

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 1884

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
von Staatssekretär Professor Dr. h. c. Dr. E. h. Leo Brandt

DK 658.512.2

Dr.-Ing. Franz Hildebrandt

Institut für Arbeitswissenschaft der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen

Direktor : Prof. Dr.-Ing. Joseph Mathieu †

Methoden zur Zeitanalyse und Zeitplanung im Konstruktionsbüro



WESTDEUTSCHER VERLAG · KÖLN UND OPLADEN 1968

ISBN 978-3-663-06393-3 ISBN 978-3-663-07306-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-663-07306-2

Verlags-Nr. 011884

© 1968 by Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen

Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Statistische Analyse der Bearbeitungszeiten	6
2.1 Auftragsgesamtzeiten	7
2.2 Zeitanalyse nach Anforderungsstufen	10
2.3 Zeiten der Arbeitsgänge	13
2.4 Formatzeitwerte	16
2.5 Einzelteilzeitwerte	20
3. Zeitplanung der Arbeitsvorgänge	24
3.1 Ablaufplanung	25
3.2 Netzwerkplanung	28
4. Zeitstudie der Arbeitsvorkommnisse	33
4.1 Multimomentverfahren	34
4.2 Zeitfolgetest	40
4.3 Zeitmessung	47
5. Verbesserung der Arbeitswirksamkeit	49
5.1 Arbeitszeitregelungen	50
5.2 Arbeitsverfahren	51
6. Zusammenfassung	53
7. Literaturverzeichnis	55

1. Einleitung

Im Konstruktionsbüro eines Unternehmens entstehen die Voraussetzungen für die materiell herzustellenden Erzeugnisse. Durch den geistig-schöpferischen Prozeß des Konstruierens werden Mechanismen und Formen in der Wechselbeziehung zwischen Denkvorstellung und zeichnerischer Darstellung gestaltet, bis eine der Aufgabe entsprechende konstruktive Lösung gefunden ist. Die weitere Ausführung im Detail ergibt die technischen Zeichnungen als Fertigungsanweisungen für die Werkstatt.

Der Wert der Arbeitsergebnisse eines Konstruktionsbüros hängt in erster Linie von dem Fortschritt in der technischen Entwicklung und der Wirtschaftlichkeit bei der materiellen Herstellung der Erzeugnisse ab. Er hängt aber auch wesentlich davon ab, daß die Konstruktionsunterlagen zu den vorbestimmten Zeitpunkten, in denen sie dem Unternehmen den größten wirtschaftlichen Nutzen bringen, bereitstehen. Nur dadurch ist gewährleistet, daß sich der Aufwand für die Erstellung der Konstruktionen als betriebswirtschaftlicher Erfolg realisieren läßt. Die Konstruktionsarbeit bedarf daher einer Zeitplanung.

Für das Konstruktionsbüro gilt – wie für alle anderen Abteilungen eines Unternehmens – das ökonomische Prinzip, die Arbeitsergebnisse mit möglichst geringem Aufwand zu erstellen. Damit die technischen Angestellten in ihrer Tätigkeit eine hohe Arbeitswirksamkeit erreichen, müssen die Arbeitsbedingungen durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen und technische Hilfsmittel rationalisiert und ständig verbessert werden.

In diesen beiden Dispositionsbereichen eines Konstruktionsbüros, der Auftragsplanung einerseits und der Organisation und Gestaltung der Konstruktionsarbeiten andererseits, ist es notwendig, für die Beurteilung des Zeitbedarfs oder der Zeitanhalte Anhaltswerte in Ansatz zu bringen. Sie sind jedoch im allgemeinen weniger das Ergebnis systematischer Zeitanalysen, als vielmehr Schätzungen auf Grund der Erfahrung. Ihnen haften die bekannten Mängel der Uneinheitlichkeit und subjektiven Verzerrung an, die um so größer sind, je komplexer der zu beurteilende Arbeitsvorgang ist.

In Anbetracht der großen Bedeutung der geistig-konstruktiven Leistungen für ein Unternehmen einerseits und des relativ breiten Spielraums für Leistungsverbesserungen andererseits erscheint es angebracht, bei der Lösung zeitbezogener Probleme in den beiden Dispositionsbereichen systematisch vorzugehen und dazu analytische und projektive Methoden anzuwenden. Diese methodischen Möglichkeiten in Analyse und Planung aufzuzeigen, bildet den Inhalt der vorliegenden Abhandlung – als Fortsetzung mit spezieller Aufgabenstellung des in früheren Darstellungen in allgemeinerer Form behandelten Themenkreises [13 und 18]*.

Die folgenden Ausführungen gelten dem Aufbau von Methoden in einem Rahmen, in dem sie einer Verallgemeinerung zugänglich sind. Dabei wird jeweils von den einfachsten Modellen ausgegangen. In der Praxis besteht die Aufgabe im allgemeinen darin, zunächst einen methodischen Ansatz zu machen. Die weitere Differenzierung der Modelle ergibt sich dann von selbst für einen der speziellen Auftrags- und Arbeitssituation angepaßten Zuschnitt.

Als Orientierung für die Anwendung systematischer Vorgehensweisen in der Praxis gilt zunächst der Grundsatz, daß die auf analytischem Wege ermittelten Aufschlüsse an Zuverlässigkeit und Objektivität den summarischen Urteilen überlegen sind. In weiter-

* Nummern der Literaturstellen in Abschnitt 7

gehender Betrachtung lassen sich mit wirksameren Erschließungstechniken bessere Bezugswerte für die Beurteilung der Auftragszeiten oder die Zeitanteile der Arbeitsvorkommnisse ermitteln.

Die Aussagefähigkeit der in Zeitmaßen ermittelten Aufschlüsse über Verlauf und Verteilung der Arbeiten in Konstruktionsbüros hat ihre Grenzen. Diese zu erkennen wird man nur von Sachbearbeitern erwarten können, die selbst mit den Arbeitsverhältnissen in Konstruktionsbüros vertraut sind. Es ist ferner zu berücksichtigen, daß die von einer Zeitanalyse betroffenen technischen Angestellten im allgemeinen Bedenken bezüglich einer leichtfertigen Ergebnisdeutung hegen, als deren Folge sich dann gewisse Ressentiments verbreiten.

Deshalb bedürfen derartige Untersuchungen einer psychologischen Vorbereitung, um die Bedenken aufzuheben und durch die Erkenntnis zu ersetzen, daß Zeitanalysen der Ermittlung von Bezugsgrößen dienen, durch die die Zeitplanung eine größere Genauigkeit und Zuverlässigkeit und die Tätigkeiten eine höhere Wirksamkeit erreichen sollen. Eine Arbeitsbewertung geistig-konstruktiver Leistungen ist damit nicht möglich, denn diese muß sich in erster Linie an dem Leistungsniveau orientieren. Dieser Gesichtspunkt gewinnt um so mehr Bedeutung, je höher die Anforderungen an die Qualifikation des Konstrukteurs sind.

Für die Anwendung quantitativer Methoden auf Zeitprobleme im Konstruktionsbüro gilt als weiterer Grundsatz, daß der Aufwand in jedem Falle in einer wirtschaftlich vertretbaren Relation zu dem Informationswert der Ergebnisse stehen muß. Zu dem Aufwand gehören nicht nur die Kosten für die speziellen Einsätze der Sachbearbeiter und der technischen Mittel, sondern auch die Arbeitsstörungen und Belastungen für die Bürobelegschaft. Derzeitig sind jedoch die Erfassungs- und Auswertungstechniken in den Konstruktionsbüros im allgemeinen wenig entwickelt, so daß die Perspektive vielmehr auf die Ansatz- und Erweiterungsmöglichkeiten zu richten ist.

2. Statistische Analyse der Bearbeitungszeiten

Voraussetzung für eine zuverlässige Zeitplanung im Konstruktionsbüro sind analytisch ermittelte Anhaltswerte für die Dauer der Bearbeitung der Konstruktionsaufträge oder ihrer Teilaufgaben. Analyse und Planung der Auftragszeiten sind eng miteinander verbunden. Aus dem Vorhaben der Planung ergeben sich die Anforderungen an die analytische Erschließung, die wiederum von den vorhandenen Möglichkeiten ausgehen muß. Für eine Darstellung als Überblick erscheint es jedoch vorteilhafter, eine Trennung nach den Methoden der Analyse und denen der Planung vorzunehmen. Auf gemeinsame Bezugspunkte ist dann von beiden Bereichen aus zurückzugreifen.

Für eine Zeitanalyse sind statistische Verfahrenstechniken anzuwenden. Die ermittelten Ergebnisse haben die Eigenschaft, daß sie auf Grund der Verschiedenartigkeit jedes untersuchten Einzelfalles und anderer zufallsbedingter Faktoren voneinander abweichen. Derartige Schwankungen der Bearbeitungszeiten vergleichbarer Vorgänge sind im allgemeinen um so größer, je schwieriger die Konstruktionsaufgaben sind.

Konstruktionsaufgaben, bei denen es gilt, völlig neue Ideen und Wirkungsprinzipien in eine technisch-materiell realisierbare Gestalt zu überführen, sind allerdings selten und nehmen innerhalb des Konstruktionsprogramms größerer technischer Büros nur einen

kleinen Anteil ein. Der weitaus größte Teil aller Aufgaben besteht aus Anpassungskonstruktionen, und hierbei bildet wiederum das Ausführen der technischen Zeichnungen das Gros des Arbeitsaufwandes.

Auf jeder Stufe dieser Arbeitsteilung bleibt der konstruktiven Gestaltung ein gewisser Spielraum, eigene Ideen zu entfalten und Anregungen für Verbesserungen zu geben, so daß kleinere und größere Variationen zwischen vergleichbaren Bearbeitungszeiten auftreten. Sie können jedoch nicht als Erscheinungen gelten, die einer systematischen Zeitanalyse und Zeitplanung im Wege stehen. Sie erfordern aber eine besondere Beachtung, wenn Richtwerte für die Zeitbedarfsermittlung eine der Eigenart der Konstruktionsarbeit angemessene Interpretation erfahren sollen.

Die Auftragsplanung hat auf das Leistungsergebnis eines Konstruktionsbüros einen wesentlichen Einfluß. Zunächst wird dadurch gewährleistet, daß die Konstruktionen für bestimmte Zeitpunkte in dem organisatorischen Rahmen, in dem eine ordnungsgemäße Ausführung möglich ist, fertiggestellt werden und nicht in eine zeitliche Enge geraten, als deren Folge dann häufig in der Produktion zusätzliche Kosten für unbrauchbare Stücke anfallen.

Wenn Konstruktionsabteilungen die Aufgabe haben, neben dem Programm fortlaufender, termingebundener Aufträge für die unmittelbare Produktion gleichzeitig die technische Weiter- oder Neuentwicklung der Erzeugnisse zu betreiben, so ist dafür eine sinnvolle Reihenfolge der kurz- und langfristigen Vorhaben in einem Zeitplan festzulegen. Dadurch läßt es sich vermeiden, daß die Bearbeitung der Entwicklungsaufgaben häufig durch Aufträge höherer Dringlichkeit unterbrochen werden muß – eine Erscheinung, die einerseits die Durchgestaltung neuer technologischer Prinzipien und Mechanismen erschwert, die andererseits dem Konstrukteur erhöhte geistige Anstrengungen abverlangt und seiner Interessierung an dem Entwicklungsobjekt entgegenwirkt. Die Auftragsplanung soll also mit dazu beitragen, dem Konstrukteur für die Entfaltung seiner Ideen und die Überführung der Vorstellungsgehalte in die Darstellungsform die Bearbeitungszeiten zu sichern, in denen er die Erzeugnisgestaltung bis zu einer technischen Reife ausarbeiten kann, die seiner eigenen Zielsetzung entspricht und die einen hohen technischen Entwicklungsstand repräsentiert.

Zur statistischen Erfassung der Arbeitszeiten in Konstruktionsbüros und zur Auswertung für die Zeitplanung sollen verschiedene Vorgehensweisen dargestellt werden. Um in der Praxis mit geringerem Aufwand beginnen zu können, wird man zunächst den einfachsten Weg wählen und sich mit entsprechend begrenzten und groben Übersichten begnügen. Die Ansatzpunkte für den weiteren Ausbau der analytischen Methodik ergeben sich dann von selbst aus der Beschaffenheit des vorliegenden Materials und aus den jeweiligen Auftrags- und Arbeitsbedingungen in dem Konstruktionsbüro oder in der Arbeitsgruppe.

Dieser Erweiterungstendenz folgt auch die Beschreibung der analytischen Techniken. Ihre Darstellung in allgemeiner Form hat dort ihre Grenzen, wo die speziellen Betriebsbedingungen den Verfahrensgang bestimmen und somit einer generellen Behandlung nicht mehr zugänglich sind.

2.1 Auftragsgesamtzeiten

Um die Erfahrungsmaßstäbe, nach denen die Zeitplanung der Konstruktionsaufträge im allgemeinen erfolgt, durch analytisch ermittelte Zeitwerte zu verbessern, wird man beim Ansetzen einer systematischen Vorgehensweise zunächst die Möglichkeiten ausnutzen, die sich hierfür durch sekundärstatische Auswertungen ergeben. Dabei werden die vorhandenen Unterlagen der Betriebsabrechnung erfaßt und ausgewertet.

Eine statistische Analyse der Arbeits- und Abrechnungsbelege für die einzelnen Aufträge oder deren Teilaufgaben kann Aufschlüsse über die Verteilung der Arbeitszeiten liefern. Daraus lassen sich Anhalts- oder Richtwerte für die Zeitplanung ähnlicher Aufträge ableiten. Je detaillierter die vorausgegangenen Zeitanalysen vorgenommen wurden, um so informativer und zuverlässiger können die daraus aufbereiteten Orientierungshilfen für die Zeitplanung sein.

Die technischen Angestellten legen in den meisten Unternehmen in Form von Arbeits-scheinen oder Tagebüchern Rechenschaft über die Zweckbindung ihrer Tätigkeit ab. Aus diesen Belegen geht hervor, wie viele Stunden jeder einzelne in einem bestimmten Zeitraum für die Konstruktionsaufträge – durch Auftragsnummern gekennzeichnet – gearbeitet hat. Von der Betriebsabrechnungsstelle werden danach die Umlagen der Gemeinkosten für das technische Büro kalkuliert, oder die angefallenen Kosten werden unmittelbar den Kostenträgern zugeschlagen.

Diese Unterlagen lassen sich nun leicht nach Konstruktionsaufträgen und Stundenzahlen aufschlüsseln. Wenn die Arbeitsbelege in Lochkarten oder andere Informationsträger für die maschinelle Datenverarbeitung übertragen worden sind, kann eine solche Zeit-aufrechnung in einem Arbeitsgang erstellt werden. Als Ergebnis der Erfassung erhält man dann eine Aufstellung der Arbeitsstunden je Auftrag.

Zur Abschätzung des Zeitbedarfs T^+ für eine neue Aufgabe kann somit die Bearbeitungszeit T eines vergleichbaren ausgeführten Konstruktionsauftrages herangezogen werden. Was hierbei als vergleichbar zu betrachten ist, bedarf zunächst einer überschlägigen Beurteilung nach den Gesichtspunkten der Erfahrung. Technische Eigenschaften, Ausmaße und Mengen der Gestaltungselemente lassen sich relativ leicht miteinander vergleichen. Eine eingehendere Betrachtung erfordert die Beurteilung des Schwierigkeitsgrades bei der Lösung der einzelnen konstruktiven Probleme. Hierbei sind gewisse Zu- oder Abschläge bezüglich der Zeiten der Vergleichsbasis in Ansatz zu bringen.

Liegen mehrere ausgeführte Konstruktionsaufträge vor, so lassen sich daraus statistische Kennwerte als Richt- und Anhaltswerte für die Zeitplanung berechnen. Aus N Auftragszeiten $T^{(v)}$ wird zunächst ein Mittelwert \hat{T} gebildet:

$$\hat{T} = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N T^{(v)} \quad (2.1.1)$$

Dieser Wert sollte als Richtwert T^+ für eine Auftragszeit jedoch nicht ohne Berücksichtigung eines Maßes für die Größe der möglichen zeitlichen Schwankungen verwendet werden. Wenn die Anzahl N klein ist ($N < 5$), so geht man dazu am einfachsten von der Spannweite R zwischen der größten (\bar{T}) und kleinsten (\underline{T}) Auftragszeit aus [6, S. 41]:

$$R = \bar{T} - \underline{T} \quad (2.1.2)$$

Zur Beurteilung der Gültigkeit eines Richtwertes T^+ können größter und kleinster Wert (\bar{T} und \underline{T}) unmittelbar herangezogen werden. Als abgeleitete Größe dafür läßt sich die Spannweite R , oder bei einseitiger Betrachtung, die Hälfte ihres Wertes als Zeitabweichung D in Ansatz bringen:

$$D = \frac{R}{2} = \frac{1}{2}(\bar{T} - \underline{T}) \quad (2.1.3)$$

Damit ergibt sich für den Richtwert T^+ ein Intervall $(T - D, T + D)$, in dem er mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist:

$$\hat{T} - D < T^+ < \hat{T} + D. \quad (2.1.4)$$

Eine derartige Beziehung dient vor allem dem Zweck, bei der Zeitplanung mit Richtwerten den möglichen Zeitschwankungen Rechnung zu tragen. Sie kann nur als überschlägige quantitative Relation gelten.

An Hand der unmittelbaren und abgeleiteten Vergleichswerte kann somit in Verbindung mit einer zusätzlichen Erfahrungsbewertung des Umfangs und des Schwierigkeitsgrades eine statistisch fundierte Schätzung des Zeitbedarfs T^+ für die neue Konstruktionsaufgabe gewonnen werden. Hierbei handelt es sich allerdings um eine Zeitangabe, die aus den ausgewiesenen unmittelbaren Arbeiten an den Aufträgen berechnet worden ist. Sie stellt somit eine Nettozeit dar.

Die Planung ist jedoch im allgemeinen an den Bruttozeiten orientiert. Sie umfassen auch die Zeiten, die den allgemeinen Aufgaben zugeschrieben werden, ferner die Fehlzeiten durch Krankheit, Urlaub und sonstige Abwesenheit.

Aus den Unterlagen der Betriebsabrechnung ist deshalb für einen größeren Zeitraum der Anteil p der Netto- oder Produktivzeit T_P an der Bruttozeit T_B zu bestimmen:

$$p = \frac{T_P}{T_B}. \quad (2.1.5)$$

Mit dieser Anteilsziffer läßt sich nun der durch die Vergleichsschätzung ermittelte Zeitbedarf T^+ in einen Bruttowert T^0 überführen:

$$T^0 = \frac{T^+}{p}. \quad (2.1.6)$$

Die Division dieses Wertes durch die Anzahl der Arbeitsstunden, die eine Konstruktionsgruppe je Arbeitstag ableistet, ergibt die Anzahl der Arbeitstage, die diese Gruppe zur Bearbeitung des Auftrages benötigen würde. Diese Vorgehensweise zur Umrechnung der analytisch ermittelten Nettozeiten in die Bruttozeiten für die Planung soll in sinngemäßer Anwendung auch für die folgenden Methoden mit einer weitergehenden Gliederung der Zeiten gelten, so daß es sich erübrigt, diese Beziehung wiederholt anzuführen.

Mit den ermittelten Werten lassen sich dann Zeitpläne aufstellen, aus denen für bestimmte Zeitabschnitte die Auftragsbelegung hervorgeht. Die Wahl der Übersichtszeiträume – Monat, Quartal, Jahr – erfolgt dabei nach den speziellen Betriebsbedingungen hinsichtlich Gesamtvolumen der Aufträge, der Länge der Bearbeitungszeit für die einzelnen Objekte und deren Teilbarkeit. Ebenso werden die Fehlzeiten unterschiedlich zu behandeln sein, entweder als pauschale Übernahme in die Planung mit Bruttozeiten – wie hier dargestellt – oder als individuelle Regelung für die Fälle, die sich vorhersehen lassen (Dienstreisen, Vertretungen, Tarifurlaub).

Die Planung des Zeitbedarfs für die Auftragsabwicklung an Hand von Richtwerten hat zur Voraussetzung, daß sich die Anwendung auf die Abteilungen oder Gruppen eines einheitlichen technischen Sachgebietes beschränkt, aus dem die Zeiten für ausgeführte Arbeiten zur Ableitung der Vergleichswerte entnommen worden sind. Auch personelle Veränderungen, die in der Zwischenzeit eingetreten sind, werden mitunter zu berücksichtigen sein. Für diese Vorgehensweise, bei der lediglich die gesamten Stundenzahlen der an dem Auftrag beteiligten Mitarbeiter einer Arbeitsgemeinschaft betrachtet werden, gilt die Annahme der proportionalen Verteilung der Arbeitsanteile auf alle Stufen der leistungsmäßigen Qualifikation.

Diese Proportionalität wird nicht immer gegeben sein, denn ein veränderter Schwierigkeitsgrad wirkt sich vorwiegend auf den Zeitbedarf in den höheren Qualifikationsstufen aus, während sich für die Arbeiten des technischen Zeichnens – bei gleichbleibendem Konstruktionsumfang – nur geringfügige Veränderungen ergeben.

2.2 Zeitanalyse nach Anforderungsstufen

Die Gesamtdauer der Auftragsbearbeitung ist im ersten Schritt zu einer differenzierten Analyse in die Zeiten für die einzelnen Anforderungsstufen zu zerlegen. Als Anforderungsstufen sollen die verschiedenen Ebenen der technischen Qualifikation, auf denen die Bearbeitung der einzelnen Teilaufgaben erfolgt, bezeichnet werden.

Innerhalb der Hierarchie des Konstruktionsbüros kommen diese Stufen durch folgende Stellenbezeichnungen zum Ausdruck:

1. Gruppenleiter
2. Konstrukteur
3. Detailkonstrukteur
4. Technischer Zeichner
5. Helfer

Die Aufstellung enthält nur die Positionen der technischen Angestellten, deren Arbeitszeiten den einzelnen Konstruktionsaufträgen zugeschrieben werden können. Für die Tätigkeiten in zentralen oder höheren Stellen größerer Konstruktionsbüros ist dies nicht möglich.

In den Unternehmen sind mitunter andere und weitere Stellenbezeichnungen als die hier genannten üblich. Als letzte Stufe enthält die Aufstellung die Helfer. Damit sollen Angestelltentätigkeiten bezeichnet werden, die nicht zu denen der vorgenannten Positionen gehören, die sich aber weitgehend den einzelnen Aufträgen zuschreiben lassen. Es handelt sich dabei um Aufgaben wie z. B. das Bearbeiten und Schreiben der Stücklisten und Sonderblätter, die Beschaffung und Vorauswertung von Fachliteratur oder das Ordnen und Bereitstellen von Unterlagen und Material.

Wenn die Inhalte der Arbeitsscheine oder Tagebücher der technischen Angestellten auf Informationsträgern für eine maschinelle Datenverarbeitung vorliegen, kann das Auszählen der Arbeitsstunden nach Konstruktionsaufträgen und Anforderungsstufen mitunter an Hand der Personalnummern erfolgen. Anderenfalls ist zur Kennzeichnung der jeweiligen Anforderungsstufe eine Kennziffer oder ein Kennbuchstabe als Kodezeichen einzuführen.

Als Ergebnis der Auszählung der Stundenzahlen für einen Konstruktionsauftrag erhält man dann die Zeiten T_j für die einzelnen Anforderungsstufen $j = 1, 2, \dots, n$. Sie werden zweckmäßig als Zeile in einem Datenschema zusammengestellt:

$$T_1, T_2, \dots, T_j, \dots, T_n. \quad (2.2.1)$$

Ihre Summe ist dann die Gesamtzeit T des Konstruktionsauftrages:

$$T = \sum_{j=1}^n T_j. \quad (2.2.2)$$

Von diesen Zeitangaben für einen ausgeführten Konstruktionsauftrag ausgehend können dann für die neue Aufgabe die Schätzungen des Zeitbedarfs für jede Anforderungsstufe einzeln erfolgen. Die speziellen Bedingungen und konstruktiven Probleme sind von Stufe zu Stufe bezüglich ihrer Auswirkung auf die Bearbeitungszeit zu bewerten. Als Ergebnis dieser Schätzungen erhält man dann für den neu zu bearbeitenden Konstruktionsauftrag die Zeitrichtwerte T_j^+ für die Anforderungsstufen j , die eine weitere Zeile in der Aufstellung ergeben:

$$T_1^+, T_2^+, \dots, T_j^+, \dots, T_n^+. \quad (2.2.3)$$

Die Hochrechnung dieser Werte auf die Bruttozeiten T_j^0 erfolgt dann auf die im vorhergehenden Abschnitt beschriebene Weise (2.1.6).

Liegen die Zeitwerte T_j von mehreren ähnlichen Aufträgen vor, so läßt sich damit eine bessere statistische Urteilsbasis bilden. Aus N Konstruktionsaufträgen, in denen jede der n Anforderungsstufen auftritt, können die n Mittelwerte \hat{T}_j berechnet werden:

$$\hat{T}_j = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N T_j^{(v)}. \quad (2.2.4)$$

Sie ergeben als weitere Zeile in einem Datenschema die Folge

$$\hat{T}_1, \hat{T}_2, \dots, \hat{T}_j, \dots, \hat{T}_n. \quad (2.2.5)$$

Dazu werden die größten und kleinsten Zeitwerte – mit \bar{T}_j und \underline{T}_j bezeichnet – für jede Anforderungsstufe zusammengestellt:

$$\bar{T}_1, \bar{T}_2, \dots, \bar{T}_j, \dots, \bar{T}_n, \quad (2.2.6)$$

$$\underline{T}_1, \underline{T}_2, \dots, \underline{T}_j, \dots, \underline{T}_n. \quad (2.2.7)$$

Als Maßstab zur Beurteilung der Schwankungen der Richtwerte eignet sich die halbe Spannweite

$$D_j = \frac{1}{2} (\bar{T}_j - \underline{T}_j). \quad (2.2.9)$$

Diese Schwankungsweiten bilden als weitere Zeile zu den vorgehenden Werten die Folge

$$D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_n. \quad (2.2.8)$$

An Hand dieser Aufstellung – bestehend aus den vier Zeilen (2.2.5) bis (2.2.8) – können dann die Schätzungen für den Zeitbedarf T_j^+ in den einzelnen Anforderungsstufen j für einen vorgelegten Konstruktionsauftrag vorgenommen werden. Die Besonderheiten bezüglich Umfang und Schwierigkeitsgrad sind dabei in jeder Stufe zu bewerten, um den Punkt T_j^+ innerhalb der Spannweite zu bestimmen, der nach den Maßstäben der durch die Erfahrung möglichen Vorausschau als wahrscheinlichste Zeitentsprechung zu betrachten ist. In Sonderfällen kann es auch vorkommen, daß ein Zeitwert außerhalb der Spannweite liegt.

Die Schätzwerte T_j^+ für den Zeitbedarf sind dann nach den im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Gesichtspunkten in Bruttoarbeitszeiten umzurechnen. Danach läßt sich für die Bearbeitung der Konstruktionsaufträge ein Zeitplan aufstellen, in dem die einzelnen Anforderungsstufen nebeneinander erscheinen. Sie können in der Zuordnung zu dem jeweiligen Auftrag nur begrenzt verschoben werden, denn sie bilden ein bestimmtes Ablaufsystem, dessen Reihenfolgebedingungen sich an Hand einer einfachen Ablaufdarstellung nicht übersehen lassen. Es besteht jedoch die Möglichkeit, mit Hilfe besonderer Planungstechniken den zeitlichen Variationsspielraum zu erkennen und für die Verteilung der Aufgaben auszunutzen (Abschnitt 3.2).

Die Schätzung des Zeitbedarfs an Hand der Mittelwerte und Abweichungsmaße stellt eine einfache Vorgehensweise dar, die vor allem für eine überschlägige Zeitkalkulation geeignet ist. Die Eigenschaften bezüglich Gestaltungs- und Entwicklungsumfang werden für jede Stufe aus der Erfahrung bewertet und unmittelbar für den Schätzwert in Ansatz gebracht.

Die Differenzierung der statistischen Schätzung läßt sich dahingehend erweitern, die Spezifität eines Konstruktionsauftrags in den einzelnen Anforderungsstufen für bestimmte Eigenschaften quantitativ zu bewerten und dann in eine rechnerische Ermittlung des Zeitbedarfs zu übernehmen. Dabei werden vor allem zwei Eigenschaften, die weitgehend unabhängig voneinander sind, zu beurteilen sein:

1. der Umfang und
2. der Schwierigkeitsgrad der Konstruktionsaufträge.

Der Umfang läßt sich meistens durch bestimmte Größen-, Mengen- oder Leistungsangaben charakterisieren. So kann für einen bestimmten Typ im Behälterbau mitunter eine Hauptabmessung als Kenngröße genügen, im Pumpenbau die Fördermenge und -höhe oder im Getriebebau die zu übertragene Leistung und das Übersetzungsverhältnis. Die Anzahl derartiger Kenngrößen wird man möglichst klein halten und nur solche heranziehen, die sich wesentlich auf den Umfang der Konstruktionsarbeit auswirken.

Für eine überschlägige Betrachtung kann angenommen werden, daß sich die bezüglich des Umfanges veränderten Verhältnisse auf den Zeitbedarf in allen Anforderungsstufen in gleicher Weise auswirken. Aus den statistisch ermittelten Zeiten T_j – entweder als Bezugsgröße einer Vergleichsmöglichkeit oder als Mittelwerte aus den Zeiten mehrerer ähnlicher Aufgaben – lassen sich verbesserte Anhaltswerte \dot{T}_j für die Zeitplanung des neuen Konstruktionsauftrages durch eine Multiplikation mit einem Umfangsfaktor u gewinnen:

$$\dot{T}_j = u T_j. \quad (2.2.10)$$

Dieser Faktor ist kleiner als eins ($0 < u < 1$) anzusetzen, wenn der Umfang des neuen Auftrages kleiner als der der Vergleichsbasis ist. Stimmen Vorlage und Projekt im Umfang überein, so gilt $u = 1$ und damit für die Schätzung $\dot{T}_j = T_j$. Aufträgen mit größerem Umfang als dem der Bezugsbasis sind Faktorwerte $u > 1$ zuzuordnen.

Der Schwierigkeitsgrad der Konstruktion wird im wesentlichen durch den Umgestaltungsgrad und den technischen Entwicklungsschritt gegenüber den vergleichbaren Vorläufern bestimmt. Er ist niedrig in den Fällen, in denen es sich lediglich um Anpassungskonstruktionen an veränderte Bedingungen handelt, für die keine prinzipiell neuen konstruktiven Lösungen gesucht werden müssen. Solche Aufgaben bilden die überwiegende Mehrzahl aller Konstruktionsaufträge; sie sind einer relativ genauen Zeitbedarfsermittlung zugänglich.

Je größer dagegen der Anteil neuer Gestaltungskomplexe und Wirkungsprinzipien ist, desto höher ist der Schwierigkeitsgrad zu bewerten. Er kann als Verhältnisfaktor v gegenüber dem Zeitbedarf für die Vergleichskonstruktion durch Schätzungen quantifiziert werden. Dieser Schwierigkeitsfaktor wird in den meisten Fällen für die einzelnen Anforderungsstufen j verschieden hoch anzusetzen sein, so daß eine Multiplikation mit verschiedenen Werten v_j erfolgen muß. Aus den für den Umfang angepaßten Zeitwerten \dot{T}_j ergeben sich somit die Zeitrichtwerte T_j^+ für die einzelnen Anforderungsstufen j aus der Beziehung

$$T_j^+ = v_j \dot{T}_j = u v_j T_j. \quad (2.2.11)$$

Die gesamte Auftragszeit für das Projekt beträgt dann

$$T^+ = \sum_{j=1}^n T_j^+ = u \sum_{j=1}^n v_j T_j. \quad (2.2.12)$$

Diese Verhältnisfaktoren v_j werden im allgemeinen Werte in fallender Reihenfolge der Anforderungsstufen aufweisen, also $v_j > v_{j+1}$, denn ein höherer Schwierigkeitsgrad wirkt sich vor allem als ein größerer Zeitbedarf für die Arbeiten der Gruppenleiter und Konstrukteure aus ($j = 1; 2$).

Bei dieser Quantifizierung wird angenommen, daß für die Auftragsbearbeitung die Situation in personeller Hinsicht gleichgeblieben ist. Das bedeutet, daß zumindest in den höheren Anforderungsstufen die gleichen Leistungsgrade der technischen Angestellten in einer Gruppe für das Projekt und für die ausgeführten Arbeiten, aus denen die Vergleichswerte abgeleitet wurden, gelten müssen. Andernfalls ist ein Leistungsfaktor L_j für jede Anforderungsstufe festzulegen [19, S. 21 ff.]. Die Richtwerte T_j^+

ergeben sich in diesem Falle, indem die mit μ und ν_j verbesserten Ausgangswerte T_j durch die Leistungsfaktoren L_j dividiert werden:

$$T_j^+ = \frac{\mu \nu_j}{L_j} T_j. \quad (2.2.13)$$

Wenn davon ausgegangen wird, daß die Bearbeitung eines neuen Konstruktionsauftrages durch eine personell unveränderte Arbeitsgemeinschaft erfolgen soll, also bei Leistungsfaktoren $L_j = L = 1$, so lassen sich durch die quantitative Bewertung des Umfangs und des Schwierigkeitsgrades verbesserte Schätzwerte für den voraussichtlichen Zeitbedarf ermitteln. Die Abschätzung des Faktors μ zur Erfassung des Umfangs ist mit einem relativ hohen Zuverlässigkeitsgrad möglich. Dagegen wird die Abschätzung der Schwierigkeitsfaktoren ν_j um so unsicherer, je größere Werte dafür einzusetzen sind. Je schwieriger die konstruktiven Aufgaben sind, um so ungenauer wird auch die Zeitplanung dafür. Sie verliert in gleichem Maße an Bedeutung innerhalb der Methoden zur Steuerung der Arbeiten. Dafür treten die Methoden der Arbeitseinsatzplanung und Organisation mehr in den Vordergrund. Der Zeitplanung fällt dann mehr die Kontrollfunktion für die Nachkalkulation der Wirtschaftlichkeit der Vorhaben zu. Deshalb werden ausgesprochene Forschungs- und Entwicklungsaufgaben auch im allgemeinen von der Bearbeitung der laufenden Konstruktionsaufgaben getrennt.

Wenn die Zeitwerte für eine größere Zahl ähnlicher Konstruktionen vorliegen, besteht die Möglichkeit, auf statistischem Wege mit Verfahren der mehrfachen Regressionsanalyse [17, S. 185 ff.] lineare Beziehungen abzuleiten, aus denen sich die Werte der Faktoren μ und ν mathematisch-statistisch ermitteln lassen. Dabei ist zu beachten, daß die gefundenen Beziehungen das Ergebnis einer statistischen Mittelung sind, die nur in Verbindung mit der zugehörigen statistischen Streuung der Werte beurteilt werden dürfen.

In der Praxis liegen allerdings selten Verhältnisse vor, die solche Analysen lohnenswert erscheinen lassen. Die relativ großen Zeitschwankungen bei einer entwicklungsbedingten Begrenzung der Anzahl der Werte, die als vergleichbar gelten können, lassen erwarten, daß die Ergebnisse verfeinerter Untersuchungstechniken wiederum mit einer großen Streuung behaftet sind, die eine entsprechend hohe Unbestimmtheit bedeuten. In der Tendenz, die Zeitbedarfsermittlung weiter zu verbessern, bietet sich statt dessen der näher liegende Weg an, die Analyse der Arbeitsvorgänge in einer weitergehenden Differenzierung vorzunehmen.

2.3 Zeiten der Arbeitsgänge

Die Zeiten für die Bearbeitung der Konstruktionsaufträge lassen sich weiter unterteilen, indem man sie nach den einzelnen Ablaufstadien der Arbeitsausführung aufschlüsselt. Diese Zeitabschnitte des Arbeitsablaufes sollen »Arbeitsgänge« genannt werden. Innerhalb dieser Arbeitsgänge treten dann die verschiedenen Anforderungsstufen auf. Beide Arten von Unterteilungsabschnitten bilden gewissermaßen eine zweidimensionale Zerlegung der Auftragszeiten.

Nach dem chronologischen Gang der Arbeitsausführung lassen sich folgende Arbeitsgänge unterscheiden:

1. Vorbereitung
2. Vorentwurf
3. Konstruktion
4. Prüfung
5. Bereitstellung

Die Einteilung und Benennung der Arbeitsgänge muß sich in der Praxis nach den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten richten. – Zu der Vorbereitung sollen alle Arbeiten gezählt werden, die dem eigentlichen Konstruieren vorhergehen. Das können im Einzelfall Projektierungsarbeiten oder das Ausarbeiten der Angebotsunterlagen sein, gelegentlich auch die Arbeiten an Experimenten. Ferner gehören dazu die Vorstudien und Vorinformationen bezüglich des konstruktiven Projekts. Die Erstellung und Anpassung von Programmen für elektronische Berechnungen soll ebenfalls dazu gezählt werden.

Der nächste Arbeitsgang bezeichnet die Arbeiten zu Vorentwürfen, mit denen ein möglichst günstiger Lösungsweg für die konstruktiven Probleme des Auftrages gesucht wird. In der Annäherung an dieses Ziel vergrößert sich auch die Bearbeitungstiefe des Konstruktionsauftrages. – In dem Arbeitsgang Konstruktion wird dann der Auftrag in allen Einzelheiten ausgeführt. Daran sind alle technischen Angestellten einer Gruppe auf den vorgenannten Anforderungsstufen beteiligt.

Anschließend folgt der Arbeitsgang der Konstruktionsprüfung. Er soll nicht nur einer Zeichnungs- und Normprüfung gelten. Es sollen vor allem auch die Funktionsfähigkeit und die Herstellbarkeit des konstruktiv gestalteten Erzeugnisses überprüft werden. Dazu gehört die Kontrolle der Berechnungen sowie der materiellen Anordnung der Teile und deren Funktionieren in einer den technischen Anforderungen entsprechenden Weise. Es ist ferner zu prüfen, inwieweit die Gesichtspunkte kostengünstiger Herstellung und Materialverwendung berücksichtigt worden sind.

Als letzter Arbeitsgang wird hier die Bereitstellung der Unterlagen für die Fertigung aufgeführt. Dazu sollen die Arbeiten gezählt werden, die von den technischen Angestellten im Konstruktionsbüro nach der Herstellung der Originalunterlagen noch ausgeführt werden müssen, um diese in die Form von Fertigungs- und Montageanweisungen zu überprüfen. Die Aufgaben dieses Bereichs sind in den einzelnen Unternehmen sehr unterschiedlich. Sie hängen von dem Fertigungsprogramm und von der Größe des Unternehmens ab. Die Unterlagen für den Werkzeug- und Vorrichtungsbau werden zum Beispiel in größeren Werken von den einzelnen Betriebsstellen selbst angefertigt, während sie in anderen Fällen zum Aufgabenbereich des Konstruktionsbüros gehören. Zur Erfassung der Zeiten der Arbeitsgänge müssen diese auf den Arbeitscheinen der technischen Angestellten einzeln aufgeführt und durch zusätzliche Ziffern oder Buchstaben gekennzeichnet werden. Durch Übertragen dieser Angaben auf Informationsträger für die maschinelle Datenverarbeitung lassen sich die Erfassung und Auswertung rationalisieren – ein Aspekt, dem erhöhte Bedeutung zukommt in Anbetracht der größeren Datenmenge durch die erweiterte Unterteilung.

Das Auszählen der Arbeitsstunden nach Arbeitsgängen $i = 1, 2, \dots, m$ und Anforderungsstufen $j = 1, 2, \dots, n$ ergibt dann eine Aufstellung der Bearbeitungszeiten T_{ij} eines Konstruktionsauftrages in folgender Form:

$$\begin{array}{ccccccc}
 T_{11} & T_{12} & \dots & T_{1j} & \dots & T_{1n} & \\
 T_{21} & T_{22} & \dots & T_{2j} & \dots & T_{2n} & \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\
 T_{i1} & T_{i2} & \dots & T_{ij} & \dots & T_{in} & \\
 \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\
 T_{m1} & T_{m2} & \dots & T_{mj} & \dots & T_{mn} &
 \end{array} \tag{2.3.1}$$

In den einzelnen Arbeitsgängen werden im allgemeinen nicht alle Anforderungsstufen auftreten. Die ersten Arbeiten für einen neuen Konstruktionsauftrag fallen hauptsächlich den Gruppenleitern und Konstrukteuren zu. Durch Werte $T_{ij} = 0$ können die Anforderungsstufen, in denen keine Zeiten aufgewandt worden sind, markiert werden.

Die Anordnung der Zeiten für die einzelnen Vorgänge in der dargestellten Form bildet eine Matrix \mathfrak{Z} . Die Summe der Werte in den Spalten der Matrix ergibt die Zeiten $T_{.j}$ in den einzelnen Anforderungsstufen j :

$$T_{.j} = \sum_{i=1}^m T_{ij}. \quad (2.3.2)$$

Die Gesamtzeiten $T_{i.}$ für die Arbeitsgänge i erhält man als Zeilensummen

$$T_{i.} = \sum_{j=1}^n T_{ij}. \quad (2.3.3)$$

Die gesamte Bearbeitungszeit T des Konstruktionsauftrags ist dann die Summe über die Spalten und Zeilen:

$$T = \sum_j T_{.j} = \sum_i T_{i.} = \sum_j \sum_i T_{ij}. \quad (2.3.4)$$

In einem Datenschema lassen sich die Summen $T_{i.}$ und $T_{.j}$ als Randsummen zu den Reihen der Matrix \mathfrak{Z} anordnen (Abb. 1).

		Anforderungsstufen						
		1	2	...	j	...	n	
Arbeitsgänge	1							$T_{1.}$
	2							$T_{2.}$

	i							$T_{i.}$

	n							$T_{n.}$
		$T_{.1}$	$T_{.2}$...	$T_{.j}$...	$T_{.m}$	

Abb. 1 Datenschema zur Unterteilung der Auftragszeit T

An Hand einer solchen zweidimensionalen Übersicht für die Zeiten eines ausgeführten Konstruktionsauftrages können für eine neue, ähnliche Aufgabe die Zeiten für entsprechende Bearbeitungsvorgänge mit größerer Genauigkeit geschätzt werden, als wenn der Zeitbedarfsermittlung nur die Werte für eine Richtung der Unterteilung zur Verfügung stehen. Die beiden Eigenschaften Umfang und Schwierigkeitsgrad sind dabei für jeden einzelnen Vorgang quantitativ mit den Faktoren u_{ij} und v_{ij} zu bewerten. Der Umfang wird mitunter für den ganzen Auftrag oder wenigstens innerhalb der Arbeitsgänge als gleich groß zu betrachten sein ($u_{ij} = u$ oder $u_{ij} = u_i$). Der Schwierigkeitsgrad kann innerhalb der Anforderungsstufen gleich groß sein ($v_{ij} = v_j$).

Aus der Multiplikation der Vergleichswerte T_{ij} mit diesen Faktoren ergeben sich – wie im vorhergehenden Abschnitt dargestellt (2.2.10 und 2.2.11) – die Zeitrichtwerte

$$T_{ij}^+ = u_{ij} v_{ij} T_{ij}, \quad (2.3.5)$$

die in einem Datenschema (entspr. Abb. 1) zu einer Richtwertmatrix \mathfrak{Z}^+ zusammengestellt werden können.

Ein weiterer Vorteil, die Zeitbedarfsschätzung nach Vergleichswerten einer zweidimensionalen Zerlegung der Auftragszeiten vorzunehmen, liegt darin, daß die Bereiche, für die die Schätzwerte am unsichersten sind, einer besonderen Betrachtung unterzogen werden können. Sie lassen sich von den Bereichen abtrennen, für die eine größere Zuverlässigkeit gewährleistet ist. Dadurch ergibt sich auch die Möglichkeit, nur einen Teil der Vergleichszeitwerte der Matrix \mathfrak{T} für die Schätzung heranzuziehen, wenn die neue Aufgabe in geringerer Bearbeitungstiefe auszuführen ist.

Wenn mehrere Konstruktionsaufträge (Anzahl N) für den Vergleich vorliegen, können zu den einzelnen Vorgangzeiten $T_{ij}^{(v)}$ die Mittelwerte \hat{T}_{ij} berechnet und der Schätzung zugrunde gelegt werden:

$$\hat{T}_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N T_{ij}^{(v)}. \quad (2.3.6)$$

Die Zeiten der Bearbeitungsvorgänge, die mit Null markiert worden sind, müssen dabei unberücksichtigt bleiben. In diesen Fällen läßt sich ein Mittelwert nur für N' Aufträge berechnen, wobei $N' < N$. Die Mittelwerte \hat{T}_{ij} werden in einem Datenschema (gem. Abb. 1) zusammengestellt und dann in der beschriebenen Weise für die Schätzung des Zeitbedarfs für einen neuen Auftrag ausgewertet.

Zur Beurteilung der Zeitschwankungen lassen sich dazu die größten und kleinsten Zeiten (\bar{T}_{ij} und \underline{T}_{ij}) der Vorgänge herausziehen und als Matrizen $\bar{\mathfrak{T}}$ und $\underline{\mathfrak{T}}$ in entsprechenden Datenfeldern darstellen. Die Abweichungen D_{ij} für jede einzelne Vorgangszeit betragen dann gemäß Formel (2.1.3)

$$D_{ij} = \frac{1}{2} (\bar{T}_{ij} - \underline{T}_{ij}). \quad (2.3.7)$$

In der Darstellung als Matrix $D = (D_{ij})$ ergibt sich dafür die Form

$$D = \frac{1}{2} (\bar{\mathfrak{T}} - \underline{\mathfrak{T}}). \quad (2.3.8)$$

Durch die zweidimensionale Unterteilung der Auftragszeiten läßt sich der Einfluß der subjektiven Schätzungen auf ein Ausmaß beschränken, dessen Spielraum hauptsächlich von der Größe der Einzelwerte und – soweit gegeben – von der zugeordneten Schwankungsbreite abhängt. Dadurch kann ein höherer Objektivierungsgrad erreicht werden, als wenn die Schätzungen pauschal und unmittelbar für größere Komplexe des Arbeitsablaufes erfolgen.

Der subjektive Bereich der Schätzung läßt sich durch Anwenden mathematisch-statistischer Methoden weiter einengen. Die Voraussetzungen dafür sind in den Unternehmen sehr unterschiedlich, so daß hierfür in Abhängigkeit von den jeweiligen Auftrags- und Arbeitsbedingungen eines Konstruktionsbüros oder einer Abteilung spezielle Ansätze zu machen wären.

2.4 Formatzeitwerte

Die Ermittlung des Zeitbedarfs für einen Konstruktionsauftrag kann eine große Bestimmtheit erreichen, wenn es möglich ist, die einzelnen gegenständig abgrenzbaren Teilaufgaben zu übersehen. Für diese Elemente der Konstruktion lassen sich dann die Bearbeitungszeiten im einzelnen bestimmen und zur Teil- oder Gesamtauftragszeit zusammenstellen – im Gegensatz zu der bisher behandelten Aufteilung der Auftragszeit nach den Vorgängen in den Arbeitsbereichen.

Die Elemente, auf die die Zeitermittlung anzusetzen ist, können die einzelnen Zeichnungen oder die einzelnen Gestaltungsgegenstände eines Konstruktionsauftrages sein. In der Einzel- und Kleinserienfertigung des Maschinenbaues ist es vorteilhafter, von den

Zeiten für die Einzelzeichnungen auszugehen [10, S. 123]. Der Konstruktionsaufwand kommt hier in hohem Maße in der Menge der technisch-zeichnerischen Darstellungen zum Ausdruck.

In der Serien- und Massenfertigung dagegen liegt der Schwerpunkt der konstruktiven Gestaltung darin, die Erzeugnisse und deren Einzelheiten bis zu einem möglichst hohen Grad technischer Vollkommenheit zu entwickeln. Diese Entwicklungsarbeit wird nur in geringem Maße in der Menge der technischen Zeichnungen widergespiegelt. Deshalb ist es in solchen Fällen vorteilhafter, den Zeitbedarf auf die einzelnen Teile des Erzeugnisses zu beziehen (Abschnitt 2.5).

Die Zeitbedarfsschätzung an Hand der Einzelzeichnungen hat eine Zeichnungsordnung nach dem Einzelblattsystem zur Voraussetzung (im Gegensatz zum Sammelblattsystem). Zur Erfassung der Zeiten werden für einen Konstruktionsauftrag folgende Angaben benötigt:

1. Auftragsnummer
2. Arbeitsgang
3. Zeichnungsnummer
4. Zeichnungsformat
5. Schwierigkeitsgrad

Diese Merkmale sollen aus den Arbeitsscheinen der technischen Angestellten hervorgehen. Der Arbeitsgang kann wieder – wie bei der Zeitaufschlüsselung nach Arbeitsbereichen – eine Kennzeichnung durch zusätzliche Ziffern zur Auftragsnummer erfahren. Die Größe des Zeichnungsformats kann Bestandteil des Zeichnungsnummerungssystems sein. Andernfalls ist dies mit einer zusätzlichen Ziffer zu kennzeichnen. Der Schwierigkeitsgrad ergibt sich aus der Beurteilung der auf den Zeichnungen dargestellten Aggregate, Baugruppen oder Einzelteile nach dem Umfang und dem Niveau der damit verbundenen konstruktiven Entwicklungs- und Gestaltungsarbeit. Dabei wird zweckmäßig eine Einteilung in vier bis acht Schwierigkeitsklassen vorgenommen. Sie treten an die Stelle der vorhergehend betrachteten Anforderungsstufen, so daß sich eine Überschneidung mit diesen ergibt. Solche Verhältnisse liegen in der Praxis im allgemeinen auch vor. Die Aufgaben lassen sich nicht genau nach den Qualifikationsgraden der Bearbeiter unterteilen. Hier bestehen ständig gleitende und sich verschiebende Übergänge.

Die Eintragungen in die Arbeitsscheine sollten die technischen Angestellten so weit wie möglich selbst vornehmen. Die persönliche Beteiligung an der Erfassung ist der freizügigen Arbeitsweise im Konstruktionsbüro angemessener; sie führt zudem jeden einzelnen zwangsläufig zu einer Kontrolle der eigenen Leistungen. Es liegt dann nahe, aus den Erkenntnissen gewisse Konsequenzen zu ziehen, die als Maßnahmen aus eigenen Entschlüssen wirksamer und günstiger als die von anderen Stellen dirigierte sind.

Die Zeitbedarfsermittlung an Hand der gegenstandsbezogenen Zeiten erfordert einen größeren Aufwand als die Analysen, bei denen die Auftragszeiten nur nach Arbeitsbereichen aufgeschlüsselt werden. Der höhere Informationswert für die Leitung und die Beteiligten, die daraus resultierenden Leistungsanreize und die Vorteile einer genaueren Planung können jedoch so bedeutsam sein, daß sie den Mehraufwand lohnen.

Die Zeitwerte je Einzelzeichnung werden zweckmäßig nicht unmittelbar als Richtwerte für die Zeitplanung zusammengestellt, sondern zunächst in Standardwerte überführt. Dieser Prozeß läßt sich bei einer maschinellen Datenaufbereitung gleichzeitig mit dem Auszählen der Zeitwerte verbinden. Es wird dabei von der Annahme ausgegangen, daß die Arbeitszeiten den Blattgrößen der technisch-zeichnerischen Darstellung proportional sind [16]. Diese Blattgrößen der Formatreihe A sind nach DIN 823 genormt. Sie ergeben sich aus einer Folge fortlaufender Halbierungen des Ausgangsformats A 0 (1189×841 mm).

Zur Erfassung und Beurteilung der Arbeitszeiten wird zweckmäßig eine bestimmte Blattgröße $A\tilde{a}$ als Grundeinheit festgelegt. Die Anzahl c dieser Einheiten beträgt dann für ein Format der Größe Aa

$$c = 2^{\tilde{a}-a}. \quad (2.4.1)$$

Um die Bruchrechnung bei der Erfassung dieser Einheiten weitgehend zu vermeiden, wählt man zweckmäßig die Blattgröße $A 4$ als Grundformat ($\tilde{a} = 4$). Das ergibt einen Formatfaktor

$$c = 2^{4-a}. \quad (2.4.1')$$

Die erfaßten Zeiten t_v für das Anfertigen der Zeichnungen $v = 1, 2, \dots, N$ lassen sich damit auf die Zeiten \tilde{t}_v für das Grundformat umrechnen:

$$\tilde{t}_v = \frac{t_v}{c_v}. \quad (2.4.2)$$

Der Mittelwert \hat{t} ergibt sich dann aus

$$\hat{t} = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N \frac{t_v}{c_v}. \quad (2.4.3)$$

Die Anzahl der Zeichnungen in Einheiten des Grundformats beträgt:

$$C = \sum_{v=1}^N c_v. \quad (2.4.4)$$

Für die einzelnen Schwierigkeitsklassen k haben die gemittelten Grundformatzeiten \hat{t}_k verschieden große Werte. Sie sind deshalb für jede Klasse einzeln aus den Daten für einen ausgeführten Konstruktionsauftrag zu berechnen. Diese Werte \hat{t}_k bilden dann für die Kalkulation des Zeitbedarfs für einen neuen, ähnlichen Konstruktionsauftrag, für den sich die Anzahl der erforderlichen Zeichnungen im voraus abschätzen läßt, die Zeitrichtwerte t_k^+ der Grundformate:

$$t_1^+, t_2^+, \dots, t_k^+, \dots, t_r^+. \quad (2.4.5)$$

Zur Beurteilung der möglichen Abweichungen dieser Werte müssen entsprechende statistische Kenngrößen als Anhaltswerte berechnet werden. Bei der Einteilung der Auftragszeiten in Bearbeitungsbereiche ist hierfür die Hälfte der Spannweite zwischen den größten und kleinsten Werten vorgeschlagen worden, denn die Vergleichsbasis kann nur wenige Einheiten enthalten. Entsprechendes gilt auch für den Fall, in dem nur wenige Zeichnungen einer Schwierigkeitsklasse vorliegen. Bei einer größeren Zahl empfiehlt es sich, eine der größeren Datenmenge angepaßte Kenngröße zur Beurteilung der Zeitabweichungen zu wählen.

Ein sehr einfaches Maß bildet die mittlere Abweichung a der Einzelwerte \tilde{t}_v vom Mittelwert \hat{t} :

$$a = \frac{1}{N} \sum_{v=1}^N |\tilde{t}_v - \hat{t}|. \quad (2.4.6)$$

Einen besseren Anhaltswert für die Beurteilung der Zeitschwankungen bildet die Standardabweichung s . Sie ist als Quadratwurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung der Einzelwerte \tilde{t}_v um den Mittelwert \hat{t} zu berechnen:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{v=1}^N (\tilde{t}_v - \hat{t})^2}. \quad (2.4.7)$$

Durch Umformen erhält man hierfür eine Darstellungsweise, die für die Berechnung vorteilhafter ist:

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \left(\sum_{v=1}^N \tilde{t}_v^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{v=1}^N \tilde{t}_v \right)^2 \right)}. \quad (2.4.7')$$

Die Summierungen der Einzelwerte \tilde{t}_v und \tilde{t}_v^2 zur Berechnung des Mittelwerts \hat{t} und der Standardabweichung s lassen sich nach dieser Formel in einem einzigen maschinellen Arbeitsgang durchführen. Die Standardabweichungen sind ebenfalls für jede Schwierigkeitsklasse $k = 1, 2, \dots, r$ einzeln zu ermitteln:

$$s_1, s_2, \dots, s_k, \dots, s_r. \quad (2.4.8)$$

Für eine überschlägige Betrachtung der Schwankungen der Einzelwerte \tilde{t}_v um die Mittelwerte \hat{t} kann man annehmen, daß wahrscheinlich etwa $2/3$ der Einzelwerte innerhalb und etwa $1/3$ außerhalb des Intervalls $(\hat{t} - s, \hat{t} + s)$ liegen. Eine genauere Analyse der statistischen Verteilungsgesetzmäßigkeit kann in Anbetracht des Zweckes, lediglich Anhaltswerte für die Beurteilung der Zeitabweichungen zu gewinnen, unterbleiben. An Hand der Anhaltswerte läßt sich auch erkennen, daß die Abweichungen um so größer sind, je höher der Schwierigkeitsgrad der Konstruktionsaufgaben ist.

Dieser Ermittlung der Richtwerte und Zeitabweichungen liegt die Annahme zugrunde, daß die Arbeitszeiten für das Anfertigen der technischen Zeichnungen den Blattgrößen proportional sind. Vorhandene Disproportionalitäten gehen daher mit in die Standardabweichung ein. Es wird zu prüfen sein, in welchem Ausmaß dies der Fall ist, um danach zu entscheiden, ob dies als zulässig gelten kann oder ob eine Formattrennung nach zwei oder mehreren Bezugsgrößen vorzunehmen ist.

Zeile Nr.	Bezeichnung	Schwierigkeitsklasse k					Summe
		1	2	3	r	
1'	2'	1	2	3		r	3'
1	t_k^+						X
2	s_k						
3	N_k						$N =$
4	C_k						$C =$
5	T_k^+						$T^+ =$
6	S_k						$S =$

Abb. 2 Datenschema zur Ermittlung der Zeitrichtwerte nach Zeichnungsformaten

Die Zeitrichtwerte t_k^+ der Grundformate und die zugehörigen Standardabweichungen s_k werden zweckmäßig als Zeilen in einem Datenschema zusammengestellt (Abb. 2, Zeile 1 und 2). An Hand dieser Werte kann nun die Zeitbedarfsschätzung für einen ähnlichen neuen Auftrag erfolgen, für den sich Anzahl und Blattgrößen der Zeichnungen angenähert übersehen lassen. Zunächst sind die Anzahlen N_k der je Schwierigkeitsklasse k erforderlichen Zeichnungen abzuschätzen (Zeile 3). Sodann müssen die Blattgrößen beurteilt werden. Sie bilden eine Menge C_k in Einheiten des Grundformats (Zeile 4):

$$C_k = \sum_{v=1}^{N_k} c_k^{(v)}. \quad (2.4.9)$$

Die Richtwerte T_k^+ für den Zeitbedarf in den Schwierigkeitsklassen k ergibt dann die Multiplikation der Werte in den Zeilen 1 und 4 des Datenschemas:

$$T_k^+ = C_k t_k^+. \quad (2.4.10)$$

Die Schwankungen der Einzelzeiten je Grundformat lassen sich an Hand der Standardabweichungen s_k beurteilen. Unter der Voraussetzung der Gültigkeit der Arbeitszeiten- und Blattgrößenproportionalität vergrößern sich diese Abweichungen für die C_k Einheiten der Grundformate in der k -ten Klasse auf den Wert S_k (Zeile 6) nach folgender Beziehung:

$$S_k = s_k \sqrt{C_k}. \quad (2.4.11)$$

Zur Beurteilung der Abweichung des Richtwertes T_k^+ für den Zeitbedarf in der k -ten Schwierigkeitsklasse ist somit ein Intervall ($T_k^+ - S_k, T_k^+ + S_k$) zugrunde zu legen. Es kann dann angenommen werden, daß mit der größeren Wahrscheinlichkeit – die etwa $2/3$ beträgt – die kalkulierten Richtwerte innerhalb dieses Intervalls bleiben.

Die Summen über die Werte in den Zeilen der Aufstellung lassen sich als Randwerte in dem Datenschema eintragen (Spalte 3'). Bei der Summierung der Standardabweichungen müssen jedoch die zweiten Potenzen der Werte addiert werden:

$$S = \sqrt{\sum_k S_k^2}. \quad (2.4.12)$$

Die Zeitplanung für Konstruktionsaufträge an Hand von Richtwerten sollte nicht ohne Berücksichtigung der möglichen Zeitabweichungen erfolgen. Dies gilt vor allem für die Aufgaben mit hohen Schwierigkeitsgraden, um behelfsmäßige und mangelhafte konstruktive Lösungen als Folge der Zeitnot zu vermeiden. Auch für einfache Konstruktionsaufgaben und technisch-zeichnerische Arbeiten kann das Ausmaß der zeitlichen Schwankungen informativ sein. Dadurch können mitunter rationellere Arbeitsweisen erkennbar werden. Richtwerte bilden somit keine stationären Orientierungspunkte. Auf sie richten sich vielmehr verschiedene arbeitsorganisatorische und arbeitstechnische Maßnahmen, um in dem von der Schwankungsbreite als realisierbare Möglichkeit ausgewiesenen Umfang eine Reduktion zu erreichen. In der weiteren Differenzierung der Zeitanalyse nach Zeichnungsformaten können dann die statistischen Kennwerte zusätzlich für die einzelnen Arbeitsgänge der Auftragsausführung spezifiziert werden.

Wenn sich Anzahl und Formate der für einen Konstruktionsauftrag erforderlichen Zeichnungen nur in grober Näherung vorhersehen lassen, kann es vorteilhaft sein, die wahrscheinlich größt- und kleinstmöglichen Mengen abzuschätzen. Die Richtwerte sind dann für beide Möglichkeiten zu berechnen. Die Schwankungsbreite vergrößert sich dabei um das Intervall zwischen den beiden Richtwertgruppen.

2.5 Einzelteile

Bei der konstruktiven Gestaltung von Erzeugnissen für die Serien- und Massenfertigung gilt es, Lösungen zu finden, die einen möglichst hohen Grad technischer und wirtschaftlicher Vollkommenheit darstellen. Es kommt darauf an, gegenüber dem Vorläufermodell eine große Stufe des technischen Fortschritts zu erzielen. Dagegen ist es in der Einzel- und Kleinserienfertigung möglich, die Weiterentwicklung in kleineren Schritten mit der zeitlich kürzeren Folge der Konstruktionsaufträge zu verbinden. Ein größerer Entwicklungsschritt erfordert aufwendigere Vorarbeiten, so daß sich auch die Zeitabstände entsprechend vergrößern.

Die Bearbeitungszeiten kommen dabei nur in geringem Maße in der Anzahl der technischen Zeichnungen, die im Archiv erfaßt werden, zum Ausdruck. Es sind zahlreiche Entwürfe anzufertigen und zum Teil auch zu detaillieren, die später wieder verworfen werden müssen. Der Zeitbedarf für eine Konstruktionsaufgabe wird vorwiegend von der Schwierigkeit und dem Umfang des geistig-schöpferischen Gestaltungsvorganges bestimmt. Deshalb entsprechen Zeitrichtwerte mehr den wirklichen Gegebenheiten, wenn sie sich auf die Einzelteile der Konstruktion beziehen.

Die einfachste Vorgehensweise besteht darin, den Zeitbedarf t_v^+ für jedes Einzelteil v unmittelbar nach Erfahrungsmaßstäben oder in Anlehnung an Vergleichswerte abzuschätzen. Für N Einzelteile erhält man damit die Richtwerte

$$t_1^+, t_2^+, \dots, t_v^+, \dots, t_N^+. \quad (2.5.1)$$

Ihre Summe ergibt den Zeitrichtwert T^+ für die Ausführung des Konstruktionsauftrages durch eine Arbeitsgruppe:

$$T^+ = \sum_{v=1}^N t_v^+. \quad (2.5.2)$$

Es müssen ferner die Höchst- und Mindestzeiten \bar{t}_v und \underline{t}_v geschätzt werden:

$$\bar{t}_1, \bar{t}_2, \dots, \bar{t}_v, \dots, \bar{t}_N, \quad (2.5.3)$$

$$\underline{t}_1, \underline{t}_2, \dots, \underline{t}_v, \dots, \underline{t}_N. \quad (2.5.4)$$

Die halben Differenzen zwischen diesen Werten ergeben die Anhaltswerte d_v für die Beurteilung der Zeitabweichungen bei der Bearbeitung der Einzelteile:

$$d_v = \frac{1}{2} (\bar{t}_v - \underline{t}_v). \quad (2.5.5)$$

Man erhält damit zu den Schätzwerten t_v die Folge zugeordneter Werte

$$d_1, d_2, \dots, d_v, \dots, d_N. \quad (2.5.6)$$

Diese Folgen geschätzter und abgeleiteter Zeitwerte lassen sich als Zeilen in einer Übersicht zusammenstellen. Die Werte der Zeilensummen gelten dann für den Gesamtauftrag. Die Summe D der Zeitabweichungen d_v ist dabei auf folgende Weise zu bilden:

$$D = \sqrt{\sum_v d_v^2}. \quad (2.5.7)$$

Eine derartige Vorgehensweise hat zur Voraussetzung, daß sich die Anzahl der Teile und die Anforderungen an die konstruktive Gestaltung für ein vorgelegtes Projekt übersehen lassen. Schwierigkeitsgrad und Umfang werden bei der Schätzung für jedes Einzelteil unmittelbar in Ansatz gebracht. Eine Zeitbedarfsermittlung in der dargestellten Weise läßt sich außerdem nur für solche Konstruktionsaufträge anwenden, bei denen die Anzahl der Einzelteile klein ist. Für etwas größere Teilezahlen ist es vorteilhafter, die Einzelteile nach Schwierigkeitsklassen zu gruppieren. Wenn dabei gleichzeitig der Umfang der Konstruktionsproblematik bewertet werden soll, ist das Klassifizierungsspektrum entsprechend zu vergrößern.

Um einen Bewertungsmaßstab für die graduelle Differenzierung nach dem Schwierigkeitsgrad zu finden, geht man zweckmäßig von einigen Beispielen aus dem konstruktiven Aufgabenbereich aus und legt dafür eine Rangordnung fest. Sodann sind die Bearbeitungszeiten abzuschätzen. An Hand dieser Zeiten erfolgt die Einteilung in Schwierigkeitsklassen. Dazu wird eine Grundzeit t_k^+ als Richtwert für den Zeitbedarf zum Konstruieren eines Einzelteils der Schwierigkeitsklasse k bestimmt. Man erhält also für r Klassen die Grundzeiten

$$t_1^+, t_2^+, \dots, t_k^+, \dots, t_r^+. \quad (2.5.8)$$