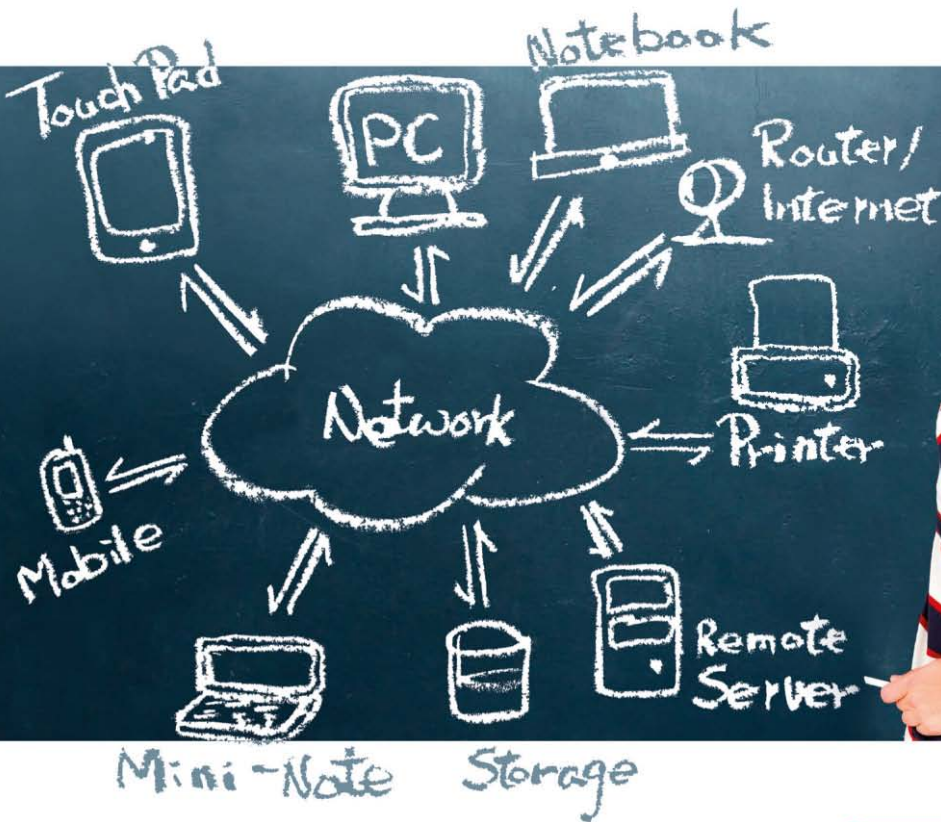


Computernetzwerke

Der leichte Einstieg in Grundlagen und Praxis



Mit Konfigurationsteil

Computernetzwerke

Klaus Dembowski

Computernetzwerke

Der leichte Einstieg in
Grundlagen und Praxis



ADDISON-WESLEY

An imprint of Pearson

München • Boston • San Francisco • Harlow, England
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City
Madrid • Amsterdam

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Die Informationen in diesem Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Herausgeber dankbar.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Die gewerbliche Nutzung der in diesem Produkt gezeigten Modelle und Arbeiten ist nicht zulässig.

Fast alle Hardware- und Softwarebezeichnungen und weitere Stichworte und sonstige Angaben, die in diesem Buch verwendet werden, sind als eingetragene Marken geschützt. Da es nicht möglich ist, in allen Fällen zeitnah zu ermitteln, ob ein Markenschutz besteht, wird das ® Symbol in diesem Buch nicht verwendet.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

14 13 12

ISBN 978-3-8273-3092-5

© 2012 by Addison-Wesley Verlag,
ein Imprint der Pearson Deutschland GmbH,
Martin-Kollar-Straße 10–12, D-81829 München/Germany
Alle Rechte vorbehalten
Lektorat: Brigitte Bauer-Schiewek, bbauer@pearson.de
Korrektorat: Sandra Gottmann
Herstellung: Martha Kürzl-Harrison, mkuerzl@pearson.de
Coverkonzeption und -gestaltung: Marco Lindenbeck, [webwo GmbH \(mlindenbeck@webwo.de\)](mailto:webwo GmbH (mlindenbeck@webwo.de))
Satz: Reemers Publishing Services GmbH, Krefeld (www.reemers.de)
Druck und Verarbeitung: GraphyCems, Villatuerta

Printed in Spain

Kapitel 3

Medien verlegen und überprüfen

In diesem Kapitel geht es in erster Linie um grundlegende Dinge für die Netzwerkverkabelung und wie man im Fehlerfall die Anschlüsse und Verbindungen überprüfen kann. Die drei wichtigsten Kabeltypen für LANs sind zunächst die folgenden:

- Koaxial-Kabel
- Twisted Pair-Kabel
- Lichtwellenleiter

3.1 Koaxialkabel

Das Koaxialkabel ist nicht nur in der LAN-, sondern auch in der Hochfrequenz- (HF) und Antennentechnik ein häufig verwendetes Medium. Dabei werden im Wesentlichen drei Typen unterschieden:

- 50-Ohm-Koaxialkabel nach dem IEEE 802.3-Standard (CSMA/CD) für 10Base2- (RG58) und 10 Base5-Verbindungen.
- 75-Ohm-Koaxialkabel nach dem IEEE 802.7-Standard für Breitbandnetze.
- 93-Ohm-Koaxialkabel (RG 62) für IBM-Terminal-Verbindungen.

Für LANs ist im Grunde genommen lediglich das Koaxialkabel mit einer Impedanz von 50 Ohm (+/- 2 Ohm) von Bedeutung, das es in einer unterschiedlichen Ausführung für 10Base5 und für 10Base2 gibt. Das ursprüngliche LAN-Koaxialkabel laut 10Base5 hat eine ungefähre Dicke von 10 mm und wird in gelber Farbe geliefert, woher auch seine übliche Bezeichnung (Yellow Cable) stammt.

Mit einer Signalfrequenz von 10 MHz über eine Länge von 500 m betrieben, darf es eine Dämpfung von maximal 8,5 dB aufweisen. Das Gleiche gilt für das dünnere Koaxialkabel (RG58, ca. 5 mm Dicke), allerdings sind dann als maximale Länge nur noch 185 m zulässig. Hieraus resultiert also letztendlich die maximale Länge eines Ethernet-Segments. Koaxialkabel für Netzwerkverbindungen gibt es im Computer- und Elektronikfachhandel – je nach Länge – ab ca. 2,50 €. Wo die Längen der fertig konfektionierten Koaxialkabel bei einer Installation ausreichen, sollte nicht versucht werden, die Verbindungsleitungen selbst herzustellen, also Kabel und Stecker einzeln zu erwerben und die Stecker selbst anzulöten oder auch aufzuquetschen (crimpen). Das erscheint zunächst zwar preiswerter, ist jedoch oftmals für Netzwerkfehler verantwortlich.



Abbildung 3.1: Oben ein fertig gekauftes Koaxialkabel mit aufgequetschter Verbindung und unten ein selbst angefertigtes, das nach mehrmaligem Stecken aufgrund einer mangelhaften Konfektionierung aus dem Stecker rutscht und keine elektrische Verbindung mehr herstellen kann.

Das bei 10Base2, der üblichen Installationsart (Cheapernet), zu verwendende Koaxialkabel wird einfach von PC zu PC geführt, mittels T-Stücken zu einem Bus verbunden und an den beiden Enden jeweils mit einem Terminierungswiderstand ($50\ \Omega$) abgeschlossen. Das Koaxialkabel ist dabei vom Typ RG58 und besteht aus einem Innenleiter, der das Datensignal führt, und dem Außenleiter, einer Abschirmung, die sich auf Massepotenzial befindet. Aufgrund der Tatsache, dass die Abschirmung als Geflecht das Datensignal nach außen hin schützt (abschirmt), ist die Störanfälligkeit dieser Verbindung relativ gering.

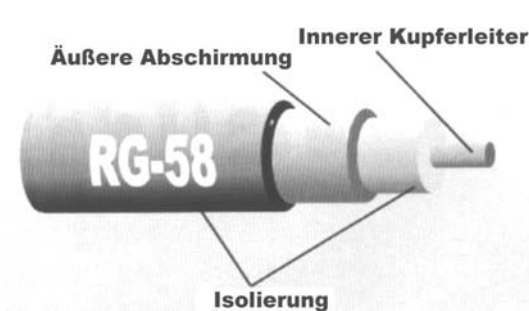


Abbildung 3.2: Der Aufbau des Koaxialkabels

Der Nachteil von 10Base2 und auch 10Base5 per AUI-Anschluss mit externem Transceiver ist zweifellos, dass es bei einer Verkabelung mit Koaxialkabel keine Möglichkeit gibt, hiermit im Bedarfsfall eine Steigerung der Datenübertragungsrate auf 100 MBit/s (Fast Ethernet) oder höher vornehmen zu können, denn dies ist nur mithilfe von Twisted Pair-Kabeln möglich. Aus diesem Grunde werden Koaxialkabel für Computernetzwerke selten neu verlegt, zumal es auch keine passenden Komponenten wie Netzwerkkarten oder passende Hubs mehr zu kaufen gibt.

Exkurs

Mit dem dünnen Koaxialkabel (Cheapernet) darf die maximale Netzwerksegmentlänge 185 m nicht überschreiten. Es sind maximal 30 Stationen möglich, zwischen denen ein Mindestabstand von 0,5 m Kabel notwendig ist, und es sind nicht mehr als vier Repeater zulässig.

3.1.1 Überprüfen von Koax-Verbindungen

Wenn sich ein PC in einem Netzwerk nicht ansprechen lassen will, sollte nach der Kontrolle der Einstellungen die Aufmerksamkeit auf die korrekte Verkabelung gerichtet werden. Die Überprüfung eines Netzwerk(-segment)s mit Koaxialkabel (Cheapernet) lässt sich relativ einfach mit einem üblichen Multimeter im Widerstandsmessbereich durchführen.

Zuerst zieht man die T-Stücke (mit den Kabeln) bei allen an diesem Segment angeschlossenen PCs ab und an einem Ende auch den einen Widerstand, woraufhin sich von der anderen Seite des Segments her mit dem Messgerät ungefähr 50 Ohm messen lassen sollten, eben der Wert des Abschlusswiderstandes. Ein besonderes Augenmerk ist dabei stets dem Signalkontakt in der Mitte des BNC-Steckers (BNC: Bayonet Neill Concelman) zu widmen, da dieser durch mechanische Beschädigung oder auch nachlässige Konfektionierung häufig zu weit hinten liegt, wodurch kein Kontakt gegeben ist.



Abbildung 3.3: Der Kontaktstift in der Mitte des BNC-Steckers liegt zu weit hinten, was für Kontaktprobleme verantwortlich ist.

Danach wird der Abschlusswiderstand abgezogen, woraufhin der Wert *unendlich* angezeigt werden sollte, da es jetzt keinerlei Verbindung zwischen der Signal- und der Masseleitung geben kann und darf. Wenn dieser einfache Test nicht diese beiden Ergebnisse liefert, stimmt mit der Verkabelung etwas nicht, d.h., es sind nunmehr alle Anschlüsse sowie auch die Kabel auf ihre Unversehrtheit hin zu überprüfen.

Für die weitere Fehlereingrenzung geht man am besten Schritt für Schritt vor, d.h., man wiederholt diese Messung, indem das Segment verkürzt wird. Dazu wird der Abschlusswiderstand auf das T-Stück des benachbarten PC gesteckt, gemessen, abgezogen, wieder gemessen, dann das nächste Teilstück hinzugenommen usw., bis man die schadhafte Stelle ermittelt hat. Bei diesem »Durchgangstest« ist es wichtig, dass die T-Stücke nicht an den PCs angeschlossen sind, weil man sonst in die Netzwerkkarten hinein misst, was keinerlei Aufschluss bietet.

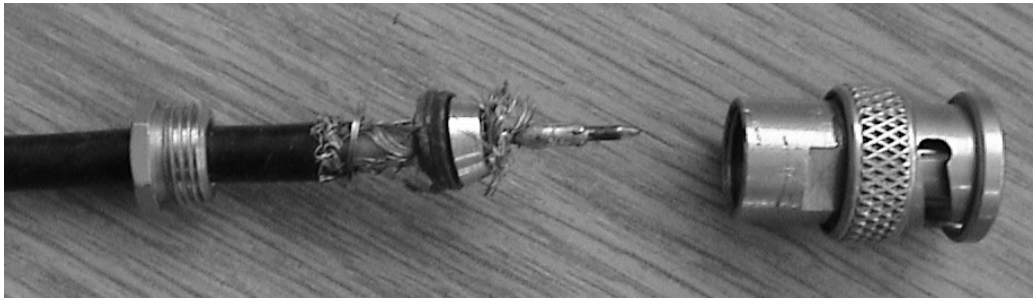


Abbildung 3.4: So sollte es nicht aussehen: Der Stecker ist nachlässig konfektioniert, und es existiert ein Kurzschluss zwischen dem Massegeflecht und dem Signalkontakt.

3.2 Twisted Pair-Kabel

Ursprünglich wurde Twisted Pair-Kabel im Fernmeldebereich verwendet. In den 80er-Jahren wurde es dann zunehmend für die LAN-Verkabelung eingesetzt und den steigenden Anforderungen entsprechend laufend technisch verbessert, was zu immer höheren Übertragungsraten geführt hat.

3.2.1 Spezifikationen

Für die Klassifizierung von *verdrillten Leitungen* (Twisted Pair) sind erstmalig im Jahr 1994 von den amerikanischen Normungsinstituten EIA/TIA insgesamt sieben maßgebliche Kategorien definiert worden, für die teilweise noch einige Unterkategorien existieren.

Kategorie	Bedeutung/Daten
1	Leistung eines konventionellen Telefonkabels mit einer maximalen Datenrate von 1 MBit/s. Wird nicht für Datenübertragungen verwendet.
2	Kabel als Ersatz/Nachfolger des Kategorie-1-Kabels. Datenraten von bis zu 4 MBit/s sind über mittlere Entfernungen möglich. Wird für ISDN eingesetzt.
3	Nicht abgeschirmte Kabel für Datenraten von bis zu 10 MBit/s bei einer Kabellänge von bis zu 100 m. Insbesondere für Telefonanlagen in den USA sowie für 100BaseT4 und Token Ring. Ist für maximal 16 MHz spezifiziert.

Kategorie	Bedeutung/Daten
4	UTP/STP-Kabel (20 MHz) für größere Entfernungen als mit Kategorie-3-Kabel bei einer Datenrate von maximal 20 MBit/s. Dieser Typ ist nur in den USA gebräuchlich.
5	Kabel für einen erweiterten Frequenzbereich (100 MHz). Gilt als Standardkabel und wird beispielsweise für CDDI und Fast-Ethernet verwendet. Cat5e liegt eine genauere Spezifikation (EIA/TIA-568B) zugrunde, und es kommt insbesondere für längere 100BaseT-Strecken in Deutschland sowie für 1000BaseT zum Einsatz.
6	Frequenzbereich bis 250 MHz, wird durch EN 50288 definiert und für ATM-Netze empfohlen. Leitungsfähigere Varianten sind Cat6a bis 625 MHz und Cat6e bis 500 MHz, die 10GBaseT ermöglichen.
7	Frequenzbereich bis 600 MHz. Geringeres Nebensprechen und geringere Dämpfung als Kategorie-6-Kabel mit vier einzelnen, abgeschirmten Aderpaaren plus Gesamtschirm.

Tabelle 3.1: Die verschiedenen Kategorien für Twisted Pair-Kabel

In der Tabelle 3.1 sind die wichtigsten Daten für die TP-Kabel-Standards angegeben, die für Deutschland und Europa nur bedingt als verbindlich – im Sinne von zugesicherten Eigenschaften, die etwa eine Installationsfirma garantieren kann – anerkannt sind.

Stattdessen sind verschiedene Link-Klassen (Tabelle 3.2), etwa in DIN EN 50173 und in ISO/IEC 11801, spezifiziert worden, die nicht nur das Kabel selbst, sondern auch die Verbindung einschließlich der Anschlussdose verbindlich spezifizieren und somit das Gesamtsystem mit genauen Übertragungseigenschaften (Klasse A-G) beschreiben.

Link-Klasse	max. Frequenz	Anwendungen
A	100 kHz	Telefon, ISDN
B	1 MHz	ISDN
C	16 MHz	10BaseT, Token Ring
D	100 MHz	100BaseTX
E	250 MHz	1000BaseT
F	600 MHz	10GBaseT
G	1 GHz	10GBaseT

Tabelle 3.2: Die in Europa gültigen Link-Klassen für TP-Kabel

Die Twisted Pair-Kabel sind für Ethernet standardisiert und können teilweise auch für andere Implementierungen (Token Ring, 100VGAnyLAN) verwendet werden, wobei insbesondere das Twisted Pair-Kabel der Kategorie 5 (Cat 5) universell einsetzbar und demnach sehr verbreitet ist. Hierfür ist ein Western-Stecker gemäß RJ45 als Standard anzu-

sehen. Je nach LAN-Typ werden nur vier (z. B. Fast-Ethernet) oder auch alle acht Adern eines Cat5-Kabels (Gigabit-Ethernet) verwendet, wie es im vorherigen Kapitel bei den Ethernet-Standards näher erläutert ist. Die mit zwei Steckern fertig konfektionierten Netzwerkkabel werden üblicherweise als Patch-Kabel bezeichnet, mit denen man bei üblichen Hausinstallationen meist auskommt und die in bestimmten Standardlängen (0,5 m bis 30 m) angeboten werden.

Die sogenannten *Verlegekabel* sind demgegenüber für längere Strecken vorgesehen. Sie werden durch Wände und Decken und auch in Kabelkanälen verlegt und auf Kabelrollen mit 100 m Länge und mehr angeboten. Für den Anschluss sind entsprechende Dosen (in den einzelnen Räumen) zu setzen, und auf der anderen Seite, zum Switch oder Server hin, erfolgt die Verdrahtung in sogenannten Patch Panels. Demnach sind für diese Verbindungsart ebenfalls keine RJ45-Stecker zu »crimpen«.

Twisted Pair-Kabel gemäß den Kategorien 6 und 7 sind für 10GBaseT-Implementierungen einsetzbar, sodass es sich aus Gründen der Zukunftssicherheit empfiehlt, diese statt Kategorie 5-Kabel neu zu verlegen, auch wenn das Kabel momentan noch nicht ausgenutzt werden sollte. Natürlich sind die leistungsfähigeren Kabel auch teurer. Man kann feststellen, dass sich die Kosten von CAT5- über CAT6- bis hin zu CAT6a/CAT7 jedes Mal ungefähr verdoppeln, was grob gerechnet auch für die dazugehörigen Anschlussdosen gilt.

3.2.2 Steckverbindungen

Als Anschlussstecker kommt für Twisted Pair-Kabel meist ein Western-Stecker zum Einsatz, wobei es unterschiedliche Typen gibt, die sich sowohl in mechanischer als auch in elektrischer Hinsicht – in der Verwendung der einzelnen Adern – voneinander unterscheiden. In der Abbildung 3.5 sind die in Europa wichtigsten Western-Stecker mit ihren gebräuchlichsten Anwendungszwecken zu sehen.

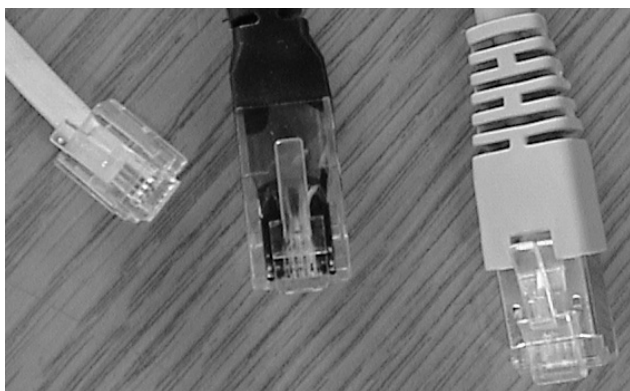


Abbildung 3.5: Drei unterschiedliche Verbindungen mit Western-Steckern und TP-Kabeln. Links ein Kabel für den Modemanschluss mit RJ11-Stecker, in der Mitte ein ISDN-Kabel mit RJ45-Stecker, und das dickste Kabel (rechts) ist ein LAN-Kabel Cat5, ebenfalls mit RJ45-Stecker.

Das Format der Western-Steckverbindung ist zwar international genormt, nicht jedoch die Kontaktbelegung. Falls aus dem Kabelaufdruck oder der Beschreibung nicht hervorgeht, um welchen TP-Kabeltyp und welchen Einsatzzweck es sich handelt, sollte man Vorsicht walten lassen, denn auch falls der Stecker passen sollte, können Signale im Kabel »gebrückt« oder »verdreht« sein, sodass die Steckerbelegung eben nicht 1:1 ist und es zu elektrischen Beschädigungen der damit verbundenen Geräte kommen kann.

Insbesondere sehr kostengünstige Restbestände unbekannter Herkunft aus dem Elektronik-Versandhandel können hier für unangenehme Überraschungen sorgen, auch wenn sie als TP-Netzwerkkabel bezeichnet werden. Insbesondere Kabel mit RJ11-Stecker gibt es in zahlreichen unterschiedlichen Belegungen für viele verschiedene Geräte, was letztendlich geräte- und /oder herstellerabhängig ist.

Außerdem ist es wichtig, dass das Differenzsignal (siehe folgendes Kapitel) stets auf einem Aderpaar liegt, damit sichergestellt werden kann, dass sich äußere Störungen auf das Kabel kompensieren können. Wie die Aderpaarzuordnung tatsächlich realisiert ist, kann aber nicht ohne Weiteres, etwa mit einem Multimeter im Widerstandsmessbereich oder einem einfachen Kabeltester, festgestellt werden. Hiermit ist nur ein Signaldurchgang detektierbar, der aber auch bei einer falschen Aderpaarzuordnung vorliegt.

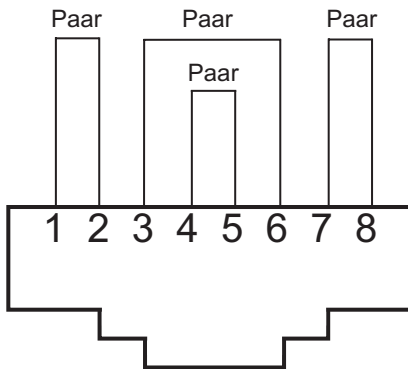


Abbildung 3.6: Die Zuordnung der Leitungspaare am RJ45-Anschluss

Letztendlich wird die Aderpaarzuordnung durch die jeweilige Adapterschaltung wie etwa eine Netzwerkkarte bestimmt, die entsprechend ausgeführte Übertrager einsetzt. Diese Zuordnung darf dann natürlich nicht durch ein falsch verdrahtetes Netzwerkkabel aufgehoben werden, was immer wieder bei selbst angefertigten Twisted Pair-Kabeln passiert.

Exkurs

Die Verbindungen am Western-Stecker werden häufig falsch hergestellt, indem die korrekte Zuordnung der Leitungspaare nicht beachtet wird, was sich insbesondere bei verhältnismäßig hohen Übertragungsraten und Distanzen als Netzwerkfehler äußert.

Bei einem Ethernet-Anschluss müssen zwei Aderpaare verbunden werden, die eben nicht nebeneinander liegen, wie es in der Abbildung 3.6 zu erkennen ist. Eine Verdrehung der Paarzuordnung hat bei Ethernet u. U. fatale Folgen. Es kommt dann zu langsamen Netzwerkverbindungen oder der Datenstrom reißt ab, was mit Fehlermeldungen einhergeht, die keineswegs auf ein fehlerhaftes Kabel hinweisen.

Beim Einstecken eines RJ45-Steckers ist darauf zu achten, dass der Plastikhebel (Retention Clip) des Steckers an der Buchse einrastet, denn nur so ist eine stabile Verbindung möglich. Für das Herausziehen eines Western-Steckers aus einer Buchse ist demnach der Plastikhebel (mit dem Daumen) herunterzudrücken, damit der Stecker wieder freigegeben wird.

Aus Unkenntnis über die Existenz dieser Stecksicherung am Western-Stecker wird immer wieder versucht, den Stecker mit einem hohen Kraftaufwand aus der Buchse zu ziehen, wobei mechanische Beschädigungen wie das Abbrechen des Plastikhebels die Folge sein können. Anschlusskabel mit abgebrochenem Plastikhebel sollten keinesfalls mehr verwendet werden, weil der Stecker durch geringe mechanische Beanspruchung aus der Buchse herausrutscht, wodurch dann gar keine oder nur eine sporadische elektrische Verbindung gegeben ist.

Der RJ45-Stecker (IEC 60603-7) hat für alle üblichen Ethernet-Realisierungen die gleichen mechanischen Abmessungen, was demnach auch für Gigabit-Ethernet gilt. Für Kabel ab der Kategorie 6 und somit bereits für 10GBaseT wird als RJ45-Verbinder eine geschirmte Ausführung (IEC 60603-7-5) empfohlen, bei der die Verdrillung der Aderpaare so weit wie möglich erhalten bleibt. Äußerlich ist dabei jedoch keine Veränderung gegenüber dem bisherigen RJ45-Stecker erkennbar.

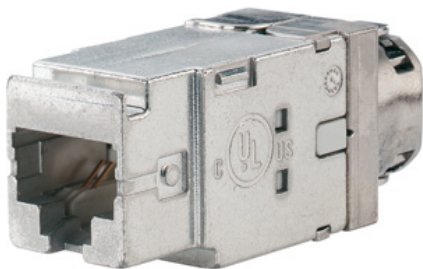


Abbildung 3.7: Die GG45-Buchse ist für Cat7-Kabel spezifiziert.

Für Kabel der Kategorie 7 ist ein neuer Steckverbinder definiert worden: GG45 der Firma Nexan. Er ist rückwärtskompatibel zu Cat6- und Cat5-Verbindungen, und der RJ45-Steckverbinder ist um vier neue Kontakte erweitert worden, die durch einen mechanischen Schaltmechanismus in der Buchse aktiviert werden.

3.2.3 Kabelaufbau und Spezifikationen

Die Einzeladern, wovon maximal acht in einem LAN-TP-Kabel möglich sind, werden jeweils zu einem Paar verdreht (Abbildung 3.8) und sind als isolierte Kupferleiter ausgeführt. Die Impedanz (Wellenwiderstand) beträgt typischerweise 100 Ohm $\pm 15\%$, wobei bei einigen zumeist älteren Kabeltypen (z. B. Cat3) der Wellenwiderstand 120 oder 150 Ohm beträgt.



Abbildung 3.8: In einem Twisted Pair-Kabel sind maximal vier miteinander verdrehte Kabelpaare vorhanden.

Bei Patch-Kabeln sind die Leitungen als Litze mit einem typischen Durchmesser von 0,4–0,5 mm ausgeführt und bei Kabeln für die feste Verlegung als Draht mit einem Durchmesser von jeweils 0,5–0,65 mm.

Die Stärke des Kupferleiters wird oftmals als *American Wire Gauge* (AWG) angegeben; dabei ist die Drahtdicke bei einem höheren AWG geringer. Die typischen TP-Verlegekabel der Kategorien Cat5–Cat7 werden als AWG24 spezifiziert, während AWG22–AWG27 im LAN-Bereich gebräuchlich sind.

Dämpfung und Inhomogenitäten

Die *Dämpfung* (in dB) bewirkt eine Reduzierung der Signalamplitude in Abhängigkeit von der jeweiligen Leitungslänge. Die korrekte Erkennung einer Signalamplitude, die im schlimmsten Fall im Rauschen untergehen kann, wird durch ein vorgegebenes Signal-Rausch-Verhältnis (Signal to Noise Ratio, SNR) spezifiziert. Wie die anderen wichtigen Parameter auch, wird diese Größe in dB (Dezibel) angegeben.

Standard	Kabel	Dämpfung	max. Länge
10Base2	Koax, RG58	8,5 dB	185 m
10Base5	Koax, Yellow Cable	8,5 dB	500 m
10BaseT	TP, Cat3	13,1 dB	100 m
100BaseTX	TP, Cat5	10,7 dB	100 m
1000BaseTX	TP, Cat5	22 dB	100 m

Tabelle 3.3: Eckdaten von Kupferkabeln für Netzwerke

Auf Twisted Pair-Kabeln findet eine differentielle Datenübertragung (symmetrisch) statt, es gibt daher mindestens zwei Sendeleitungen (TXD+, TXD-) und auch zwei Empfangsleitungen (RXD+, RXD-). Die Datensignale werden hier nicht wie bei einer Koaxialleitung auf die Masse bezogen, sondern das Nutzsignal liegt zwischen TXD- und TXD+, was dementsprechend auch für das Empfangssignal auf den RXD-Leitungen gilt. Dadurch werden Störsignale weitgehend unterdrückt, denn ein äußeres Störsignal wirkt sich auf die beiden komplementären Signaladern aus und das hieraus resultierende Differenzsignal wird idealerweise wieder zu Null.

Voraussetzung ist hierfür, dass die Leitungen eines Aderpaares exakt gleich lang und zudem absolut homogen miteinander verdreht sind. Fatal ist es, wenn die Paarzuordnung nicht korrekt ist, wie es im vorherigen Kapitel erörtert ist. Selbst wenn ein TP-Kabel die genannten Bedingungen prinzipiell erfüllt, kann es bei der Verlegung des Kabels und den Anschlüssen (wieder) zu Inhomogenitäten kommen, weil das Kabel zu stark gequetscht wird oder die Anschlussdosen nicht optimal konfektioniert worden sind. Dies kann zur Verschlechterung der elektrischen Eigenschaften führen, was dann insbesondere bei Gigabit-Ethernet gravierende Auswirkungen hat: keine LAN-Verbindung.



Abbildung 3.9: Diese verlegten TP-Kabel sind zu stark geknickt und beschädigt, als dass man mit ihnen noch zuverlässige Verbindungen erhalten könnte.

Bandbreite

Ein häufiges – eher grobes – Unterscheidungsmerkmal bei den verschiedenen Kategorien für TP-Kabel ist die **Bandbreite**. Laut den zugrunde gelegten Kabel-Standards wird nicht direkt auf eine bestimmte Netzwerk-Implementierung Bezug genommen, sondern es stellt sich gewissermaßen erst durch die Art der zu übertragenden Daten heraus, welches Medium geeignet ist und welches nicht. Dabei geht man von einem typischen Datenaufbau, -volumen und Transferverhalten aus und schlägt noch eine Sicherheitsreserve dazu, was dann zu den für diese oder jene Netzwerk-Implementierung empfohlenen Kabeltypen mit entsprechender Bandbreite (Tabelle 3.4) führt.

Übersprechen – Crosstalk

Zu den genaueren Spezifizierungsdaten gehört das **Übersprechen** (Cross Talk), was beim TP-Kabel bedeutet, dass sich die Signale der Adernpaare durch induktive und kapazitive Kopplungen der Leitungen im Kabel gegenseitig stören können.

Das **Near End Crosstalk** (NEXT, Nahnebensprechen) ist ein derartiger unerwünschter Effekt, der die elektrische Beeinflussung von einem Leitungspaar zum anderen beschreibt und von der Frequenz abhängig ist. Je höher der NEXT-Wert, desto besser sind die Leitungspaare gegeneinander abgeschirmt, so dass sich die Signale möglichst nicht gegenseitig stören können. Insbesondere bei Gigabit-Ethernet mit TP-Kabel, wo die gleichzeitige Verwendung aller vier Leitungspaare im Gleichtakt praktiziert wird, kann dieser Effekt, der sich nur durch ausgeklügelte Kodierungen (Trellis) vermeiden lässt, stark zum Tragen kommen.

Exkurs

Mit dem Cat5-Kabel sind für alle Ethernet-Standards bis hin zu 1000BaseT maximale Segmentlängen von 100 m möglich, wobei man von 90 m fest verlegtem Kabel und 10 m Patch-Kabel (von der Anschlussdose zum Gerät) ausgeht.

In der Tabelle 3.4 sind Werte für die zulässige Dämpfung und für den NEXT-Wert bei den verschiedenen Kabelkategorien nach DIN EN 50173 und nach DIN 44312-5 angegeben, die sich jeweils auf das reine Datenkabel beziehen, also nicht die eigentliche Steckverbindung (Stecker/Buchse) beinhalten. Die Kabel der Kategorien 6 und 7 sind in ISO 11801 spezifiziert.

Kategorie	Frequenz	Dämpfung	NEXT
3	4 MHz	5, 6 dB	32 dB
	10 MHz	9,9 dB	26 dB
	16 MHz	13 dB	23 dB
4	10 MHz	7,2 dB	41 dB
	16 MHz	8,9 dB	38 dB
	20 MHz	10,2 dB	36 dB

Kategorie	Frequenz	Dämpfung	NEXT
5	16 MHz	8,2 dB	44 dB
	20 MHz	9,2 dB	42 dB
	100 MHz	22 dB	32 dB
6	20 MHz	8,9 dB	57 dB
	100 MHz	21 dB	48 dB
	200 MHz	23 dB	45 dB
7	100 MHz	19 dB	71 dB
	200 MHz	25 dB	67 dB
	600 MHz	50 dB	60 dB

Tabelle 3.4: Charakteristische Werte bei verschiedenen Kabelkategorien in dB/100 m

Der Parameter für das Nahnebensprechen wird mitunter auch mit NEXT-a umschrieben, wobei das »a« für die Dämpfung steht (Attenuation). Näherungsweise kann man

$$S/N \text{ (dB)} = \text{NEXT (dB)} - a \text{ (dB)}$$

setzen. Das Signal-Rausch-Verhältnis (S/R) entspricht demnach ungefähr dem Wert für das Nahnebensprechen minus der Dämpfung, womit man die wichtigsten Parameter im Zusammenhang hat. NEXT-a wird auch als *Attenuation to Crosstalk Ratio* (ACR) bezeichnet und beschreibt genau genommen eben nicht nur das Kabel allein, sondern die Beschaffenheit einer gesamten Übertragungsstrecke.

Das Fernnebensprechen ist die ungewollte Übertragung von Energie auf benachbarte Adern am Ende des Leitungswegs, was als *Far End Crosstalk* (FEXT) spezifiziert wird. Die Leitungslänge hat hierauf einen maßgeblichen Einfluss, und deshalb wird am Leitungsende gemessen, wie stark ein Sendesignal auf dem Aderpaar 1 die anderen drei beeinflusst. Die relative Größe, die das Verhältnis von NEXT zum (gedämpften) Nutzsignal beschreibt, wird als ELFEXT ausgewiesen.

Für die Beeinflussung zwischen den Aderpaaren einer Strecke ist ein Wert definiert worden, der als *Powersum* der Summe aus NEXT, FEXT und ELFEXT entspricht.

Bei der Datenübertragung über das Netzkabel wird ein kleiner Teil des Nutzsignals als Echo reflektiert, was als *Return Loss* bezeichnet wird. Der Wert in dB gibt somit einen Wert für den Anteil der reflektierten und somit verlorenen Signalenergie an. Reflexionen treten insbesondere an Störstellen (Knick) und an Steckverbindern auf.

Mit 10GBaseT ist noch ein weiteres Kriterium hinzugekommen, und zwar *Alien Crosstalk* (AXTLK), was als Fremdnebensprechen verstanden wird. Hiermit wird der Kopplungseffekt ausgewiesen, der sich zwischen Twisted Pair-Kabeln auswirkt, wenn die Kabel gebündelt werden.

3.2.4 Schirmung

Ein Twisted Pair-Kabel besteht – wie erläutert – aus mehreren, miteinander verdrehten Leitungen. Diese Kabel sind in unabgeschirmter (UTP, Unshielded Twisted Pair) und in abgeschirmter (STP, Shielded Twisted Pair) Ausführung erhältlich. UTP-Kabel werden in Deutschland selten verwendet, obwohl weltweit über 90% aller LANs damit arbeiten.

Stattdessen wird hier vorwiegend ein STP-Kabel verwendet, das unempfindlicher gegen Störungen ist, weil ein Metallmantel in das Kabel eingearbeitet ist. Er wirkt einerseits gegen äußere Störungen als Abschirmung, andererseits begrenzt er aber auch das vom Kabel ausgehende elektrische Feld und somit die Abstrahlung des Kabels.

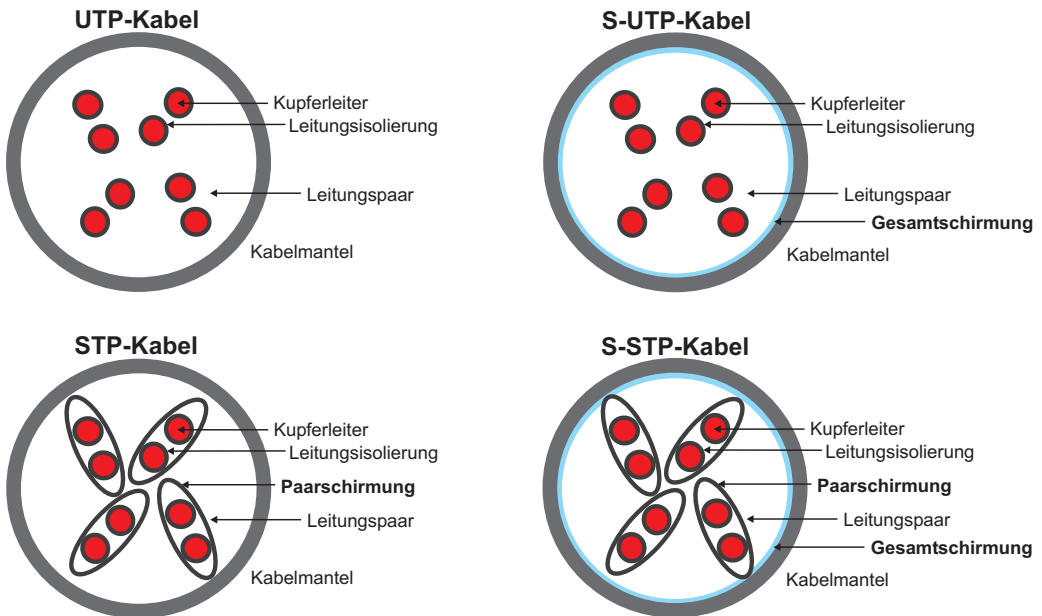


Abbildung 3.10: Der Aufbau der verschiedenen Twisted Pair-Kabel

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal ist die jeweilige Art der Abschirmung. STP-Kabel gibt es mit einer gemeinsamen Abschirmung (S-UTP), die als Mantel (Geflecht, Metallfolie) um alle Leitungen geführt ist, und in einer Auslegung, bei der jedes Aderpaar einzeln (STP) abgeschirmt ist. Außerdem ist noch eine Variante mit der Bezeichnung S-STP erhältlich, bei der die Adern einzeln abgeschirmt sind und zusätzlich eine Gesamtabschirmung um alle Leitungen herum realisiert wird. Dieses gilt als das störungssicherste Netzkabel und wird beispielsweise für 10GBaseT verwendet.

Die Begriffe UTP, STP, S-UTP sowie S-STP sind allerdings nicht genormt, sodass nicht selten auch andere Bezeichnungen für diese vier grundlegenden Kabeltypen verwendet werden. Bei einem FTP-Kabel (Foiled Twisted Pair) handelt es sich beispielsweise um ein STP-Kabel, bei dem die Aderpaare von einer Metallfolie umgeben sind.

Zur deutlichen Unterscheidung wird die Gesamtschirmung üblicherweise mit *Screened* und die Aderschirmung mit *Shielded* ausgewiesen, wie es auch der Tabelle 3.5 zu entnehmen ist.

Typ	Gesamtschirmung	Aderschirmung
U-UTP	Unscreened	Unshielded
S-UTP	Screened	Unshielded
U-STP	Unscreened	Shielded
S-STP	Screened	Shielded
FTP	Unscreened	Shielded

Tabelle 3.5: Varianten des Twisted Pair-Kabels mit unterschiedlicher Abschirmung

Ältere Spezifikationen der verschiedenen TP-Kabeltypen sind nicht selten unklar oder sogar widersprüchlich, und dem wird in der Norm ISO/IEC 11801 E aus dem Jahre 2002 mit einem einheitlichen Bezeichnungsschema in der Form xx/yyz begegnet:

■ xx steht für die Gesamtschirmung:

U = ungeschirmt, F = foliengeschirmt, S = Geflechschirm, SF = Geflecht + Folienschirmung

■ y steht für die Aderpaarschirmung

U = ungeschirmt, F = foliengeschirmt, S = Geflechschirm

■ zz steht für Twisted Pair

3.2.5 Kabelverlegung

Generell sind auch die Masseverhältnisse bei einer LAN-Verbindung von Bedeutung. Beim Koaxialkabel wird daher an einem Ende des Segments mit einer Kette eine Erdung vorgenommen. Eine extra Erdungsmöglichkeit gibt es beim TP-Kabel nicht, doch bei Switches und anderen Netzwerkeinheiten, die an das Stromnetz angeschlossen sind, findet möglicherweise eine Erdung statt, was letztendlich vom Geräteaufbau abhängig ist. Bei einem Metallgehäuse mit internem Netzteil kann man in der Regel davon ausgehen, dass dem so ist; bei Geräten im Plastikgehäuse oder mit externem Steckernetzteil ist dies hingegen nicht der Fall.

Obwohl in den Einheiten Übertrager zum Einsatz kommen, die eine galvanische Trennung zwischen der LAN-Elektronik auf der Netzwerkkarte oder auch im Switch zum LAN-Segment hin vornehmen, können sich ungeordnete Masseverhältnisse ergeben, und zwar durch die Verwendung unterschiedlich aufgebauter TP-Kabel, also etwa die Kombination von STP, S-UTP oder auch S-STP.



Abbildung 3.11: Verschiedene TP-Kabel mit gemeinsamer und einzelner Abschirmung

Problemen, die aus einer derartigen Installation resultieren, auf den Grund zu kommen, ist nicht trivial und bleibt letztendlich dem professionellen LAN-Techniker mit seinen speziellen Messgeräten vorbehalten. Daher kann man nur empfehlen, möglichst einheitliche TP-Kabel zu verwenden. Eine Mischung etwa von S-STP mit S-UTP führt zudem zu einer erhöhten Störanfälligkeit. Dann wäre es besser, wenn ausschließlich S-UTP zum Einsatz käme. Weil nachträgliche Änderungen an einer LAN-Verkabelung oftmals nicht mehr ohne Weiteres möglich sind, sollte auf jeden Fall versucht werden, einzelne Segmente mit einheitlichen TP-Kabeln aufzubauen, was mindestens die Strecke vom PC bis hin zum Switch-Port bedeutet, besser natürlich noch den ersten Switch mit den weiteren Ports einbezieht.

Exkurs

Die Selbstanfertigung von Twisted Pair-Verbindungen mit Crimp-Zange und einzelnen RJ45-Steckern ist keine empfehlenswerte Methode für den Aufbau eines aktuellen LANs. Stattdessen sollten Patch-Kabel von Markenherstellern eingesetzt werden. Feste Gebäudeinstallationen überlässt man dem Fachmann, der auch entsprechende Messprotokolle über die verlegten Strecken anfertigen kann.

Nach Möglichkeit ist von einer Selbstanfertigung von TP-Verbindungen abzusehen, denn aus den obigen Erläuterungen sollte ersichtlich sein, dass eine Reihe von Faktoren eine LAN-Verbindung negativ beeinflusst, auch wenn man dem RJ45-Stecker und dem Kabel die jeweilige Bedeutung nicht ansieht.

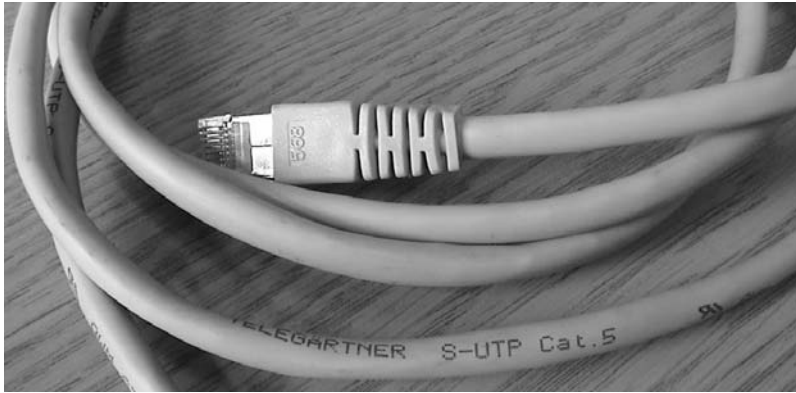


Abbildung 3.12: Bei TP-Kabel lohnt es sich, Markenware einzusetzen.

Patch-Kabel, die typischerweise die Verbindung zwischen einem PC und einem Switch herstellen, gibt es in handelsüblichen Längen (0,5–30 m) mit entsprechender Kennzeichnung (Cat5e, Cat6a) und auch in unterschiedlichen Farben, die die Orientierung in dem mitunter existierenden Kabelwust erleichtern.

Den als besonders preisgünstig erscheinenden Sonderangeboten für fertig konfektionierte TP-Kabel kann man von außen kaum ansehen, wie es mit der Qualität bestellt ist und ob es hiermit nicht spätestens mit Gigabit-Ethernet Probleme geben wird. Stattdessen sollte ein Produkt von einem Markenhersteller bevorzugt werden, der auch die relevanten Kabelparameter veröffentlicht bzw. explizit die Eignung für die jeweils zu realisierende LAN-Verbindung garantiert.

In der Vergangenheit war man mit Cat5-Kabel (S-UTP) auf der sicheren, d. h. der zukunftssicheren Seite, was für 10GBaseT jedoch nicht mehr gilt, sodass bei Neuverlegungen möglicherweise das gegenüber Cat5e ca. dreimal so teure Cat7-Kabel für die Gebäudeinstallation notwendig wird. Für Rauminstallationen hingegen reicht weiterhin das Cat5-Kabel bis maximal Gigabit-Ethernet aus, denn zum jetzigen Zeitpunkt ist es eher unwahrscheinlich, dass 10GBaseT direkt bis an einzelne PCs geführt werden wird.



Abbildung 3.13: Patch-Kabel der Kategorie 7

Bei kleineren LAN-Installationen ist eine Verlegung von »losen« Patch-Kabeln, die es bis hin zu 30 m Länge gibt, die beste Methode, was man auch leicht selbst ausführen kann. Wo es möglich ist, können bereits vorhandene Kabelschächte und Mauerdurchbrüche für die Netzkabel genutzt werden. Ein Signalübersprechen ist dabei unwahrscheinlich, weil mit einem Kabel jeweils nur eine einzige LAN-Verbindung realisiert und nicht mehrere Verbindungen in einem Kabel geführt werden, wie es bei Kabeln für die feste Verlegung meist der Fall ist. Dennoch sollten LAN-Kabel sicherheitshalber nicht mit anderen Elektrokabeln (per Kabelbinder) gebündelt werden.

Bei Mauerdurchbohrungen für LAN-Kabel ist der RJ45-Stecker (mit dem Plastikhebel) mitunter ein Hindernis, weil das Loch 1,5 bis 2 cm groß sein muss, damit der Stecker hindurchpasst. Ihn abzuschneiden, um dann nach dem Durchstecken des LAN-Kabels den Stecker per Crimp-Zange wieder aufzuquetschen, ist jedoch keine sinnvolle Alternative.



Abbildung 3.14: Slimwire-Kabel sind sehr flach und lassen sich auch an kritischen Stellen recht unauffällig verlegen.

Um LAN-Kabel unauffällig unter Fußleisten, Teppichen und Türen führen zu können, empfehlen sich sogenannte Slimwire-Patch-Kabel, die zwar vier bis fünfmal so teuer wie gewöhnliche Cat5-Kabel, dafür aber sehr flach sind und auch mit Gigabit-Ethernet einwandfrei funktionieren.

Für *Power Over Ethernet* (PoE) sind diese Kabel allerdings nicht gedacht, und selbst übliche Cat5-Kabel können sich hierfür als nicht geeignet herausstellen, wenn sie einen relativ hohen Strom für die angeschlossenen Geräte übertragen müssen. Sie können dann recht warm werden, was eine geschlossene Verlegung in einem Kabelschacht zusammen mit anderen – gebündelten – Leitungen verbietet.

Exkurs

Für *Power Over Ethernet* sind zunächst die Vorgaben der Gerätehersteller von Bedeutung. Bei der Verkabelung muss außerdem der maximal zulässige Strom beachtet werden, sodass möglicherweise dickere LAN-Kabel eingesetzt werden müssen.

Gegebenenfalls ist ein Übergang auf dünne LWL-Verbindungen eine Möglichkeit für die Verlegung, zumindest für bestimmte Strecken (im Backbone), was man ebenfalls selbst durchführen kann, wenn man sich an die Standardlängen halten kann oder *Polymer Optical Fiber* (POF, Kapitel 2.7.2) verwendet, das sich beliebig zuschneiden lässt.

Die feste Verlegung von Twisted Pair-Kabeln für die Gebäudeinstallation ist demgegenüber eine Arbeit für den Fachbetrieb, wobei auch Elektriker und Firmen für die Antenneninstallation entsprechende LAN-Installationsarbeiten anbieten. Dabei sollte als Kunde unbedingt darauf geachtet werden, dass die Firma ein Messprotokoll entsprechend der gültigen Normen (ISO/IEC 11801 oder TIA/EIA 568 B.2) anfertigen kann. Damit ist die Netzwerkverkabelung eindeutig spezifiziert worden, und etwaige spätere Kommunika-

tionsprobleme können nicht im LAN selbst begründet sein, solange die Spezifikationen auch von der Geräteseite her eingehalten werden.

Auch wenn immer wieder der Eindruck erweckt wird, dass die Verlegung von Netzkabeln eine einfache Sache ist, die auch von einem Laien durchgeführt werden kann, ist dies bei festen Gebäudeinstallationen, wo möglicherweise sogar mehrere Gebäudekomplexe vernetzt werden müssen, keineswegs der Fall. Es reicht nicht aus, wenn bei der Elektroinstallation einfach ein paar mehradrige LAN-Kabel mit verlegt oder einige zusätzlich mit in Beton gegossen werden. Entsprechende Planungserfahrung, Kenntnisse über Installations- und auch Brandschutztechnik sowie natürlich über die neusten LAN-Verlegeverfahren sind hierfür absolut notwendig.

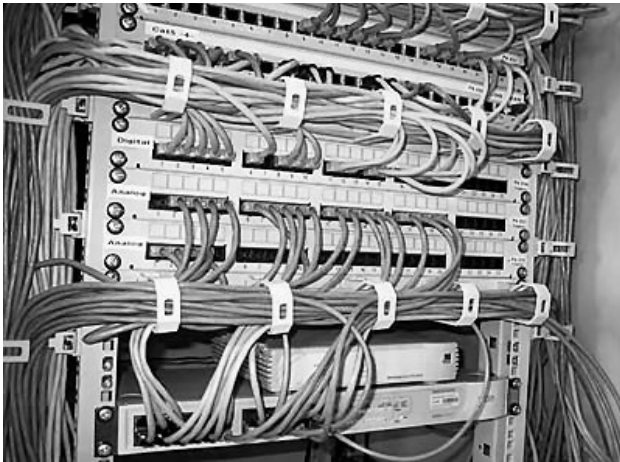


Abbildung 3.15: Verkabelte Patchpanels

Das *Auflegen der Twisted Pair-Kabel*, womit letztendlich der Arbeitsgang der Kabelverbindung in den Patchpanels und den LAN-Anschlussdosen gemeint ist, erfordert für Cat6- und insbesondere für Cat7-Installationen ein hohes Maß an Genauigkeit und Präzision bei der Arbeit.

Mit Patchpanels oder auch Patch-Feldern werden sogenannte *Umsteckfelder* in einem Metallgehäuse bezeichnet, die in der Regel keine Elektronik beinhalten, sondern nur dafür vorgesehen sind, einerseits (von hinten) die Stränge der meist vieladrigen, gebündelten TP-Kabel aufzunehmen und andererseits (von vorne) mehrere RJ45-Buchsen (typisch 8-48) für den Anschluss der LAN-Kabel zur Verfügung zu stellen.

Intern findet also die Aufsplitterung der einzelnen Kabelstränge in die Einzeladern statt. Jeder Anschlussdose – etwa in einzelnen Büros – ist auf dem Patchfeld eine eigene Steckverbindung zugeordnet. Die eingesetzten Patchpanels müssen dabei den Spezifikationen des jeweiligen Verkabelungsstandards entsprechen, weil sie unmittelbar die Übertragungseigenschaften des LANs beeinflussen.

Exkurs

Patchpanels sind Bestandteil einer festen (Gebäude-)Installation und müssen dem jeweiligen Verkabelungsstandard entsprechen, was gleichermaßen für die Ausführung der intern stattfindenden Verdrahtung gilt.

Das Verlegen, Abschneiden, Abisolieren und das Befestigen der Kabel bzw. der einzelnen Adern beinhaltet eine ganze Reihe von potenziellen Fehlerquellen, wie die mögliche Verletzung von maximal erlaubten Biegeradien (typ. das Achtfache des Kabelaußendurchmessers), die Nichteinhaltung der maximalen ungeschirmten Aderlänge, eine zu geringe Auflagefläche der Abschirmung, ein zu hoher Druck auf das Kabel und einiges mehr.



Abbildung 3.16: Eine LAN-Anschlussdose für Cat7-Kabel verfügt über ein Metallgehäuse.

Im Gegensatz zu früheren LAN-Installationen bleibt bei den aktuellen nur ein recht geringer Spielraum zwischen dem, was die Norm verschreibt und was Verkabelungen zu leisten vermögen, und dem, was notwendig ist, damit die Netzwerkeinheiten auch wie vorgesehen funktionieren. Selbst kleine Nachlässigkeiten bei der Verlegung können später zu hohen Reparaturkosten bzw. Nacharbeiten führen.

3.2.6 Überprüfen von TP-Verbindungen

Bei der Verwendung von Twisted Pair-Kabeln ist ein einfacher Test mit einem Multimeter im Ohm-Messbereich wie beim Koaxialkabel nicht ohne Weiteres möglich. Es ist jedoch relativ leicht, per Software zu ermitteln, wo das Problem liegt, indem die PCs einzeln »angepingt« werden, damit die schadhafte Verbindung oder Kopplungsstelle identifiziert werden kann.

Dabei hängt die Fehlersuche natürlich auch von der jeweiligen Topologie des Netzwerks ab, also davon, an welcher Stelle sich ein Verteiler (Router, Switch) befindet. Daher empfiehlt es sich bei einer größeren Installation, einen Verdrahtungsplan parat zu haben oder zumindest die einzelnen Kabelenden zu beschriften, damit man für den Fehlerfall gewappnet ist und nicht erst lange herumrätseln muss, welches TP-Kabel wohin verläuft.

Die Überprüfung eines TP-Kabels mit einem Ohmmeter, wie es oben für Koaxialkabel erläutert ist, ist zwar möglich, allerdings wird hierfür eine recht dünne Messspitze am Messgerät benötigt, damit man an die Kontakte herankommt. Mit dem Messgerät müsste gleichzeitig an beiden Enden des Kabels auf dem jeweiligen Kontakt angesetzt werden, was dann einen Widerstand von nahezu null Ohm (Kurzschluss) zu ergeben hat. Dies kann bei größeren (verlegten) Längen nicht durchgeführt werden, da man mit dem Messgerät eben nicht an die beiden Enden herankommt.



Abbildung 3.17: Der Blick in den Kabelschacht lässt hier die Probleme im LAN erkennen.

Diese einfache Methode kann daher eher selten näheren Aufschluss bieten. Einem (zuvor funktionsfähigen) TP-Kabel kann man eigentlich von außen ansehen, ob es in Ordnung ist oder nicht. Wenn die Stecker nicht beschädigt wirken und auch keine Knicke im Kabel zu entdecken sind, ist das Kabel meist in Ordnung. Eine Ausnahme ist natürlich dann gegeben, wenn die Kabel nicht in Augenschein genommen werden können, weil sie etwa in einem Kabelschacht verlegt worden sind.

Ein einfacher Kabeltester (Durchgangsprüfer), der lediglich die (Ohm'sche) Verbindung der einzelnen Adern überprüft, kann natürlich keine Parameter betreffs Dämpfung oder Übersprechen ermitteln. Bei tiefer greifenden Problemen mit einer TP- und erst recht mit einer LWL-Verkabelung kommt man deshalb nicht ohne spezielle Messgeräte aus, deren Anschaffung sich für die einmalige Anwendung allerdings nicht lohnt. Firmen wie Agilent (Wire Scope), Fluke (DTX Cable Analyser) oder JDSU (Validator) bieten ein recht breites Spektrum an Messgeräten für LANs und WANs an, was vom einfachen Kabeltester bis hin zum komplexen Protokoll-Analyser reicht.



Abbildung 3.18: Ein LAN-Tester für die Ermittlung der grundlegenden Parameter einer Kabelverbindung

3.2.7 Link-Tester selbst gebaut

Zur schnellen Überprüfung, ob mit einem bestimmten Kabel eine LAN-Verbindung besteht, eignet sich ein kleiner Switch, den man einfach an das jeweilige LAN-Kabel anschließt, woraufhin anhand der vorhandenen Leuchtdioden abzulesen ist, ob ein Link zu dem dahinter befindlichen Switch zustande kommt. Für den Switch ist eine Spannungsversorgung notwendig, die entweder eingebaut ist, was das Gerät dann unhandlicher macht, oder über ein externes Steckernetzteil hergestellt wird, was sich oft als unpraktisch erweist, weil nicht immer dort, wo sich das zu prüfende LAN-Kabel gerade befindet, auch eine 230-V-Steckdose zur Verfügung steht.

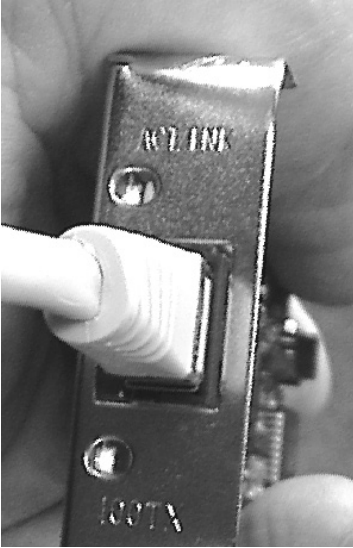


Abbildung 3.19: Eine umgebaute Netzwerkkarte als handlicher Link-Tester

Die Lösung bietet ein handlicher Link-Tester, den man sich – mit etwas Lötgeschick – auch ganz einfach selbst bauen kann. Dafür wird eine Netzwerkkarte mit dem dreipoligen WOL-Anschluss (Wake On Lan) benötigt. Fast-Ethernet-Karten sind bereits für ein paar Euro erhältlich, wobei der jeweilige Bus-Anschluss (ISA, PCI, PCI-Express) hier keine Rolle spielt, denn die Karte wird nicht etwa in einem PC eingebaut, sondern über den WOL-Anschluss mit Spannung versorgt. Das reicht aus, um nach dem Einstecken eines LAN-Kabels auf den vorhandenen Leuchtdioden (LEDs) erkennen zu können, ob ein Link vorhanden ist und ob hier 10 MBit/s oder 100 MBit/s möglich sind. Die Karte muss logischerweise über die entsprechenden LEDs verfügen.

Zu Netzwerkkarten mit WOL-Anschluss wird meist auch das passende, recht dünne dreipolige Kabel (oftmals in gelber Farbe) mitgeliefert, das normalerweise auf den passenden Anschluss des Mainboards gehört, hier jedoch über den Pin 1 mit 5 V versorgt wird. Pin 2 wird mit der Masse der Spannungsversorgung verbunden, während Pin 3 nicht benötigt wird und daher auch am Stecker abgekniffen werden kann.

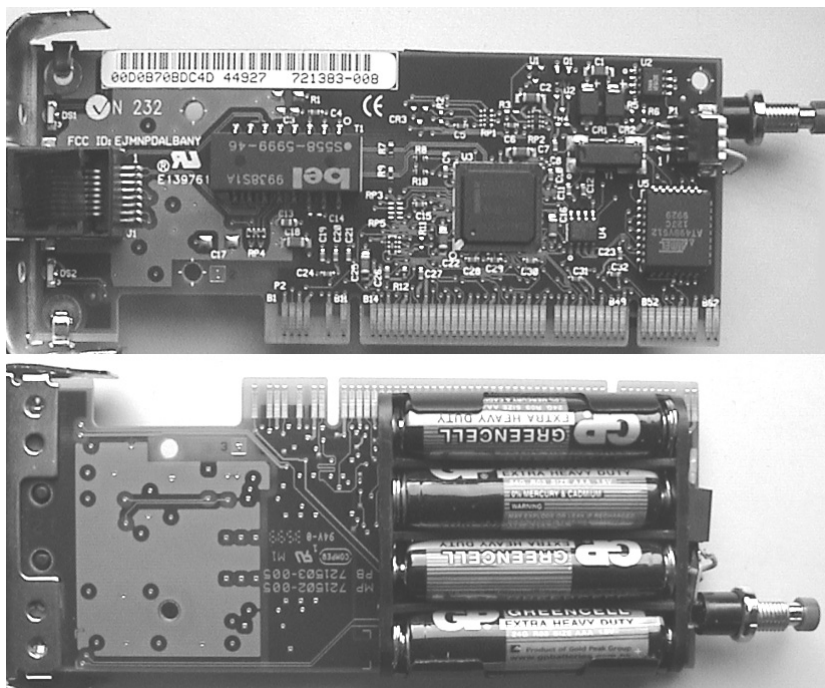


Abbildung 3.20: Die umgebaute Netzwerkkarte von der Vorder- und von der Rückseite

Für die Spannungsversorgung sind mindestens drei 1,5-V-Batterien notwendig, die in ein entsprechendes Batteriefach einzusetzen sind, das man im Elektronikhandel, etwa bei Conrad Elektronik, findet. Üblicher ist allerdings ein Batteriefach für vier 1,5-V-Batterien, womit dann 6 V vorhanden sind. Um damit nicht die Zerstörung der Karte zu riskieren, verwendet man in diesem Fall am besten einen 5-V-Spannungsregler (vom Typ 7805 Low Drop), der aus den 6 V konstante 5 V erzeugt. Ein 9-V-Block ist natürlich ebenfalls möglich, wobei dann kein Low-Drop-Typ notwendig ist, weil die Spannungsdifferenz größer ist und auch ein 7805-Standardtyp verwendet kann. Beachtet werden sollte bei der Spannungsversorgung, dass das »Gerät« gut zu handhaben ist.

Ein flaches Batteriefach mit vier AAA-Batterien könnte im Übrigen (mit doppelseitigem Teppichklebeband) auf die Platinerückseite geklebt werden, wie es in der Abbildung 3.20 zu erkennen ist. Außerdem wurde bei der verwendeten Netzwerkkarte noch ein einfacher Taster in den Weg der Spannungsversorgung (vor den Spannungsregler) gelötet, damit die Schaltung nur beim Drücken auf den Taster mit Spannung versorgt und nur dann Strom verbraucht wird, was eine sehr lange Haltbarkeit der Batterien verspricht.



Abbildung 3.21: Die Zusatzschaltung für die Netzwerkkarte im Detail

Wer den Tester besonders stabil aufbauen will, kann die Karte mit den zusätzlichen Teilen natürlich in ein Gehäuse einbauen. Hier wurden die Teile direkt an den Batteriekasten gelötet, wobei man aufpassen muss, dass der heiße LötKolben nicht das Plastik aufweicht und dabei die beiden Ösen des Batteriefachs ihren Halt verlieren.

Zuletzt könnte noch das möglicherweise störende Slot-Blech der Karte abgeschraubt werden. Weil hier jedoch meist die Beschriftungen, die den Status der LEDs angeben, aufgebracht sind, ist es sinnvoller, das Blech abzuschneiden und/oder um die Platine herum zu biegen (vgl. Abbildung 3.19), wodurch sie auch besser zu handhaben ist.

3.3 Lichtwellenleiter

Netzwerke auf der Basis von Lichtwellenleitern (LWL) sind verglichen mit solchen mit Kupferverbindungen störungsempfindlicher, abhörsicherer und weisen eine niedrigere Fehlerrate auf. Die LWL-Verbindungen können beispielsweise auch im gleichen Kabelschacht wie etwa die Starkstromleitungen verlegt werden, ohne dass die hiervon ausgehenden Störungen einen Einfluss auf die Netzwerkverbindung hätten.

Beschädigungen durch Überspannungen, statische Entladung oder auch durch Blitzschlag sind bei LWL nicht möglich. Außerdem gibt es hier automatisch eine »galvanische« Entkopplung zwischen der Netzwerkhardware (z. B. Netzwerkkarte) und dem Medium, wofür bei den TP- und Koax-Netzwerkkarten spezielle Übertrager (Transformatoren) notwendig sind. Deshalb können bei einer optischen Übertragung keine Masseprobleme auftreten.

3.3.1 Verbindungen

Die Lichtwellenleiterverbindungen – gewissermaßen die LWL-Kabel, auch wenn es keine Kabel im elektrischen Sinne sind – sind entgegen der oft zitierten Befürchtung äußerst robust, dabei relativ dünn und daher sehr flexibel, was sie in der Handhabung sogar unkritischer erscheinen lässt als TP- oder auch Koaxialkabel.

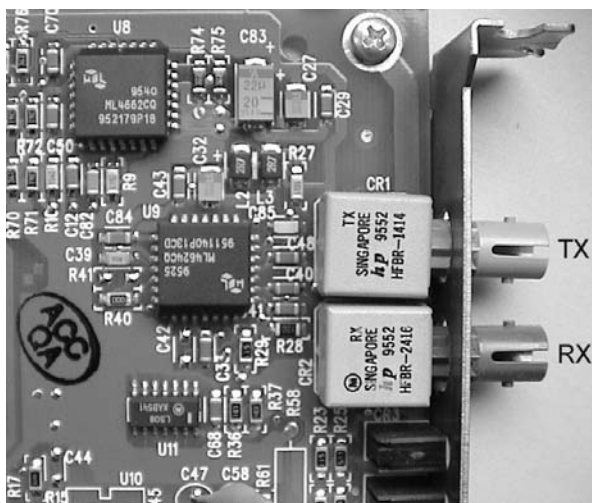


Abbildung 3.22: Die beiden optischen Kopplungselemente für TX und RX mit ST-Anschlüssen auf einer LWL-Netzwerkkarte

Prinzipiell gibt es zwar eine Vielzahl von möglichen LWL-Anschlüssen, aber ab Fast-Ethernet auf Glasfaser (100BaseF) hat sich die SC-Verbindung als Standard hierfür erwiesen. Über entsprechende Adapter lassen sich auch Verbindungen zwischen den älteren ST- und den SC-Steckverbindern problemlos herstellen.

Crossover-Verbinders, wie sie für TP-Verbindungen erhältlich sind, gibt es für LWL nicht, was bei ST-Verbindungen auch unnötig wäre, denn die TX- sowie die RX-Leitungen können sowohl überkreuz als auch 1:1 miteinander verbunden werden, weil man es hier mit einzelnen Steckern zu tun hat.

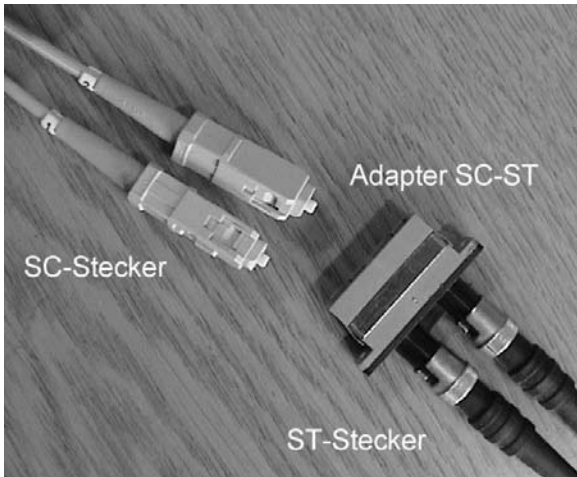


Abbildung 3.23: SC-Stecker lassen sich über Adapter auch mit ST-Steckern verbinden.

Bei SC sind die beiden Connectoren vielfach fest miteinander verbunden (SC-Duplex), sodass hier keine Verwechslungsgefahr zwischen RX und TX gegeben ist. Allerdings werden jedoch auch gekreuzte LWL-LAN-Verbindungen, etwa zwischen Switches, benötigt. Aus diesem Grunde gibt es auch SC-Verbinder, bei denen die beiden Stecker wahlweise zusammengesteckt werden können, wie es in der Abbildung 3.23 zu erkennen ist.



Abbildung 3.24: LWL-Strecken lassen sich mithilfe von Kupplungsstücken problemlos verlängern.

3.3.2 Funktionsprinzip und Typen

Bei Lichtwellenleitern wird generell zwischen Monomode-, auch als Singlemode bezeichnet, und Multimode-Leitern unterschieden. Bei Multimode-Fasern findet die Signalübertragung anhand mehrerer *Moden* statt, während eine Monomode-Faser das Licht nur in einer Mode (parallel zur Achse des Mediums, Mode 0) überträgt, was gegenüber Multimode-Fasern zu geringeren Dämpfungswerten und höheren Bandbreiten führt.

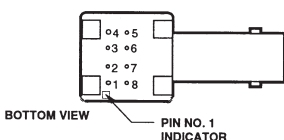
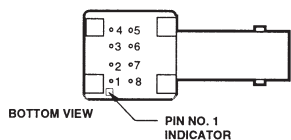
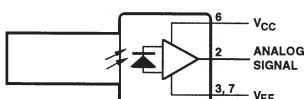
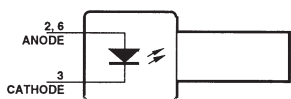
Bei 10BaseFX sowie 100BaseFX spielt fast ausschließlich die Dämpfung, die durch Reflexion und Absorption des »Transportlichts« verursacht wird, eine Rolle. Demnach hat man es bei Dämpfungsbetrachtungen auf Glasfaser mit einem völlig anderen Effekt zu tun, als dies bei Kupferverbindungen und den dort zugrunde liegenden elektrischen Eigenschaften der Fall ist.

Dämpfungen bei Lichtwellenleitern entstehen in erster Linie durch die auf einer Glasfaserstrecke befindlichen Übergänge (Dosen, Anschlüsse, Adapter usw.) sowie in zweiter Linie durch Verunreinigungen der Faser selbst, was jedoch bei den aktuellen handelsüblichen Glasfasern zu vernachlässigen ist, da sie sich qualitativ als hochwertig genug darstellen.

Je nach Wellenlänge des verwendeten Lichts stellt sich die Dämpfung über Glasfaser unterschiedlich dar, und da sie bei 850 nm, 1300 nm sowie 1500 nm minimal ist, werden genau diese Wellenlängen für LWL-Netzwerke verwendet. Sie werden von entsprechenden (Laser-)Dioden auf den Netzwerkkarten und den Koppereinheiten (Hubs, Switches) erzeugt und von den »Gegenstücken«, den dazu passenden Photodioden der Einheiten, wieder empfangen.

HFBR-1312T Transmitter

HFBR-2316T Receiver



PIN	FUNCTION
1	N.C.
2	ANODE
3	CATHODE
4	N.C.
5	N.C.
6	ANODE
7	N.C.
8	N.C.

1300 nm Wavelength
 Specified with 62.5/125 μm
 and 50/125 μm Fiber
 Link Distance over 5 km

PIN	FUNCTION
1	N.C.
2	SIGNAL
3	VEE
4	N.C.
5	N.C.
6	VCC
7	VEE
8	N.C.

Abbildung 3.25: Ein Transmitter und ein dazugehöriger Receiver. Diese Elemente sind für die Umsetzung der elektrischen Impulse in Lichtimpulse (Transmitter) und umgekehrt (Receiver) zuständig.

Leuchtdioden (Light Emitting Diode, LED) strahlen das Licht gleichförmig in mehrere Richtungen ab. Das grundsätzliche Prinzip des Lichttransports über Lichtwellenleiter beruht dabei auf der Totalreflexion an den Grenzschichten der Materialien unterschiedlicher Dichte.

Bei der Verwendung einer LED wird das Licht unterschiedlich oft an der Oberfläche reflektiert, es legt unterschiedliche Wege zurück, was zu den verschiedenen *Moden* führt. Für das Datensignal bedeutet dies, dass es zu unterschiedlichen Laufzeiten und damit zu Signalverzerrungen kommt, was von der Länge der Lichtwellenleiterstrecke abhängig ist. Diesen Effekt, der zum einen durch den Leiter selbst und zum anderen auch durch die Lichtquelle hervorgerufen wird, bezeichnet man als *Dispersion*, und er ist insbesondere ab Gigabit-Ethernet ein ausschlaggebendes Kriterium.

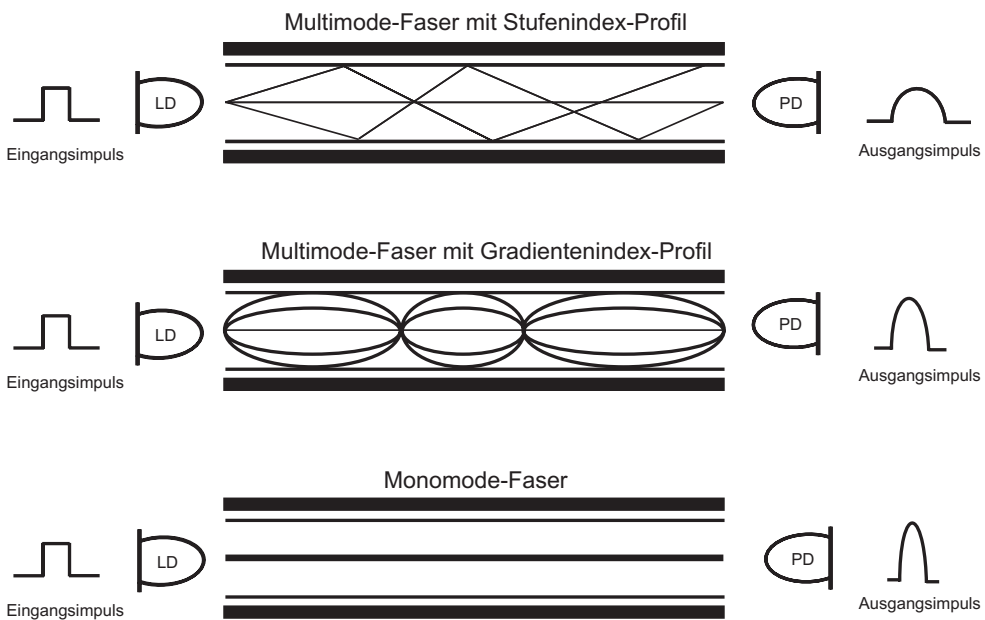


Abbildung 3.26: Die Lichtübertragung differiert bei den verschiedenen Fasern, was in Abhängigkeit von der Übertragungstrecke zu unterschiedlich »guten« Ausgangsimpulsen führt.

Ab 100BaseFX werden statt LEDs vielfach Laserdioden (LD) verwendet, die ein stärker gebündeltes Signal generieren und bei denen der überwiegende Anteil der Lichtintensität über den direkten, gradlinigen Weg abgestrahlt wird, sodass auch Entfernungen über mehrere Kilometer überbrückbar sind, wobei die Faser selbst eine wichtige Rolle spielt. Generell werden drei grundsätzliche Typen unterschieden:

- Multimode-Faser mit Stufenindex-Profil (100 MHz x km)
- Multimode-Faser mit Gradienten-Profil (1 GHz x km)
- Monomode-Faser (10 GHz x km)

Für die Klassifizierung von Lichtwellenleitern wird ein Produkt von Bandbreite und Länge angegeben, da die Dispersion von der Länge der Glasfaser abhängig ist. Bei einer Angabe wie *100 MHz x km* kann daher eine LAN-Verbindung mit *100 MHz über 1 km* oder mit *50 MHz über 2 km* oder beispielsweise auch mit *200 MHz über 500 m* realisiert werden. Die typischen Richtwerte sind oben in Klammern bei den drei Fasertypen angegeben.

Allen drei Fasertypen ist gemein, dass sie von einem Kunststoffmantel (Buffer Coating) umgeben sind, der dem Glasmantel (Cladding) nach außen hin als Schutz dient. Ganz im Innern ist der eigentliche Kern der Faser (Core) untergebracht. Core und Cladding bestehen zwar meist beide aus Quarzglas (SiO_2), allerdings unterscheiden sich dabei die jeweiligen Brechungsindizes. Der Brechungsindex beschreibt generell das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum (ca. 300.000 km/s) zur Lichtgeschwindigkeit im Medium.

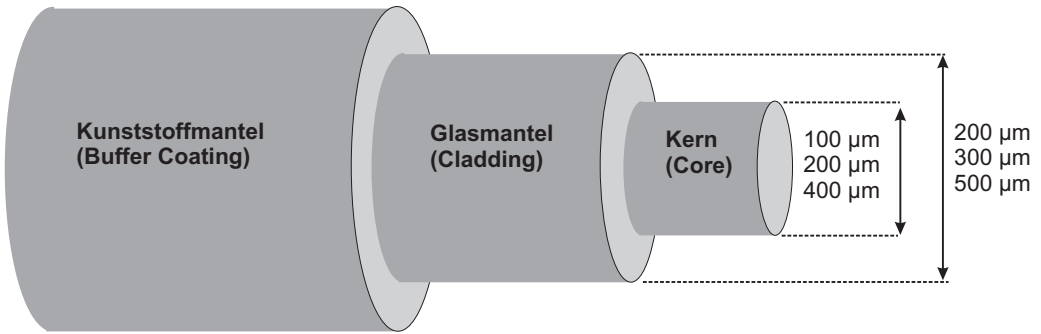
Der mehr oder weniger gebündelte Strahl wird an der Grenzfläche der beiden Glasmaterialien reflektiert und somit in der Faser gehalten. Neben Glas werden auch unterschiedliche Kunststofffasern (meist bei 650 nm Wellenlänge) verwendet, die preiswerter und einfacher zu fertigen sind, allerdings noch nicht die Qualität der Glasfasern erreichen, höhere Dämpfungen aufweisen und demnach auch nur kürzere Strecken überbrücken können. Außerdem werden auch Glas- und Kunststofffasern miteinander kombiniert, was zu einem besonders günstigen Preis-Leistungs-Verhältnis führen soll. Wenn man also von *Glasfaser* redet, kann es sich auch um eine Kunststofffaser handeln, sodass *Lichtwellenleiter* (LWL) vielleicht die treffendere Bezeichnung ist.

Beim Stufenindex-Profil besteht zwischen Kern und Mantel ein abrupter Übergang von einem zum anderen Brechungsindex. Der Brechungsindex (n) ist dabei im Cladding geringer als im Core ($n_{\text{core}} > n_{\text{cladding}}$ = totale Reflexion). Da die Lichtstrahlen der Quelle (LED) in unterschiedlichen Winkeln auftreffen, ergibt sich ein Zickzackverlauf des Lichtes, was eine Verbreiterung des Ausgangsimpulses gegenüber dem Eingangsimpuls zur Folge hat und für typische Längen bis hin zu 200 m durch eine Photodiode noch als eindeutiger Impuls (High) zu detektieren ist.

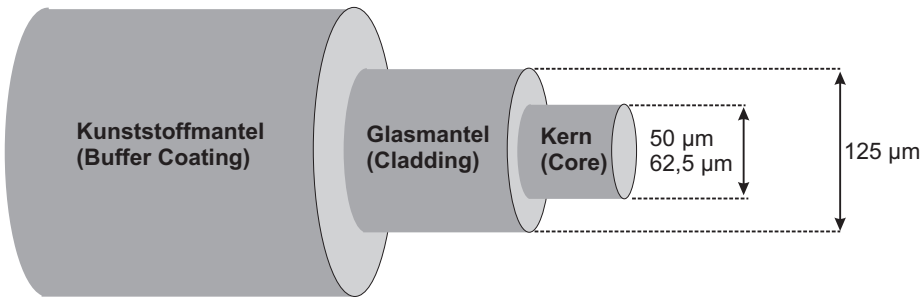
Bei einer Faser mit Gradientenindex-Profil wird eine abgestufte Veränderung der Brechungsindizes realisiert, sodass sich für die Lichtstrahlen gekrümmte Bahnen ergeben und sich das Licht im Mittel eher auf dem optimalen, gradlinigen Weg bewegt. Der Ausgangsimpuls ist dadurch ausgeprägter, wodurch größere Entfernungen als mit Stufenindex-Profil-Faser (bis zu 10 km) überbrückbar sind.

Monomode-Lichtwellenleiter entsprechen im Prinzip dem Aufbau einer Faser mit Stufenindex-Profil, nur ist der Core hier wesentlich dünner als bei den Multimode-Fasern ausgeführt und der Brechungsindex des Mantels ist genau an eine bestimmte Wellenlänge angepasst. Das Licht wird dabei ohne Brechung und Reflexion achsenparallel transportiert, was zu exakten Ausgangsimpulsen über sehr große Längen (50 km) führt. Bei Monomode-Fasern werden generell Laserdioden verwendet.

Multimode-Faser mit Stufenindex-Profil



Multimode-Faser mit Gradientenindex-Profil



Monomode-Faser

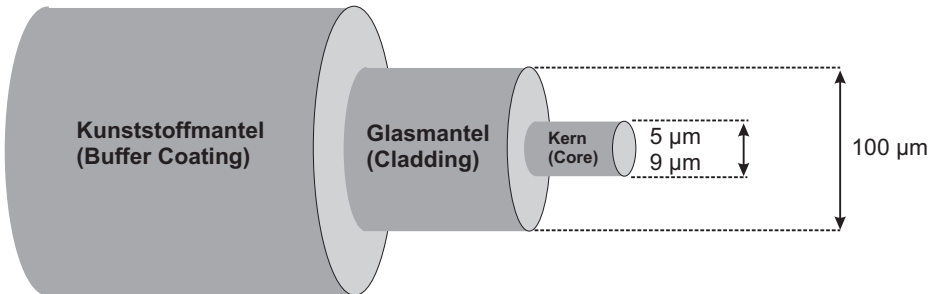


Abbildung 3.27: Der Aufbau und die jeweiligen Durchmesser der verschiedenen Fasertypen

Wie es der Abbildung 3.27 zu entnehmen ist, bestehen bei den jeweiligen Durchmesser des Kerns und des Mantels erhebliche Unterschiede. In Deutschland werden bei den meisten LANs Multimode-Gradienten-Index-Fasern mit 62,5/125 μm verwendet, die sich sowohl für Standard- (850 nm), Fast-Ethernet (1300 nm) als auch für Gigabit-Ethernet eignen.

Demnach kann bei einer entsprechenden Umrüstung das LWL-Medium beibehalten werden, sofern man in der Vergangenheit die richtige Entscheidung für die Verlegung des entsprechenden Lichtwellenleitertyps getroffen hat. Monomode-Fasern (9/100 μm) werden vorwiegend für WAN-Verbindungen sowie für Gigabit- und 10 Gigabit-Ethernet eingesetzt.

Standard	Faser	Wellenlänge	Max. Reichweite	Fasertyp
10BaseF	62,5/125 μm	850 nm	2 km	Multimode
100BaseFX	62,5/125 μm	1300 nm	2 km	Multimode
1000BaseSX	62,5/125 μm	850 nm	220 m	Multimode
1000BaseSX	50/125 μm	850 nm	550 m	Multimode
1000BaseLX	62,5/125 μm	1300 nm	440 m	Multimode
1000BaseLX	50/125 μm	1300 nm	550 m	Multimode
1000BaseLX	9/125 μm	1300 nm	5000 m	Monomode
10GBaseSX	62,5/125 μm	850 nm	300 m	Multimode
10GBaseLX	9/100 μm	1300 nm	10 km	Monomode
10GBaseLX4	62,5/125 μm	850 nm	300 m	Multimode
10GBaseLX4	10/125 μm	850 nm	10 km	Monomode
10GBaseEX	9/100 μm	1500 nm	40 km	Monomode
SDH	9/100 μm	1500 nm	40 km	Monomode
SDH	62,5/125 μm	1300 nm	2 km	Multimode
Diverse	Plastic Optical Fiber		50 m	Multimode
SDH	Hard Polymer Clad Fiber		100 m	Multimode

Tabelle 3.6: Beispiele für die Verwendung der unterschiedlichen Lichtwellenleiter

3.3.3 Verlegung

Das Verlegen von Lichtwellenleitern ist wegen ihrer Flexibilität und Unempfindlichkeit gegenüber Störungen verhältnismäßig einfach und unterscheidet sich in der grundsätzlichen Vorgehensweise nicht von der Verlegung der anderen Medien.

Besondere Beachtung verdient auch hier die Konfektionierung der Übergänge von der festen Verlegung (z. B. im Kabelschacht) zu den Anschlussdosen und auch in den Verteilern (Patchpanels). Hier können natürlich nicht Stecker aufgelötet oder aufgequetscht werden, sondern die Fasern des Leiters bedürfen einer besonderen Behandlung wie Schneiden, Spleißen, Kleben und Polieren.

Für diese Arbeiten gibt es spezielle Werkzeuge, mit deren Hilfe sich die Fasern möglichst optimal verschweißen oder auch in einem LWL-Anschlussstecker verkleben lassen. Ein guter Übergang weist dabei eine Dämpfung von 0,1–0,2 dB auf, ein schlechter hingegen über 1 dB. An diesen Stellen muss also besonders sorgfältig gearbeitet werden, um auch die spezifizierten Längen mit der Faserstrecke überbrücken zu können. Die Ausführungen der LWL-Anschlüsse und die Qualität der Faser selbst spielen eine wichtige Rolle für die Bandbreiten- und Dämpfungsbetrachtungen, wie es im vorherigen Kapitel ausgeführt ist.

Vielfach kommt man jedoch auch mit den Standardlängen von Lichtwellenleitern aus, die typischerweise bis hin zu 50 m reichen, mit fertigen Anschlüssen (TS, SC) versehen sind und sich mit Kupplungsstücken (siehe Abbildungen 3.23 und 3.24) entsprechend verlängern lassen.



Abbildung 3.28: Auch für Lichtwellenleiter gibt es die Möglichkeit, Verbindungen zu crimpen.

Seit einiger Zeit sind außerdem LWL-Connectoren für die – relativ einfache – Selbstmontage verfügbar, wie die LightCrimp-Verbinder der Firma AMP. Im ersten Schritt werden Faser und Ader mit der speziellen Crimp-Zange gefasst, die Faser wird defi-

niert gebrochen, und dann wird die Zugentlastung des Kabels mit dem Stecker gecrimpt (gequetscht). Klebstoff kommt dabei nicht zum Einsatz, und es sollen sich durch diese Verbindungsart im Mittel Dämpfungen von unter 1 dB ergeben.

LWL-Verbindungen mit Plastic Optical Fiber (POF, siehe auch Kapitel 2.7.2) lassen sich gleichermaßen einfach konfektionieren und werden ebenfalls mithilfe einer speziellen Zange geschnitten und in einer Schnellspannhülse fixiert. Insbesondere in rauen Industrieumgebungen (Schutzart IP 20, IP 67) wird diese Konfektionierungsmethode häufig angewendet.

Für größere Installationen sind Crimp-Verfahren jedoch aus Kostengründen nicht geeignet, zumal sich nur ganz bestimmte LWL-Fasern und Stecker damit verbinden lassen. Des Weiteren lassen sich hiermit auch keine Verbindungen von mehradrig ausgeführten LWL-Kabeln realisieren, sodass sich dieses Verfahren eher für Reparaturen und kleinere Installationen eignet, zu denen kein LWL-Techniker herangezogen werden soll.

Im Backbone werden vorzugsweise mehradrige LWL-Verbindungen verlegt, weil diese preiswerter sind als etwa zehn einzelne Leitungen, die jeweils über einen eigenen Kunststoffmantel verfügen müssen. Wie es auch mit Twisted Pair-Kabel üblich ist, werden die Adern dann in einem Patchpanel in die einzelnen Verbindungswege aufgeteilt, die beispielsweise in die Büros führen. Dort wird jeweils eine LWL-Anschlussdose montiert, von der aus dann mit einem LWL-Patch-Kabel die Verbindung mit einem Medien-Converter (LWL auf TP) oder einem LWL-Switch, der über TP-Ports verfügt, hergestellt wird.

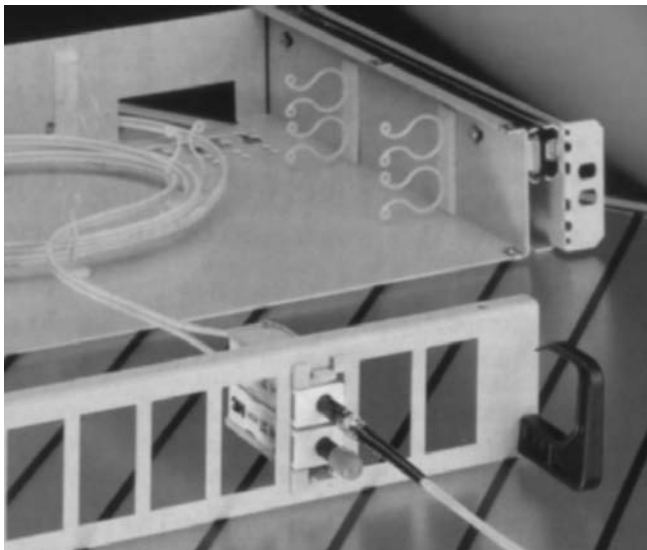


Abbildung 3.29: Mithilfe von speziellen Patchpanels werden Verteilungen für Lichtwellenleiter realisiert.

3.3.4 Überprüfung und Fehlersuche

Für die Überprüfung von LWL-Verbindungen werden sogenannte OTDR-Messgeräte verwendet. Anhand der *Optic Time Domain Reflectometry* ist es nicht nur möglich, die Dämpfung, sondern auch die Position der einzelnen Komponenten in einer Lichtwellenleiterstrecke zu ermitteln.

Ein derartiges Gerät ist zwar verhältnismäßig teuer; es gehört jedoch zur Standardausrüstung eines LWL-Technikers, damit die Strecken nach der Installation durchgemessen werden können und ein entsprechendes Prüfprotokoll angefertigt werden kann, das dem Kunden als Beleg für die Erfüllung der zugrunde gelegten LWL-Spezifikation dann auszuhändigen ist.

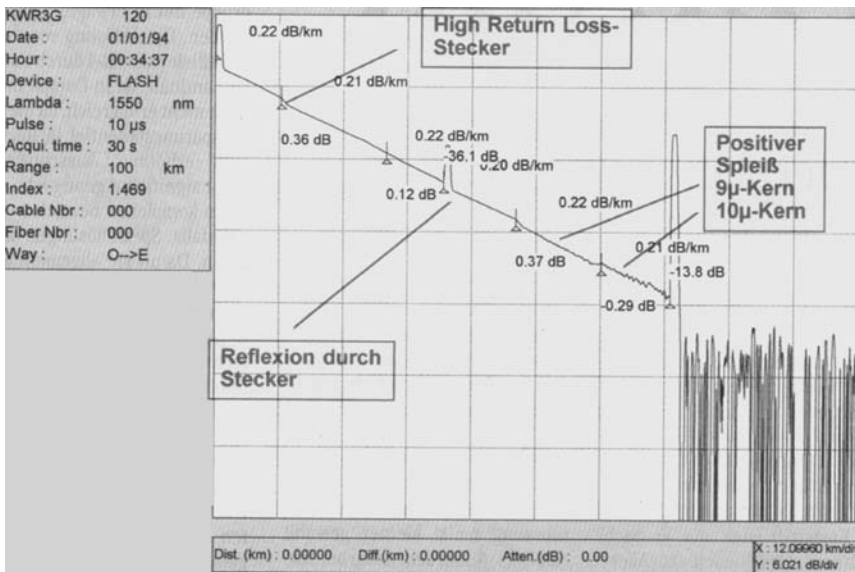


Abbildung 3.30: Das Messprotokoll einer OTDR-Messung mit Anmerkungen

Die Fehlersuche in einem LWL-Netzwerk kann für den Anwender prinzipiell nur nach den Kriterien, wie sie auch bei TP-Kabel (siehe Kapitel 3.2.6) gültig sind, vorgenommen werden, was zunächst die Kontrolle der Kabel auf ihre Unversehrtheit hin und die der Anschlüsse (RX, TX) bedeutet. Anschließend kann dann per Software (z. B. mit Ping) versucht werden, die schadhafte Stelle im Netz zu lokalisieren.

Exkurs

Bei einigen LWL-Geräten sind zusätzliche Dioden für die Übertragungstrecken integriert, sodass Verbindungen dann mit bloßem Auge zu erkennen sind.

Das Licht der verwendeten Wellenlängen lässt sich nicht mit bloßem Auge erkennen, sondern nur mithilfe von speziellen Detektoren. Allerdings sind in einigen Einheiten zusätzliche LEDs eingebaut, die rotes, sichtbares Licht transportieren und genau diesem Zweck – der Identifizierung von korrekten Übertragungsstrecken – dienen.

Leider lässt sich jedoch anhand der Beschreibungen zu den Einheiten nicht immer feststellen, ob diese nützliche Option gegeben ist oder nicht. Hersteller wie beispielsweise Hewlett-Packard (HP) realisieren diese zusätzliche Funktion allerdings bei vielen Einheiten wie in ihren Switches. Außerdem werden vielfach die elektrooptischen Kopplungselemente (Transmitter, Receiver) von HP auf Netzwerkkarten und anderen LWL-LAN-Elementen eingesetzt, und dann ist die Wahrscheinlichkeit recht groß, dass hier ebenfalls eine zusätzliche LED eingebaut ist. Verlassen kann man sich aber nicht darauf, denn bei den Typen in der Abbildung 3.25 ist dies eben nicht der Fall.



Abbildung 3.31: Der Transmitter von HP verfügt neben der LED für die Datenübertragung über eine zweite für die LAN-Verbindungskontrolle, was anhand der vier (statt zwei) Anschlüsse im Gehäuse zu erkennen ist.

Für den Test einer optischen Übertragungsstrecke eignet sich im Übrigen auch ein handelsüblicher Laserpointer, mit dem man in die Faser hineinleuchten könnte. Bei der Inaugenscheinnahme sollte man aber stets vorsichtig sein, wenn man nicht genau weiß, was einen erwartet, denn das (Laser-)Licht kann bekanntlich Sehstörungen und sogar Beschädigungen der Augen zur Folge haben. Allerdings entsprechen zumindest die optischen LAN-Komponenten der Laser Klasse 1, die laut Definition unter den vorhersehbareren Bedingungen sicher ist.

Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: info@pearson.de

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

<http://ebooks.pearson.de>