

- Geografische Netzstrukturen
- Geschichte Darstellung der Netzstrukturen
- Bus, Stern, Baum, Ring, Vermaschung, Hierarchie
- Verkabelungsstruktur von Gebäuden und Netzen
- Physikalische und logische Struktur von Netzen
- Netzverfügbarkeit

### Netzarchitekturen

Eine Netzarchitektur ist die vereinfachte Beschreibung des Netzaufbaus. Die Architektur kann als **Bauplan** verstanden werden, der abstrakte Eigenschaften (im Gegensatz zu benutzerbezogenen Eigenschaften) beschreibt. Dabei sind verschiedene Aspekte zu unterscheiden:

- Der Aufbau des verwendeten **Protokollstapels** (protocol stack) ist ein wichtiges Architekturmerkmal. Oft ist es sinnvoll und notwendig (zumindest auf einigen Schichten) Protokolle aus verschiedenen Protokollstapeln anzubieten.
- Die **topologische Struktur** ist ein weiteres, wichtiges Merkmal. Die Unterscheidung **Transportnetz und Zugangsnetz** (access network, ermöglicht den Zugang des Teilnehmers zum Transportnetz) weist darauf hin, dass beide Teile unterschiedliche Eigenschaften aufweisen müssen. Im Transportnetz werden von innen (teilnehmerfern) nach außen der **Backbone, das Kernnetz** (beim Telefonnetz das Fernnetz) und das **periphere Netz** (Ortsnetz) unterschieden. Der Backbone besteht aus relativ wenigen, aber sehr breitbandigen Verbindungen. Das periphere Netz weist viele, jedoch schmalbandige Verbindungen auf.
- Die **logische Struktur** eines Netzes betrachtet die Gliederung in Subnetze und die Funktion der zugehörigen Knoten. **Client-Server-Architekturen** werden je nach Anwendung mit unterschiedlichen logischen Strukturen realisiert.

### Rechnernetze, Datennetze und verteilte Systeme

Ein **Datennetz** (data network) überträgt digitale Signale zwischen Paaren oder Gruppen von Anwendern. Dabei können Kommunikationsbeziehungen wahlfrei zwischen beliebigen Kommunikationspartnern hergestellt werden. Das Netz stellt den Anwendern die OSI-Schichten 1-3 zur Verfügung, d. h. das vom Netz vorgegebene Schicht-3-Protokoll ist vom Anwender einzuhalten.

Das Netz transportiert also Pakete für den Anwender, es interessiert sich jedoch nicht für deren Bedeutung und Wirkungen. Deshalb werden von verschiedenen Autoren auch die Begriffe Bearer Service (Trägerdienst), Netzdienst, Transportdienst und Übermittlungsdienst verwendet. Die Dienste eines Datennetzes können als netznah und anwendungsfern charakterisiert werden.

Ein **Rechnernetz** (computer network, Rechnerverbund) verbindet autonome Rechner. Es stellt den Anwendern Dienste bereit, die die OSI-Schichten 1-7 umfassen. Ziel der Rechnernetze ist die gemeinsame Nutzung von Ressourcen (resource sharing), die sich an verschiedenen Stellen im Netz befinden.

Ein Rechnernetz transportiert also nicht (anonyme) Pakete, sondern PDUs, die in Bezug auf den jeweiligen Dienst eine bestimmte Bedeutung beinhalten. Die auf Rechnernetzen ausgeführten Dienste werden verschiedentlich als Teledienste, Telematikdienste oder Kommunikationsdienste bezeichnet. Diese Dienste werden von den Anwendungen (Anwendungsprogrammen) genutzt. Sie können deshalb als anwendungsnah bezeichnet werden.

Ein verteiltes System (distributed system) verbindet autonome Rechner so, dass für den Benutzer die Abstraktion eines einzelnen, homogenen Systems repräsentiert wird. Dies bedeutet, dass die Verteilung **transparent** ist. Das System verbirgt Ort und Art der Ausführung seiner Funktionen.

In einem Rechnernetz ist sich der Anwender der Existenz und Erreichbarkeit verschiedener Rechner bewusst. Das Netz wird in der Regel heterogen sein, also verschiedenartige Rechner (Hardware, Betriebssystem) umfassen. Ein verteiltes System wird ebenfalls heterogene Komponenten enthalten. Ein verteiltes Betriebssystem verbirgt die Heterogenität und realisiert die Transparenz.

Rechnernetze und verteilte Systeme sind in der Praxis nicht sauber abzugrenzen. Zweck der Rechnernetze ist die **Kommunikation** (Austausch von Daten bzw. Informationen). **Koordination** (mehrfacher Informationsaustausch mit dem Zweck, ein abgestimmtes Verhalten der Partner zu finden) ist eine Erweiterung der Kommunikation. **Kooperation** (laufender Informationsaustausch mit dem Zweck, gemeinsam zu Ergebnissen zu kommen, die besser oder umfassender sind, als dies jeder Partner allein erreichen könnte) ist der Zweck der verteilten Systeme. Kooperation (Verteilung) ist auf Kommunikation angewiesen, während Kommunikation keine Verteilung impliziert.

### Verteilung und Transparenz

Aus der Sicht des Betreibers von Rechnernetzen werden diese als Verbund von Ressourcen gesehen, die für viele Anwender verfügbar gemacht werden sollen (resource sharing).

Ziele sind:

- **Funktionsverbund:** Verschiedene Knoten enthalten spezifische Funktionen, die über das Netz anderen Knoten zur Verfügung gestellt werden.
- **Datenverbund:** Daten, die auf einem Knoten gespeichert sind, können auch von anderen Knoten genutzt werden.
- **Lastverbund:** Die Last (Anzahl der Verarbeitungsaufträge pro Zeiteinheit) eines Knotens kann auf andere, weniger belastete Knoten verteilt werden. Dadurch wird der Durchsatz (Anzahl der pro Zeiteinheit erledigten Verarbeitungsaufträge) für den Benutzer erhöht.
- **Verfügbarkeitsverbund:** Der Ausfall einzelner Knoten kann ohne wesentliche Leistungsreduktion toleriert werden, wenn die benötigten Funktionen und Daten redundant im Netz verfügbar sind.

Der Verbund kann auch aus der Sicht der **Verteilung** (distributed system) betrachtet werden.

Bei der **Datenverteilung** ergeben sich spezifische Probleme. Daten können durch **Partitionierung** (der Datenbestand wird in disjunkte, nichtüberlappende Teile zerlegt) oder **Replikation** (Kopien eines Datenbestandes werden auf anderen Knoten abgelegt) verteilt werden. Eine Replikation ermöglicht (im Gegensatz zur Partitionierung) einen Verfügbarkeitsverbund. Die Replikation kann jedoch zu **Inkonsistenz** führen (widersprüchliche Daten auf verschiedenen Knoten), was durch geeignete Maßnahmen verhindert bzw. beseitigt werden muss.

Aus Sicht des Anwenders soll die Verteilung möglichst **transparent** (nicht wahrnehmbar) sein. Da dies nicht in allen Belangen machbar oder sinnvoll ist, ist der Begriff Transparenz näher zu umschreiben:

- **Ortstransparenz** (location transparency): Der Ort der Ausführung ist für den Anwender transparent.
- **Zugriffstransparenz** (access transparency): Der Anwender bemerkt nicht, ob ein lokaler oder ein entfernter Zugriff erfolgt.
- **Leistungstransparenz** (performance transparency): Die Unterschiede in den Zugriffs- und Ausführungszeiten zwischen lokalen und entfernten Operationen sind für den Benutzer unwesentlich.
- **Fehlertransparenz** (failure transparency) Fehler, die auf die Verteilung zurückzuführen sind, bleiben dem Benutzer verborgen.

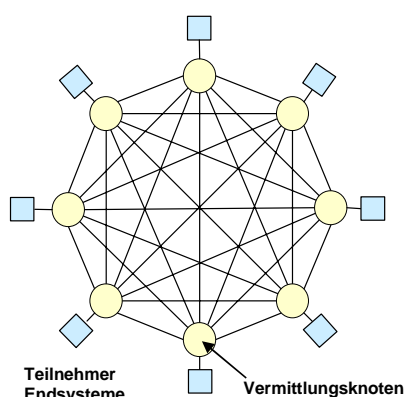


Bild: Vollvermaschtes Netz

Netzstrukturen haben die Aufgabe, die flächenhaft verteilten Quellen und Senken des Verkehrs in möglichst ökonomischer Form miteinander zu verbinden. Neben der rein topologischen Struktur spielen jedoch weitere Merkmale eine entscheidende Rolle, wie die Verteilung der Vermittlungsfunktionen oder der Grad an verteilter Intelligenz zur Verkehrslenkung.

Die **Topologie** eines Netzes beschreibt die geometrische Anordnung der Netzknoten und ihrer Verbindungen.

Unterschiedliche Topologien ergeben unterschiedliche Eigenschaften der damit aufgebauten Netze. Die Kenntnis der Vor- und Nachteile ist die Basis für die Auswahl einer im Einzelfall geeigneten Topologie. Die Betrachtung der geometrischen Anordnung allein ist dabei nicht ausreichend. Das Verhalten der Übertragungsstrecken muss nach Diffusionsnetz und Teilstreckennetz unterschieden werden.

### Klassifikation von Topologien

Topologien lassen sich nach ihrer Dimension einteilen. Eine n-dimensionale Topologie lässt sich in einem n-dimensionalen Raum kreuzungsfrei aufzeichnen. **Eindimensionale Topologien** sind Bus, Ring und Stern. Sie werden primär bei lokalen Netzen verwendet. Ein Bus bildet ein Diffusionsnetz, während ein Ring (in der Regel) als Teilstreckennetz realisiert ist. In beiden Fällen ist jedoch die **Broadcast-Eigenschaft** vorhanden. Dies bedeutet, dass das von einer Station gesendete Signal unmittelbar (nur um die Laufzeit verzögert) von allen anderen Stationen empfangen wird.

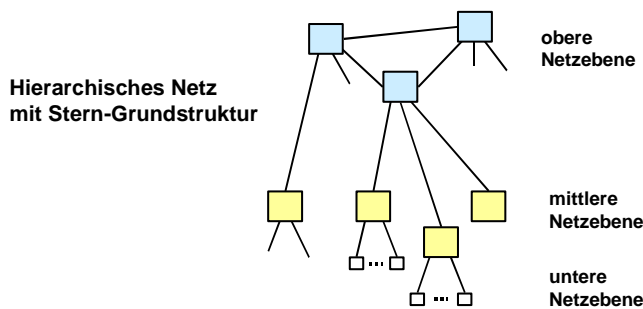
**Zweidimensionale Topologien** sind Baum, Gitter und systolische Arrays. Die Baumtopologie ist für Rechnernetze ebenfalls wichtig, während andere zwei- (und auch mehr-) dimensionale Topologien für Parallelrechner genutzt werden.

**Drei- und mehrdimensionale Topologien** sind für Rechnernetze als vermaschte Topologien besonders wichtig. Bei der voll vermaschten Topologie ist jeder Netzknoten mit jedem anderen direkt verbunden. Bei einer Anzahl von n Netzknoten werden dafür  $n(n-1)/2$  Teilstrecken benötigt, was für große n nicht mehr praktikabel ist.

### Netzstrukturen

Netzstrukturen haben die Aufgabe, die flächenhaft verteilten Quellen und Senken des Verkehrs in möglichst ökonomischer Form miteinander zu verbinden. Neben der rein topologischen Struktur spielen jedoch weitere Merkmale eine entscheidende

Rolle, wie die Verteilung der Vermittlungsfunktionen, der Grad an verteilter Intelligenz zur Verkehrslenkung u.a.m. Im folgenden werden die wesentlichsten strukturellen Merkmale von Kommunikationsnetzen behandelt.



- Einführung von Netzebenen
- Sternförmige Verbindung der Netzebenen in hierarchischer Ordnung
- Sammlung und Bündelung des Fernverkehrs
- Anwendungen: Orts- und Fernnetze
- Mischformen
  - Vermaschung in oberster Ebene
  - Querwege zur Abkürzung

Bild: Prinzip der Netzebenen

### Hierarchisches Netz mit Stern-Grundstruktur

- Einführung von Netzebenen
- Sternförmige Verbindung der Netzebenen in hierarchischer Ordnung
- Sammlung und Bündelung des Fernverkehrs
- Anwendungen
  - Orts- und Fernnetze
  - Mischformen
    - Vermaschung in oberster Ebene
    - Querwege zur Abkürzung

### Hierarchisches Netz mit Maschen-Grundstruktur

- unvollständige Vermaschung in oberer Netzebene
  - verschiedenartige Strukturen im Anschlussbereich (Stern, Ring, Bus, ...)
- Anwendung in derzeitigen öffentlichen Paketvermittlungsnetzen

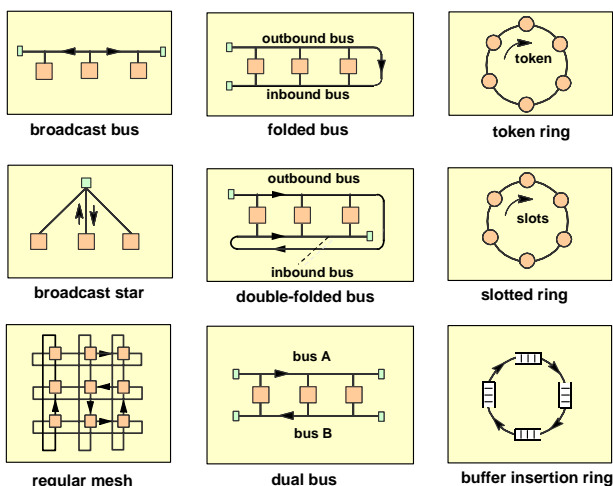


Bild: Netztopologien

Beim **Broadcastnetz** (shared medium) wird das Signal eines Senders von allen angeschlossenen Empfängern unmittelbar (jedoch um die Signallaufzeit verzögert) empfangen. Jeder Empfänger muss selbst feststellen, ob er das Signal aufnimmt oder nicht. Beim **Teilstreckennetz** läuft das Signal des Senders über (genau) eine Teilstrecke, an deren Ende ein Empfänger das Signal aufnimmt und (falls erforderlich) auf einer anderen Teilstrecke wieder aussendet

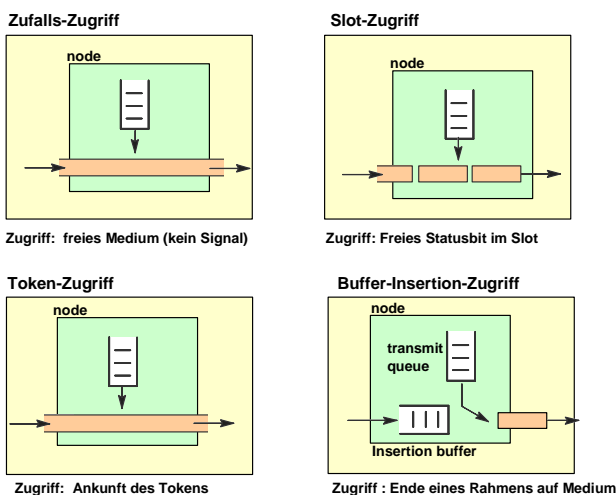
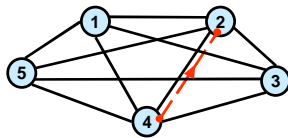


Bild: Zugriff auf gemeinsames Medium



- Reines Maschennetz aus N Knoten
  - Anzahl der  $N \cdot (N - 1) / 2$  Verbindungswege
  - Kürzestmögliche Verbindungen
  - Unwirtschaftlich für großes N, wegen
    - Anzahl der Verbindungsleitungen
    - schlechter Ausnutzung der Verbindungsleitungen
- Anwendung**
- in höheren Netzebenen

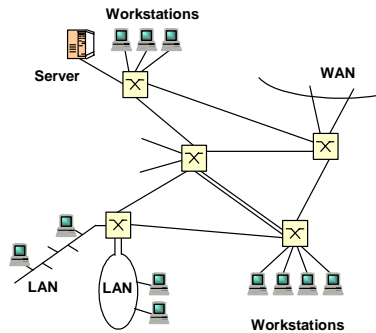
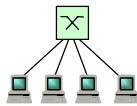
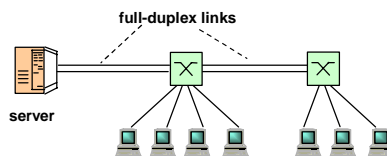


Bild: Maschennetz



- switched Ethernet : 10 Mbit/s
- switched Token-Ring : 16 Mbit/s
- switched FDDI : 100 Mbit/s



- full -duplex Ethernet : 20 Mbit/s
- full -duplex Token-Ring : 32 Mbit/s
- full -duplex FDDI : 200 Mbit/s

- Einführung eines Zentralknotens als Durchgangsknoten d.h. Einführung einer höheren Netzebene
  - N Verbindungsleitungen
  - 2 Verbindungsleitungen pro Verbindung erforderlich
  - unwirtschaftlich für großes N
- Anwendung**
- in lokalen Netzen
  - in Zugangsnetzen
  - in zellulären Mobilfunknetzen (Funkkanalanbindung von Mobilstationen an Basisstation)

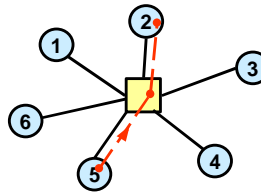
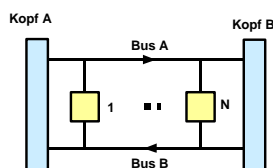
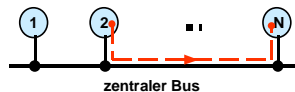
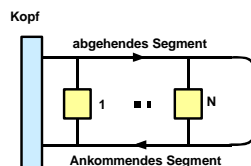


Bild: Sternnetz

- Zentraler Bus als Breitband-Übertragungssystem mit passiver oder aktiver Ankopplung
- Betrieb mit Vielfachzugriffsverfahren
- Anwendungen in lokalen Netzen mit Paketvermittlung

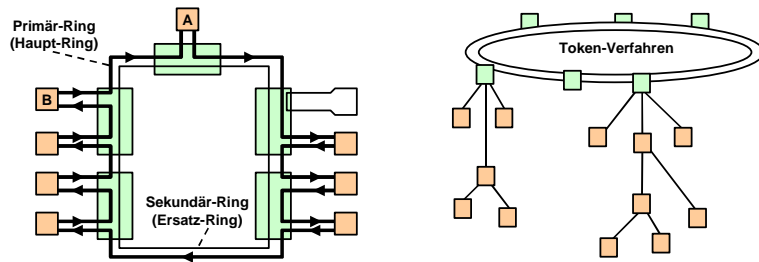


- Paar unidirektionaler Busse
- Buswahl je nach Zielstation



- Bus mit abgehendem (outbound) und ankommendem (inbound) Segment

Bild: Linien-/Busnetze



- Zentraler Ring als Breitband-Übertragungssystem mit aktiven Knoten
- Betrieb mit zentralem Takt und synchronem TDM oder dezentral im Paketmode (Token-Verfahren)
- Strukturelle/betriebliche Vorkehrungen bei Unterbrechung des Ringes möglich, um Teilbetrieb aufrechtzuerhalten
- Doppelringstruktur mit zwei gegenläufigen unidirektionalen Ringen zur Ausfallsicherung (Selbstheilungsprinzip bei Unterbrechungen)
- Anwendungen in lokalen Netzen mit Durchschaltvermittlung oder Paketvermittlung

Bild: Ringnetz

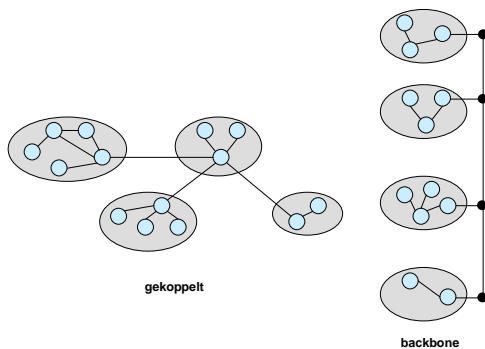


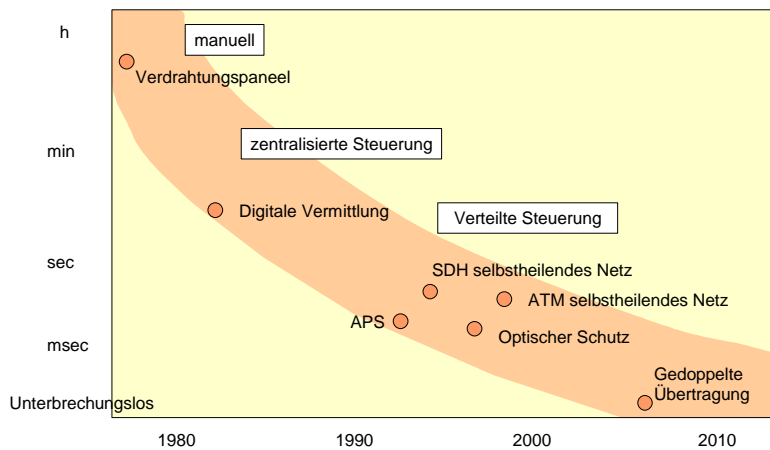
Bild: Gekoppelte Netze

## Bewertung von Topologien

**Vor- und Nachteile** verschiedener Topologien können anhand der folgenden Kriterien untersucht werden:

- **Verkabelungsaufwand:** Welche gesamte Kabellänge wird benötigt, wenn die geografische Anordnung der Netzknoten vorgegeben ist? Der Aufwand für das Einfügen eines zusätzlichen Netzknotens ist ein weiteres Kriterium.
- **Gesamtbandbreite:** Wenn die Bandbreite  $B$  aller Teilstrecken als gleich angenommen wird, kann die Gesamtbandbreite bei  $n$  Teilstrecken im günstigsten Fall  $n \cdot B$  betragen.
- **Effizienz:** Darunter wird hier die Zahl der zu durchlaufenden Zwischenknoten verstanden. Der Aufwand für das Routing steigt mit der Anzahl der Zwischenknoten.
- **Ausfalltoleranz (Robustheit):** Beschreibt die Auswirkungen des Ausfalls einer Teilstrecke oder eines Netzknotens.

Günstige Bewertungen ergeben sich in den Fällen Bus (bei Verkabelungsaufwand und Effizienz) und voll vermaschte Topologie (bei Gesamtbandbreite und Effizienz und Ausfalltoleranz). Ungünstige Fälle sind der Bus (bei Gesamtbandbreite und Ausfalltoleranz), der Stern (insbesondere beim Ausfall der Station im Sternpunkt) und die vermaschte Topologie (beim Verkabelungsaufwand). Die Beurteilung wird komplizierter, wenn mehrere Kriterien zusammen betrachtet werden. Beispielsweise liefert die Baumtopologie einen guten Kompromiss zwischen Verkabelungsaufwand, Gesamtbandbreite und Effizienz insbesondere dann, wenn aus der Anwendung ein hierarchisch orientiertes Kommunikationsverhalten zu erwarten ist.

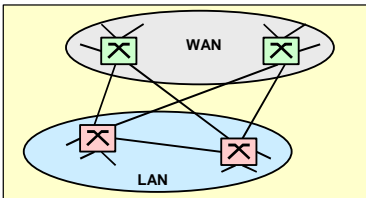


SDH : Synchronous Digital Hierarchy  
 ATM : Asynchronous Transfer Mode

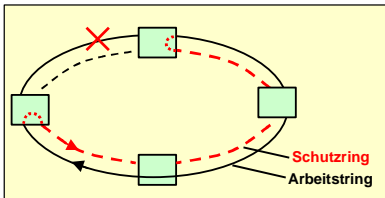
APS : Automatic Protection Switching

Bild: Entwicklung von Netzschutzmechanismen

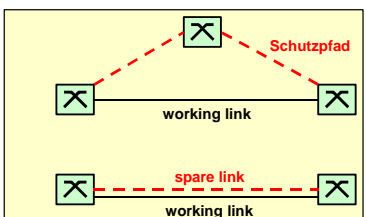
Dual homing



Self-healing ring (SHR)



Automatic protection switching (APS)



Self-healing network (SHN)

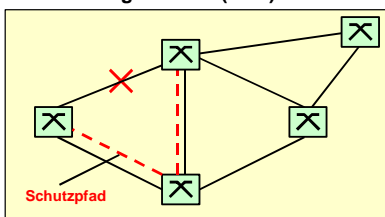
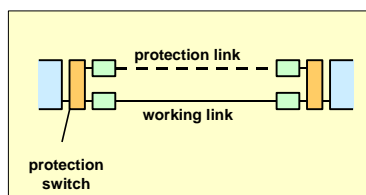
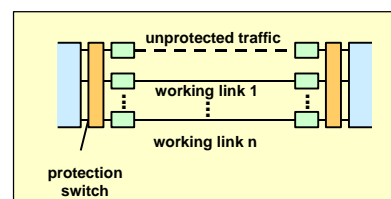


Bild: Netzschutzmechanismen

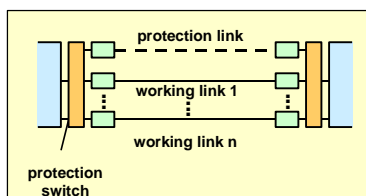
1 + 1 Schutz



1 : n mit extra Verkehr auf Schutzlink



1 : n Schutz



1 : n mit gemeinsamer Ausnutzung

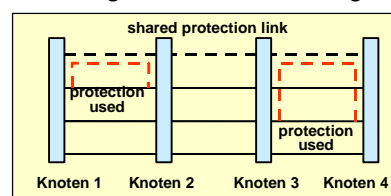


Bild: Automatic Protection Switching (APS)

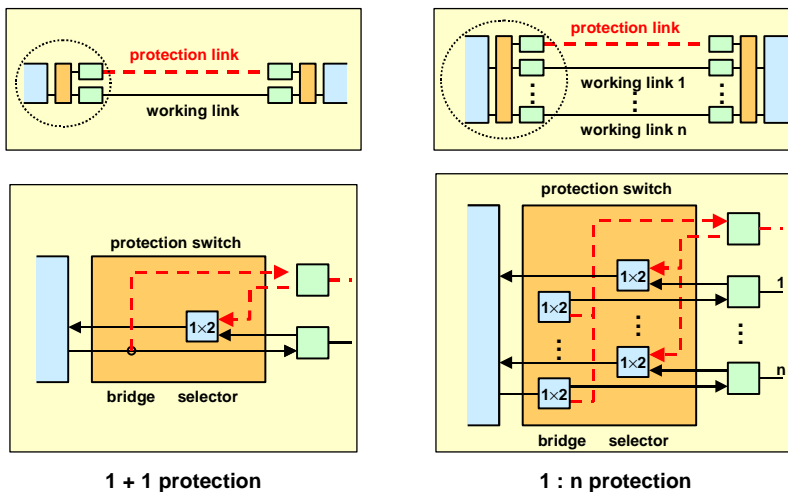
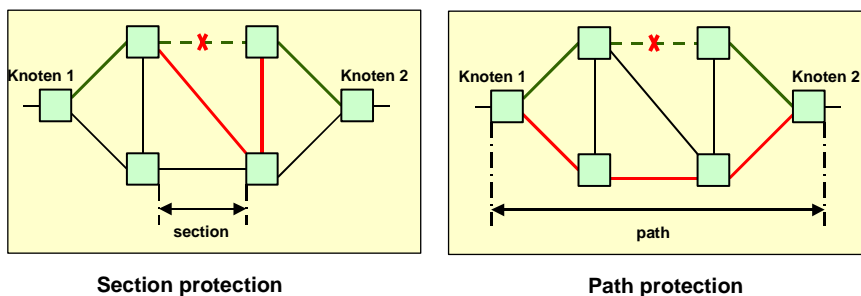


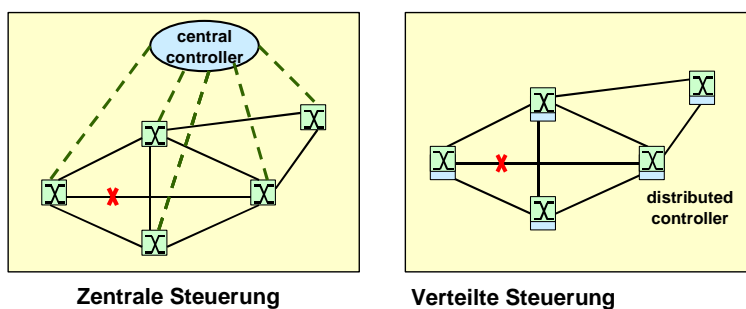
Bild: Realisierung von Automatic Protection Switching (APS)



Restaurationsgeschwindigkeit +  
 Algorithmische Komplexität +  
 Netzauslastung -

Restaurationsgeschwindigkeit -  
 Algorithmische Komplexität -  
 Netzauslastung +

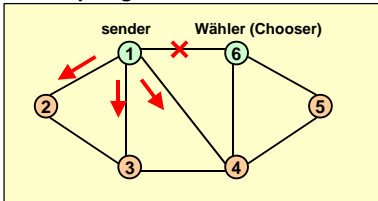
Bild: Abschnitt- und Pfadschutz



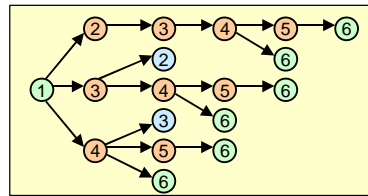
	Zentrale Steuerung	Verteilte Steuerung
Netzkomplexität	+	-
Standardisierungsbedarf	+	-
Lokaler Speicherplatz	+	-
Restaurationszeit	-	+
Netzverfügbarkeit	-	+
Steuerungsmehraufwand	-	+

Bild: Zentrale versus Dezentrale Steuerung

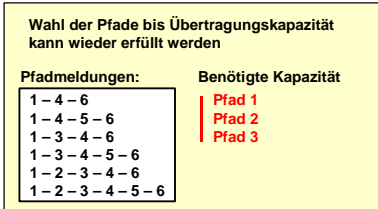
### Netztopologie



### Phase 1 : message broadcasting



### Phase 2 : Wegeauswahl



### Phase 3 : Pfadbestätigung

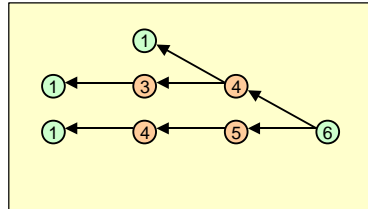


Bild: Selbstheilende Netze : Restaurationsprinzip