



Universität
Zürich^{UZH}

Institut für Betriebswirtschaftslehre

Operations Management

Einführung

Prof. Dr. Helmut Dietl





Literatur

F. Robert Jacobs, Richard B. Chase (2021), **Operations and Supply Chain Management**, Global Edition, 16. Auflage, McGraw Hill.

Das Lehrbuch steht Ihnen im Handapparat in der Bibliothek für Betriebswirtschaft an der Plattenstrasse 14, 8032 Zürich, zur Verfügung.



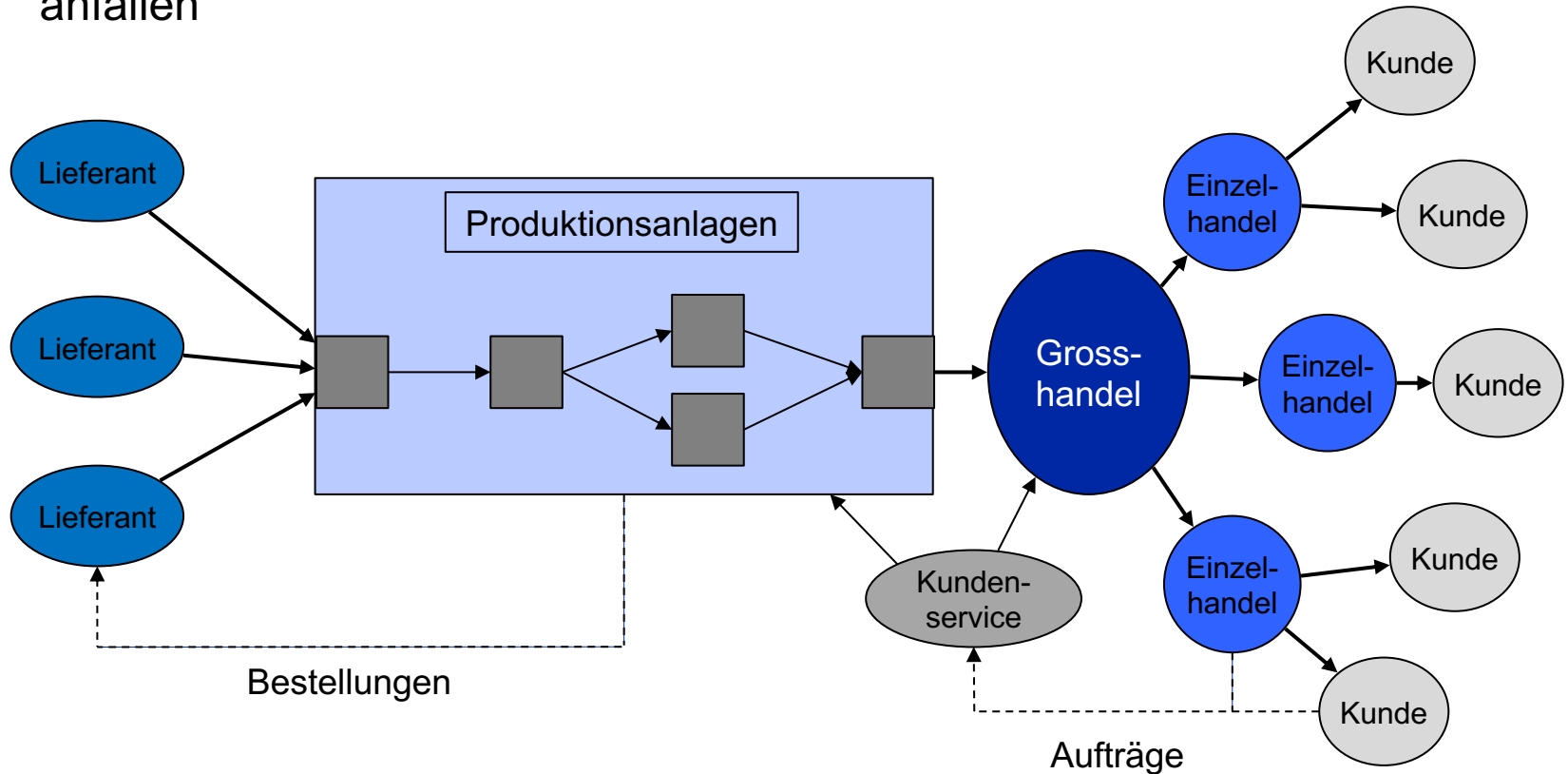
Lernziele Einführung

Nach dieser Veranstaltung sollen Sie wissen,

- was man unter „Operations“ versteht
- was Operationsmanagement (OM) bedeutet
- welche Zusammenhänge zwischen Wettbewerbsstrategie, Operationsstrategie und Operationsmanagement bestehen
- wie Operationsmanagement und Unternehmenserfolg zusammenhängen
- wie Unternehmen durch OM Wettbewerbsvorteile erzielen können

Operations

Alle Aktivitäten und Prozesse, die im Rahmen der Leistungserstellung anfallen





Beispiel: Mercedes-Benz Group



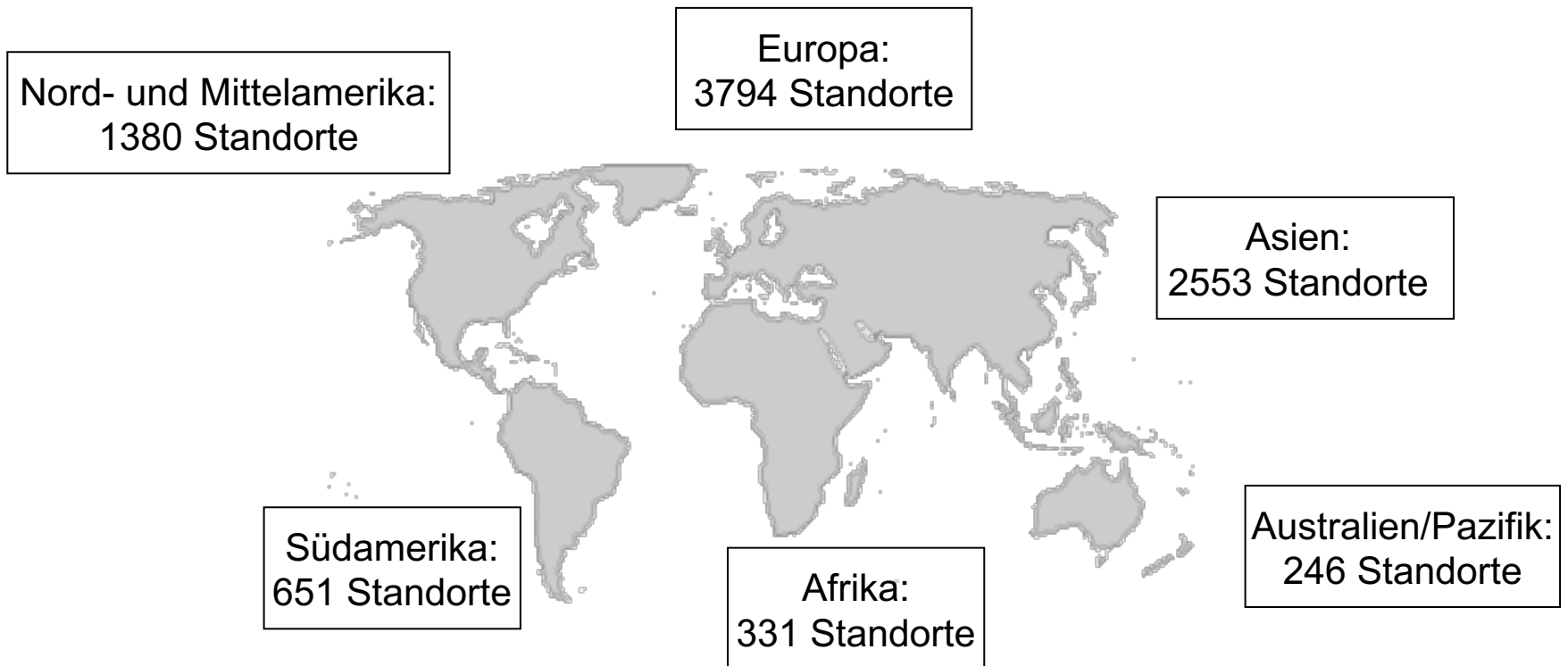


Mercedes-Benz Group AG

- **Umsatz:** € 133.9 Mrd. (Geschäftsjahr 2021)
- **Sachinvestitionen:** € 4.58 Mrd. (Geschäftsjahr 2021)
- **Absatz in Einheiten:** 2.75 Mio. Fahrzeuge (Geschäftsjahr 2021)
- **Beschäftigte:** 250'768 (Stand: Jahresende 2021)
- **Marken:** Mercedes-Benz, Mercedes-AMG, Mercedes-Maybach, smart, Mercedes me, EQ, Mercedes-Benz Bank, Mercedes-Benz Financial, Athlon (Stand: 2021)
- **Vertriebsorganisation:** Fahrzeugmodelle werden in rund 200 Ländern verkauft, automobiler Finanzdienstleistungen werden in über 40 Ländern angeboten (Stand: 2021)



Mercedes-Benz (vor Konzernspaltung): 8955 Standorte davon 71 Produktionsstandorte



Übersicht: Stand 2020, Daimler



Beispiel: Mercedes-Benz

- Welche Aktivitäten sind angefangen bei der Modellentwicklung bis zum Kauf durch die Kunden erforderlich?
- Wie werden diese Aktivitäten koordiniert?
- Welche Entscheidungen werden getroffen?
- Welche Auswirkungen haben diese Entscheidungen auf das Unternehmensergebnis?



Produkte vs. Dienstleistungen

Produkte

Schokolade

Coca Cola

Handy

Schuhe

Auto

Möbel

Computer

Papier, etc.

Dienstleistungen

Lebensversicherung

E-Mail

BWL-Ausbildung

Briefdienst

Kontoführung

Krankenpflege

Reisebuchung

Kreditkarten, etc.



Operationsmanagement

Definition:

Als Operationsmanagement bezeichnet man den Entwurf, den Betrieb und die Verbesserung des Systems der betrieblichen Leistungserstellung.

Aufgaben	
Operationsstrategie	Zeitmanagement
Projektmanagement	Nachfragemanagement
Produktdesign	Produktionsplanung
Prozessmanagement	Lagerhaltungsmanagement
Qualitätsmanagement	Materialbedarfsplanung
Supply Chain Management	Terminplanung
Kapazitätsmanagement	...



OM umfasst das Management von Transformationsprozessen

Transformation wird ermöglicht durch Management der

- Mitarbeiter
- Prozesse
- Systeme
- Technologien





Zusammenhang zwischen OM und Unternehmenserfolg

1. Wertschöpfung für die Kunden

- Preis
- Qualität
- Vielfalt
- Schnelligkeit
- Service
- Innovation

2. Wertschöpfung für die Aktionäre

- $\text{Return on Equity} = \text{Return on Assets} * \text{Finanzierungshebel}$

↑
wird durch
Operations
beeinflusst

↑
wird durch Operations
nicht beeinflusst



Zusammenhang zwischen OM und Return on Assets

Return on Assets = (Umsatz – Kosten) / Total Assets

Return on Assets = Profit Margin x Asset Turnover

Profit Margin = (Umsatz – Kosten) / Umsatz

Asset Turnover = Umsatz / Total Assets

Umsatz

- Preis, Qualität, Vielfalt, Lieferzeit, Service, Innovation

Kosten

- Produktivität, Ausschuss, Sourcing

Asset Turnover

- Auslastungsgrad, Lagerumschlag



Mercedes-Benz: 2021

2021 Gewinn (in Mio. €)	
Umsatzerlöse	133'893
- Umsatzkosten	-103'218
<u>= Bruttoergebnis</u>	<u>30'675</u>
- Vertriebs- und Verwaltungskosten	-12'002
- Forschungs- und nicht aktivierte Entwicklungskosten	-5'467
+/- Sonstiges betriebliches Ergebnis	+1'153
<u>= Operatives Ergebnis</u>	<u>14'359</u>



Mercedes-Benz: 2021

2021 Total Assets (in Mio. €)	
Langfristige Vermögenswerte	156'902
+ Kurzfristige Vermögenswerte	102'929
Vorräte	21'466
Forderungen	41'343
Sonstige	40'120
<u>= Total Assets</u>	<u>259'831</u>

Return on Assets = 5.53%	
--------------------------	--



Welche Auswirkungen hat ein verbessertes OM (Gewinn)?

2021 Gewinn (in Mio. €)	neu	%
Umsatzerlöse	135'232	+ 1.0%
- Umsatzkosten	-102'702	- 0.5%
<u>= Bruttoergebnis</u>	<u>32'530</u>	<u>+ 8.5%</u>
- Vertriebs- und Verwaltungskosten	-11'942	- 0.5%
- Forschungs- und nicht-aktivierte Entwicklungskosten	-5'467	
+/- Sonstiges betriebliches Ergebnis	+1'153	
<u>= Operatives Ergebnis</u>	<u>16'274</u>	<u>+ 13.3%</u>

Return on Assets = 6.26%		
--------------------------	--	--



Welche Auswirkungen hat ein verbessertes OM (Assets)?

2021 Total Assets (in Mio. €)	neu	%
Langfristige Vermögenswerte	149'057	- 5.0%
+ Kurzfristige Vermögenswerte	101'694	- 1.2%
Vorräte	20'393	- 5.0%
Forderungen	41'343	
Sonstige	40'120	
<u>= Total Assets</u>	<u>250'751</u>	<u>-3.5%</u>

Return on Assets = 6.49%		
--------------------------	--	--



Auswirkungen auf den Return on Equity (ROE)

Eigenkapital 2021 (in Mio. €) = 73'167

Return on Equity (ROE) 2021 = 19.6%

Bei verbessertem OM: ROE 2021 = 22.2%



Ableitung von OM-Zielen aus der Wettbewerbsstrategie

Haben wir einen Qualitätsvorteil gegenüber Wettbewerbern?

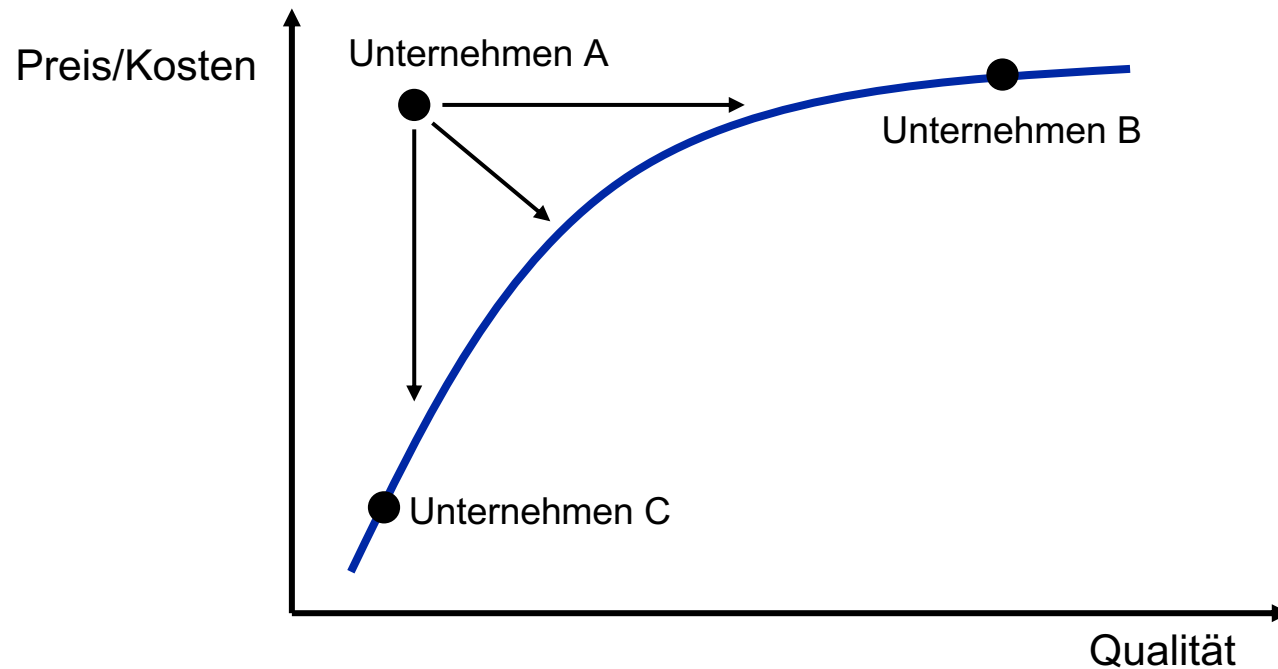
- Falls ja, worauf beruht dieser Vorteil?
 - Qualität, Vielfalt, Lieferzeit, Service, Innovation
- Wie können wir diesen Vorteil ausbauen/verteidigen?
 - Ressourcen, Prozesse, Fähigkeiten

Haben wir einen Kostenvorteil gegenüber Wettbewerbern?

- Falls ja, worauf beruht dieser Vorteil?
 - Grössenvorteile, Verbundvorteile, Erfahrungskurvenvorteile
- Wie können wir diesen Vorteil ausbauen/verteidigen?
 - Produktivitätssteigerung, Rationalisierung, Kapazitätsauslastung, Prozessoptimierung, Sourcing

Zusammenhang zwischen Wettbewerbsstrategie und OM

Ausgangspunkt ist das Wertediagramm:





Beispiele

Benetton S.p.A.

Aldi

Southwest Airlines

Apple



Benetton

- Grössenvorteile
 - grösster Wollenkäufer der Welt
- Flexibilität
 - Farbgebung am Ende des Produktionsprozesses
- Netzwerkorganisation
 - Franchisesystem, Subunternehmer, Produktionsnetzwerk bei Treviso
- Informations- und Kommunikationssysteme
 - Boutiquen sind mit Zentrale verbunden → aktuelle Nachfrage- und Verkaufsdaten



Aldi (1/2)

- Klare Integration von Marketing und Operations
- Einfaches Filialdesign → Einfach einzukaufen
 - Breite Gänge, blanke Fussböden, günstige Beleuchtung (einfach, hell, reichlich)
- Einfache Auslage
 - Oftmals mit Originalverpackung der Hersteller
- Lagerhausartige Regale
- Begrenztes Personal
- Begrenzte Produktvielfalt (ca. 25% im Vergleich zu Wettbewerbern)
- Geräumige und schnelle Checkouts (3 Barcodes auf jedem Produkt)



Aldi (2/2)

- Kunden werden ermuntert eigene Einkaufstaschen zu verwenden
- Doppelgarantie (Ersatz und Geld-zurück)
- Keine Sonderpreise → Jeden Tag niedrige Preise
 - Wettbewerber sind auf Sonderpreise und Cross-Selling angewiesen
 - Stabile Nachfrage
- Stabile Nachfrage ermöglicht der gesamten Supply Chain Kosten zu reduzieren
 - Sonderpreise erschweren es der Supply Chain kosteneffizient zu sein



Southwest Airlines

- Point-to-Point-System anstatt Hub-and-Spoke-System
- Durchschnittliche Flugzeit 1 Stunde
- Schnelles Ein- und Auschecken (insg. nur 20 min)
- Hohe Standardisierung/günstigste Kostenstruktur aller Fluglinien
 - Nur Boeing 737
 - Einfache Preisstruktur
 - Keine Sitzplatznummern
- Hohe Kundenzufriedenheit
 - Geringste Anschluss- und Gepäck-Verlustrate



Apple

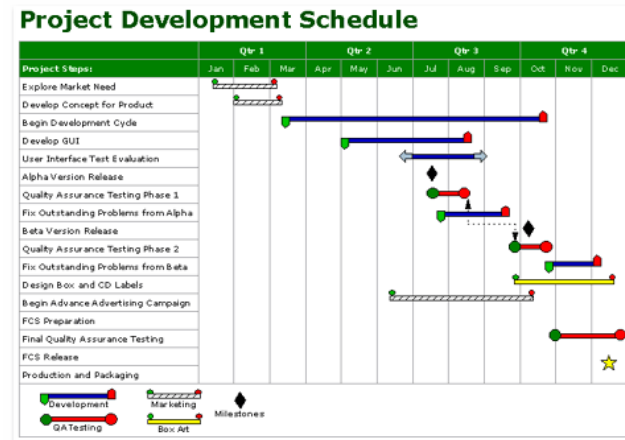
- Grosses Netzwerk an Zulieferern, Entwicklern und Geschäftspartnern
 - Eigene Chiphersteller (→ Apple kontrolliert Herstellung)
 - Sehr strikte Softwarestandards
 - Apple betreibt eigene Stores
 - Verträge mit führenden Musik- und Unterhaltungsfirmen dienen als reiche Quelle für Medien
 - Netzwerk von über 6 Millionen selbstständigen Softwareentwicklern entwickelt Anwendungen für Appleprodukte
- ➔ Gibt Apple Kontrolle über den gesamten Prozess der Produktentwicklung, -herstellung und -vermarktung. Ein Vorteil, den Wettbewerber nur schwer erreichen können.



Operations Management

Projektmanagement

Prof. Dr. Helmut Dietl





Lernziele Projektmanagement

Nach dieser Veranstaltung sollten Sie

- wissen, was man unter Projektmanagement versteht
- einen Projektstrukturplan (Work Breakdown Structure) erstellen können
- Gantt-Diagramme erstellen und anwenden können
- Projektnetzpläne erstellen können
- kritische Pfadanalysen durchführen können
- knappe Ressourcen effizient in einem Projekt verteilen können
- die Projektdauer reduzieren können (sog. Crashing)
- Projekte unter Unsicherheit managen können



Definition eines Projektes

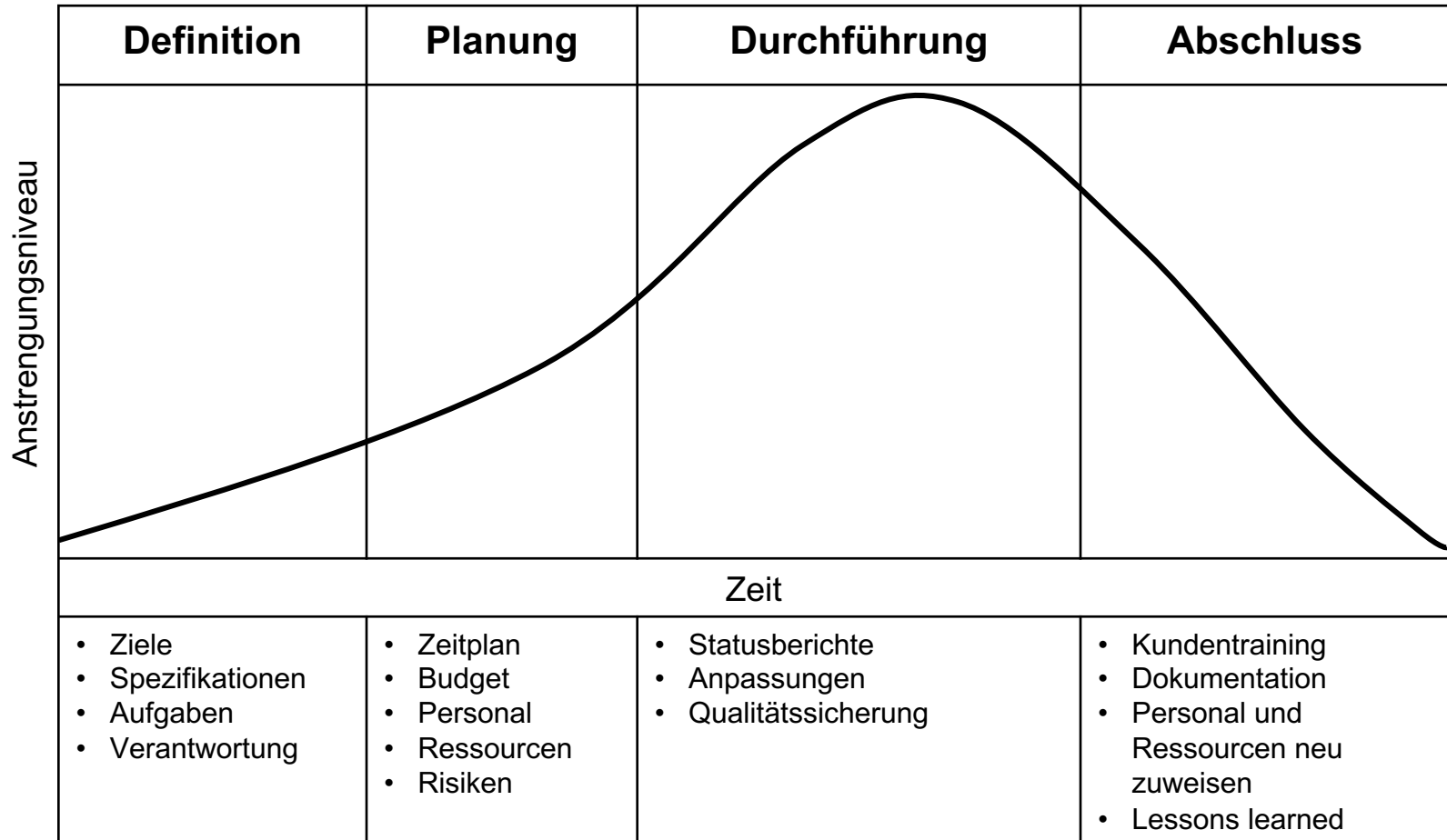
- Eigenschaften von Projekten
 - Einmalig (keine Routine)
 - Temporär (definierter Anfang und Ende)
 - Definierte Ziele
 - Abhängigkeit unterschiedlicher Aktivitäten
 - Konflikte zwischen verschiedenen Stakeholdern
- Beispiele
 - Softwareentwicklung
 - Business Process Reengineering
 - Olympische Spiele veranstalten



Kritische Dimensionen von Projekten

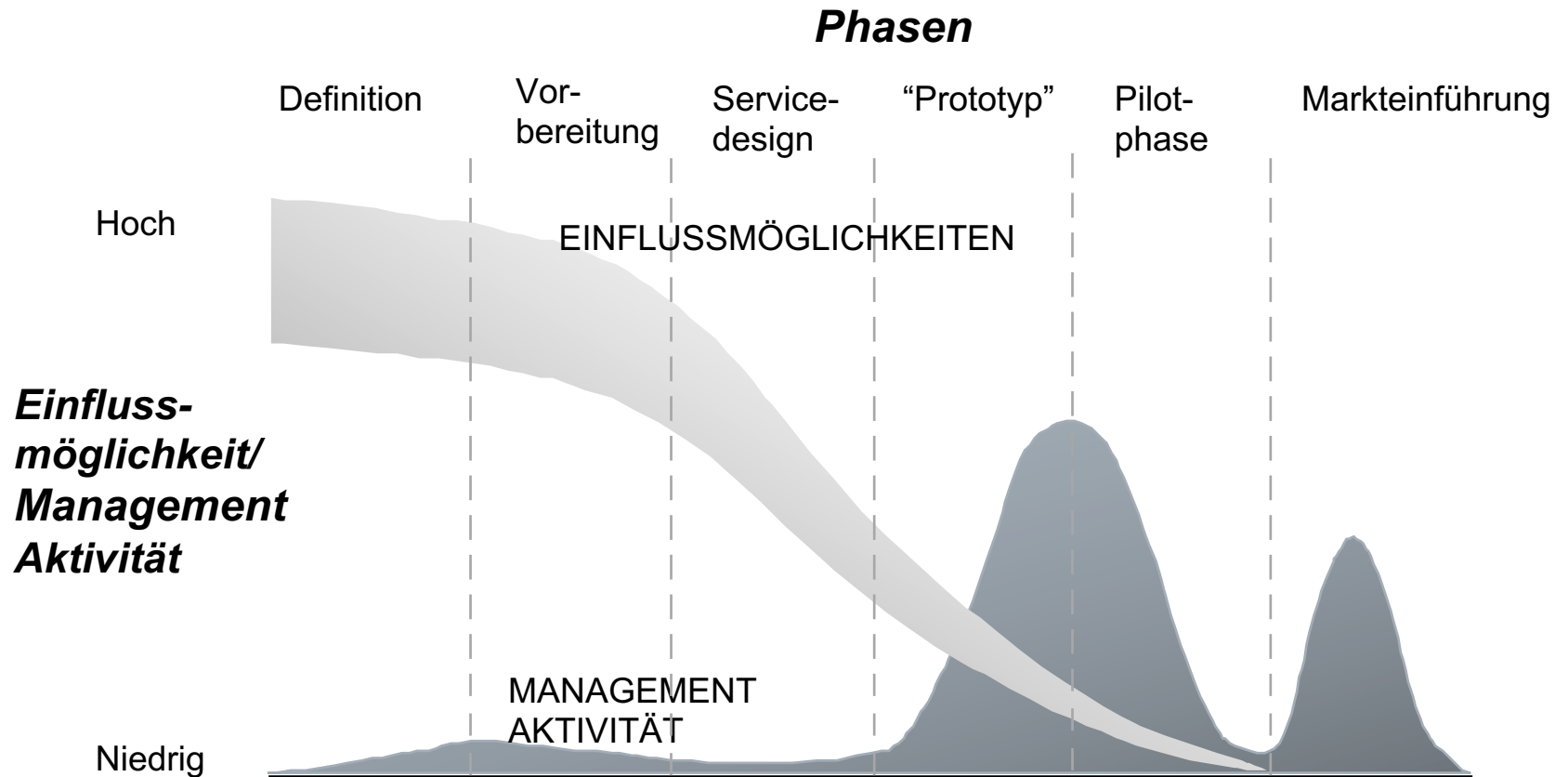
- Kosten
- Qualität
- Dauer

Projektlebenszyklus



Nach: Stevenson, 2009.

Projektdilemma (Beispiel: Neuer Service)



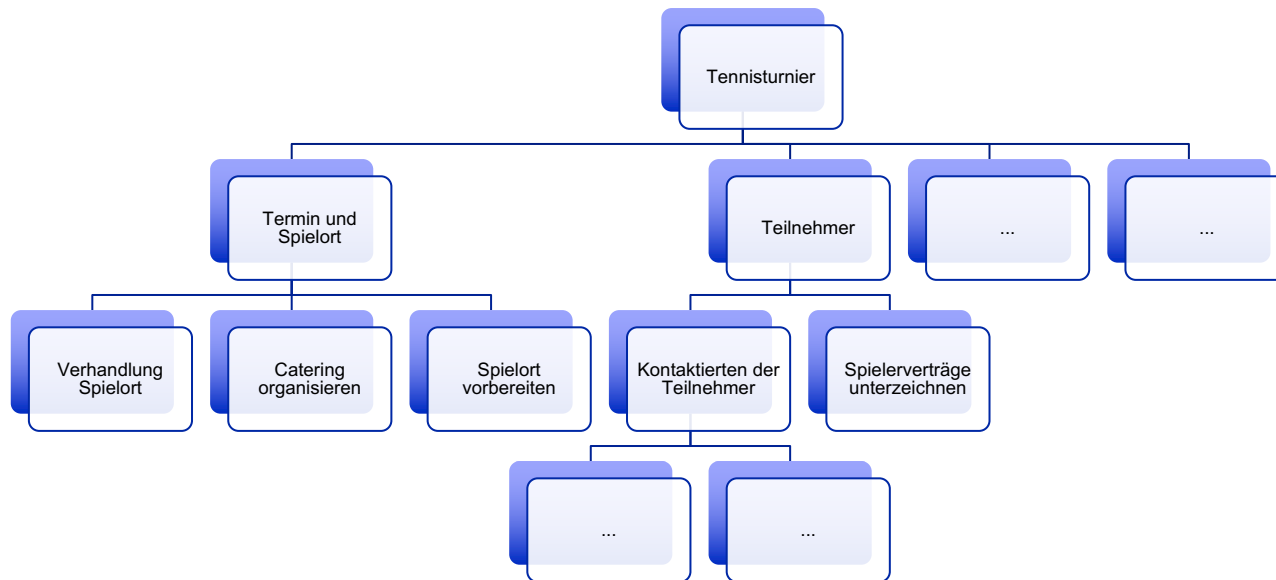


Projektmanagement Methoden

- Warum brauchen wir Methoden?
 - Projektplanung
 - Terminplanung von Prozessschritten
- Nützliche Methoden
 - Projektstrukturplan (Work Breakdown Structure)
 - Gantt-Diagramm
 - Projektnetzplan/Methode des kritischen Pfades

Projektstrukturplan (Work Breakdown Structure)

- Hierarchie einzelner Prozessschritte bzw. Aktivitäten
- Definition von über- und untergeordneten Aktivitäten
- Beispiel für einen Projektstrukturplan (Work Breakdown Structure):





Gantt-Diagramm

- Erster Schritt: Projektstrukturplan (Work Breakdown Structure)
 - Zerlegung des Projektes in einzelne diskrete Aktivitäten
 - Diskret bedeutet, dass jede Aktivität einen eindeutigen Anfangs- und Endpunkt hat
- Zweiter Schritt: Reihenfolge der (diskreten) Aktivitäten festlegen
- Dritter Schritt: Zeitdauer für jede Aktivität ermitteln
 - Annahme: Dauer jeder Aktivität ist deterministisch
- Vierter Schritt (optional): Benötigte Ressourcen ermitteln



Gantt-Diagramm Beispiel: Tennisturnier (Early Start)

#	Aktivität	Dauer	Projekttag																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	Verhandlung Spielort	2	■	■																		
B	Kontaktieren der Teilnehmer	8	■	■	■	■	■	■	■													
C	Werbung	3			■	■	■															
D	Schiedsrichter anwerben	2					■	■														
E	Einladungen verschicken	10					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
F	Spielerverträge unterzeichnen	4								■	■	■	■									
G	Material und Preise kaufen	4								■	■	■	■									
H	Catering organisieren	1																■				
I	Spielort vorbereiten	3																■	■	■		
J	Turnier abhalten	2																			■	■
Personalbedarf			2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	1	1	1	2	1	1	1	1



Gantt-Diagramm: Würdigung

- Vorteile
 - Visuell
 - Einfach zu konstruieren
 - Einfach zu verstehen
 - Erzwingt Planung
 - Zwingt Manager dazu, im Detail über die Aktivitäten- und Ressourcenplanung nachzudenken
- Nachteile
 - Ungeeignet für grosse und komplexe Projekte
 - Abhängigkeiten zwischen Aktivitäten werden nicht deutlich aufgezeigt
 - Auswirkungen von Aktivitätsverzögerungen auf das gesamte Projekt werden nicht aufgezeigt
 - Liefert keine Anhaltspunkte für die relative Bedeutung einzelner Aktivitäten

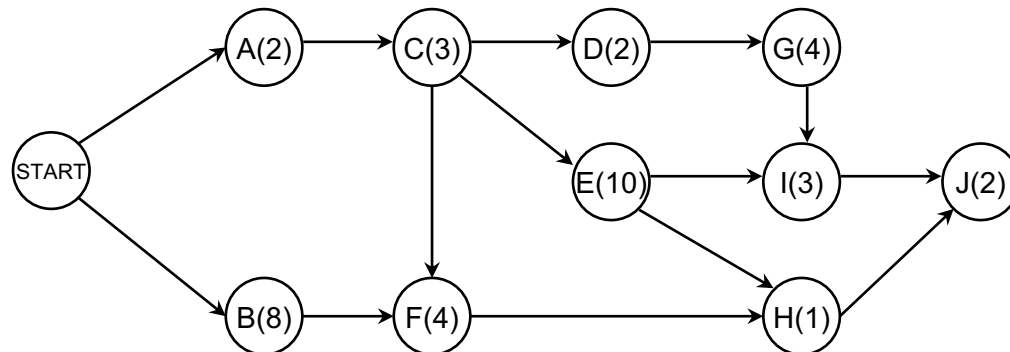


Projektnetzplan

- Projektnetzplan besteht aus Pfeilen und Knoten
- Activity on Node (AON) Methode
 - Knoten repräsentieren Aktivitäten
 - Pfeile repräsentieren die Sequenz der Aktivitäten
- Activity on Arrow (AOA) Methode
 - Pfeile repräsentieren Aktivitäten
 - Knoten repräsentieren Events
- Beide Methoden sind gleichwertig
 - AON ist weiter verbreitet
 - AON wird oft auch PERT (Program evaluation and review technique) genannt.

Beispiel: Tennisturnier (AON)

Aktivität	Netzwerkknoten	Unmittelbarer Vorgänger	Dauer
Verhandlung Spielort	A	-	2
Kontaktieren der Teilnehmer	B	-	8
Werbung	C	A	3
Schiedsrichter anwerben	D	C	2
Einladungen verschicken	E	C	10
Spielerverträge unterzeichnen	F	B, C	4
Material und Preise kaufen	G	D	4
Catering organisieren	H	E, F	1
Spielort vorbereiten	I	E, G	3
Turnier abhalten	J	H, I	2





Methode des kritischen Pfades

- Ziel: Bestimmung des Start- und Endtermins einzelner Aktivitäten innerhalb eines Projektes
- Kritischer Pfad: Ununterbrochene Kette von notwendigen Aktivitäten vom Projektbeginn bis zum Projektende
- Aktivitäten auf dem kritischen Pfad können nicht verzögert werden, ohne das gesamte Projekt zu verzögern
- Formal: Kritischer Pfad besteht aus Aktivitäten ohne «slack»



Methode des kritischen Pfades

Notation:

Definition	Symbol
Erwartete Dauer einer Aktivität	t
Early Start	ES
Early Finish	EF
Late Start	LS
Late Finish	LF
Total Slack	TS

Berechnungen:

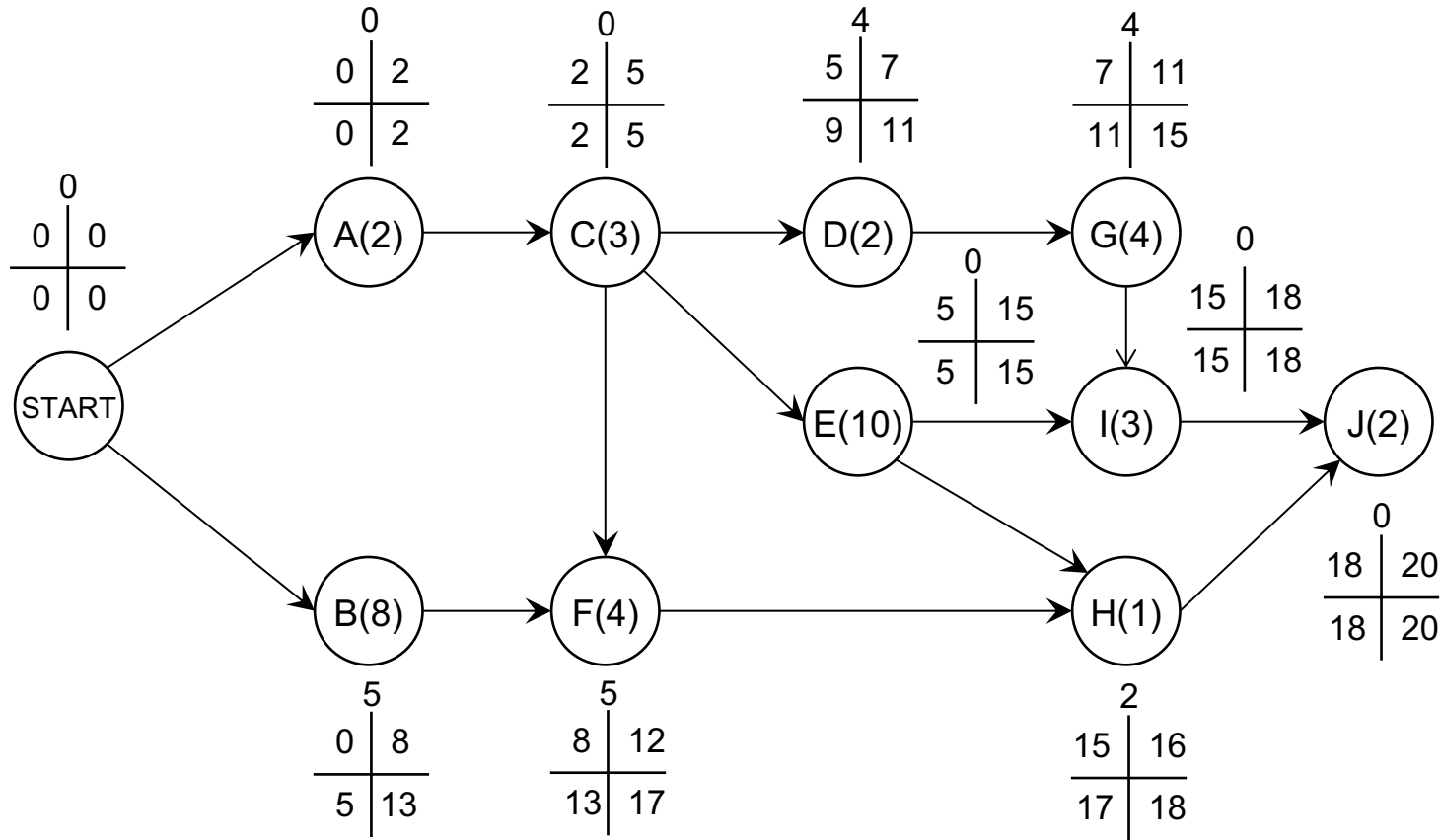
- $ES = EF_{\text{Vorgänger}}$
- $EF = ES + t$
- $LF = LS_{\text{Nachfolger}}$
- $LS = LF - t$
- $TS = LF - EF$
- $TS = LS - ES$

Darstellung:

$$\begin{array}{c|c} TS & \\ \hline ES & EF \\ \hline LS & LF \end{array}$$

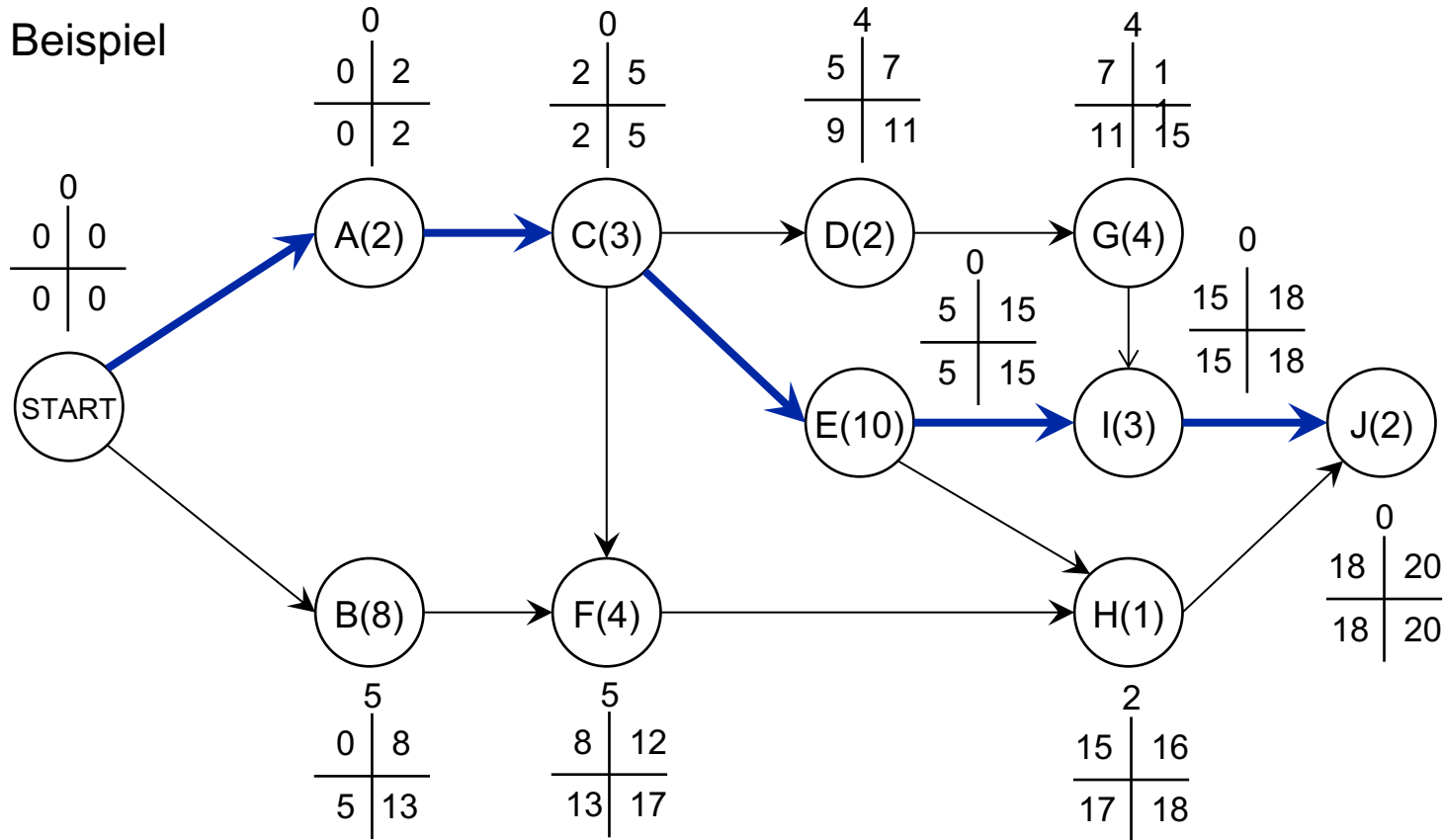


Beispiel: Tennisturnier



Beispiel: Tennisturnier

Kritischer Pfad: A-C-E-I-J





Ressourcenbeschränkungen

- Bisherige implizite Annahme: Projektaufgaben können ohne Ressourcenbeschränkung (z.B. Anzahl Arbeitskräfte, Arbeitsplätze) bearbeitet werden
- Ressourcenbeschränkungen können vielfältig sein: Personal, Arbeitsplätze, Hardware, Software, zeitliche Beschränkungen, ...
- Ressourcenbeschränkungen können zu Verzögerung des Projektabschlusses führen
- Mögliches Ziel: Vermeidung starker Schwankungen im Bedarf an Arbeitskräften

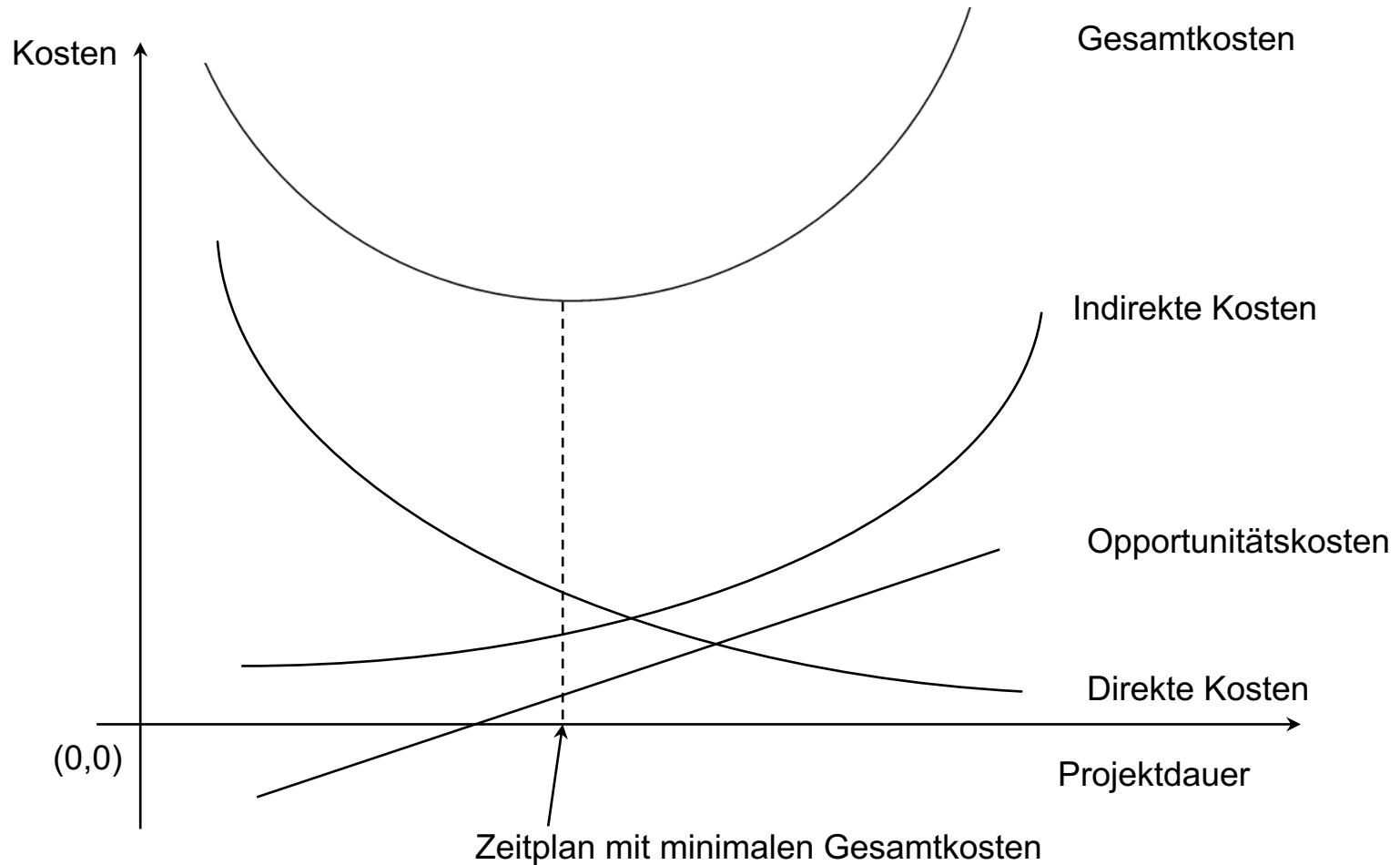


Beispiel: Ressourcenoptimiertes Gantt-Diagramm

#	Aktivität	Dauer	Projekttag																			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	Verhandlung Spielort	2	■	■																		
B	Kontaktieren der Teilnehmer	8	■	■	■	■	■	■	■	■												
C	Werbung	3			■	■	■															
D	Schiedsrichter anwerben	2								■	■											
E	Einladungen verschicken	10						■	■	■	■	■	■	■	■	■						
F	Spielerverträge unterzeichnen	4													■	■	■	■				
G	Material und Preise kaufen	4											■	■	■	■						
H	Catering organisieren	1																		■		
I	Spielort vorbereiten	3																■	■	■		
J	Turnier abhalten	2																			■	■
Personalbedarf			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1

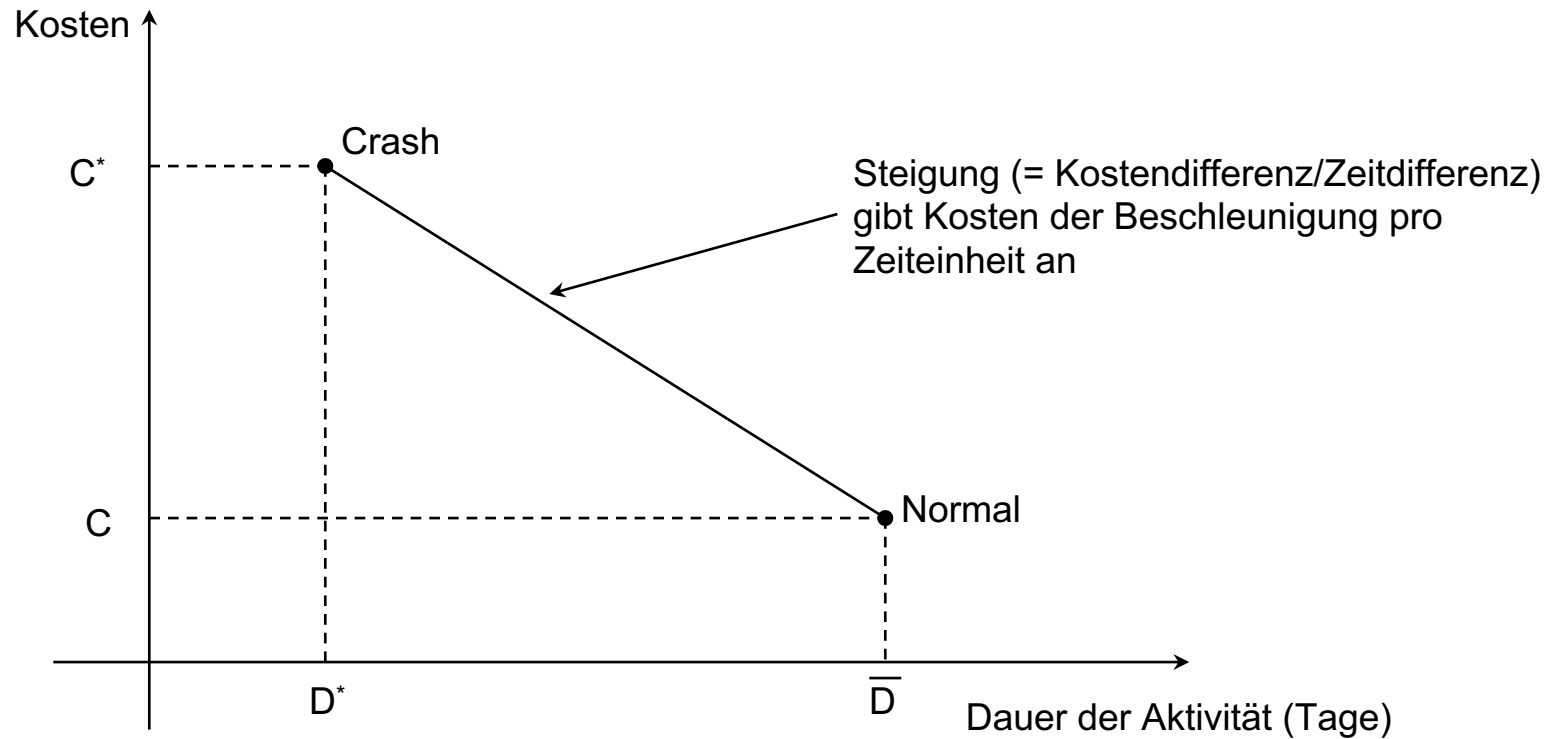


Projektkosten





Crashing: Kosten-Dauer Trade-off





Probabilistische Dauer – Schätzung

- Bisherige Annahme: Dauer jeder Aktivität ist bekannt und deterministisch (→ keine Varianz)
- Neue Annahme: Dauer jeder Aktivität ist stochastisch
- Es liegen drei Schätzungen vor
 - Optimistische Dauer: Dauer unter optimalen Bedingungen t_o
 - Pessimistische Dauer: Dauer unter schlechtesten Bedingungen t_p
 - Most-likely Dauer: Wahrscheinlichste Dauer t_m
- Wenn die Dauer Beta-verteilt ist, dann gilt:

- Erwartete Dauer einer Aktivität:
$$t_e = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6}$$

- Varianz der Dauer einer Aktivität:
$$\sigma^2 = \left[\frac{(t_p - t_o)}{6} \right]^2$$



Kritische Pfad Analyse mit stochastischer Dauer

- Wenn folgende Annahmen zutreffen
 - Dauer der einzelnen Aktivitäten unterliegt einer β -Verteilung
 - Aktivitäten sind statistisch unabhängig
 - Zentraler Grenzwertsatz kann angewendet werden
- → unterliegt die Dauer des Gesamtprojektes einer Normalverteilung mit
 - Mittelwert = Summe der erwarteten Dauer aller Aktivitäten entlang des kritischen Pfades
 - Varianz = Summe der Varianzen aller Aktivitäten entlang des kritischen Pfades

$$\mu_{Pr} = \sum (t_e)_{Ak}$$

$$\sigma_{Pr}^2 = \sum \sigma_{Ak}^2$$

- Problem: Kritischer Pfad ist eine Zufallsvariable



Aufgabe 1/3

Anja und Vanessa möchten zusammen eine Party am Ufer des Zürichsees organisieren. Beide wissen, dass die einzelnen Aktivitäten länger oder auch kürzer dauern können, abhängig von exogenen Faktoren. Aufgrund ihrer Erfahrungen schätzen sie die optimistische (t_o), pessimistische (t_p) und most-likely Dauer (t_m) jeder Aktivität in Tagen (siehe Tabelle).

Aktivität	t_o	t_m	t_p	Direkter Vorgänger
A	1	4	7	-
B	2	6	7	A
C	6	12	14	A
D	3	4	6	B, C
E	3	6	12	D
F	6	8	16	D
G	1	5	6	E, F



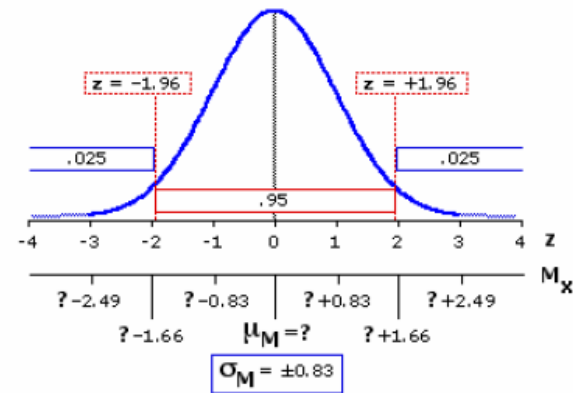
Aufgabe 2/3

- a) Berechnen Sie die erwartete Dauer und die Varianz für alle Aktivitäten.
- b) Zeichnen Sie den Projektnetzplan für die Party.
- c) Berechnen Sie Early Start, Early Finish, Late Start und Late Finish sowie Total Slack aller Aktivitäten.
- d) Ermitteln Sie den kritischen Pfad.
- e) Wie hoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Party nach 36 Tagen durchgeführt werden kann?



Aufgabe 3/3

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998



Standardizing normal
random variables ($X \sim N(\mu, \sigma^2)$)

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad \text{with } Z \sim N(0,1)$$

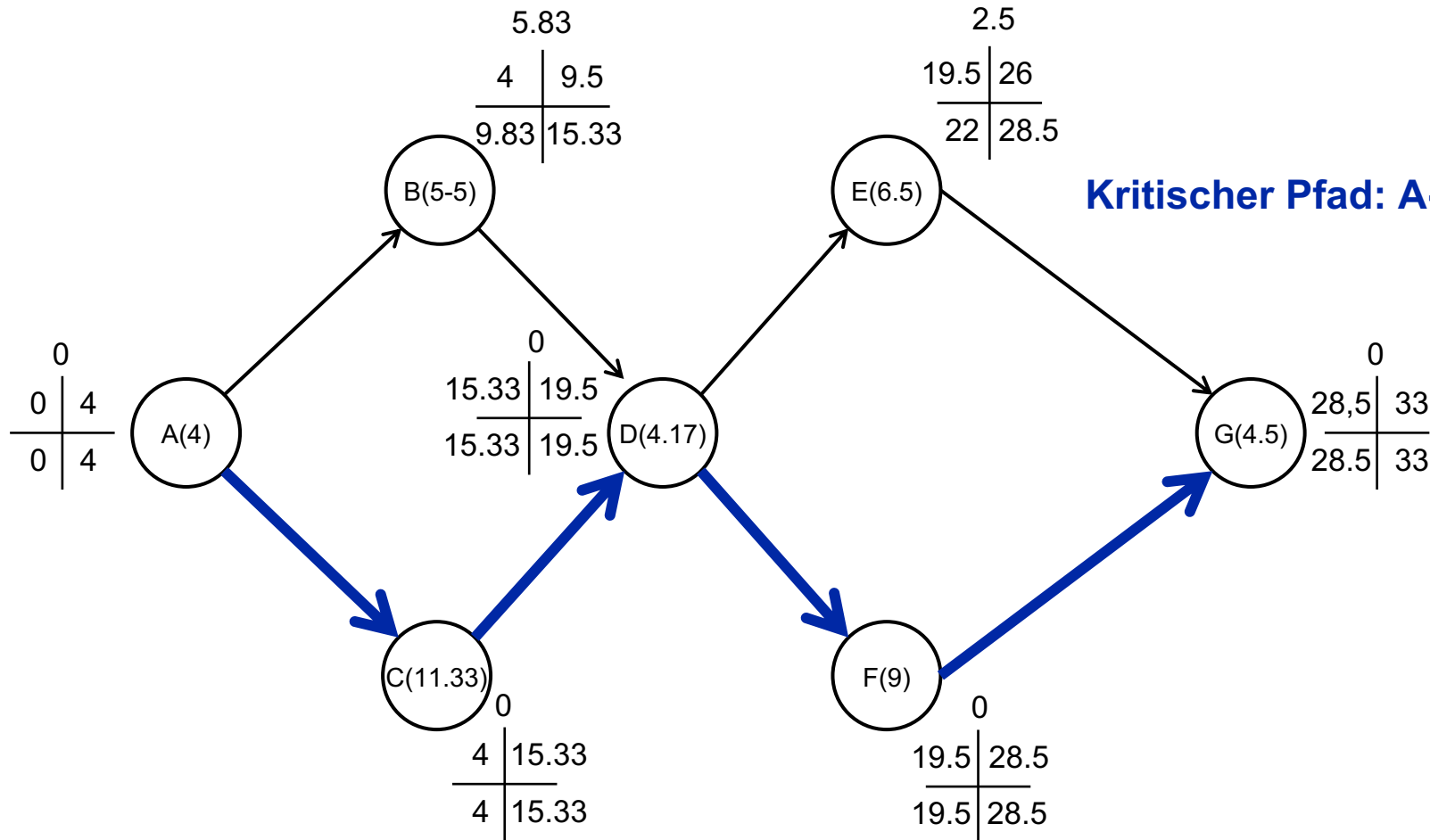


Lösung a

Aktivität	Direkter Vorgänger	Erwartete Zeit $\frac{t_0 + 4t_M + t_p}{6}$	Varianz $\left(\frac{t_p - t_0}{6}\right)^2$
A	-	4.00	1
B	A	5.50	25/36
C	A	11.33	16/9
D	B, C	4.17	1/4
E	D	6.50	9/4
F	D	9.00	25/9
G	E, F	4.50	25/36

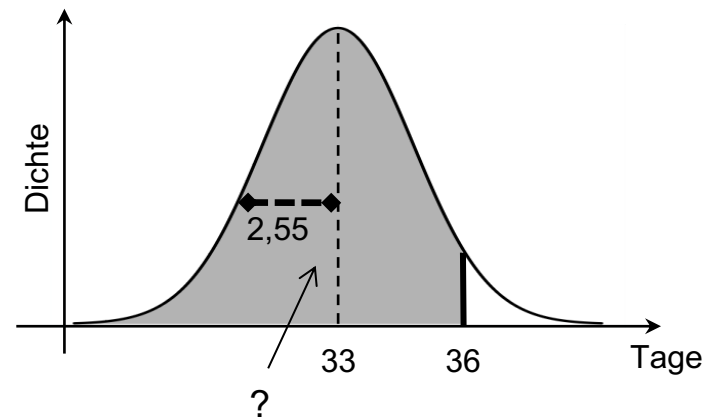
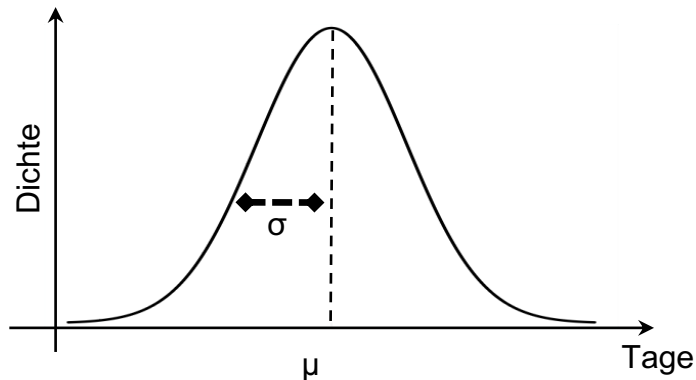


Lösung b, c, d



Lösung e/1

Per Annahme unterliegt die Dauer des Gesamtprojektes einer Normalverteilung mit Mittelwert = 33, Varianz ($1 + 16/9 + 1/4 + 25/9 + 25/36$) = $234/36 = 6.5$ und Standardabweichung = 2.5495





Lösung e/2

Um die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, dass die Party nach 36 Tagen durchgeführt werden kann, müssen wir standardisieren:

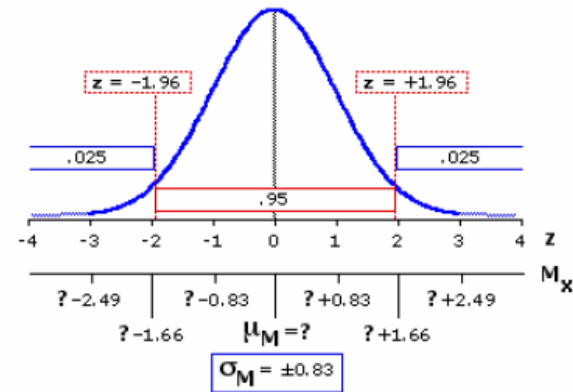
Wenn eine Variable X normalverteilt mit Mittelwert μ und σ ist, so ist die standardisierte Variable $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ normalverteilt mit Mittelwert 0 und Standardabweichung 1. In unserem Fall:

$$z = \frac{D - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{cp}^2}} = \frac{36 - 33}{\sqrt{1 + \frac{16}{9} + \frac{1}{4} + \frac{25}{9} + \frac{25}{36}}} = \frac{3}{2.5495} = 1.1767 \approx 1.18$$

Anhand der Tabelle der Standardnormalverteilung wird eine Wahrscheinlichkeit von 0.8810 oder 88.10% gefunden, dass die Party nach 36 Tagen oder weniger durchgeführt werden kann.

Aufgabe 3/3

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998



Standardizing normal random variables ($X \sim N(\mu, \sigma^2)$)

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \text{ with } Z \sim N(0,1)$$