

Knolmayer, Gerhard

Working Paper — Digitized Version

Das Brooks'sche Gesetz

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 190

Provided in Cooperation with:

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Knolmayer, Gerhard (1987) : Das Brooks'sche Gesetz, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 190, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/181046>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Nr. 190

Das Brooks'sche Gesetz

Gerhard Knolmayer

Das Brooks'sche Gesetz:

Überlegungen zum Zusammenhang zwischen Teamgröße und Projektdauer bei der Software-Produktion

Prof. Dr. Gerhard Knolmayer, Kiel

1. Zeitschätzungen in Projekten

Für die Beurteilung und Steuerung von Projekten sind Zeit- und Kostenschätzungen von großer Bedeutung. Derartige Schätzungen bereiten oft erhebliche Schwierigkeiten, die z.B. für Großbauprojekte ausführlich erörtert worden sind (Grün, 1981, S. 154 ff.; Kharbanda/Stallworthy, 1983, S. 51 ff.). Auch über die Realisierung großer Software-Projekte wird vielfach von beträchtlichen Termin- und Kostenüberschreitungen berichtet (Boehm, 1981, S. 30 ff; Noth/Kretzschmar, 1984, S. 2). Die mangelnde Beherrschung des Ablaufs der Software-Produktion hat zur vieldiskutierten "Software-Krise" und zum Entstehen des Gebietes "Software Engineering" beigetragen. Mit den in diesem Gebiet entwickelten Methoden soll die Erstellung von Software besser plan-, steuer- und kontrollierbar gemacht werden.

Bei der Projektplanung wird der benötigte Aufwand in der Praxis oft durch Angaben über "Mann-Monate" bzw. "Mann-Jahre" umschrieben (Scherer/Seyfferth, 1975, S. 24). Als Maßeinheit dient dabei jener Arbeitsaufwand, den ein Mitarbeiter in einem Monat bzw. einem Jahr bewältigt. Diese Maßeinheit suggeriert eine uneingeschränkte Substitutionsmöglichkeit zwischen der Zahl der eingesetzten Mitarbeiter und der Projektdauer. Bei einer auf "Mann-Monaten" beruhenden Durchschnittsbetrachtung bleiben unterschiedliche Qualifikationen und Arbeitsintensitäten der einzelnen Mitarbeiter ebenso unberücksichtigt wie Verlustzeiten innerhalb und außerhalb des Projektes. Auf die spezielle Problematik dieses Maßstabs für die Software-Produktion hat Brooks (1974) in einem Beitrag zum Software Engineering hingewiesen.

2. Zeitbedarf in Abhängigkeit von der Größe des Projektteams

Die folgende Betrachtung geht von der stark vereinfachenden Annahme aus, daß nur ein einziges, beliebig teilbares Projekt abläuft und daß auf Basis durchschnittlicher Arbeitsleistungen unter Berücksichtigung von Verlustzeiten geplant wird. Sind im Gesamtprojekt Y Mann-Monate zu erbringen, so errechnet sich unter diesen Annahmen bei Einsatz von M Mitarbeitern die Projektdauer D als

$$D = Y/M. \quad (1)$$

Für die Projektdauer ergibt sich damit in Abhängigkeit von der Mitarbeiterzahl ein hyperbelförmiger Verlauf (Abb. 1). Diese Darstellung erinnert an in der Grundschule vermittelte Milchmädchen-Rechnungen, nach denen z.B. bei Verdoppelung der Arbeiterzahl ein Haus doppelt so schnell fertiggestellt werden kann wie in der Ausgangssituation. Eine ähnliche Betrachtung ergibt sich auch in der Gutenberg-Produktionstheorie, wenn vorgegebene Leistungen durch zeitliche und quantitative Anpassung bei konstanter Intensität der Potentialfaktoren erstellt werden können. Der dargestellte Zusammenhang setzt voraus, daß die im Projekt geforderte Leistung auf mehrere Mitarbeiter so aufgeteilt werden kann, daß diese nicht miteinander kommunizieren müssen und ihr Einsatz nicht koordiniert werden muß. Diese Annahme der Additivität von Beiträgen verschiedener Prozesse ist in der Produktionstheorie als "Additivitätspostulat" bekannt (Wittmann, 1968, S. 11 f.).

Dieses Postulat gilt jedoch bei der Software-Produktion wie bei anderen innovativen Projekten wegen des von der Größe des Projektteams abhängigen Koordinations- und Kommunikationsbedarfs nicht; die dafür bei den Mitarbeitern erforderlichen Zeiten müssen bei der Schätzung der Mann-Monate Y berücksichtigt werden. Daher ist Y im Gegensatz zum Grundmodell nicht konstant, sondern von M abhängig, wobei

$$dY/dM > 0 \quad (2)$$

unterstellt werden kann. Die insgesamt zu erbringenden Mann-Monate setzen sich aus

$$Y = Y_0 + K(M) \quad (3)$$

zusammen; darin ist Y_0 die Zahl der Mann-Monate, die ein einziger Mitarbeiter benötigen würde, um das Projekt abzuschließen und $K(M)$ der bei Einsatz von M Mitarbeitern entstehende und in Mann-Monaten gemessene Kommunikationsbedarf.

Je nach den getroffenen Annahmen über die Abhängigkeit des Koordinations- und Kommunikationsbedarfs von der Zahl der Mitarbeiter ergeben sich unterschiedliche Funktionen. Im folgenden wird der Einfachheit halber unterstellt, daß die dafür erforderlichen Zeiten unmittelbar nur von der im Projekt zu erbringenden Leistung und der Mitarbeiterzahl, nicht aber von der Projektdauer abhängen. Für den bei unterschiedlicher Mitarbeiterzahl resultierenden Kommunikationsbedarf ist einerseits die Topologie des Netzes, das die Kommunikationswege beschreibt (vgl. z.B. Hill/Fehlbaum/Ulrich, 1981, S. 100 ff.), und andererseits die Organisationsform des Informationsaustausches von Bedeutung.

Zunächst wird ein Kommunikationsnetz betrachtet, in dem alle Projektmitarbeiter mit allen anderen Projektmitarbeitern gleich intensiv kommunizieren. Wird jeweils paarweise kommuniziert, so steigt in einem derartigen Vollstruktur-Netz der Kommunikationsbedarf in Mann-Monaten progressiv mit der Zahl der Mitarbeiter:

$$K(M) = \alpha \cdot M \cdot (M-1) \quad (4)$$

Einen noch steileren Anstieg des Kommunikationsbedarfs unterstellt Balzert (1982, S. 463): Er nimmt an, daß die Projektdauer mit $\binom{M}{2}$ steigt; diese Annahme impliziert einen Kommunikationsbedarf von

$$K(M) = \beta \cdot M^2 \cdot (M-1) \quad (5)$$

Mann-Monaten. Diese Hypothese wird nicht begründet; möglicherweise liegt ein Dimensionsfehler vor.

Ein mit der Mitgliederzahl nur linear steigender Kommunikationsbe-

darf ergibt sich einerseits, wenn in einem sternförmigen Netz paarweise kommuniziert wird:

$$K(M) = \gamma \cdot (M-1) \quad (6)$$

Für empirische Untersuchungen wird eine Kombination von (4) und (6) verwendet (Conte/Dunsmore/Shen, 1986, S. 261). Andererseits ergibt sich ein lineares Wachstum auch, wenn in Sitzungen mit von der Teilnehmerzahl unabhängiger Sitzungsdauer kommuniziert wird:

$$K(M) = \begin{cases} \gamma \cdot M & \text{für } M > 1 \\ 0 & \text{für } M = 1 \end{cases} \quad (7)$$

Häufig steigt die Dauer von Sitzungen mit der Teilnehmerzahl. Dieser Anstieg kann mit Hilfe einer Exponentialfunktion z.B. durch

$$K(M) = \delta \cdot M \cdot (e^{(M-1)/\eta} - 1) \quad (8)$$

modelliert werden.

Weitere Funktionsverläufe sind z.B. in Abhängigkeit von der hierarchischen Gliederung des Projektteams denkbar.

Abb. 2 gibt für $Y_0 = 200$ und vier der oben angeführten Funktionen mit den in der Legende angegebenen Parameterwerten die Projektdauer in Abhängigkeit von der Zahl der Teammitglieder wieder. Dabei zeigt sich, daß für die Formeln (4), (5) und (8) u-förmige Projektdauern resultieren (vgl. auch Schnupp/Floyd, 1979, S. 212; Balzert, 1982, S. 462 ff.; Zehnder, 1986, S. 153): Die zwischen den Mitgliedern eines Projektteams notwendige Kommunikation kann also dazu führen, daß eine größere Mitarbeiterzahl die Projektdauer verlängert. Mit zunehmender Gruppengröße kann daher eine abnehmende Leistung verbunden sein (Schlicksupp, 1977, S. 173 f.; Redel, 1982, S. 277 ff.; Staehle, 1985, S. 281 ff.). Nach Balzert (1982, S. 466) liegt die optimale Mitarbeiterzahl bei anspruchsvollen Software-Entwicklungen mit starker gegenseitiger Abhängigkeit der Systemkomponenten bei 2 bis 5 Mitarbeitern.

3. Zeitbedarf für verspätete Projekte

Besonders verhängnisvoll für das Projekt-Management wäre die Vorstellung, daß nach Eintritt von Verzögerungen im Projektablauf die Zahl der noch zu erbringenden Mann-Monate unabhängig von der Größe des Projektteams sei. Neben den Kommunikationszeiten sind in diesem Fall auch noch Einarbeitungszeiten für die neu hinzukommenden Mitarbeiter zu berücksichtigen. Die Einarbeitung dieser Mitarbeiter wird in der Regel von Projektmitarbeitern vorgenommen und entzieht damit dem Projekt Kapazitäten, die ursprünglich für die Verfolgung von unmittelbaren Projektaktivitäten eingeplant waren (vgl. Kupper, 1985, S. 132 ff.).

Die Zahl der Mann-Monate, die ein einziger Mitarbeiter noch erbringen müßte, um das Projekt abzuschließen, wird als Y_{Rest} bezeichnet. Werden zusätzlich zu den M_1 bisher im Projekt beschäftigten Mitarbeitern noch M_2 weitere Mitarbeiter in das Projekt aufgenommen und durch S Mitglieder des Projektteams T_S Monate geschult, so kann zunächst der Projektfortschritt in Mann-Monaten während der Schulungsphase als $T_S \cdot (M_1 - S) - K_S$ ermittelt werden. Durch die geringere Zahl der unmittelbar am Projekt arbeitenden Mitarbeiter gilt für den reduzierten Kommunikationsbedarf K_S innerhalb des verkleinerten Teams während der Schulungsphase folgender Zusammenhang:

$$K_S = K(M_1 - S) \cdot (T_S \cdot (M_1 - S) - K_S) / Y_0 \quad (9)$$

Dabei ist $K(M_j)$ jener Kommunikationsbedarf, der sich bei Realisierung des Gesamtprojektes durch M_j Mitarbeiter ergibt. Der in der Schulungsphase resultierende Kommunikationsbedarf errechnet sich unter Berücksichtigung des Verhältnisses zwischen der in diesem Zeitraum erbrachten Leistung und der im Gesamtprojekt zu erbringenden Leistung. Aus (9) folgt

$$K_S = (K(M_1 - S) \cdot T_S \cdot (M_1 - S)) / (Y_0 + K(M_1 - S)) \quad (10)$$

Nach Abschluß der Schulungsphase sind noch

$$Y_{\text{Rest}S} = Y_{\text{Rest}} - (T_S \cdot (M_1 - S) - K_S) \quad (11)$$

Mann-Monate von M_1+M_2 Mitarbeitern zusätzlich zu dem im vergrößerten Team anfallenden Kommunikationsbedarf von

$$K_{\text{RestS}} = K(M_1+M_2) \cdot Y_{\text{RestS}}/Y_0 \quad (12)$$

zu erbringen. Daher berechnet sich die restliche Projektdauer RD bei Vergrößerung des Projektteams als

$$RD = T_S + (Y_{\text{RestS}} + K_{\text{RestS}})/(M_1+M_2) \quad \text{für } M_2 \geq 1 \quad (13)$$

Bei unverändertem oder verkleinertem Projektteam M ist

$$RD = (Y_{\text{Rest}} + K(M) \cdot Y_{\text{Rest}}/Y_0)/M \quad \text{für } M \leq M_1 \quad (14)$$

Die Berechnungen der restlichen Projektdauern können in einem Tabellenkalkulationsprogramm bequem vorgenommen und ihre Ergebnisse graphisch veranschaulicht werden.

Im folgenden wird unterstellt, daß in einem ursprünglich auf $Y_0=200$ Mann-Monate geschätzten und mit $M_1=5$ Mitarbeitern begonnenen Projekt der Kommunikationsbedarf nach Formel (4) mit $\alpha=3$ angesetzt wurde. Die geringste Projektdauer wäre mit acht Mitarbeitern erreicht worden. Bei Erhöhung der Gruppengröße über acht Mitglieder hinaus steigt die Projektdauer im relevanten Bereich nur moderat an. Mit fünf Mitarbeitern sollte das Projekt nach 52 Monaten abgeschlossen sein.

Nachdem sich bei Erreichen eines Meilensteins Verzögerungen zeigen, wird Y_{Rest} neu geschätzt. Um den ursprünglich geplanten Abschlußzeitpunkt nicht zu stark zu überschreiten, wird die Zuweisung weiterer M_2 Projektmitarbeiter erwogen. Dazu wird angenommen, daß die neu zu dem Projekt stoßenden Mitarbeiter eine Schulungs- und Einarbeitungszeit von drei Monaten benötigen und zwei Mitarbeiter des alten Projektteams während dieses Zeitraums ausschließlich mit Unterstützungs- und Schulungsmaßnahmen befaßt werden müssen.

Abb. 3 stellt dar, welche Projektdauern für vier unterschiedliche

Werte von Y_{Rest} noch zu erwarten sind. Dabei fällt auf, daß für $M_2=3$ (also für ein Team von 8 Projektmitgliedern) jeweils ein (zumindest lokales) Minimum auftritt. Die einzelnen Kurven zeigen insbesondere an der Knickstelle bei $M=5$ Unterschiede. Ist das Projekt bereits weitgehend abgeschlossen (z.B. bei $Y_{\text{Rest}}=25$), so liegt das globale Minimum bei $M_2=0$. Einen derartigen Sachverhalt hat Brooks vor Augen, wenn er das (auch von ihm als übertriebene Vereinfachung bezeichnete) "Gesetz" formuliert:

"Adding manpower to a late software project makes it later".

Abb. 3 zeigt auch, daß dieses Gesetz unter den getroffenen Annahmen nicht allgemein gilt. So existiert für $Y_{\text{Rest}}=50$ bei $M_2=0$ zwar ein lokales Minimum, das globale Minimum wird jedoch bei $M_2=3$ erreicht. Für $Y_{\text{Rest}}=75$ bzw. $Y_{\text{Rest}}=100$ existiert nur ein einziges Minimum bei $M_2=3$: die Funktionen für die restliche Projektdauer fallen zunächst monoton und steigen dann monoton. Allerdings sind die Verkürzungen der Projektdauer, die durch Hinzufügen zusätzlicher Mitarbeiter möglich sind, sehr gering. Selbst im günstigsten Fall $Y_{\text{Rest}}=100$ kann die restliche Projektdauer nur von 26 auf rund 24 Monate verkürzt werden.

Abb. 4 zeigt, daß mit diesen geringen Verkürzungen der Projektdauer erhebliche Kostensteigerungen verbunden sind: Die oben skizzierte Verkürzung der Projektdauer um weniger als 10 % der Restdauer erhöht die Kosten um rund 50 %. Die dargestellte Funktion ist einer der idealtypischen Verläufe, die sich bei Anwendung produktions- und kostentheoretischer Überlegungen zum Verlauf von Aktivitätsbeschleunigungskostenfunktionen in der Netzplantechnik ergeben (Knolmayer/Rückle, 1976, S. 439 f.).

Eine Sensitivitätsanalyse des Modells bringt u.a. folgende Ergebnisse: Der Parameter α beeinflusst die Lage des (lokalen) Minimums der restlichen Projektdauer; so führt z.B. für $\alpha=1$ eine Zahl von $M_2=9$ und für $\alpha=2$ eine Zahl von $M_2=5$ zusätzlichen Teammitgliedern auf die maximale Beschleunigung. Verändert man (für $\alpha=3$) die Länge der Schulungsdauer, so liegt das globale Minimum der rest-

lichen Projektdauer für $T_S=1$ ab $Y_{Rest}=13$, für $T_S=2$ ab $Y_{Rest}=25$, für $T_S=3$ ab $Y_{Rest}=37$ und für $T_S=4$ ab $Y_{Rest}=49$ bei einer Erweiterung des Projektteams. Verändert man (bei $\alpha=3$ und $T_S=3$) die Zahl der die Schulung vornehmenden Mitarbeiter, so liegt das globale Minimum der restlichen Projektdauer für $S=1$ ab $Y_{Rest}=23$, für $S=2$ ab $Y_{Rest}=37$, für $S=3$ ab $Y_{Rest}=56$ und für $S=4$ ab $Y_{Rest}=77$ bei einer Vergrößerung des Teams.

Weiterführende Überlegungen beschäftigen sich z.B. mit den Auswirkungen, die der unterschiedliche Kommunikationsbedarf in der Normalarbeitszeit und den Überstunden für die Projektdauer mit sich bringt (Esterling, 1980). Überstunden würden dadurch ein konzentrierteres Arbeiten ermöglichen, daß während dieser Zeit keine Kommunikation anfällt. Aus diesem Modell resultiert die Empfehlung, verspätete Projekte vorzugsweise durch Überstunden und nicht durch Vergrößerung des Projektteams zu beschleunigen.

4. Die Problematik der Sukzessivplanung für die Zeitschätzung

Mit den obigen Überlegungen ist die mangelnde Aussagefähigkeit des Maßstabs "Mann-Monate" in der Projektplanung auf das der Betriebswirtschaftslehre vertraute Problem der mangelnden Aussagefähigkeit von Ergebnissen einer Sukzessivplanung zurückgeführt: Bei der von Brooks kritisierten Vorgangsweise wird zunächst der Projektaufwand unabhängig von den im Projekt einzusetzenden Kapazitäten geschätzt. Aus der so festgelegten Größe soll ein Kapazitäts- und Terminplan abgeleitet werden. Tatsächlich aber hängt der Projektaufwand auch von den eingesetzten Ressourcen und dem angestrebten Fertigstellungszeitpunkt ab, so daß eine Simultanplanung erforderlich ist, um zu aussagefähigen Plandaten zu gelangen. Diese Interdependenzen gewinnen noch an Bedeutung, wenn die oben unterstellte Annahme aufgehoben wird, daß der Kommunikationsbedarf von der Laufzeit des Projektes nicht unmittelbar beeinflußt wird.

Symbolverzeichnis

| | | |
|---------------------------------------|-----|--|
| $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \eta$ | ... | Positive Parameter bei Berechnung des Kommunikationsbedarfs |
| D | ... | Projektdauer |
| e | ... | Eulersche Zahl |
| $K(M_i)$ | ... | Kommunikationsbedarf bei M_i Mitarbeitern zur Erbringung von Y_0 |
| K_S | ... | Kommunikationsbedarf während der Schulungsphase |
| K_{RestS} | ... | Kommunikationsbedarf nach Abschluß der Schulungsphase |
| M | ... | Zahl an Mitarbeitern im Projektteam |
| M_1 | ... | Zahl an Mitarbeitern im Projektteam vor Erweiterung des Teams |
| M_2 | ... | Zusätzlich in das Projektteam aufgenommene Zahl an Mitarbeitern |
| RD | ... | Restliche Projektdauer |
| S | ... | Zahl der Schulung betreibenden Mitarbeiter |
| T_S | ... | Dauer der Schulung in Monaten |
| Y | ... | Zahl der Mann-Monate, die zum Abschluß des Projektes erforderlich ist |
| Y_0 | ... | Zahl der Mann-Monate, die ein einziger Mitarbeiter benötigen würde, um das gesamte Projekt abzuschließen |
| Y_{Rest} | ... | Zahl der Mann-Monate, die ein einziger Mitarbeiter benötigen würde, um die noch erforderliche Leistung zu erbringen |
| Y_{RestS} | ... | Zahl der Mann-Monate, die ein einziger Mitarbeiter benötigen würde, um die nach Abschluß der Schulung noch erforderliche Leistung zu erbringen |

Literatur

- Balzert, H., Die Entwicklung von Software-Systemen, Mannheim-Wien-Zürich 1982.
- Boehm, B., Software Engineering Economics, Englewood Cliffs 1981.
- Brooks, F.P., Jr., The Mythical Man-Month, in: Datamation 20 (1974) S. 44 - 52.
- Conte, S.D., Dunsmore, H.E., Shen, V.Y., Software Engineering Metrics and Models, Menlo Park et al. 1986.
- Esterling, B., Software Manpower Costs: A Model, in: Datamation 26 (1980), Nr. 3, S. 164 - 170.
- Grün, O., Höhe mal Breite mal Donnerstag, in: Journal für Betriebswirtschaft 31 (1981), S. 66 - 76, S. 148 - 165; 33 (1983), S. 203 - 225.
- Hill, W., Fehlbaum, R., Ulrich, P., Organisationslehre 1, 3. Aufl., Bern-Stuttgart 1981.
- Kharbanda, O.P., Stallworthy, E.A., How to Learn from Project Disasters, Aldershot 1983.
- Knolmayer, G., Rückle, D., Betriebswirtschaftliche Grundlagen der Projektkostenminimierung in der Netzplantechnik, in: ZfbF 28 (1976), S. 431 - 447.
- Kupper, H., Zur Kunst der Projektsteuerung, Qualifikation und Aufgaben eines Projektleiters bei DV-Anwendungsentwicklungen, 3. Aufl., München-Wien 1985.
- Noth, T., Kretzschmar, M., Aufwandsschätzung von DV-Projekten, Berlin et al. 1984.
- Redel, W., Kollegienmanagement, Bern-Stuttgart 1982.
- Scherer, W., Seyfferth, L., Planung und Kontrolle der Kosten bei langfristigen Großprojekten, in: AGPLAN-Handbuch zur Unternehmensplanung, 2. Bd., Berlin 1970, Kennzahl 4202 (1975), S. 1 - 49.
- Schlicksupp, H., Kreative Ideenfindung in der Unternehmung, Berlin-New York 1977.
- Schnupp, P., Floyd, C., Software: Programmentwicklung und Projektorganisation, 2. Aufl., Berlin-New York 1979.
- Staehle, W.H., Management, 2. Aufl., München 1985.
- Zehnder, C.A., Informatik-Projektentwicklung, Stuttgart 1986.

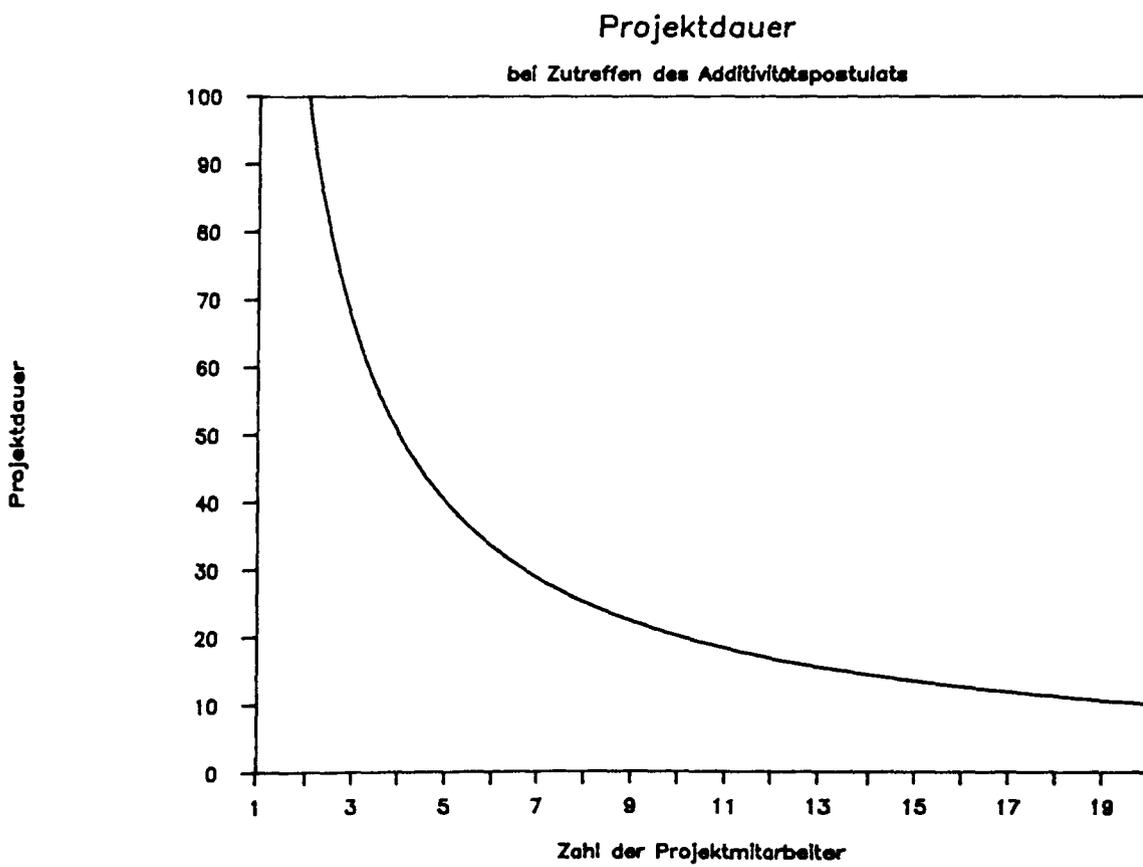


Abb. 1: Projektdauer für $Y=200$ in Abhängigkeit von der Teamgröße.

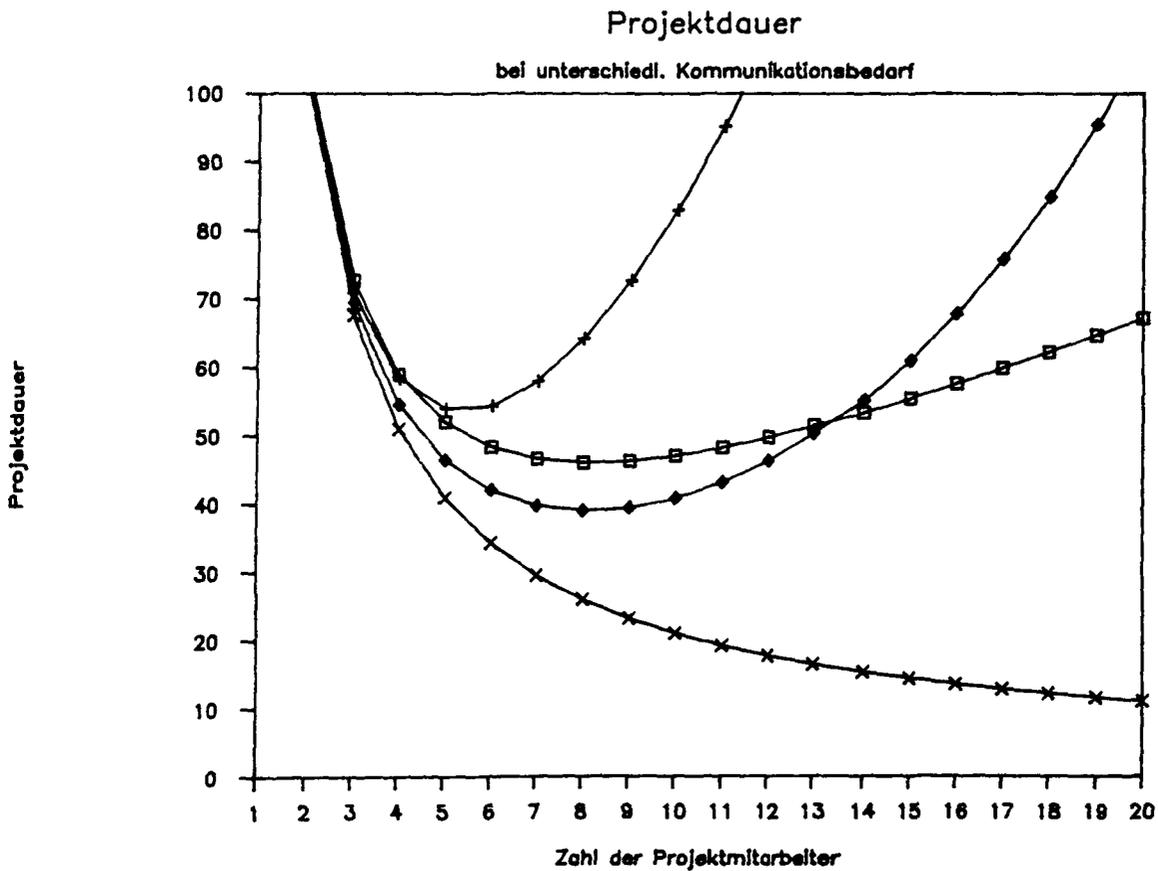


Abb. 2: Projektdauer für $Y_0=200$ und unterschiedliche Annahmen über den Kommunikationsbedarf.

- ... Formel (4) mit $\alpha=3$
- + ... Formel (5) mit $\beta=0,7$
- x ... Formel (7) mit $\gamma=1$
- ◇ ... Formel (8) mit $\delta=10$ und $\eta=8$.

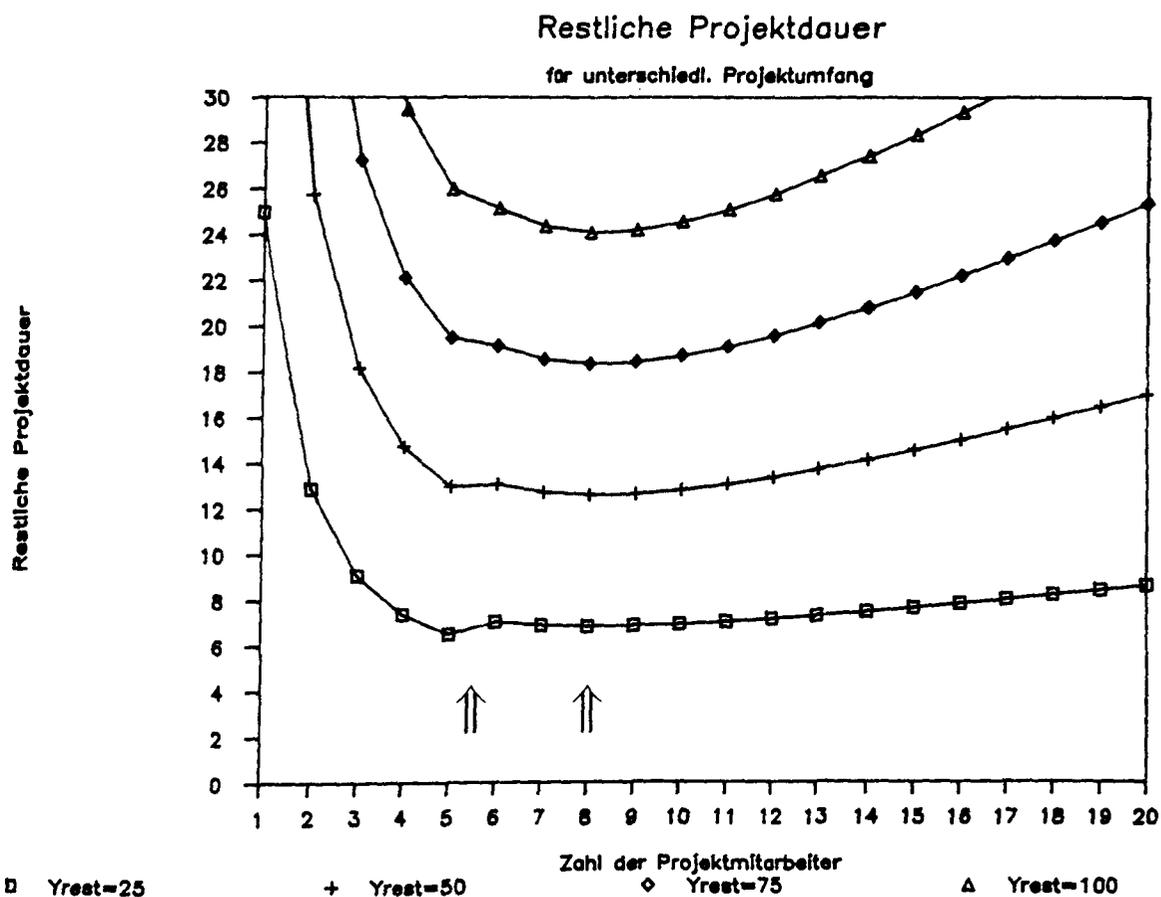


Abb. 3: Restliche Projektdauer für Kommunikationsbedarf (4) mit $\alpha=3$.

Restliche Projektkosten
für 1 bis 8 Projektmitarbeiter

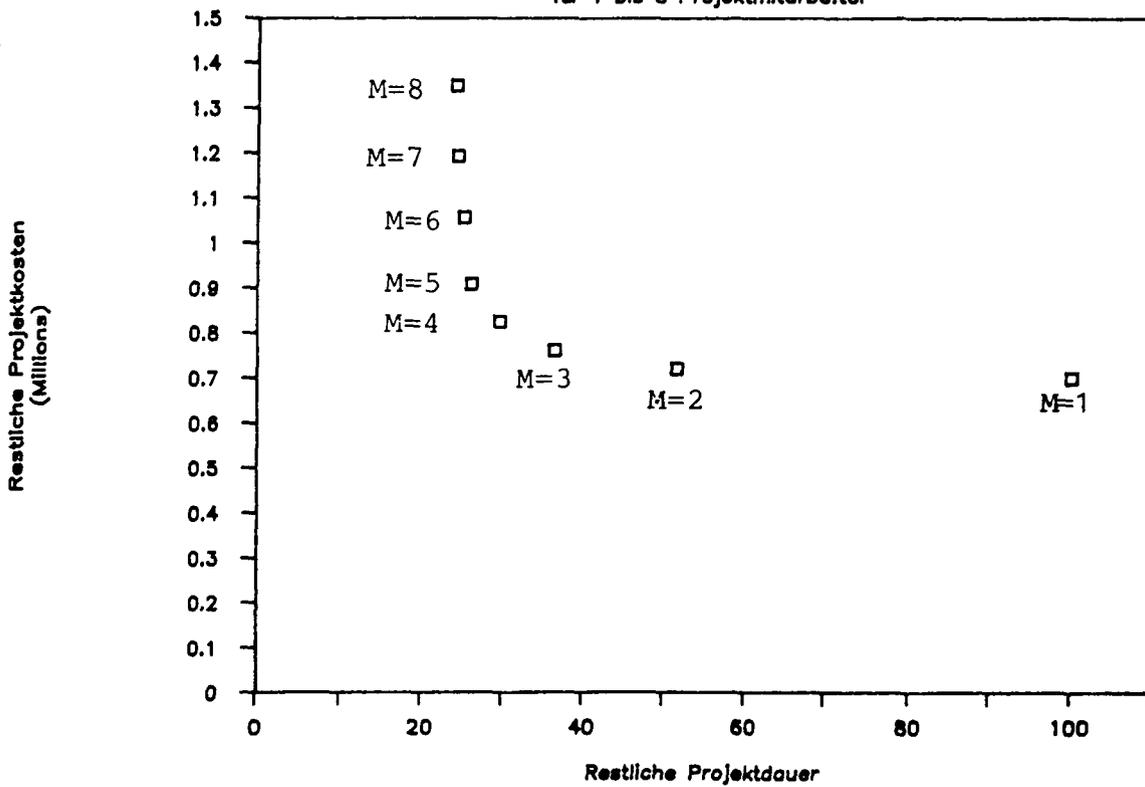


Abb. 4: Restliche Projektkosten für $y_{\text{Rest}}=100$, Kommunikationsbedarf (4) mit $\alpha=3$ und Kosten von 7000,- DM/Mann-Monat.