

## Aenderungen:

10.02.94, V 1.01: Seite 13 "Abb. 2" ersetzt durch "Seite 8"

09.02.94, V 1.00: Original verteilt ISG, 09.02.94

# Projekt–Management

eine konzentrierte Einführung

1. Einstieg, Zielsetzung, Vorgehen
  
2. Projektmanagement (allgemein)
  - 2.1 Einordnung der Tätigkeiten
  - 2.2 Die Handlung als Ergebnis
  - 2.3 Wann braucht es Projektmanagement
  - 2.4 Bestimmende Faktoren im Projektmanagement?
  
3. Wie vorgehen?
  - 3.1 Ziele
  - 3.2 vorbereiten
  - 3.3 machen
  
4. Techniken
  - 4.1 Bewusstwerdung
  - 4.2 Management–Techniken
  - 4.3 Projektgestaltung

### 1. Einstieg, Zielsetzung, Vorgehen

Das Thema Projektmanagement ist äusserst vielfältig. So hat allein das Stichwortverzeichnis vom "Lexikon der modernen Wirtschaftspraxis" 59 Begriffe, die mit "Projekt-" anfangen.

Online Abfrage der ETH-Bibliothek nach Stichwort Projektmanagement. Antwort:  
Projektmanagement (Organisationsmethoden): Gesamthaft 403 Titel (13.01.1994)

Kurse:

Beispiel BWI:

P'Man – Teamführung und Methodik: 5 Tage, Fr. 2850.--

P'Man – Teamführung und Prozessgestaltung: 4 Tage, Fr. 2500.--

P'Man – Methodik: 4 Tage, Fr. 2400.--

Beispiel VDI:

P'Man – bei Klein- und Mittelprojekten: 3 Tage, DM 1620.--

P'Man – f. technisch- organis. Projekte: 2 Tage, DM 1560.--

Beispiel IMAKA:

Management und Projekte: 1 Tag(+Vorabend), Fr. 1525.--

Praxis der Projektführung: 6 Tage, Fr. 4650.--

Beispiel ZfU:

Modernes Projektmanagement: 3 Tage, Fr. 2720.--

Projektleiter-Training: 4 Tage, Fr. 2680.--

Beispiel Digicomp:

Software-Projekt-Management: 3 Tage, Fr. 2070.--

Projektmanagement-Software Überblick: 1 Tag, Fr. 655.--

P'Man-Software "Time Line": 2 Tage, Fr. 1115.--

P'Man-Software "Super Project": 2 Tage, Fr. 1180.--

P'Man-Software "Microsoft Project": 3 Tage, Fr. 1860.--

P'Man-Software "MS-Project f. Fortgeschrittene": 2 Tage, Fr. 1310.--

Vereinigung: Schweizerische Gesellschaft für Projektmanagement (SGP), Sekretariat SPM,  
Tödistrasse 47, 8027 Zürich, Tel. 01/249 31 98.

Die SPM ist Mitglied der INTERNET International Project Management Association.

Projektmanagement, oder volkstümlicher, das Realisieren von Projekten ist gängige Praxis. Jeder von uns hat das sicher schon gemacht. Und Jeder kann Müsterchen erzählen, was schiefgegangen ist – manchmal auch "warum". Die Sammlung der Gesetze vom Murphy und Anderen zeugt von den Unterschieden zwischen den Erwartungen und den Resultaten. Es tut gut, sie zu lesen, weil man sich dann mit den Schreibern verbunden fühlt, die ähnliche Erfahrungen gemacht haben.

## 2. Projektmanagement (allgemein)

Was verstehen wir unter dem Begriff "Projektmanagement"?

Der Begriff setzt sich aus zwei Wörtern zusammen. Dem Begriff "Projekt" und dem Begriff "Management".

- "Projekt":
- bestimmte zukünftige Aufgaben
  - in einer logischen Abfolge
  - um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

Beispiel: Am Sonntag um 11.00 Uhr auf dem Säntis sein.

Das "Projekt" ist eine ganze Aufgabensammlung, mehr oder weniger dokumentiert, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

- "Management":
- vorausdenken, planen
  - Aufgaben bestimmen
  - Abhängigkeiten erkennen
  - in eine logische Abfolge bringen
  - Meilensteine festlegen
  - durchführen, kontrollieren, Plan revidieren

"Management" ist der Prozess, diese Aufgabensammlung zu realisieren. Also die Leute auf den Säntis zu bringen.

Die Stolpersteine im Projektmanagement sind vielfältig und liegen im Projekt selbst (Aufgabenpakete unvollständig, nicht mehr aktuell) oder im Management (zu wenig durchdacht/klar, Missverständnisse, externe Ereignisse).

## 2.1 Einordnung der Tätigkeiten

Betrachten wir uns einmal selber. Wir können unsere Tätigkeiten in zwei Typen aufteilen.

### Typ A:

Alle Tätigkeiten, bei denen wir auf Erfahrung zurückgreifen können, die sich wiederholen. Dies sind meist einfache und überblickbare Prozesse, die ohne spezielle Planung ablaufen.

Hier gibt es wieder zwei Typen:

A1: Solche die in sich abgeschlossen sind wie: Zähne putzen, Schuhe binden, Auto waschen, Rasen mähen.....

A2: Solche, die unter bestimmten Umständen weitere Aktionen notwendig machen. Beispiele: Zeitung lesen (Todesanzeige), Aktienkurse verfolgen.....

Wenn solche Tätigkeiten eingeleitet sind laufen sie "automatisch" ab. Da gibt's nicht mehr viel zu planen.

Vorteil: Wenig Aufwand zur Vorbereitung

Nachteil: Automatismen, Betriebsblindheit

### Typ B:

Alle Tätigkeiten, die zum ersten Mal in dieser Form ausgeübt werden.

Solche Tätigkeiten brauchen eine Vorbereitung, sie finden in der Zukunft statt und müssen geplant werden.

Sie können einmalig sein: Fahrprüfung, Stellenbewerbung, Dissertation, eigenes Haus bauen.....

Aber sie können auch ähnlich wiederholt werden: Ein Vortrag, ein Auto bauen, ein Wasserwerk realisieren.

Die Vorbereitung solcher Tätigkeiten kann mitunter wesentlich umfangreicher sein als die Tätigkeit selbst. Beispiel: Eine Minute Fernsehproduktion = 1 Stunde Vorbereitung.

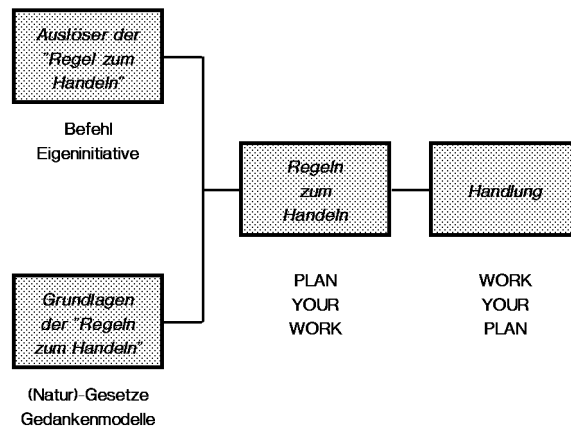
Die Unsicherheit steigt mit wachsender Zukunftsorientierung.

Je intelligenter die Lösung sein muss, desto aufwendiger wird die Vorbereitung.

Tätigkeiten	Form/Ablauf	Inhalt	Orientierung
repetitiv	bekannt, automatisch, gewachsen	überblickbar	aktuell, kurzfristig
"einmalig"	unbekannt, zu planen	nicht überblickbar	zukunftsgerichtet, langfristig

## 2.2 Die Handlung als Ergebnis

Jedes Handeln folgt bewusst oder unbewusst einer Methode.



## 2.3 Wann braucht es Projektmanagement

- wenn die einzelnen Aufgaben nicht mehr überblickbar sind
- wenn viele Aufgabe notwendig sind
- wenn viele Personen einen Beitrag liefern müssen
- wenn Aufgabe sich über einen längeren Zeitraum erstrecken
- wenn Aufgaben zu einem bestimmten Zeitpunkt fertig sein müssen
- wenn eine laufende Kostenübersicht erwünscht ist.

## 2.4 Bestimmende Faktoren im Projektmanagement?

Das Ziel(Ergebnis):

- was bis wann erreicht?
- zu welchen Kosten?

Die Ressourcen:

- Personen: Know-How vorhanden/nicht vorhanden
- Zeitliche Kapazität vorhanden/nicht vorhanden



- Produkte: vorhanden/nicht vorhanden
- Betriebsmittel: vorhanden/nicht vorhanden
- Finanzen: vorhanden/nicht vorhanden

Allgemeine Einordnung  
der Ressourcen

### 3. Wie vorgehen?

#### 3.1 Ziel festlegen

Ziele festlegen ist gar nicht immer so einfach, denn Ziele sind klar definiert durch Aufgabe und Zeitpunkt (was bis wann).

Alles Andere wird mit dem Begriff "Absicht" bezeichnet.

#### 3.2 Bewusstwerdung/Vordenken/Varianten

- sich über die Aufgaben klarwerden
- sich über die Ressourcen klarwerden
- sich über den Ablauf klarwerden
- sich über die Zuständigkeiten klarwerden
- sich über externe Einflüsse klarwerden

#### 3.3 Realisieren

- kontrollieren
- korrigieren
- Leuten "auf die Schulter klopfen"

### 4. Techniken

#### 4.1 Techniken für Bewusstwerdung

- Mind-Mapping (Zusammenhänge/Lösungsvarianten)
- Brain-Storming (Lösungsvarianten)

#### 4.2 "Management-Techniken"

- sich selber
- andere

#### 4.3 Techniken zur Projektgestaltung

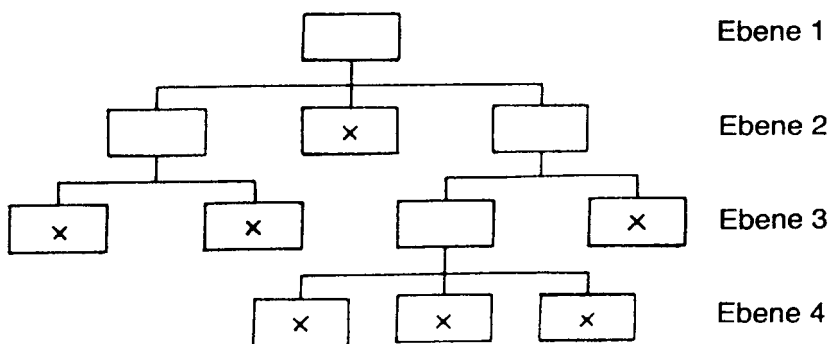
- Projektstrukturierung
- Netzplantechniken (Methoden), aus Czap, Netzplantechnik
- Algorithmus zur Terminplanung
- Kapazitätsplanung
- Kostenplanung

### Projektstrukturierung

Gemäss DIN 69900 erfolgt eine Projektaufgliederung zunächst nach Objekten (Erzeugnissen) bzw. Funktionsbereichen als hierarchischer Projektstrukturplan.

Die einzelnen Knoten des Projektstrukturplanes, heissen Arbeitspakete. In der Abbildung sind dies die Kästchen, die mit "x" gekennzeichnet sind und nicht weiter zerlegt sind.

Zur weiteren Projektstrukturierung werden die Arbeitspakete in Teilaufgaben (Vorgänge) zergliedert. Der einzelne Vorgang ist die Basiseinheit für die Zeit-, Kapazitäts- und Kostenplanung. Dazu sind jedem Vorgang Einsatzmittelverbrauch und Vorgangsdauer zuzuordnen sowie Synchronisationsbeziehungen, etwa die Menge der Vorgänger-Vorgänge, Nachfolger-Vorgänge oder Bedingungen, wie der zeitliche Mindestabstand zu anderen Vorgängen oder eine terminliche Fixierung.



Beispiel für die folgenden Netzpläne

Fünf Tätigkeiten (A, B, C, D, E) eines Projektes, sowie die Projektvorbereitungsarbeiten PA, sind folgendermassen miteinander verknüpft:

- Die Projektvorbereitungsarbeiten PA erfordern 10 Zeiteinheiten (ZE). A folgt auf PA.
- B kann frühestens 5 ZE nach Beginn von A anfangen, muss aber spätestens 10 ZE nach Beginn von D angefangen werden.
- C kann frühestens beginnen, wenn B zu 3/4 abgearbeitet ist und spätestens 10 ZE nach dem Anfang von E.
- Die Anfänge von D und E dürfen höchstens 10 ZE auseinanderliegen.
- Spätestens 15 ZE nachdem D zur Hälfte abgearbeitet wurde, muss A beginnen.

Folgende Vorgangsdauern liegen dem Projekt zugrunde.

Vorgang:	PA	A	B	C	D	E
Dauer:	10	10	20	20	10	5

Angaben zur Kapazitäts- und Kostenplanung werden erst später benötigt.



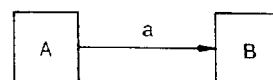
### Netzplanmethoden

In diesem Abschnitt sollen die wichtigsten Netzplanmethoden anhand obigen Beispiels vorgestellt werden. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Darstellungsmethode und darin, ob sie stochastisch oder deterministisch sind.

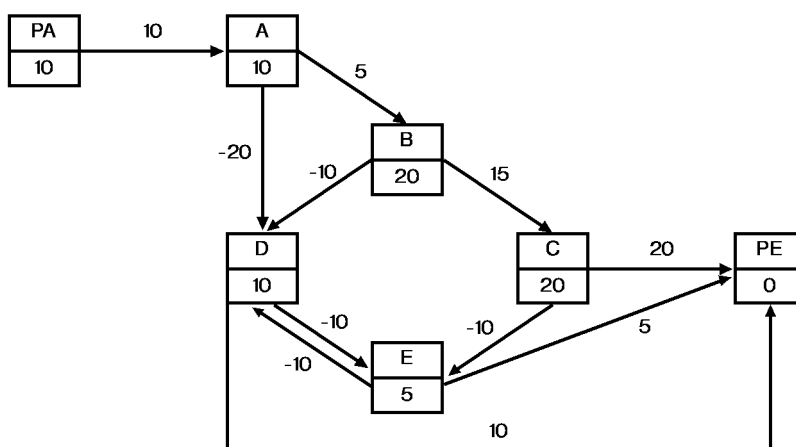
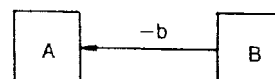
#### Metra Potential Method (MPM)

In einem MPM-Plan werden die Vorgänge durch Knoten dargestellt, Pfeile realisieren Anfang zu Anfang Beziehungen der Vorgänge. Die Pfeilbewertung gibt den zeitlichen Mindestabstand an. Daraus folgt:

(1) Sind A und B Vorgänge und kann B frühestens  $a \geq 0$  Zeiteinheiten nach Beginn von A anfangen, dann enthält der MPM-Plan die Beziehung.



(2) Muss B spätestens  $b \geq 0$  Zeiteinheiten nach Beginn von A anfangen, dann enthält der MPM-Plan die Beziehung



Erläuterung:

Die Knotenbewertung zeigt die jeweilige Vorgangsdauer. Vorgang B benötigt 20 ZE. B ist nach 15 ZE zu 3/4 abgearbeitet, frühestens dann kann Vorgang C anfangen. 5 ZE nach Beginn von D ist D zur Hälfte abgearbeitet. Spätestens 15 ZE danach muss A beginnen. Auf den Anfang von D bezogen muss A also spätestens nach 20 ZE beginnen.

Die Synchronisationsbedingung, dass die Anfänge von D und C nicht mehr als 10 ZE auseinanderliegen dürfen, muss aufgespalten werden in zwei Beziehungen:

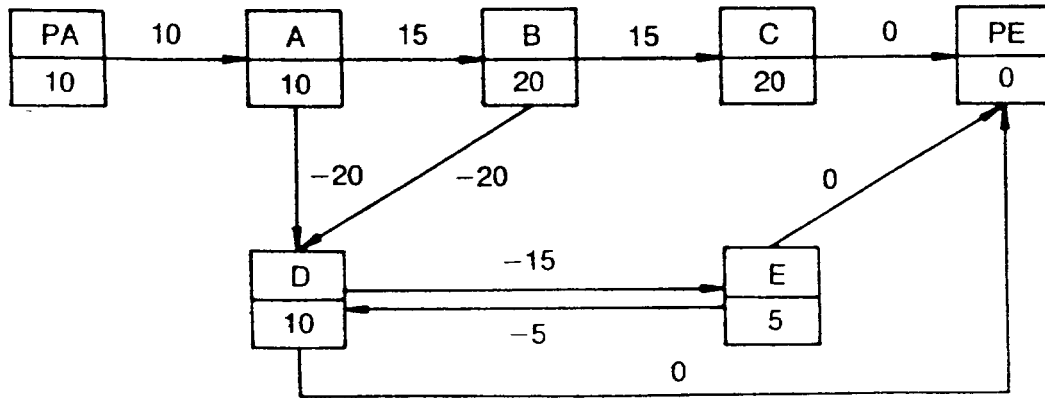
E darf nicht später als 10 ZE nach D anfangen

D darf nicht später als 10 ZE nach E anfangen.

Ein Vorgang "Projektende" PE mit Vorgangsdauer muss vorgesehen werden, um den Abschluss aller Vorgänge zu verdeutlichen. Die Pfeilbewertung der Pfeile zum Projektende ergibt sich aus den entsprechenden Vorgangsdauern.

### Hamburger Methode der Netzplantechnik (HMN)

Bei einem HMN-Plan werden wie in einem MPM-Plan die Vorgänge durch Knoten dargestellt. Bei der HMN realisieren Pfeile jedoch Ende zu Ende Beziehungen. Die nachfolgende Abbildung stellt das gleiche Projekt dar, jedoch als HMN-Plan.



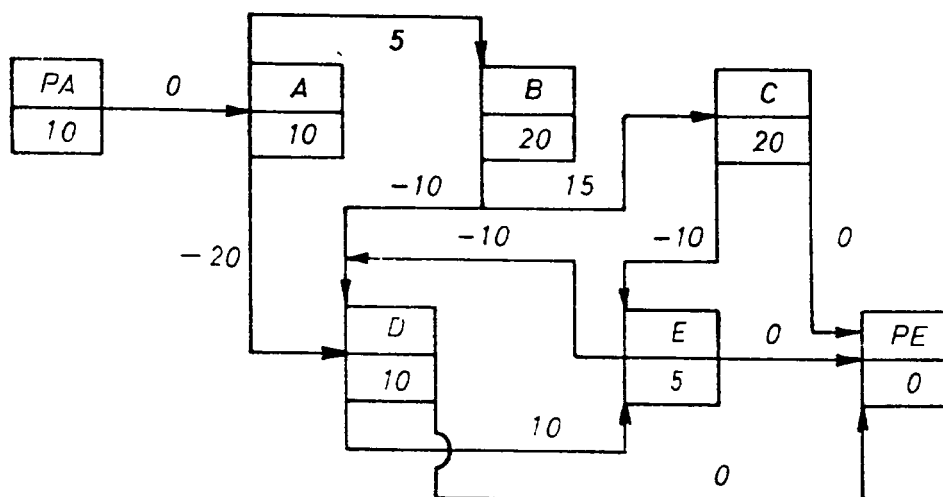
### Precedence Diagramming Method (PDM)

Auch bei PDM werden die Vorgänge als Knoten dargestellt. Die Anordnungsbeziehungen (Präzedenzbeziehungen) sind vom Typ Anfang zu Anfang, Ende zu Ende und Ende zu Anfang. Anfang zu Ende-Beziehungen gelten als nicht praxisrelevant.

In der graphischen Darstellung eines PDM-Netztes ist die Konvention zu berücksichtigen, dass die linke Seite eines Knotens den Vorgangsanfang und die rechte Seite das Vorgangsende bezeichnet.

Ziel eines PDM-Plans ist eine Darstellung, die sich möglichst nahe an die durch den Projektablauf vorgegebene Struktur anpasst. Zur zeitlichen Analyse muss ein PDM-Plan in einen Plan mit einem einheitlichen Beziehungstyp umgeformt werden, beispielsweise in einen MPM- oder einen HMN-Plan.

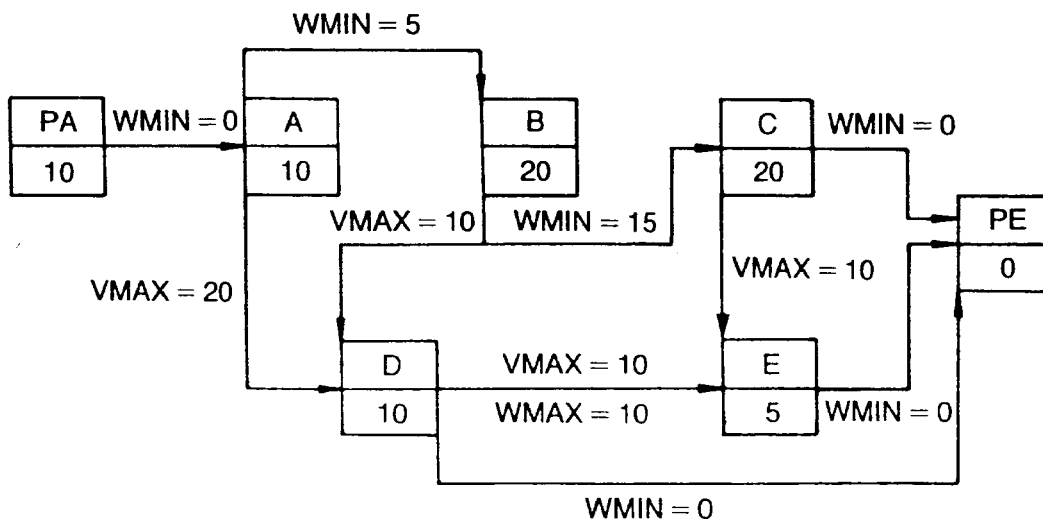
Aus obigem Beispiel lässt sich folgender PDM-Plan erstellen:



Projektplanungs- und Steuerungssystem(PPS)

Wie bei allen bislang vorgestellten Darstellungsmethoden werden auch bei PPS die Vorgänge als Knoten des Graphen erfasst. Wie bei der Precedence Diagramming Method (PDM) versucht PPS die Projektstruktur möglichst unmittelbar wiederzugeben. Die Abhängigkeit von Vorgangsereignissen, also Vorgangsanfang oder Vorgangsende, wird bei PPS nur durch einen einzigen Pfeil dargestellt. Dieser Pfeil wird mit einer oder zwei Angaben, wie minimale Vorziehdzeit VMIN, maximale Vorziehdzeit VMAX, minimale bzw. maximale Wartezeit, WMIN bzw. WMAX versehen. Die alleinige Angabe von VMIN ist nicht gestattet. Ein alleiniges WMAX wird durch  $WMIN = 0$  ergänzt.

In der folgenden Abbildung ist obiges Beispiel als PPS-Plan wiedergegeben. Wie bei PDM muss auch ein PPS-Plan zur zeitlichen Analyse in einen Plan mit einheitlichen Beziehungstypen umgeformt werden.



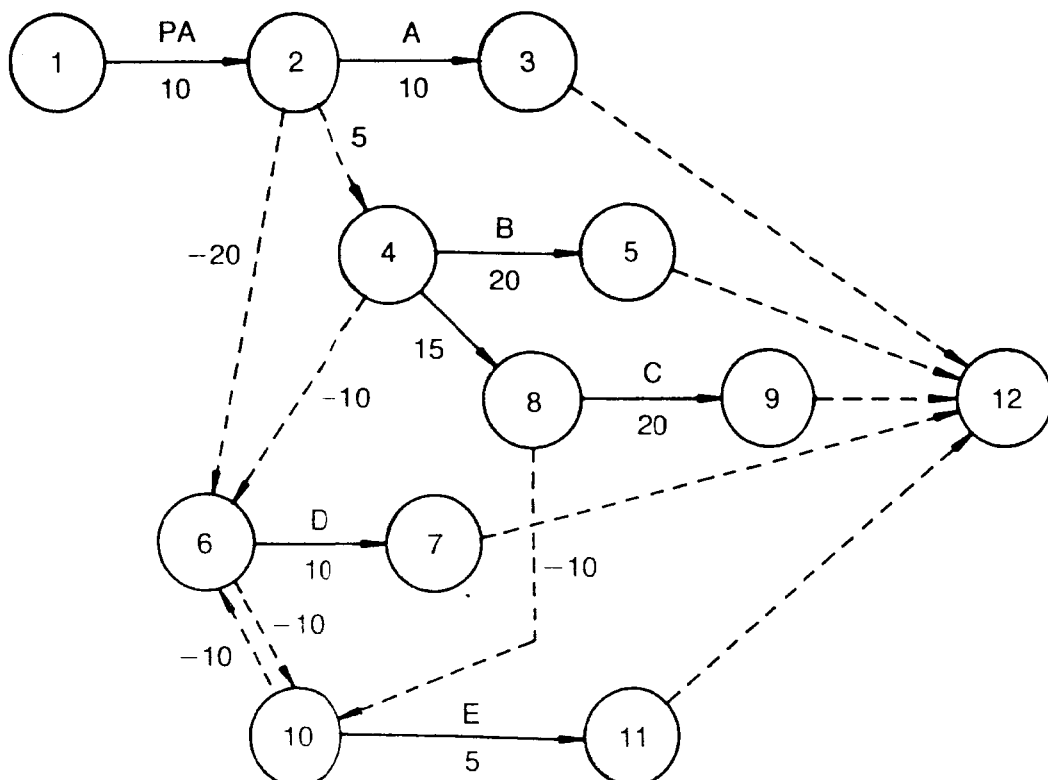
## Critical Path Method (CPM)

Im Gegensatz zu den bisher behandelten Vorgangsknotennetzen handelt es sich bei CPM um einen sogenannten Vorgangspfeil-Netzplan, d. h. die Vorgänge werden durch Pfeile dargestellt und umgekehrt wird jeder Pfeil als Vorgang interpretiert. Die Knoten eines CPM-Planes dienen zur Synchronisation der Vorgänge und werden als Ereignisse gedeutet. Die Bezeichnung "Meilenstein" dient zur Kennzeichnung von Ereignissen, denen bei der Projektplanung und -steuerung besonderes Augenmerk zu widmen ist.

Zur Konstruktion eines CPM-Planes sind zwei Interpretationsregeln zu beachten.

- (1) Münden mehrere Pfeile in einen Knoten, so sagt man, dass das korrespondierende Ereignis dann eintritt, wenn alle Vorgänge, die den einmündenden Pfeilen entsprechen, beendet sind. Ein Knoten, in den kein Pfeil einmündet, heisst Startknoten bzw. Startereignis. Ein Startereignis gilt immer als eingetreten.
- (2) Ein Vorgang kann erst anfangen, wenn das Ereignis, das Ausgangspunkt des Vorgangspfeils ist, eingetreten ist.

Um Vorgangsüberlappungen, z. B. "C kann frühestens beginnen, wenn B zu 3/4 abgearbeitet ist", Kopplungen, z. B. "die Anfänge von D und E dürfen höchstens 10 ZE auseinanderliegen", oder Wartezeiten in einem CPM-Plan erfassen zu können, werden sogenannte Scheinvorgänge benötigt. Ein Scheinvorgang kann eine Vorgangsdauer haben, die negativ, positiv oder auch Null sein kann. Ein nicht bewerteter Vorgang in einem CPM-Plan hat die Vorgangsdauer Null.



## Programm Evaluation and Review Technique (PERT)

Die Dauer eines Vorganges zeitlich zu fixieren, ist in der Praxis mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Ausgehend von CPM wurde deswegen PERT entwickelt. Bei PERT werden für jeden Vorgang ein optimistischer ( $= a$ ), pessimistischer ( $= b$ ) und ein häufigster Wert ( $= m$ ) geschätzt. In Annäherung an beta-Verteilungen und unter Zielsetzung einer einfachen Berechenbarkeit setzt man als Erwartungswert für die Vorgangsdauer

$1/6 (a + 4m + b)$  und für die Streuung  $1/6 (b - a)$ .

Die unterstellte Wahrscheinlichkeitsverteilung ist empirisch nicht belegt. Auch wird angenommen, dass die einzelnen Vorgangsdauern unabhängige Zufallsvariable sind. Deren Erwartungswerte werden dann gemäss CPM als Schätzung für den Erwartungswert der Dauer des Gesamtprojektes verwendet. Die Streuung der Gesamtdauer wird ausschliesslich aus den einzelnen Streuungen der Vorgangsdauern längs eines kritischen Weges ermittelt, wobei eine Normalverteilung angenommen wird.

## Graphical Evaluation and Review Technique (GERT)

Als Vertreter eigentlich stochastischer Netzpläne sei kurz die GERT-Methode vorgestellt. Die Knoten des Netzplans stellen die Menge der möglichen Ereignisse  $E$  dar, die Pfeile sind eventuell realisierbare Vorgänge. Jeder Vorgang ist neben der stochastischen Vorgangsdauer mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit des Vorgangs bewertet. Bei jedem Knoten wird eine Eingangskomponente und eine Ausgangskomponente unterschieden.

Die Eingangskomponenten können von folgendem Typ sein:

- "Exklusives oder": Das zugehörige Ereignis  $E$  tritt ein, wenn alle Vorgänger-Vorgänge beendet sind.
- "Inklusives oder": Das korrespondierende Ereignis tritt ein, wenn mindestens einer der Vorgänger-Vorgänge abgeschlossen ist.
- "Und": Das korrespondierende Ereignis tritt ein, wenn alle Vorgänger-Vorgänge beendet sind.

Bei den Ausgangskomponenten wird unterschieden

- "deterministisch": Alle Vorgänge, deren Vorgangsanfang mit dem zugehörigen Ereignis zusammenfällt, müssen ausgeführt werden.
- "stochastisch": Es muss genau einer der Vorgänge ausgeführt werden, deren Vorgangsanfang mit dem zugehörigen Ereignis zusammenfällt. Die Auswahl eines Vorgangs wird durch seine bereits genannte Eintrittswahrscheinlichkeit bestimmt.

Einem GERT-Netzplan mit Knoten, die nur vom Eingangstyp "Und" sind und vom Ausgangstyp "deterministisch" entspricht ein PERT-Netzplan.

Bei GERT ist häufig nicht ein Projektziel vorgegeben, sondern mehrere alternative Ziele. Angestrebt wird dann eine Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit der Zielereignisse, die Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der unbedingten und der hinsichtlich eines vorgegebenen Zielereignisses bedingten Projektdauer.

### Algorithmus zur Terminplanung

Im Rahmen der Terminplanung werden den einzelnen Knoten eines Netzplanes frühestmögliche Zeitpunkte bezogen auf den Projektanfang zum Zeitpunkt Null zugeordnet, sowie spätestmögliche ohne Projektverzögerung.

Da man mehrere Startknoten durch Einführung von Scheintätigkeiten auf einen einzigen zurückführen kann, soll im Folgenden eine entsprechende Situation unterstellt sein. Die algorithmische Vorgehensweise ist, bis auf offensichtliche Interpretationsunterschiede, unabhängig davon, ob ein MPM-, HMN- oder CPM-Plan verwendet wird, so dass für die weitere Darstellung auf den MPM-Plan (Seite 8) zurückgegriffen wird. Netzpläne nach PDM oder PPS sind wie bereits betont einer unmittelbaren algorithmischen Zeitanalyse nicht zugänglich.

Zur Bestimmung der frühestmöglichen Anfangszeitpunkte FAZ der Vorgänge setzt man für den Projektanfang PA  $FAZ_{PA} = 0$  und bestimmt ausgehend von dem Startknoten, hier im Beispiel PA, den längsten Weg zu jedem Knoten des Netzplans. Als Weg in einem Graphen bezeichnet man allgemein eine durch die jeweilige Pfeilrichtung festgelegte Folge, bestehend abwechselnd aus Knoten und Pfeilen. Die Weglänge ist definiert als die Summe der einzelnen Pfeilbewertungen des Weges. Der längste Weg vom Projektanfang zu einem Knoten definiert den frühesten Zeitpunkt zu dem das korrespondierende Ereignis, z.B. Vorgangsanfang bei einem MPM-Plan, stattfinden kann.

Gibt es in einem Netzplan einen in sich geschlossenen Weg positiver Länge und damit unendlich lange Wege, da ja ein derartiger in sich geschlossener Weg beliebig oft durchlaufen werden kann, dann ist der Netzplan widersprüchlich. Ausgehend von Projektanfang PA werden sukzessive unter Berücksichtigung jeweils geeigneter Nachfolgerknoten die längsten Wege berechnet (Vorwärtsterminierung). Zum Knoten A geht in dem MPM-Plan (Seite 8) ein einziger Weg, der in PA startet. Seine Länge ist 10.

Folglich:  $FAZ_A = 10$ .

Analog:  $FAZ_B = 15$ ,  $FAZ_C = 30$ .

Zum Knoten D führen mehrere Wege:

der über A nach D hat die Länge -10,

der über B nach D hat die Länge 5,

der längste über E nach D hat die Länge 10.

Folglich :  $FAZ_D = 10$ .

Der längste Weg von PA nach E geht über den Knoten C und hat die Länge  $FAZ_E = 20$ .

Jetzt kann der längste Weg von PA zum Projektende PE bestimmt werden. Er geht über den Knoten C,  $FAZ_{PE} = 50$ . Das Projektende kann also frühestens 50 ZE nach Projektanfang eintreten.

Neben der Frage, wann ein Vorgang frühestens anfangen kann, stellt sich immer auch die Frage,



was der späteste Anfangszeitpunkt SAZ eines Vorganges ist, ohne dass dadurch das Projektende herausgezögert wird. Der längste Weg von einem beliebigen Knoten K des Netzplans zum Projektende PE gibt an, wieviel ZE nach dem Anfang von K mindestens bis PE verstreichen müssen. Ausgehend von PE werden nun schrittweise geeignete Vorgängerknoten herangezogen, um den jeweils längsten Weg nach PE zu bestimmen (Rückwärtsterminierung). Diese Weglänge sei errechnet zu  $l_{K,PE}$ . Dann gilt

$$SAZ_K = FAZ_{PE} - l_{K,PE}$$

Bei unserem Beispiel sieht die Berechnung wie folgt aus:

$$SAZ_{PE} = FAZ_{PE} = 50.$$

Von C aus gibt es einen Pfeil nach PE, Weglänge = 20, einen Weg über E, Weglänge = - 5 und einen längsten Weg über D, Weglänge = - 10. Der längste Weg von C nach PE hat die Länge  $l_{C,PE} = 20$ .

$$\text{Folglich: } SAZ_C = 50 - 20 = 30 = FAZ_C.$$

In den ersten beiden Spalten der folgenden Tabelle ist das Ergebnis dieser Berechnungen zusammengefasst:

Vorgang	FAZ	SAZ	GP	FP	FRP	SAZ-FRP	UP
PA	0	0	0	0	0	0	0
A	10	10	0	0	0	10	0
B	15	15	0	0	0	15	0
C	30	30	0	0	0	30	0
D	10	40	30	20	5	35	-5
E	20	45	25	0	15	30	-10
PE	50	50	0	0	0	50	0

FAZ = Frühester Anfangs-Zeitpunkt

SAZ = Spätester Anfangs-Zeitpunkt

GP = Gesamte Pufferzeit

FP = Freie Pufferzeit

FRP = Freie Rückwärts-Pufferzeit

### Pufferzeiten

Die Spalte GP, "Gesamte Pufferzeit", in obiger Tabelle errechnet sich nach der Vorschrift:

$GP = SAZ - FAZ$ . Sie zeigt damit den maximalen Dispositionsspielraum für den jeweiligen Vorgangsbeginn. Vorgänge mit einer gesamten Pufferzeit  $GP = 0$  liegen zeitlich fest, sie heißen kritisch.

Der kritische Weg besteht aus den kritischen Vorgängen (Knoten) und den korrespondierenden Pfeilen.

In der unteren Abbildung ist der Teilgraph des ursprünglichen Netzplanes gezeichnet, der nur aus den Wegen besteht, die den frühesten Anfangszeitpunkt FAZ festgelegt haben. Aus ihr kann unmittelbar entnommen werden, dass eine Verzögerung von Vorgang E, die ja bei einer gesamten Pufferzeit von 25 ZE für E möglich ist, den frühesten Anfangszeitpunkt FAZ von D um den gleichen Betrag verschiebt.

Nach DIN 69900 ist die freie Pufferzeit FP definiert als die Zeitspanne, um die der Vorgang gegenüber seiner frühesten Lage verschoben werden kann, ohne die früheste Lage anderer Vorgänge zu beeinflussen.

Vorgänge, die in dem Teilgraph enthalten sind, der aus den längsten Wegen von PA aus besteht, und keine Endknoten sind, haben keine freie Pufferzeit. Ausser Vorgang D haben somit alle Vorgänge unserer Beispiels die freie Pufferzeit  $FP = 0$ .

Unmittelbare Nachfolger von D im Netzplan sind die Vorgangsknoten E und PE. Nach der Definition der freien Pufferzeit FP muss folglich gelten:

$$FAZ_D + \text{Pfeilbewertung (D,E)} + FP = FAZ_E, \quad FAZ_D + \text{Pfeilbewertung (D,PE)} + FP = FAZ_{PE},$$

und somit

$$FP_D = \min(20 - 10 + 10, 50 - 10 - 10) = 20.$$

Bezeichnet man mit  $N(K)$  die Menge der unmittelbaren Nachfolger eines Knotens K, dann lautet die allgemeine Vorschrift zur Bestimmung der freien Pufferzeit  $FP_K$  von K.

$$FP_K = \min(FAZ_N - FAZ_K - N \text{ elem } N(K) \text{ Pfeilbewertung (K,N)}).$$

Analog zur freien Pufferzeit ist die freie Rückwärtspufferzeit FRP eines Vorgangs definiert als die Zeitspanne, um die der Vorgang gegenüber seiner spätesten Lage verschoben werden kann, ohne die späteste Lage anderer Vorgänge zu beeinflussen.

Bezeichnet man mit  $V(K)$  die Menge der unmittelbaren Vorgänger eines Knotens K, dann errechnet sich die freie Rückwärtspufferzeit  $FRP_K$  eines Knotens K aus

$$FRP_K = \min(SAZ_K - SAZ_V - V \text{ elem } V(K) \text{ SAZ}_V - \text{Pfeilbew. (V,K)}).$$

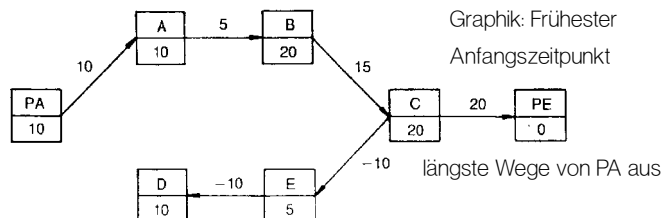
Die unabhängige Pufferzeit  $UP_K$  eines Knotens K beschreibt den Dispositionszeitraum zwischen den spätesten Anfangszeiten  $SAZ_V$  der Vorgänger V von K und den frühesten Anfangszeiten  $FAZ_N$  der Nachfolger N von K.

Um die unabhängige Pufferzeit  $UP_K$  kann der Beginn des Vorganges K verschoben werden unabhängig von den Anfangszeiten der übrigen Vorgänge. Die unabhängige Pufferzeit eines Vorganges beginnt zum Zeitpunkt  $SAZ - FRP$  und endet zum Zeitpunkt  $FAZ + FP$ .

Daraus folgt:

$$UP = (FAZ + FP) - (SAZ - FRP),$$

$$UP = FP + FRP - GP.$$





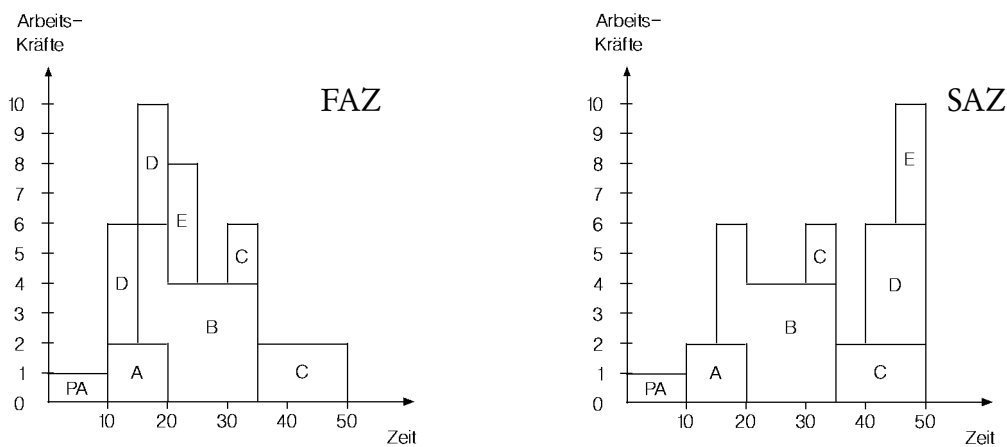
### Kapazitätsplanung

Nach erfolgter zeitlicher Planung und einem bekannten Einsatzmittelbedarf der einzelnen Tätigkeiten lässt sich für jedes Einsatzmittel ein Anforderungsprofil bzw. ein sogenannter Einsatzmittelbedarfsplan erstellen.

Hinsichtlich unseres Beispielprojektes werde das Einsatzmittel "Arbeitskräfte" betrachtet. Der Bedarf der einzelnen Tätigkeiten sei gemäss der folgenden Tabelle unterstellt.

Vorgang	PA	A	B	C	D	E
Arbeitskräfte	1	2	4	2	4	4

Werden alle Vorgänge zum frühestmöglichen Anfangszeitpunkt FAZ bzw. zum spätestmöglichen SAZ begonnen, so ergibt sich ein Anforderungsprofil gemäss den beiden Abbildungen.



In beiden Fällen entsteht ein Spitzenbedarf von 10 Arbeitskräften, dem zwischenzeitlich ein nur geringer Bedarf von 1 bzw. 2 Arbeitskräften gegenübersteht.

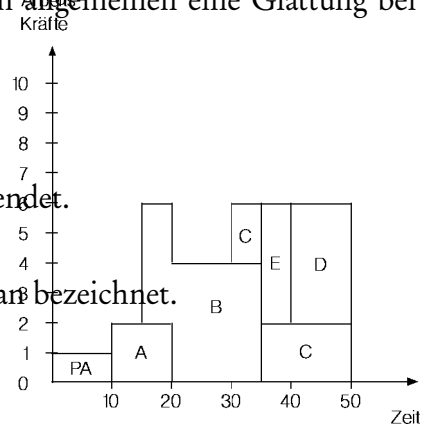
Im Rahmen der Glättung des Einsatzmittelbedarfs – bei Produktionsplanungssystemen spricht man von einem Kapazitätsabgleich – versucht man eine möglichst gleichmässige Inanspruchnahme der einzelnen Einsatzmittelarten durch Verschieben der Vorgänge innerhalb der Pufferzeiten zu realisieren. Die folgende Abbildung zeigt, dass dies bei dem vorliegenden Projekt in befriedigendem Masse gelingt, insbesondere ohne projektverlängernde Wirkung.

Doch darf dieses Beispiel nicht darüber hinwegtäuschen, dass im allgemeinen eine Glättung bei verschiedenen Einsatzmittelarten mit einem unterschiedlichen Bedarf pro Vorgang und Art erfolgen soll, oder auch muss, wenn ein Spitzenbedarf die verfügbaren Ressourcen überschreitet.

Zur Glättung des Einsatzmittelbedarfs werden Heuristiken verwendet.

Exakte Algorithmen stehen nicht zur Verfügung.

Das Ergebnis der Glättung des Einsatzmittelbedarfs sei als Zeitplan bezeichnet.



## Kostenplanung

Soweit den einzelnen Vorgängen Kosten direkt zugeordnet werden können, oder den einzelnen benötigten Einsatzmitteln, kann aus dem Zeitplan bzw. den Einsatzmittelpänen der Kostenplan erstellt werden. In der Praxis bereitet es jedoch angesichts des Einmaligkeitscharakters von Projekten häufig Schwierigkeiten, verursachungsgerecht den Vorgängen Kosten zuzurechnen. Als Kostenträger wird deswegen das einzelne Arbeitspaket verwendet, das uns bereits als nicht weiter unterteilter Knoten des Projektstrukturplanes begegnet ist.

Ordnet man die Kosten der Teilprojekte, die den einzelnen Arbeitspaketen nicht unmittelbar zugeordnet werden können, also z. B. Gemeinkosten eines Teilprojektes, dem entsprechenden Knoten im Strukturplan zu, dann spiegelt der Projektstrukturplan die gesamte Kostenstruktur des Projektes wider. Projektstrukturplan und Zeitplan sind somit die Basis der Kostenplanung. Aus ihr lassen sich Zeitpunkt und Betrag von Ein- und Auszahlungen planen und damit der Finanzplan entwickeln. Die Projektkosten hängen im wesentlichen von drei Grössen ab, und zwar von

- der Vorgangsdauer, die häufig innerhalb gewisser Grenzen variierbar ist (z.B. unterschiedliche Leistungsschaltung bei Maschinen, Ueberstunden, Verwendung von schneller verarbeitbarem Material)
- der gesamten Projektdauer (z.B. Kapitalbindungskosten bei Einsatzmitteln, die während der gesamten Projektdurchführung verfügbar sein müssen, Konventionalstrafen).
- der Einsatzmittelbereitstellung (diese lassen sich häufig nur in Form von Gemeinkosten ermitteln).

Eine optimale Kostenplanung müsste ausgehen von einem operablen Modell dieser Kostenabhängigkeiten und simultan die technologischen Abhängigkeiten der Vorgänge sowie den Bedarf und die Beschränkung an Einsatzmitteln berücksichtigen. Neben der betriebswirtschaftlichen Problematik, die Kostenabhängigkeiten realitätskonform abzubilden, müsste algorithmisch der Zeitplan, die Einsatzmittelbedarfspläne und der Kostenplan simultan erstellt werden. Dazu ist, wie bereits kleine Beispiele zeigen, ein Optimierungsproblem mit mehreren hundert Variablen zu lösen.

Sowohl Programme, wie auch Rechnersysteme werden dabei stark gefordert. Wenn Sie ein Programm in Betracht ziehen, so erkundigen Sie sich vorher nach Anwendern in Ihrer Branche. Zum Beispiel bei der SMP.

Ein Demoprogramm (CA-SuperProject, 3 Disketten) erhalten Sie zum Beispiel von Computer Associates AG, Industriestrasse 30, 8302 Kloten, Tel. 01/8140300.

## LITERATUR

- Altrogge, G., Netzplantechnik, Wiesbaden 1979
- Ausschuss für Netzplantechnik und Projektmanagement im DIN, DIN 69900 Netzplantechnik, Berlin-Köln o. J.
- Brandenberger, Ruosch, Projektmanagement im Bauwesen, Baufachverlag Dietikon
- Brandenberger, Ruosch, Ablaufplanung im Bauwesen, Baufachverlag Dietikon
- Bretscher, P. (Hrsg.), Business Engineering Systems, Eggersriet 1988
- Czap, H., Netzplantechnik, in: Management Enzyklopädie, Zweiburgen Verlag Weinheim 1988
- Daenzer, F. (Hrsg.), Netzplantechnik, 3. Auflage, Zürich 1967
- Daenzer, Systems Engineering, Verlag Industrielle Organisation, Zürich
- Gewald, K., Kasper, K., Schelle H., Netzplantechnik Bd. 2: Kapazitätsoptimierung, München-Wien 1972
- Gewald, K., Kasper, K. und Schelle, H., Netzplantechnik Bd. 3: Kosten- und Finanzplanung, München -Wien 1974
- Golenko, D. I., Statistische Methoden der Netzplantechnik, Stuttgart 1972
- Kummer, Spühler, Wyssen, Projektmanagement-Leitfaden zu Methode und Teamführung in der Praxis, Verlag Industrielle Organisation
- Küpper, W., Lüder, K., Streitferdt, L., Netzplantechnik, Würzburg-Wien 1975
- Noltemeier, H., Netzplantechnik, in: Management Lexikon Wiesbaden 1972
- Noltemeier, H., Graphentheorie mit Algorithmen und Anwendungen Berlin, New York 1976
- Roy, B., (ed.), Ablaufplanung. München, Wien 1968
- Scheer, A.-W., Projektsteuerung, Wiesbaden 1978
- Suchowitzki S. I. und Radtschik, I. A., Mathematische Methoden der Netzplantechnik, 2. Auflage, Leipzig 1969
- Thumb, N., Grundlagen und Praxis der Netzplantechnik, 2. Auflage, München 1968
- Völzgen, H., Stochastische Netzwerkverfahren, Berlin-NewYork 1971
- Wille, H., Gewalt, K. und Weber, H. D., Netzplantechnik, Bd. 1, 3. verb. Aufl., München-Wien 1972
- Zimmermann, H.J., Netzplantechnik, Berlin-New York 1971