

Kapitel 11 “Netzmanagement, -optimierung und Netzanalyse“

11.1	Aspekte des Netzmanagements	2
11.2	Optimierung im Bereich Kommunikationsnetze und Verteilte Anwendungen	28
11.3	Analyseziele und -methoden für Rechnernetze	35
11.4	System- und Leistungsmessungen in Netzen	41
11.5	Modellierung von Kommunikationsnetzen	46

11 NETZMANAGEMENT UND NETZANALYSE

11.1 Aspekte des Netzmanagements

Sichten auf Rechnernetze :

- **Benutzer-/Anwendersicht :**

→ erfüllt Gesamtsystem *funktionale ~, Leistungs ~, Zuverlässigkeits ~, Sicherheits ~* und sonstige benutzerrelevante Anforderungen ?

siehe hierzu auch :

QoS-Anforderungen als spezielle Endbenutzeranforderungen (vgl. Kap. 8)

- **Betreibersicht :**

→ wirtschaftlicher Betrieb, effiziente Nutzung von Ressourcen, hinreichend zufriedene Endbenutzer (?!)



Definitionen „Netz(werk)management“

Def. 1 Netz(werk)management :

Summe aller Verfahren und Produkte zur Planung, Konfigurierung, Steuerung, Überwachung, Fehlerbehebung sowie Verwaltung von Rechnernetzen und verteilten Systemen.

Def. 2 Netz(werk)management :

Das Management vernetzter Systeme umfasst in seiner allgemeinsten Definition alle Maßnahmen, die einen effektiven und effizienten, an den Zielen des Unternehmens ausgerichteten Betrieb der Systeme und ihrer Ressourcen sicherstellen.

[Hegering et al.: *Integriertes Management vernetzter Systeme*, dpunkt, 1999]

Def. 3 Netz(werk)management :

Das Netzwerkmanagement beinhaltet Einsatz, Integration und Koordination von Hardware, Software und Menschen für das Überwachen, Testen, Überprüfen, Konfigurieren, Analysieren, Bewerten und Steuern des Netzwerkes und der zugehörigen Komponenten, um die Leistungs- und Dienstgüteanforderungen zu akzeptablen Kosten zu erfüllen.

[Saydam & Magedanz: *J. of Networks and System Management*,
Vol. 4, No. 4, 1996, 345-348]



Wichtige Aufgabe beim Betrieb von Rechnernetzen :

Management des Rechnernetzes

(incl. der beteiligten Endsysteme und verteilten Anwendungen)

u.a.

- **Systemmanagement** → Management der Endsysteme
- **Netz(werk)management** → Management des Kommunikationsnetzes

→ wichtige Lösungen für das Netzmanagement :

- **Internet**: Simple Network Management Protocol (**SNMP** bzw. SNMPv2/ SNMPv3)
- **ISO/OSI**: - *OSI Management Framework* für Rahmen und Struktur des OSI-Netzwerkmanagements und mit funktionalen Bereichen :
performance-, fault-, accounting-, configuration- und security management ("Eselsbrücke: **PFACS**");



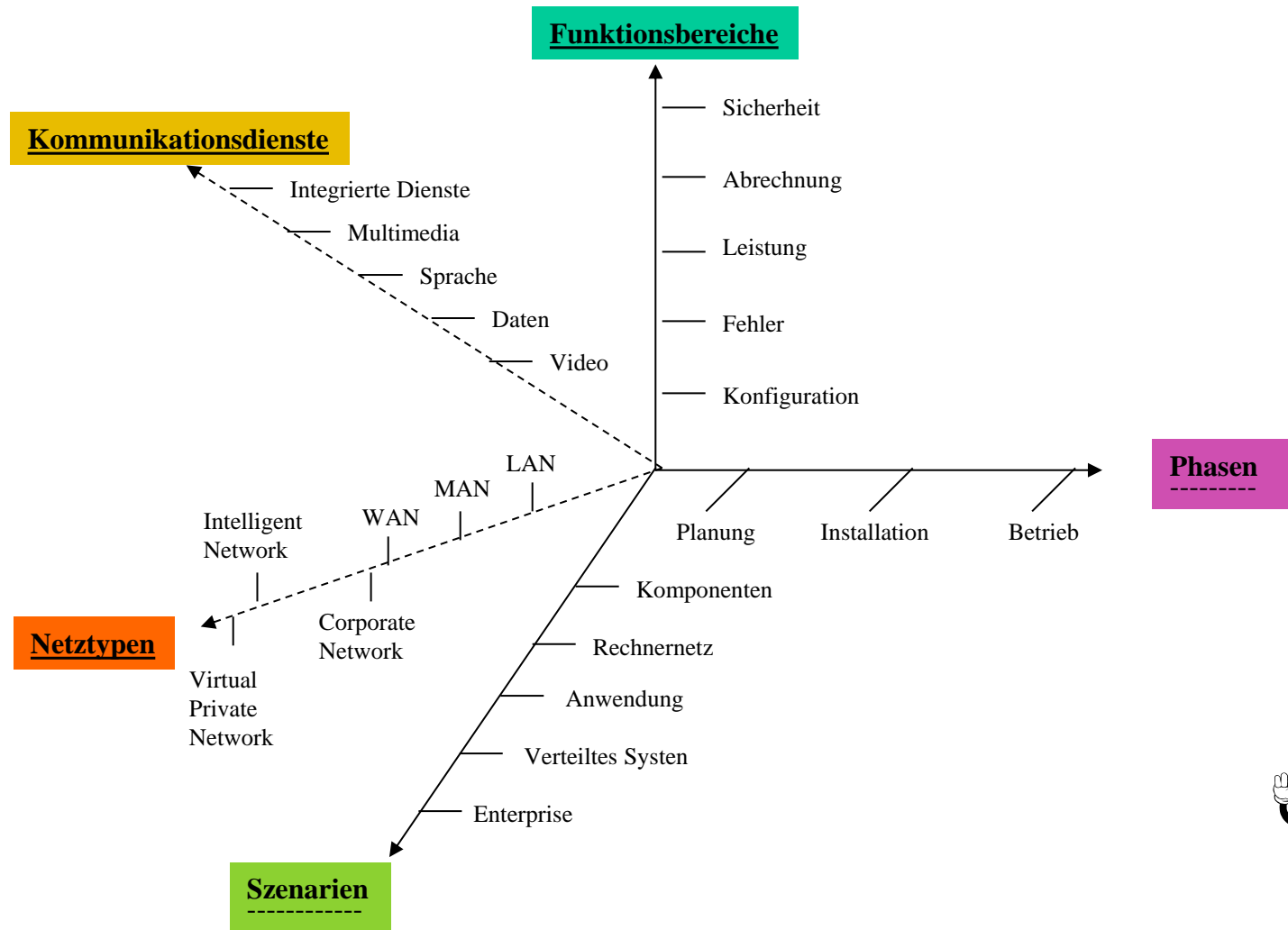
Common Management Information Service (CMIS)

and Protocol (CMIP) : Rahmen für Austausch und Protokolle von Management-informationen

etc.

- **CCITT**: Telecommunications Management Network (**TMN**)

Die Dimensionen des Netzmanagements, vgl. [Pro 98] *)



*) [Pro 98] W. E. Proebster: *Rechnernetze*, Oldenbourg-Verlag, 1998

Managementdimensionen

→ zu den einzelnen Dimensionen :

- Funktionale Sicht : Zuordnung von Managementaufgaben zu bestimmten Funktionsbereichen, vgl. ISO/OSI-Vorschlag
⇒ Gedankenstütze : **PFACS** (für **P**erformance ~, **F**ault ~, **A**ccounting ~, **C**onfiguration ~, **S**ecurity Management)
- Zeitlich : Welche Phasen des Lebenszyklus des Netzes (“*system life cycle*“) durch Management unterstützt ?
- Szenarien : Welche Zielobjekte als Gegenstand des Managements ?
u.a. *Komponenten* \cong Netzkomponenten, *Verteiltes System* \cong Fokus auf kommunizierenden Endsystemen, *Anwendung* \cong anwendungsorientierte Dienste und verteilte Anwendungen, *Enterprise* \cong Unternehmen
- Netztypen : Welche Klasse von Netzen Gegenstand des Managements ?
- Kommunikationsdienste : Berücksichtigung der unterschiedlichen Dienstgüte- (QoS-) Anforderungen bei Übertragung verschiedenartiger Informationstypen, z.B. Zuverlässigkeit bei Datenkommun. *versus* Echtzeitfähigkeit bei Sprach-/ Videokommunikation

KONFIGURATIONSMANAGEMENT

Die funktionalen Dimensionen :

Konfigurationsmanagement

(configuration management)



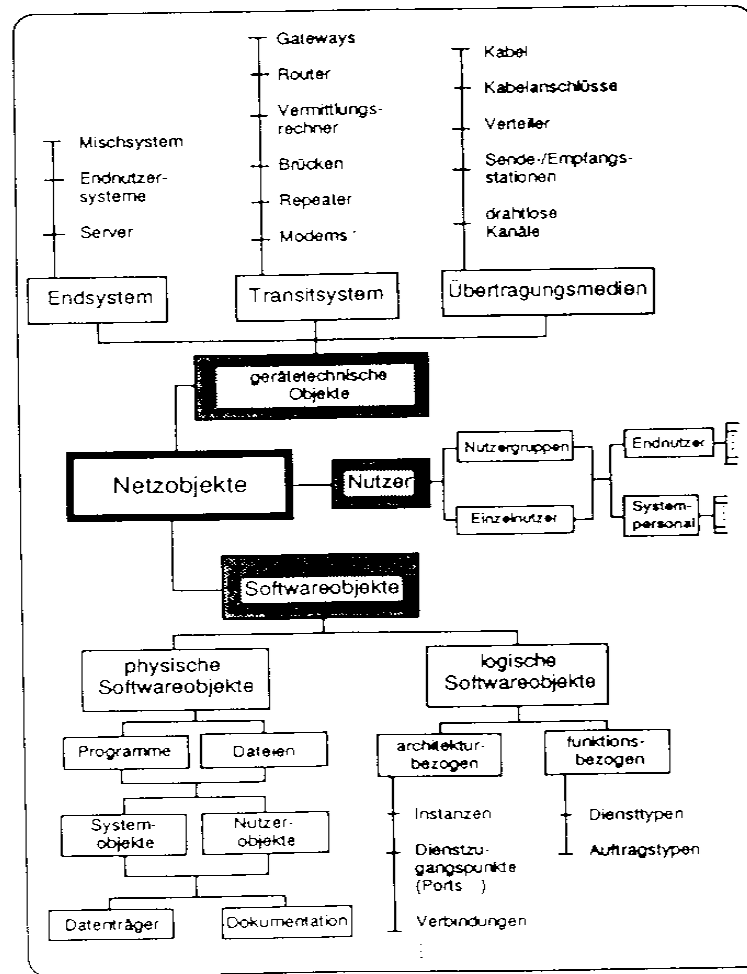
- **Ziele des Konfigurationsmanagements :**

- Registrierung des Bestands (incl. Berücksichtigung von Veränderungen) sowie des Status aller Objekte, vgl. Abb. s.u., eines Rechnernetzes
- Registrierung der strukturbestimmenden Zusammenhänge zwischen den Objekten

- **Typische Teilaufgaben des Konfigurationsmanagements :**

- (automatisches) Fortschreiben der Konfigurations-Datenbasis
- Änderung der Netzkonfiguration bei Fehlern, Netzerweiterungen, Austausch von Komponenten, ...
- Versionsverwaltung
- Auftragsverfolgung

• Objekte des Konfigurationsmanagements [Gar 91] *):



*) [Gar 91] K. Garbe: *Management von Rechnernetzen*, Teubner Verlag, 1991

FEHLERMANAGEMENT

Fehlermanagement (*fault management*)

auch : Störungs- oder Problemmanagement



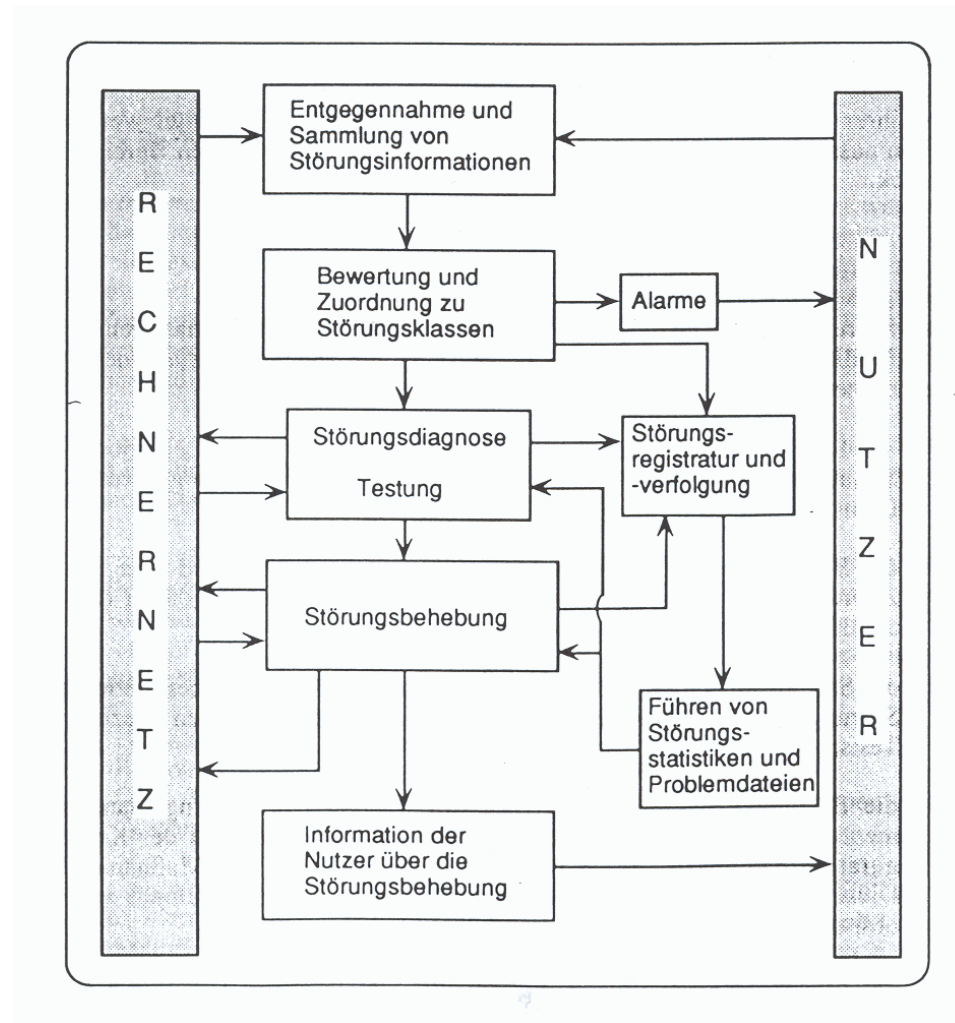
- **Ziele des Fehlermanagements :**

Behandlung von anomalen Situationen im Rechnernetz, insbesondere Realisierung von Überwachungs-, Analyse- und Steuerungsfunktionen zur Sicherstellung der Verfügbarkeit der Netzfunktionen

- **Typische Teilaufgaben des Fehlermanagements :**

- Überwachung, Alarmverarbeitung
- Diagnose
- Erfassung von Fehlern bzw. Verhinderung der Fehlerfortpflanzung
- Fehlerbehebung, “Recovery“
- Unterstützung des “User Help Desk“ bzw. des Benutzers
- “Trouble Ticket System“ (Informationssystem für Fehlermeldungen)

- Aktivitäten des Fehler-/Störungsmanagements [Gar 91] :



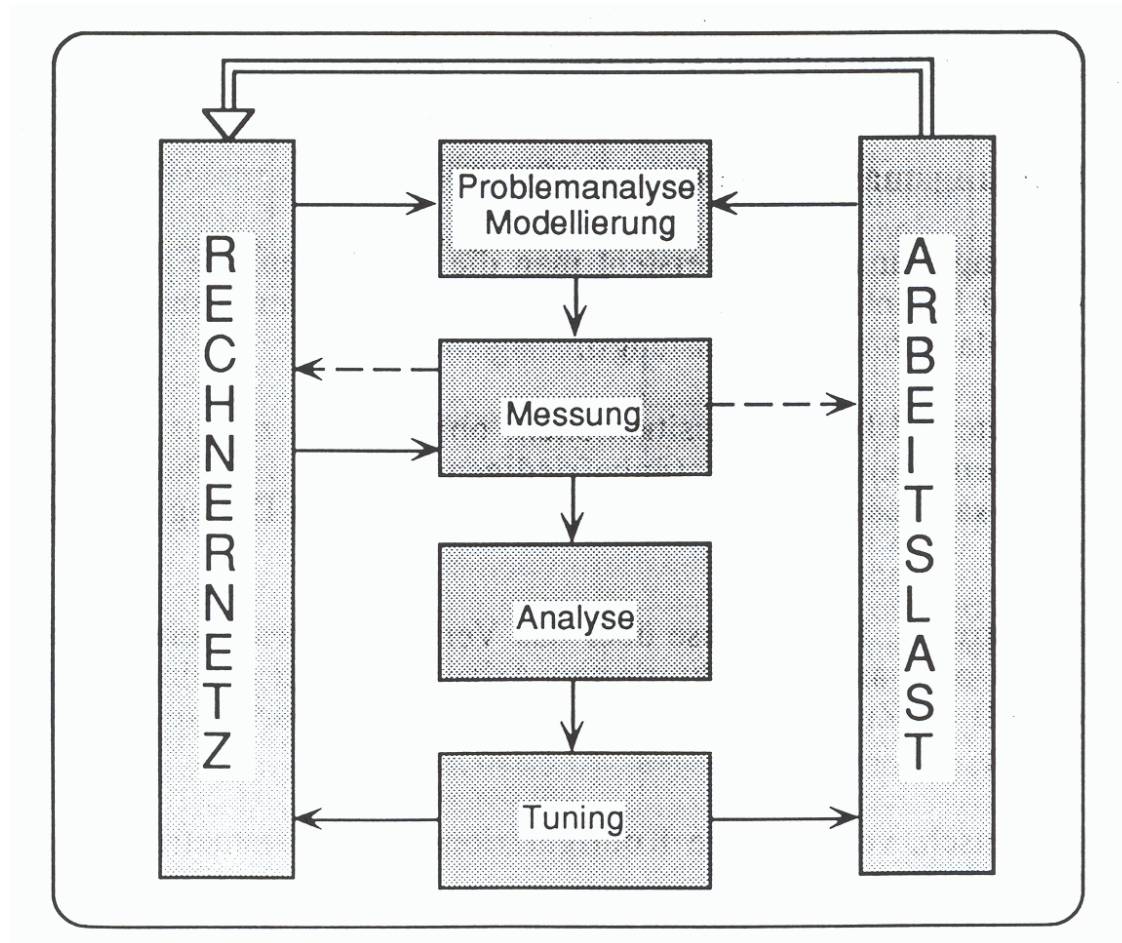
LEISTUNGSMANAGEMENT

Leistungsmanagement (performance management)



- **Ziele des Leistungsmanagements** :
Überwachung und Beeinflussung leistungsrelevanter Parameter, insbes.
 - zur Beseitigung aufgetretener Überlastsituationen,
 - zur Gewährleistung der seitens der Applikationen/Benutzer geforderten Dienstgütern,
 - zur Feineinstellung (“Tuning“) von Netzparametern,
 - zur Prognose des zukünftigen Leistungsverhaltens des Netzes, u.ä.
- **Typische Teilaufgaben des Leistungsmanagements** :
 - Spezifikation von Messpunkten und Messverfahren sowie Durchführung von Messungen zur Charakterisierung des Leistungsverhaltens (→ Leistungsmessungen) und/oder der Arbeitslast (→ Lastmessungen)
 - Aufbereitung der Messwerte, u.a. statistische Auswertungen und Erzeugen geeigneter tabellarischer oder graphischer Präsentationen
 - Ableitung und Durchführung von leistungsverbessernden Maßnahmen, z.B. Konfigurations-/Parameteränderungen, Beeinflussung der Arbeitslast

- Aktivitäten des Leistungsmanagements [Gar 91] :



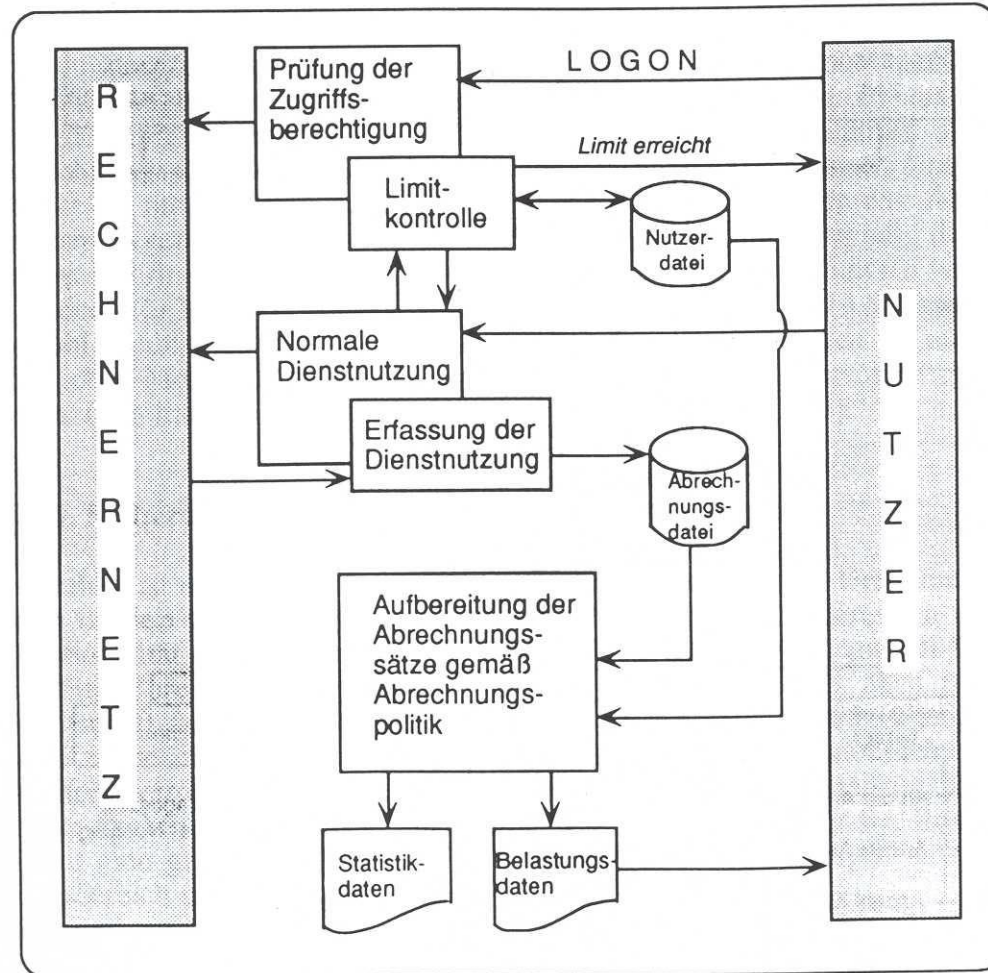
ABRECHNUNGSMANAGEMENT

Abrechnungsmanagement (accounting management)



- **Ziele des Abrechnungsmanagements :**
 - Benutzerbezogene Erfassung der seitens des Netzes bereitgestellten Dienste sowie der beanspruchten Betriebsmittel (z.B. Rechen-/Übertragungszeit, Software, etc.)
 - Schaffung einer Basis für eine verursachungsgerechte Kostenbelastung für die Netzbewerber (Individuen oder Organisationen)
→ Berücksichtigung der Abrechnungspolitik
- **Typische Teilaufgaben des Abrechnungsmanagements :**
 - Erfassung von Verbrauchsdaten
 - Führung von Abrechnungskonten
 - Zuordnung der Kosten zu den Konten
 - Verteilung und Überwachung von Kontingenten
 - Führen von Verbrauchsstatistiken

- Aktivitäten des Abrechnungsmanagements [Gar 91] :



SICHERHEITSMANAGEMENT

Sicherheitsmanagement (security management)



- **Ziel des Sicherheitsmanagements**

Schutz gegen gewollte (im Gegensatz zu Störungen), unzulässige Einwirkungen auf das System und dessen Aufträge, z.B. zur Verhinderung von Abhörvorgängen (→ Spionageangriffe), zur absichtlichen Überlastung des Netzes (→ “*denial of service*“- Angriffe), zur Verfälschung von Daten, zur Verschleierung von Identitäten, zur unbefugten Inanspruchnahme von Netzdiensten/-ressourcen u.v.a.m.

nota bene : Netzsicherheit von zentraler Bedeutung !

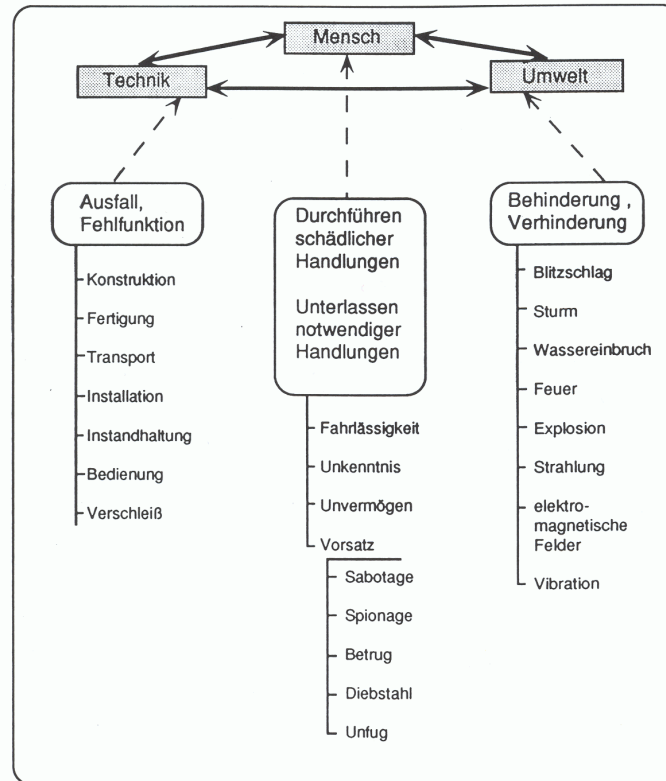
- **Typische Maßnahmen zur Gewährleistung von Netzsicherheit** :

- **bau- und versorgungstechnische** Maßnahmen → z.B. *Zugangssicherung* für Rechnerräume
- **organisatorische** Maßnahmen → z.B. *aufbauorganisatorische* (Verantwortungsbereiche), *ablauforganisatorische* (u.a. Arbeitsschritte innerhalb eines Verantwortungsbereiches), *primärorganisatorische* (Arbeitsanweisungen, Richtlinien) und *personelle Maßnahmen* (Ausbildung, Belehrung von Personal)
- **technologische** Maßnahmen → u.a. *datenorientierte* (z.B. Datenträgersicherung) oder *programmorientierte* (z.B. Ergebniskontrolle) Maßnahmen
- **programm- und gerätetechnische** Maßnahmen → z.B. *Privilegierung* der Befehlsausführung, *Autorisierungskontrolle*, *Kryptographische Verfahren* (Verschlüsselungsmechanismen beim Datenaustausch), *Authentisierung* (durch Passwort-Mechanismen u.ä.)

Sicherheitsmanagement:

Einflussfaktoren für die Datensicherheit [Gar 91]

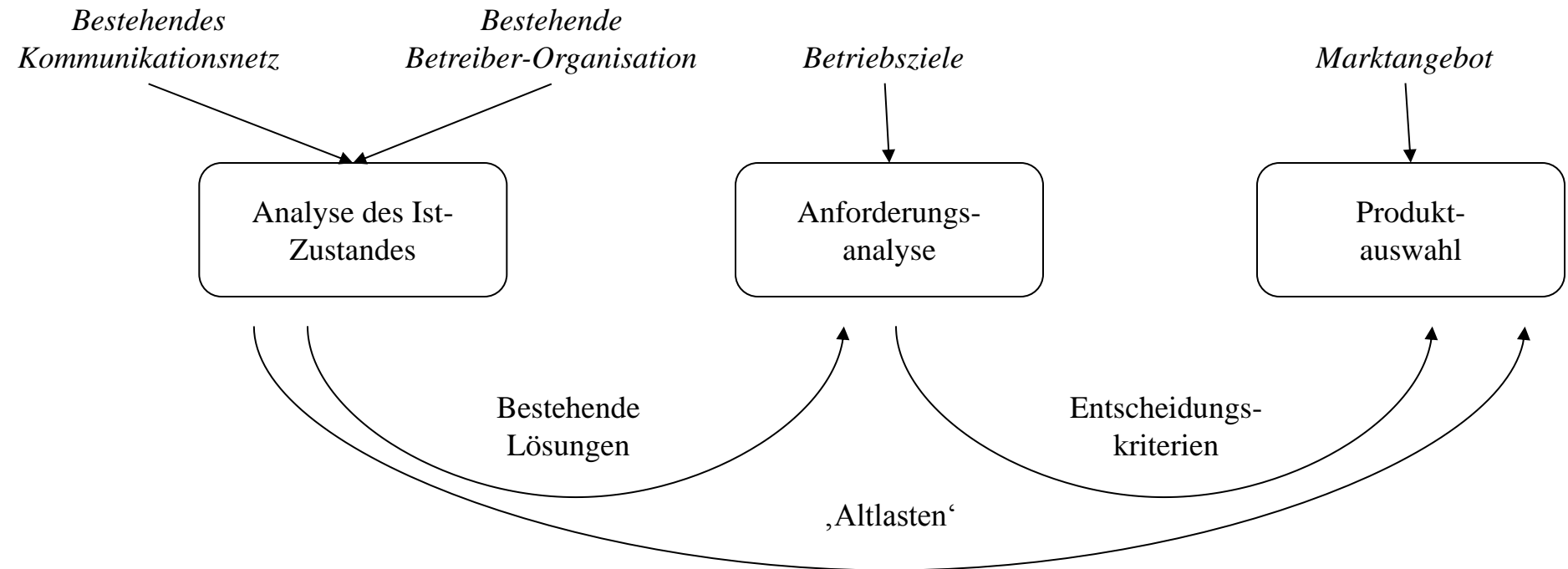
(Datensicherheit: Sicherheit der Daten während ihres Transfers, ihrer Lagerung sowie ihrer Verarbeitung)



Zum Management während der Netzplanung

- *Spezielle Probleme bei der Planung von Kommunikations- und Rechnernetzen:*
 - Unschärfe in den Randbedingungen des Planungsprozesses
→ u.a. zukünftiges Benutzerverhalten nur sehr bedingt bekannt, Kosten der Datenübertragung (über öffentliche Netze, Internet Service Provider/ISPs, o.ä.) mittel- und langfristig kaum prognostizierbar
 - Planung nicht „auf der grünen Wiese“ (i.d.R. bereits a priori existierendes Netz)
 - einfache Erweiterbarkeit/Ausbaubarkeit sicherzustellen
 - die typische Heterogenität und große Knoten-/Benutzeranzahl erschwert Planungsprozess

- *Überblick über die Planungsphase [Pro 98]*



Nota bene : Modelle zur Leistungs-/Zuverlässigkeitsprognose (vgl. Abschnitt 11.5 zu Beispielen für derartige Modelle) können während der Planungsphase eines Kommunikations-/Rechnernetzes eingesetzt werden, um fundierte Entscheidungen hinsichtlich einer adäquaten Produktauswahl treffen zu können (z.B. wie leistungsfähig müssen die einzusetzenden Netzkomponenten sein?)

Managementszenarien im Überblick [Pro 98]

Enterprise Management

Unternehmensabläufe

OSI-
Anwen-
dungs-
system

Anwendungs-
management

OSI-
Trans-
port-
system

Komponenten-
management

System-
management

eventuell
weitere
Management-
systeme

Netzressourcen

Systemressourcen

*Personal
Fertigungsmaschinen*

Managementszenarien : Erläuterung

⇒ zu den einzelnen Szenarien :

- Komponentenmanagement : Verwaltung der Netzkomponenten, d.h. der Netzhardware (wie Vermittlungsrechner, Modems, Gateway-Rechner, Kabel, ...), sowie Sicherstellung von deren Funktion durch steuernde und kontrollierende Maßnahmen.
- Anwendungsmanagement : Verwaltung der Prozesse, die eine verteilte Anwendung realisieren (Prozess \equiv “*Managed Object*“ mit zugeordnetem “*Management Agent*“, der u.a. Info über Objektzustand liefert an Manager bzw. “*Managing Process*“), d.h. Management ähnlich organisiert wie bei Verwaltung der Netzkomponenten.
- Systemmanagement : Verwaltung der einzelnen Endsysteme des Netzes (incl. Berücksichtigung ihres Betriebs in einer verteilten Umgebung).
- Enterprisemanagement : Verwaltung des unternehmensweiten Kommunikationsnetzes (Corporate Network) unter Berücksichtigung des Unternehmensaufbaus, der -abläufe und der -ziele.

Manager-Agent- basiertes Netzmanagement

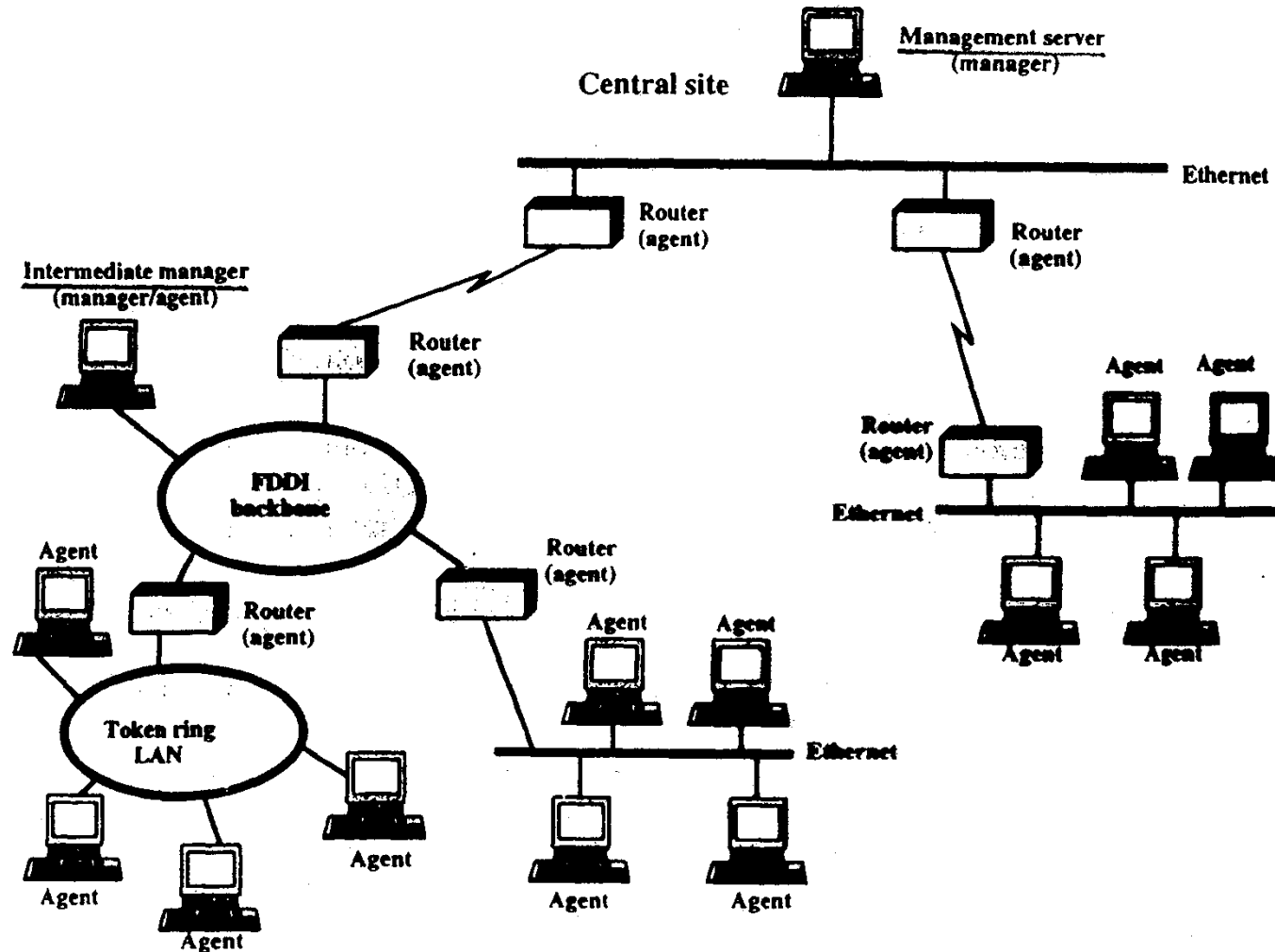
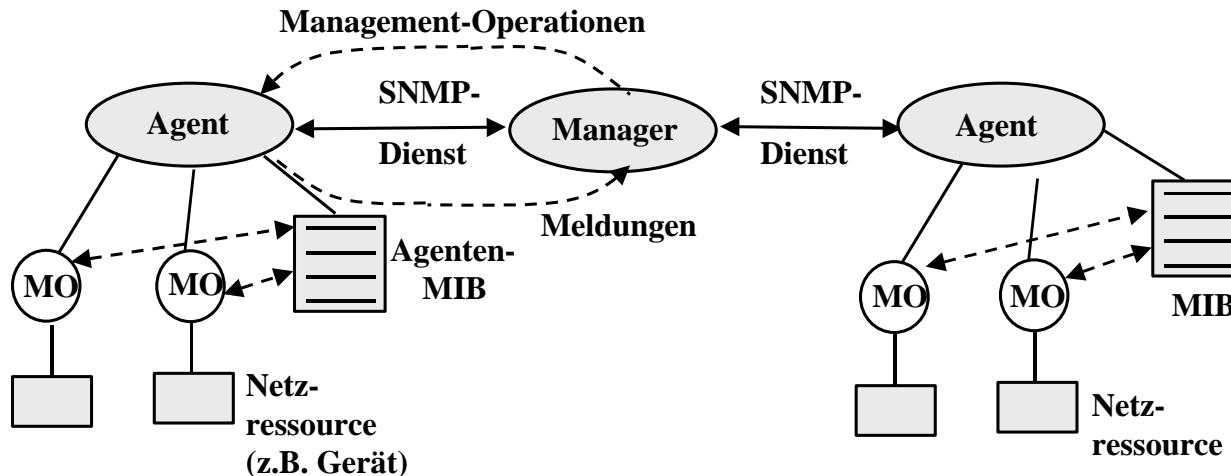


Figure 19.4 Example Distributed Network Management Configuration (aus [Sta 00] ^{*)})

^{*)} [Sta 00] W. Stallings: *Data and Computer Communications*, 6th ed, Prentice-Hall, 2000

Netzmanagement im Internet : **SNMP**

➤ **Grobarchitektur :**



Begriffe :

- **Manager** ≡ die das Management koordinierende Komponente (z.B. realisiert als Management-Prozess in einem Rechner, der sog. Management Station).
- **Agenten** ≡ dezentrale Komponenten zur Unterstützung des Managers (nach Anfragen oder durch unangeforderte Meldungen).
- **MIB** ≡ *Management Information Base* (verteilt gehaltene Management-Info, z.B. Momentanzustand überwachter Systemkomponenten, d.h. MO - spezifische Daten).
- **MO** (*Managed Object*) ≡ Abstraktion einer verwalteten Netzressource (z.B. Bridge, Router, Endsystem); wesentlich : Attribute zur Modellierung von Verhalten/Zuständen.

➤ Durch ein Managementprotokoll, wie SNMP, unterstützte

Management-Dienste :

- Erzeugen und Löschen von Managementobjekten (seitens Manager)
- Lesen und Ändern der Attribute von MOs (seitens Man.)
- Ausführen von Aktionen, die durch MOs bereitgestellt werden (seitens Man.)
- Melden von Ausnahmesituationen (seitens Agent).

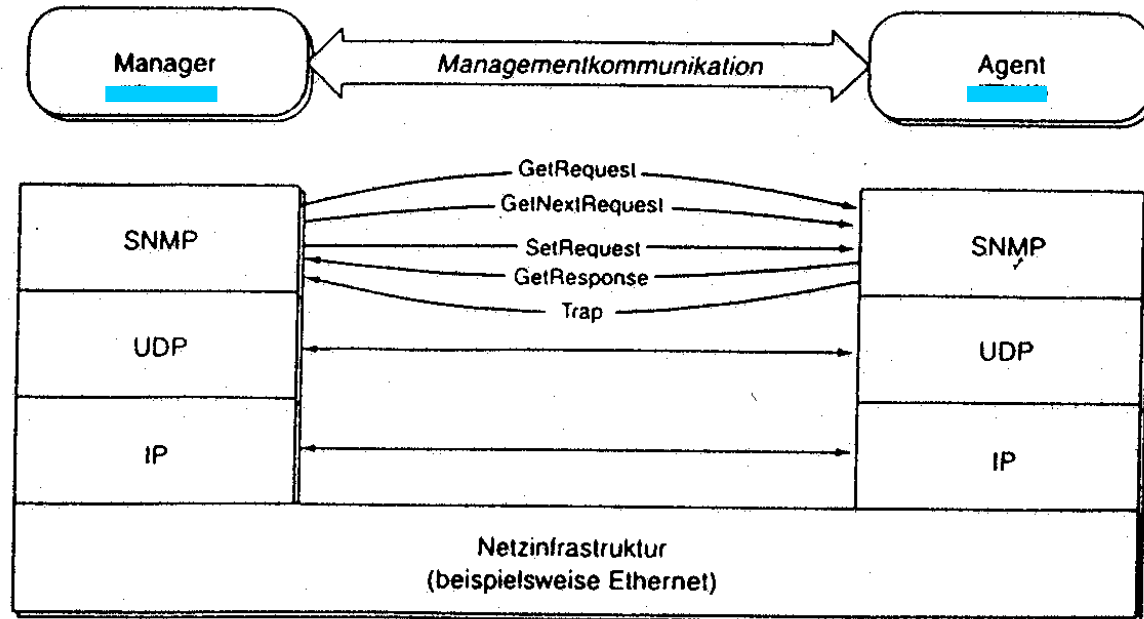
➤ ad **SNMP** :

- SNMP auf Basis des UDP-Dienstes realisiert
- Sicherheitsmängel bei SNMP, da Agenten zwar durch Geheimbezeichner geschützt (dieser indes ungesichert übertragen);
ergo: SNMP-Spitzname „Security is **Not My Problem**”

→ daher : neuere SNMP-Versionen wie

- SNMPv2 (seit 1993, vgl. u.a. RFC 1905) *und*
- SNMPv3 (Internet Standard der Internet Engineering Steering Group (IESG) seit 2002, vgl. u.a. RFC 3410, ..., 3418) mit zunehmender Bedeutung.
[→ siehe hierzu auch : <https://datatracker.ietf.org/wg/opsawg/>
sowie <http://www.ibr.cs.tu-bs.de/ietf/snmpv3/>]

SNMP zur Unterstützung der Manager-Agenten-Kommunikation



Übersicht über die erste Version von SNMP (aus: [KrR 00] *)

*) [KrR 00] G. Krüger, D. Reschke (Hrsg.): *Lehr- und Übungsbuch Telematik*, C. Hanser Verlag, 2000

In der Folge: **Syntax** und **Semantik** der ausgetauschten **SNMP-PDUs**
(Timing weitgehend trivial)

➤ **Semantik** der SNMP-Protokolldateneinheiten:



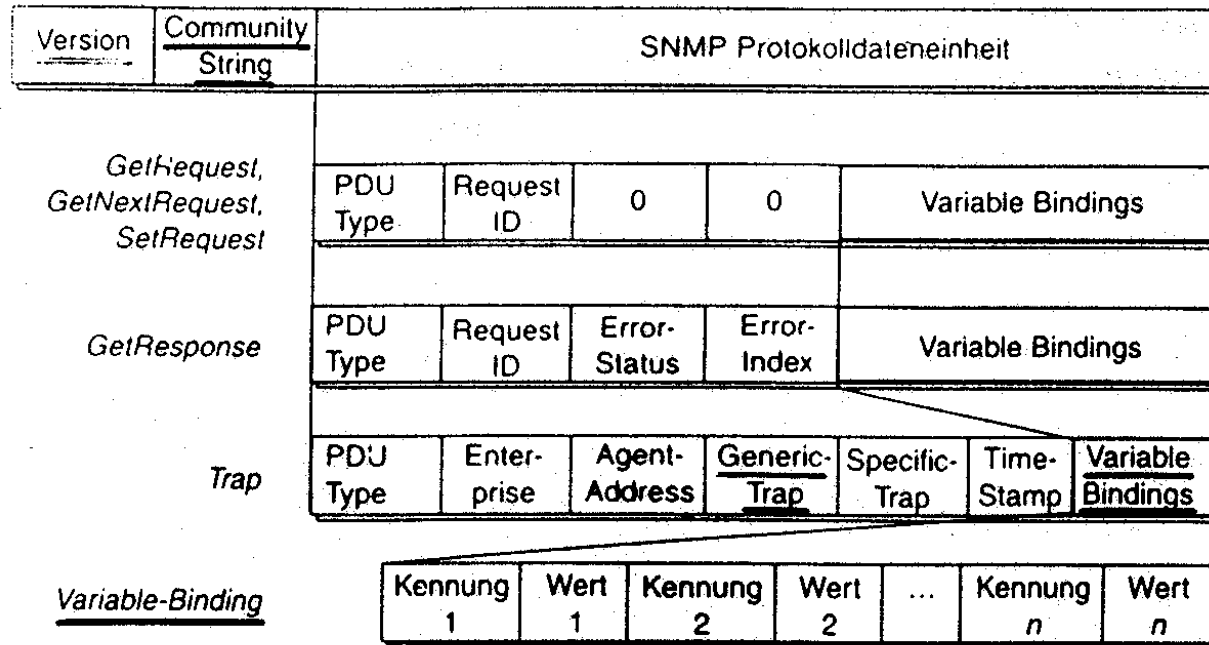
- **Manager → Agent :**

- **GetRequest** : Abfrage (des Zustands bzw. von Werten der MO-Attribute) für ≥ 1 Managed Object(s)
- **GetNextRequest** : Abfrage automatisch bezogen auf lexikograph. nächstes Managed Object (MO) bzw. Nachfolger in Attributliste
[nota bene : Managementinfo gemäß Baumstruktur angeordnet]
- **SetRequest** : Ändern von Managementinfo (z.B. statische Attribute von Netzkomponenten) beim Agenten → u.a. Manager erlaubt, neue Objekte bei Agenten in Form von Tabellen zu erzeugen.

- **Agent → Manager :**

- **GetResponse** : Antwort auf sämtliche PDU-Typen des Managers (insbesondere zur Bestätigung der korrekten Ausführung der Manager-initiierten Operationen bzw. zur Fehlermeldung)
- **Trap** : Melden von Ausnahmesituationen an den Manager seitens des Agenten (z.B. unzulässiger Zustand erreicht für überwachte Netzkomponente).

- **Syntax** der SNMP-Protokolldateneinheiten (aus: [KrR 00]):



Syntax der SNMP-Protokolldateneinheiten (Forts.)

Bem. zu :

- **Version** : SNMP-Version
- **Community String** : Geheimbezeichner des Agenten
(aber : im Klartext übertragen !)
- **"Generic-Trap"** -Feld : → Werte z.B.
 - *coldStart* (0) : Neustart von Netzkomponente nach evtl. Konfigurationsänderung
 - *warmStart* (1) : Neuinitialisierung von Netzkomponente ohne Konfigurationsänderung
 - *linkDown* (2) : Nichtverfügbarkeit von ausgehender Verbindung
 - *linkUp* (3) : Wiederverfügbarkeit von ausgehender Verbindung
 - *authenticationFailure* (4) : falsch authentisierter Zugriff auf MO-Instanz
(fehlerhafter "Community String")
 - *egpNeighborloss* (5) : fehlende Konnektivität zu benachbartem Gateway
 - *enterpriseSpecific* (6) : allg., herstellerspezif. Meldung → durch Eintrag in "Specific-Trap" -
Feld genauer spezifiziert

11.2 Optimierung im Bereich Kommunikationsnetze und Verteilte Anwendungen

- **Zweck** der Optimierung ?

→ Suche einer (sub-) optimalen Konfiguration entweder mit

max. Leistungsfähigkeit bei limitierten Kosten (Budget)

min. Kosten bei Gewährleistung einer Mindestleistung

... **in welchen Phasen** des „System Life Cycle“ (vorzugsweise)
Optimierung?

→ Netzplanung, Um-/Neukonfigurierung, Realisierung von System mit verteilter Verarbeitung und/oder verteilter Datenhaltung

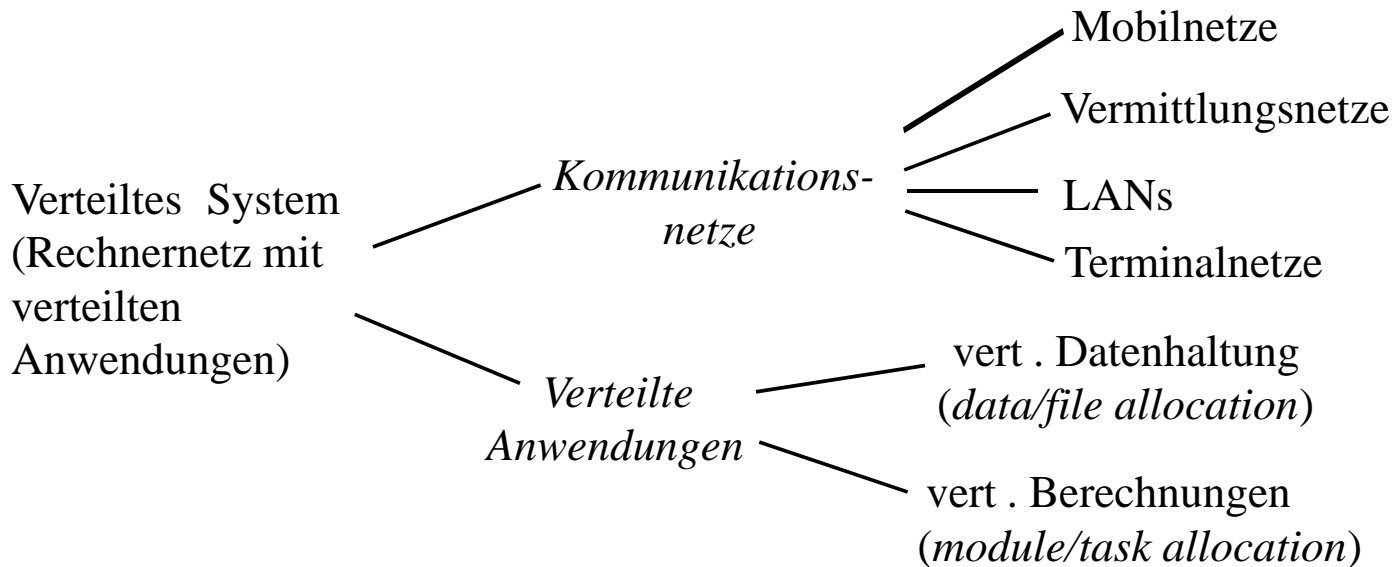
- **Randbedingungen** für Optimierungsverfahren :

Zahlreiche Konfigurationsvarianten → Notwendigkeit der Bewertung sehr vieler Varianten, effizienter Ausschluss „uninteressanter“ Konfigurationen notwendig und/oder Bewertung unter Nutzung von GROBmodellen (mit aufwandsarmer Auswertbarkeit)

Unschärfe in Randbedingungen (zu erwartendes Benutzerverhalten nicht bekannt → unbekannte Last) ⇒ was heißt „Optimum“ dann?

sich evtl. widersprechende Optimierungsziele (z.B. hoher Durchsatz, vgl. Betreibersicht, versus geringe Antwortzeiten, vgl. Benutzersicht)

- für Netzoptimierung prädestiniert :
WirtschaftsinformatikerInnen 😊
- *Optimierung für* unterschiedliche Teilsysteme eines Verteilten Systems:





TYPISCHE OPTIMIERUNGSPROBLEME FÜR KOMMUNIKATIONSNETZE UND VERTEILTE ANWENDUNGEN

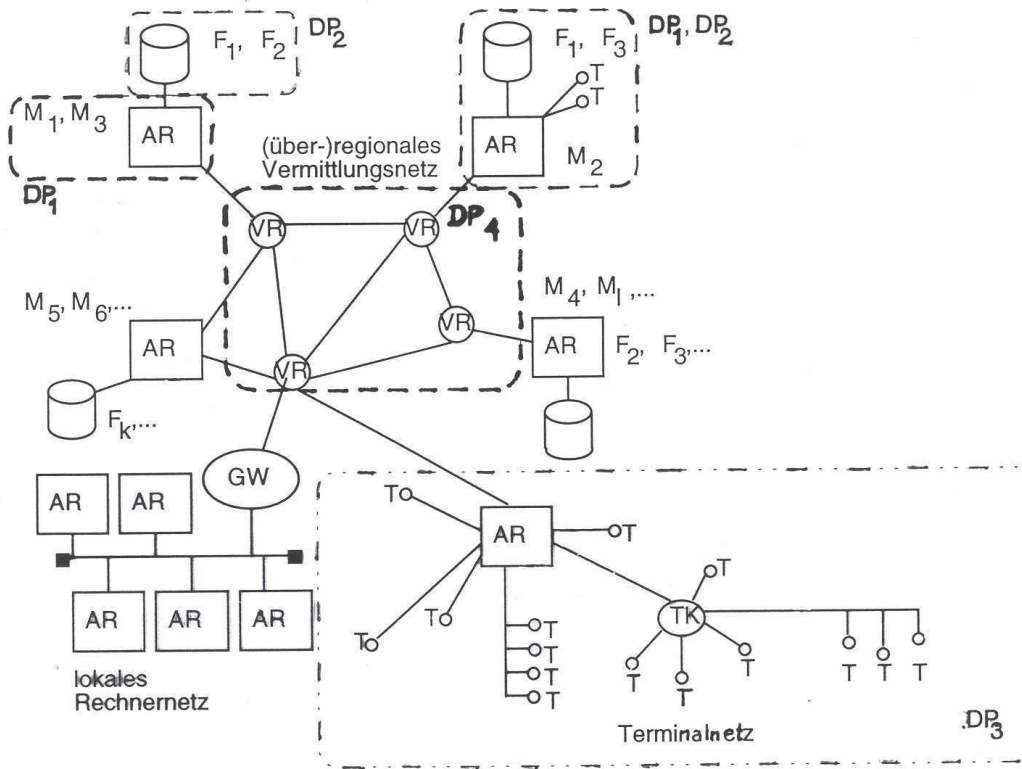


Abb.: Konfigurationsmodell für die Dimensionierung
(exemplarische Illustration)

Notation:

AR:

Arbeitsrechner

(z.B. Großrechner, Workstation, PC,
Notebook, mobiles Endgerät)

VR/GW:

Vermittlungsrechner/Gateway-Rechner

T/TK:

PC, Terminal (abgesetztes)/Terminal-
konzentrator

M_1, M_2, \dots, M_I :

Moduln einer verteilten Anwendung

F_2, F_2, \dots, F_k :

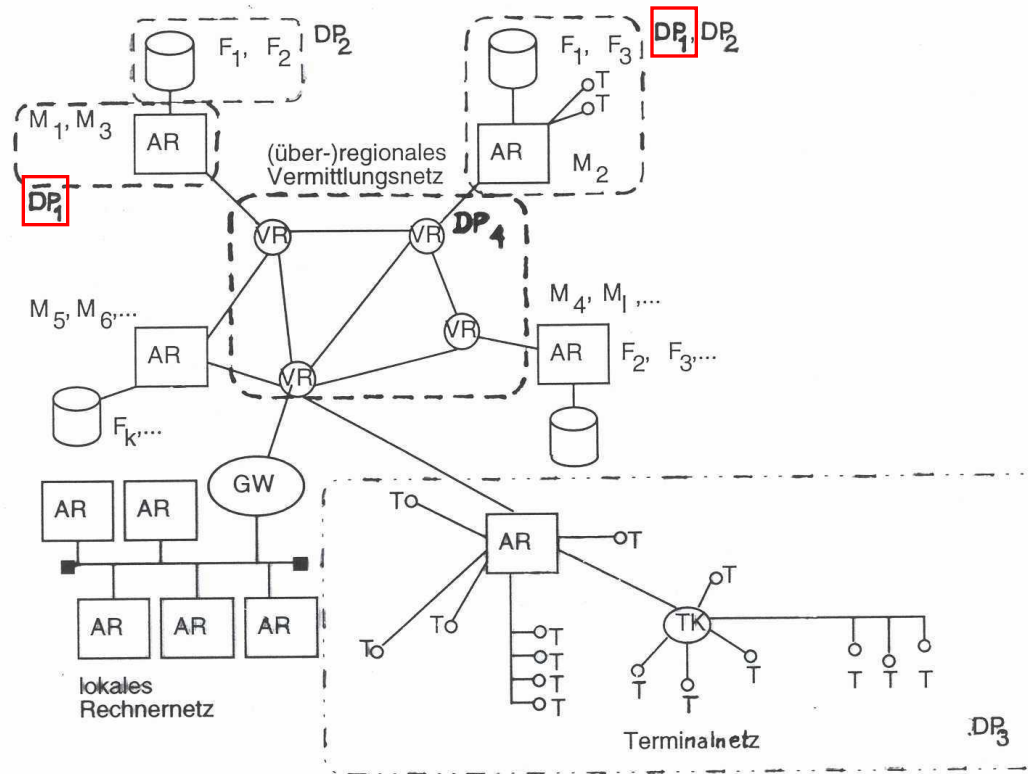
Daten/Dateien mit Zugriffen seitens
 M_1, M_2, \dots, M_I

DP_1, \dots, DP_4 :

Dimensionierungsprobleme (s.u.)



Beispiel: Module/Task Allocation



DP₁: Zuordnung einer Menge M von Moduln
 $M = \{M_1, M_2, \dots, M_l\}$ einer partitionierten Anwendung
 zu den (Arbeits-)Rechnern

⇒ Bsp. für Dimensionierung im Bereich verteilter Anwendungen

Notation:

AR:

Arbeitsrechner

(z.B. Großrechner, Workstation, PC,
 Notebook, mobiles Endgerät)

VR/GW:

Vermittlungsrechner/Gateway-Rechner

T/TK:

PC, Terminal (abgesetztes)/Terminal-
 konzentrator

M₁, M₂, ..., M_l:

Moduln einer verteilten Anwendung

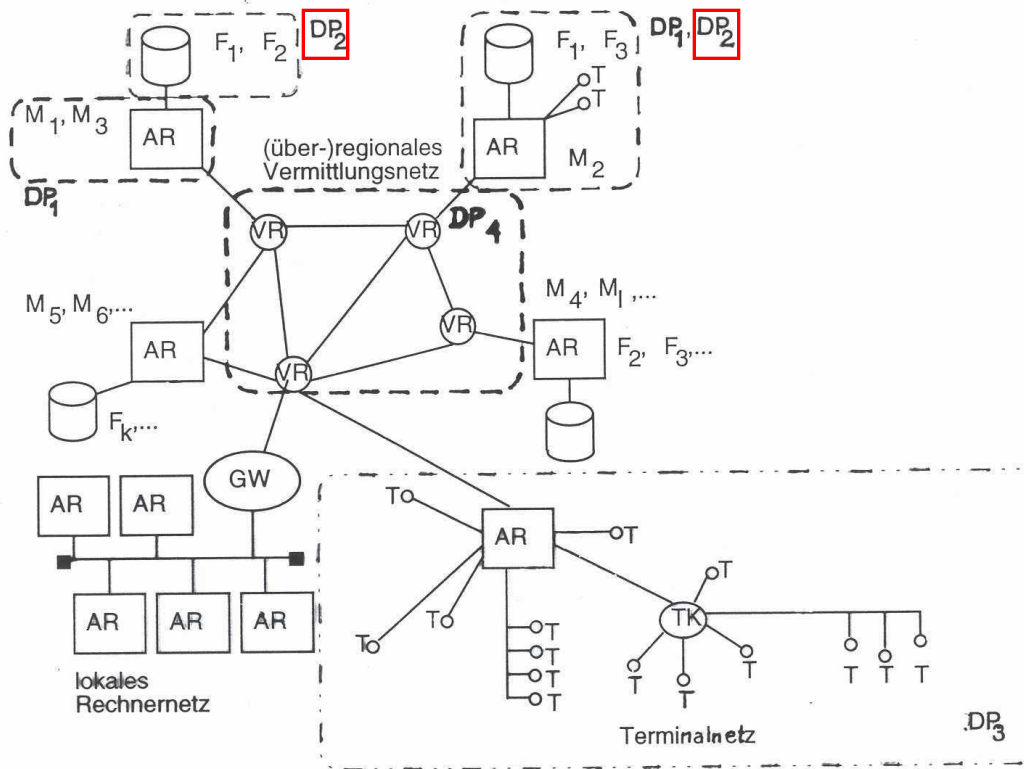
F₁, F₂, ..., F_k:

Daten/Dateien mit Zugriffen seitens
 M_1, M_2, \dots, M_l

DP₁, ..., DP₄:

Dimensionierungsprobleme (s.u.)

Beispiel: Data/File Allocation



DP₂: Verteilung einer Menge D von Daten / Dateien
 $D = \{F_1, F_2, \dots, F_k\}$ bei gegebenem Benutzerverhalten

⇒ Bsp. für Dimensionierung im Bereich verteilter Anwendungen

Notation:

AR:

Arbeitsrechner

(z.B. Großrechner, Workstation, PC,
Notebook, mobiles Endgerät)

VR/GW:

Vermittlungsrechner/Gateway-Rechner

T/TK:

PC, Terminal (abgesetztes)/Terminal-
konzentrator

M₁, M₂, ..., M_I:

Moduln einer verteilten Anwendung

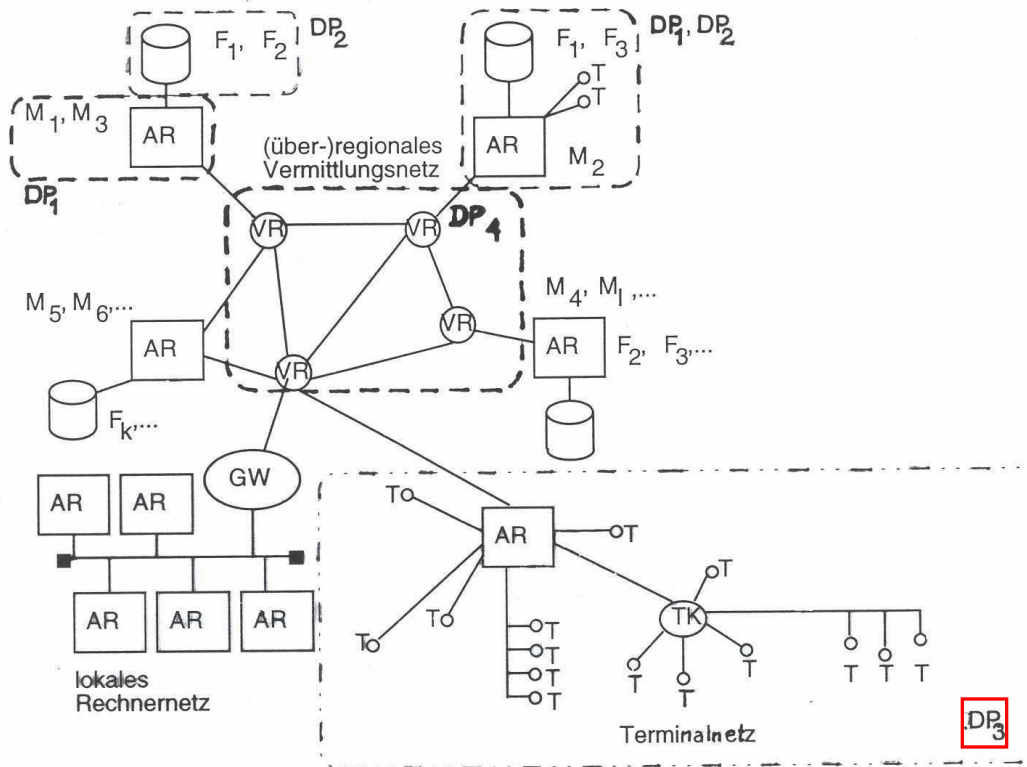
F₁, F₂, ..., F_k:

Daten/Dateien mit Zugriffen seitens
M₁, M₂, ..., M_I

DP₁, ..., DP₄:

Dimensionierungsprobleme (s.u.)

Beispiel: Terminalnetze



DP₃: Anschluss von T's an AR (Großrechner)
→ Verwendung von TKs und Mehrpunktverbindungen

⇒ **Bsp. für Dimensionierung im Bereich des Kommunikationsnetzes**

Notation:

AR:

Arbeitsrechner
(z.B. Großrechner, Workstation, PC,
Notebook, mobiles Endgerät)

VR/GW:

Vermittlungsrechner/Gateway-Rechner

T/TK:

PC, Terminal (abgesetztes)/Terminal-
konzentrator

M₁, M₂, ..., M_I:

Moduln einer verteilten Anwendung

F₁, F₂, ..., F_k:

Daten/Dateien mit Zugriffen seitens
M₁, M₂, ..., M_I

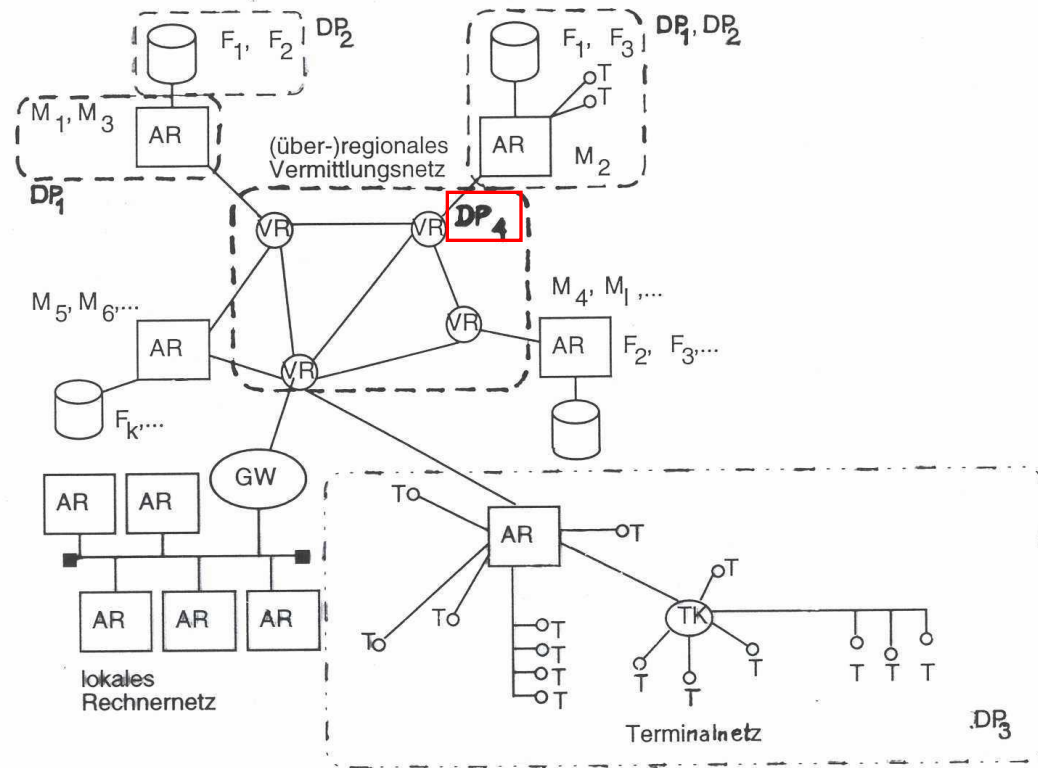
DP₁, ..., DP₄:

Dimensionierungsprobleme (s.u.)

Beispiel: Topology (TA), Capacity (CA), Flow (FA) Assignment



DKR: XI.34



DP₄: Optimale Auslegung des Vermittlungsnetzes
(bei Leitungs-/Paketvermittlung) bei irregulärer Vermaschung

⇒ **Bsp. für Dimensionierung im Bereich des Kommunikationsnetzes**

Weiteres Beispiel für ein Optimierungsproblem bei Kommunikationsnetzen: **Frequenzzuordnung zu Funkzellen**
(bei zellularen Mobilnetzen)

Notation:

AR:

Arbeitsrechner

(z.B. Großrechner, Workstation, PC,
Notebook, mobiles Endgerät)

VR/GW:

Vermittlungsrechner/Gateway-Rechner

T/TK:

PC, Terminal (abgesetztes)/Terminal-
konzentrator

M₁, M₂, ..., M_I:

Moduln einer verteilten Anwendung

F₁, F₂, ..., F_k:

Daten/Dateien mit Zugriffen seitens
M₁, M₂, ..., M_I

DP₁, ..., DP₄:

Dimensionierungsprobleme (s.u.)

11.3 Analyseziele und -methoden für Rechnernetze

Motivation für Netzanalysen ?

- **Entwickler** von Netzkomponenten (z.B. Forschungszentren, Kommunikationsindustrie, ...)
 - Analysen während Konzeptions-/Entwurfsphase (z.B. innovativer Algorithmen, Protokolle, Kommunikationshardware und -software, ...)
 - Analysen während Realisierungsphase (z.B. von Prototypen, marktreifer Produkte, ...)
- **Betreiber von öffentlichen Netzen** (z.B. Telekoms, ISPs, ...)
 - Analysen bzw. Leistungsprognosen bei Erst- oder Um-/Neu-Konfigurierung von Netzen, bei signifikant verändertem Benutzerverhalten, bei Feststellung von Systemengpässen/Leistungsabfall o.ä.
 - Wirtschaftlichkeitsanalysen u.v.a.m.

Motivation für Netzanalysen ? (Forts.):

➤ **Betreiber von privaten Netzen und/oder Unternehmensnetzen**

(z.B. Rechenzentren in Universitäten, Banken, großen Wirtschaftsunternehmen, ...)

- Analysen vgl. diejenigen bei Betreibern öffentlicher Netze mit geringerem Fokus auf Netzkonfigurierungsphase, dafür jedoch stärkerer Berücksichtigung der speziellen Endbenutzeranforderungen sowie der auf Netz realisierten, verteilten Anwendungen

➤ **Benutzer von Netzen**

- Analysen durch Endbenutzer selbst eher selten (Gründe : geringe Optimierungsmöglichkeiten, fehlende Informatik- und speziell Netzkompetenz, ...)
- ABER : Analysen aus Benutzersicht ggf. durch Systementwickler, Forscher, Netzbetreiber

➤ **Consulting-, Beratungsunternehmen** (z.B. im Auftrag von Netzbetreibern)

Bewertungskriterien für Kommunikations- und Rechnernetze

➤ Globale Bewertungskriterien

- **Leistungsfähigkeit** (performance)
- **Verlässlichkeit** (dependability)
- **Zuverlässigkeit** (reliability)
- **Sicherheit**
(*safety* ≡ Schutz vor Defekten mit katastrophalen Folgen *versus*
security ≡ Zugriffsschutz, Netzsicherheit)
- **Verfügbarkeit** (availability)
- **Testbarkeit** (testability)
- **Wartbarkeit** (maintainability)
- **Wirtschaftlichkeit** (economy)

→ zu ausführlichen Def. vgl. Krückeberg/Spaniol : "Lexikon der Informatik und Kommunikationstechnik". VDI Verlag, 1990

➤ In Folge :

Fokus auf **Leistungsfähigkeit**, u.a. quantifizierbar durch

- **Zeitgrößen** wie :

- *Bedien-*,
- *Verzögerungs-*,
- *Verweil-*,
- *Antwortzeiten*, etc.

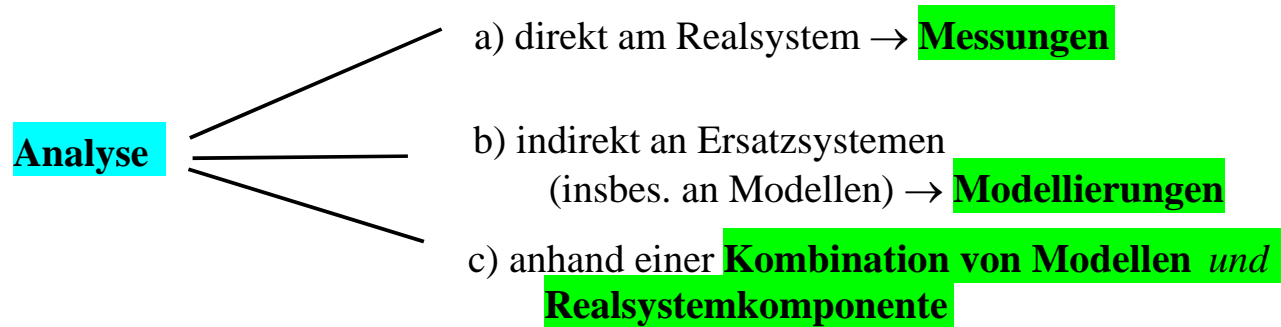
für übertragene Dateneinheiten, ausgeführte Benutzer- und Systemprozesse
(wichtig : Zeitmessungen an wohldefinierten Schnittstellen bzw. für punktuell eintretende Ereignisse)

- **Zählgrößen** (bezogen auf konkrete Beobachtungsintervalle T) wie :

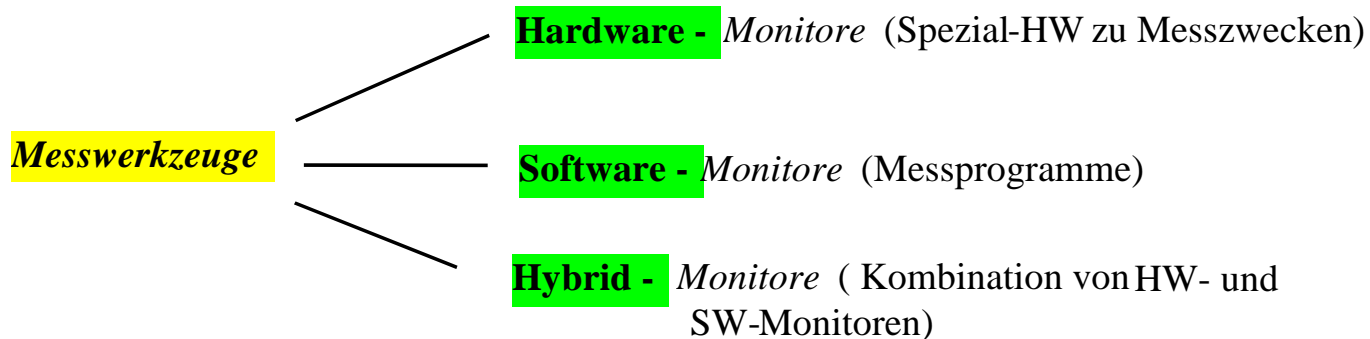
- *Durchsatz* (erledigte Aufträge pro Zeitintervall T),
- *Auslastung* (relative Komponentenaktivzeit in T),
- *Ankunfts-* oder *Bedienrate* (Auftragsankünfte bzw. -bearbeitungen in T).



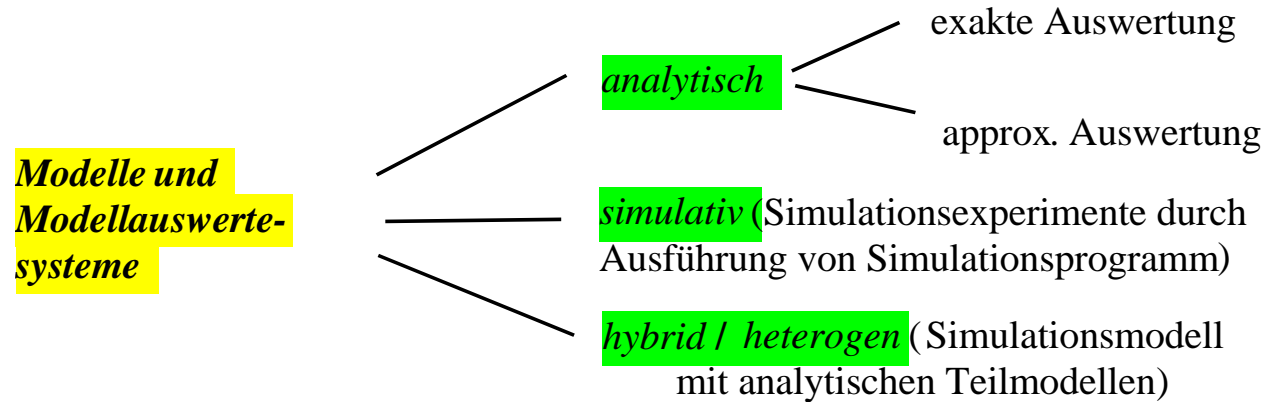
Bewertungstechniken, -hilfsmittel, -werkzeuge für Kommunikations- und Rechensysteme



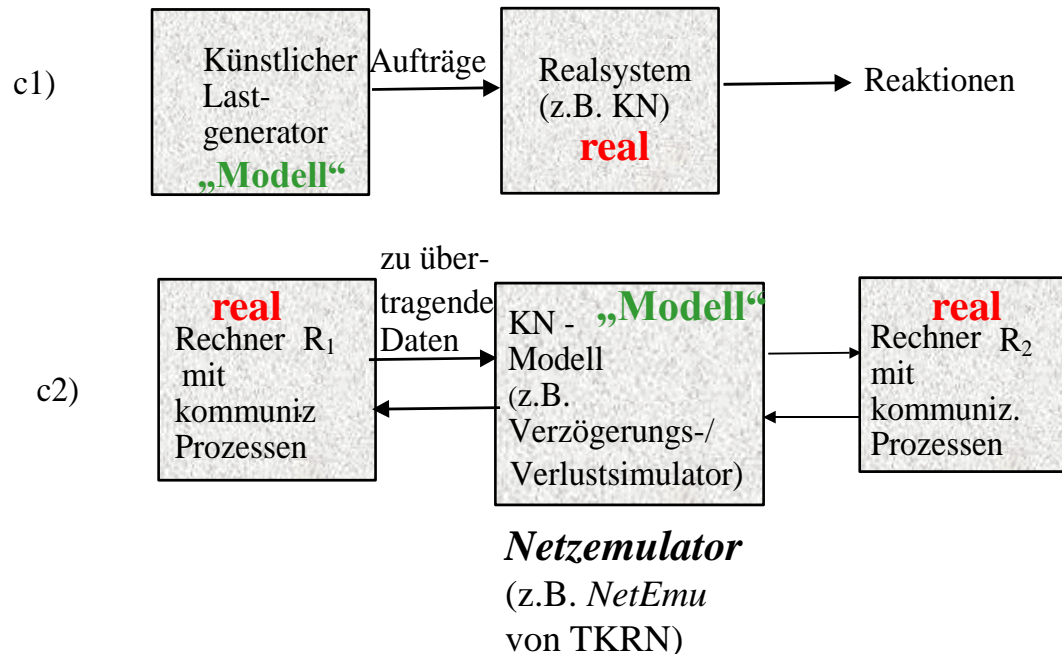
ad a) :



ad b) :



ad c) :

Mögliche **Kombinationen Modelle und Realsystemkomponenten**, z.B.

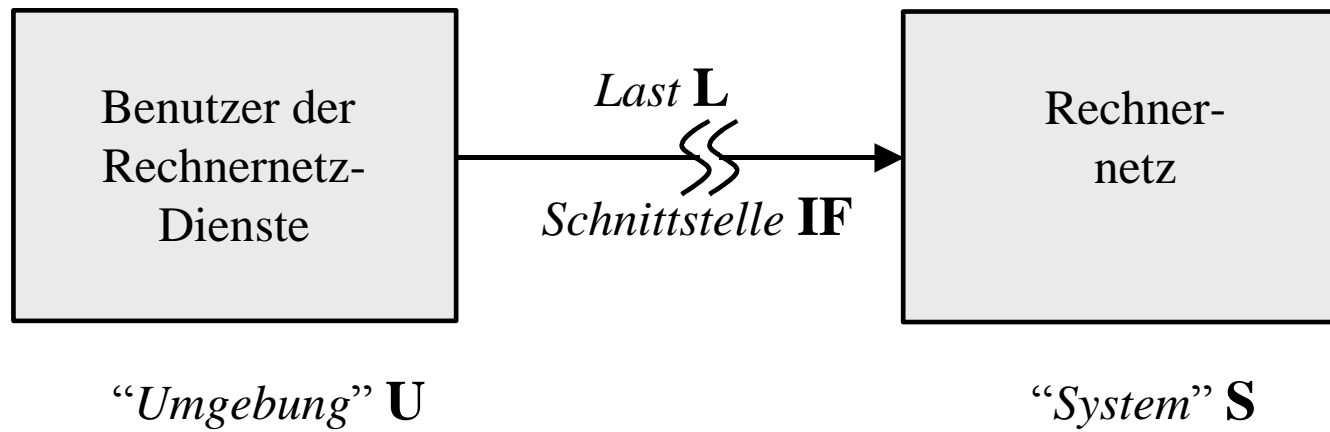
11.4 System- und Leistungsmessungen in Netzen

Klassifikation von Messungen :

- **System**messungen
- **Last**messungen
- **Leistung**smessungen



→ der o.g. Klassifikation zugrundeliegende Sicht :



ad **Systemmessungen** :

- Messungen beziehen sich auf Kenngrößen des betrachteten Netzes, deren Werte lastunabhängig ermittelt werden können
(z.B. Auftragsbedienzeiten, grundsätzliche Leistungsfähigkeit der Hardware-Betriebsmittel des Systems)

ad **Lastmessungen** :

- Messungen beziehen sich auf die an IF sichtbare Last
(zufällig beobachtete und/oder typische Auftragssequenzen) zur Charakterisierung des Benutzerverhaltens
→ bereits in Kap. 10 behandelt !

ad **Leistungsmessungen** :

- Messungen beziehen sich auf die Charakterisierung des Netzverhaltens unter einer speziellen Last (entweder reale Last und/oder künstlich erzeugte, z.B. modellbasierte, Netzlast); zu Leistungsmessungen gehören bedingt auch Messungen zur Beurteilung/Bewertung von Dienstgüte (QoS).

Grundsätzliches Procedere bei Messungen

(Grobbeschreibung)



- **Schritt 1 :** *Festlegung der Ziele der Messungen*
→ welche Arten von Erkenntnissen, Einsichten angestrebt ?
- **Schritt 2 :** *Festlegung der experimentellen Randbedingungen,*
insbesondere unter Berücksichtigung
 - der Experimentierziele, vgl. Schritt 1
 - der gegebenen Netzinfrastruktur sowie der Limitationen bei Erzeugung neuer experimenteller Randbedingungen
 - der bereits verfügbaren Messwerkzeuge bzw. der zu erwartenden Limitationen bei Realisierung neuer Messwerkzeuge, u.ä.
- **Schritt 3 :** *Realisierung* zusätzlicher benötigter *Messwerkzeuge*
(Messprogramme oder Hardware-Monitore)

Grundsätzliches Procedere bei Messungen

(Grobbeschreibung) [Fortsetzung]

- **Schritt 4 :** *Experimentvorbereitung* (für spezielle Experimentserie), u.a.
 - Installation und ggf. Starten der Messwerkzeuge
 - evtl. Vorbereitung der Erzeugung künstlicher Last während Experiment und/oder Maßnahmen zur Vermeidung des Entstehens unerwünschter Systembelastungen
 - Vorbereitung der sonstigen benötigten experimentellen Randbedingungen
- **Schritt 5 :** *Starten und Durchführung von Experimenten*
 - Erfassung, ggf. Filtern und Abspeichern von Messdaten ("Rohdaten")
- **Schritt 6 :** *Statistische Auswertung und graphische Aufbereitung* der Rohdaten
 - u.a. Vertrauensintervalle, Histogramme, Messdatenapproximation durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen, ...
- **Schritt 7 :** *Resultatinterpretation*
 - anschließend: fertig oder zurück zu früheren Schritten.

Einige der Probleme von Messungen

➤ **Allgemeine Probleme :**

- Aufwand (für Experimentvorbereitung, -durchführung und/oder -auswertung)
- evtl. Störung von ursprünglichen Abläufen durch Betriebsmittelbedarf bei Benutzung der Messinstrumente (z.B. Messprogramme)
- "solide" statistische Auswertung trotz evtl. hohen Aufwands unverzichtbar !
- Messungen unmöglich bei Entwurfsphase von Systemen und/oder bei prinzipiell unbekanntem, zukünftigem Benutzerverhalten (z.B. bei Angebot neuer Netzdienste).

➤ **Spezielle Probleme** bei Messungen in/von Kommunikations- und Rechnernetzen :

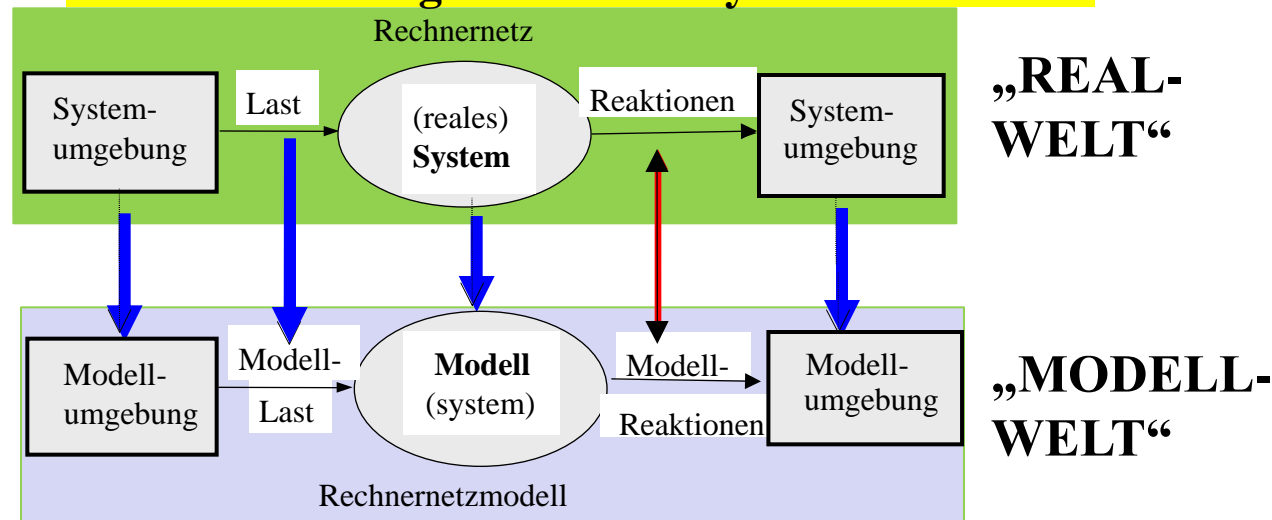
- "Black Box" -Netze mit sehr stark limitierter Beobachtbarkeit ihres Verhaltens
- evtl. benötigte Uhrensynchronisation
(zentr. Uhr, z.B. in Nachrichtensatellit, nutzbar sofern Signallaufzeit zwischen Netzknoten und Satellit bekannt *oder* Nutzung von NTP – Network Time Protocol)
- bei Leistungsmessungen (insbesondere in globalen Netzen) evtl. Gesamtlast während des Experiments unbekannt
- Messungen evtl. als Beeinträchtigung/Gefährdung für Netzsicherheit
(Abhören von Passwörtern, Analyse der Verkehrsmatrix, ...)

11.5 Modellierung von Kommunikationsnetzen

➤ Weshalb *Modellierung* ?

- System in Entwurfsphase
 - System unzugänglich
 - Messungen zu aufwändig bzw. zu teuer
 - System unter veränderten Randbedingungen bzgl. Konfiguration, Last etc. zu analysieren
- } → Messungen unmöglich

Wechselbeziehungen zwischen System und Modell



„REAL-
WELT“

„MODELL-
WELT“



 durch Modellierung festgelegte Abbildung

 Verhaltensvergleich während (Modell-) Validation

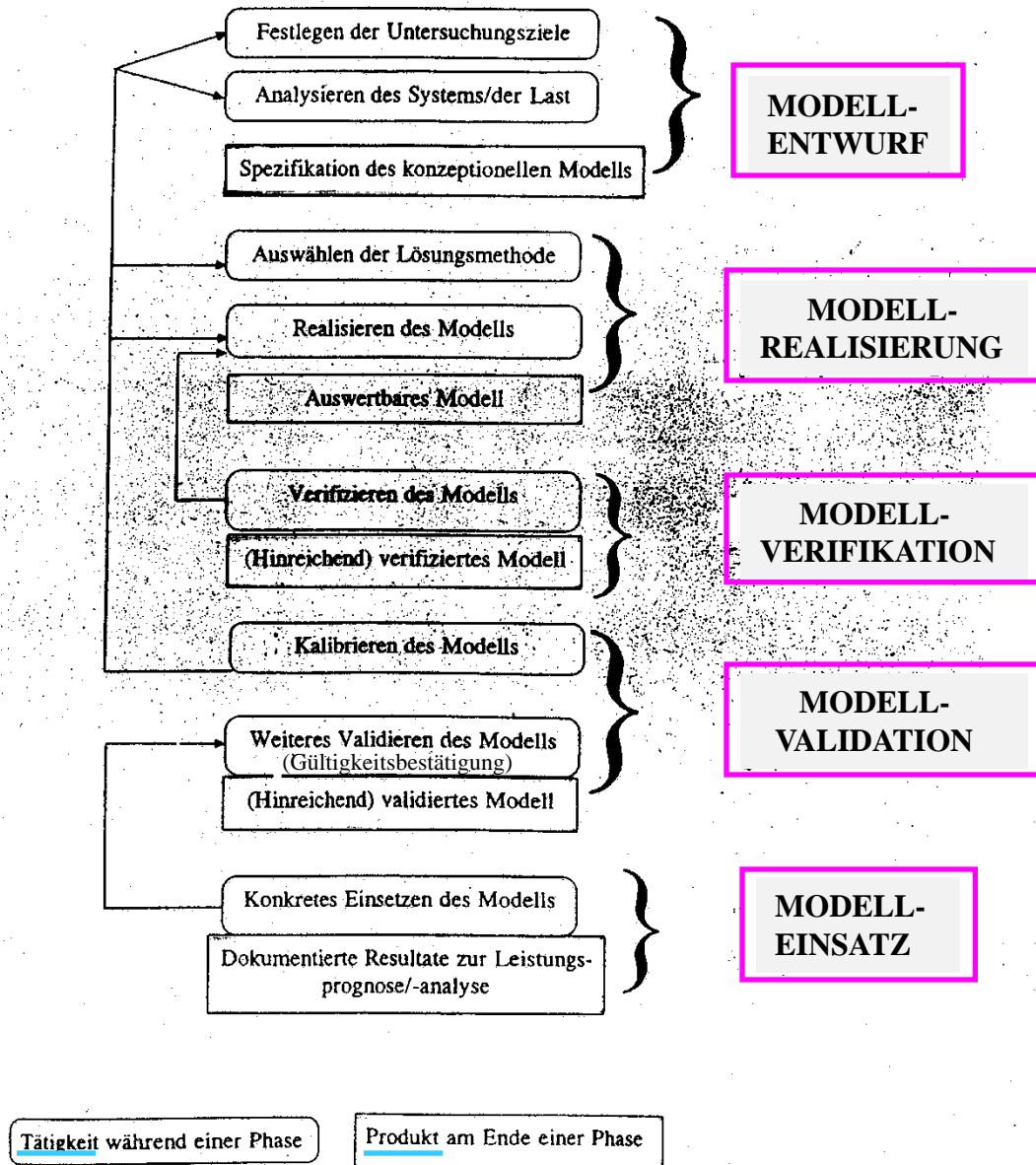
➤ **Zentrale Entscheidungen bei Modellierung**

(insbesondere beim Modellentwurf)

- **Wahl des zu modellierenden Ausschnittes der Realwelt**
(welches System / Teilsystem ? welche Systemumgebung ?)
- **Wahl eines angemessenen Detaillierungsgrades**
(evtl. spätere Verfeinerung während Modellierungsstudien)

Modellierungsphasen

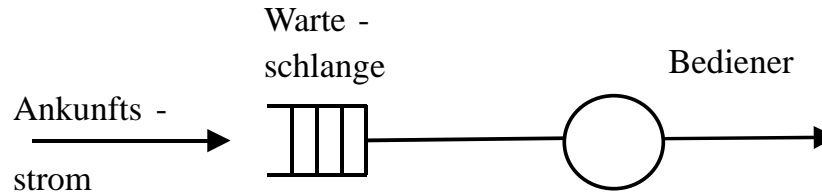
Phasenkonzept der Modellierung



Wartesysteme (mit $m \geq 1$ Bedienern) und Wartenetze (*offen* vs. *geschlossen*)

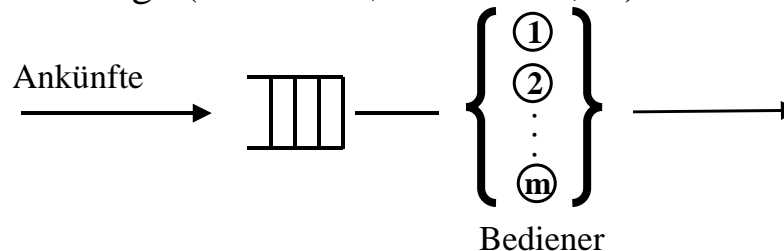
I. Warte(schlange)nssysteme – Queu(e)ing Systems

a) 1 Bediener :



- ad
- *Ankunftsstrom* :
 - Ankünfte von Aufträgen, Kunden, ...
 - evtl. beschrieben über Wahrscheinlichkeitsverteilung (WSK-Verteilung)
 - *Warteschlange* :
 - Inhalt : auf Bedienung wartende Kunden
 - evtl. endliche Länge
 - *Bediener* :
 - Bedienung der Aufträge (mit, evtl. durch WSK-Verteilung charakterisierten, Bedienzeitforderungen)
 - unterschiedl. Strategien für Auswahl zu bedienender Aufträge (z.B. FIFO, Prioritäten, ...)

b) m Bediener :



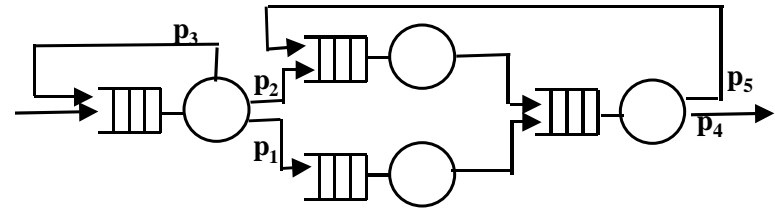
Kendall-Notation (*vereinfacht*): $A/B/m$, wobei A bzw. B = Verteilung der Zwischenankunftszeit bzw. der Bedienzeit (z.B. G = general, D = deterministic, M = neg. exponential) ; m = Anzahl der Bediener

II. Warte(schlangen)netze – Queu(e)ing Networks

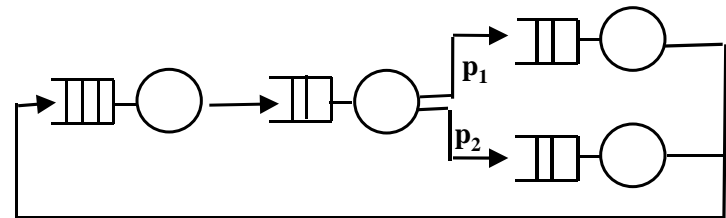
\cong Zusammengeschaltete/gekoppelte Wartesysteme



- a) **offene Wartenetze** (Bsp.):
 $[\rightarrow p_i: \text{Verzweigungs-WSK}]$



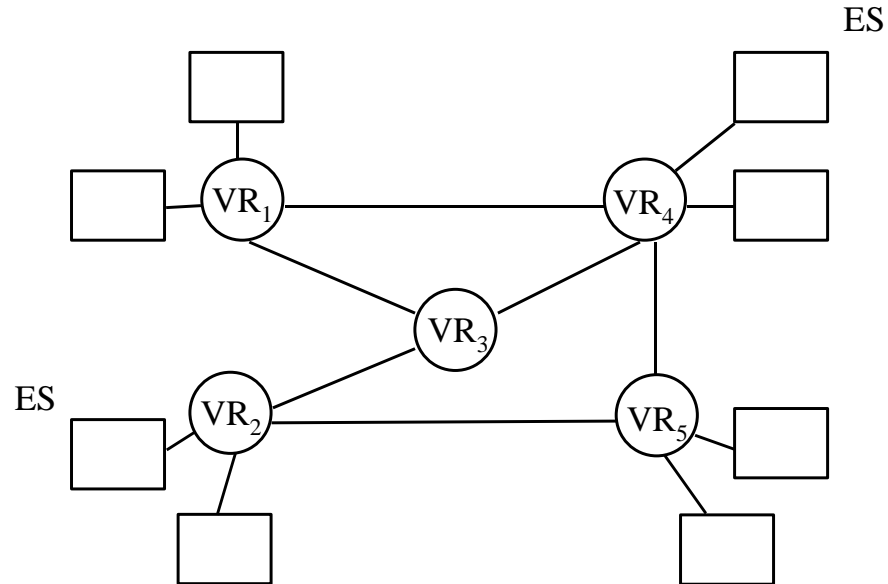
- b) **geschlossene Wartenetze** (Bsp.):
 $[\rightarrow N \text{ Kunden}]$



Beispiel I: Offenes Wartenetz zur Modellierung eines Vermittlungsnetzes



- Ausgangssituation:**



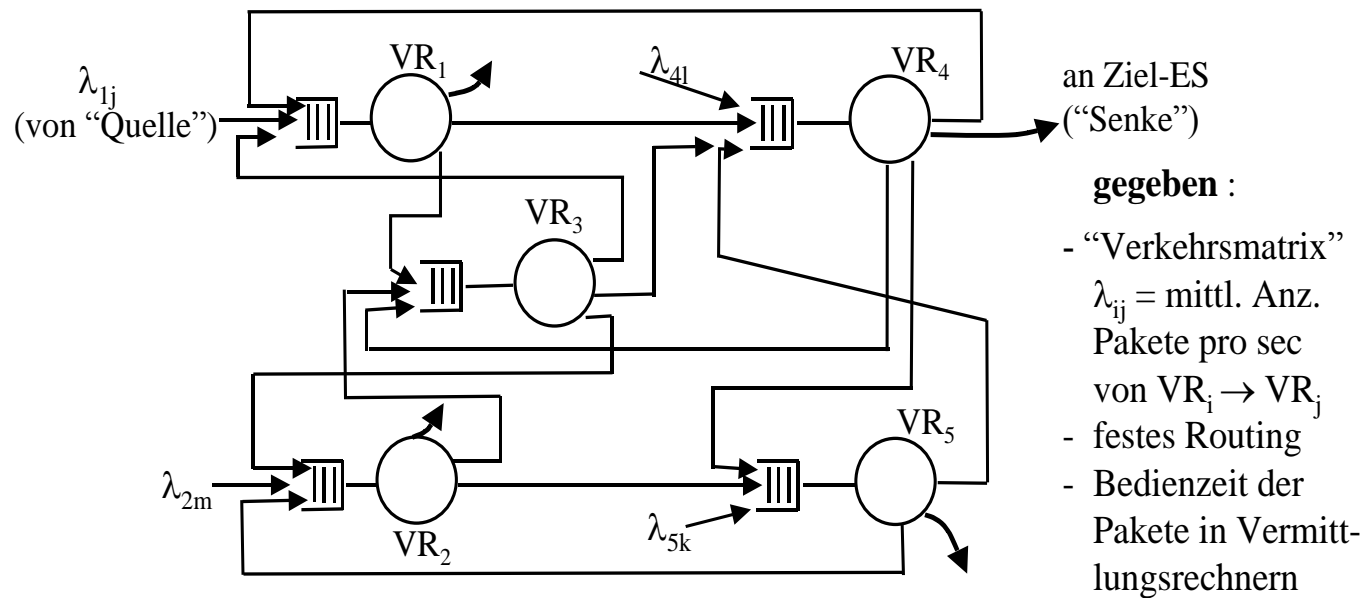
VR: Vermittlungsrechner
(eines Paketvermittlungsnetzes)

ES: Endsystem

nota bene: Leitungen seien Hochgeschwindigkeitsleitungen mit vernachlässigbar kleiner Verzögerung für übertragene Pakete

- Ziel:** Ermittlung der mittleren Paketverweilzeit (= Aufenthaltszeit) im Vermittlungsnetz

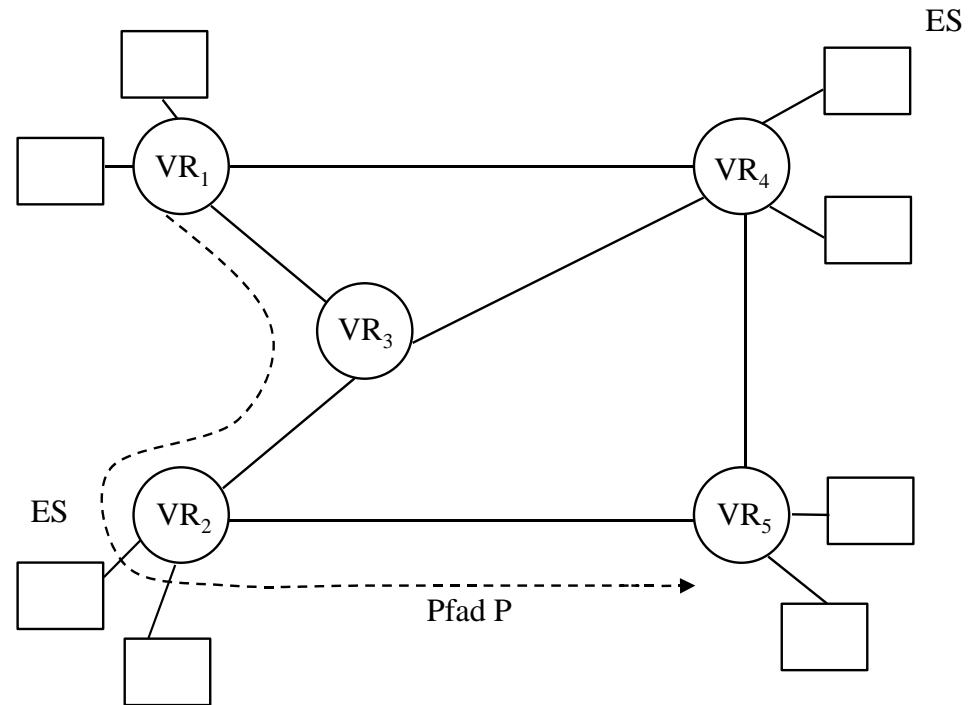
• Das Wartenetzmodell ...



Beispiel II: Offenes Wartenetz zur Modellierung einer virtuellen Verbindung



- Ausgangssituation:**

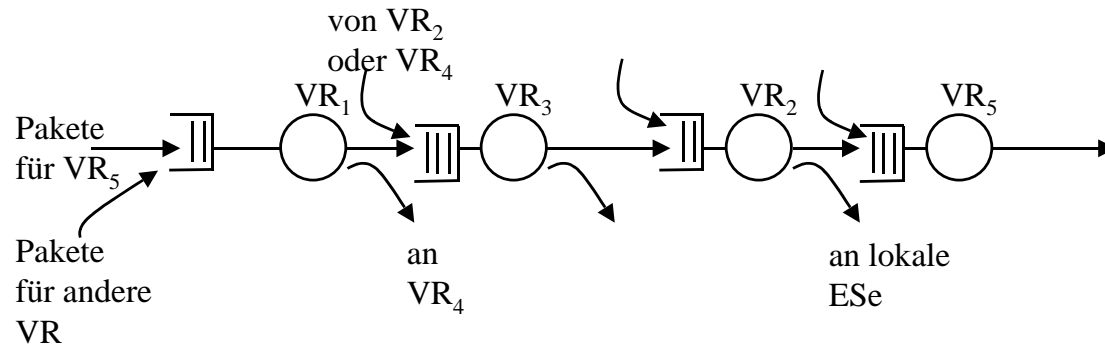


VR: Vermittlungsrechner
ES: Endsystem

wiederum: Paketverzögerungen auf Leitungen vernachlässigbar

- Ziel:** Ermittlung der Paketverzögerungen auf dem Pfad
 $VR_1 \rightarrow VR_3 \rightarrow VR_2 \rightarrow VR_5$

• Das Wartenetzmodell ...



- gegeben:
- Verkehr (zu übertragende Pakete) für Pfad P bzw. für eine entsprechende virtuelle Verbindung VC
 - festes Routing
 - Bedienzeit der Pakete in Vermittlungsrechnern
 - „Störverkehr“, d.h. Pakete anderer Verbindungen, die sich mit dem Verkehr von VC überlagern

→ vgl. Lernmodul „Netzmodellierung“ aus *TeleMuM*-Projekt der AG TKRN im Fachbereich Informatik
(siehe dortiges Kapitel über „**Leistungsmodellierung**“)

Weitere exemplarische (einfache)

Fallstudie :

Analytische Modellierung eines ATM- Vermittlungsrechners

Vorbem :

Üblicherweise relativ starker Einfluss der angestrebten Modellauswertetechnik
— mathematisch-analytisch ¹⁾ oder simulativ ²⁾ — auf das prinzipiell mögliche Modell

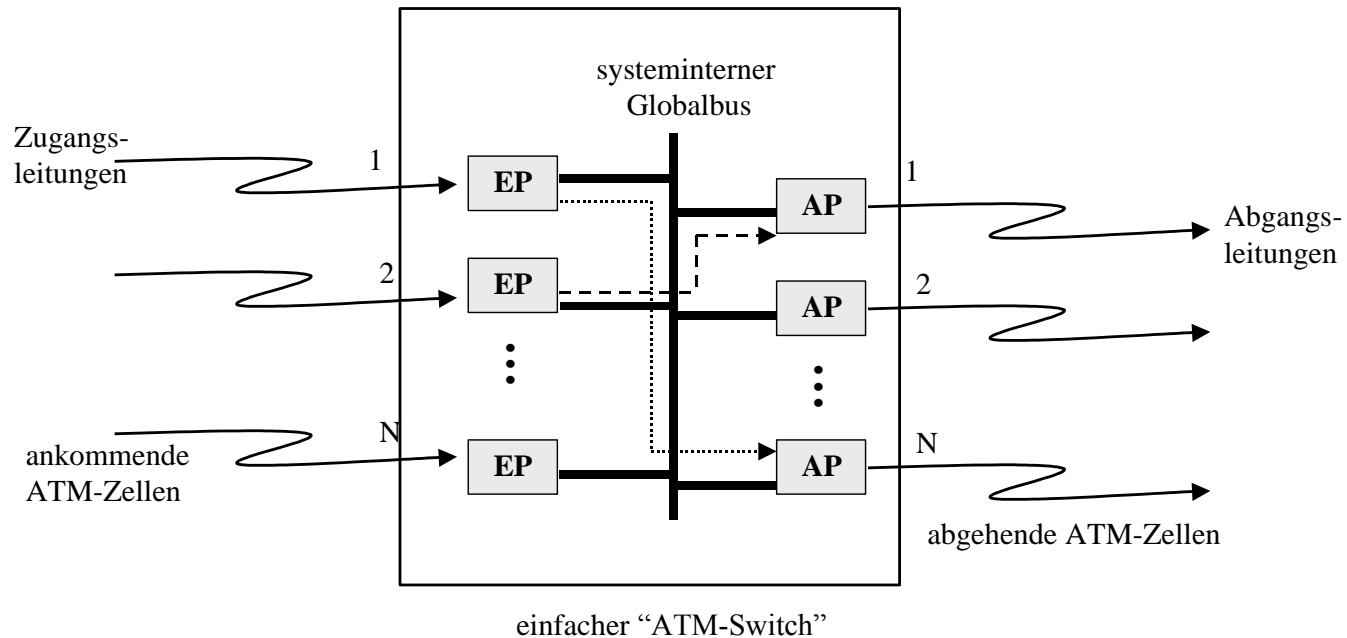
→ insbesondere bei analytischer Modellauswertung zumeist :

- stark restringiertes Lastmodell
- nicht allzu komplexe Modellstruktur akzeptabel

¹⁾ formelmäßiger Zusammenhang zwischen Leistungskenngrößen und Modellparametern

²⁾ Nutzung eines Simulationsprogrammes zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Leistungskenngrößen und Modellparametern (mittels Simulationsexperimenten)

➤ **Zu modellierender ATM-Vermittlungsrechner VR**
(bereits ein Modell !)

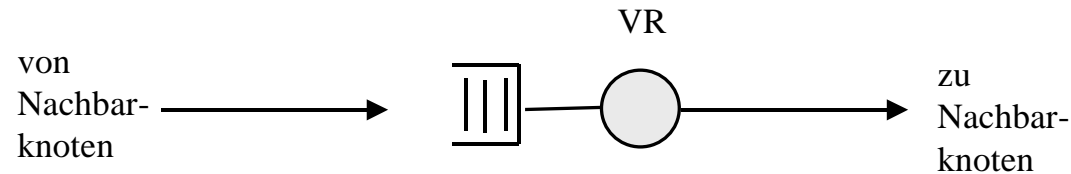


Wartenetzmodelle des "ATM-Switch"

(sukzessive verfeinert)



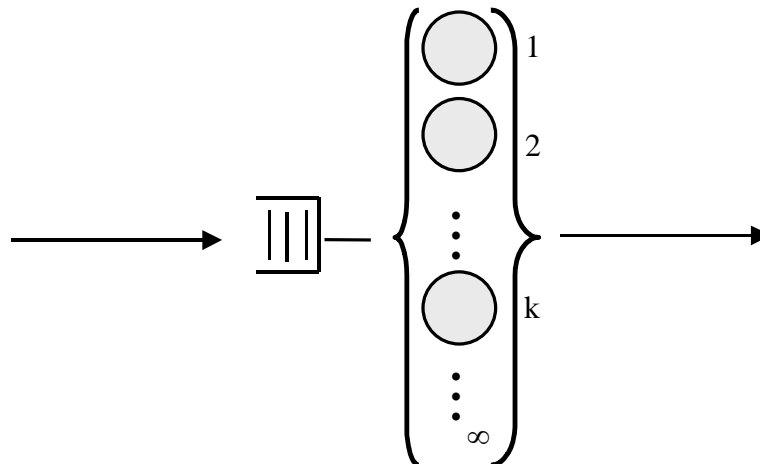
➤ Elementares Vermittlungsrechner-Modell :



⇒ Interpretation z.B. als M/G/1-Modell
 oder G/D/1-Modell
 oder ... ? (evtl. nur simulativ auswertbar)

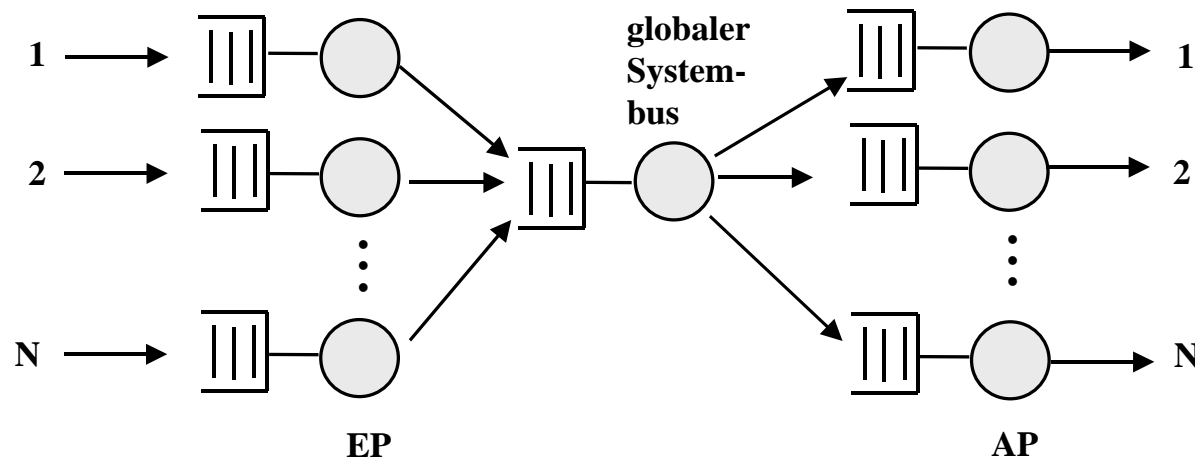
[nota bene : M ≡ Markov/neg. exponential, D ≡ determinist., G ≡ general]

➤ Sehr leistungsfähiger VR :



⇒ Interpretation als "Infinite Server" - Modell, z.B. G/D/∞

➤ **Modell zur Mitberücksichtigung der Eingangs- (EP) und Ausgangsleistungs-Prozessoren (AP) :**



Nota bene : Detaillierte Betrachtungen zu *Messung und Modellierung von Kommunikations- und Rechnernetzen* im

Master-Modul "Leistungs-/Zuverlässigkeitsanalyse und 'Traffic Engineering' von Rechnernetzen"

(jährlich, im allg. im Wintersemester)