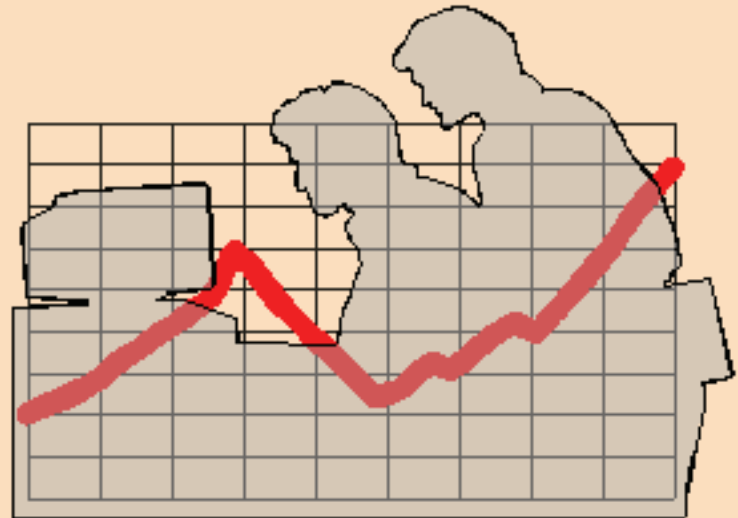


Planungs- und Entscheidungstechniken



Der Kurs 00512 „Planungs- und Entscheidungstechniken“ (PET) ist Bestandteil des Moduls 31811 „Planen mit mathematischen Modellen“.

Autoren

Prof. Dr. Wilhelm Rödder, André Ahuja

Redaktion

André Ahuja, Dominic Brenner

Mediengestaltung

Peter Becker, Esther Berg, Alexander Reinshagen, Reinhard Rollbusch, Werner Vitalis, Yuan Xu

Nutzungsbedingungen

Software, Bild und Ton sind urheberrechtlich geschützt und nur zum privaten, studienspezifischen Gebrauch bestimmt. Kopien in jeglicher Form dürfen nur zum Zwecke der Datensicherung gemacht werden. Die Produktbestandteile dürfen nicht verändert werden. Eine Weitergabe an Dritte in jeder Form, auch in Teilen, ist unzulässig. Das Verbreitungsrecht bleibt beim Copyright-Inhaber. Dem Nutzer ist bekannt, dass nach dem heutigen Stand der Technik Fehler in den Programmen nicht ausgeschlossen werden können. Es wird keine Gewähr dafür übernommen, dass die Programmfunktionen den Anforderungen des Nutzers genügen oder in der von ihm getroffenen Auswahl zusammenarbeiten. Weder der Hersteller noch der Entwickler haften für Schäden, die aufgrund der Benutzung der Programme oder der Unfähigkeit, diese Programme zu benutzen, entstehen. Die in diesem Kurs vorkommenden Hard- und Softwarebezeichnungen sind in den meisten Fällen auch eingetragene Warenzeichen und unterliegen als solche den gesetzlichen Bestimmungen.

Bearbeitungshinweise

Lesezeichen

Sie helfen Ihnen bei der direkten Ansteuerung besonderer Kurselemente (Abbildungen, Beispiele, Tabellen, Übungsaufgaben, verschiedene Verzeichnisse). Einzelne Lesezeichen aktivieren auch separate Dateien (z.B. Algorithmen, Übungsaufgaben, Lösungen zu den Übungsaufgaben, tabellarische Übersichten). Im Übrigen finden Sie das Lesezeichen „Inhaltsverzeichnis“ in allen Dateien; es dient als „Notausstieg“. Damit können Sie von beliebiger Stelle, z.B. aus einer Übungsaufgabe oder einem Algorithmus heraus, in das Inhaltsverzeichnis am Anfang des Lehrtextes springen. Durch Anklicken des entsprechenden (Unter-) Kapitels wird Ihnen dieses sofort angezeigt. Zum Anzeigen klicken Sie auf die Schaltfläche „Lesezeichen“ im Navigationsfenster. Beim Öffnen der meisten Dateien werden die Lesezeichen direkt mit eingeblendet.

Blaue Hervorhebungen verknüpfen



- ⇒ Querverweise innerhalb des Kurses;
- ⇒ Verweise in andere Dateien.

Ohne Hervorhebung gibt es Verknüpfungen z.B.:

- ⇒ vom Inhaltsverzeichnis zum jeweiligen Kapitelanfang;
- ⇒ vom Inhaltsverzeichnis in andere Dateien (z.B. Übungsaufgaben, Lösungen);

- ⇒ von den Literaturangaben im Text zu den vollständigen Publikationsangaben;
- ⇒ Querverweise innerhalb des Kurses (z.B.: „vgl. ...“, „siehe ...“).

Hinweis:

Der Mauszeiger wechselt vom Handsymbol  zu einer Hand mit erhobenem Zeigefinger , wenn Sie sich über einem Verknüpfungsbereich befinden.

Schaltflächen öffnen

- ⇒ separate Dateien (z.B. Algorithmen, Tabellen, Übungsaufgaben, Lösungen zu den Übungsaufgaben)

In diesem Dateikurs können Sie folgende **Schaltflächen** nutzen:



Algorithmus



Übungsaufgabe



Lösung der
Übungsaufgabe



Schema/Übersicht



Tabelle



Zurück



Kursportal 00512



Inhaltsverzeichnis



Durch Betätigen der Schaltfläche stellen Sie **via Internet** eine Verbindung zur **Eingangshalle des Lehrstuhls** her, von dort können Sie u.a. weitere Informationen zum Kurs abrufen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Planungs- und Entscheidungstechniken im Unternehmen.....	1-1
2.	Die Lineare Planungsrechnung in der Produktion.....	2-1
2.1	Elemente.....	2-1
2.2	Das Projekt.....	2-8
2.3	Die Struktur.....	2-10
2.4	Zeitrechnung ohne Wartezeiten und Termineinschränkungen.....	2-12
2.5	Zeitrechnung mit Wartezeiten und Termineinschränkungen.....	2-21
2.6	Ressourcen- und Kostenplanung.....	2-29
2.7	Kontrolle und Steuerung.....	2-31

3.	Die Lineare Planungsrechnung in der Produktion.....	3-1
3.1	Mathematische Charakterisierung von Produktionsprozessen.....	3-1
3.2	Hauptmodelle der Linearen Planungsrechnung.....	3-12
3.2.1	Die einstufige Produktionsplanung.....	3-12
3.2.2	Substitution linear limitationaler Produktionsprozesse.....	3-16
3.2.2.1	Maximierung der Ausbringung bei Faktorbeschränkungen.....	3-16
3.2.2.2	Kostenminimierung bei gewünschter Ausbringungsmenge.....	3-19
3.2.3	Ein Beispiel einer mehrstufigen Linearen Planungsrechnung.....	3-21
3.3	Materialmischungen und Verschnittoptimierung.....	3-29
3.3.1	Materialmischungen.....	3-29
3.3.2	Verschnittoptimierung.....	3-31
4.	Algorithmische Lösung von Linear Optimierungsproblemen.....	4-1
4.1	Die Zielsetzung dieses Kapitels.....	4-1
4.2	Von Ungleichungs- zu Gleichungssystemen.....	4-3
4.3	Die kanonische Form des LP-Problems.....	4-9
4.4	Die Berechnung numerischer Beispiele in einer und in zwei Phasen	4-15
4.5	Der allgemeine Simplex-Algorithmus in der Zwei-Phasen-Form.....	4-24

5.	Varianten der Linearen Programmierung als unternehmerisches Planungsinstrument	5-1
5.1	Planung von Transporten und Güterströmen.....	5-1
5.1.1	Präliminarien.....	5-1
5.1.2	Kostenminimaler Fluss.....	5-3
5.1.3	Das Transport- und Zuordnungsproblem.....	5-8
5.1.4	Maximaler Fluss und kürzester Pfad.....	5-16
5.2	Kapitalertragsplanung bei Risiko und Rentabilitätsmaximierung..... als Problem der quadratischen bzw. Quotienten-Programmierung	5-20
5.2.1	Fast Linearisierbarkeit.....	5-20
5.2.2	Die Auswahl eines Portefeuilles als fast linearisierbare..... quadratische Aufgabe	5-21
5.2.3	Algorithmische Lösung von Quadratischen Programmen.....	5-26
5.2.4	Rentabilitätsoptimierung als fast linearisierbare Quotienten-Aufgabe	5-32
5.2.5	Algorithmische Lösung von Quotientenprogrammen.....	5-34
5.3	Die Behandlung von Ganzzahligkeit bei Linearen Programmen.....	5-35
5.3.1	Herkunft der Ganzzahligkeit.....	5-35
5.3.2	Futtermittelmischung bei Beschränkung der Rohstoffzahl.....	5-36
5.3.3	B&B mit LP-Relaxation.....	5-39
5.4	Die Behandlung von Nichtlinearität bei Separablen Programmen.....	5-51
5.4.1	Optimale leitungsgebundene Wärmeversorgung in Städten.....	5-51
5.4.2	Stückweise Linearisierung bei Separablen Programmen.....	5-56

5.4.3	Algorithmische Lösung von Separablen Programmen.....	5-64
5.5	Lineare Planung bei unscharf formulierten Problemen.....	5-65
5.5.1	Umgestaltung eines Parkdecks.....	5-65
5.5.2	Einige Grundbegriffe der Theorie unscharfer Mengen.....	5-70
5.5.3	Vom scharfen zum unscharfen LP-Problem.....	5-79
6.	Heuristiken.....	6-1
6.1	Merkmale von Heuristiken.....	6-1
6.2	Entscheidungsunterstützung mittels Heuristiken.....	6-3
6.2.1	Transport- und Qualitätsplanung.....	6-3
6.2.2	Das Rundreiseproblem.....	6-9
7.	Optimierung mit intelligenten Strategien.....	7-1
7.1	Übersicht der Verfahren.....	7-1
7.2	Genetischer Algorithmus.....	7-4
7.2.1	Einführung.....	7-4
7.2.2	Der Algorithmus.....	7-5
7.3	Bandabgleichproblem und Genetischer Algorithmus.....	7-14
7.3.1	Beschreibung des Bandabgleichproblems.....	7-14
7.3.2	Ausgestaltung des Algorithmus.....	7-17

1. Planungs- und Entscheidungstechniken im Unternehmen

Seitdem Unternehmen und Behörden eine fast unbegrenzte Rechenkapazität in Form von Personal-Computern bis hin zu Mainframes zur Verfügung steht, werden mehr und mehr unternehmerische Entscheidungsprobleme rechnerunterstützt gelöst.

Solche "quantitativen" Entscheidungsprobleme treten in allen betrieblichen Funktionsbereichen auf. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit seien hier einige genannt:

- **Beschaffung:** Bedarfsprognose, Tarif- und Transportgestaltung, Qualitätssicherung
- **Produktion:** Fertigungs- und Ablaufplanung (Reihenfolgen, Maschinenbelegung, Arbeitsverteilung), Produktmengenplanung, Bereitstellungsplanung, Prozessplanung (Rezeptoptimierung), innerbetriebliche Transportplanung
Investition und Finanzierung
- **Investition und Finanzierung:** F&E-Planung, Standortplanung, Projektplanung, simultane Investitions- und Finanzierungsrechnung
- **Absatz:** Distributionsplanung in Form von Wegen, Transporten und Tarifen, Werbeplanung
- **Personal:** Personalbeschaffung und Personaleinsatzplanung.

Vielen dieser Aufgaben ist gemein, dass nicht nur die zugehörigen Daten im Rechner erfasst und aufbereitet werden (**Informationssysteme**), sondern auch die Lösung entscheidungsunterstützend begleitet wird (**Planungstechniken und Optimierungsmethoden**). Die Anwendung solcher Lösungshilfen setzt in der Regel eine Abbildung der unternehmerischen Sachzusammenhänge in mathematische Modelle voraus. Zu planende oder die Entscheidung beeinflussende reale Größen werden durch Variable oder Parameter, Beziehungen zwischen diesen Größen durch Relationen ausgedrückt. Das Modell ist umso besser, je genauer es die Wirklichkeit widerspiegelt. Der Wissenschaftszweig, der solche Modelle für betriebliche Sachprobleme im größeren Stil entwickelte und zur Entscheidungsfindung heranzog, heißt **Operations Research**, zu deutsch Unternehmensforschung.

Es war keinesfalls immer schon selbstverständlich, sich quantitativer Methoden bei der Entscheidungsvorbereitung zu bedienen. Der langanhaltende Grabenkrieg zwischen "verballogischen" und "mathematisch orientierten" Ökonomen in den 60er Jahren ist heute schwer nachvollziehbar. Für den historisch interessierten Leser sei auf Ischboldin und Schlitzberger als Vertreter der Intuitionisten sowie Kosiol und Müller-Merbach als Verfechter der quantitativen Linie verwiesen.

Der Ursprung des Operations Research liegt früher. In der britischen Form als Operational Research hat es seine Anfänge im Zweiten Weltkrieg. Quantitative Methoden wurden zur Lösung militärischer logistischer Probleme, zur Konvoioptimierung bei der U-Boot-Bekämpfung und zur Projektplanung im Rahmen der Radarabwehr eingesetzt. Die pragmatische angelsächsische Mentalität führte bald zur Übertragung der erworbenen Kenntnisse auf den privaten Unternehmenssektor und auf behördliche Planungsaktivitäten. Die in Deutschland dann später geführte unfruchtbare Diskussion (s.o.) über die Berechtigung des Operations Research fand weder in Großbritannien noch in den USA statt.

Der Kurs Planungs- und Entscheidungstechniken ist als Einführung und Motivation zum späteren vertiefenden Studium des Operations Research (OR) zu verstehen. Grundlagenwissen des OR wird ebenso vermittelt wie Erfahrungen des Autors im Umgang mit OR-Methoden in der Unternehmenspraxis.

Kapitel 2 des Kurses ist eine Einführung in die Projektplanungsmethode "Netzplantechnik" (NPT). Hierzu werden Grundlagen der NPT vermittelt und Netzplanberechnungen bei vorgangsorientierten Netzen durchgeführt. Hinweise auf die Kapazitäts- und Kostenanalyse schließen sich an.

Kapitel 3 ist überschrieben mit "Lineare Planungsrechnung" und stellt klassische lineare Modelle der Mengen- und Kostenplanung aus dem Bereich der Produktion vor.

In Kapitel 4 wird ein Algorithmus vorgestellt, mit dem lineare Optimierungsaufgaben gelöst werden können. Das Verständnis dieses Lösungsverfahrens ist wichtig, um gängige LP-Software sinnvoll einsetzen zu können.

Kapitel 5 behandelt die Planung von Transporten und Güterströmen. Ferner wird aufgezeigt, wie das Werkzeug der Linearen Planungsrechnung auch erfolgreich auf von Natur aus nicht lineare Aufgaben angewandt werden kann.

Heuristiken sind Gegenstand des Kapitels 6. Es sind Verfahren, die gute Lösungen mit vertretbarem Rechenaufwand selbst bei sehr schwierigen Planungs- und Optimierungsaufgaben liefern. Im Bereich komplexer kombinatorischer Entscheidungsprobleme werden in jüngster Zeit die optimierenden durch heuristische Methoden dominiert.

In allen Kapiteln wurde der Versuch unternommen, die Grundideen der Verfahren so weit wie möglich am Beispiel zu entwickeln. Die Vermittlung exakten Methodenwissens muss also zugunsten anschaulicher Anwendungen zurückstehen; für den bloßen Benutzer von Planungs- und Entscheidungstechniken also ein soviel wie nötig und so wenig wie möglich.

2. Die Lineare Planungsrechnung in der Produktion

2.1 Elemente

Ein Projekt lässt sich in die Phasen Projektidee, Projektdefinition, Durchführungsplanung, Projektdurchführung sowie Projektabschluss gliedern. Im Rahmen der Feinplanung als Teil der Durchführungsplanung werden Projekt-Vorgänge definiert [vgl. bspw. HEEG, 1993]. **Vorgänge** sind Ressourcen und Zeit verzehrende Einzeltätigkeiten, die zu anderen Vorgängen in gewissen sachlich / zeitlichen Abhängigkeiten stehen, i.d.R. an Termine gebunden sind und Kosten verursachen.

Diese wechselseitigen Beziehungen sollen in einem sogenannten **Netzplan** berücksichtigt und visualisiert werden. Den vielfältigen Möglichkeiten, Vorgänge und ihre Beziehungen in graphischen Strukturen darzustellen, steht eine Fülle unterschiedlich geeigneter Netzplantechniken gegenüber. Eine gute Übersicht finden Sie z.B. in der Schrift „Netzplantechnik“ von BERG, MEYER, MÜLLER und ZOGG aus dem Jahre 1973.

Um neueren Entwicklungen Rechnung zu tragen und Sie mit der Handhabung von **Netzplantechnikprogrammen** vertraut zu machen, stellen wir hier die Netzplantechnik (NPT) CPM anhand der softwareseitigen Realisierung von MS-PROJECT vor. Abweichend von früheren Versionen werden hier Vorgänge als Knoten und Abfolgebeziehungen als Pfeile dargestellt. Das Kürzel CPM steht für Critical Path Method, also Methode des **kritischen Pfades**. Der Begriff CPM leitet sich daraus ab, dass sich über der Zeitachse vom Beginn zum Ende eines Projektes ein oder mehrere Pfade von sogenannten kritischen Vorgängen ziehen. Vorgänge werden als kritisch bezeichnet, wenn durch ihre Verzögerung das Projektende in Verzug gerät; sie sind bestimmend für die Projektdauer.

Zyklen, d.h. Schleifen im Netzplan, sind in einem CPM-Netzplan nicht erlaubt. Es darf also nicht vorkommen, dass ein Vorgang wiederholt in einer Abfolge von Tätigkeiten auftaucht, wie dies etwa in Forschungs- und Entwicklungsprojekten (F&E-Projekten) häufig der Fall ist. Beispielsweise stellt ein mehrfach, bis zur Erfolgseinstellung mit unterschiedlichen Zusätzen durchgeführter chemischer Versuch eine (Versuchs-) Schleife dar.

Die CPM-Technik verarbeitet nur sichere (deterministische) Zeit- und Strukturdaten; stochastische Schätzungen der Dauern von Vorgängen können nicht berücksichtigt werden. Die Abfolgestruktur unter den Vorgängen ist fest vorgegeben. Unsicherheiten in Bezug auf die Struktur können nur durch sogenannte **Notfallpläne** abgefangen werden. Notfallpläne sind (kleine) Teilnetzpläne, die alternativ in den Projektnetzplan bei Eintreten gewisser Bedingungen einzuflechten sind.

Als „Kommunikationsmittel“ zwischen Projektplaner und Netzplan dient die **Vorgangsliste**. In der Vorgangsliste werden die Vorgänge mit Zeit-, Struktur- und ggf. Termin-, Ressourcen- und Kostengrößen erfasst. Der Begriff *Liste* ist natürlich zu eng gefasst, da mit ihr der gesamte Netzplan eigentlich schon festliegt. Um Informationen über Terminabstimmungen, Kapazitätsauslastungen und Zahlungsströme zu gewinnen, sind bestimmte Berechnungen erforderlich, die im Folgenden an kleinen Beispielen erarbeitet werden sollen.

Tab. 2.1: Vorgangsliste (Auszug)

Nr.	Vorgang	Dauer [Tage]	Vorgänger	Termine	Ressourcen	Kosten
:						
:						
3	PRAE	14	1 EA - 4	AZ ⁻ : 10	Mü [0.25] Hü [0.5]	2.975,-
:						
:						

Tabelle 2.1 zeigt einen Auszug aus einer typischen Vorgangsliste: unter der Kopfzeile befindet sich die Liste der eigentlichen Vorgänge. Die Angaben zu Vorgang Nummer 3 bedeuten, dass es sich um den Vorgang **PRAESENTATION** – abgekürzt **PRAE** – handelt. Er dauert 14 Tage, kann technisch 4 Tage vor Ende seines Vorgängers 1 beginnen, muss aber aus terminlichen Gründen genau 10 Tage nach Projektbeginn starten. Die **E**nde/**A**nfang-Beziehung EA zwischen Vorgang **PRAE** und seinem Vorgänger (Vorgang Nr.1) erlaubt somit eine Überlappung von 4 Tagen, in der Tabelle angezeigt in der Spalte Vorgänger mit „1 EA - 4“. Weiterhin kann der Tabelle entnommen werden, dass Abteilungsleiter Müller mit 25% seiner Arbeitskraft und die Sachbearbeiterin Frau Hübner zu 50% mit dem Vorgang während seines Ablaufs beschäftigt sind. Die Gesamtkosten dieses Vorgangs beziffern sich auf 2.975,- €.

Ein Eintrag (eine Zeile) der Vorgangsliste aus Tabelle 2.1 wird im Netzplan als **Vorgangsknoten** dargestellt. Er enthält, schöpft man alle Darstellungsmöglichkeiten aus, die in der Abbildung 2.1 gezeigten Informationen.

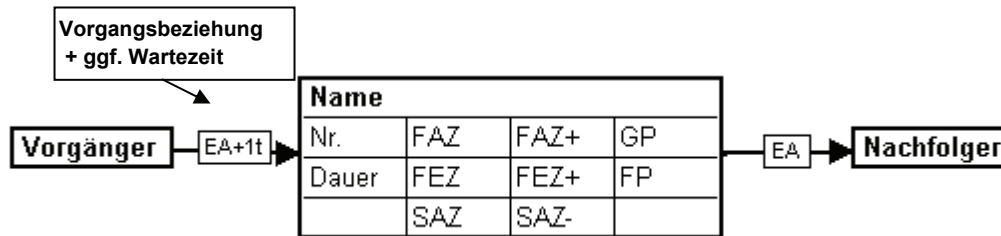


Abb. 2.1: Vorgangsknoten

Die im Weiteren verwendeten Kürzel stehen für folgende Inhalte:

D **D**auer des Vorgangs

FAZ **F**rühste **A**nfangs**Z**eit des Vorgangs unter Berücksichtigung aller Abfolgebeziehungen zu den Vorgängern, Wartezeiten und Termineinschränkungen

FEZ **F**rühste **E**nd**Z**eit des Vorgangs, als seine früheste Anfangszeit zuzüglich seiner Dauer

SAZ **S**päteste **A**nfangs**Z**eit des Vorgangs unter Berücksichtigung aller Abfolgebeziehungen zu den Nachfolgern, Wartezeiten und Termineinschränkungen

FAZ ⁺	F rühster A nfang	} des Vorgangs gemäß vom Planer fixierter Kalenderdaten
FEZ ⁺	F rühstes E nde	
SAZ ⁻	S pätester A nfang	

- GP **G**esamt**P**uffer des Vorgangs, als Differenz seiner spätesten und frühesten Anfangszeit
- FP **F**reier **P**uffer des Vorgangs, als Differenz des frühesten Anfangs aller Nachfolger und seiner frühesten Endzeit
- WZ **W**arte**Z**eiten können positiv oder negativ sein. Mit ihnen kann man steuern, dass
- der Nachfolger nicht unmittelbar nach Vorgangsende beginnen darf, sondern verzögert
 - der Nachfolger schon vor Vorgangsende beginnen darf, also eine Überlappung erlaubt ist
 - keines von beiden eintritt.

Nach diesem ersten Eindruck der vielseitigen Darstellungsmöglichkeiten in einem CPM-Netzplan gehen wir alle Planungsschritte anhand eines kleinen Projektes durch.

2.2 Das Projekt

Eine Softwarefirma möchte die Ansprechpartner einiger interessierter Anwender gemeinsam mit bereits gewonnenen Kunden zu einer Werbeveranstaltung einladen. Neben der Präsentation der neusten Produkte ist an Fachreferate kompetenter Praktiker und Hochschullehrer zum Thema E-Commerce gedacht. Die Werbeabteilung der Softwarefirma besteht zurzeit aus 3 Personen: Herrn Müller als Leiter, Vollzeitkraft Frau Hübner und die Auszubildende Frau Schubert. Sie werden beauftragt, dieses kleine Projekt so vorzubereiten, dass die Einladungen mit Tagesordnung und Veranstaltungsort bei einer Druckerei in Auftrag gegeben werden können.

2.3 Die Struktur

Den Vorgangsnamen werden nun laufende Nummern und Vorgänger zugeordnet. Daraus ergibt sich die erste Vorgangsliste zum Projekt in Tabelle 2.2. Wir wollen stets so verfahren, dass die Spalten zu noch nicht benötigten Informationen grau hinterlegt werden.

Tab. 2.2: Vorgangsliste mit Vorgängerbeziehungen

Nr.	Vorgang	Dauer [Tage]	Vorgänger	Termine	Ressourcen	Kosten
1	KURE		-			
2	ORRA		1			
3	PRAE		1			
4	UNTE		2			
5	ENDE		3, 4			

Vorgänger sind stets als unmittelbare Vorgänger zu verstehen. Sie können ab sofort einen Beziehungspfeil von einem Vorgänger zum Vorgang (**Nachfolger**) ziehen. Der Strukturplan zur Vorgangsliste in Tabelle 2.2 ist in Abbildung 2.2 gezeigt.

Auch bei den **Netzplänen** zeichnen wir nur die bereits vorhandenen Informationen ein; sie werden dann sukzessive erweitert. In einer Legende (rechts) fügen wir stets die bereits belegten Größen an.

Machen Sie sich beispielsweise klar, dass **ENDE** zwei unmittelbare Vorgänger hat, nämlich **UNTE** (Nr. 4) und **PRAE** (Nr. 3), wie es laut Vorgangsliste auch sein soll.

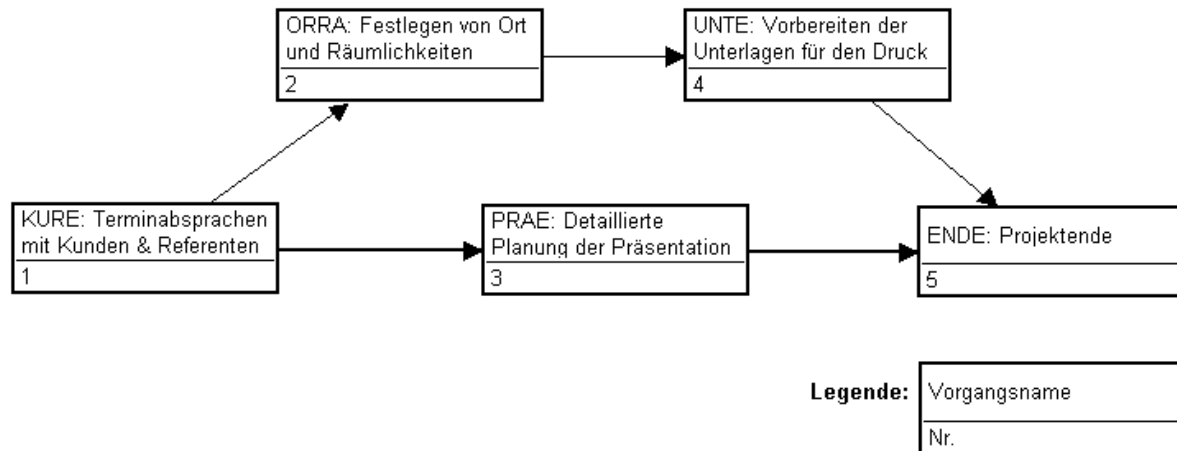


Abb. 2.2: Strukturplan zur Vorgangsliste in Tabelle 2.2

2.4 Zeitrechnung ohne Wartezeiten und Termineinschränkungen

Lassen Sie uns nun annehmen, dass für die einzelnen Vorgänge Zeitschätzungen (gemäß Tabelle 2.3) vorgenommen wurden.

Tab. 2.3: Vorgangsliste mit Vorgängerbeziehungen und Vorgangsdauern

Nr.	Vorgang	Dauer [Tage]	Vorgänger	Termine	Ressourcen	Kosten
1	KURE	10	-			
2	ORRA	4	1			
3	PRAE	14	1			
4	UNTE	6	2			
5	ENDE	0	3, 4			

ENDE ist im strengen Sinne kein Vorgang, was auch durch die Dauer $D_5 = 0$ zum Ausdruck kommt (vgl. Tabelle 2.3). Er dient als Endmeilenstein des Projektes, an dem man als wichtiges Ergebnis die **Projektdauer** ablesen kann.

Nomenklatur

Bevor wir uns nun den elementaren Berechnungen im CPM-Netzplan zuwenden, ist es hilfreich, einige Anmerkungen zur Indizierung vorzunehmen, um das Verständnis der folgenden Ausführungen zu erleichtern. Die Indizes i bzw. j bezeichnen jeweils den einen Vorgang repräsentierenden Knoten i bzw. j . Dabei stellen die i die Vorgänger des Knoten j oder umgekehrt die j die Nachfolger des Knoten i dar. Beispielsweise sind ORRA und PRAE die Nachfolgerknoten von KURE, wohingegen PRAE und UNTE die Vorgängerknoten von ENDE sind. Die Anordnungsbeziehung zwischen i und j wird durch einen Pfeil dargestellt.

Vorwärtsrechnung

Nun berechnen wir zu jedem Vorgang j seine früheste Anfangszeit. Sie ergibt sich stets durch die Formel

$$(2.1) \quad FAZ_j = \max_i(FEZ_i) = \max_i(FAZ_i + D_i).$$

Bedenken Sie, dass die FAZ zu Beginn des Projektes immer 0 ist!

Beginnen Sie links und schreiben dann nach rechts fort. Berechnen Sie stets nur die FAZ eines Vorgangs, für dessen sämtliche Vorgänger FEZ bereits bekannt ist. Dabei ergibt sich innerhalb eines Knotens i

$$(2.2) \quad FEZ_i = FAZ_i + D_i.$$

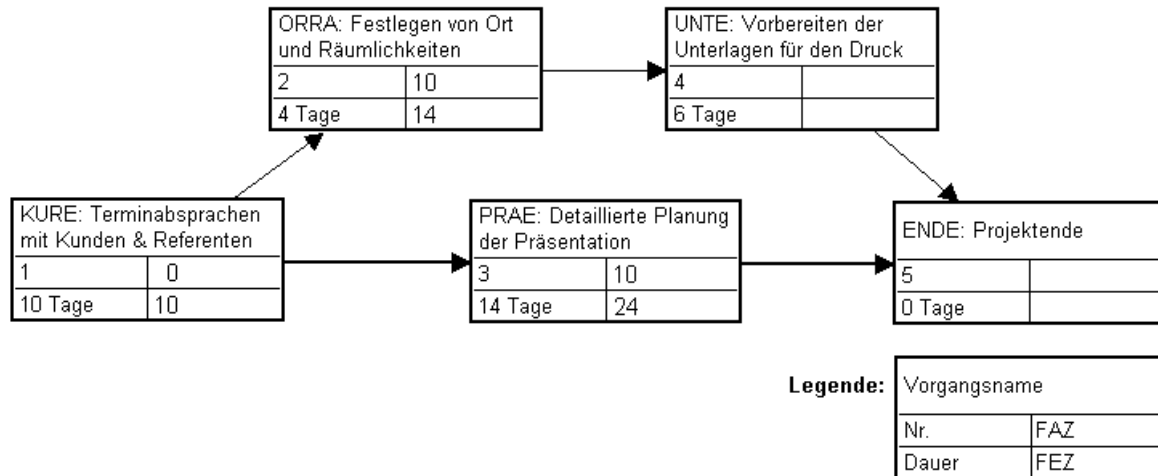


Abb. 2.3: Netzplan zu Tabelle 2.3

Wir haben einige Werte für Sie errechnet und in den Netzplan auf der vorigen Seite eingetragen.

$$\text{KURE} \quad \text{FAZ} = 0, \text{FEZ} = 0 + 10 = 10$$

$$\text{ORRA} \quad \text{FAZ} = 10, \text{FEZ} = 10 + 4 = 14$$

$$\text{PRAE} \quad \text{FAZ} = 10, \text{FEZ} = 10 + 14 = 24$$



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.1

Rückwärtsrechnung

Sind alle FAZ berechnet, ist insbesondere auch das früheste Projektende (24. Tag) bekannt. Nun wollen wir wissen, wann die Vorgänge spätestens beginnen müssen, ohne dieses Projektende zu gefährden. Wir berechnen für jeden Vorgang seine späteste Anfangszeit. Sie ergibt sich stets durch die Formel

$$(2.3) \quad \text{SAZ}_i = \min_j (\text{SAZ}_j - D_i).$$

Beginnen Sie rechts und schreiben dann nach links fort. Berechnen Sie stets nur die SAZ eines Vorgangs, für dessen sämtliche Nachfolger SAZ bereits bekannt sind.

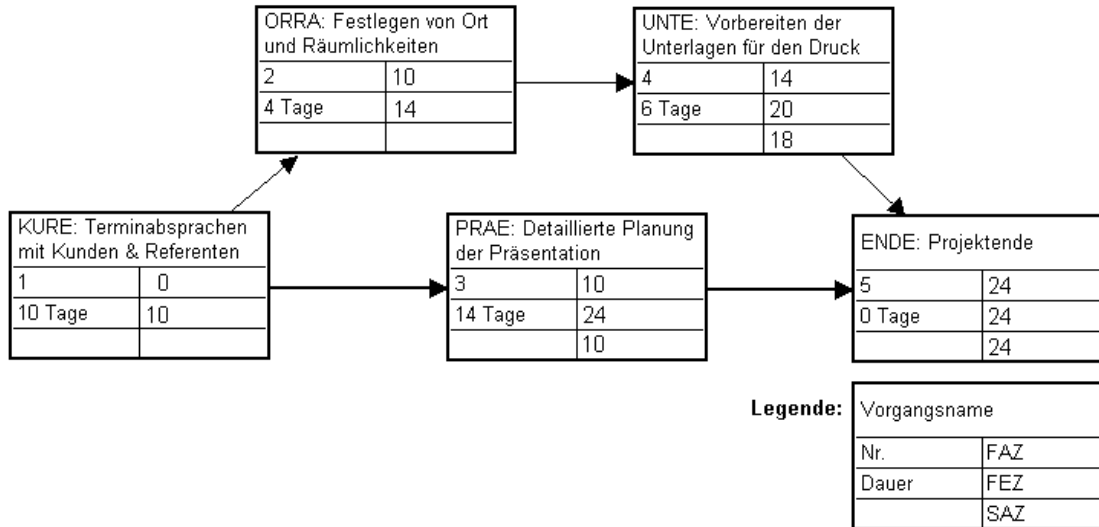


Abb. 2.4: Netzplan mit FAZ, FEZ und SAZ

Wir haben wiederum einige Werte für Sie berechnet und diese in den Netzplan der Abbildung 2.4 eingetragen.

ENDE SAZ = 24 (Falls man das Projekt auch spätestens zum Zeitpunkt 24 beenden will.)

UNTE SAZ = 24 – 6 = 18

PRAE SAZ = 24 – 14 = 10

Algorithmus 2.1 stellt die oben dargestellten Berechnungen in kompakter Form dar.



Algorithmus 2.1: Netzplanberechnung



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.2



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.3

Pufferzeiten

Sind alle FAZ und SAZ berechnet, kann man die Pufferzeiten ermitteln. Der Gesamtpuffer GP für den Vorgang i ergibt sich durch die Formel

$$(2.4) \quad GP_i = SAZ_i - FAZ_i.$$

Diese Pufferzeit stellt die Zeit dar, um die sich der Vorgang verzögern darf, ohne das berechnete Projektende zu gefährden.

Neben dem Gesamtpuffer gibt es noch den freien Puffer FP. Ihn ermittelt man nach der Formel

$$(2.5) \quad FP_i = \min_j(FAZ_j) - FEZ_i.$$

Natürlich ist der FP stets kleiner oder gleich dem GP (warum?); FP ist restriktiver als GP. Hiermit wird die Zeit errechnet, um die sich der Vorgang verzögern darf, ohne die FAZ auch nur eines Nachfolgers zu gefährden. Insbesondere haben dadurch alle Nachfolger noch ihren vollständigen GP zur Verfügung!

Berechnen Sie nun alle Gesamtpuffer und überprüfen unsere Angaben im Netzplan in Abbildung 2.5. Berechnen Sie dann die FP für die Knoten UNTE und PRAE und überprüfen ebenfalls unsere Angaben.

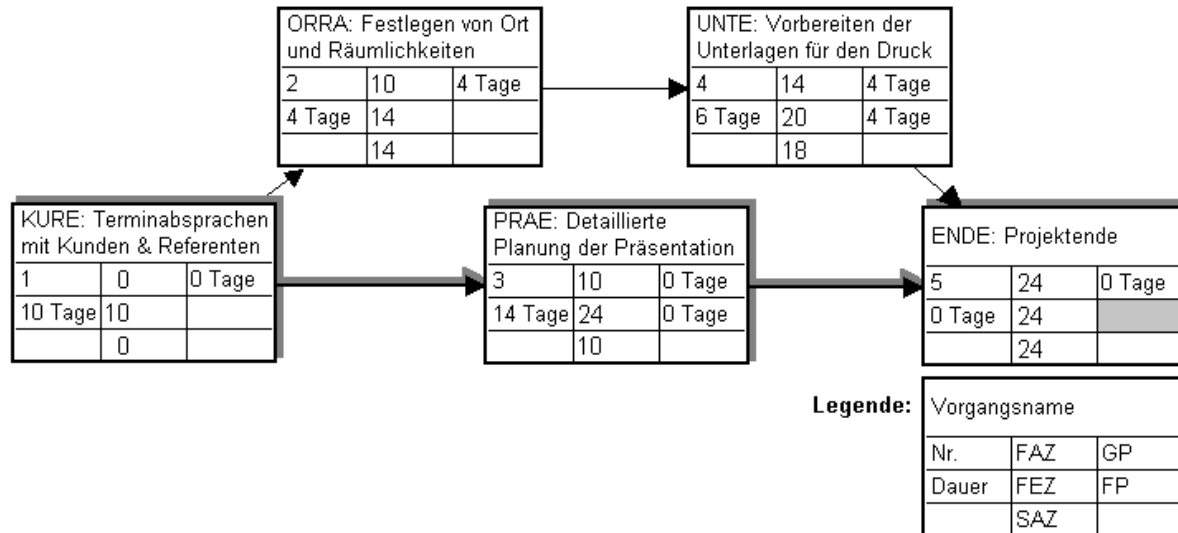


Abb. 2.5: Netzplan mit GP und FP



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.4



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.5

2.5 Zeitrechnung mit Wartezeiten und Termineinschränkungen

Aufgrund von Sachzusammenhängen kann es erforderlich sein, positive oder negative **Wartezeiten** WZ vorzugeben. Positive Wartezeiten müssen nach Ende des Vorganges in jedem Fall bis zum Beginn des Nachfolgers verstreichen; negative Wartezeiten erlauben einen Beginn des Nachfolgers vor dem Ende des Vorgängers. Wir führen nun das Beispiel mit Wartezeiten fort (vgl. Tabelle 2.4).

Tab. 2.4: Vorgangsliste zusätzlich Wartezeiten

Nr.	Vorgang	Dauer [Tage]	Vorgänger	Termine	Ressourcen	Kosten
1	KURE	10	-			
2	ORRA	4	1 EA +0			
3	PRAE	14	1 EA -4			
4	UNTE	6	2 EA +2			
5	ENDE	0	3 EA +0 4 EA +0			

Konkret sei angenommen, dass die **E**nde/**A**nfang-Beziehung EA zwischen Vorgang PRAE ($j=3$) und seinem Vorgänger KURE ($i=1$) eine Überlappung von 4 Tagen erlaubt; mit der Präsentationsvorbereitung kann daher schon 4 Tage vor Beendigung von KURE begonnen werden, da sich bereits ein positives Abstimmungsergebnis mit Kunden und Referenten abgezeichnet hat. Man bildet diese Überlappung durch eine negative Wartezeit $WZ_{13} = -4$ ab.

Demgegenüber will man vor dem Festlegen des Präsentationsortes und vor der Buchung von Hotelzimmern noch die schriftliche Teilnahmebestätigung der Kunden und Referenten abwarten, für die man zwei Tage ansetzt. Sind keine Wartezeiten vorgesehen ($EA + 0$), unterdrückt man diese Information gewöhnlich in der Vorgangsliste.

Wartezeiten WZ berücksichtigt man bei der Vorwärtsrechnung gemäß der Formel

$$(2.6) \quad FAZ_j = \max_i (FEZ_i + WZ_{ij}) = \max_i (FAZ_i + WZ_{ij} + D_i)$$

und bei der Rückwärtsrechnung gemäß

$$(2.7) \quad SAZ_i = \min_j (SAZ_j - WZ_{ij}) - D_i$$

Natürlich ändern sich damit auch die Pufferzeiten! Für den GP gilt nach wie vor $GP_i = SAZ_i - FAZ_i$ des *neu berechneten* Netzplans. Den FP erhält man mittels der Formel

$$(2.8) \quad FP_i = \min_j (FAZ_j - WZ_{ij}) - FEZ_i$$

Wir geben Ihnen nun den unter Berücksichtigung der Wartezeiten neu berechneten Netzplan an (vgl. Abbildung 2.6). Überprüfen Sie insbesondere die korrigierten Zeiten für FAZ, SAZ und GP. Wartezeiten mit Vorzeichen werden im Netzplan an den Pfeilen vermerkt.

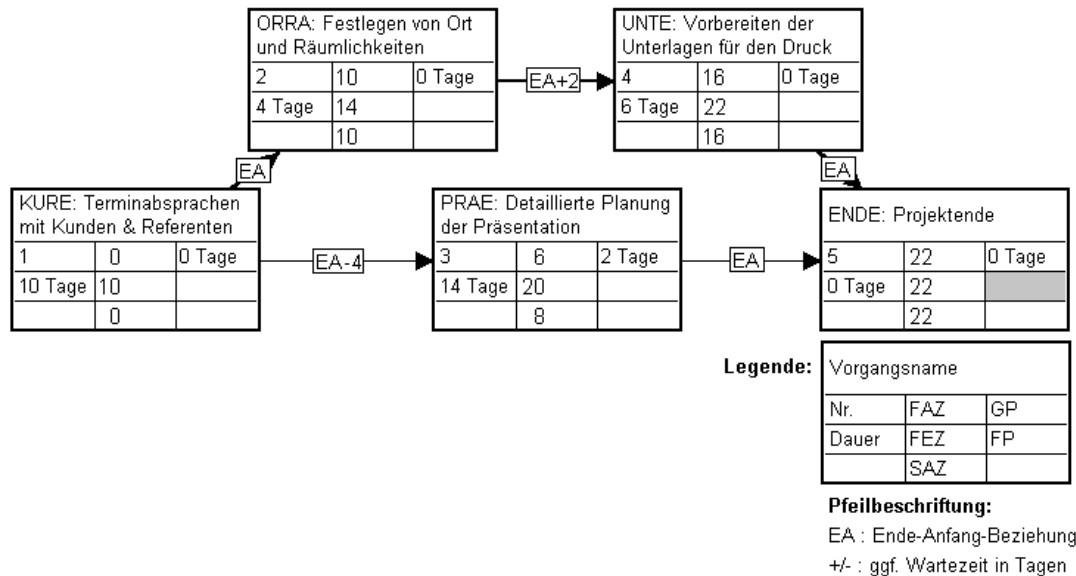


Abb. 2.6: Netzplan zusätzlich Wartezeiten



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.6

Eine **Termineinschränkung** bezieht sich auf den Anfang oder das Ende eines Vorgangs. So mag der Planer einen Vorgang nicht vor einem Datum FAZ^+ oder nicht nach einem Datum SAZ^- beginnen lassen oder sogar auf einen Fixtermin $AZ^=$ legen wollen. In diesem Kurs betrachten wir keine Einschränkungen vom Typ FEZ^+ . Wir gehen wieder so vor, dass wir die Vorgangsliste erweitern – diesmal um solche Termineinschränkungen – und dann dazu den Netzplan zeichnen.

Tab. 2.5: Vorgangsliste zusätzlich Termineinschränkungen

Nr.	Vorgang	Dauer [Tage]	Vorgänger	Termine	Ressourcen	Kosten
1	KURE	10	-			
2	ORRA	4	1 EA	$FAZ^+ : 14$		
3	PRAE	14	1 EA – 4	$AZ^= : 10$		
4	UNTE	6	2 EA + 2			
5	ENDE	0	3 EA, 4EA	$SAZ^- : 24$		

Zunächst zeigen wir Ihnen in Abbildung 2.7 den korrigierten Netzplan unter Berücksichtigung von $FAZ^+ : 14$ und $AZ^- : 10$ (vgl. Tabelle 2.5). Solche Einschränkungen heben die Wirkung der Vorwärts- und Rückwärtsrechnung teilweise auf, da nun Termine erzwungen werden.

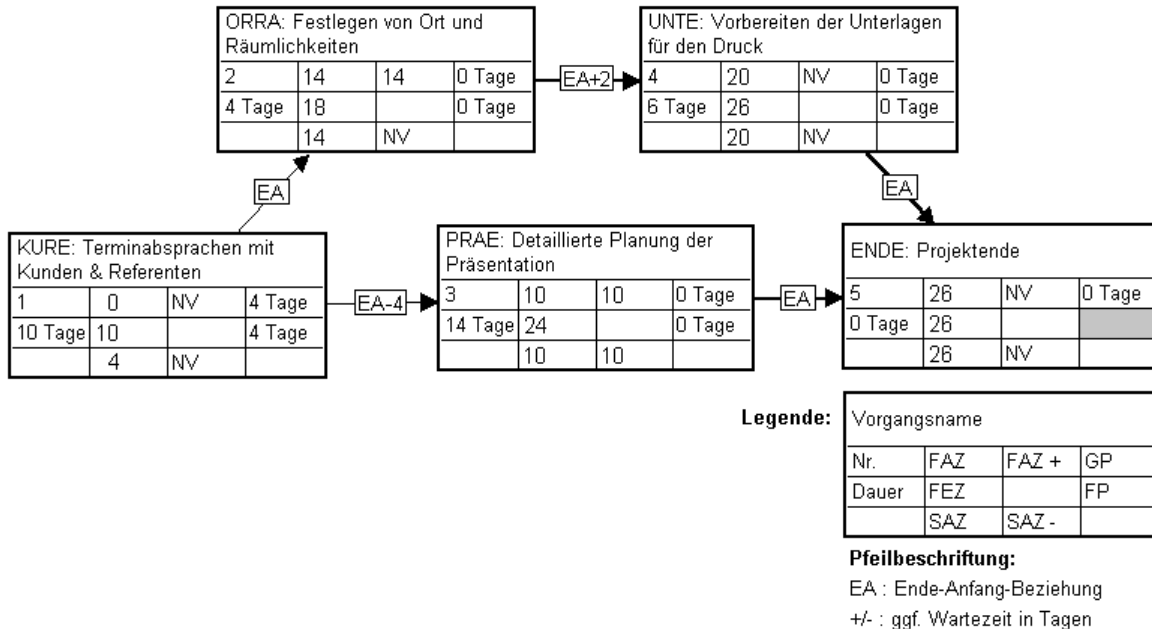


Abb. 2.7: Netzplan zusätzlich Termineinschränkungen



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.7

Nun fehlt noch die Einbeziehung der Termineinschränkung $SAZ^- : 24$ beim Projektende **ENDE**. Sie bedeutet inhaltlich, dass man das Projekt unbedingt bereits am 24. Kalendertag nach Projektbeginn abschließen möchte. Wie wir im folgenden Netzplan sehen werden, führt diese Forderung zu Terminkonflikten, da früheste und späteste Zeiten sowie Dauern nicht mehr miteinander vereinbar sind. Wir geben den Netzplan jetzt an, in dem die FAZ der übrigen Vorgänge beibehalten, alle SAZ, GP und FP jedoch neu berechnet wurden (s. Abbildung 2.8).

Die **Terminkonflikte** offenbaren sich im Netzplan durch negative Pufferzeiten! Der Vorgang **UNTE** soll am 20. Tag frühestens und am 18. Tag spätestens anfangen. Das ergibt einen Gesamtpuffer von -2; gleiches gilt für **ORRA**. Solche Terminkonflikte müssen aufgelöst werden. Dazu bieten sich folgende Möglichkeiten an:

Rücknahme der SAZ⁻-Forderung am Projektende,

Vorverlegen des Projektbeginns um 2 Tage und entsprechenden Abgleich der FAZ⁺ und SAZ⁻- Beschränkungen, wie sie vorher eingerechnet wurden,

Beschleunigung des Vorgangs ORRA oder des Vorgangs UNTE um 2 Tage,

Rücknahme der Wartezeit zwischen ORRA und UNTE.

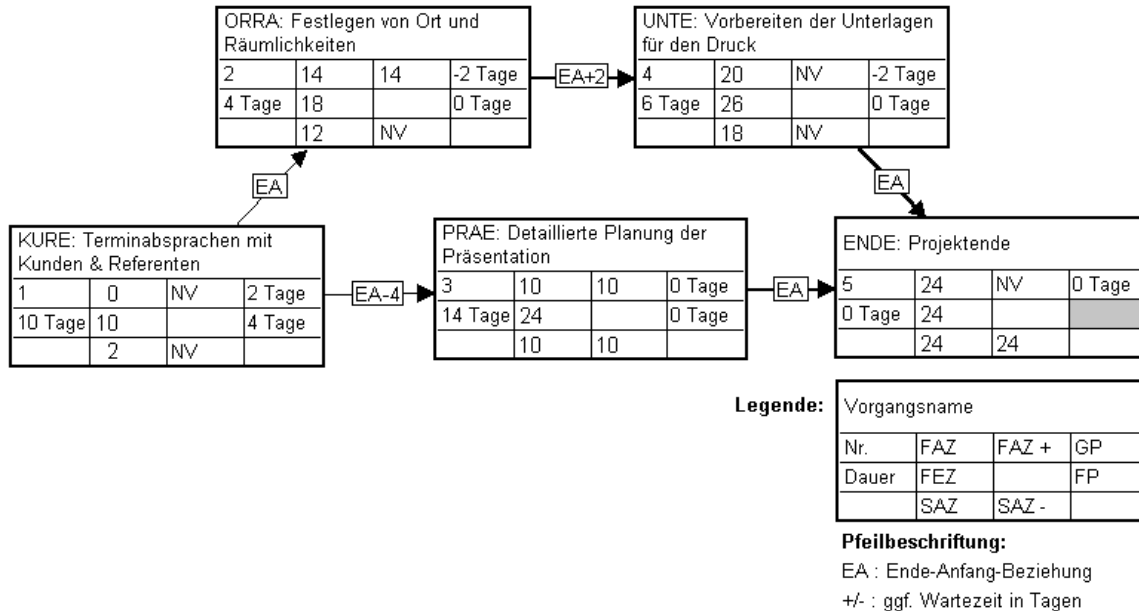


Abb. 2.8: Netzplan zusätzlich weiterer Termineinschränkungen



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.8

In MS-PROJECT wird der Benutzer bei Festlegen der Termineinschränkung für ENDE auf einen möglichen Konflikt hingewiesen, und es werden allgemeine Strategien zur Auflösung angeboten (vgl. Abbildung 2.9).

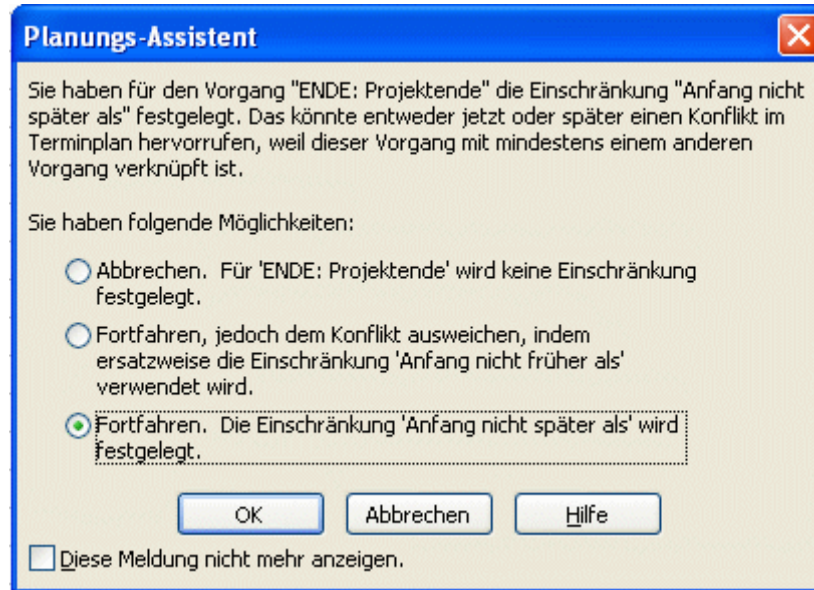


Abb. 2.9: Meldung in MS-Project bei Terminkonflikt

2.6 Ressourcen- und Kostenplanung

Neben der Einplanung der Vorgänge eines Projekts gemäß ihrer sachlich / zeitlichen Abhängigkeiten werden auch notwendigerweise benötigte **Ressourcen** und damit verbundene Kosten berücksichtigt, die von den Vorgängen beansprucht werden: Personal, Maschinen, Räumlichkeiten, Fremdleistungen.

Ressourcenverzehr und Kosten im Projekt über die Zeitachse auszuweisen und mit denen anderer Projekte und der Linie abzugleichen, ist ein wichtiges Projektziel und wird von modernen NPT-Programmen unterstützt. Insbesondere können auch aus der Kostenplanung ableitbare Auszahlungen und deren Termine wichtig sein.

Bei der Kostenplanung einer Projektphase werden Kosten vorausgegangener Phasen als fix betrachtet und die aktuellen **Durchführungskosten** über die **Vorgangskosten** errechnet. Vorgangskosten setzen sich aus einem vorgangsfesten und einem vorgangsvariablen Bestandteil zusammen. Fix ist beispielsweise das vereinbarte Honorar eines externen Dienstleisters, variabel sind die während eines Vorgangs anfallenden Ressourcenverbräuche wie Mitarbeiter oder Maschinen. Sie ergeben sich aus dem Produkt der Zeitkostensätze und der Vorgangsdauer. Dabei ergeben sich die Zeitkostensätze aus der Summe der Kosten des Trägers selbst sowie anteiliger, beispielsweise auf Kostenstellen umgelegte Kosten. Diese kalkulatorischen Vollkostensätze können insbesondere für das Personal erheblich über dem anteiligen Bruttolohn zuzüglich Lohnnebenkosten liegen.

Für unser kleines Projekt mögen diese Vollkostensätze für

- Müller (als Leiter) 350,-- € / Tag,
- Hübner (als Sachbearbeiterin) 250,-- € / Tag und
- Schubert (als Auszubildende) 75,-- € / Tag

beantragen.

Tab. 2.6: Vorgangsliste zusätzlich mit Ressourcenverbräuchen und Vorgangskosten

Nr.	Vorgang	Dauer [Tage]	Vorgänger	Termine	Ressourcen	Kosten [€]	
						variabel	fix
1	KURE	10	-		Mü [0.5], Hü [0.5]	3.000,--	
2	ORRA	4	1 EA	FAZ ⁺ : 14	Hü [0.25], Sch [0.5]	400,--	150,--
3	PRAE	14	1 EA – 4	AZ ⁼ : 10	Mü [0.25], Hü [0.5]	2.975,--	
4	UNTE	6	2 EA + 2		Mü [0.33], Hü [0.5] Sch [1.0]	1.893,--	
5	ENDE	0	3 EA, 4	SAZ ⁻ : 24			

Die anteilige Verwendung im Projekt wird in eckigen Klammern vermerkt. Die Fixkosten für die Inanspruchnahme einer Auskunft bei Vorgang ORRA sind gesondert ausgewiesen. Damit erhält man etwa die in Tabelle 2.6 gezeigte, erweiterte Vorgangsliste.

2.7 Kontrolle und Steuerung

Während der Projektplanung bekanntwerdende strukturelle, terminliche, technische oder budgetmäßige Änderungen führen dazu, dass der Netzplan überprüft und ggf. überarbeitet werden muss.

Das Gleiche gilt für Änderungen während der Projektdurchführung. Diese Anpassung der Planung für die Zukunft heißt **Projektsteuerung**.



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.9

Alle Zeitrechnungen sind bisher mit dem Projektbeginn als Bezugspunkt durchgeführt worden. In der Realität dürfen selbstverständlich für ein Projekt nur Werktage eingeplant werden, Wochenenden und sonstige freie Tage können nur in besonderen Situationen berücksichtigt werden. Die Berücksichtigung von Kalenderdaten erfolgt bei NPT-Programmen automatisch; eine für jeden Mitarbeiter individuelle Festlegung von Arbeitszeiten und -tagen für ein Projekt ist in der Regel möglich.

Unterstellt man, dass mit der Vorbereitung der Werbeveranstaltung am 26. Juni 2001 begonnen werden soll, ergibt sich unter Berücksichtigung der angegebenen Wartezeiten (vgl. Abb. 2.6) der unten stehende Netzplan, in dessen Knoten die tatsächlichen Termine eingetragen sind. Darüber hinaus sind alle Vorgänge unter Annahme ihres Starts zum frühestmöglichen Zeitpunkt in ein Kalenderblatt eingetragen.

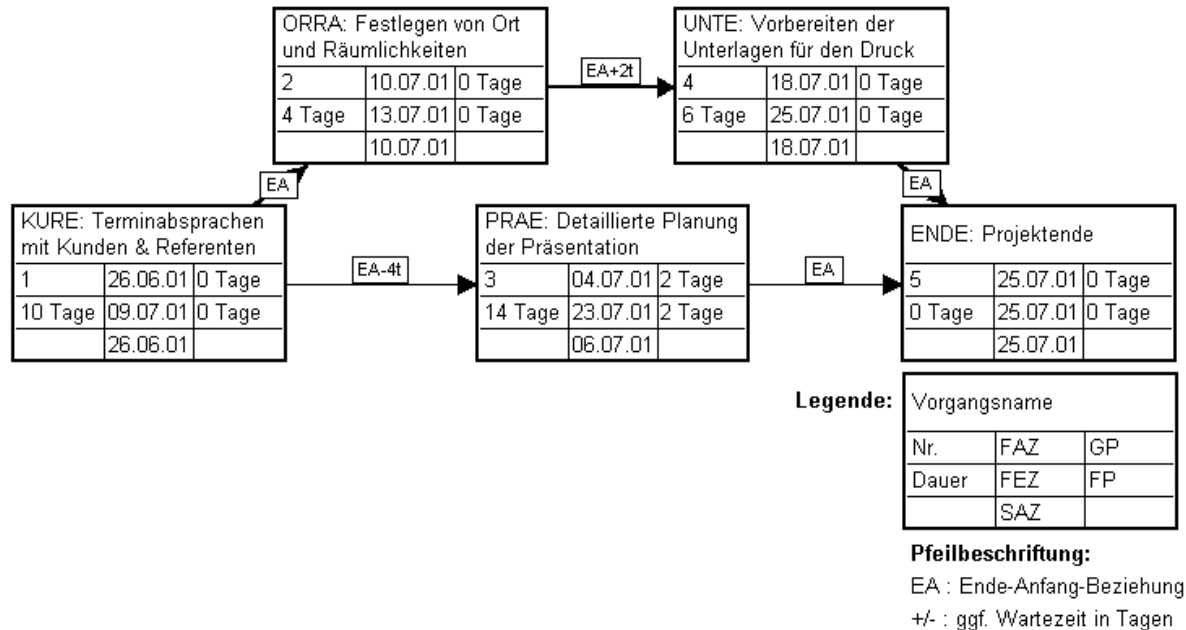


Abb. 2.10: Kalenderbasierter Netzplan zu Abbildung 2.6

Der Beachtung von Arbeitszeiten kommt vor allem bei der Projektüberwachung besondere Bedeutung zu. Ein Instrument zur Projektübersicht und Fortschrittsanalyse, das auch in den gängigen NPT-Programmen zur Verfügung steht, möchten wir Ihnen noch kurz vorstellen: das Balkendiagramm. MS-PROJECT bietet unter dem Menüpunkt ANSICHT → BALKENDIAGRAMM: ÜBERWACHUNG. diese Möglichkeit der Projektkontrolle.

Das Balkendiagramm

Sortiert man die Vorgänge nach ihren frühesten Anfangszeiten FAZ aufsteigend – eine Option, die von NPT-Programmen standardmäßig zur Verfügung gestellt wird – und trägt sie über der Zeitachse zu ihren FAZ linksbündig ein, so erhält man eine gute, kalenderorientierte Projektübersicht. Für unser kleines Projekt mit Projektbeginn am 26. Juni 2001, dem 2. Tag der 26. Kalenderwoche (KW) erhält man auf der Basis des Netzplans in Abbildung 2.6, das in Abbildung 2.10 gezeigte Balkendiagramm.

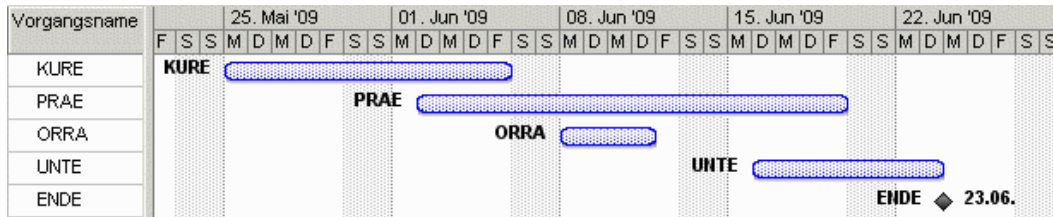


Abb. 2.11: Balkendiagramm zum Netzplan in Abbildung 2.6

Dieses Vorgehen fassen wir in Algorithmus 2.2 im Pseudo-Code zusammen.



Algorithmus 2.2: Balkendiagramm-Erstellung



Lösen Sie nun die Übungsaufgabe 2.10

Weiter zu Kapitel 3