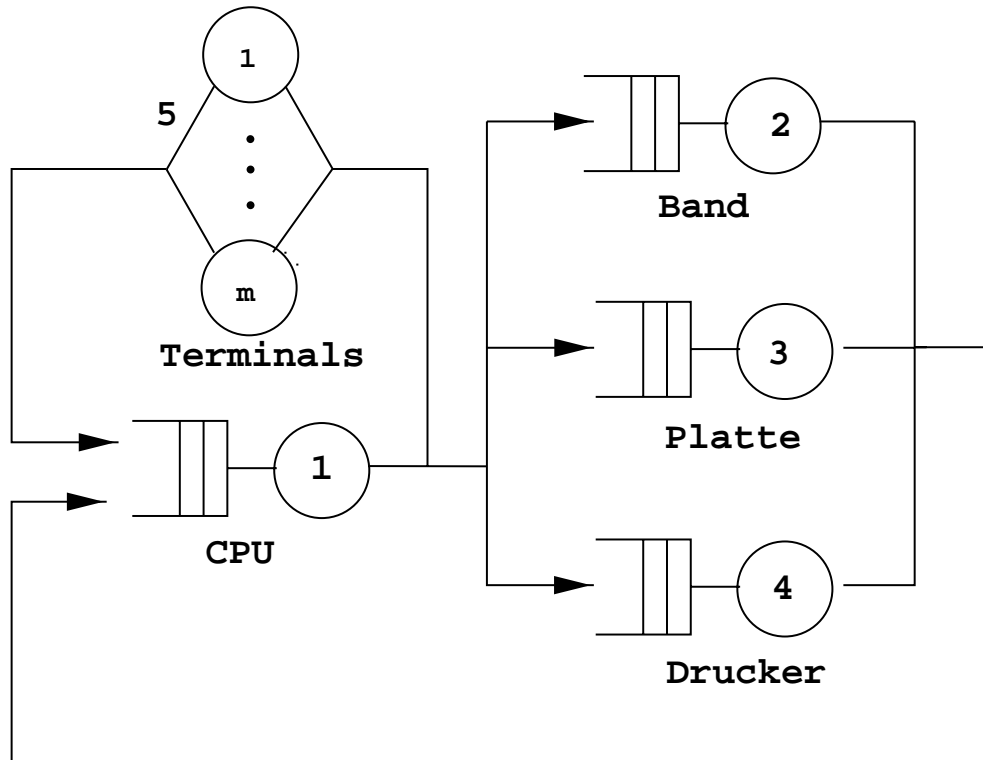


G Anwendungsbeispiele

■ Terminal System:



◆ Systemparameter:

- CPU:
 - Zahl der Prozessoren: 3
 - Bedienzeit: 0.5 sec

- Band:
 - Bedienzeit: 5.0 sec

- Platte:
 - Bedienzeit: 1.0 sec

- Drucker:
 - Bedienzeit: 5.0 sec

- Terminals:
 - Denkzeit: 10 sec
 - Anzahl: 20

◆ Übergangswahrscheinlichkeiten

$$p_{12} = 0.15$$

$$p_{13} = 0.20$$

$$p_{14} = 0.15$$

$$p_{15} = 0.50$$

$$p_{21} = p_{31} = p_{41} = p_{51} = 1$$

◆ Bestimmung der Leistungsgrößen mithilfe des Leistungsbewertungstools **PEPSY** durch Anwendung der **MVA** oder des **Faltungsalgorithmus**

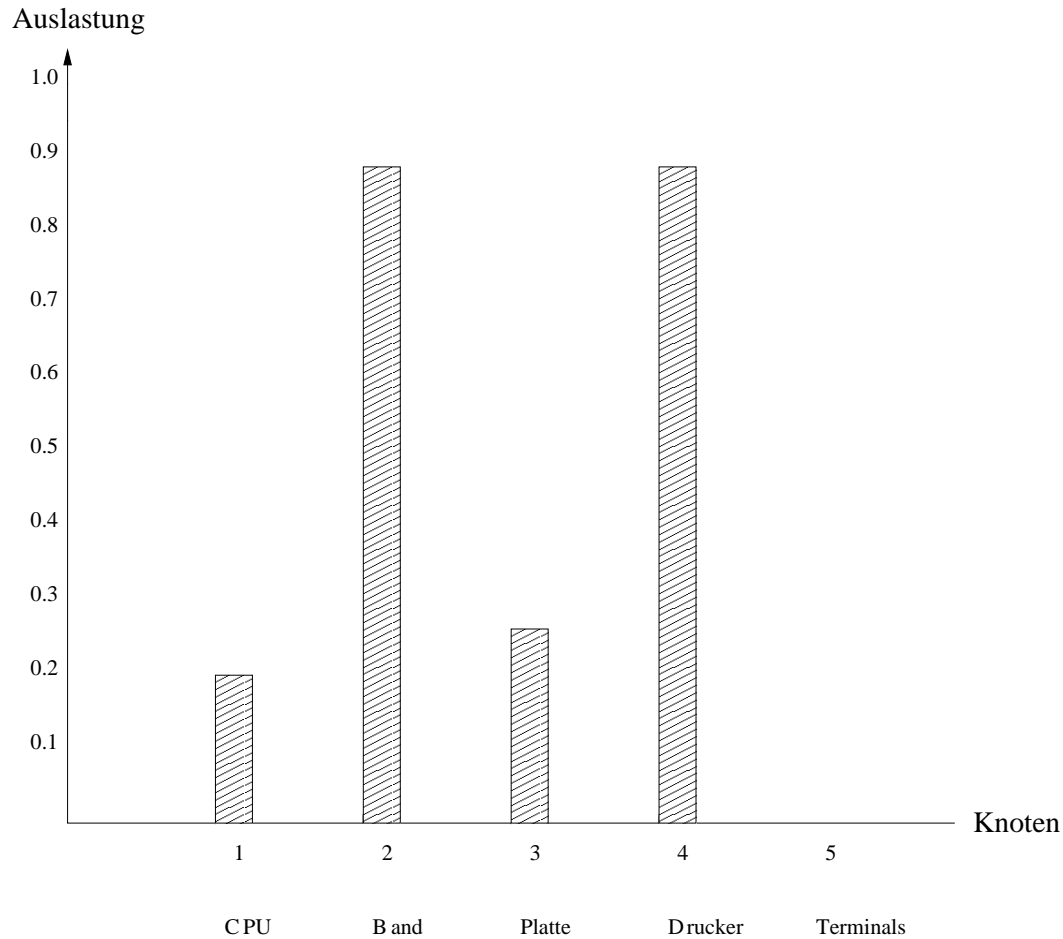
- Leistungsgrößen der einzelnen Komponenten (Knoten):

	Bedienzeit	Durchsatz	Auslastung	WS-Länge	Verweilzeit
CPU	0.500	1.147	0.191	0.005	0.504
Band	5.000	0.172	0.860	2.969	22.262
Platte	1.000	0.229	0.229	0.066	1.287
Drucker	5.000	0.172	0.860	2.969	22.262
Terminals	20.000	0.573	--	0.000	20.000

- Leistungsgrößen des Gesamtnetzes

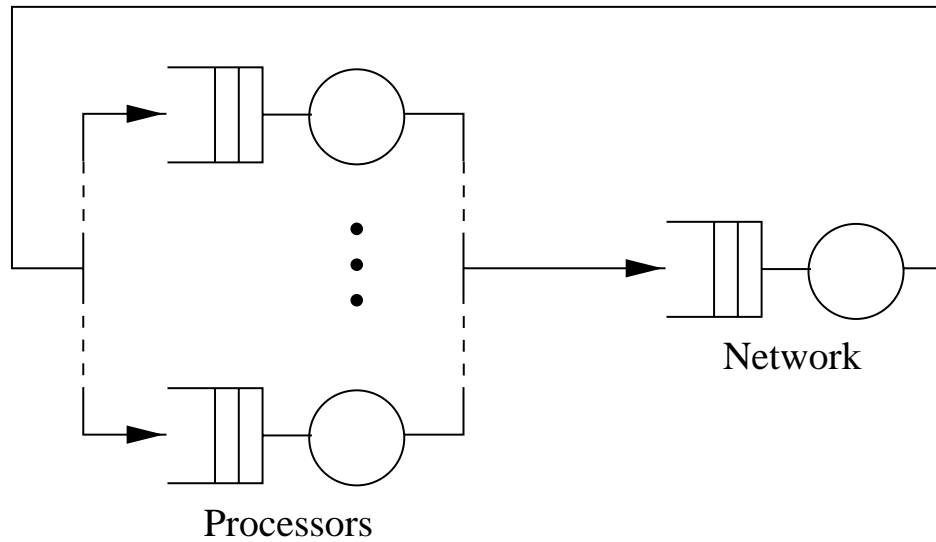
	Durchsatz	Verweilzeit
Netz	0.573	34.880

◆ Graphische Darstellung der Ergebnisse:

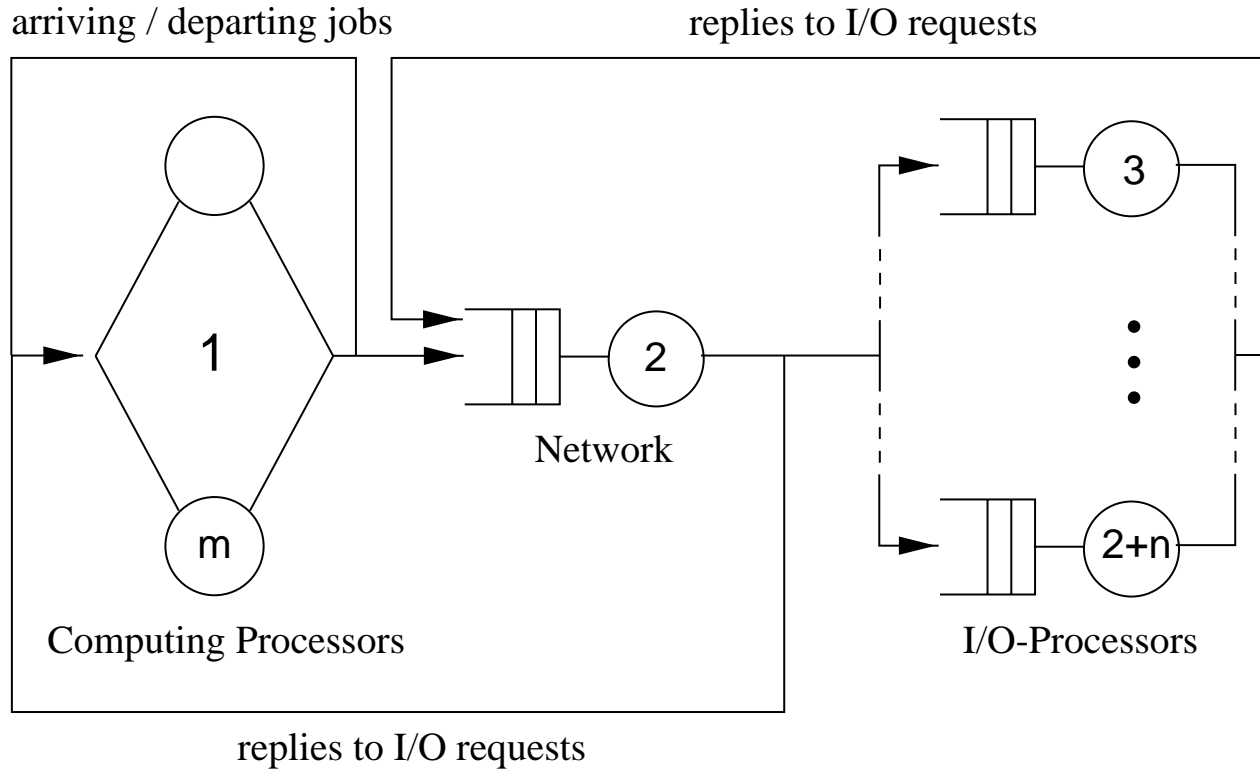


■ Multiprozessorsysteme:

◆ Lose Kopplung - einfaches Modell:



◆ Lose Kopplung - Detailliertes Modell mit I/O-Prozessoren:



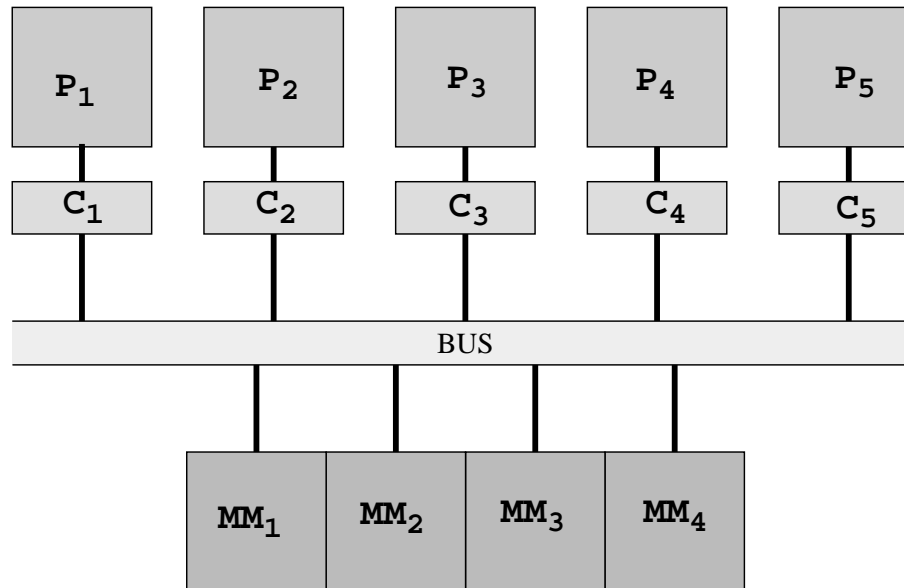
► Parameter:

- Anzahl der Computing-Prozessoren $m = 8$
- Anzahl der I/O-Prozessoren $n = 2, 3, 4$
- Mittl. Bedienzeit der Computing-Prozessoren $1/\mu_1 = 30 \text{ msec}$
- Mittl. Bedienzeit der I/O-Prozessoren $1/\mu_i = 50 \text{ msec}$ $i = 3, \dots, n+2$
- Mittl. Verzögerungszeit durch das Netzwerk $1/\mu_2 = 1 \text{ msec}$
- $p_{11} = 0.005$; $p_{21} = 0.5$; $p_{2i} = 0.5/n$ $i = 3, \dots, n+2$

► Leistungsgrößen:

Number of I/O Processors	2	3	4
mean response time	4.15 sec	3.18 sec	2.719 sec
throughput	1.93 sec⁻¹	2.51 sec⁻¹	2.944 sec⁻¹
$\rho_{\text{computingprocessor}}$	0.145	0.189	0.220
ρ_{network}	0.070	0.090	0.106
$\rho_{\text{I/Oprocessor}}$	0.867	0.754	0.662

◆ Multiprozessorsystem - Enge Kopplung:



P_n	Prozessor n
C_n	Cache n
MM_n	Memory Modul n

◆ Systemparameter:

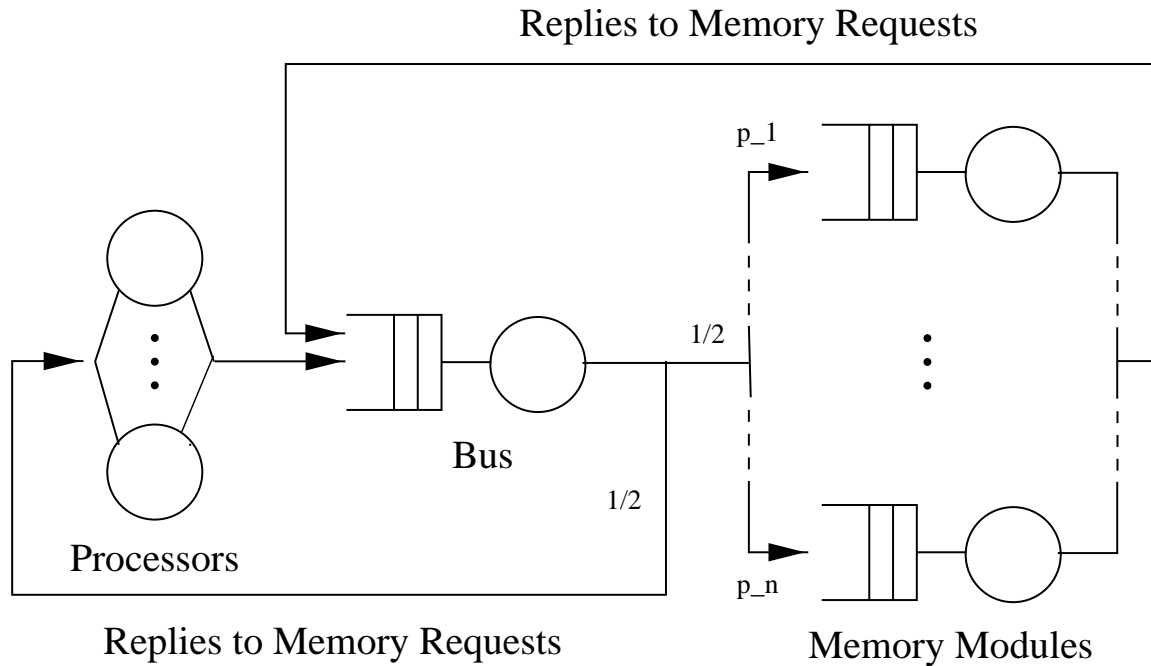
- mittlere Busbedienzeit:
Zeit, die der Bus im Mittel von einem Auftrag belegt ist

- mittlere Speicherbedienzeit:
Zeit, die im Mittel für den Speicherzugriff benötigt wird

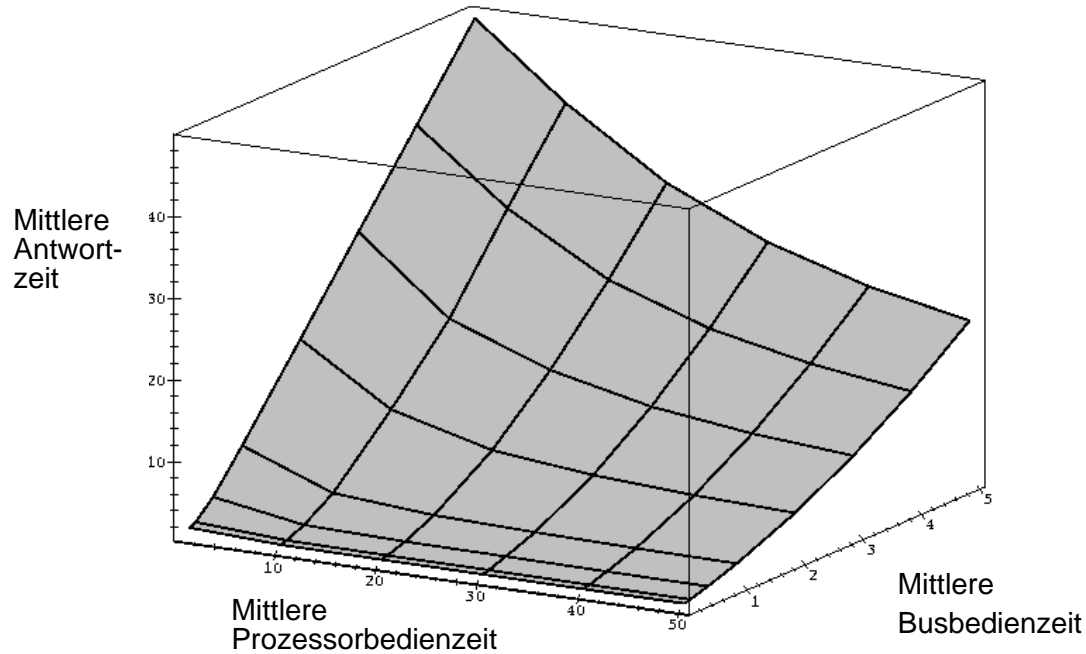
- mittlere Prozessorbedienzeit:
mittlere Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgende Speicherzugriffen

- Wahrscheinlichkeit p_n des Zugriffes auf den Speichermodul n

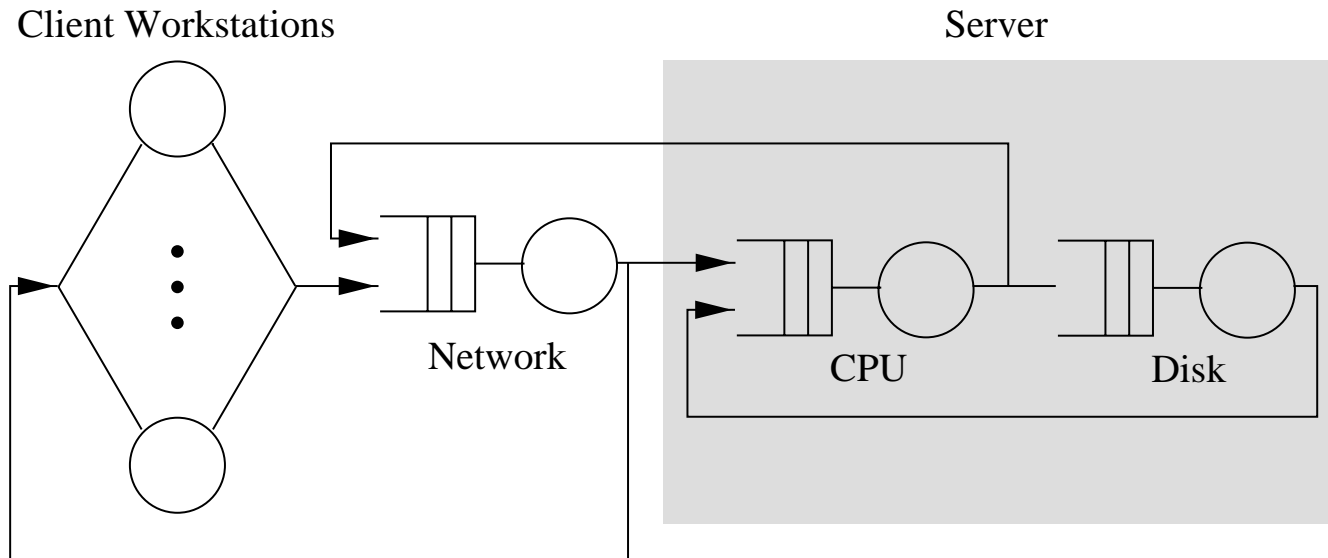
◆ Warteschlangenmodell:



◆ Mittlere Antwortzeit für den Speicherzugriff eines Prozessors:



■ Client-Server System:



Network: Ethernet (CSMA/CD)

Parameter	Description
N_p	Average number of packets generated per request
B	Network bandwidth in bits per second
S	Slot duration (i.e., time for collision detection)
\bar{L}_p	Average packet length in bits

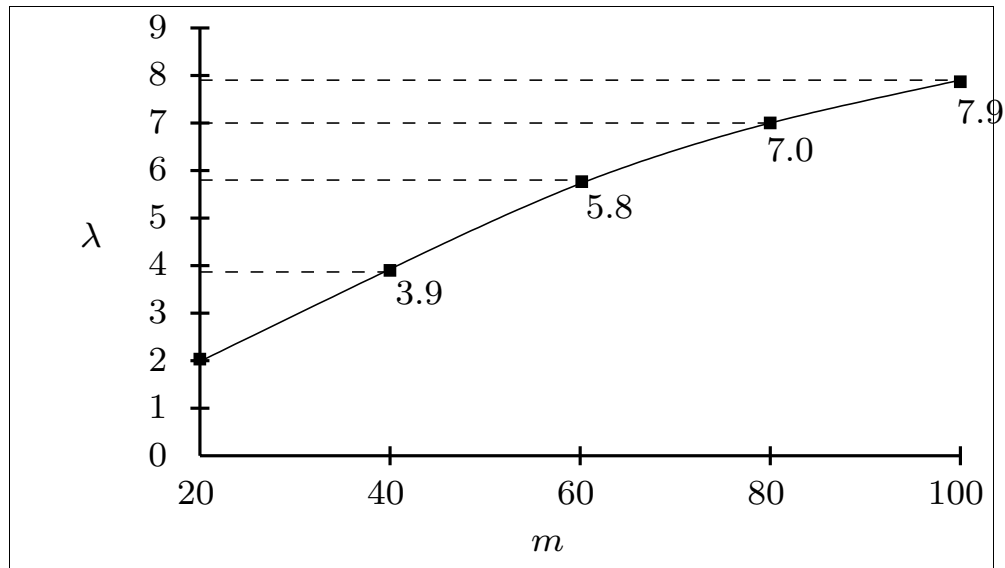
$$\mu_{\text{net}}(k) = \begin{cases} \left(\frac{1}{N_p} \cdot \frac{\bar{L}_p}{B} + S \cdot C(1) \right)^{-1}, & k = 1, \\ \left(\frac{1}{N_p} \cdot \frac{\bar{L}_p}{B} + S \cdot C(k+1) \right)^{-1}, & k > 1, \end{cases}$$

$$C(k) = (1 - A(k)) / A(k)$$

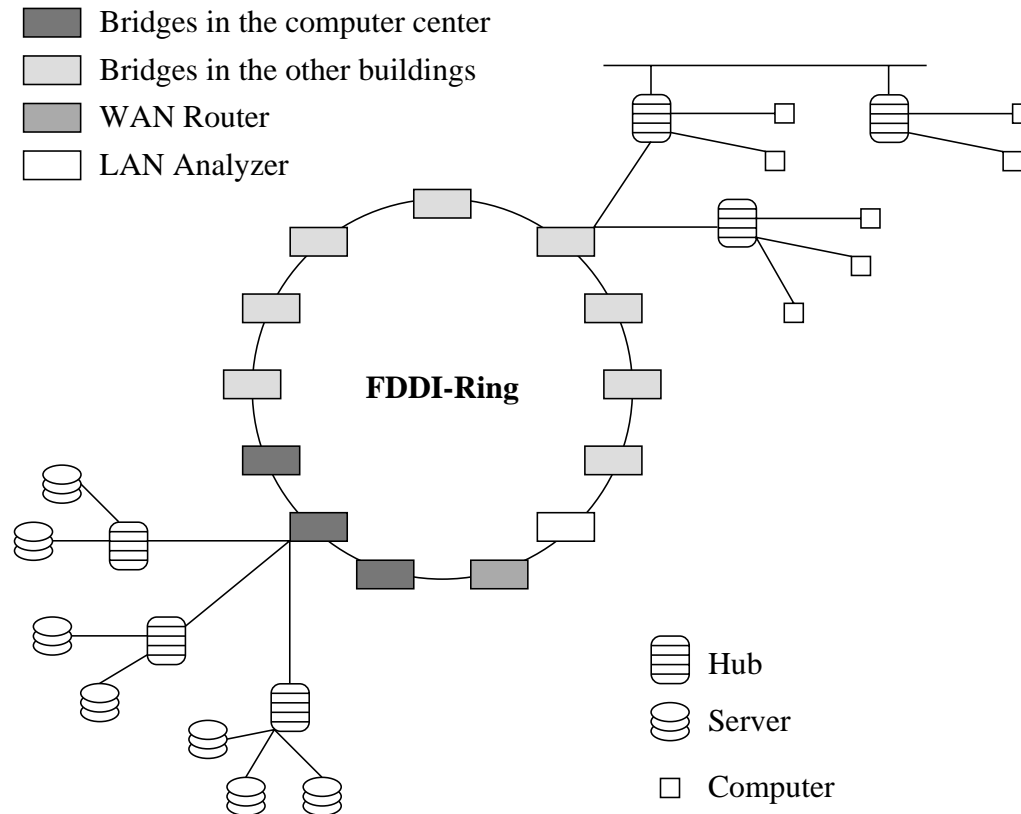
$$A(k) = (1 - 1/k)^{k-1}$$

k : Number of workstations that desire use of the network

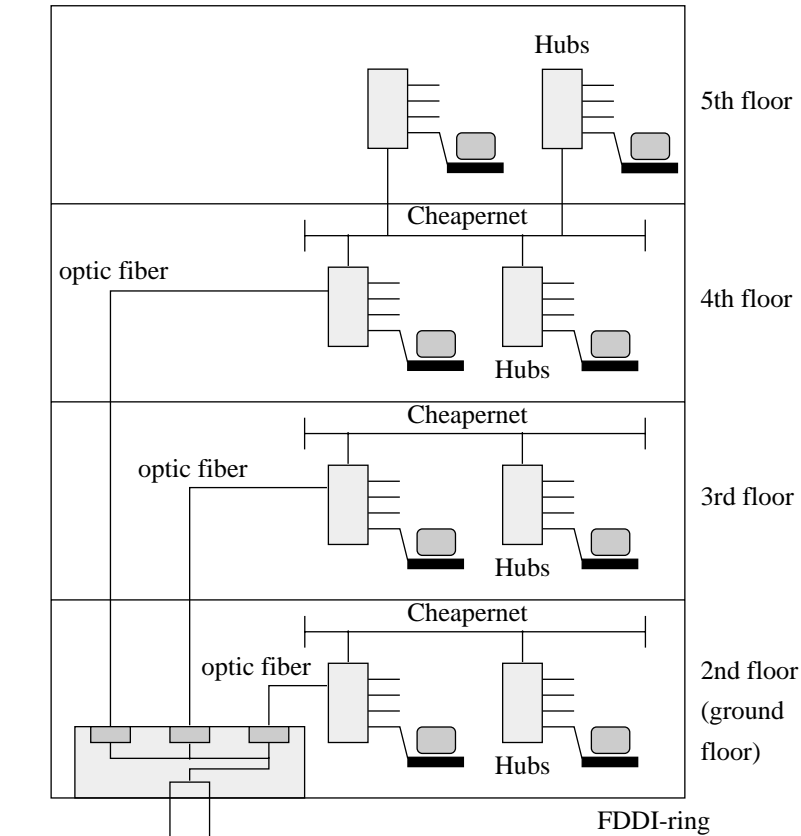
$N_p = 7$	$\mu_1 = \mu_{\text{CL}} = 0.1 / \text{sec}$
$B = 10 \text{ Mb/ sec}$	$\mu_2 = \mu_{\text{Net}}(k)$
$S = 51.2 \mu \text{ sec}$	$\mu_3 = \mu_{\text{CPU}} = 16.7 / \text{sec}$
$\bar{L}_p = 1518 \text{ bits}$	$\mu_4 = \mu_{\text{Disk}} = 18.5 / \text{sec}$
$p_{12} = 1$	$p_{21} = 0.5$
	$p_{32} = 0.5$
	$p_{43} = 1$
	$p_{23} = 0.5$
	$p_{34} = 0.5$



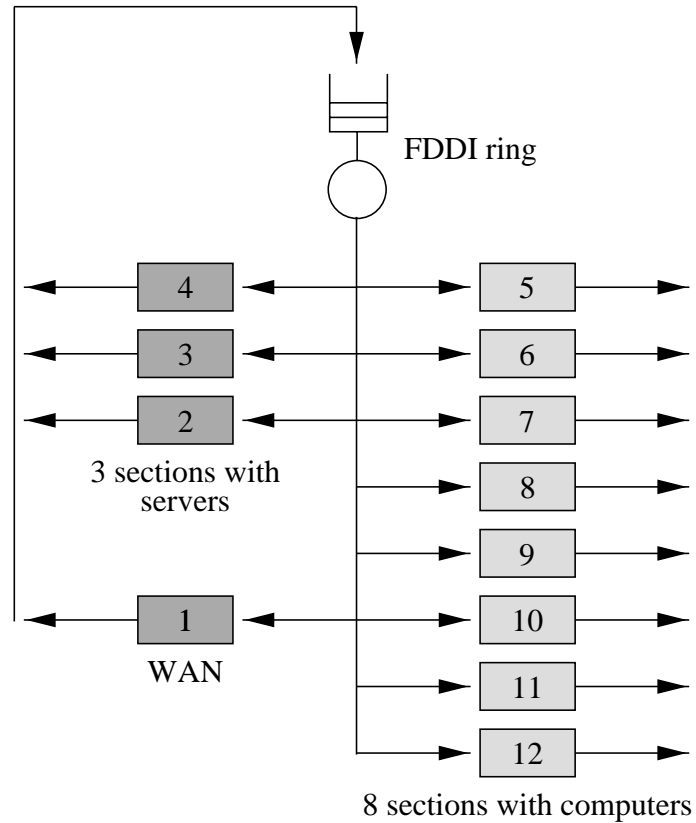
■ Kommunikationssystem mit FDDI-Ring und Ethernets:



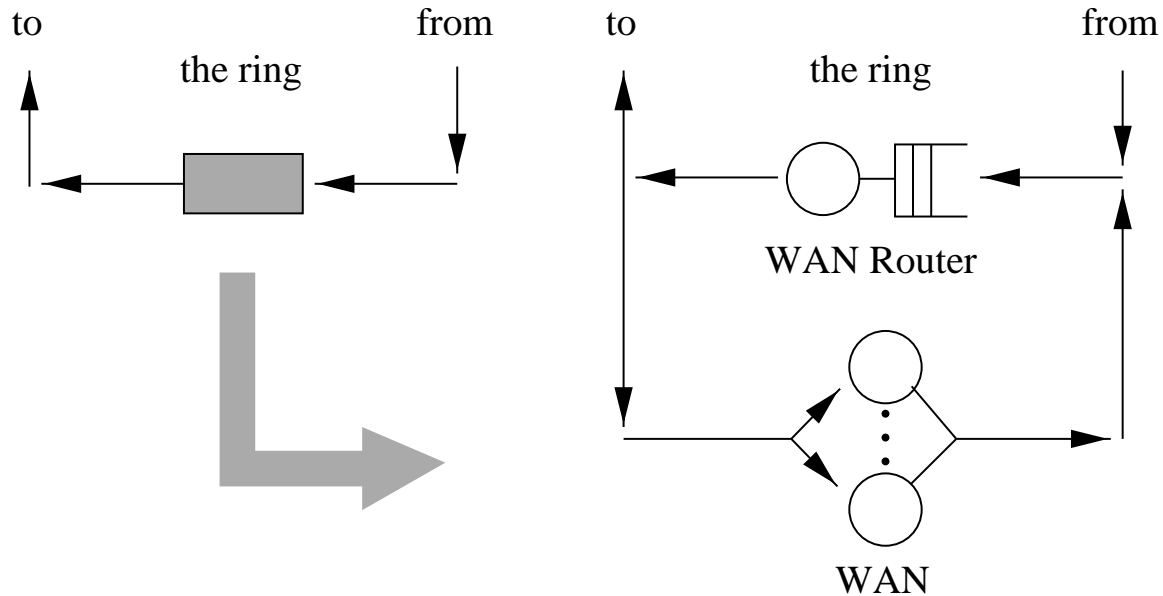
◆ Ethernet in einem Gebäude:



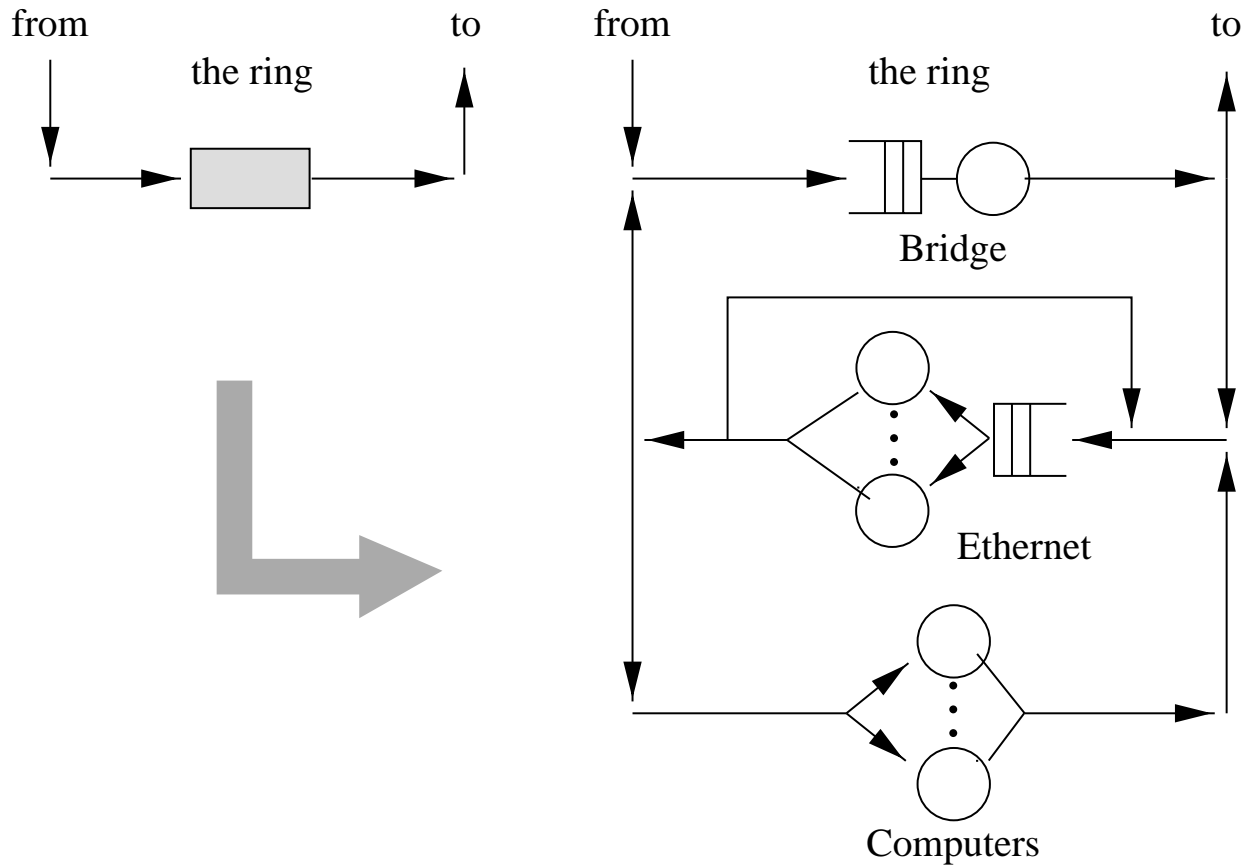
◆ Komprimiertes Modell:



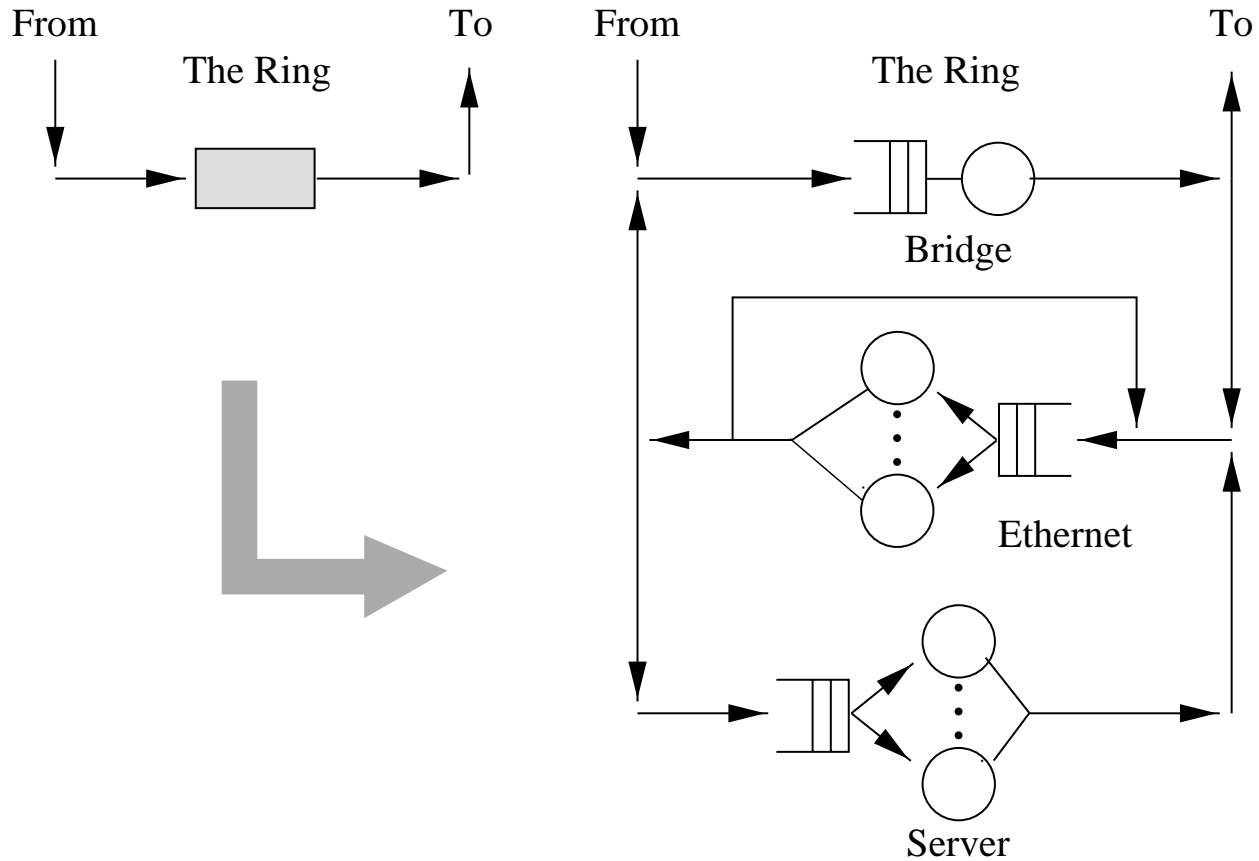
◆ WAN und WAN-Router:



◆ Modell eines LAN mit Rechnern:



◆ Modell eines LAN mit Servern:



◆ Bestimmung der Systemparameter:

- Datentransfer vom FDDI-Ring zu den Bridges innerhalb zweier Tage und daraus ermittelte Übergangswahrscheinlichkeiten:

Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Data/Mb	2655	1690	2800	1652	2840	1500	3000	200	1940	1180	4360	4380
$p_i/\%$	9.5	6.2	10	5.9	10.1	5.4	10.7	0.7	6.9	4.2	14.8	15.6

1: WAN; 2, 3, 4: sections with server; 5, ... , 12: sections with computers

- Kollisionswahrscheinlichkeiten:

Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$q_i/\%$	1	5	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2

► Anzahl der Bedieneinheiten in Knoten i :

Section	2	3	4
m_i	14	23	13

Section	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
m_i	4	7	2	4	5	3	1	4	2	5	5

- Gemessene Verteilung der Zwischenankunftszeiten beim FDDI-Ring und der Paketlänge

Interarrival Time (μ s)	%
≤ 5	3.0
5 – 20	0.9
20 – 82	15.3
82 – 328	42.7
329 – 1300	27.1
1300 – 5200	1.0

Length (Bytes)	%
≤ 32	11.1
32 – 63	10.0
64 – 95	33.0
96 – 127	7.9
128 – 191	6.8
192 – 511	4.1
512 – 1023	5.8
1024 – 1526	21.3

- Mittelwert und Variationskoeffizient der Zwischenankunftszeit und der Paketlänge (aus der vorigen Tabelle ermittelt):

	Interarrival Times of the Frames	Length of the Frames
Mean value	346 μ sec	382.5 Byte
Squared coefficient of variation	1.48	1.67

- Ankunftsrate der Pakete bei den Sections (mithilfe der Übergangswahrscheinlichkeiten und $\lambda = 1/(346\mu\text{sec}) = 2890/\text{sec}$):

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
λ_i	275	179	289	171	292	156	309	20	199	121	428	451

► Mittl. Tokenrotationszeit:

$$\bar{T}_r = U + R^{-1} \cdot \bar{L} \cdot \sum \rho_i$$

- $U = 22 \mu\text{sec}$: Mittl. Rotationszeit eines freien Tokens
- $R = 100 \text{ Mb/sec}$: Transferrate
- \bar{L} : Mittl. Paketlänge (Mean frame length) → Tabelle

$$\sum \rho_i = \frac{\sum \lambda_i}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu}$$

Approximation:

$$\bar{T}_r \approx \frac{1}{\mu}$$

- Bedienrate des Tokenrings:

$$\mu = \frac{R - \lambda \bar{L}}{U \cdot R}$$

– $\lambda = 1/(346\mu\text{sec}) = 2890/\text{sec}$: Durchsatz

$$\mu = 41435/\text{sec} \quad \bar{T}_r \approx \frac{1}{\mu} = 24 \mu\text{sec}$$

- Varianz der Tokenrotationszeit:

$$\sigma_{T_r}^2 = R^{-2} \left(\rho \cdot \text{var}(L) + \rho \cdot \left(1 - \rho \sum p_i^2 \right) \bar{L}^2 \right)$$

$\rho = \lambda/\mu$; Varianz und 2. Moment von L → siehe Tabelle

$$c_{T_r}^2 = 0.3$$

- Bedienzeit bei den "Bridges" ist konstant ($c_{Bridge} = 0$) mit der Bedienrate $\mu_{Bridge} = 10000$ Pakete/sec
- Bedienzeit des Ethernet T_{eth} :

$$T_{eth} = T_t + T_d$$

- T_t : Transferzeit = mittl. Paketlänge/Transferrate

Paketlänge (aus Tabelle, mit minimaler Paketlänge 72 bytes bei Ethernet):

$$\bar{L}_{eth} = 395 \text{ bytes} = 3160 \text{ bit}, \quad c_{L_{eth}}^2 = 1.51.$$

Transferrate: 10 Mb/sec

$$\bar{T}_t = \frac{3160 \text{ bit}}{10 \text{ Mb/sec}} = 316 \mu\text{sec} \quad c_{T_t}^2 = 1.51.$$

- T_d : Verzögerungszeit, mithilfe der technischen Daten des Ethernets:

	Transfer Rate	Mean Length	Signal Time
Optical fiber	10 Mb/sec	11 m	5 μ s ec/km
Cheapernet	10 Mb/sec	5 m	4.3 μ sec /km
Twisted pair	10 Mb/s	50 m	4.8 μ se c/km

$$\begin{aligned}\bar{T}_d &= 0.011 \text{ km} \cdot 5 \mu\text{sec/km} + 0.005 \text{ km} \cdot 4.3 \mu\text{sec/km} \\ &+ 0.05 \text{ km} \cdot 4.8 \mu\text{sec/km} \\ &= 0.3 \mu\text{sec} .\end{aligned}$$

- Verzögerungszeit T_d kann vernachlässigt werden im Vergleich zur Transferzeit T_t und es ergibt sich für die Bedienzeit des Ethernets:

$$\bar{T}_{eth} = 1/\mu_{eth} = 316 \mu\text{sec}$$

- Approximation der Bedienzeit der WANs und der Computer einer Section = IS-Knoten:

$$\bar{K}_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}, \quad \rightarrow \quad \mu_i = \frac{\lambda_i}{\bar{K}_i}.$$

mit $K = 170$: mittl. Anzahl der aktiven Computer = mittl. Anzahl der Aufträge im Netz:

$$\bar{K}_i \approx \frac{170}{12} = 14.17$$

- Approximation der Bedienzeit der Sections mit Servern = -/G/m-Knoten:

$$\rho_i = \frac{\lambda_i}{m_i \mu_i}, \quad \rightarrow \quad \mu_i = \frac{\lambda_i}{m_i \rho_i},$$

Auslastung der Sections mit Servern geschätzt zu 90%

- Bedienraten der WANs und der Sections mit Computern bzw. Servern:

Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
μ_i	19.4	14.2	14.0	14.6	20.6	11.0	21.8	14.1	14.8	8.5	30.2	31.8

- ◆ Anwendung des WS-Tools PEPSY zur Analyse:

- Geschlossenes Nichtproduktformnetz
- Methode von Marie
- Insgesamt 36 Knoten
- $K = 170$

```
#
# filename e_lan170
#
```

```
NUMBER NODES: 36
NUMBER CLASSES: 1
```

NODE SPECIFICATION

node	name	type	node	name	type
1	ring	-/G/1-FCFS	19	pc-b7	-/G/0-IS
2	bridge-cc2	-/G/1-FCFS	20	bridge-b8	-/G/1-FCFS
3	eth-cc2	-/G/4-FCFS	21	eth-b8	-/G/1-FCFS
4	serv-cc2	-/G/14-FCFS	22	pc-b8	-/G/0-IS
5	bridge-cc3	-/G/1-FCFS	23	bridge-b9	-/G/1-FCFS
6	eth-cc3	-/G/7-FCFS	24	eth-b9	-/G/4-FCFS
7	serv-cc3	-/G/23-FCFS	25	pc-b9	-/G/0-IS
8	bridge-cc4	-/G/1-FCFS	26	bridge-b10	-/G/1-FCFS
9	eth-cc4	-/G/2-FCFS	27	eth-b10	-/G/2-FCFS
10	serv-cc4	-/G/13-FCFS	28	pc-b10	-/G/0-IS
11	bridge-b5	-/G/1-FCFS	29	bridge-b11	-/G/1-FCFS
12	eth-b5	-/G/4-FCFS	30	eth-b11	-/G/5-FCFS
13	pc-b5	-/G/0-IS	31	pc-b11	-/G/0-IS
14	bridge-b6	-/G/1-FCFS	32	bridge-b12	-/G/1-FCFS
15	eth-b6	-/G/5-FCFS	33	eth-b12	-/G/5-FCFS
16	pc-b6	-/G/0-IS	34	pc-b12	-/G/0-IS
17	bridge-b7	-/G/1-FCFS	35	wanrouter	-/G/1-FCFS
18	eth-b7	-/G/3-FCFS	36	wan	-/G/0-IS

CLASS SPECIFICATION

class	arrival rate	number of jobs
1	-	170

```
#
# filename e_lan170
#
```

```
NUMBER NODES: 36
NUMBER CLASSES: 1
```

CLASS SPECIFIC PARAMETERS

```
CLASS 1 ( sc_o_v = squared coefficient of variation )
```

node	service_rate	sc_o_v	visit_rat	node	service_rate	sc_o_v	visit_rat
ring	41345	0.3	9.901	pc-b7	21.81	1	1.059
bridge-cc2	9999	0.1	1.228	bridge-b8	9999	0.1	0.139
eth-cc2	3164	1.51	1.292	eth-b8	3164	1.5	0.14
serv-cc2	14.2	1	0.614	pc-b8	14.11	1	0.069
bridge-cc3	9999	0.1	1.98	bridge-b9	9999	0.1	1.366
eth-cc3	3164	1.51	2	eth-b9	3164	1.51	1.38
serv-cc3	14.0	1	0.99	pc-b9	14.11	1	0.683
bridge-cc4	9999	0.1	1.168	bridge-b10	9999	0.1	0.832
eth-cc4	3164	1.51	1.18	eth-b10	3164	1.51	0.84
serv-cc4	14.6	1	0.584	pc-b10	8.54	1	0.416
bridge-b5	9999	0.1	2	bridge-b11	9999	0.1	2.93
eth-b5	3164	1.51	2.02	eth-b11	3164	1.51	3.021
pc-b5	20.61	1	1	pc-b11	30.21	1	1.465
bridge-b6	9999	0.1	1.069	bridge-b12	9999	0.1	3.089
eth-b6	3164	1.51	1.08	eth-b12	3164	1.51	3.152
pc-b6	11.01	1	0.535	pc-b12	31.83	1	1.545
bridge-b7	9999	0.1	2.119	wanrouter	9999	0.1	1.881
eth-b7	3164	1.51	2.1	wan	19.41	1	0.941

```

PERFORMANCE_MEASURE FOR NETWORK: lan170
description of the network is in file 'e_lan170'
the closed network was solved using the method 'marie'
jobclass 1

```

marie	lambda	e	1/mu	rho	mvz	maa	mwz	mws1
ring	2879.034	9.901	0.000	0.070	0.000	0.377	0.000	0.089
bridge-cc2	357.080	1.228	0.000	0.036	0.000	0.037	0.000	0.001
eth-cc2	375.690	1.292	0.000	0.030	0.000	0.119	0.000	0.000
serv-cc2	178.540	0.614	0.070	0.898	0.088	15.669	0.017	3.096
bridge-cc3	575.749	1.980	0.000	0.058	0.000	0.060	0.000	0.002
eth-cc3	581.564	2.000	0.000	0.026	0.000	0.184	0.000	0.000
serv-cc3	287.874	0.990	0.071	0.894	0.078	22.479	0.007	1.916
bridge-cc4	339.634	1.168	0.000	0.034	0.000	0.035	0.000	0.001
eth-cc4	343.123	1.180	0.000	0.054	0.000	0.113	0.000	0.004
serv-cc4	169.817	0.584	0.069	0.895	0.087	14.858	0.019	3.227
bridge-b5	581.564	2.000	0.000	0.058	0.000	0.060	0.000	0.002
eth-b5	587.380	2.020	0.000	0.046	0.000	0.186	0.000	0.000
pc-b5	290.782	1.000	0.049	0.000	0.049	14.109	0.000	0.000
bridge-b6	310.846	1.069	0.000	0.031	0.000	0.032	0.000	0.001
eth-b6	314.045	1.080	0.000	0.020	0.000	0.099	0.000	0.000
pc-b6	155.568	0.535	0.091	0.000	0.091	14.130	0.000	0.000
bridge-b7	616.167	2.119	0.000	0.062	0.000	0.064	0.000	0.003
eth-b7	622.274	2.140	0.000	0.066	0.000	0.199	0.000	0.003
pc-b7	307.938	1.059	0.046	0.000	0.046	14.119	0.000	0.000

characteristic indices:

marie	lambda	mvz	maa
	290.782	0.585	170.000

```

PERFORMANCE_MEASURE FOR NETWORK: lan170
description of the network is in file 'e_lan170'
the closed network was solved using the method 'marie'
jobclass 1

```

marie	lambda	e	1/mu	rho	mvz	maa	mwz	mws1
bridge-b8	40.419	0.139	0.000	0.004	0.000	0.004	0.000	0.000
eth-b8	40.709	0.140	0.000	0.013	0.000	0.013	0.000	0.000
pc-b8	20.064	0.069	0.071	0.000	0.071	1.422	0.000	0.000
bridge-b9	397.208	1.366	0.000	0.040	0.000	0.041	0.000	0.001
eth-b9	401.279	1.380	0.000	0.032	0.000	0.127	0.000	0.000
pc-b9	198.604	0.683	0.071	0.000	0.071	14.075	0.000	0.000
bridge-b10	241.931	0.832	0.000	0.024	0.000	0.025	0.000	0.000
eth-b10	244.257	0.840	0.000	0.039	0.000	0.078	0.000	0.001
pc-b10	120.965	0.416	0.117	0.000	0.117	14.165	0.000	0.000
bridge-b11	852.282	2.931	0.000	0.085	0.000	0.090	0.000	0.005
eth-b11	878.453	3.021	0.000	0.056	0.000	0.278	0.000	0.000
pc-b11	425.996	1.465	0.033	0.000	0.033	14.101	0.000	0.000
bridge-b12	898.226	3.089	0.000	0.090	0.000	0.096	0.000	0.006
eth-b12	916.545	3.152	0.000	0.058	0.000	0.290	0.000	0.000
pc-b12	449.258	1.545	0.031	0.000	0.031	14.114	0.000	0.000
wanrouter	546.961	1.881	0.000	0.055	0.000	0.057	0.000	0.002
wan	273.626	0.941	0.051	0.000	0.051	14.097	0.000	0.000

characteristic indices:

marie	lambda	mvz	maa
	290.782	0.585	170.000

► Variation der Anzahl der aktiven Computer = Anzahl der Pakete im Netz:

K	100	130	150	170	180	200	300
ρ_2	0.55	0.71	0.81	0.90	0.93	0.97	0.99
ρ_3	0.55	0.71	0.81	0.89	0.92	0.97	0.99
ρ_4	0.55	0.71	0.81	0.90	0.92	0.97	0.99
\bar{Q}_2	0.05	0.6	1.4	3.1	4.8	7.9	50
\bar{Q}_3	0.02	0.3	0.8	1.9	2.9	8.3	30
\bar{Q}_4	0.11	0.6	1.4	3.2	4.8	9.3	43
\bar{T}	0.56	0.56	0.57	0.59	0.60	0.64	0.94
ρ_{ring}	0.043	0.055	0.063	0.070	0.072	0.075	0.077

$$m_2 = 14; \quad m_3 = 23; \quad m_4 = 13$$

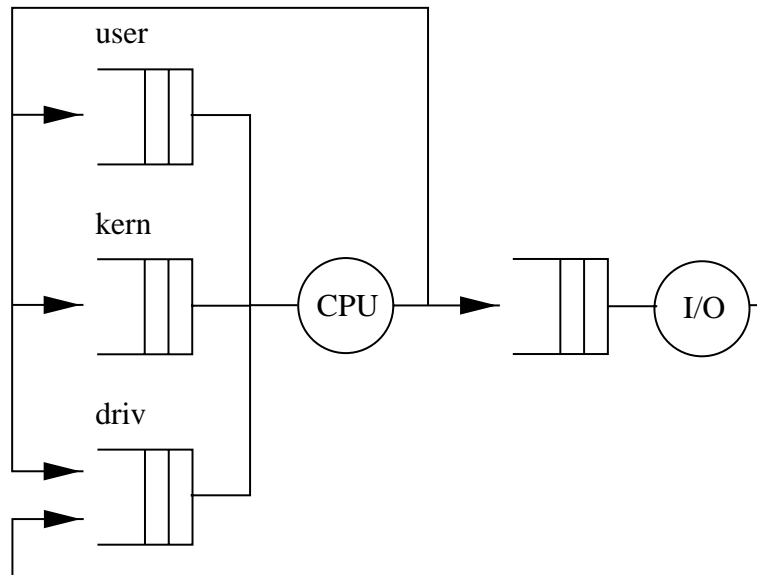
► Variation der Anzahl der Server:

m_2	7	10	14	16	18	28
m_3	12	16	23	18	26	46
m_4	7	9	13	16	17	26
ρ_2	0.999	0.96	0.90	0.69	0.73	0.47
ρ_3	0.95	0.98	0.89	0.998	0.88	0.47
ρ_4	0.92	0.98	0.90	0.64	0.71	0.47
\bar{Q}_2	63	10	3.1	0.4	0.5	0
\bar{Q}_3	9.6	13	1.9	28	0.7	0
\bar{Q}_4	7.0	23	3.2	0.2	0.5	0
\bar{T}	1.05	0.77	0.59	0.67	0.56	0.56
ρ_{ring}	0.039	0.053	0.070	0.061	0.072	0.073

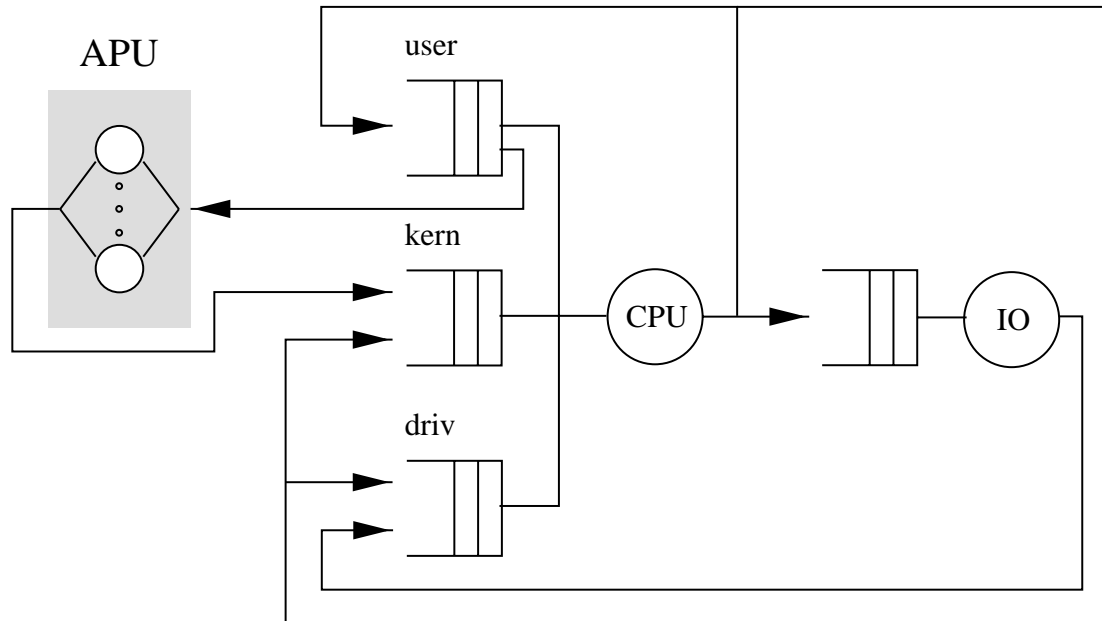
$$K = 170$$

■ Modell eines UNIX-Kerns:

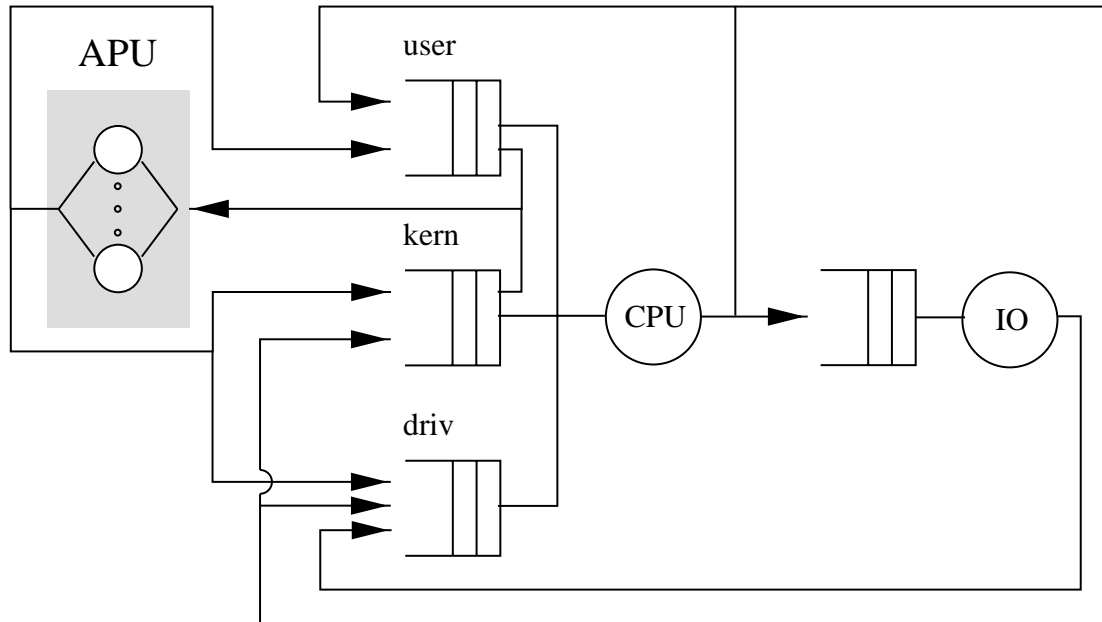
◆ Monoprozessor:



◆ Multiprozessor mit Master-Slave-Konfiguration:



◆ Multiprozessor mit erweiterter Master-Slave-Konfiguration:



◆ Systembeschreibung:

- Geschlossenes WS-Netz mit $K = 10$ Jobs
- Exp. verteilte Bedienzeiten
- Prioritätsklassen *user*, *kern*, *driv* Prioritätsreihenfolge: $driv > kern > user$
- Klassenwechsel ist erlaubt
- *user*-Jobs können durch *kern*- und *driv*-Jobs verdrängt werden. Andere Verdrängungen sind nicht erlaubt.
- Übergangswahrscheinlichkeiten und mittl. Bedienzeiten:

$$\begin{array}{ll}
 p_{io} = 0.05, & s_{user} = \text{varied from } 0.25 \text{ to } 20.0, \\
 p_{done} = 0.01/0.005, & s_{kern} = 1.0, \\
 p_{drivdone} = 0.4, & s_{driv} = 0.5.
 \end{array}$$

► Matrix der Übergangswahrscheinlichkeiten:

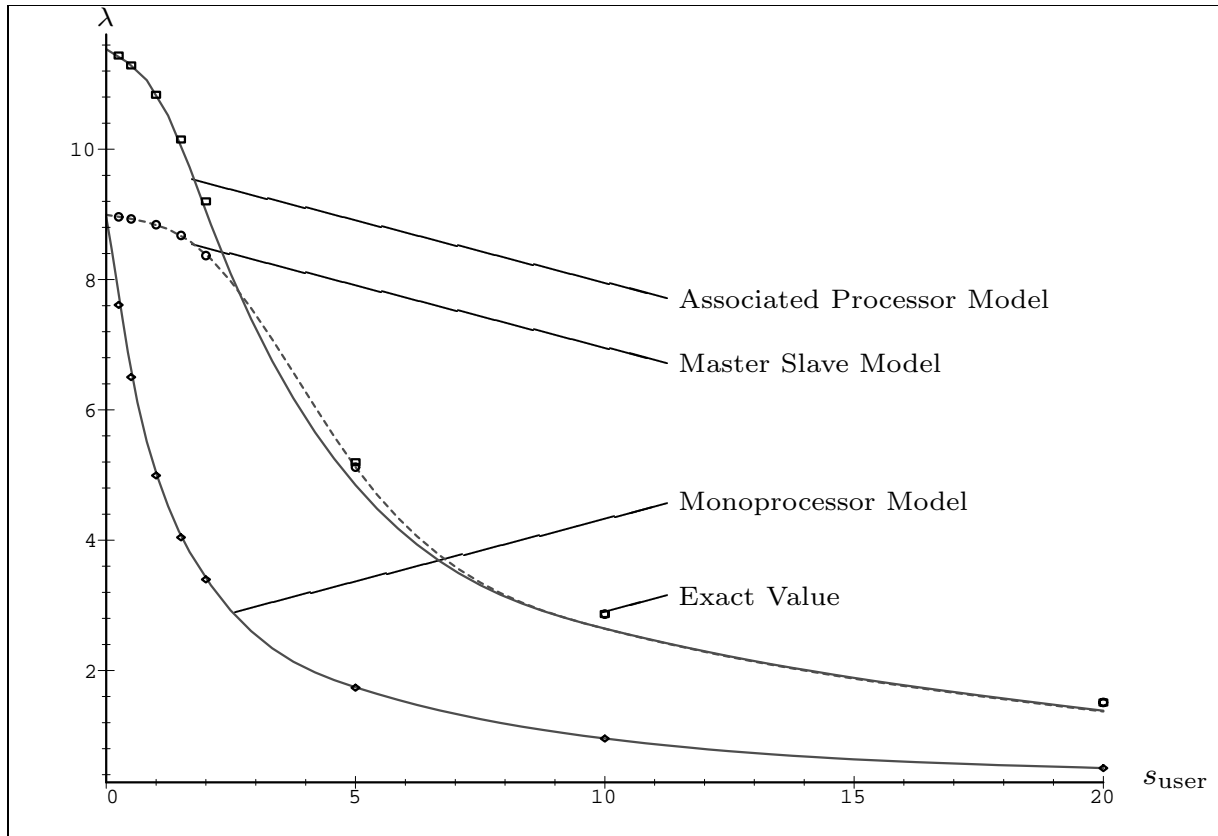
	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(2,1)	(2,2)	(2,3)
(1,1)	0	p_{drivdone}	0	$1 - p_{\text{drivdone}}$	0	0
(1,2)	p_{io}	p_{done}	p_{user}	0	0	0
(1,3)	0	1	0	0	0	0
(2,1)	1	0	0	0	0	0
(2,2)	0	0	0	0	0	0
(2,3)	0	0	0	0	0	0

- Das I/O-System besteht aus mehreren Geräten, die zu einem einzigen "lastabhängigen" Knoten zusammengefasst werden mit den folgenden gemessenen Bedienzeiten:

$$\begin{array}{ll} s_{io}(1) = 28.00, & s_{io}(6) = 12.444, \\ s_{io}(2) = 18.667, & s_{io}(7) = 12.000, \\ s_{io}(3) = 15.555, & s_{io}(8) = 11.667, \\ s_{io}(4) = 14.000, & s_{io}(9) = 11.407, \\ s_{io}(5) = 13.067, & s_{io}(10) = 11.200. \end{array}$$

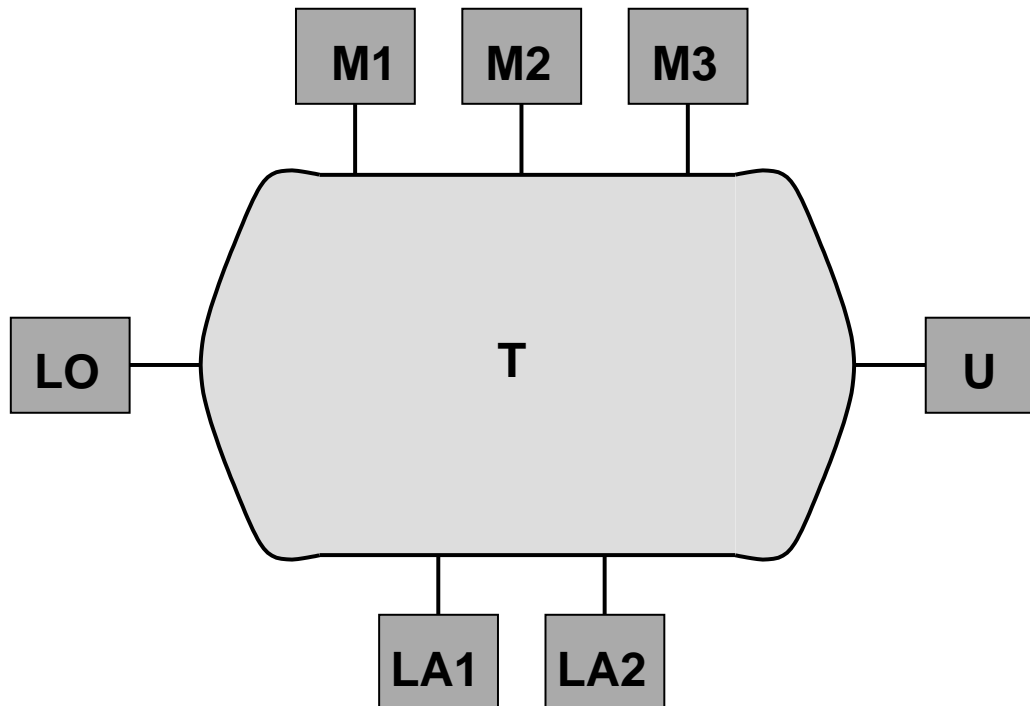
- ◆ WS-Netz → Prioritätsnetz mit gemischten Prioritäten (mit und ohne Verdrängung) und Klassenwechsel
- ◆ Es wird eine Erweiterung der Shadow-Methode zur Analyse angewandt

◆ Durchsatz in Abhängigkeit von der *user*-Bedienzeit für die 3 Modelle:

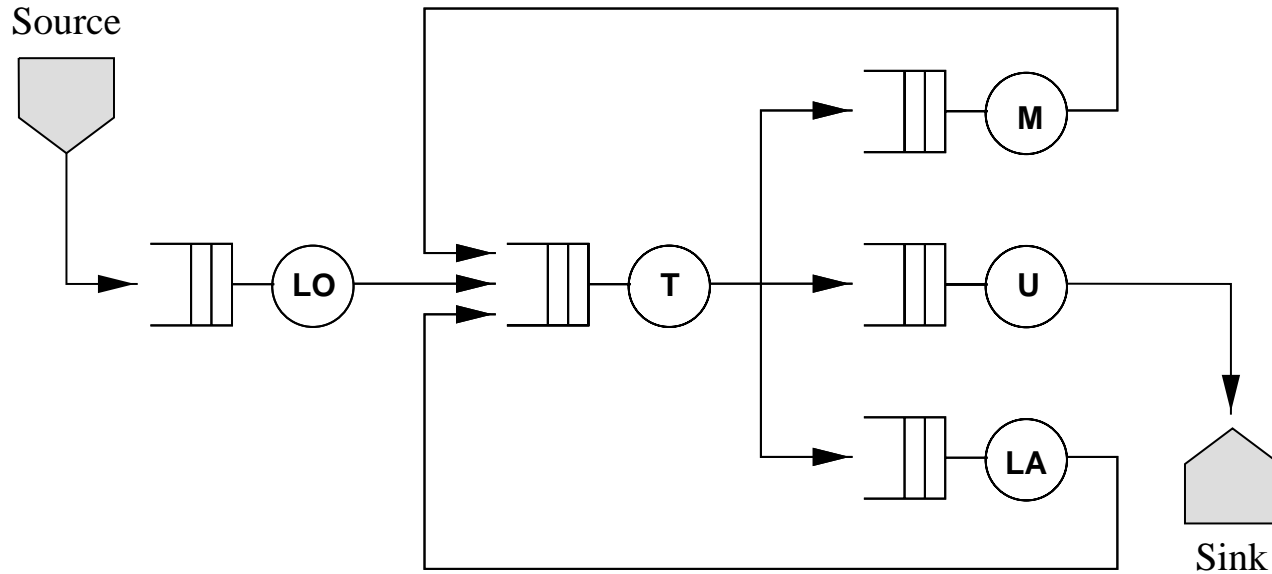


■ Flexibles Fertigungssystem:

◆ Systemmodell:



◆ Warteschlangenmodell:



◆ Systembeschreibung:

- LO: Ladestation, Werkstück wird auf die Palette montiert
- LA1 und LA2: Zwei identische Drehbänke
- M1, M2 und M3: Drei identische Fräsmaschinen
- T: Transportsystem
- U: Entladestation
- Routing durch das Transportsystem T, ($q_{ij} \quad i = LO, M, LA; j = M, LA, U$)

$i \backslash j$	<i>M</i>	<i>LA</i>	<i>U</i>
<i>LO</i>	0.5	0.5	0
<i>M</i>	0	0.4	0.6
<i>LA</i>	0.7	0	0.3

- Übergangswahrscheinlichkeiten p_{ij} $i, j = LO, LA, M, U, T$:

$$p_{T,M} = \frac{\lambda_{LO}}{\lambda_T} \cdot q_{LO,M} + \frac{\lambda_{LA}}{\lambda_T} \cdot q_{LA,M} ,$$

$$p_{T,LA} = \frac{\lambda_{LO}}{\lambda_T} \cdot q_{LO,LA} + \frac{\lambda_M}{\lambda_T} \cdot q_{M,LA} ,$$

$$p_{T,U} = \frac{\lambda_{LA}}{\lambda_T} \cdot q_{LA,U} + \frac{\lambda_M}{\lambda_T} \cdot q_{M,U} .$$

$$p_{T,M} = \frac{1}{\lambda_T} (\lambda_{LO} \cdot 0.5 + \lambda_{LA} \cdot 0.7) ,$$

$$p_{T,LA} = \frac{1}{\lambda_T} (\lambda_{LO} \cdot 0.5 + \lambda_M \cdot 0.4) ,$$

$$p_{T,U} = \frac{1}{\lambda_T} (\lambda_{LA} \cdot 0.3 + \lambda_M \cdot 0.6) ,$$

- Anwendung von Jackson's Theorem für offene Netzwerke:
 - Bedienzeiten und Zwischenanunftszeit exp. verteilt
 - Strategie FCFS
 - Systemparameter (Raten: pro Stunde):

i	λ_{0i}	μ_i	m_i
<i>LO</i>	15	20	1
<i>LA</i>	0	10	2
<i>M</i>	0	7	3
<i>U</i>	0	20	1
<i>T</i>	0	24	2

- Berechnungen der Durchsätze mithilfe der Verkehrsflussgleichungen:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} + \sum_j \lambda_j \cdot p_{ji}, \quad i, j = LO, LA, M, U, T$$

$$\lambda_{LO} = \lambda_{0LO} = 15,$$

$$\lambda_{LA} = \lambda_T \cdot p_{T,LA} = \lambda_{LO} \cdot 0.5 + \lambda_M \cdot 0.4 = 14.58,$$

$$\lambda_M = \lambda_T \cdot p_{T,M} = \lambda_{LO} \cdot 0.5 + \lambda_{LA} \cdot 0.7 = 17.71,$$

$$\lambda_U = \lambda_T \cdot p_{T,U} = \lambda_{LO} = 15,$$

$$\lambda_T = \lambda_{LO} + \lambda_{LA} + \lambda_M = 47.29.$$

► Leistungsgrößen der einzelnen Stationen:

i	\bar{Q}_i	\bar{W}_i	ρ_i
<i>LO</i>	2.25	0.15	0.75
<i>LA</i>	1.66	0.11	0.73
<i>M</i>	3.86	0.22	0.84
<i>U</i>	2.25	0.15	0.75
<i>T</i>	65.02	1.38	0.985

Addition einer dritten Einheit (Fahrzeug) beim Transportsystem:

$$\rho_T = 0.66, \quad \bar{Q}_T = 0.82, \quad \bar{W}_T = 0.02$$

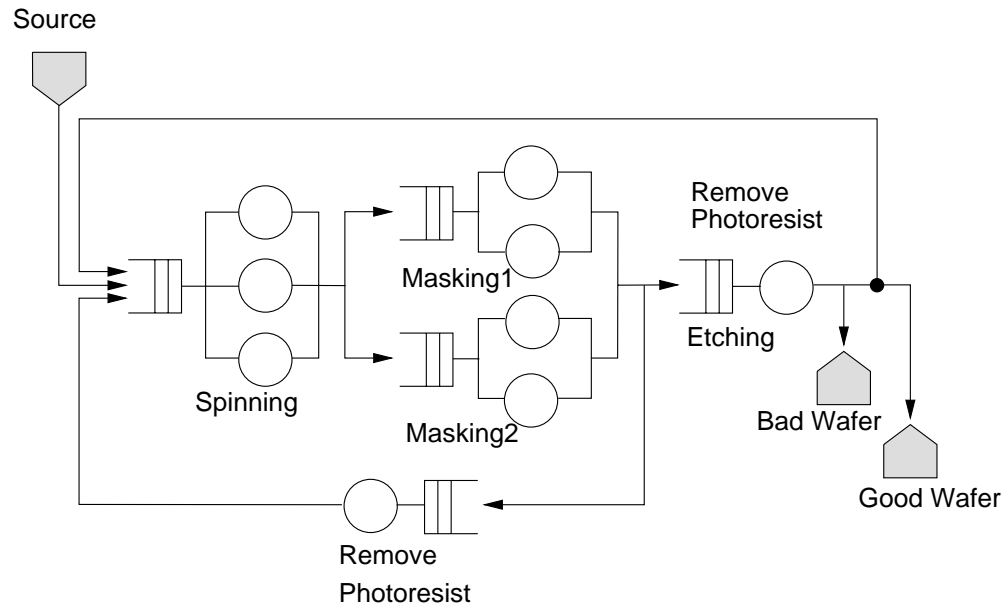
- Gesamtbearbeitungszeit und WIP (Work in Progress = Anzahl der Werkstücke im System, wartend oder in Bearbeitung):

m_T	WIP	\bar{T}
2	82.5	5.5
3	18.3	1.2

- Änderung der Anzahl der Maschinen:

m_T	m_{LA}	m_M	WIP	\bar{T}
3	2	3	18.3	1.22
4	2	3	17.6	1.18
3	3	3	16.9	1.12
3	2	4	15.0	1.00
3	3	4	13.6	0.90

■ Waferproduktionssystem:



► Systemparameter:

m_i	p_{ij}	μ_i	λ
$m_1 = 3 \dots 10$	$p_{12} = 0.5$	$\mu_1 = 1$	$\lambda = 1$
$m_2 = 2 \dots 4$	$p_{13} = 0.5$	$\mu_2 = 1$	
$m_3 = 2 \dots 4$	$p_{24} = 0.9$	$\mu_3 = 1$	
$m_4 = 2$	$p_{25} = 0.1$	$\mu_4 = 2$	
$m_5 = 1$	$p_{34} = 0.9$	$\mu_5 = 1$	
	$p_{35} = 0.1$		
	$p_{40} = 0.1$		
	$p_{46} = 0.9$		
	$p_{60} = 2/3$		
	$p_{61} = 1/3$		

