



Universität  
Zürich<sup>UZH</sup>

Institut für Betriebswirtschaftslehre

# Operations Management

Einführung

Prof. Dr. Helmut Dietl





## Literatur

F. Robert Jacobs, Richard B. Chase (2023), **Operations and Supply Chain Management**, Global Edition, 17. Auflage, McGraw Hill.

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



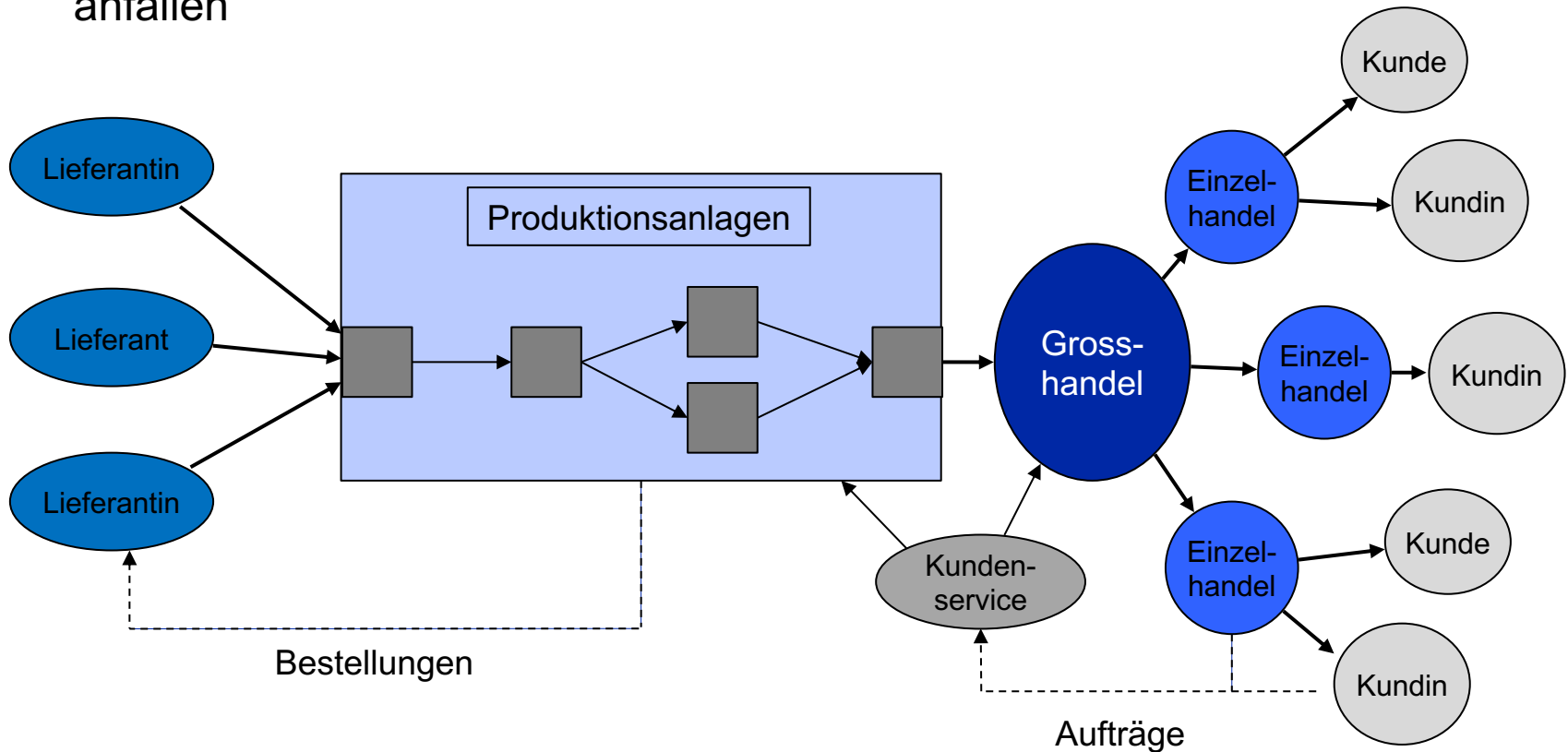
## Lernziele Einführung

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: Ford Motor Company





## Ford Motor Company

- **Umsatz:** \$ 158.1 Mrd. (Geschäftsjahr 2022)
- **Sachinvestitionen:** \$ 6.87 Mrd. (Geschäftsjahr 2022)
- **Absatz in Einheiten:** 4.23 Mio. Fahrzeuge (Geschäftsjahr 2022)
- **Beschäftigte:** 173'000 (Stand: Jahresende 2022)
- **Business Segmente:** Ford Blue, Ford Model e, Ford Pro (Stand: 2022)
- **Vertriebsorganisation:** Fahrzeugmodelle werden in über 125 Ländern verkauft (Stand: 2022)

## Ford Motor Company

- 62 Produktionsstandorte



Übersicht: Stand 2023, Ford



## Beispiel: Ford Motor Company

- Welche Aktivitäten sind angefangen bei der Modellentwicklung bis zum Verkauf 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

- des Personals
- der Prozesse
- der Systeme
- und der Technologien





# Zusammenhang zwischen OM und Unternehmenserfolg

## 1. Wertschöpfung für die Kundschaft

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

## 2. Wertschöpfung für die Eigentümerschaft

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

↑  
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



## Ford Motor Company: 2022

<b>2022 Gewinn (in Mio. \$)</b>	
Umsatzerlöse	158'057
- Umsatzkosten	-134'397
<u>= Bruttoergebnis</u>	<u>23'660</u>
- Vertriebs- und Verwaltungskosten	-10'888
+/- Sonstiges betriebliches Ergebnis	-6'496
<u>= Operatives Ergebnis</u>	<u>6'276</u>



## Ford Motor Company: 2022

<b>2022 Total Assets (in Mio. \$)</b>	
Langfristige Vermögenswerte	139'408
+ Kurzfristige Vermögenswerte	116'476
Vorräte	14'080
Forderungen	54'449
Sonstige	47'947
<u>= Total Assets</u>	<u>255'884</u>

Return on Assets = 2.45%	
--------------------------	--



## Welche Auswirkungen hat ein verbessertes OM (Gewinn)?

2022 Gewinn (in Mio. \$)	neu	%
Umsatzerlöse	159'638	+ 1.0%
- Umsatzkosten	-133'725	- 0.5%
<u>= Bruttoergebnis</u>	<u>25'913</u>	<u>+ 9.5%</u>
- Vertriebs- und Verwaltungskosten	-10'834	- 0.5%
+/- Sonstiges betriebliches Ergebnis	-6'496	
<u>= Operatives Ergebnis</u>	<u>8'583</u>	<u>+ 36.8%</u>

Return on Assets = 3.35%		
--------------------------	--	--





## Welche Auswirkungen hat ein verbessertes OM (Assets)?

<b>2022 Total Assets (in Mio. \$)</b>	<b>neu</b>	<b>%</b>
Langfristige Vermögenswerte	132'438	- 5.0%
+ Kurzfristige Vermögenswerte	115'772	- 0.6%
Vorräte	13'376	- 5.0%
Forderungen	54'449	
Sonstige	47'947	
<u>= Total Assets</u>	<u>248'210</u>	<u>-3.0%</u>

Return on Assets = 3.46%		
--------------------------	--	--



## Auswirkungen auf den Return on Equity (ROE)

Eigenkapital 2022 (in Mio. \$) = 43'167

Return on Equity (ROE) 2022 = 14.5%

Bei verbessertem OM: ROE 2022 = 19.9%



## Ableitung von OM-Zielen aus der Wettbewerbsstrategie

### Haben wir einen Qualitätsvorteil gegenüber Wettbewerbern?

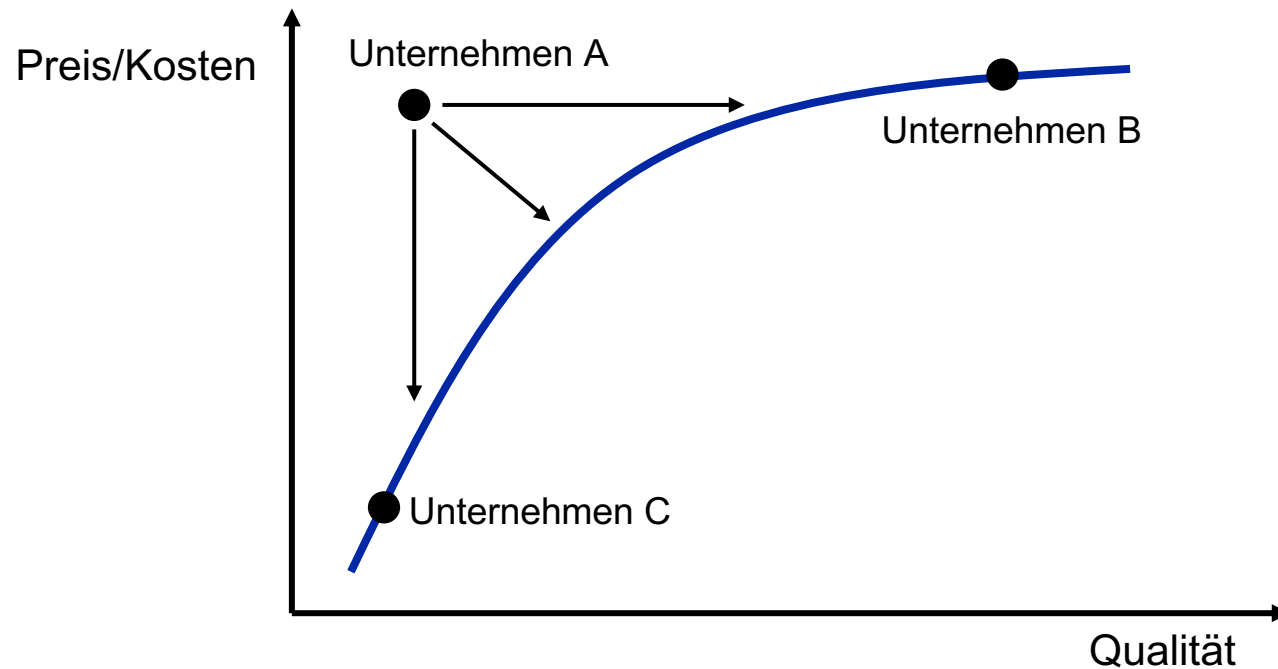
- Falls ja, worauf beruht dieser Vorteil?
  - Qualität, Vielfalt, Lieferzeit, Service, Innovation
- Wie können wir diesen Vorteil ausbauen/verteidigen?
  - Ressourcen, Prozesse, Fähigkeiten

### 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

Dacia



## 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 Produktionsfirma
- Lagerhausartige Regale
- Begrenztes Personal
- Begrenzte Produktvielfalt (ca. 25% im Vergleich zu Wettbewerbern)
- Geräumige und schnelle Checkouts (3 Barcodes auf jedem Produkt)



## Aldi (2/2)

- Kundschaft wird ermuntert, eigene Einkaufstaschen zu verwenden
- Doppelgarantie (Ersatz und Geld-zurück)
- Keine Sonderpreise → Jeden Tag niedrige Preise
  - Konkurrenz ist 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 Zuliefer-, Entwicklungs- und Partnerunternehmen
  - Eigene Chipherstellung (→ 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 selbstständiger Software Developer entwickelt Anwendungen für Appleprodukte
- ➔ Gibt Apple Kontrolle über den gesamten Prozess der Produktentwicklung, -herstellung und -vermarktung. Ein Vorteil, den die Konkurrenz nur schwer erreichen kann.



## Dacia

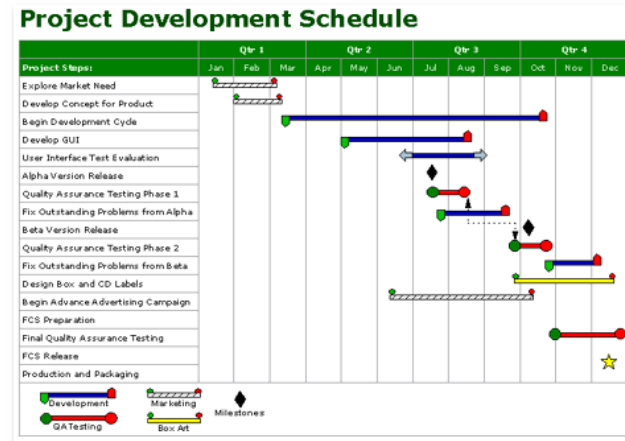
- Kostenführerstrategie
- Funktionale Autos ohne unnötige Technologie
- Keine Produktinnovationen
- Vereinfachung bestehender Technologien (vor allem von der Muttergesellschaft Renault)
- Design-to-Cost
- Preiszielvorgaben für Entwickler, Ingenieure und Lieferanten
- Produktion in Rumänien



# 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

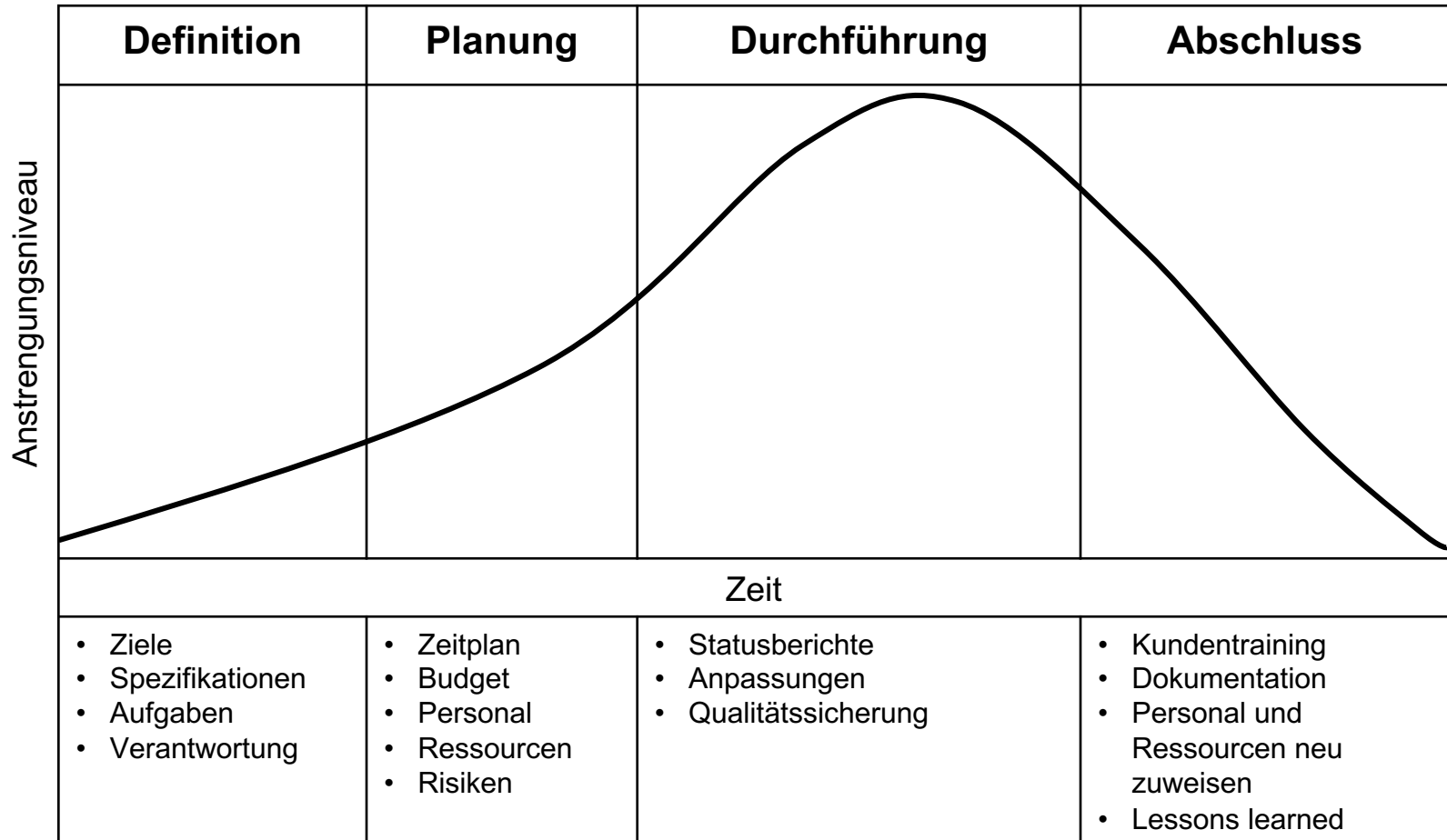


# Kritische Dimensionen von Projekten

- Kosten
- Qualität
- Dauer



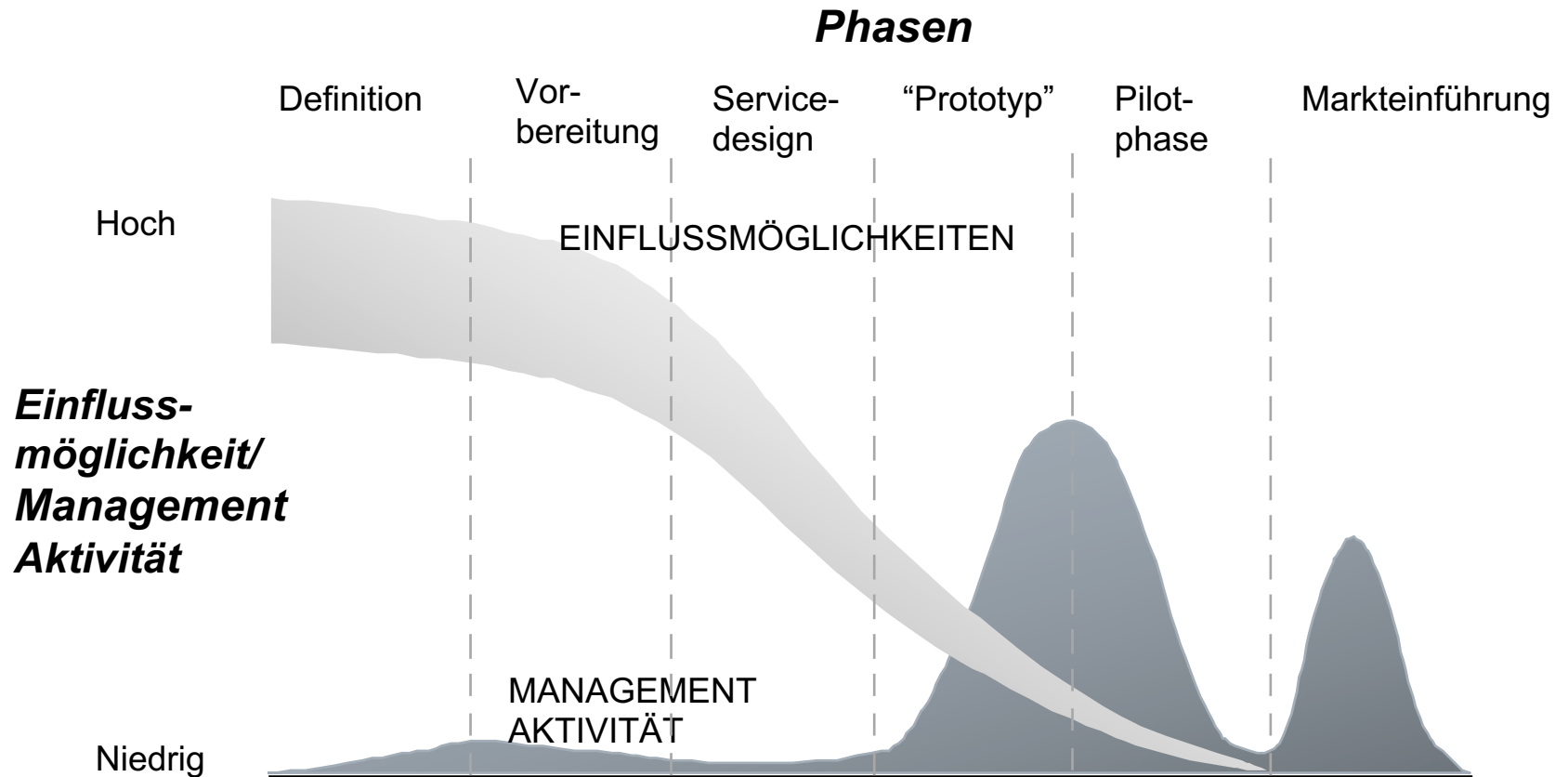
# Projektlebenszyklus



Nach: Stevenson, 2009.



## Projektdilemma (Beispiel: Neuer Service)



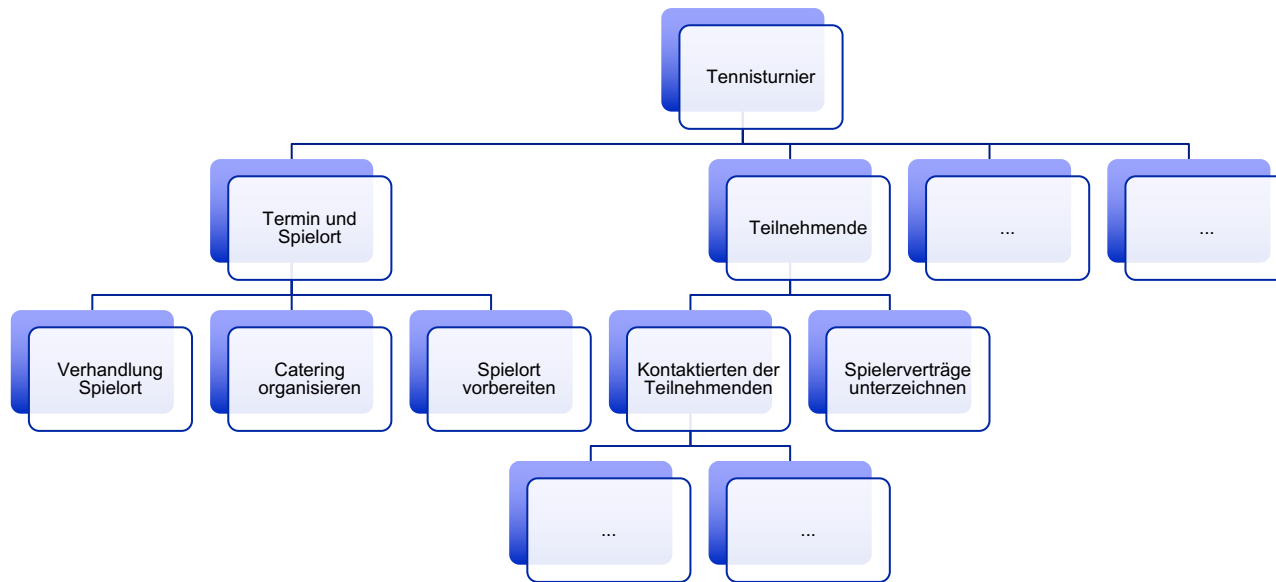


## Projektmanagement Methoden

- 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 Teilnehmenden	8	■	■	■	■	■	■	■	■												
C	Werbung	3			■	■	■															
D	Referees 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																			■	■
<b>Personalbedarf</b>			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 das Management 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



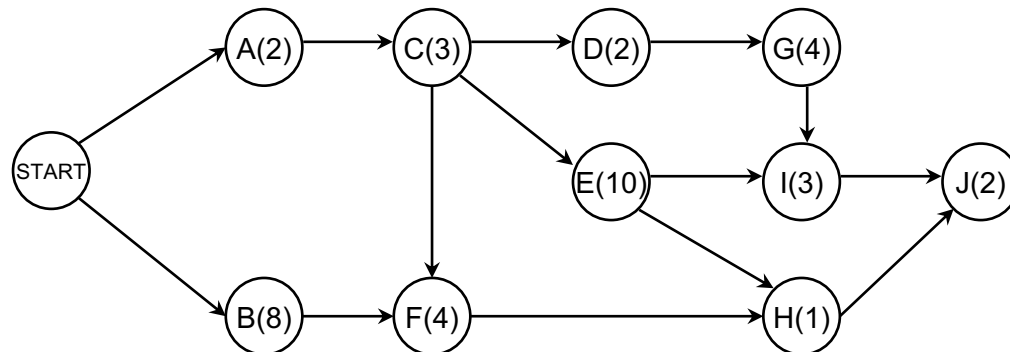
## Projektnetzplan

- 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	Direkter Vorgänger	Dauer
Verhandlung Spielort	A	-	2
Kontaktieren der Teilnehmenden	B	-	8
Werbung	C	A	3
Referees 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

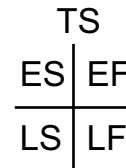
Notation:

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

Berechnungen:

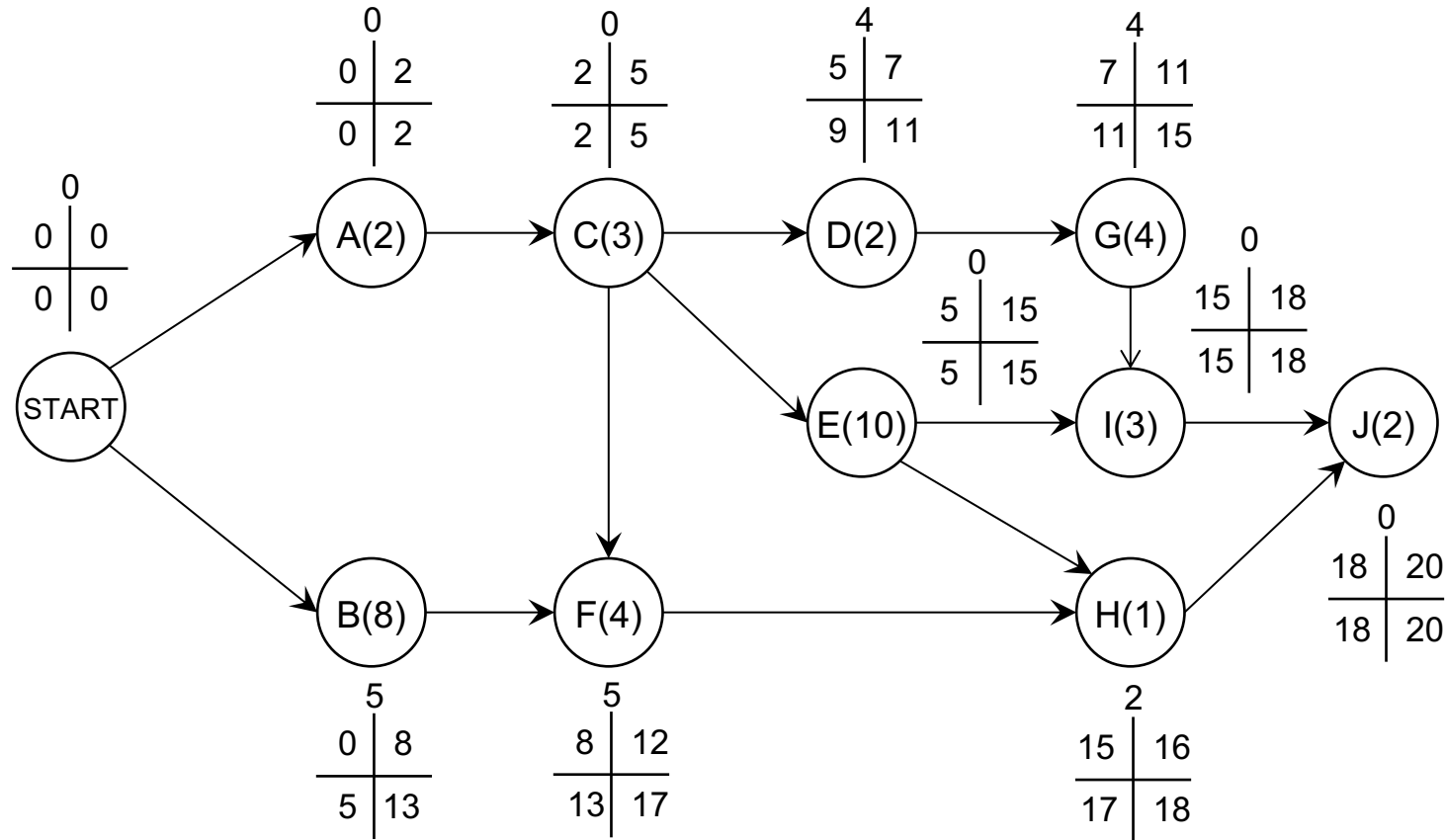
- $ES = EF_{\text{Vorgänger}}$
- $EF = ES + t$
- $LF = LS_{\text{Nachfolger}}$
- $LS = LF - t$
- $TS = LF - EF$
- $TS = LS - ES$

Darstellung:





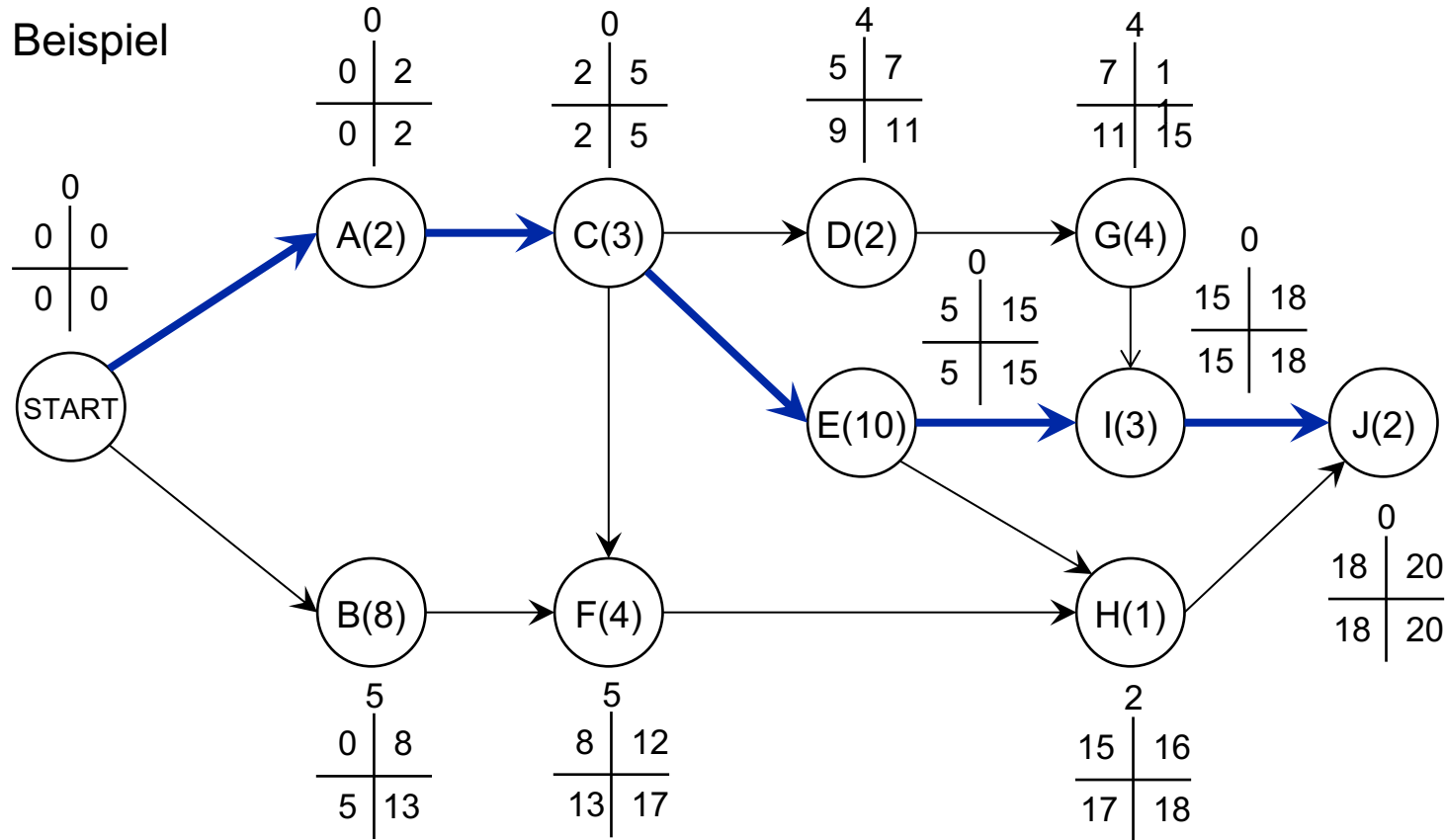
## Beispiel: Tennisturnier





# 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

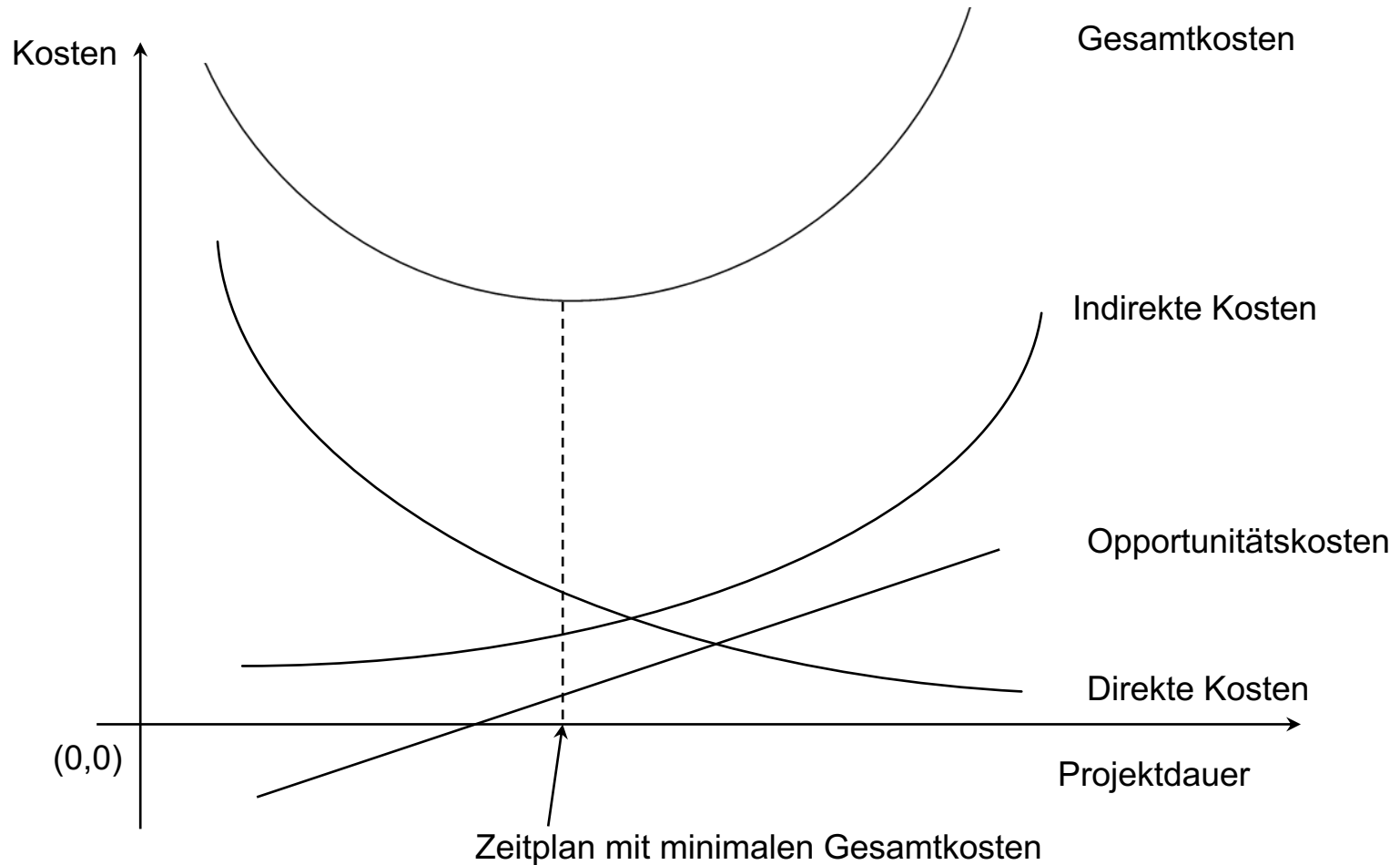


## Beispiel: Ressourcenoptimiertes Gantt-Diagramm

#	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 Teilnehmenden	8	■	■	■	■	■	■	■	■												
C	Werbung	3			■	■	■															
D	Referees 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																			■	■
<b>Personalbedarf</b>			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	1

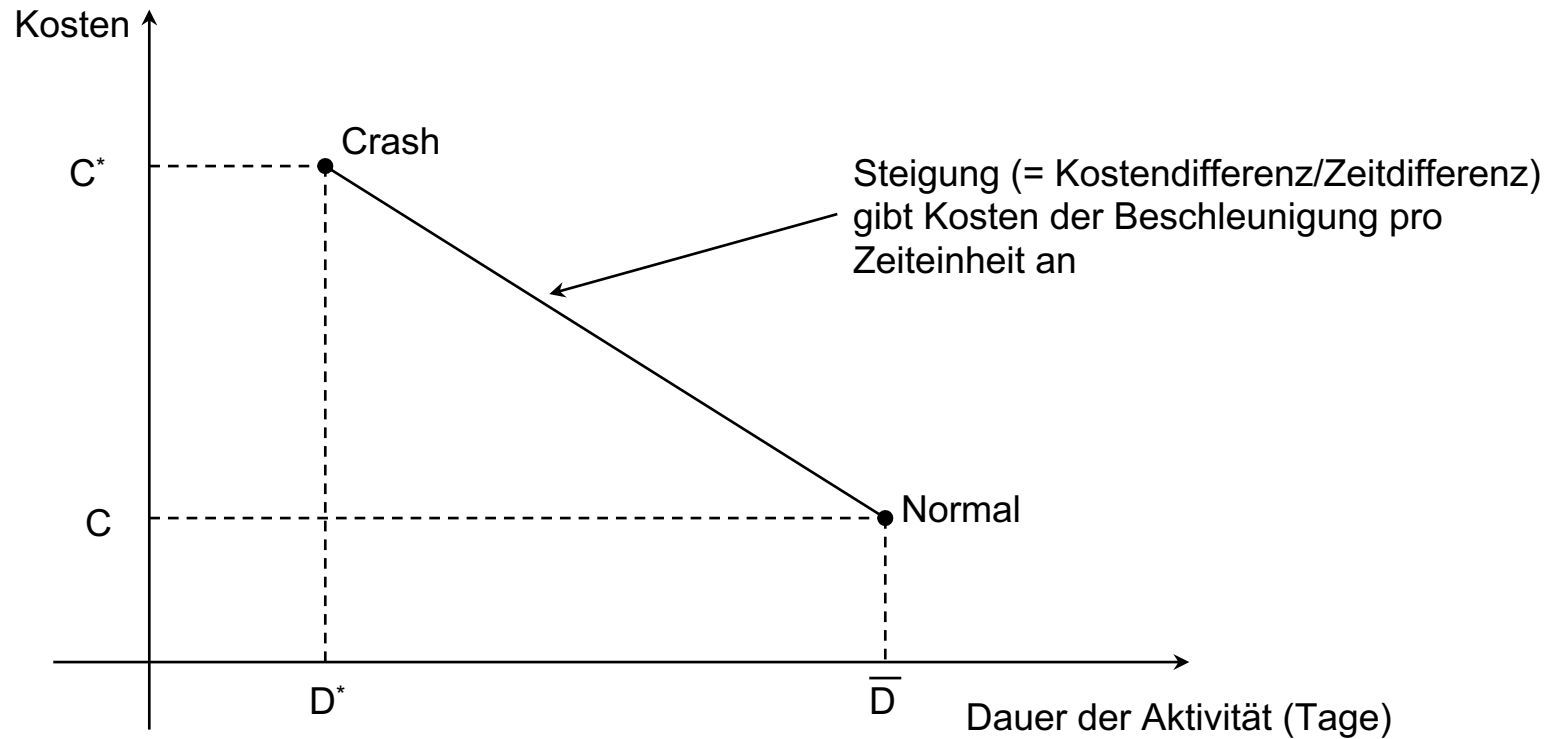


# Projektkosten





## 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  $\beta$ -Verteilung
  - Aktivitäten sind statistisch unabhängig
  - Zentraler Grenzwertsatz kann angewendet werden
- Dann unterliegt die Dauer des Gesamtprojektes einer Normalverteilung mit
  - Mittelwert = Summe der erwarteten Dauer aller Aktivitäten entlang des kritischen Pfades

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

- Varianz = Summe der Varianzen aller Aktivitäten entlang des kritischen Pfades

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

- 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 mal länger und mal kürzer dauern, abhängig von exogenen Faktoren. Aus ihren früheren Erfahrungen kennen sie die optimistische ( $t_o$ ), pessimistische ( $t_p$ ) und most-likely Dauer ( $t_m$ ) jeder Aktivität (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

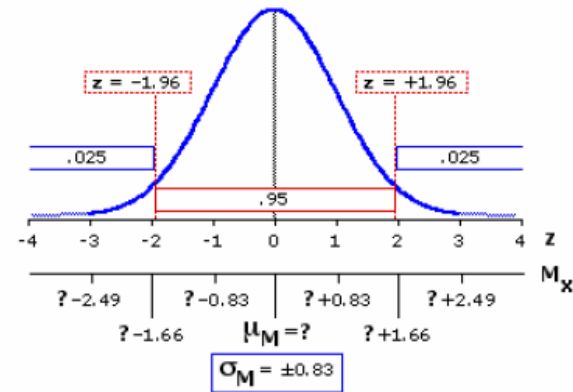


## Aufgabe 2/3

- 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 Wochen 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 ( $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ )

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

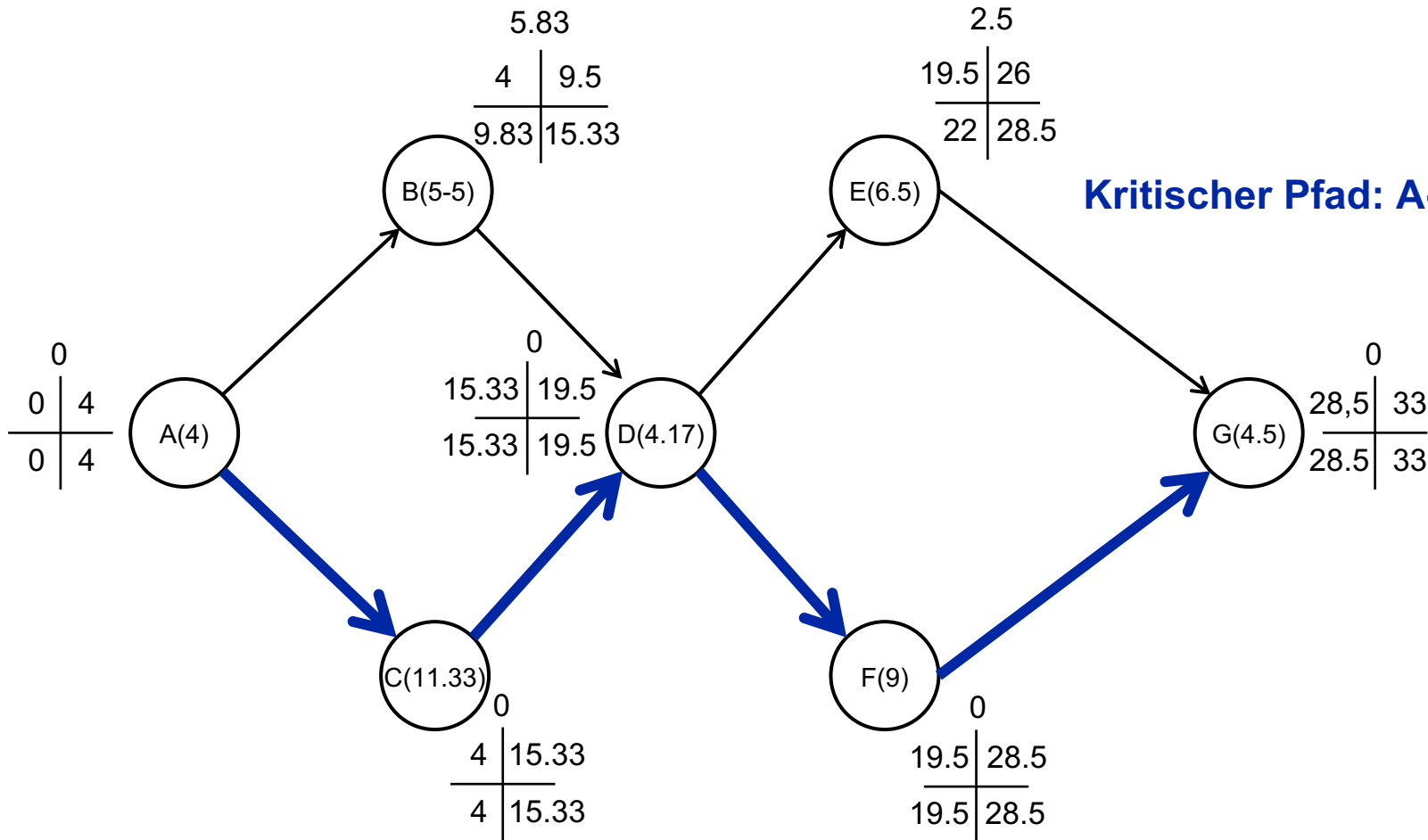


## Lösung a

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

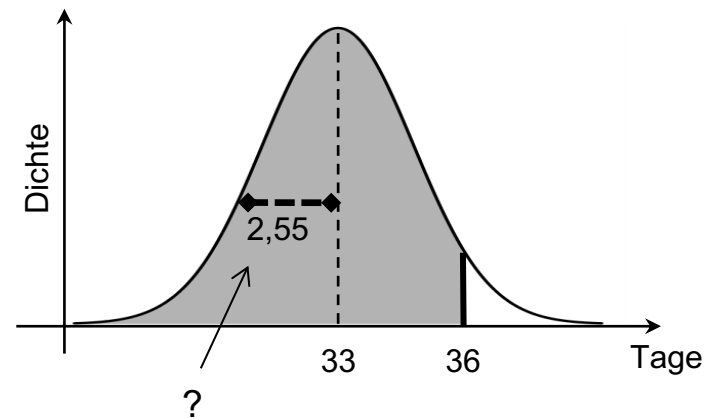
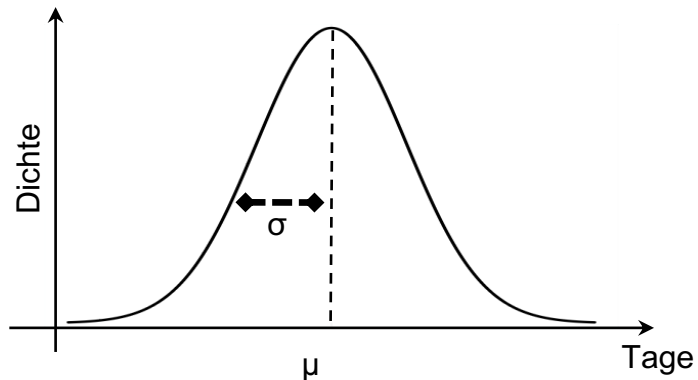


## Lösung b, c, d



## 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 Wochen durchgeführt werden kann, müssen wir standardisieren:

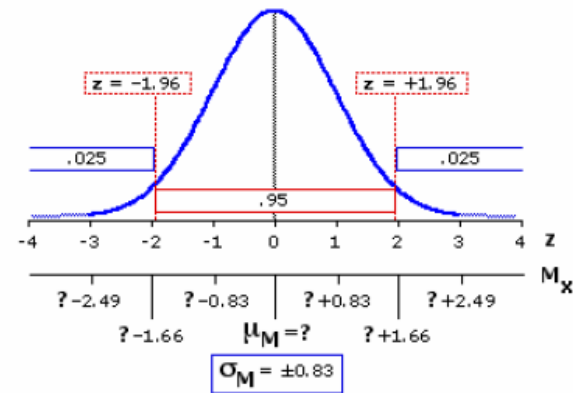
Wenn eine Variable  $X$  normalverteilt mit Mittelwert  $\mu$  und  $\sigma$  ist, so ist die standardisierte Variable  $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$  normalverteilt mit Mittelwert 0 und Standardabweichung 1. In unserem Fall:

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

Anhand der Tabelle der Standardnormalverteilung wird eine Wahrscheinlichkeit von 0.8810 oder 88.10% gefunden, dass die Party nach 36 Wochen 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 ( $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ )

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