigkeit ist.  
Durch Versuche mit 3 Zeitstudienleuten und gleichzeitigen Filmen konnten z. T. deutliche Unterschiede festgestellt werden, die ausschliesslich auf die unterschiedliche Interpretation zurückzuführen sind. Dabei muss darauf hingewiesen werden, dass es, bedingt durch den begrenzten Bewegungsbereich in der Uhrenfabrikation, sehr schwer fällt, die Messpunkte exakt festzustellen, was selbst bei der Filmauswertung Mühe bereitet. Dieses Problem hat allgemeine Bedeutung und stellt kein Charakteristikum der MMM-Studie dar, obwohl hierbei unexakte Definitionen sehr rasch zu Unsicherheiten führen.
- c) regelmässige Beobachtungsintervalle sich entsprechend der kleineren Beanspruchung besser verarbeiten lassen, vor allem bei kurzen Zeitfolgen. Es besteht jedoch eine gewisse Gefahr des Nachlassens der Konzentration.

## 9.17 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde aus dem Gebiet des Arbeits- und Zeitstudienwesens das Problem der Zeitbestimmung behandelt. Ausgehend von einer Standortumschreibung der bisher verwendeten Zeitmessgeräte ging es darum, die Einsatzmöglichkeit des Prinzips der Multimomentstudie im Gebiet von zyklischen Arbeitsabläufen zu überprüfen (MMM-Studie). In der praktisch vielfach erprobten Anwendung der MM-Studie handelt es sich hauptsächlich um eine Erfassung von zufälligen Erscheinungen, wie z. B. Verteilzeitanteile usw. Ferner erstrecken sich die Untersuchungen meistens über eine Gruppe von Personen. Im Gegensatz dazu will man die MMM-Studie bei Arbeiten von Einzelpersonen einsetzen, um beispielsweise Rüst-, Neben- und Hauptzeiten zu erfassen, die sich mit einer gewissen Regelmässigkeit wiederholen. In verschiedenen praktischen Versuchsreihen und theoretischen Ueberlegungen wurden die Eigenschaften der MMM-Studie im neuen Einsatzgebiet abgeklärt und soweit als möglich mit vorhandenen Messresultaten aus der Literatur von konventionellen Messmethoden, wie Stoppuhren, diktierten Zeitstudien usw. verglichen.

Aus den Gegenüberstellungen ergaben sich folgende Resultate:

### a) Nachteile

- die MMM-Studie liefert keine Angaben über die Gleichmässigkeit der Arbeitsabwicklung, was unter Umständen wünschenswert wäre, um die Ausgeglichenheit des Arbeiters zu überprüfen.
- je nach Arbeitsablauf verlangt die MMM-Studie eine längere Aufnahmedauer als mit konventionellen Zeitmessgeräten.

### b) Vorteile

- grosses Auflösungsvermögen, wesentlich besser als beim Einsatz von Stoppuhren, ungefähr vergleichbar mit Tonbandaufnahmen.
- kleiner Auswerteaufwand



- kleine Einübungszeit
- günstige Handhabung, leichte Transportfähigkeit, unabhängig vom Standort.

LITERATURVERZEICHNIS

- (1) E. Bramesfeld und W. Scheurer  
Wie werden Arbeitszeiten richtig geschätzt.  
Zeitschrift Maschinenbau, Berlin 16 (1937) 9/10 S. 237 - 239
- (2) REFA-Buch Bd. 2 Zeitvorgabe  
8. Auflage, München 1958
- (3) F. Giesen  
Untersuchungen über die Anwendbarkeit der Simulationstechnik auf die  
Ermittlung optimaler Fertigungsbedingungen bei Mehrstellenarbeit.  
Diss. ETH Nr. 3875, 1966
- (4) P. Funke  
Zur Wirtschaftlichkeit der Multimomentstudie. Zeit- und Kostenvergleich  
mit andern Verfahren - praktische Brauchbarkeit der Ergebnisse.  
Arbeitswissenschaft 2 (1963) 6 S. 199 - 204
- (5) G. Preuschen  
Die wissenschaftliche Arbeitsstudie, Fachbericht Nr. 4,  
Zeitgliederung für den landwirtschaftlichen Anwendungsbereich.  
Zbl. für Arbeitswissenschaft 1 (1961) S. F 45 - F 52
- (6) G. Langheinrich  
"REFA" und "TAN" Zeitgliederung nach TAN und Begidshanow (sowjeti-  
sche Auffassung).  
Zbl. für Arbeitswissenschaft 6 (1952) S. 65 - 69
- (7) K. Schlaich  
Systematik der Verfahren zur Arbeitszeitbestimmung unter besonderer  
Berücksichtigung der Systeme vorbestimmter Zeiten.  
Maschinenmarkt 71 (1965) 89 S. 100 - 106
- (8) K. E. Poppe  
Zeitmessgeräte für die Industrie  
Düsseldorf, Stahleisen Verlag GmbH 1955

- (9) E. Pechhold  
Zeitmessung und Zeitmessgeräte im Arbeitsstudium, Lehrunterlage.  
Darmstadt, Kurt Hegner Institut für Arbeitswissenschaft des Verbandes  
für Arbeitsstudien REFA e. V. 1963
- (10) J. W. Heuer  
Technik der Handzeitmessung  
Technische Rundschau 53 (1961) 14 vom 7.4.1961 S. 17/19
- (11) A. Abruzzi  
Work Measurement  
New York, Columbia University Press 1952
- (12) M. Moisescu  
Psychotechnik des Zeitnehmens in der Werkstatt: Vergleich verschiede-  
ner Zeitmessinstrumente und Zeitmessverfahren.  
Industrielle Psychotechnik 4 (1927) 4 S. 97-121
- (13) I. P. Lazarus  
The nature of stop-watch time study errors.  
Advanced Management 15 (1950) 5 S. 15-16
- (14) H. Votsch  
Rationelle Auswertung von Zeitstudien.  
Refa-Nachrichten 15 (1962) 2 S. 61-69
- (15) M. Hamdy Ahmed Hamdy  
Beitrag zur Kritik der Verfahren vorbestimmter Zeiten.  
Diss. TH Aachen D 82, 1961
- (16) G. Glaser  
Eine elektronische Vielfach-Stoppuhr.  
Elektronik 6 (1957) 11 S. 326
- (17) H. Daubert  
Zeitaufnahmetechnik bei Einzelzeiten  $< 0,1$  Min.  
Zbl. für Arbeitswissenschaft 10 (1956) 8/9 S. 122-124
- (18) G. Bettler  
Zeitmessungen bei kurzen Teilzeiten.  
Refa-Nachrichten 14 (1961) 1 S. 6-8

- (19) E. Schneiderhan  
Zeitstudien mit Tonbandergänzung  
Refa-Nachrichten 14 (1961) 1 S. 9-13
- (20) V. Krause  
Zeiger oder Zahl  
Zeitschrift für Landtechnik 17 (1962) 24 S. 844-845
- (21) -  
Compteur Kairos  
L'étude du travail (1964) 149 S. 51 (1964) 153 S. 27
- (22) F. Ferrari  
Rationelle Durchführung verlässlicher Arbeitsuntersuchungen  
Arbeitswissenschaft 2 (1963) 5 S. 153-155
- (23) H. B. Maynard, übersetzt von K. Krüger  
Handbuch des Industrial Engineering, Teil III  
Berlin-Köln-Frankfurt/M., Beuth-Vertrieb, 1956
- (24) E. Oberhoff  
Kleines Praktikum der Zeit- und Arbeitsstudien mit Arbeitsschauhr.  
Stuttgart, Konradin-Verlag, Robert Kohlhammer, 1953
- (25) C. L. M. Kerkhoven  
Etude de temps mécanisée: Le Graphonochrone  
L'étude du travail (1962) 126 S. 5-10
- (26) R. L. Morrow  
Time and Motion Study  
New York, The Ronald Press Company, 1945
- (27) E. Dörling und J. M. Jacobi  
Der Stopperechner im praktischen Einsatz  
Schweizer Maschinenmarkt 66 (1966) 2 S. 39-42
- (28) F. R. Lorenz  
Ein neues Verfahren für Zeitaufnahmen  
Refa-Nachrichten 13 (1960) 3 S. 81-86
- (29) W. Simmler  
Aufstellung von Vorgabezeiten mit Hilfe von Tonband-Zeitmessungen.  
Industrielle Organisation 36 (1967) 5 S. 161-171

- (30) E. K. Mäck und H. Neumeier  
Eine Kontakt-Zeitstudie mit dem Zeiter-Gerät.  
Refa-Nachrichten 18 (1965) 5 S. 253-256
- (31) F. R. Lorenz  
Stenophonieren Sie schon?  
Refa-Nachrichten 16 (1963) 2 S. 74-76
- (32) G. Nassi  
Tendances nouvelles de l'analyse des temps de travail.  
L'étude du travail (1961) 120 S. 13-23
- (33) M. E. Mundel  
Zeitrafferaufnahmen ein ausgezeichnetes Hilfsmittel für das Arbeitsstudium.  
Arbeitswissenschaftlicher Auslandsdienst 5 (1961) 1 S. 20-21
- (34) P. F. Fornallaz  
Zeitrafferfilm auch in Europa  
Arbeitswissenschaftlicher Auslandsdienst 5 (1961) 1 S. 21-22
- (35) H. B. Maynard, übersetzt von K. Krüger  
Handbuch des Industrial Engineering, Ergänzungsband  
Berlin-Köln-Frankfurt/M., Beuth-Vertrieb GmbH, 1967
- (36) G. Nadler  
Electronics in Work Measurement  
Time and Motion Study 5 (1957) 2 S. 28-41
- (37) G. Nassi  
Nouvelles possibilités dans le rassemblement et le traitement automatisé  
des informations.  
L'étude du travail (1964) 150 S. 4-23
- (38) F. R. Lorenz  
Zur Frage der Erfassung kurzer Zeiten bei Arbeits- und Zeitstudien.  
Werkstatt und Betrieb 95 (1962) 5 S. 283-287
- (39) Haase und H. Böhrs  
11 Verfahren des Arbeits- und Zeitstudiums im Wirksamkeitsvergleich.  
Arbeitskundliche Mitteilungen für den chemischen Betrieb (1962) 14 S. 1-32

- (40) W. Erler und H. Züllich  
Messgeräte für Zeitaufwandstudie und Normzeitermittlung (unter Verwendung einer unveröffentlichten Arbeit von H. D. Eger: Praktische Anwendbarkeit der Zeitmessgeräte. Grosser Beleg am Institut für Betriebswissenschaften und Normung der TU Dresden, (1964) Arbeitsökonomik 9 (1965) 4 S. 339-355
- (41) W. Schilling  
Anwendung und Oekonomie des Filmes bei Arbeitsstudien.  
Arbeitsökonomik 10 (1966) 6 S. 536-552
- (42) P. F. Fornallaz  
Neue Untersuchungen auf dem Gebiet der Schätzungen des Leistungsgrades.  
Industrielle Organisation 19 (1950) 11 S. 541-544
- W. F. Daenzer  
Vorlesungen über Betriebswissenschaften und Fabrikorganisation an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich.
- (43) R. de Jong  
Multimoment-Aufnahmen  
Arbeitswissenschaftlicher Auslandsdienst 3 (1954) 1 S. 13-21  
überarbeiteter Sonderdruck der fortschrittlichen Betriebsführung  
Multimoment-Aufnahme  
Berlin, Beuth-Vertrieb GmbH 1960 S. 1-22
- (44) E. Haller-Wedel  
Multimoment-Aufnahmen in Theorie und Praxis (mit ausführlichem Literaturverzeichnis)  
München, Carl Hanser Verlag 1962
- (45) R. Barnes  
Work sampling  
Dubuque, Iowa, Wm. C. Brown Company 1956
- (46) L. Weber  
Das Multimomentverfahren und seine praktische Anwendung  
OKW-Veröffentlichung Nr. 41  
Wien, Oesterreichischer Gewerbeverlag ca. 1962
- (47) M. Fisz  
Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik  
Berlin, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1958

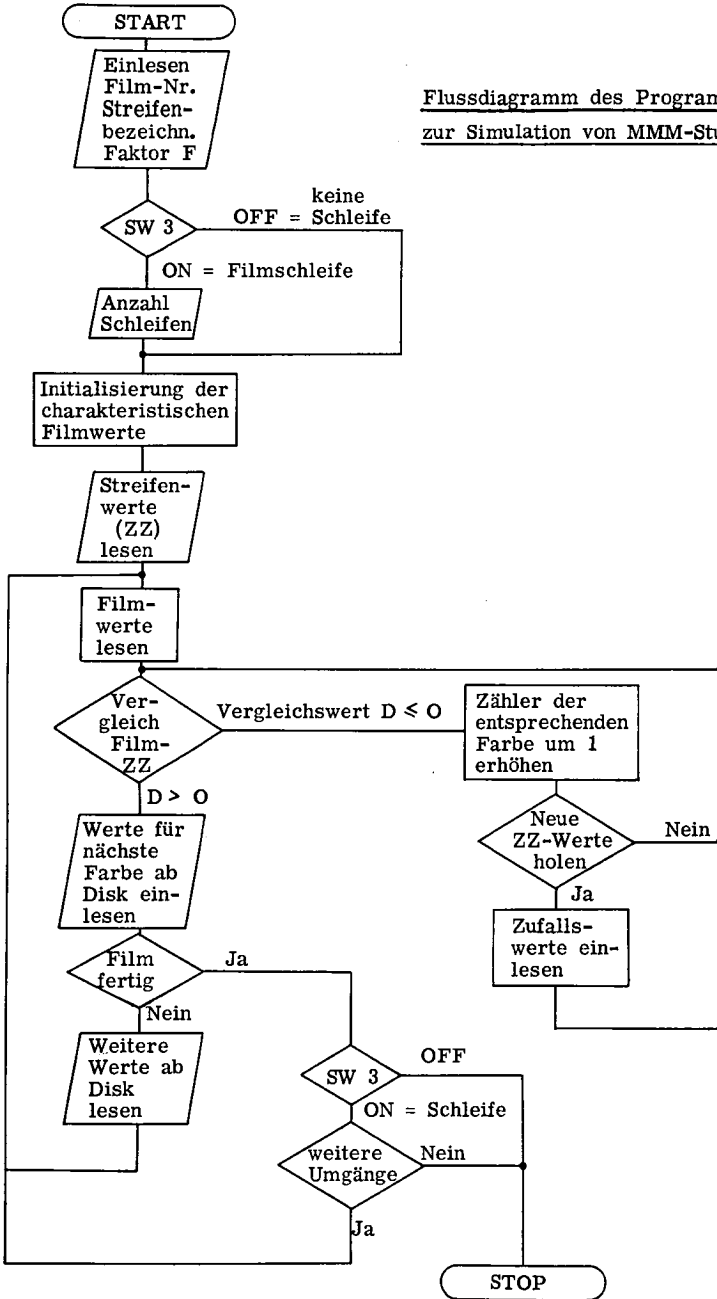
- (48) P. Mevert  
Untersuchung über die Genauigkeit von Multimomentstudien.  
Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1301  
Köln und Opladen, Westdeutscher Verlag 1964
- (49) H. Daubert  
Zeit- und Leistungsuntersuchungen in Kleinbetrieben  
Refa-Nachrichten 14 (1961) 5 S. 177
- (50) W. Schäfer  
Die Arbeits- und Zeitstudie mit Hilfe des Multimomentverfahrens  
(eine Entgegnung zu (49) )  
Refa-Nachrichten 15 (1962) 2 S. 14
- (51) I. L. Haines  
Work sampling by Fixed Interval Study  
Journal of Industrial Engineering 9 (1958) S. 266-268
- (52) A. D. J. Flowerdew und P. W. Malin  
Systematische Multimomentaufnahmen (systematic activity sampling)  
Fortschrittliche Betriebsführung  
Arbeitswissenschaftlicher Auslandsdienst 13 (1964) 4 S. 122-128  
übersetzt aus The Journal of Industrial Engineering 14 (1963) 4 S. 201-207
- (53) K. Meining  
Kombination zweier Verfahren als neue Möglichkeit der Verteilzeitermittlung.  
Werkstatt und Betrieb 89 (1956) 1 S. 16  
Stellungnahmen zu (53)  
Werkstatt und Betrieb 89 (1956) 11 S. 633-635
- (54) J. C. Peterschmitt  
Etude d'un procédé d'étude des temps applicable à l'industrie horlogère.  
Unveröffentlichter Bericht des Betriebswissenschaftlichen Institutes an  
der ETH Zürich, 1957
- (55) E. Haller-Wedel  
Das Multimoment-Zeitmessverfahren (Work Measurement sampling)  
Fortschrittliche Betriebsführung  
Arbeitswissenschaftlicher Auslandsdienst 14 (1965) I S. 12-16
- (56) R. S. Woodworth und H. Schlosberg  
Experimental Psychology  
New York, Henry Holt and Company Inc., 1958

- (57) W. Hess  
Praktische Lärmbekämpfung  
Schweizerische Blätter für Arbeitssicherheit der Schweizerischen Unfall-  
versicherungsanstalt Luzern Nr. 67 Mai 1965
- (58) J. Rheinstejn  
Der Einfluss von künstlich erzeugten atmosphärischen Zonen auf die  
einfache Reaktionszeit und auf den optischen Moment  
Diss. TH München, 1960
- (59) J. M. Westhoff  
Auf der Suche nach einem Mass für die perzeptive Arbeit  
Philips Technische Rundschau 24 (1962/63) 11/12 S. 379-388
- (60) H. Schmidtke und Ch. Micko  
Untersuchungen über die Reaktionszeit bei Dauerbeanspruchung.  
Forschungsbericht Nr. 1360 des Landes Nordrhein-Westfalen  
Köln und Opladen, Westdeutscher Verlag 1964
- (61) R. A. Fisher und F. Yates  
Statistical tables for biological agricultural and medical research, 5th ed.  
Edinburgh Oliver and Boyd, 1957
- (62) A. Linder  
Statistische Methoden für Naturwissenschaften, Mediziner und Ingenieure  
3. Auflage  
Basel, Birkhäuser Verlag 1960
- B. L. van der Waerden  
Mathematische Statistik  
Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer Verlag 1957
- (63) D. Morgenstern  
Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung und math. Statistik  
Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer Verlag 1964



ANHANG

Flussdiagramm des Programms  
zur Simulation von MMM-Studien



```
C   PROGRAMM FILM/AUSWERTUNG OHNE SCHLEIFE
      DIMENSION SOLL(24)
      COMMON SOLL
      COMMON JN
      DEFINE DISK(18,800)
      DIMENSION IF(18), IZ(25)
      DIMENSION RR(30)
      EQUIVALENCE(D,S4)
301  FORMAT(1HF)
302  FORMAT(F6.3)
555  FORMAT(30F2.0)
9801 FORMAT(I3)
9802 FORMAT(5H1FILM,I3,10H, STREIFEN,I5,8H, FAKTOR,F6.3//)
9803 FORMAT(I5)
1000 CONTINUE
      DD 666 I=1,25
666  IZ(I)=0
      TYPE 301
      ACCEPT 302, FAKTOR
      ACCEPT 9801,I
      ACCEPT 9803,K
      PRINT 9802,I,K,FAKTOR
      IF(SENSE SWITCH 3) 55,556
55   CONTINUE
      ACCEPT 9801,LLL
556  CONTINUE
      I=1
      FETCH(I)IF
      K=1
      S=0.
      READ 555,(RR(M),M=1,30)
      M=1
      R=RR(M)
8    T=IF(K)
      T=T*FAKTOR
      S=S+T
6    CONTINUE
      D=R-S
      IF(D)2,2,3
3    R=D
      S=0.
      IF(K-17)4,5,5
4    K=K+2
      GOTO 8
5    IF(I-JN)9,10,9
9001 CONTINUE
      I=1
9    FETCH(I)IF
      K=1
      GOTO 8
2    S=-D
      L=IF(K+1)
      IZ(L)=IZ(L)+1
      M=M+1
      IF(M-30)12,12,7
7    CONTINUE
      READ 555,(RR(M),M=1,30)
      M=1
12   R=RR(M)
      GOTO 6
10   CONTINUE
      IF(SENSE SWITCH 3) 8001,8002
8001 CONTINUE
      LLL=LLL-1
```

```
          IF(LLL)9001,9002,9001
8002 CONTINUE
9002 CONTINUE
      II=0
      DO 300 L=1,24
300  II=II+IZ(L)
      YY=II
      S2=0.
      DO200 L=1,24
      X=IZ(L)
      SO=SOLL(L)
201  IF(SO)200,200,202
202  X=X/YY
      Y=X-SO
      S2=S2+ABS(Y)
      PRINT 203,L,X,SO,Y
203  FORMAT(I6,3F10.6)
200  CONTINUE
      PRINT 203,II,S2
9804  FORMAT(4HNEXT)
      TYPE 9804
      PAUSE
      IF(SENSE SWITCH 3)601,1000
601  ACCEPT 9801,LLL
      GOTO 9001
      END
```

```
C      PROGRAMM FILM/EINLESEN DES FILMS
      DIMENSION SOLL(24)
      COMMON SOLL
      COMMON I
      DEFINE DISK(18,800)
      DIMENSION IF(18)
      READ 7,(SDLL(K),K=1,24)
7      FORMAT(8F10.0)
      N=0
      I=1
      READ 105,JN
3      N=N+1
5      READ 101,(IF(L),L=1,18),J
      IF(J-N)2,1,2
1      RECORD(I)IF
      IF(J-JN)3,4,3
4      CALL LINK(FILM2)
2      TYPE 104 ,N
      PAUSE
      GOTO5
101  FORMAT(9(I4,I2),21X,I5)
104  FORMAT(8HCARD NO.,I5,16H OUT OF SEQUENCE)
105  FORMAT(I5)
      END
```

Programmiert von J.P.Eckmann.

## Lebenslauf

Am 29. Juni 1934 wurde ich in Kreuzlingen TG geboren. Die Primar- und Sekundarschule besuchte ich in Kreuzlingen und trat anschliessend die Lehre als Elektromonteur in der Maschinenfabrik Oerlikon an. Nach dem Besuch des Abendgymnasiums am Institut Juventus, Zürich, bestand ich im Herbst 1956 die eidgenössische Maturitätsprüfung Typ C und nahm dann das Studium an der Abteilung für Elektrotechnik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich auf. Ende 1960 schloss ich dieses Studium mit dem Diplom als Elektroingenieur Richtung Schwachstrom ab.

Bis 1965 arbeitete ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH, unter Herrn Prof. W. Bloch, um dann die Produktionsleitung einer Halbleiterfabrik zu übernehmen. Vor allem im Verlauf der letzten beiden Jahre entstand in der Freizeit die vorliegende Promotionsarbeit.