Universität Zürich[UZH]

Institut für Betriebswirtschaftslehre

Service Management: Operations, Strategie und e-Services

Prof. Dr. Helmut M. Dietl

Übersicht

1. Nachfrageprognose
2. Variabilitätsmanagement und Service-Profit-Chain
3. Servicedesign, Serviceinnovation und Prozessanalyse
4. Projektmanagement
5. Qualitätsmanagement
6. Management von Service-Plattformen
7. Yield Management
8. Ökonomie und Psychologie von Warteschlangen
9. **Warteschlangenmodelle**

Lernziele

Nach dieser Veranstaltung sollten Sie,

- die strategische Bedeutung von Serverkapazitätsentscheidungen kennen
- die wichtigsten Warteschlangenmodelle zuordnen und anwenden können
- die wichtigsten Performancekriterien von Warteschlangensystemen berechnen können
- Kapazitätsentscheidungen auf der Basis von Warteschlangenmodellen treffen können

Methoden der Kapazitätsplanung in Servicesystemen

- Warteschlangenmodelle
  - Schnelle Ergebnisse
  - Erfordern wenig Daten
- Simulationsmodelle
  - Können komplexe Sachverhalte berücksichtigen
- Lineare Programmierung
  - Zur Kapazitätsallokation über mehrere Einrichtungen/Standorte
  - Ermöglicht Integration der Reihenfolgeplanung und zusätzlicher Restriktionen

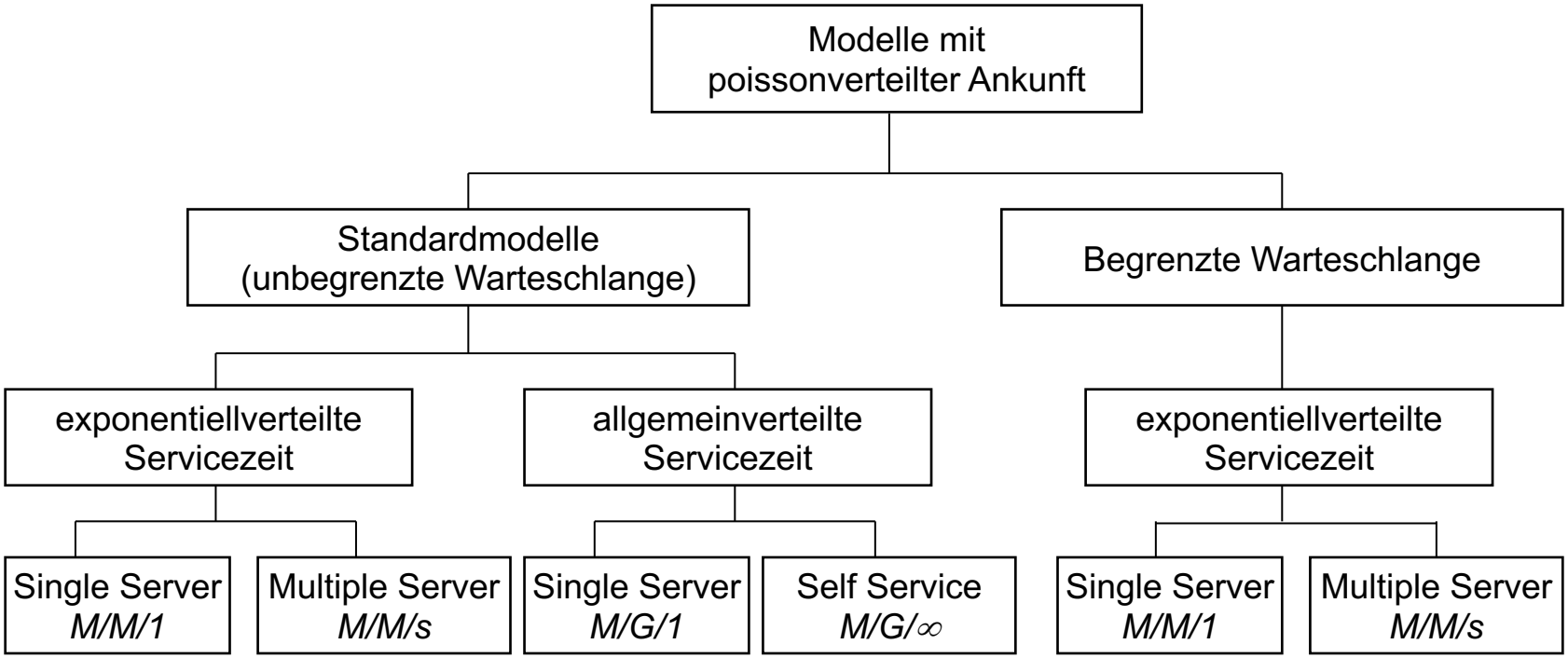
Herausforderungen der Kapazitätsplanung im Servicemanagement

- Nachfrageschwankungen führen zwangsläufig zu Auslastungsschwankungen
- Ungenützte Kapazität (keine Lager)
- Variable Kundenankunftsrate und variable Servicedauer
- Wartezeit und Kapazitätsauslastung sind Bestandteil der Servicequalität (Kunde als Koproduzent, z.B. verspätete oder volle Flugzeuge aber: ausverkaufte Konzerte, volle Diskotheken)
- Wegen der Nachfragevarianz wird die Kapazität i.d.R. in Input- (Bettenzahl) statt Outputgrößen (Gäste/Nacht) gemessen

Strategische Bedeutung von Kapazitätsentscheidungen

- **Sumo-Strategie:** große Kapazität als Abschreckung potentieller Wettbewerber (z.B. 500-Betten-Luxushotel in Kleinstadt)
- **Judo-Strategie:** kleine Kapazität, um von starken Konkurrenten geduldet zu werden (z.B. Fluglinie mit 5 Maschinen)
- Unterkapazität generiert Nachfrage für Wettbewerber (überfülltes Restaurant)
- Über-/Unterkapazität sichert Kundenzufriedenheit (Beispiele: Überkapazität: Telekommunikation; Unterkapazität: Rockkonzert)
- **Trade-off Optimierung:** Umsatz/Kundenzufriedenheit versus Auslastungsgrad/Kundenzufriedenheit

Warteschlangenmodelle im Überblick



A/B/s Notation: *A* beschreibt die Verteilung der Zeitabstände zwischen 2 Ankünften, *B* beschreibt die Verteilung der Servicezeit und *s* (oder *c*) die Anzahl der Server.
M beschreibt die Exponentialverteilung, *G* irgendeine allgemeine Verteilung (z.B. Normalverteilung, Gleichverteilung, etc.)

M/M/1

Poissonverteilte Ankunfts- und Servicerate:	*(λ < μ)*
Durchschnittliche Ankunftsrate:	λ
Durchschnittliche Servicerate:	μ
Durchschnittlicher Auslastungsgrad:	$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
Wahrscheinlichkeit, dass sich genau n Kunden im System befinden:	$P_n = \rho^n(1-\rho)$
Wahrscheinlichkeit, dass sich k oder mehr Kunden im System befinden:	$P(n \geq k) = \rho^k$

M/M/1

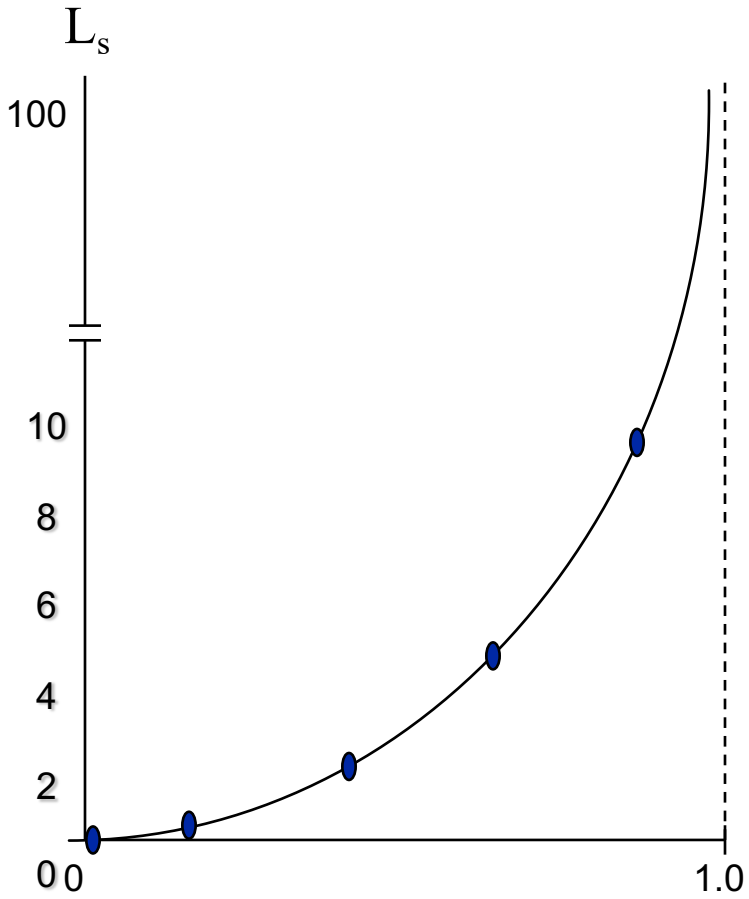
Durchschnittliche Anzahl von Kunden im System: $L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda}$

Durchschnittliche Länge der Warteschlange: $L_q = \frac{\rho\lambda}{\mu - \lambda}$

Durchschnittliche Verweildauer im System: $W_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$

Durchschnittliche Verweildauer in der Warteschlange: $W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda}$

Wie ändert sich die Anzahl der Kunden im System, wenn $\rho \rightarrow 0$?



$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$L_s = \frac{\rho}{1-\rho}$$

ρ	L_s
0	0
0.2	0.25
0.5	1
0.8	4
0.9	9
0.99	99

Beispiel 1: Eisverkäufer

- Pro Stunde kommen durchschnittlich 80 Kunden.
- Der Verkäufer benötigt je Kunde durchschnittlich 30 Sekunden.
- Ankunftsrate der Kunden ist poissonverteilt.
- Servicerate ist poissonverteilt.

Fragen zum Eisverkäufer-Beispiel

1. Wie hoch ist der durchschnittliche Auslastungsgrad des Eisverkäufers?
2. Wie lang ist die durchschnittliche Warteschlange vor dem Eisverkäufer?
3. Wie viele Kunden befinden sich durchschnittlich im „System“ (Warteschlange + Bedienung)?
4. Wie lange verweilt ein Kunde durchschnittlich in der Warteschlange (durchschnittliche Wartezeit)?
5. Wie lange verweilt ein Kunde durchschnittlich im „System“ (durchschnittliche Verweilzeit)?

Eisverkäufer-Beispiel

1. Durchschnittlicher Auslastungsgrad des Eisverkäufers

$$\lambda = 80 \frac{Kunden}{Stunde}$$

$$\mu = \frac{1\ Kunde}{30\ Sekunden\left(\frac{1\ Stunde}{3600\ Sekunden}\right)} = 120 \frac{Kunden}{Stunde}$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{80 \frac{Kunden}{Stunde}}{120 \frac{Kunden}{Stunde}} = 0.67 = 67\%$$

Eisverkäufer-Beispiel

2. Durchschnittliche Länge der Warteschlange

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu-\lambda)} = \frac{80^2}{120(120-80)} = 1.33$$

3. Durchschnittliche Anzahl der Kunden im System

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu-\lambda} = \frac{80}{120-80} = 2$$

Eisverkäufer-Beispiel

4. Durchschnittliche Wartezeit

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu-\lambda)} = \frac{80}{120(120-80)} = \frac{1}{60}\ Stunde = 1\ Minute$$

5. Durchschnittliche Verweilzeit

$$W_s = \frac{1}{\mu-\lambda} = \frac{1}{120-80} = \frac{1}{40}\ Stunde = 1.5\ Minuten$$

M/M/1-Modell mit begrenzter Warteschlange

Eisverkäuferbeispiel

- Eisverkäufer möchte einen McIce Drive-in Kiosk betreiben.
- Wie viele Autos müssen in der Drive-in-Schlange mindestens Platz haben, damit mit mindestens 90%iger Wahrscheinlichkeit keine Autos auf der Strasse warten müssen?
- Ansonsten wie zuvor

M/M/1-Modell mit begrenzter Warteschlange

Eisverkäuferbeispiel

- Lösung: $P(n \geq k) = p^k$ $\quad P(n \geq 5) = \rho^5 = 0.13$

  $P(n \geq 6) = \rho^6 = 0.09$
- Die Wahrscheinlichkeit, dass sich 6 oder mehr Kunden im System befinden ist also 9%.
- Damit müssen also mindestens 5 Autos im System Platz haben (4 die warten und 1, das bedient wird), damit die Wahrscheinlichkeit, dass ein wartendes Auto die Strasse blockiert, kleiner als 10% ist

M/G/1-Modell

$$L_q = \frac{\rho^2+\lambda^2\sigma^2}{2(1-\rho)}$$

1. Für Exponentialverteilung gilt:

$$\sigma^2 = \frac{1}{\mu^2} \rightarrow L_q = \frac{\rho^2+\frac{\lambda^2}{\mu^2}}{2(1-\rho)} = \frac{2\rho^2}{2(1-\rho)} = \frac{\rho^2}{(1-\rho)}$$

2. Bei konstanter Servicezeit gilt:

$$\sigma^2 = 0 \rightarrow L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}$$

3. Hieraus folgt, dass die durchschnittliche Länge der Warteschlange (L_q) jeweils zur Hälfte durch die Varianz der Ankünfte sowie die Varianz der Servicezeit erklärt wird.

Standard-M/M/s-Modell

- Voraussetzungen
  - Wie bei Standard M/M/1-Modell (u.a. eine unbegrenzte Warteschlange und FCFS)
  - Servicerate der Server ist unabhängig und identisch verteilt
  - $\lambda < s\mu \; bzw. \; \frac{\lambda}{\mu} = \rho < s$

Standard-M/M/s-Modell

mms.xls M/M/s Queueing Formula Spreadsheet

Inputs:

lambda	80
mu	120

Definitions of terms:

lambda = arrival rate
mu = service rate
s = number of servers
Lq = average number in the queue
Ls = average number in the system
Wq = average wait in the queue
Ws = average wait in the system
P(0) = probability of zero customers in the system
P(delay) = probability that an arriving customer has to wait

Outputs:

s	Lq	Ls	Wq	Ws	P(0)	P(delay)	Utilization
0							
1	1,3333	2,0000	0,0167	0,0250	0,3333	0,6667	0,6667
2	0,0833	0,7500	0,0010	0,0094	0,5000	0,1667	0,3333
3	0,0093	0,6760	0,0001	0,0084	0,5122	0,0325	0,2222
4	0,0010	0,6677	0,0000	0,0083	0,5133	0,0051	0,1667
5	0,0001	0,6668	0,0000	0,0083	0,5134	0,0007	0,1333
6	0,0000	0,6667	0,0000	0,0083	0,5134	0,0001	0,1111
7	0,0000	0,6667	0,0000	0,0083	0,5134	0,0000	0,0952
8	0,0000	0,6667	0,0000	0,0083	0,5134	0,0000	0,0833
9	0,0000	0,6667	0,0000	0,0083	0,5134	0,0000	0,0741
10	0,0000	0,6667	0,0000	0,0083	0,5134	0,0000	0,0667

Beispiel: Fahrkartenautomat

- Pro Stunde kommen durchschnittlich 20 Kunden
- Servicemanager hat die Wahl zwischen
  - einem modernen Hochleistungsautomat (bedient durchschnittlich 2 Kunden pro Minute)
  - zwei alten Automaten (bedienen jeweils durchschnittlich 1 Kunden pro Minute)

Fahrkartenbeispiel: 1 Hochleistungsautomat

mms.xls M/M/s Queueing Formula Spreadsheet

Inputs:

lambda	20
mu	120

Definitions of terms:

lambda = arrival rate
mu = service rate
s = number of servers
Lq = average number in the queue
Ls = average number in the system
Wq = average wait in the queue
Ws = average wait in the system
P(0) = probability of zero customers in the system
P(delay) = probability that an arriving customer has to wait

Outputs:

s	Lq	Ls	Wq	Ws	P(0)	P(delay)	Utilization
0							
1	0,0333	0,2000	0,0017	0,0100	0,8333	0,1667	0,1667
2	0,0012	0,1678	0,0001	0,0084	0,8462	0,0128	0,0833

Fahrkartenbeispiel: 2 Altautomaten

mms.xls M/M/s Queueing Formula Spreadsheet

Inputs:

lambda	20
mu	60

Definitions of terms:

lambda = arrival rate

mu = service rate

s = number of servers

Lq = average number in the queue

Ls = average number in the system

Wq = average wait in the queue

Ws = average wait in the system

P(0) = probability of zero customers in the system

P(delay) = probability that an arriving customer has to wait

Outputs:

s	Lq	Ls	Wq	Ws	P(0)	P(delay)	Utilization
0							
1	0,1667	0,5000	0,0083	0,0250	0,6667	0,3333	0,3333
2	0,0095	0,3429	0,0005	0,0171	0,7143	0,0476	0,1667
3	0,0006	0,3340	0,0000	0,0167	0,7164	0,0050	0,1111

Trade-offs

2 Altautomaten

L_q = 0.0095

L_s = 0.3429

W_q = 0.0005

W_s = 0.0171

P(0) = 71%

P(Delay) = 4.8%

Auslastungsgrad = 16.7%

1 Hochleistungsautomat

L_q = 0.0333

L_s = 0.2

W_q = 0.0017

W_s = 0.01

P(0) = 83%

P(Delay) = 16.7%

Auslastungsgrad = 16.7%

Server-Pooling

- Prinzip: Eine statt mehrere Warteschlangen
- Bessere Auslastung der Server
- Beispiele: Postschalter, Sekretärinnenpool
- Nachteil: „Lange“ Warteschlange schreckt evtl. Kunden ab
- Trade-off zwischen Transport- und Wartekosten bei Pooling über mehrere Standorte (1 zentraler Serverpool vs. mehrere dezentrale Server)

M/M/s-Modell mit begrenzter Warteschlange

- Analog zu M/M/1-Modell mit begrenzter Warteschlange
- *N* = Maximale Kundenzahl im System > *s*
- Neu ankommender Kunde wird zurückgewiesen, wenn mehr als *N* - *s* Kunden warten oder mehr als *N* Kunden im System sind
- Sonderfall: *N* - *s* = *0* (Keine Wartemöglichkeit)
- Beispiel: Parkplatz (jeder Parkplatz ist ein Server)

M/G/∞-Modell

- Bei diesem Modell muss kein Kunde warten, da es unendliche viele Server gibt
  - Beispiel: Selbstbedienung
  - Die Anzahl der Kunden im System ist poissonverteilt gemäß

$$P_n = \frac{e^{-\rho}}{n!}\rho^n$$

- Es gilt: $L_s = \rho$

Beispiel: Supermarkt

Supermärkte können als 2 sukzessive Warteschlangensysteme modelliert werden

- System 1:

  Selbstbedienung im Laden (M/G/ ∞)

- System 2:

  Kasse (falls eine Schlange mit mehreren Kassen: M/M/s)

Kostenminimierung

Gesamtkosten/Stunde = Wartekosten/Stunde + Servicekosten/Stunde

$$TC = C_w \lambda W_s + sC_s = C_w L_s + sC_s$$

C_w = Opportunitätskosten/Stunde eines Kunden

λ = durchschnittliche Ankunftsrate

W_s = durchschnittliche Verweilzeit im System

C_s = Serverkosten/Stunde

s = Serverzahl

Achtung: Gilt nur für Systeme mit $s > \rho = \lambda/\mu$

Beispiel: Workstation Miete

- Ein Ingenieurbüro plant Workstations für die Durchführung von Statikanalysen anzumieten
- Durchschnittlich werden pro Stunde 8 Statikanalysen durchgeführt (poissonverteilt)
- Eine Statikanalyse dauert durchschnittlich 15 Minuten (exponentialverteilt)
- Die Mietkosten betragen je Workstation 10 €/h
- Der Stundenlohn eines Ingenieurs beträgt 30 €/h

Workstation-Beispiel

Berechnung: M/M/s-Modell mit $\rho = 8/4 = 2$

s	L_q	$C_w L_q$	sC_s	TC
3	0.88	€26.4	€30	€56.4
4	0.17	€5.1	€40	€45.1
5	0.04	€1.2	€50	€51.2
6	0.01	€0.3	€60	€60.3

Achtung: Hier wird mit L_q anstatt L_s gerechnet, da die Ingenieure an der Workstation bereits produktiv sind!