

Packet Radio



... *connecting the future* ...

## Grundlagen zur Knotensoftware

**Secret Internals**

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Inhaltsverzeichnis .....                             | 2  |
| Das ISO-OSI-Referenzmodell .....                     | 2  |
| Schicht 1.....                                       | 3  |
| Schicht 2.....                                       | 3  |
| Schicht 3.....                                       | 4  |
| Schicht 4.....                                       | 5  |
| Routingverfahren .....                               | 6  |
| Multiprotokoll-Routing .....                         | 6  |
| Spezielle Implementierungen .....                    | 7  |
| FlexNet.....   | 7  |
| Net/ROM L3 .....                                     | 8  |
| INP3 .....   | 9  |
| Die Knotensoftware (X)NET .....                      | 9  |
| (X)NET und das OSI-Referenzmodell.....               | 9  |
| Zero-Copy-Systeme: Wer kopiert verliert (Zeit) ..... | 9  |
| Zeitgeber („Timer“) .....                            | 10 |
| AX.25 L2: Adaptive Timer.....                        | 10 |

# Das ISO-OSI-Referenzmodell

Das ISO-OSI-Referenzmodell (ISO = International Organization for Standardization, OSI = Open Systems Interconnection) ist ein herstellerunabhängiges Referenzmodell zur Beschreibung von Kommunikationssystemen. Es ist eine theoretische Basis, die durch eine einheitlichen Terminologie die Kommunikation zwischen Telekommunikationsexperten erleichtern soll. Viele neu entstehende Protokolle, Netze und Lehrbücher basieren auf dem Referenzmodell, das 1979 von der OSI vorgeschlagen wurde. Innovative Funkamateure hatten viel früher das Packet-Radio-Protokoll AX.25 (in Anlehnung an das bereits existierende Datex-P-Protokoll X.25) definiert. Aus diesem Grund läßt sich AX.25 nicht einfach in die OSI-Referenzarchitektur einordnen.

Das Referenzmodell sollte möglichst einfach andererseits aber alle möglichen Aspekte der Kommunikation umfassen. Das Ergebnis der Normungskommission ist das OSI-Basisreferenzmodell - auch Sieben-Schichten-Modell genannt - das im folgenden Bild dargestellt ist:



Die sieben Schichten des OSI-Referenzmodells

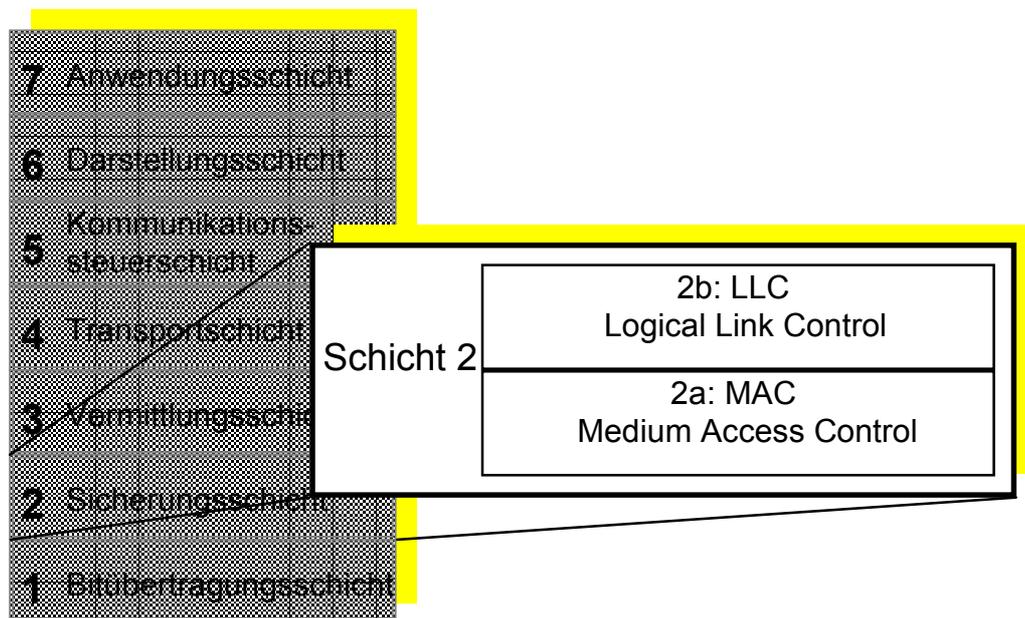
Die Schichten 5-7 spielen bei Packet-Radio eine untergeordnete Rolle. Deshalb wird auf sie im Folgenden nicht weiter eingegangen.

## Schicht 1

Die physikalische Signalübertragung, wie Modulation/Demodulation, die Bitcodierung und Taktung übernimmt die Schicht 1 (Physikalische Schicht). Bandbreite, Baudrate und Bitfehlerwahrscheinlichkeit sind Größen, die dieser Schicht zugeordnet sind.

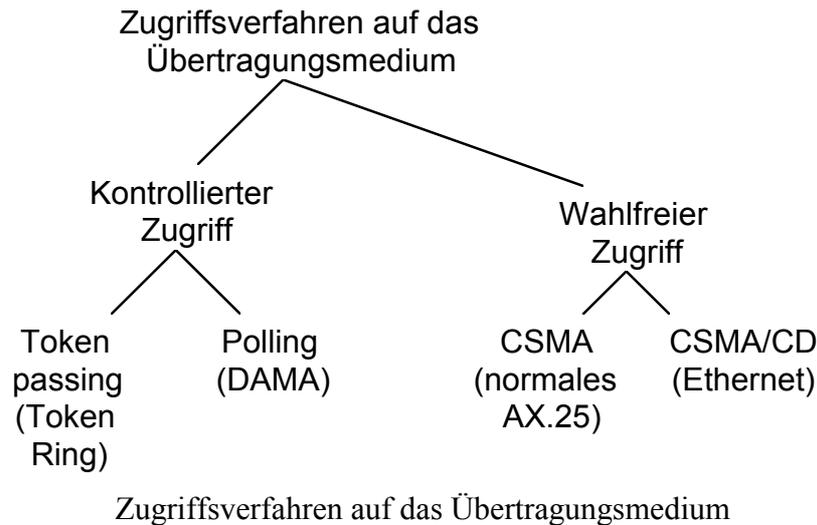
## Schicht 2

Die Sicherungsschicht wird wegen ihrer Komplexität in zwei weitere Schichten 2a und 2b unterteilt. Schicht 2a (MAC = Medium Access Control) regelt den Zugriff auf das Übertragungsmedium, Schicht 2b (LLC = Logical Link Control) befasst sich mit der gesicherten Übertragung.



Die Schicht 2 besteht aus den Teilen 2a: MAC und 2b: LLC

Falls ein Übertragungsmedium von mehreren Stationen gleichzeitig genutzt wird, muß die Zugriffssteuerung (Medium Access Control, MAC) zu diesem Übertragungsmedium (z.B. einem Frequenzkanal, eine Busleitung oder ein Ring) geregelt werden. Bei Packet Radio werden die Verfahren CSMA (Carrier Sense Multiple Access) und DAMA (Demand Assignment Multiple Access) verwendet. Parameter, die den CSMA-Zugriff auf das Übertragungsmedium beeinflussen zum Beispiel der Persistenzwert („Persistence“) oder das Zeitraster („Slottime“).

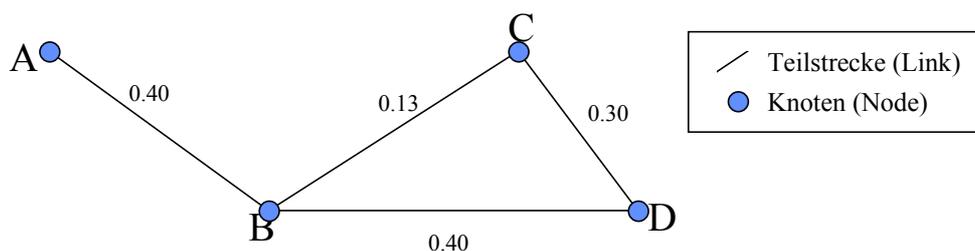


| Abkürzung | Fachbegriff                       | Erläuterung   |
|-----------|-----------------------------------|---|
| CSMA      | Carrier Sense Multiple Access     | Abhören des Mediums vor dem Start der Aussendung  |
| CSMA/CD   | Carrier Sense Multiple Access     | Abhören und zusätzliche Erkennung von Kollisionen durch gleichzeitiges Senden   |
| DAMA      | Demand Assignment Multiple Access | Bedarfsgesteuerte Vergabe der Sendeberechtigung durch eine Zentrale Stelle  |
| TR        | Token Ring                        | Vergabe der Sendeberechtigung durch einen „Token“, der von Station zu Station weitergereicht wird. Nur der Inhaber des Tokens ist sendeberechtigt |

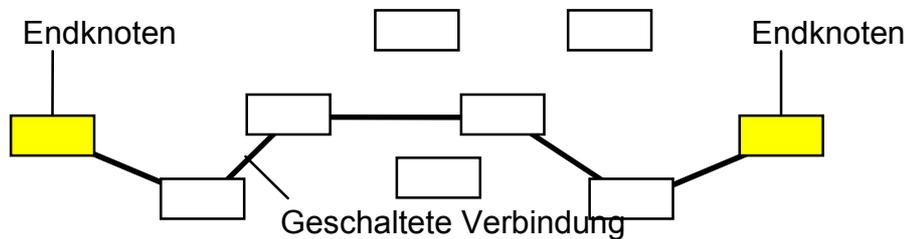
Schicht 2b, befaßt sich mit der gesicherten Übertragung von Information. Gesicherte Übertragung bedeutet, daß Übertragungsfehler erkannt (z.B. durch Prüfpolynome) und beseitigt werden können. Dies geschieht entweder durch wiederholtes Aussenden (ARC Automatic Repetition Correction), oder durch Zufügen redundanter Vorwärtskorrekturinformation (FEC Forward Error Correction). Sendet die Datenquelle viel schneller, als sie der Empfänger verarbeiten kann, muß es dem Empfänger möglich sein, den Sender anzuhalten um nicht von Daten überflutet zu werden. Dieses Bremsen des Datenflusses wird als Flußkontrolle (Flow-Control) bezeichnet und wird ebenfalls in der Schicht 2 durchgeführt.

### Schicht 3

Mit der Schicht 2 steht ein Instrument zur Verfügung mit dem Informationen zwischen zwei Punkten mit Hilfe eines Übertragungsmediums (z.B. dem Funkübertragungskanal) gesichert Daten übertragen werden können. Falls eine Verbindung über mehrere Punkt-zu-Punkt-Verbindungen der Schicht 2 (Teilstrecken) aufgebaut werden soll, benötigt man Dienste der Schicht 3, die auch Vermittlungsschicht genannt wird.

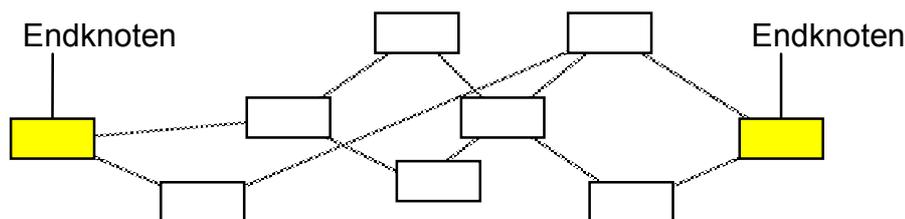


Die Aufgabe Vermittlungsschicht ist es, Informationen über mehrere Teilstrecken von Verbindungsknoten zu Verbindungsknoten weiterzuleiten. Generell gibt es dazu zwei Ansätze: Die verbindungsorientierte und die verbindungslose Vermittlung. Bei der verbindungsorientierten Vermittlung wird zu Beginn der Kommunikation eine Verbindung zwischen den zwei Kommunikationspartnern aufgebaut (wie beim Telefonnetz). Diese bleibt für die Dauer der Verbindung bestehen.



Bei verbindungsorientierter Vermittlung wird eine feste Verbindung geschaltet

Bei der verbindungslosen Vermittlung wird keine feste Verbindung geschaltet, sondern es wird bei jedem ankommenden Paket neu entschieden, in welche Richtung das Paket weitergeschickt werden soll. Die Wegwahlentscheidung wird für jedes eintreffende Paket neu getroffen (wie bei einem Post-Paket). Ein Vorteil der verbindungslosen Vermittlung ist, daß einzelne Knoten im Netz einfach abgeschaltet werden können, ohne daß die Kommunikation zwischen den Endknoten zusammenbricht.



Bei verbindungsloser Vermittlung existiert die Verbindung nur virtuell

Bei der verbindungslosen Vermittlung können sich grundsätzlich auch einzelne Pakete überholen, so daß im Endknoten die korrekte Reihenfolge der Pakete wiederhergestellt werden muß. Dies ist nur mit zusätzlicher Information möglich, d.h. es wird ein Protokoll der Schicht 4 benötigt.

Beispiele für verbindungslose und verbindungsorientierte Vermittlung sind:

| Verbindungsorientierte Vermittlung   | Verbindungslose Vermittlung |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| X.25, FlexNet Hop-to-Hop-Digipeating | TCP, Net/ROM L4             |

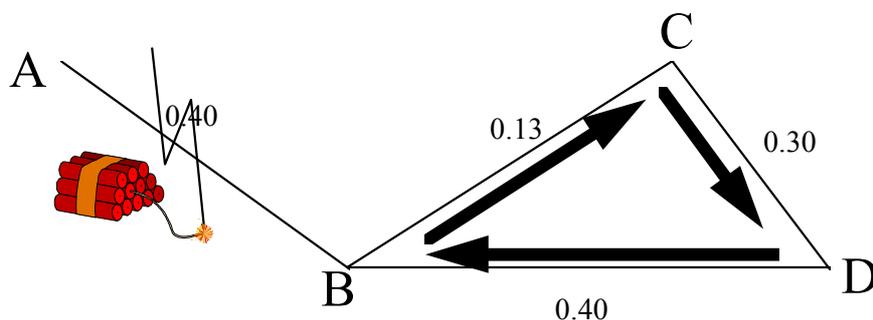
Wenn es mehrere mögliche Wege zwischen zwei Stationen gibt, ist es die Aufgabe der Vermittlungsschicht einen dieser Wege auszuwählen. Bei Packet-Radio wird versucht den schnellsten Weg zwischen den zwei Stationen zu finden. Da die Netzlaufzeiten natürlichen Schwankungen (durch Lastsituationen und sich ändernde Funkverbindungsqualitäten) unterworfen sind, ist es notwendig sie immer wieder neu zu berechnen, was dann wiederum andere Wegwahlentscheidungen bewirken kann.

## Schicht 4

Die Transportschicht bietet die Möglichkeit eine gesicherte Verbindung zwischen zwei beliebigen Endknoten im Netz aufzubauen. Der Transportschicht-Nutzer braucht sich weder um Routing noch um Fehlersicherung kümmern. Bekannte Transportschichtprotokolle sind Net/ROM und TCP. FlexNet bietet ebenfalls Dienste der Schicht 4 an, verwirklicht diese aber mit Hilfe einer Schicht 2 - Verbindung (Stichwort: Hop-to-Hop-Digipeating). Diese Vorgehensweise ist nicht OSI-konform.

## Routingverfahren

Das Thema Routing ist im Packet-Radio-Netz deshalb so interessant, weil das Funknetz immer Schwankungen unterworfen ist. Linkstrecken laufen mal gut mal schlecht, oder sie fallen ganz aus. Knoten werden ein- und ausgeschaltet, neue Knoten kommen hinzu. Weil niemand die Zeit und die Energie aufbringt permanent das Netz neu zu konfigurieren, muß bei Packet-Radio das Routing automatisch erfolgen. Dies ist eine sehr schwierige Aufgabe, denn das Einzige auf das sich ein Routingverfahren bei den bestehenden Amateurfunk-Packet-Radio-Netzen verlassen darf, ist die Eindeutigkeit der Knotenadressen d.h. der Rufzeichen (z.B. DB0SIG). Alles andere muß das Verfahren selbständig ermitteln! Ein Knoten im Packet-Radio Netz kennt nur seine Nachbarn und erhält von diesen weitere Informationen über das Netz. Indem jeder Knoten seine Informationen an die Nachbarn weiterreicht, sind bald alle erreichbaren Knoten im Netz bekannt - und das Problem beginnt! Das Routingverfahren muß sicherstellen, daß nicht erreichbare Knoten auch wieder aus dem Netz entfernt werden. Die Problemstellung (Nachhall-Effekt) ist vereinfacht im folgenden Diagramm dargestellt:



Ein Problem das theoretisch nicht vorkommt: Der Nachhall-Effekt

Dieser Effekt kommt zustande, weil alle Informationen im Netz unterschiedliche Laufzeiten aufweisen und keine Station zu einem Zeitpunkt den kompletten Überblick über den Netzzustand hat. In der Praxis macht sich der oben beschriebene Nachhall-Effekt folgendermaßen bemerkbar: Ein Knoten fällt aus. Er ist nicht mehr erreichbar. Unter Umständen erscheint jedoch der Knoten als Phantomziel mit einer schlechten Laufzeit wieder. Die Laufzeit verschlechtert sich nach und nach bis der Knoten endgültig verschwindet. Das Phantomziel kommt durch eine veraltete Information über eine alternative Route zustande. Irgendwann stellt das Verfahren fest, daß auch diese Alternative nicht zum Ziel führt. Erst dann verschwindet der Knoten endgültig.

In der eindachen Netztopologie im obigen Diagramm kommt der Effekt wie folgt zustande: Die Strecke von A nach B fällt aus. B kennt zunächst keinen Weg zu A mehr. Bis sich D meldet, welcher einen Weg über C kennt. B nimmt diese Information an und teilt C mit er kenne jetzt wieder einen Weg zu A. Die Information kreist. Die Laufzeit zum Knoten A nimmt beständig zu, und wenn sie eine Obergrenze überschreitet, verschwindet A aus dem Teilnetz. Wenn die Routinginformationen gleichmäßig (getaktet) verteilt werden, kommt der Nachhall-Effekt nicht zustande. Deshalb tritt der Nachhall-Effekt in einfachen theoretischen Netzwerksimulationen nicht auf!

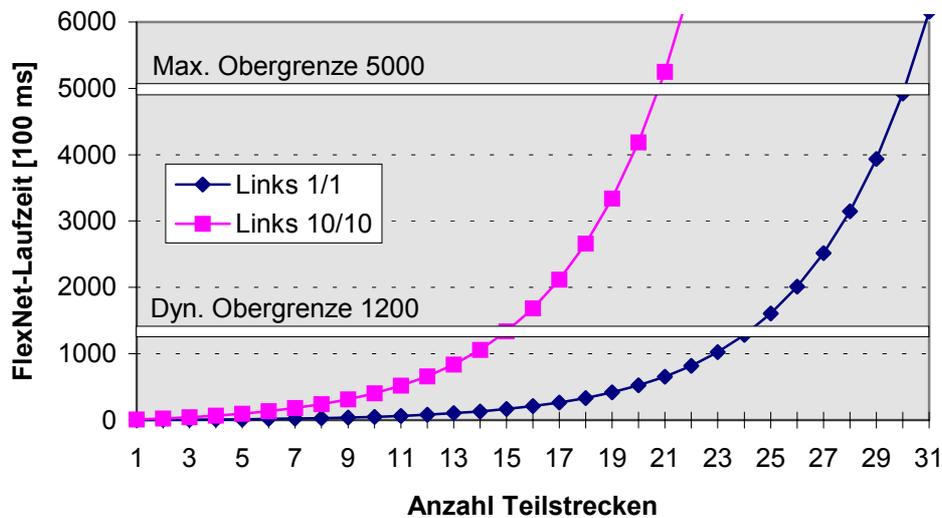
## Multiprotokoll-Routing

Multiprotokoll-Routing bedeutet, daß Datenpakete unterschiedlicher Protokolle quasi gleichzeitig über eine physikalische Verbindung übertragen werden. Bei professionellen Systeme ist Multiprotokoll-eine Selbstverständlichkeit. In der Regel werden die Protokolle TCP/IP, IPX/SPX, SNA, AppleTalk, und NetBEUI von allen kommerziellen Produkten beherrscht. Solange sich nicht ein Protokoll komplett durchsetzt, muß Multiprotokoll-Routing eingesetzt werden. Dies gilt genauso für den Amateurfunk. Es naheliegend die Software so leistungsfähig zu gestalten, daß auch hier mehrere Protokolle gleichzeitig abgehandelt werden können.

# Spezielle Implementierungen

## FlexNet

FlexNet bewertet die unterschiedlichen Wege zu einem Ziel mit theoretischen Laufzeiten (von 0 bis 500s). Die Laufzeit ergibt sich, indem man die erhaltenen Laufzeiten der Teilstrecken aufsummiert und pro Addition einen Aufschlag von 25% macht. Gewählt wird der Weg mit der kürzesten Gesamtlaufzeit. In der Praxis bewirkt dieses Verfahren, daß die Routinginformationen zu einem FlexNet-Knoten (in der FlexNet-Terminologie „Destination“) nur über eine begrenzte Anzahl von FlexNet-Knoten weitergereicht werden. Im folgenden Schaubild sind zwei Kennlinien abgebildet: Einmal wird die Routing-Information zu einem FlexNet-Knoten über mehrere Linkstrecken mit Laufzeit 10/10 (= 1000 ms) übermittelt. Im anderen Fall über Linkstrecken mit Laufzeit 1/1 (= 100 ms).

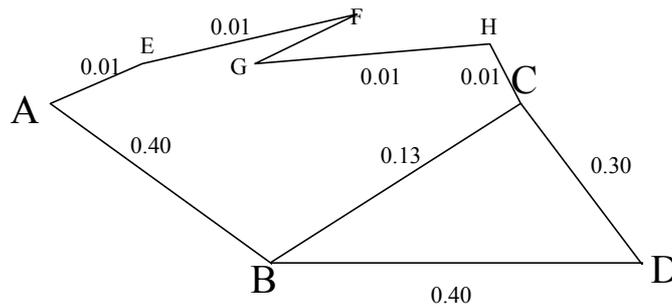


FlexNet-Laufzeiten haben einen exponentiellen Verlauf

Mit einer Laufzeit-Obergrenze von  $5000 * 100$  ms breitet sich die Routing-Information zu einem FlexNet-Knoten über 22 bis 30 Zwischenknoten aus. Da die meisten FlexNet-Implementierungen nur bis zu 600 FlexNet-Knoten in der Routingtabelle speichern können, wird die maximale Laufzeit dynamisch verringert. Bei etwas besseren FlexNet-Netzen sind maximale Laufzeiten von  $1200 * 100$  ms üblich. Die Reichweite verringert sich damit in der obigen Beispielrechnung auf 16 bzw. 24 Teilstrecken.

Durch diese Berechnung können in FlexNet-Netzen sehr schnell nicht mehr erreichbare Ziele aus den Routing-Tabellen entfernt werden. Alternative Routen mit mehr als 30 Zwischenknoten können bei FlexNet nicht existieren.

Das FlexNet-Verfahren hat sich in der Praxis sehr gut bewährt. Die exponentielle Berechnung der Laufzeit führt jedoch dazu, daß kuriose Effekte auftreten. Beispielsweise werden schnelle Strecken mit vielen Hops von FlexNet kaum genutzt:



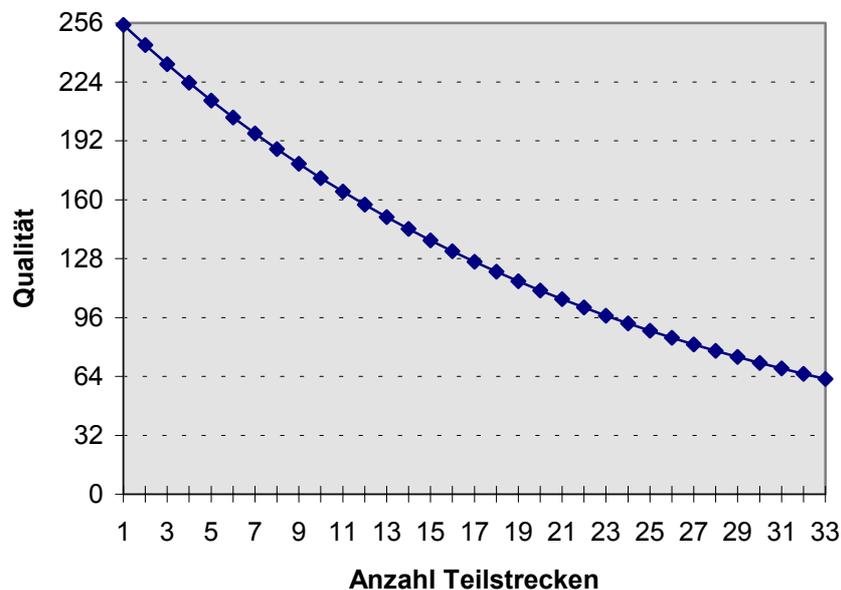
FlexNet Laufzeiten mit vielen Hops sind nicht vergleichbar

So ist im obigen Schaubild die Strecke DCHGFEA extrem schnell (echte Laufzeit 0,35 s). Der Weg von D nach A müsste bevorzugt über diese schnellen Teilstrecken verlaufen. Die FlexNet dieser Strecke ist jedoch 1,00 s. Deshalb routet FlexNet über DBA, mit einer FlexNet-Laufzeit von 0,90 s. Dies ist die Folge des 25%-Aufschlags für jede Teilstrecke.

### Net/ROM L3

Das Net/ROM-Protokoll ist eines der ältesten Routing-Protokolle für Packet-Radio-Netze. Es basiert auf der Grundidee, daß jede Station ihre Routing-Tabelle per Broadcast zyklisch aussendet.

Eine Zahl zwischen 0 und 255 bewertet die Erreichbarkeit der Knoten (0 = nicht erreichbar, 255 optimal erreichbar). Diese Zahl wird als Qualität (Quality) der Verbindung bezeichnet. Sie verringert sich mit der Zahl der Teilstrecken zwischen Sender und Empfänger (logarithmisch), dargestellt in folgendem Diagramm:



Net/ROM-Qualitäten fallen logarithmisch ab

Das Net/ROM-Broadcast-Protokoll sorgt für die schnelle Verbreitung der Routing-Informationen. In einem komplett statischen Netz ohne Veränderungen funktioniert Net/ROM problemlos. Auf dynamische Änderungen, wie der Ausfall von Netzknoten oder Teilstrecken, reagiert das Verfahren unzureichend: Der logarithmische Abfall der Qualitäten führt dazu, daß z.B. ausgefallene Knoten noch sehr lange (unter Umständen sogar mehrere Tage) im Netz als Phantomknoten umhergeistern (Nachhall-Effekt). Zusätzlich gehen Informationen durch die ungesicherte Übertragung der Broadcasts verloren, so daß sich Inkonsistenzen in den Routingtabellen der einzelnen Knoten bilden. Aus diesen Gründen wird Net/ROM in der ursprünglichen Form kaum noch eingesetzt.

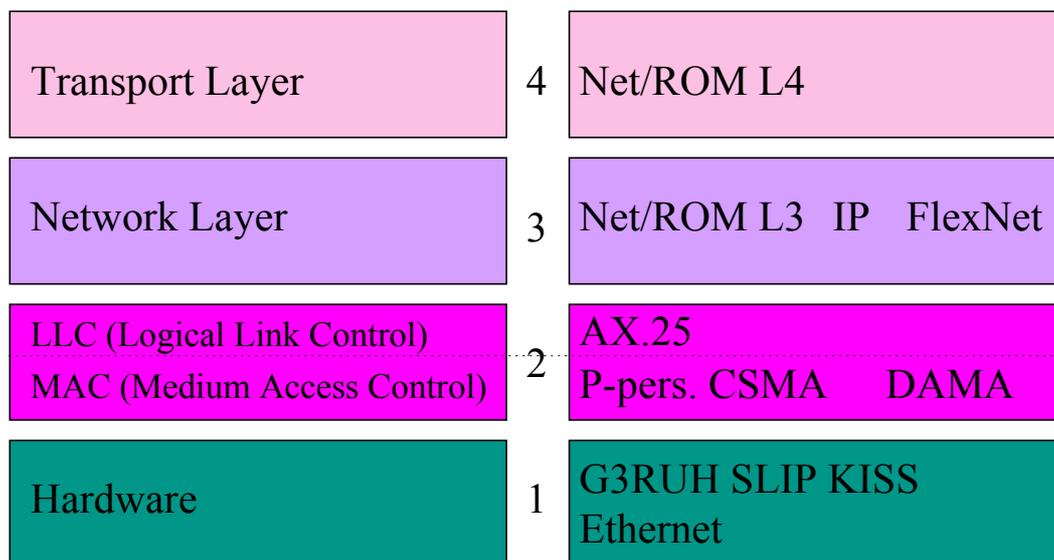
## INP3

Das Routing-Protokoll INP3 wurde von den Nord-<Link- und (X)NET- Entwicklern DB7KG und DL1GJI definiert und in den jeweiligen Softwareversionen implementiert. INP3 faßt die jahrelangen Erfahrungen mit Net/ROM und FlexNet zu einem neuen, verbesserten Protokoll zusammen. Im Gegensatz zu FlexNet und Net/ROM arbeitet INP3 mit echten Laufzeiten. Das Verfahren kann wirklich den schnellsten Weg aussuchen, ohne daß die Entscheidung durch die Anzahl der Teilstrecken beeinflusst wird. Zusätzlich wird bei jeder Weitergabe einer Routinginformation ein „hop counter“ erniedrigt. Erreicht dieser 0 wird die Knoteninformation weggeworfen. Dadurch können sich Routinginformationen nur bis zum Hop-Horizont ausbreiten - der Nachhall-Effekt wird damit definiert eingeschränkt. Eine weitere wichtige Ergänzung stellen die „Node-Options“ im INP3-Protokoll dar: hier können zusätzlich zur Knotenadresse (Rufzeichen) noch weitere Informationen zum Knoten weitergegeben werden. Insbesondere kann die IP-Nummer und das zugeordnete IP-Subnetz des Knotens weiterverbreitet werden, womit IP-Autorouting möglich wird.

## Die Knotensoftware (X)NET

### (X)NET und das OSI-Referenzmodell

Das OSI-Sieben-Schichtenmodell beschreibt die Aufgaben der verschiedenen Netzwerkschichten. Jede Schicht für sich bietet definierte Schnittstellen zur übergeordneten Schicht. Die jeweils untergeordnete Schicht wird dabei als „Black Box“ betrachtet. Durch die klaren Schnittstellen ist die Grundlage geschaffen auch mehrere Implementierungen einer Schicht parallel zu betreiben und - wie es bei (X)NET der Fall ist - beispielsweise mehrere Schicht 3 Protokolle gleichzeitig zu betreiben. So laufen in der (X)NET Vermittlungsschicht (Schicht 3) drei Protokolle gleichzeitig: IP-Routing, Net/ROM-Routing und FlexNet-Routing.



(X)NET ist konform zum OSI-Referenzmodell

Dabei bedienen sich alle Schicht-3-Protokolle einer einzigen Schicht 2: AX.25 und ermöglichen damit Multiprotokoll-Routing über AX.25.

### Zero-Copy-Systeme: Wer kopiert verliert (Zeit)

Ältere Packet-Radio und auch TCP/IP- Implementierungen verwenden unzureichende Pufferkonzepte (mbufs) und kopieren Daten häufig mehrmals hin und her, zum Beispiel von Empfangspuffern zu User-Puffern und dann wieder in Sendepuffer. Die Daten durchlaufen somit mehrmals die CPU. Stand der Technik sind heute Single-copy-Implementierungen, wobei die Daten auf dem Weg von der Anwendung zum Netz nur einmal die CPU durchlaufen. (X)NET kommt in der Regel sogar ohne

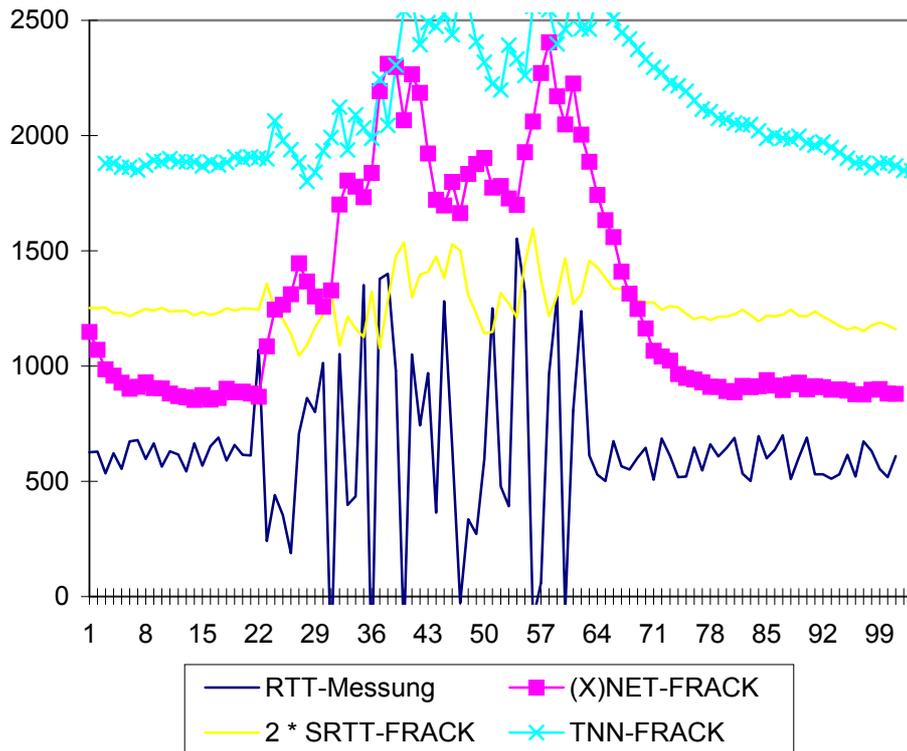
Kopieren von Daten durch die CPU aus. Bei (X)NET handelt es sich also um eine „Zero-copy-Implementierung“: Daten werden beim Empfang an einer Stelle im Speicher abgelegt und nicht mehr bewegt. Wenn die Daten auf einer anderen Teilstrecke weitervermittelt werden, sendet (X)NET wieder ab dieser Speicherstelle. Beim den (X)NET-Implementierungen für den Motorola Prozessor MC68302 wird diese Aufgabe sogar noch selbständig vom RISC-Coprozessor im Hintergrund erledigt. Die 68000 CPU hat nur noch die Aufgabe die Protokolle abzuwickeln und delegiert die Ein- und Ausgabeoperationen an den RISC-Coprozessor, welcher die Daten per DMA transferiert. Um dieses Optimum an Durchsatz zu erreichen, implementiert (X)NET eine hochperformante Verwaltung von Netzwerkpuffern, die auch auf nicht MC68302-Systemen für optimalen Durchsatz garantiert. Denn das das Kopieren von Puffern ist immer auf ein notwendiges Minimum begrenzt.

## **Zeitgeber („Timer“)**

Neben der Netzwerkpufferverwaltung ist die effiziente Verwaltung von Zeitgebern ein wichtiges Thema bei der Realisierung von Netzwerksoftware. Bei AX.25 gibt es drei „Timer“ pro Verbindung (T1 = „Acknowledgment Timer“, T2 = „Response Delay Timer“, T3 = „Inactive Link Timer“). Bei Net/ROM Layer 4 werden pro Transportschichtverbindung vier „Timer“ benötigt (T1 = „Transmission Timeout“, T2 = „Response Delay Timer“, T3 = „Busy Delay Timer“, T4 = „Inactivity Timer“). Ein größerer Knoten mit 400 Verbindungen gleichzeitig muß somit zwischen 1200 und 1600 Zeitgeber überwachen. Um den Knotendurchsatz bei einer wachsenden Zahl von Verbindungen konstant hoch zu halten, werden effiziente Timer-Verwaltungen benötigt [TANE89]. Bei älterer Packet-Radio-Software ging man von einer geringen Zahl gleichzeitiger Verbindungen aus. Heute werden diese Systeme wegen ihrer unzureichenden Timerverwaltung mit einer zunehmenden Zahl von Verbindungen merklich langsamer - ohne daß die angeschloßenen Teilstrecken schon ausgelastet wären.

## **AX.25 L2: Adaptive Timer**

Der Amateurfunker Phil Karn, KA9Q, war der Erfinder der sogenannten RTT-Messung (RTT = Round Trip Time), die dazu verwendet werden kann um Timeout-Werte beim TCP-Protokoll dynamisch entsprechend der Lastsituation einstellen zu können. Die Timeout-Berechnung auf Basis von RTT-Werten ist heute auch in den meisten AX.25-Implementierungen Stand der Technik: Ein geglätteter RTT-Wert (SRTT = Smothed Round Trip Time) wird über eine Mittelwertberechnung oder über exponentielle Glättung ermittelt, mit einem Faktor zwei bis drei multipliziert und ergibt so den Timeout-Wert (T1 bei AX.25).



Mit der Verbreitung des Internet wurden die Protokolle näher untersucht und weiter verfeinert. Eine interessante Verbesserung fand bei der Berechnung von Timeout-Werten statt: So wird in den neuen TCP/IP-Implementierungen ein Verfahren verwendet, welches nicht nur den Mittelwert, sondern auch die Standardabweichung berücksichtigt. Schwankt der RTT-Wert (höhere Standardabweichung), wird dies als ein Zeichen höherer Netzbelastung gewertet und die Timeout-Werte werden nach oben korrigiert [COMER91]. Bei der obigen Simulation kann man sehr anschaulich erkennen, wie (X)NET, welches dieses neue Verfahren verwendet, auf die Zunahme der RTT-Schwankungen durch eine Erhöhung der Timeout-Werte adaptiv reagiert: Bei geringer Schwankung nähert sich das Verfahren optimal dem RTT-Wert. Bei stärkeren Schwankungen erhöht sich der Timeout-Wert und er reduziert sich sobald die Schwankungen wieder abklingen. (X)NET verwendet diese intelligente Form der Timeout-Berechnung sowohl für AX.25 als auch für die Net/ROM Layer 4 Timer.