



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Fakultät Design, Medien und Information
Studiengang Medientechnik

Diplomarbeit

„Netzwerke im Bereich der Lichttechnik –

Untersuchung neuer Netzwerkarchitekturen zur Steuerung von Betriebsmitteln der Licht- und Medientechnik“

Februar 2008

Michael Schwartinski Matrikelnummer 1702205

Prüfer:

Prof. Dr. Ing. Roland Greule, HAW Hamburg

Lehrbeauftragter Dipl. Ing. Berthold Jäger, HAW Hamburg



Eigenständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Diplomarbeit mit dem Titel

„**Netzwerke im Bereich der Lichttechnik** – Untersuchung neuer
Netzwerkarchitekturen zur Steuerung von Betriebsmitteln der Licht- und
Medientechnik“

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel
verwendet habe.

Ort, Datum

Unterschrift

Inhaltsverzeichnis

Nr.	Kapitel	Seite
	Einleitung	7
1.	Geschichte der Lichtsteuerung	10
1.1.	Die Antike	10
1.2.	Bei den Römern	10
1.3.	Im Mittelalter	11
1.4.	Das 16. Jahrhundert	11
1.5.	Das 17. Jahrhundert	11
1.6.	Das 18. Jahrhundert	12
1.7.	Das 19. Jahrhundert	12
1.8.	Das 20. Jahrhundert	14
1.9.	Fazit	18
2.	Grundlagen der Lichtsteuerung	19
2.1.	Steuerpulte	19
2.2.	Steuersignale	26
2.3.	Lichtsteuerung auf der Lastseite	38
2.4.	Die wichtigsten Verbände	41
2.5.	Allgemeines	44
3.	Grundlagen der Netzwerktechnik	45
3.1.	Allgemeines zum OSI-Modell	48
3.2.	Physikalische Schicht	50
3.3.	Die Sitzungsschicht	55
3.4.	Die MAC-Teilschicht	63

3.5.	Die IEEE802-Norm	64
3.6.	Die Vermittlungsschicht	80
3.7.	Die Vermittlungsschicht im Internet	83
3.8.	Die Transportschicht	90
3.9.	Die Sicherungsschicht	97
3.10.	Die Darstellungsschicht	97
3.11.	Die Anwendungsschicht	97
3.12.	Fazit	98
4.	Lichtnetzwerke heute	99
4.1.	DMX512-Netzwerke	99
4.2.	Einfache Netzwerke zur Lichtsteuerung	101
4.3.	Ethernet-Hardware	104
4.4.	Ethernet-Endgeräte	108
4.5.	Fazit	111
5.	Übertragungsprotokolle	112
5.1.	Architecture-for-Control-Network	112
5.2.	Art-Net	113
5.3.	AVAB-IPX	113
5.4.	AVAB-UDP	114
5.5.	ETCNet	115
5.6.	MA-Net	117
5.7.	Pathport-Protokoll	118
5.8.	ShowNet	118
5.9.	ADB-Netzwerk	118
5.10.	CobraNet	119
5.11.	Weitere Firmenprotokolle	119
5.12.	SandNet	120
5.13.	Fazit	121

6.	Art-Net	122
6.1.	Artistic Licence	122
6.2.	Der Aufbau	123
6.3.	IP-Adressierung	124
6.4.	Netzwerktopologien	126
6.5.	Operationen	127
6.6.	RDM	130
6.7.	Anwendungen	131
7.	ACN – „Architecture for Control Network“	132
7.1.	Grundlagen	132
7.2.	Die Entwicklungsziele der ACN-Task-Group	134
7.3.	Der ACN-Grundaufbau	139
7.4.	Das ACN-System	144
7.5.	Der Aufbau und die Benutzung von PDUs und PDU-Blöcken	147
7.6.	Das ACN-Root-Layer-Protokoll	152
7.7.	Allgemeines	157
7.8.	ACN-Anwendung am Beispiel des DMX-A-Streaming-Protokolls (DSP)	158
7.9.	Fazit	164
8.	Praxisanwendungen	165
8.1.	Nogaya Japan	165
8.2.	Einweihung des Berliner Hauptbahnhofs	170
8.3.	Neubau des Studio 2 beim NDR	174
8.4.	Fazit	176

Schlusswort	177
Abbildungsnachweis	179
Quellenverzeichnis	184

Einleitung

Ob es um soziale Netzwerke, das Internet oder das WLAN-Netz Zuhause geht, Netzwerke sind aus dem täglichen Leben nicht mehr weg zu denken. Diese Arbeit beschäftigt sich mit den Netzwerken im Bereich der Lichttechnik.

Damit Netzwerke funktionieren und ihren Zweck erfüllen, nämlich einen komfortablen Austausch von Informationen zu ermöglichen, sind einige Regeln, Mechanismen und Absprachen nötig, die in Netzwerk-Architekturen zusammengefasst werden. Dabei meint der Begriff Netzwerk-Architektur nicht nur den physischen Aufbau eines Netzwerkes, sondern auch die für den Anwender unsichtbaren Protokolle und Absprachen, welche die Funktion eines Netzwerkes gewährleisten.

Diese Arbeit soll all denjenigen als Informationsquelle dienen, die sich mit Netzwerken im Bereich der Lichttechnik beschäftigen. Es sollen Fragezeichen aus dem Weg geräumt werden, wie sich zukünftig Produkte verschiedener Hersteller in Netzwerken verstehen können, und welchen Nutzen das Integrieren von ethernetfähigen Geräten dem Benutzer einer Lichtsteueranlage bringen kann.

Die Arbeit wurde so aufgebaut, dass sie sowohl chronologisch als auch kapitelweise gelesen werden kann. In den Kapiteln gibt es an einigen Stellen Verweise auf andere Kapitel oder Abschnitte, die auf nähere Informationen zu den entsprechenden Themen hinweisen.

Die Ausarbeitung beginnt mit zwei Handlungssträngen, der Geschichte und den Grundlagen der Lichtsteuerung sowie den Grundlagen der Netzwerktechnik. Beide Handlungsstränge werden im Laufe der Arbeit zusammengeführt.

Das erste Kapitel der vorliegenden Arbeit beschreibt die Anfänge der Lichttechnik. Obwohl die Bühnenbeleuchtung, wie wir sie heute kennen, erst im 16. Jahrhundert ihre Anfänge genommen hat, beginnt das erste Kapitel in der Antike, da hier die natürlichen Lichtverhältnisse in die Aufführungen einbezogen wurden, und man deshalb von den ersten gezielten Einsätzen des Lichtes am Theater sprechen kann.

Das zweite Kapitel beschreibt ausführlich die Gegenwart der Lichtsteuerung. Es werden alle Betriebsmittel vom Steuerpult bis zum Scheinwerfer beschrieben, wobei auf die Scheinwerfer selbst nicht eingegangen wird, da Scheinwerferkunde nicht Thema dieser Arbeit ist.

Im dritten Kapitel wird mit der Erläuterung der Grundlagen der Netzwerktechnik der zweite Handlungsstrang begonnen. Es werden die verschiedenen Schichten des OSI-Referenzmodells beschrieben und die wichtigsten Protokolle, die auch zur Übertragung von Lichtsteuerungsdaten verwendet werden.

Das vierte Kapitel vereint die vorigen, indem speziell verschiedene Netzwerke im Bereich der Lichttechnik behandelt werden. Im weiteren Verlauf des vierten Kapitels wird beispielhaft einiges an Equipment vorgestellt, welches in den Netzwerken der Lichttechnik vorkommen kann.

Im fünften Kapitel werden die wichtigsten Übertragungsprotokolle vorgestellt, die momentan in den Ethernet-Netzwerken der Lichttechnik eingesetzt werden. Da diese Protokolle jedoch oft zu den Betriebsgeheimnissen der Firmen gehören, können sie nicht ganz so ausführlich beschrieben werden. Dadurch wird aber auch deutlich, wie wichtig ein genormter Standard im Bereich der Ethernet-Netzwerke ist, um wieder alle Vorteile nutzen zu können, die durch die Normung von DMX512 einmal aufgekommen sind.

Kapitel sechs beschäftigt sich intensiv mit dem Art-Net-Protokoll. Art-Net ist ein offener Standard und kann deshalb genauer beschrieben werden. Alle Firmen, die Art-Net als Übertragungsprotokoll implementiert haben, können über ein Ethernet-Netzwerk kommunizieren.

In Kapitel sieben wird die ANSI E1.17. 2006 ACN-Norm ausführlich thematisiert. Auf die ACN kann zu Recht große Hoffnung gesetzt werden, zukünftig mit einfachen Netzwerken in der Lichtsteuerung zu arbeiten. Da die Norm noch relativ neu ist, wird es noch einige Zeit dauern, bis wirklich alle Geräte „Plug and Play“-mäßig an ein Lichtnetzwerk integriert werden können. Der Umfang der ACN-Architektur lässt dabei auf einiges hoffen.

Im achten Kapitel werden einige praktische Einsatzbeispiele beschrieben, die zeigen, dass es einerlei ist, ob die Lichttechnik auf Booten, Zügen oder in Festinstallation angesteuert werden muss.

Ganz bewusst wurde diese Arbeit nicht in einer der Firmen geschrieben, die in der Beleuchtungsindustrie tätig sind, um diese Arbeit möglichst objektiv, ohne firmenpolitische Interessen, zu erarbeiten.

1. Geschichte der Lichtsteuerung

1.1. Die Antike

Da die Geschichte der Lichtsteuerung im Grunde ihren Anfang im Theater nahm, wird hier zunächst auf den Ursprung des Theaters eingegangen.

Das griechische Amphitheater gilt als die Wurzel des europäischen Theaters. Hier konnten die Zuschauer die ersten Aufführungen unter freiem Himmel erleben. Die Zuschauerränge waren halbkreisförmig, nach außen ansteigend, um die Bühne angeordnet.¹ Da die Aufführungen am Tag statt fanden und oft auch über mehrere Stunden gingen, bediente man sich des Tageslichtes und der natürlichen Lichtsteuerung durch die Sonne.

1.2. Bei den Römern

Auch die Römer blieben bei dem Konzept der Griechen. Sie entwickelten neben dem Amphitheater das Kolosseum, wo die Spielfläche von Zuschauern umringt wurde. Das Kolosseum bei den Römern wurde weniger für szenische Aufführungen genutzt. Hier wurden Gladiatorenkämpfe



Abb. 1.1. Das Kolosseum in Rom

ausgetragen und große Schlachten der Kriegsgeschichte nachgespielt. Das Kolosseum in Rom fasste bis zu 50.000 Zuschauer. Es wurde im ersten Jahrhundert durch Kaiser Vespasian errichtet.² Diese Variante des Arena-Theaters findet man heute noch im Zirkus. Teilweise wird das Konzept der von allen Seiten einsehbaren Bühne auch für moderne Bühnengestaltungen im Konzertbereich verwendet.

¹ Bruno Grösel, Bühnentechnik, S. 9

² <http://de.wikipedia.org/wiki/Kolosseum> vom 20.11.2007

1.3. Im Mittelalter

Im Mittelalter war das Theater durch die Kirche geprägt. Die Aufführungen fanden auf Plätzen oder in Kirchen statt. Dadurch, dass der Inhalt der Stücke sich auf Mystisches und Passionsspiele fokussierte, waren die Bühnen häufig in die drei Bereiche Hölle, Erde und Himmel aufgeteilt. Die weltlichen Aufführungen wurden in Scheunen und anderen Gebäuden der einfachen Bevölkerung aufgeführt. Die Aufführungen fanden, auch in dieser Zeit, meistens bei Tageslicht statt. Lediglich die bunten Kirchenfenster hatten einen gestalterischen Effekt. Sie tauchten das Innere der Kirchen in verschiedene Farben und symbolisierten die Schönheit Gottes.³

1.4. Das 16. Jahrhundert

Ab dem 16. Jahrhundert entwickelte sich eine Spielkultur in extra dafür vorgesehenen Räumen. In dieser Zeit entstanden auch die ersten Lampen zur Beleuchtung der Bühne. Seit dieser Zeit kann man von den Anfängen der Bühnen-Beleuchtung sprechen, wie wir sie heute kennen.⁴

Um den Raum besser zu nutzen, erfand man das Rang-Theater, wo bis zu sechs Ränge übereinander von der einen Seite bis zur anderen reichten.

1.5. Das 17. Jahrhundert

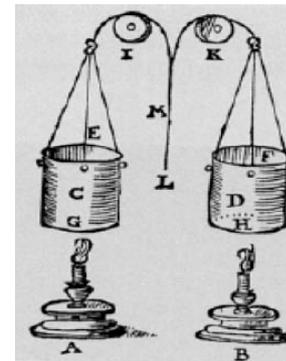
Im 17. Jahrhundert wurden die Bühnen mit den ersten Laternen beleuchtet, die entweder mit Kerzen oder auf Ölbasis funktionierten. Der Trend bewegte sich in die Richtung der Guckkastenbühne, wie wir sie heute kennen. Nicola Sabbattini (1547 – 1654) beschreibt in seinem Buch über die Theatertechniken die ersten Möglichkeiten, das Licht an der Lampe oder durch Verdunkeln der Fenster zu verändern. Er schlägt auch die erste Steuerung der Lampen vor. Es könnte ein Docht von jeder Lampe zur nächsten geführt werden und so eine relativ zeitgleiche Zündung bestimmter Lampen erfolgen.⁵

3 Max Keller, Faszination Licht, S. 16

4 Max Keller, Faszination Licht, S. 16

5 Max Keller, Faszination Licht, S. 17

Die Dimmung war neben der Zündung das zweite große Problem. Zur Begrenzung des Lichtaustrittes wurden Voll- oder Halbzylinder über die Lampen gestülpt, um so die Helligkeit zu vermindern. Wie auf Abbildung 1.2. zu sehen ist, wurde durch ein Seil die Höhe des Zylinders über der Kerze bestimmt und so die Helligkeit variiert.



In Deutschland trug Joseph Furttenbach (1591 – 1667) maßgeblich zur gezielten Bühnenbeleuchtung bei. Er führte unter anderem Spiegel in die Beleuchtungstechnik ein, damit die Zuschauer nicht geblendet wurden.⁶

1.6. Das 18. Jahrhundert

Das 18. Jahrhundert war das Jahrhundert der Aufklärung. Der Inhalt der Stücke, die im Theater gespielt wurden, war sozialkritisch und freiheitlich orientiert. Es war das Jahrhundert der großen Dichter, wie Goethe, Schiller und Lessing.⁷

1.7. Das 19. Jahrhundert

Ende des 18. Jahrhunderts wurde die erste Gasbeleuchtung erfunden und ab 1803 auf der Bühne eines Londoner Theaters eingesetzt. Die Regulierung des Gases durch Absperrventile bewirkte eine Änderung der Helligkeit. Durch die Gasbeleuchtung und die Regulierung des Gases war es zum ersten Mal gut möglich, die Helligkeit mehrerer Lampen auf einmal zu verändern. Scheinwerfer konnten in Gruppen zusammengefasst werden, und durch das gezielte Öffnen eines bestimmten Ventils konnte somit die Lichtstimmung auf der Bühne verändert werden. Als erstes deutsches Theater wurde die Semperoper 1841 mit Gasbeleuchtung ausgestattet.⁸

⁶ Max Keller, Faszination Licht, S. 17

⁷ <http://www.planet-wissen.de/pw/Artikel,,,,,,,,,0EE4014D1A725F6EE0440003BA5E08D7.html> vom 22.11.2007

⁸ <http://www.gasgeschichte.de/geschichte.html> vom 20.11.2007

Ab dem 19. Jahrhundert änderte sich auch das Berufsbild im Theater. Beim Einsatz von Öllampen mussten die Laternen nach jeder Vorstellung gesäubert werden, somit entstand der Beruf des Lampenputzers. Mit dem Einsatz der Gasbeleuchtung verschmutzten die eingesetzten Lampen nicht mehr so stark, und die Beleuchtung konnte durch das leichtere Zusammenfügen von Gruppen gezielter eingesetzt werden. Der Beruf des Beleuchters war entstanden.

Mit der Erfindung der Kohlenfaden-Glühlampe im Jahre 1879 von T. A. Edison (1847 – 1931) erhielt die elektrische Beleuchtung Einzug in die Bühnenbeleuchtung. Die ersten brauchbaren Kohlenfaden-Glühlampen wurden 1882 bei der internationalen Elektrizitätsausstellung in München vorgeführt, und 1885 war bereits das Residenztheater München mit elektrischer Beleuchtung ausgestattet.

Seit 1888 wurde die elektrische Beleuchtung durch Flüssigkeitswiderstände und Wasserwiderstände reguliert. Es konnten erstmals problemlos verschiedene Helligkeitswerte durch die Begrenzung des Stromes erreicht werden.

Bei den Flüssigkeitswiderständen wird die Stromdurchflussmenge durch die Höhenverstellung der Elektroden in einem Topf voller Salzlösung reguliert. Wasserwiderstände funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip. Hier bestimmt die Wassermenge zwischen zwei Kontakten den Widerstand. Je mehr Wasser zwischen den beiden Kontakten, desto höher ist der Widerstand.⁹

⁹ Prof. Roland Greule, Lichtsteuerung von 1550 – 1982, S. 3

1.8. Das 20. Jahrhundert

1927 löste der Stelltransformator die veränderbaren Widerstände in der Lichtsteuerung ab. Anstatt die Lampen mit der Stromzufuhr zu begrenzen, wurde die Spannung durch die Transformatoren verändert.

1.8.1. Das Bordoni-Stellwerk

Im Jahre 1929 entwickelte der Italiener Bordoni, das nach ihm benannte Bordoni-Stellwerk. Es wurde erstmals von Siemens auf den Markt gebracht.

Hier erfolgte die Stromabnahme über bewegte Schlitten. Die Regelschlitten waren über Drahtseile mit Regelhebeln verbunden. Die Regelhebel konnten entweder einzeln oder mit Hilfe einer Zahnradwalze gemeinsam bewegt werden. Der Regelschlitten bestimmte durch



Abb. 1.3. Bordoni-Stellwerk

seine Stellung die Sekundärspannung des Regeltransformators. Mit Bordoni-Stellwerken konnten bis zu 64 Stromkreise gesteuert werden.¹⁰ Sie wurden bis 1957 im Festspielhaus in Bregenz und bis in die 90er Jahre in kleineren Spielstätten eingesetzt.

1.8.2. Die Thyatronröhren

Ab dem Jahr 1937 wurde die Thyatronröhre in der Lichtsteuerung eingesetzt. Die Thyatronröhre ist eine Röhre, die mit einem Gas gefüllt ist. Sie kennt die Zustände „Gesperrt“ und „Gezündet“. Ist eine Röhre gezündet, kann sie nur durch das Herabsetzen der Anodenspannung wieder „gesperrt“ werden.¹¹ Zur Übertragung beider Halbwellen wurden zwei Röhren in Antiparallel-Schaltung verwendet.



Abb. 1.4. Thyatrondimmer

¹⁰ http://www.dthg.de/fachverband/chronik/chronik_stichworte.htm vom 23.01.2008

¹¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Thyatron> vom 23.11.2007

Die Röhren zünden in einem bestimmten Moment und erlöschen beim Null-Durchgang der Welle. Im Prinzip wurde hier die erste Phasenanschnitts-Steuerung realisiert. Ein Impulstransformator zündet die Zündelektrode des Gases. Der Innenwiderstand der Röhre wird niederohmig und ein Kathoden-/Anodenstrom kann fließen. Beim Nulldurchgang der Welle schaltet sich die Röhre wieder ab, und die antiparallel-geschaltete Röhre zündet bei der entsprechenden Zündspannung. Die Röhren wurden in so genannten Röhrenbänken untergebracht. Diese Art der Phasenanschnittssteuerung war sehr anfällig und wurde deshalb von der Phasenanschnittssteuerung mittels Thyristoren ersetzt (Abschnitt 2.3.3).¹²

1.8.3. Der Magnetverstärker

Anfang der 50er Jahre kamen Magnetverstärker in der Lichtsteuerung auf. Magnetverstärker arbeiten nach dem Transformator-Prinzip. Sie bestehen im Prinzip aus zwei Spulen. Der magnetische Fluss zwischen den Spulen wird durch das Verändern des Steuerstroms an der einen Spule verändert, wodurch die Ausgangsspannung verändert wird.¹³

1.8.4. Die ersten Netzwerke

Dadurch, dass die Steuerungen von nun an mit Hilfe von Steuerströmen möglich waren, und die Lastteile nicht mehr über Stahlseile mit dem Stellwerk verbunden sein mussten, konnten Lichtstellpult und Dimmer (Lastteil) räumlich voneinander getrennt werden. Einer Lichtregie mit guter Sicht auf die Bühne stand nichts mehr im Wege. Der Lastteil wurde in die Nähe der Bühne gebaut und so kurze Leitungswege zu den Scheinwerfern ermöglicht. Die Lichtregie im heutigen Sinne war entstanden.

¹² B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 33

¹³ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/1003151.htm> vom 20.01.2008

1.8.5. Die digitale Speicherung

Ende der 50er Jahre wurden auch die ersten digitalen Speicherungen vorgenommen. Auf Lochkarten konnten ganze Vorstellungen gespeichert werden. Die Reihenfolge der Speicherkarten musste beim „Laden“ eingehalten werden.¹⁴



Abb. 1.5. Lichtstellpult der 60er Jahre

Die Abbildung 1.5. zeigt ein Lichtstellpult der Firma ZUT (Anstalt der Theater-einrichtungen), in Polen entwickelt. Gespeichert wurden die eingestellten Stimmungen zunächst noch manuell mit Kreispotentiometern. Später wurde dann mit elektronischen Speicherpulten gearbeitet.¹⁵

1.8.6. Die analoge serielle Ansteuerung

Die analoge serielle Steuerung erfolgte mittels Spannungswerten, die proportional den Intensitäten entsprachen. Lange waren hier Werte zwischen $-10V$ und $+10V$ im Einsatz. 2001 wurde ein von der ESTA entworfener Standard durch in der ANSI E1.3-2001 genormt. Die Normung sagt, dass die Steuerspannungen $0 - 10V$ betragen soll. (Weitere Informationen siehe Absatz 2.2.1.).¹⁶

1.8.7. Die analoge gemultiplexte Ansteuerung

Ende der 70er Jahre entwickelte die Firma Strand Lighting eine der ersten Steuerungen mit analogem Multiplex-Verfahren, das D54. Der Vorteil war, dass die Werte der einzelnen Kanäle jetzt über ein Kabel in zeitlichem Versatz übertragen werden konnten. Beim D54 konnten bis zu 384 Kanäle übertragen werden. Damit der Sender und die Empfänger synchron demultiplexen können, wurde eine separate Leitung mit einem Synchronisationssignal verlegt (Abschnitt 2.2.1.2.).¹⁷

¹⁴ B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 35

¹⁵ gerriets.com/_download/Infotafeln-Museumsgang.pdf vom 23.11.2007

¹⁶ http://www.esta.org/tsp/documents/published_docs.php vom 22.01.2008

¹⁷ <http://strandarchive.co.uk/control/d54/d54.html> vom 02.12.2007

Ein weiteres analoges Multiplex-Signal, welches auf die Firma Strand Lighting zurückgeht, ist das AMX 192. Es wurde ebenfalls Ende der 70er Jahre entwickelt und kann 192 Kanäle übertragen. Auch hier wird eine zusätzliche Signalleitung zur Synchronisierung benötigt (Abschnitt 2.2.1.1.).

Auf Industriebusse, die hier sicher ebenfalls einen Platz verdient hätten, da sie in den 80er Jahren (CAN-Bus) entstanden und in der Unterhaltungsindustrie weit verbreitet sind, wird nicht näher eingegangen. Dies würde an dieser Stelle zu weit führen.

1.8.8. Das erste Moving-Light-Steuerpult

Die Abbildung 1.6. zeigt das erste Moving-Light-Steuerpult. Es wurde im Jahr 1990 von der Firma Morpheus Lights aus den USA gebaut. Es konnte bis zu 60 Moving-Lights steuern und verwendete ein internes Firmenprotokoll. Entwickelt



wurde das Pult Ende der 70er Jahre Abb. 1.6. Das erste Moving-Light-Steuerpult

und wurde vor allem für Touren von Bands, wie Greatfull Dead oder Jefferson Airplane verwendet. In Deutschland war es ab ca. 1993 im Einsatz und begleitete Bands wie die Prinzen. Der Commander 1, wie die offizielle Typenbezeichnung heißt, gilt als das Moving-Light-Pult der ersten Stunde und als Vorläufer des weit verbreiteten Scancommanders von MA-Lighting.¹⁸

Der Scancommander wurde 1992 von MA-Lighting heraus gebracht und wich von den bisherigen Steuerungen ab, da er sich auf die Steuerung von Moving-Lights spezialisiert hatte, und die Steuerung von Dimmern nebensächlich war.¹⁹

¹⁸ geriets.com/_download/Infotafeln-Museumsgang.pdf vom 23.11.2007

¹⁹ http://www.malighting.com/product_history.html?&L=2 com 22.01.2008

1.8.9. Die digitalen Multiplex-Signale

In den 80er Jahren entstanden, mit dem Fortschritt der Digitalisierung, die digitalen Multiplex-Verfahren. Die Vorteile gegenüber den analogen Verfahren sind im Wesentlichen der geringere Verkabelungsaufwand und die größere Störfestigkeit. Bei dem digitalen Multiplexing werden die Dimmerwerte statt in analogen Werten zwischen 0V und 10V, in digitalen Werten, also ausschließlich Nullen und Einsen, übertragen. Einem Kanal kann hier eine gewisse Anzahl an Bits zur Verfügung gestellt werden. Die Anzahl der zu Verfügung gestellten Bits bestimmt die Anzahl der Abstufungsmöglichkeiten. Enthält ein Kanal zum Beispiel 8 Bit, so kann er 256 verschiedene Werte (2^8) annehmen. Da die hier entstandenen Protokolle und Übertragungsstandards teilweise noch im Einsatz sind, werden in Kapitel 2.2. die wichtigsten von ihnen ausführlich behandelt.

1.9. Fazit

Der Überblick über die Geschichte endet an diesem Punkt. Ab hier und gerade ab der Einführung von „intelligenten“ Scheinwerfern, wie Moving-Lights und dem DMX512, vollzog sich ein Umbruch in der Beleuchtungsindustrie. Die Vernetzung wurde durch DMX512 einfacher, und es konnten Geräte verschiedener Hersteller komfortabel vernetzt und gesteuert werden.

Moving-Lights vereinten Dimmer, Motorbügel und Farbwechsler in einem Gerät, was die Handhabbarkeit vereinfachte.

Die in den 80er Jahren entwickelten Standards sind bis heute im Einsatz und haben sich bewährt. Im zweiten Kapitel werden der momentane Stand der Technik und die sich im Einsatz befindlichen Geräte beschrieben.

2. Grundlagen der Lichtsteuerung

Nachdem in Kapitel 1 ausführlich die Geschichte der Lichtsteuerung und die Beleuchtung im Theater beschrieben wurden, wird in diesem Kapitel auf die Grundlagen der heutigen Lichtsteuerung eingegangen.

Die Lichtsteuerung im konventionellen Sinne besteht im Wesentlichen aus drei Teilen. Zum ersten dem Steuerpult, welches in der Lichtregie steht oder zum Einleuchten an anderer Stelle eingesetzt wird. Als zweites seien die Dimmer genannt, die möglichst in kurzer Entfernung zum Scheinwerfer platziert werden. Der dritte Teil beinhaltet die Scheinwerfer. Dieser Aufbau ist Mitte des 20. Jahrhunderts entstanden. Der Weg von der Lichtregie zum Dimmer wird durch die Steuerleitungen zurückgelegt. Auf die Steuersignale wird in Absatz 2.2. eingegangen. Der Weg vom Dimmer zum Scheinwerfer, die Lastseite, sollte möglichst klein sein, da hier hohe Spannungen anliegen und Ströme von mehreren Ampere fließen können. Auch auf die Lastseite wird weiter unten in Abschnitt 2.3. genauer eingegangen. Bei einigen Scheinwerfern, wie zum Beispiel einigen Moving-Lights, können Dimmer und Scheinwerfer in einem Gerät sein, so dass das Steuersignal direkt zum Scheinwerfer geführt werden kann. Auf die verschiedenen Scheinwerfertypen wird nicht näher eingegangen, da dies an dieser Stelle zu weit führen würde.

2.1. Steuerpulte

In diesem Kapitel werden zunächst einige Grundkomponenten eines Steuerpultes vorgestellt. Der Aufbau von Pulten, die auf dem Markt erhältlich sind, ähnelt sich hardwareseitig stark. Softwareseitig können die verschiedenen Fabrikate Besonderheiten aufweisen. Es kann grundsätzlich eine Aufteilung in vier verschiedene Grundarten erfolgen: manuelle Lichtsteuerungen, Speicher-Lichtsteuerungen, Moving-Light-Lichtsteuerungen und Hybrid-Pulte. Jede Art von Pult wird in einem Beispiel beschrieben.

2.1.1. Manuelle Lichtsteuerungen

Als manuelle Lichtsteuerungen werden Pulte bezeichnet, die lediglich eine Regler-Oberfläche haben. Die Werte der Kreise können manuell per Regler verändert werden. Als Beispiel sei hier das in Abbildung 2.1. dargestellte Bolero-Pult der Firma ADB-Lighting genannt. Hier können



Abb. 2.1. ADB-Bolero

über Fader und Tasten die verschiedenen Kanäle angesprochen werden. Eine Speicherung der Showdaten ist nicht möglich.²⁰

2.1.2. Speicher-Lichtsteuerungen

Die Speicher-Lichtsteuerungen können im Gegensatz zu den manuellen Pulten auch Showdaten bzw. Stimmungen speichern. Es können alle Scheinwerfer, die für ein bestimmtes Bild benötigt werden, in die jeweilige Position und Helligkeit gebracht und dann das gesamte



Abb. 2.2. zero88 Jester

Bild abgespeichert werden. Mittels Fader oder Tasten können die gespeicherten Bilder und Stimmungen wieder abgerufen werden. Hierbei muss keine bestimmte Reihenfolge eingehalten werden. Weitere Parameter, wie Überblend-Zeiten, etc. können selbstverständlich mit gespeichert werden. Zusätzlich gibt es noch eine große Palette an Effekt-Möglichkeiten.²¹ Die Abbildung 2.2. zeigt eine Jester-Konsole der Firma zero88. Dieses Pult gibt es mit 24 oder 48 Kanälen/Reglern, an denen eine Stimmung abgelegt werden kann.²² Einige Pulte bieten auch die Möglichkeit, Fader und Tasten doppelt oder mehrfach zu belegen, so dass die Pulte nicht durch eine geringe Anzahl von Fadern auf eine geringe Anzahl von möglichen gespeicherten Stimmungen festgelegt sind.

²⁰ <http://www.adblighting.com/?page=productdetails&cat=5&subcat=23&id=139> vom 14.12.2007

²¹ http://dthg.de/praxis/beleuchtung/lichttechnik/lichtsteuerung/ls05_speicher.htm vom 14.12.2007

²² <http://www.zero88.com/de/products/2/52> vom 14.12.2007

Die Speicher-Lichtsteuerungen bieten neben dem manuellen „Abfahren“ von Stimmungen noch die Möglichkeit einer Fernsteuerung der Show. Per Midi oder SMPTE können Time-Code-Signale die Abfolge der Stimmungen bestimmen. Im Theater ist dies nur in begrenzter Form sinnvoll, da die einzelnen Akte nicht immer dieselbe Länge haben. Bei zeitlich genau definierten Shows kann die Steuerung per Time-Code eine synchrone Abfolge auch verschiedener Gewerke bewirken.

2.1.3. Moving-Light-Steuerungen

Dadurch, dass Moving-Lights teilweise andere Anforderungen an eine Steuerung stellen als konventionelle Scheinwerfer, gibt es auch spezielle Pulte, die sich auf die Steuerung solcher Multifunktionsscheinwerfer spezialisiert haben. Ein Urgestein der Moving-Light- Steuerung ist sicherlich der



Abb. 2.3. MA-Scancommander

Scancommander von MA-Lighting. Die Abbildung 2.3. zeigt den Scancommander. Multifunktionsscheinwerfer benötigen zur komfortablen Steuerung neben den einfachen Reglern zusätzliche Steuereinrichtungen, wie Digitalräder, Encoder oder Trackballs. Kommt auf einer Produktion kein Hybridpult zum Einsatz, gibt es getrennte Pulte für die Steuerung von Moving-Lights und konventionellem Licht.²³

²³ http://dthg.de/praxis/beleuchtung/lichttechnik/lichtsteuerung/ls08_speicher_moving-light.htm vom 15.12.2007

2.1.4. Hybrid-Pulte

Als Hybrid-Pulte werden solche Pulte bezeichnet, die sowohl für Steuerung von Multifunktionsscheinwerfern als auch für konventionelle Scheinwerfer geeignet sind. Der Markt hat sich genau in diese Richtung entwickelt, und die Pulte, die heute überwiegend auf Messen zu sehen



Abb. 2.4. Whole Hog 3

sind, sind Hybrid-Pulte. Die Abbildung 2.4. zeigt eine Whole Hog 3 der Firma Highend-Systems. Moderne Hybrid-Pulte, wie die grandMA oder die Hog 3, steuern neben konventionellen Scheinwerfern und Moving-Lights auch Video-Signale. Hierbei wird ein Medienserver durch das Pult ange-



Abb. 2.5. grandMA Full-Size

steuert, über den dann Videosignale zu den entsprechenden Projektoren gesendet werden. Auf die Vernetzung der einzelnen Komponenten wird in Kapitel 4 eingegangen.

2.1.5. Bedienelemente

Die Abbildung 2.6. zeigt ein Beispiel einer Lichtsteuerung mit einigen wichtigen Funktionen. Das abgebildete Pult ist ein Congo-Pult der Firma ETC GmbH.



Abb. 2.6. beispielhafte Lichtsteuerung

Die Submaster können mit verschiedenen Werten einer Szene (Intensität, Farbe, Position, etc.) hinterlegt werden. Die Fader können bei den meisten Pulten mehrfach in verschiedenen Ebenen belegt werden. Oft gibt es neben den Submaster-Fadern auch Buttons, auf denen Stimmungen gespeichert werden können. Zur besseren Übersicht können bei den meisten Pulten externe Monitore über VGA- oder DVI-Ausgänge angeschlossen werden, oder sie sind fester Bestandteil des Pultes. Die Oberfläche der Monitore kann dabei auf den jeweiligen Operator optimiert werden. Die externen Schnittstellen befinden sich oft auf der Rückseite der Pulte. Hier können Signale wie DMX-in/out, MIDI oder Protokolle zur Anbindung in ein Ethernet-Netzwerk (Art-Net, ACN, etc.) zur Steuerung abgegriffen werden. Für zusätzliche Peripheriegeräte (Maus, externe Festplatte, etc.) ist häufig ein USB-Anschluss vorhanden.

Der Trackball kann entweder als Maus oder direkt für die Positionierung für Moving-Lights verwendet werden. Mit dem Channel-Keypad können einzelne Kanäle direkt über eine Nummer aktiviert werden. Neben einer numerischen Tastatur findet man hier Tasten wie Full oder @, zur direkten Befehlseingabe (22@full = Scheinwerfer 22 geht auf 100% Intensität). Der Grandmaster ist ein Hauptfader, mit dem alle angeschlossenen Scheinwerfer noch einmal in der Intensität geregelt werden können. Eine Ergänzung zum Masterfader wäre eine Black-Out-Taste, mit der die gesamten Intensitäten auf Null gesetzt werden können.²⁴

Das in Abbildung 2.6. abgebildete Congo-Pult hat zusätzliche Merkmale wie:²⁵

- unterstützt bis zu drei Monitore ab einer Auflösung von 1.024 x 768 Pixel
- vier grafische Master-Displays (572 x 90 Pixel)
- LCD-Anzeige zur Programmierung
- numerischer Eingabeblock und Kanalinformationsanzeigen
- bis zu 3.072 Geräte/Kanäle und 6.144 Ausgänge/Parameter
- 2 x DMX512-Direktausgänge, vorbereitet für RDM
- Ethernet (Avab-Protokolle, ETCNet2, ACN Draft 2.0)
- USB-Speicherstick
- Festplattenspeicher
- Import von Shows über ASCII
- MIDI-In und -Out
- potentialfreie Kontakte
- 4 x USB-Anschlüsse (Speicher, Eingabegerät)
- APN-Anschluss (Avab-Peripheral-Network)

²⁴ Prof. Roland Greule, Handout Lichtstellpulte

²⁵ <http://www.etcconnect.com/product.overview.aspx?ID=20015> vom 16.12.2007

Auf der Softwareseite entscheidet die Bedienphilosophie, nach welchen Parametern das Pult bedient wird. Oft kann der Benutzer auch zwischen zwei Modi, wie HTP und LTP, umschalten. HTP bedeutet, dass der höchste Wert zählt und LTP, dass der letzte Wert als der gültige angesehen wird. HTP wäre zum Beispiel sinnvoll bei Intensitäten und LTP bei Bewegungen, Farben oder anderen Attributen. Bei der Speicherung wird entweder im Tracking- oder im Crossfade-Modus gearbeitet.

Der Tracking-Modus speichert jeweils nur die Änderung zu einer vorherigen Szene und der Crossfade-Modus das komplette Bühnenbild. Um die Scheinwerfer mit ihren DMX-Adressen und Scheinwerfer-Nummern in der jeweiligen Installation zu organisieren, werden von den meisten Pult-Herstellern Features angeboten, welche das Patchen und die Organisation vereinfachen.²⁶

2.1.6. PC-Lösungen

Einige Pulthersteller, wie Flying-Pig oder MA-Lighting, bieten eine kostenlose Software-Oberfläche ihrer Pulte zum Download auf ihren Webseiten an. Hier hat man die komplette Bedienoberfläche als grafische Darstellung. Der Operator kann eine komplette Show von Zuhause vorprogrammieren. Neben den On-PC-Lösungen einiger Hersteller gibt es auch Firmen, die sich auf die Lichtsteuerung vom PC oder Laptop aus spezialisiert haben. Die Firma Ecue hat verschiedene Produkte, wie DMX-Ausgabegeräte oder externe Fader-Einheiten entwickelt, die die Steuerung der Lichttechnik vom Laptop oder PC komfortabel ermöglichen.²⁷

²⁶ B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 48

²⁷ <http://www.ecue.tv/nano.28.0.html> vom 16.12.2007

2.2. Steuersignale

Wie in Kapitel 1 – Geschichte der Lichtsteuerung beschrieben, gab es in der Vergangenheit verschiedene Möglichkeiten, die Intensität und andere Parameter, wie die Position eines Scheinwerfers, zu steuern.

Hier werden ausschließlich diejenigen behandelt, die noch im Einsatz sind. Grundsätzlich haben sich auch hier drei Möglichkeiten der Steuerung durchgesetzt, die in historischer Reihenfolge beschrieben werden. Die analoge Ansteuerung, die digitale Ansteuerung sowie neue ethernetbasierte Lösungen. Lösungen auf der Basis von Ethernet werden ab Kapitel 5 gesondert behandelt.

2.2.1. Die analoge Steuerung

Bei der analogen Steuerung wird vom Lichtpult ein Steuersignal generiert, welches in der Regel zwischen 0V und 10V liegt. In der Vergangenheit wurden auch Werte zwischen 0V und 30V verwendet. Mittlerweile normte die USITT die Werte in der ANSI E1.3-2001 auf 0V und 10V. Hierbei entsprechen 0V → 0% Helligkeit und 10V → 100% Helligkeit.

Weitere genormte Werte in der ANSI E1.3-2001:

Normung: 0 – 10V (gemessen an 20kOhm)

Minimalwert: - 0,5V

Maximalwert: + 10,5V

Die Abstufung der einzelnen Werte verläuft linear.²⁸

Mit der analogen Ansteuerung lassen sich neben Dimmern auch andere Geräte, wie motorische Farbwechsler oder Motorbügel steuern. Die analogen Steuersignale lassen sich parallel oder seriell übertragen.

28 USITT BSR E1.3-2001

Die analoge parallele Übertragung sieht für jeden Steuerkanal eine eigene Steuerader vor. Das Steuersignal sieht für 100% einen Steuerspannungswert von 10V und für 0% einen Wert von 0V vor.

Die analoge serielle Übertragung benötigt für mehrere Steuerkanäle nur eine Leitung. Die Werte für die einzelnen Kanäle werden im Zeitmultiplex-Verfahren übertragen. Vor die analogen Dimmer wird ein Demultiplexer geschaltet, welcher das gemultiplexte Signal wieder in die einzelnen Kanäle aufteilt (Steuersignale sind z. B. AMX192, ADBS20, D54).²⁹

2.2.1.1. AMX192

AMX192 kann bis zu 192 Kanäle übertragen. Hier wird neben der Steuerader eine zusätzliche Leitung benötigt, um Sender und Empfänger zu synchronisieren. AMX192 wurde Ende der 70er Jahre entwickelt und Mitte der 80er Jahre von der USITT genormt.³⁰

2.2.1.2. D54

Das D54-Protokoll von der Firma Strand Lighting wurde in den 80er Jahren entwickelt. Hier können bis zu 384 Kanäle übertragen werden. Die Synchronisation zwischen Pult und Gerät findet nicht mehr über eine separate Leitung statt, sondern wird in das Steuersignal eingebunden. Hinter jedem Analogwert ist ein Synchronisationsimpuls in umgekehrter Polarität untergebracht.³¹

²⁹ B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 58

³⁰ <http://staff.fh-hagenberg.at/schaffer/avt3/AVT3-WS0405-Beleuchtungstechnik.pdf> vom 17.12.2007

³¹ <http://strandarchive.co.uk/control/d54/d54.html> vom 17.12.2007

2.2.1.3. ADB S20

Beim ADB S20 können bis zu 240 Kanäle übertragen werden. Wie beim AMX192 werden hier die Analogwerte getrennt von den Synchronisationsimpulsen transportiert.

2.2.1.4. Allgemeines

Die analogen Signale erfreuen sich immer noch einer großen Verbreitung. Gerade in Theatern mit älterer Ausstattung werden noch analoge Protokolle verwendet. Heute ist es auch problemlos möglich, digitale Steuersignale in analoge umzuwandeln, um das vorhandene Equipment weiterhin verwenden zu können.

2.2.2. Die digitale Steuerung

Die Digitaltechnik arbeitet im Gegensatz zur Analogtechnik mit diskreten statt mit kontinuierlichen Werten. Der Wertevorrat beschränkt sich zudem auf zwei Werte, „0“ und „1“, diese entsprechen dem „Low“- und „High“-Pegel. Man spricht von positiver Logik, wenn eine 1 als High- und eine 0 als Low-Pegel eingesetzt werden. Umgekehrt spricht man von negativer Logik.

Die digitale Übertragung beschränkt sich im Wesentlichen auf die serielle Übertragung. Eine parallele Übertragung ist nur selten im Einsatz und eignet sich nur für kurze Distanzen, da die vielen nebeneinander liegenden Leitungen eine kapazitive Wirkung haben, und eine Störung durch die Signale der Nachbarleitung vorkommen kann.

Die digitale, gemultiplexte Signalübertragung arbeitet nach einem ähnlichen Prinzip wie die analoge Übertragung. Die Werte für die einzelnen Kanäle werden hier ebenfalls im Zeitmultiplex übertragen. Die relevanten Protokolle arbeiten mit einer 8-Bit-Auflösung. Es können beispielsweise 256 (0 – 255) verschiedene Werte für die Intensität eingestellt werden. Bei Intensitätswerten von 0 – 100% bedeutet das, dass bei einem Steuerwert von 128 (01000000) der Scheinwerfer mit 50% Intensität leuchtet. Neben der Intensität kann jedes Attribut angesteuert werden. Als Attribute werden diejenigen Parameter bezeichnet, die nicht zur Ansteuerung eines Dimmers verwendet werden. Attribute sind beispielsweise Motorbügel, Farbscroller oder Farbräder, Irisblenden, etc.

Bei den digitalen Steuersignalen hat sich DMX512 durchgesetzt. DMX512 wird in Abschnitt 2.2.3. im Detail beschrieben.

Neben dem DMX512-Signal gibt es weitere digitale Steuersignale. Die wichtigsten sind: AVAB, VMX, SMX, CMX, PMX und FSK.

FSK arbeitet als einziges Signal nicht nach dem Zeitmultiplex-Verfahren, sondern mit Frequenz-Multiplexing. Die Werte Null und Eins werden durch unterschiedliche Frequenzen dargestellt.³² Je nachdem, was für ein Gerät mit dem digitalen Steuersignal angesteuert wird, benötigt man einen Demultiplexer. Wird beispielsweise ein analoger Dimmer angesteuert, wird das digitale Signal vor dem Dimmer demultiplext und in die einzelnen Kanäle aufgesplittet. Wenn nach der digitalen Übertragung ein digitaler Dimmer kommt, kann auf den Demultiplexer verzichtet werden.

³² B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 60

2.2.3. DMX512/1990

Wie im Absatz 2.2.2. beschrieben, gibt es verschiedene digitale Multiplexverfahren. DMX hat sich als das Signal durchgesetzt. Dies liegt nicht unbedingt daran, dass es sich als das beste der beschriebenen Steuersignale herausgestellt hat. Der größte und herausragende Vorteil, den DMX512/1990 gegenüber den anderen Steuersignalen hat, ist, dass es 1986 erstmals von der amerikanischen USITT genormt und 1990 nochmals überarbeitet und in der (USITT DMX512/1990) festgehalten wurde.

Die deutsche DIN beschäftigte sich bis zum Jahr 2000 mit dem Thema DMX512/1990 und brachte nach zehnjähriger Beratung die DIN 56930-2 heraus.³³ In der DIN 56930-2 sind alle relevanten Werte niedergeschrieben. Durch die Norm konnten verschiedene Hersteller Geräte produzieren, die DMX senden oder empfangen können. Es können DMX-Netzwerke aufgebaut werden, in denen Geräte verschiedenster Hersteller eingebunden sind und die ohne Probleme miteinander kommunizieren können.

Hier einige Auszüge aus der DIN 56930-2:³⁴

- 512 Kanäle
- Auflösung von 8 Bit (256 Schritte)
- Signalpegel nach RS 485, Sende- und Empfangsschaltungen, Verstärker
- Leitungen mit 2 x 2 x 0,23 paarig verseilt (CAT5 STP), Abschlusswiderstand 120 Ohm/0,25 W, maximale Kabellänge 1.200 m
- maximal 32 Empfänger
- Datenrate 250 kbit/s, 22,67 ms Zyklusdauer, Wiederholung 44,11 Mal pro Sekunde
- Als Steckverbinder sollen nur XLR 5pol verwendet werden, dabei ist die Buchse die Empfangsseite und der Stift die Senderseite.

³³ <http://wapedia.mobi/de/DMX-Signal> vom 10.01.2008

³⁴ DIN 56930-2

Das DMX-Protokoll sieht folgendermaßen aus:

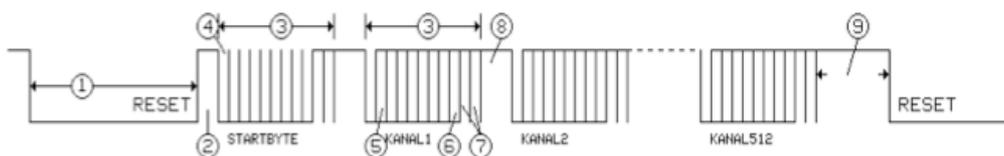


Abb. 2.7. Das DMX-Signal

Nr.	Signalname	Min. Länge	Typ	Max.	Einheit
1	RESET	88	88		µs
2	MARK zwischen RESET und Startbyte	8	-	1s	µs
3	Frame-Zeit	43,12	44,0	44,48	µs
4	Starbit	3,92	4,0	4,08	µs
5	LSB (niederwertigstes Datenbit)	3,92	4,0	4,08	µs
6	MSB (höchstwertigstes Datenbit)	3,92	4,0	4,08	µs
7	Stoppbit	3,92	4,0	4,08	µs
8	MARK zwischen den Frames (Interdigit)	0	0	1,00	s
9	MARK zwischen Paketen	0	0	1,00	s

35

Ein Kanal wird mit einem Startbit (logisch 0) begonnen, dann kommen die 8Bit-Informationen. Am Ende stehen immer zwei Stoppbits (logisch 1).

2.2.3.1. Stecker und Steckerbelegung

Wie oben in Absatz 2.2.3. beschrieben, ist sowohl in der amerikanischen USITT-Norm als auch in der DIN-Norm festgeschrieben, dass für die Übertragung von DMX-Daten 5-polige XLR-Stecker verwendet werden sollen. Dabei ist die Belegung der einzelnen Pole folgendermaßen:

Pin 1 = Masse (Abschirmung)

Pin 2 = Data - (DMX -)

Pin 3 = Data + (DMX +)

Pin 4 und Pin 5 sind belegt aber in der DIN 56930-2 nicht verwendet.

Der 3-polige XLR-Stecker funktioniert technisch genauso wie der 5-polige. Genormt und somit als DMX512/1990 dürfen aber nur Geräte bezeichnet werden, die mit dem 5-poligen Stecker ausgestattet sind.³⁶

2.2.3.2. Kabel

Da DMX ein digitales Signal ist, unterliegt die Übertragung der Daten den nachrichtentechnischen Gesetzen. Bei einer Datenrate von 250 kbit/s haben wir eine Grundfrequenz von 125 kHz. Um eine gewisse Flankensteilheit des Rechtecksignals zu gewährleisten, müssen einige ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz mit übertragen werden (Fourier-Transformation).

Durch Reflexionen, die am Ende eines Kabels oder an Materialübergängen (Stecker) entstehen können, bilden sich Störsignale. Die Störsignale können sich mit dem Nutzsignal überlagern und so das eigentliche Signal für den Empfänger unbrauchbar machen. Die Überlagerung hängt sehr stark von den Eigenschaften des Kabels (Frequenzgang, Wellenwiderstand, Länge) ab. Die Reflexionen am Ende einer Leitung können durch entsprechende Terminierung unterbunden werden.

³⁶ DIN 56930-2

Der Abschlusswiderstand muss den Wert des Wellenwiderstands des Kabels haben. Laut Norm sollen nur Kabel mit einem Wellenwiderstand von 120 Ohm eingesetzt werden. Der Abschlusswiderstand muss dementsprechend ebenfalls 120 Ohm betragen. Sollte sich das Signal durch extrem lange Leitungswege dennoch so verändern, dass die letzten Empfänger es nicht mehr identifizieren können, kann das Signal durch einen DMX-Booster wieder aufgefrischt werden.³⁷

2.2.4. DMX-A

DMX-A ist eine weitere Überarbeitung des DMX-Signals durch die USITT, die in der ANSI E1.11-Norm festgehalten wurde.

In diesem Standard sind einige Erweiterungen zu DMX512/1990 niedergeschrieben, die sich im praktischen Gebrauch der letzten Jahre ergeben haben oder für sinnvoll erachtet wurden.

Es wurden folgende Festlegungen getroffen:

- Der neue Standard ist voll abwärts kompatibel. Das Equipment von DMX-A arbeitet genauso mit dem des DMX512/1990-Standards.
- DMX-A definiert einen höheren elektrischen Schutz für die Daten-Verbindung. Es wird unter anderem eine galvanische Trennung auf der Sender- wie auch auf der Empfängerseite, vorgeschrieben.
- Die in der DIN 56930-2 noch ausdrücklich nicht definierte elektrische Isolation³⁸ wird in der E1.11-Norm der ANSI ersetzt. Die ANSI beschreibt detailliert, wie die Isolation und der Schutz gegen gefährliche Körperströme aufzubauen ist. Geräte, die nach der überarbeiteten Version isoliert sind, können mit der Aufschrift „DMX-A Protected“ versehen werden.³⁹ Durch die verbesserte elektrische Isolation besteht nicht mehr so große Gefahr, beispielsweise bei einem Blitzeinschlag.
- Spezielle Erdungstechniken sind weiter erlaubt, da viele Kompatibilitätsprobleme durch schlechte Erdungspraktiken entstehen.

³⁷ <http://www.soundlight.de/techtips/dmx512/dmx512.htm> vom 16.10.2007

³⁸ DIN 56930-2, S. 3

³⁹ ANSI E1.11, S. 13

- Pin 4 und 5 können nicht länger für beliebige Signale verwendet werden. Wenn sie benutzt werden, dann nur für RS485-Daten. Es sind vier verschiedene Möglichkeiten definiert, bidirektionale Verbindungen aufzubauen. Die bidirektionalen Verbindungen können auch durch veränderte Startbytes keine DMX512-Daten enthalten.⁴⁰ Die vier verschiedenen Möglichkeiten werden in der Abbildung 2.8. dargestellt.

	Optionales Symbol	Beschreibung
1		Halbduplexe EIA-485-A-Signale. Es können Pin 2/ 3 jeweils für Verbindungen mit alternativen Startbytes verwendet werden. Über PIN 4 und 5 findet keine Datenverbindung statt.
2		Unidirektionale Verbindungen jeweils über PIN 2/3 und Pin 4/5. Es können jeweils auf einem Übertragungskanal DMX512-Daten in eine Richtung übertragen werden.
3		Unidirektionale Übertragung von EIA-485-A Daten über PIN 2/3 und halbduplexe Verbindungen über Pin 3/4.
4		Halbduplexe Verbindungen über Pin 2/3 und 4/5. Übertragungen mit alternativen Startbytes können über PIN 2/3 erfolgen.

Abb. 2.8. Verschiedene Verbindungsmöglichkeiten bei DMX-A

- Während in der DMX512 1990er Fassung das Verwenden von anderen Startbytes außer Null nicht erlaubt war, ist mit den DMX-A-Neuerungen ein Einsatz bestimmter alternativer Startbytes erlaubt. Veränderte Startbytes können beispielsweise dazu verwendet werden, Software-Updates oder andere Daten, wie beispielsweise Texte für ein Display, über das DMX-Netzwerk zu den Endgeräten zu versenden. Hierzu wurden in der ANSI E1.11 klare Definitionen vereinbart. Firmen, die sich für alternative Startcodes registrieren lassen wollen, müssen sich bei der ESTA melden. Die wichtigsten Definitionen sind in der Abbildung 2.9. zusammengefasst.⁴¹

40 ANSI E1.11, S. 37

41 ANSI E1.11, S. 42

- Hersteller-ID: wie in Abbildung 2.9. zu sehen, kann ein Hersteller-ID-Startbyte dafür sorgen, dass nur die Geräte dieses Herstellers Daten empfangen, während alle anderen Netzwerkteilnehmer die Daten ignorieren. Wenn der Startbyte 145 übertragen wird, sind die beiden nächsten Bytes die Hersteller-ID. Stimmt die Hersteller-ID mit der eines Gerätes überein, werden die folgenden Daten empfangen, andernfalls werden die Daten ignoriert, als wenn sie an eine andere DMX-Adresse adressiert wären. Die Hersteller-IDs werden ebenfalls von der ESTA vergeben und können dort registriert werden.⁴²

Alternative Startcodes:

Dezimal	Aufgabe	Bemerkung
23	Text-Paket	Hier können Textdateien im ASCII-Format zur Diagnose übertragen werden.
85	Text-Paket	
144	Für zukünftige Anwendungen reserviert.	
145	2 Byte Herstellerkennung	Erkennt ein Gerät durch die Herstellerkennung seinen Hersteller, verarbeitet er die folgenden Daten, alle anderen ignorieren diese.
146 – 169	Für zukünftige Anwendungen reserviert.	
171 – 205	Für zukünftige Anwendungen reserviert.	
207	System-Informationen	
240 – 247	Experimenteller Gebrauch bis die Hersteller sich für die alternativen Startbytes registriert haben.	

Abb. 2.9. Alternative Startcodes

Es gibt Bestrebungen, DMX-A-Daten via Ethernet über eine ACN-Architektur zu übertragen, hierauf wird in Abschnitt 7.8. des Kapitels über ACN näher eingegangen.

2.2.5. RDM

RDM steht für Remote-Device-Management und wurde in der ANSI E.1.20-Norm für die bidirektionale Kommunikation über eine DMX-Verbindung definiert.

Die RDM-Signale können wie die DMX-Signale über Pin 2 und 3 übertragen werden. Diese Art der Verkabelung hat den Vorteil, dass keine vorhandene Leitungsinfrastruktur verändert werden muss. Lediglich die Schaltungen in den Geräten müssen verändert werden, so dass die Leitungen abgehört werden, um zu prüfen, in welche Richtung die Signale empfangen bzw. weitergegeben werden müssen. Ein weiterer Vorteil der Verwendung von Pin 2 und 3 ist, dass einige Hersteller ihre Geräte schon auf eine bidirektionale Verbindung vorbereitet haben und diese ebenfalls auf Pin 2 und 3 liegt. Solche Hersteller, wie zum Beispiel Martin oder HES, brauchen ihre Geräte nur noch softwaretechnisch upzudaten.⁴³

RDM bietet folgende Vorteile:

- Die Konsole kann die Basis-Adresse des Scheinwerfers bestimmen.
- Das Pult kann das DMX-Kabel nach allen angeschlossenen Geräten abhören und diese patchen.
- Das Pult kann alle Attribute des Scheinwerfers direkt vom Scheinwerfer downloaden, so dass eine Bibliothek nicht in letzter Minute upgedatet werden muss.
- RDM-Geräte können Fehler- und Statusmeldungen an das Pult zurücksenden.
- Mit der Möglichkeit, bidirektional zu kommunizieren, ist es viel einfacher, DMX-Geräte in größere Netzwerke, die mit Art-Net oder ACN laufen, zu integrieren.⁴⁴

⁴³ Artistic Licence, What is RDM

⁴⁴ <http://www.artisticlicence.com/WebSiteMaster/App%20Notes/appnote005.pdf> vom 16.10.2007

RDM nutzt die in den DMX-A (ANSI E1.11-Norm) definierte Möglichkeit, veränderte Startcodes zu verwenden. Des Weiteren hat jedes RDM-Gerät eine einmalige Identifikation, die aus der Hersteller-ID und einer Seriennummer besteht. Dadurch kann jedes Gerät speziell angesteuert werden, oder wie bei DMX-A in Gruppen von Herstellern, durch die Hersteller-ID kommunizieren.

Will ein RDM-Gerät etwas zur Steuerung senden, wird die Richtung der Kommunikation geändert, und das Steuerpult muss auf Empfang umschalten.

Damit die bidirektionale Kommunikation problemlos funktioniert, sind in der E1.20-Norm bestimmte Leitfenster definiert, in denen das Pult die Leitung nach ankommenden Daten abhören muss.

Geräte wie Splitter oder Merger müssen dem neuen Standard entsprechen, da ansonsten die bidirektionale Kommunikation nicht möglich wäre.⁴⁵

Zu RDM gibt es ebenfalls Bestrebungen, Datenpakete über eine ACN-Architektur zu übertragen.

⁴⁵ [http://en.wikipedia.org/wiki/RDM_\(lighting\)](http://en.wikipedia.org/wiki/RDM_(lighting)) vom 24.01.2008

2.3. Lichtsteuerung auf der Lastseite

Das Steuersignal, welches von einem Pult generiert und herausgegeben wird, steuert die Betriebsmittel. Die Betriebsmittel können ganz unterschiedliche Funktionen haben. Gesteuert werden nicht nur Dimmer und Multifunktionscheinwerfer, sondern auch bühnentechnische Einrichtungen oder Raumfunktionen, wie Verdunklungen oder Ähnliches. Bei der Steuerung von bühnentechnischen Einrichtungen müssen spezielle Sicherheitsvorschriften, wie die BGV C1, eingehalten werden. Die Lastseite beginnt in jedem Fall da, wo das Steuersignal empfangen wird und das endgültige Betriebsmittel seine entsprechende Spannung bekommt. Welche Spannung an den Betriebsmitteln anliegt und wie diese erzeugt wird, liegt an der verwendeten Dimmertechnologie. In diesem Abschnitt werden verschiedene Möglichkeiten der Dimmung beschrieben.

Die wichtigsten Dimmertechnologien sind:⁴⁶

- Spannungssteuerung
- Stromsteuerung
- Phasenanschnittsteuerung
- Phasenabschnittsteuerung
- Amplitudensteuerung mittels Transistor-Dimmer

2.3.1. Die Spannungssteuerung

Die Spannungssteuerung wird mittels Stelltransformator realisiert. Hier wird die Amplitude der Netzspannung verkleinert. Die Fläche unter der Kurve entspricht der Energie. Wird die Amplitude verkleinert, so verkleinert sich auch die Fläche unter der Kurve, und dem Scheinwerfer wird eine kleinere Spannung zur Verfügung gestellt. Eine niedrigere Spannung bringt eine geringere Helligkeit bzw. eine niedrigere Intensität mit sich. Der erste Vertreter dieses Prinzips war das Bordoni-Stellwerk, welches in Abschnitt 1.8.1. beschrieben wurde.

Die Spannungssteuerung hat einen hohen Wirkungsgrad und ist motorisch sowie von Hand verstellbar. Der Leistungsbereich geht bis 5 KW.

⁴⁶ B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 26

2.3.2. Die Stromsteuerung

Bei der Stromsteuerung wird der Strom mittels veränderlichem Ohmschen Widerstand oder induktivem Widerstand geregelt. Die Stromsteuerung ist nur für einzelne Scheinwerfer geeignet. Ihr schlechter Wirkungsgrad und das Verwenden von Verschleißteilen wirken sich ebenfalls nachteilig auf die gesamte Performance der Stromsteuerung aus.

2.3.3. Die Phasenanschnittsteuerung

Die Phasenanschnittsteuerung wird mittels Thyristor oder Triac realisiert. Der Thyristor ist dabei das hochwertigere Bauteil, und der Triac wird eher in preiswerteren Dimmern verbaut.

Das Prinzip der Phasenanschnittsteuerung beruht auf dem Abschneiden von Teilen einer Sinuswelle. Der Thyristor schaltet mit einer Schaltzeit von 2 – 3 μ s Teile der positiven und negativen Halbwelle ab. Dadurch verringert sich die Fläche unter der Kurve und somit der Energiegehalt, der bei dem Scheinwerfer ankommt.⁴⁷

Durch das harte Anschneiden der Welle können Verzerrungen entstehen, die sich als hochfrequente Störsignale in Netzen der Ton- und Videotechnik wiederfinden können. Deshalb ist eine strikte Trennung dieser Netze unbedingt nötig. Um die hochfrequenten Störungen zu vermeiden, kann ein induktiver Ballast, d. h. eine Drosselspule oder Siebdrossel, die Schaltzeiten der Thyristoren von 2 – 3 μ s auf bis zu 500 μ s verlängern. Durch das sanftere Abschneiden entstehen weniger hochfrequente Verzerrungen.

⁴⁷ J. Mueller, Handbuch der Lichttechnik, 3. Auflage, S. 224

Der Vorteil gegenüber der Spannungssteuerung ist der gute Wirkungsgrad und dass lastunabhängig gearbeitet werden kann. Der Leistungsbereich geht von 2,5 KW bis 10 KW.⁴⁸ Die Flankensteilheit des Abschneidens nennt man auch Rise-Time bzw. Anstiegszeit. Der Wert der Anstiegszeit gibt Auskunft über die Qualität des jeweiligen Dimmers. Dimmer im professionellen Bereich sollten eine Anstiegszeit von min. 200 μ s haben. Fernsehstudios arbeiten mit Zeiten zwischen 400 und 600 μ s, und mobile Dimmer haben lediglich Anstiegszeiten von ca. 60 μ s.⁴⁹

2.3.3.1. Phasenabschnittsteuerung

Neben der Phasenanschnittsteuerung gibt es auch die Phasenabschnittsteuerung. Hier wird mittels eines Transistors die Sinuswelle vor einem Nulldurchgang abgeschnitten. Der Transistor hat eine wesentlich längere Schaltzeit und kann somit hochfrequente Störungen vermeiden. Die Eigenschaften ähneln der Phasenanschnittsteuerung. Beim Phasenabschnitt kann ein guter Wirkungsgrad erreicht werden, es wird lastunabhängig gearbeitet, und Transistoren sind wie Thyristoren klein und leicht. Es können jedoch nur Leistungen von 1,2 – 2,3 KW verarbeitet werden.⁵⁰

2.3.3.2. Amplitudensteuerung mittels Transistor

Die durch Phasen- und -abschnittsteuerung entstehenden Oberschwingungen, die sich als Störfrequenzen auf anderen Leitungen wiederfinden, lassen sich durch Amplitudensteuerung mittels Transistor vermeiden. Neben den Störungen verbrauchen die Oberschwingungen unnötige Energie, was wiederum zu Problemen bei der Installation (höherer Leitungsquerschnitt, etc.) führen kann.

48 B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 12

49 B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 16

50 Prof. Roland Greule, Handout Dimmerarten

Die Amplitudensteuerung ist eine weitere Möglichkeit, die Intensität eines Scheinwerfers zu steuern. Eine sehr gute Möglichkeit der Amplitudensteuerung kann mit einem Transistor-Dimmer erreicht werden. Mittels Pulsweitenmodulation wird die Amplitude der Sinuswelle gesteuert. Hierbei entstehen keine harmonischen Oberwellen, sie sind kurzschlussfest, leicht, leise, und man hat kein Lampenklirren.⁵¹

2.3.3.3. Mechanische Dämmung

Neben der Möglichkeit, die Energiezufuhr eines Scheinwerfers zu steuern, gibt es seit den Anfängen der Lichtsteuerung die Möglichkeit, mechanisch zu dimmen. Mechanische Dimmer werden heute vor allem in Moving-Lights eingesetzt, die aufgrund ihrer Entladungslampen nicht elektrisch gedimmt werden können.

Es können Lamellenverdunkler, Segmentverdunkler, Graukeilverdunkler oder so genannte Katzenaugen eingesetzt werden.

2.4. Die wichtigsten Verbände

Zu den Grundlagen der Lichtsteuerung gehört neben der Technik auch die Organisation der Branche. Es gibt einige amerikanisch Organisationen wie die ESTA, USITT, ANSI, oder auch die deutsche DIN und den VPLT, die Normen, Richtlinien oder Empfehlungen herausgeben.

Im Folgenden werden die wichtigsten dieser Verbände und Organisationen vorgestellt.

⁵¹ B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z. V., S. 12

2.4.1. Die ANSI

Das American National Standard Institute (ANSI) ist die US-amerikanische Stelle für Normung. Die ANSI ist auch der Namensgeber der ANSI-Lumen, einer Einheit zum Messen des Lichtstroms bei Projektoren.

Die ANSI ist im Grunde nur der Herausgeber der Normen, die in anderen Verbänden wie der ESTA erarbeitet werden. Sie ist mit der deutschen DIN bzw. den europäischen Normungsverbänden CEN, CENELIC und ETSI zu vergleichen.⁵²

2.4.2. Die ESTA

Die „The Entertainment Services & Technology Association (ESTA)“ ist ein Verband aus Herstellern aus dem Bereich der Unterhaltungsindustrie in den USA. Es ist eine „Non-Profit“-Organisation und dient dem informellen Austausch zwischen den Mitgliedern und der Weiterentwicklung der technischen Standards. Um firmenübergreifende technische Fortschritte zu machen, bildet die ESTA zu speziellen Themen Gruppen, die sich mit Techniken der Unterhaltungsindustrie beschäftigen und neue Standards entwickeln. Neben dem DMX512-Standard, der in der ESTA entwickelt wurde, wurde hier auch die ACN-Task-Group gebildet, die die E1.17-ACN2006-Norm erarbeitete.⁵³ Da in der ESTA Hersteller vertreten sind, die Normen entwickeln, ist auch die ESTA mit der deutschen DIN zu vergleichen.

Die ESTA aus den USA ist mit der PLASA (Professional Lighting and Sound Association) aus Großbritannien und dem VPLT (Verband für Licht-, Ton- und Veranstaltungstechnik) aus Deutschland und weiteren Verbänden in der World-ETF (Entertainment Technology Federation) organisiert.

⁵² http://de.wikipedia.org/wiki/Normung#Europ.C3.A4ische_Normung vom 23.01.2008

⁵³ <http://www.esta.org/about/index.html> vom 15.01.2008

2.4.3. Die USITT

Das United States Institute for Theatre Technology (USITT) ist wie die ESTA eine Non-Profit-Organisation. Die USITT ist im Bereich Theater tätig und ihre Mitglieder kommen überwiegend von der Anwenderseite.⁵⁴

Man könnte die USITT mit der Deutschen Theater-technischen Gesellschaft dem DTHG vergleichen.

2.4.4. VPLT

Der Verband für Licht-, Ton- und Veranstaltungstechnik besteht aus Firmen, Personen und Interessierten aus der Veranstaltungstechnik-Branche. Der VPLT gibt technische Richtlinien und Merkblätter heraus und arbeitet stark mit den Berufsgenossenschaften zusammen. Weitere Ziele des VPLT sind Aus- und Weiterbildung, Imagepflege, Information und Kontaktpflege der Branche.⁵⁵

Der VPLT hat neben anderen Arbeitskreisen zum Erstellen von Richtlinien auch einen Arbeitskreis Licht, von dem aber momentan (Jan. 2008) keine aktuellen Berichte vorliegen.⁵⁶

2.4.5. World-ETF

In der World-ETF findet der Austausch zwischen den Verbänden auf internationalem Niveau statt. Hier sind die nationalen Verbände wie die ESTA aus den USA, der VPLT aus Deutschland oder der PLASA aus dem Vereinigten Königreich vertreten. Auch die WETF ist eine Non-Profit-Organisation.⁵⁷

54 <http://en.wikipedia.org/wiki/USITT> vom 15.01.2008

55 <http://www.vplt.org/Verband/Ziele.php> vom 23.01.2008

56 <http://www.vplt.org/Verband/Arbeitskreise/Licht.php> vom 23.01.2008

57 <http://www.esta.org/about/worldetf.html> vom 15.01.2008

2.5. Allgemeines

Wie in der Einleitung zu diesem Kapitel beschrieben, würden an dieser Stelle jetzt die verschiedenen Scheinwerfertypen aufgeführt, die angesteuert werden können. Die Beschreibung einzelner Scheinwerfertypen würde aber an dieser Stelle zu weit führen. Die Teilnehmer einer Netzwerkinstallation werden in Kapitel 5 beschrieben.

3. Grundlagen der Netzwerktechnik – OSI-Modell

Das Bestreben, einzelne Rechner miteinander zu vernetzen, gibt es schon seit den Anfängen der Computertechnik.

Der Begriff Netzwerke kommt eigentlich aus der Mathematik und beschreibt einen Graphen, der aus einer Menge von Knoten, Maschen und Kanten besteht. So ein Netz kann man mit einem Fischernetz vergleichen, wo einzelne Maschen aus mehreren Knoten bestehen.⁵⁸

In der Computertechnik wurden einige Begriffe aus dem mathematischen Netz übernommen. Ein Netzwerkknoten beschreibt eine Komponente, die einen Netzwerkanschluss hat, also an ein Netzwerk angeschlossen werden kann. In Kapitel 5 werden einige Netzwerkknoten aus der Lichttechnik genauer beschrieben.

Rechnernetze sind ein Zusammenschluss von mehreren Knoten, die eine Masche ergeben. Mehrere Maschen, im Prinzip kleine Netze, ergeben ein großes Netz. Die meisten kleinen Netze sind weltweit über das Internet zu einem großen World-Wide-Web zusammengeschlossen.

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Netzwerken. Entweder wird zwischen zwei Teilnehmern eine direkte Verbindung aufgebaut (peer-to-peer) oder es sind mehrere Teilnehmer an einer Leitung angeschlossen (Broadcast). Beide Formen sind oft miteinander kombiniert und bilden zusammenhängende Netzwerke. Auch in Broadcast-Netzen ist es möglich, eine peer-to-peer-Verbindung aufzubauen. Werden Datenpakete nur an einen Knoten versendet, spricht man neben peer-to-peer-Verbindungen auch von Unicast-Verbindungen.

Da bei Broadcast-Verbindungen immer an alle Knoten Daten versendet werden und dadurch auch Teilnehmer Daten bekommen, die gar keine haben wollen, gibt es eine weitere elegante Möglichkeit, Daten in einem Broadcast-Netz zu versenden, und zwar die Multicast-Verbindungen.

⁵⁸ <http://de.wikipedia.org/wiki/Netzwerke> vom 28.12.2007

Bei Multicast-Verbindungen werden in einem Broadcast-Netz bestimmte Teilnehmer ausgewählt, an die dann Pakete versendet werden. Dies hat den Vorteil, dass keine unnötigen Informationen durch das Netz gesendet werden und dadurch die Bandbreite verringern.

Gerade bei Netzwerken im Bereich der Lichttechnik ist es wichtig, die Echtzeitfähigkeit eines Netzes zu gewährleisten. Anderenfalls wären beispielsweise synchrone Bewegungen von verschiedenen Moving-Lights nicht möglich. Multicast wird in Absatz 3.7.2.4. näher beschrieben, wobei es eine sehr umfangreiche Technik ist und hier nur oberflächlich erklärt werden kann.

Grundsätzlich lassen sich Netzwerke, bestehend aus Broad- und Unicast-Verbindungen, in drei Arten unterscheiden:

LAN = Lokal-Area-Network. LANs sind lokale Netzwerke mit einer auf wenige Kilometer begrenzten Reichweite. Konventionelle LANs laufen mit Geschwindigkeiten zwischen 10 und 100 Mbps. Neuere LAN-Netzwerke laufen auch mit höheren Geschwindigkeiten.⁵⁹ Broadcast-LANs können als Ring- oder als Bus-System realisiert werden. Im Bussystem ist ein Teilnehmer der Sender und die anderen die Empfänger.

MAN = Metropolitan-Area-Network. Ein MAN, also ein Stadtnetz, ist eine größere Version von einem LAN. Im Gegensatz zu einem LAN werden hier keine Vermittlungselemente eingesetzt, was das Netzdesign vereinfacht.

WAN = Wide-Area-Network. Das WAN erstreckt sich über viele hundert oder tausend Kilometer. Es verbindet Länder und Kontinente. Ein Fernnetz besteht aus vielen Teilnetzen. Die Teilnetze bestehen aus zwei Komponenten. Aus Übertragungsleitungen, die dafür da sind, die Bits zwischen den Teilnehmern zu transportieren und aus Vermittlungselementen, die die Übertragungsleitungen verbinden und die Daten an die entsprechende Ausgangsleitung weiter vermitteln.⁶⁰

⁵⁹ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 25

⁶⁰ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 28

Netze können in verschiedenen Strukturen organisiert sein:

Busstruktur: In einer Busstruktur sind alle Teilnehmer an eine Leitung angeschlossen. Es gibt einen Sender und mehrere Empfänger. Wer senden darf und wer nicht, wird durch einen Vermittlungsmechanismus geregelt, da immer nur ein Signal übertragen werden darf. Das Ende des Bussystems muss entsprechend terminiert sein, um Reflexionen auf der Leitung zu verhindern. Der Vorteil einer solchen Struktur ist die einfache und preiswerte Skalierbarkeit. Nachteile sind die hohe Störanfälligkeit und keine garantierte Bandbreite.⁶¹

Ringstruktur: Die Ringstruktur hat wie das Bussystem nur eine Datenleitung. Alle Teilnehmer sind mit der Datenleitung verbunden und bilden eine Kreisstruktur. Im Gegensatz zur Busstruktur gibt es hier eine gezielte Zugangssteuerung. Ein Token (engl. Zeichen, Marke) dient als Hilfsmittel der Zugangssteuerung. Der Token ist ein Bitmuster, das zwischen den Teilnehmern weitergeleitet wird. Wer den Token hat, darf senden. Die Zeit, die der Token bei jemandem ist, wird begrenzt durch die „Token-Hold-Time“. Ist diese abgelaufen, wird er weitergereicht, und der nächste Teilnehmer hat die Möglichkeit, etwas ins Netz zu senden. Ein klarer Vorteil ist die garantierte minimale Bandbreite. Nachteilig wirkt sich hier die hohe Störanfälligkeit aus.⁶²

Sternstruktur: Alle Teilnehmer sind an einem Verteiler (Switch) angeschlossen. Vorteile dieser Art der Vernetzung sind die geringe Störanfälligkeit und die maximale Übertragungsbandbreite, da jeder Teilnehmer seine eigene Leitung zum Switch hat. Ein Nachteil ist der hohe Installationsaufwand. LANs, die heute installiert werden, basieren auf der Sternstruktur.⁶³

Maschenstruktur. Eine Maschenstruktur besteht aus diversen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen verschiedener Netzknoten. Das Internet ist in dieser Form aufgebaut.

61 <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz1.html> vom 14.11.2007

62 <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz1.html> vom 14.11.2007

63 <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz1.html> vom 14.11.2007

3.1. Allgemeines zum OSI-Modell

Das OSI-Referenzmodell basiert auf einem Vorschlag der International-Standards-Organisation (ISO). Es wurde entwickelt, um einen internationalen Standard für verschiedene Protokolle auf den Weg zu bringen. OSI bedeutet Open-Systems-Interconnection. Es beschäftigt sich damit, offene Systeme miteinander zu vernetzen.

Folgende Prinzipien haben zu den sieben Schichten geführt:

- Eine neue Schicht sollte dort entstehen, wo ein neuer Abstraktionsgrad benötigt wird.
- Jede Schicht sollte eine genau definierte Funktion erfüllen.
- Bei der Funktionswahl sollte die Definition international genormter Protokolle berücksichtigt werden.
- Die Grenzen zwischen den einzelnen Schichten sollten so gewählt werden, dass der Informationsfluss über die Schnittstellen möglichst gering ist.
- Die Anzahl der Schichten sollte so groß sein, dass keine Notwendigkeit besteht, verschiedene Funktionen auf eine Schicht zu packen, aber so klein, dass die gesamte Architektur nicht unhandlich wird.⁶⁴

Aus diesen Grundüberlegungen sind sieben Schichten entstanden:

Schicht	Aufgabe	Name	Einheit
7	Verarbeitung	Anwendungsschicht	APDU
6	Darstellung	Darstellungsschicht	PPDU
5	Sitzung	Sitzungsschicht	SPDU
4	Transport	Transportschicht	TPDU
3	Vermittlung	Vermittlungsschicht	Paket
2	Sicherung	Sicherungsschicht	Rahmen
1	Bitübertragung	Physikalische Schicht	Bit

Abb. 3.1. Das OSI-Schichten-Modell

Jede der OSI-Schichten hat ihre eigene Funktion und Aufgabe. In einem Netzwerk kommunizieren nur die jeweils gleichen Schichten miteinander, d. h. die Transportschicht hat keinerlei Kenntnis von der Sicherungs- oder Vermittlungsschicht.

Jede Schicht bietet der ihr höher gestellten Schicht ihre Dienste an. Die Sicherungsschicht sorgt dafür, dass die Pakete der Vermittlungsschicht sicher übertragen werden. Die physikalische Schicht sorgt dafür, dass die Rahmen der Sicherungsschicht übertragen werden. Dabei weiß die physikalische Schicht nicht, dass in den Rahmen der Sicherungsschicht die Pakete der Vermittlungsschicht enthalten sind.

Die Kommunikation der Schichten untereinander ist durch verschiedene Protokolle geregelt, auf die später im Laufe dieses Kapitels eingegangen wird. Welche Protokolle ein System nutzen kann, wird im „Protokoll-Stack“ beschrieben.⁶⁵

Ein Netzwerk oder ein Netzsystem muss nicht immer alle Schichten verwenden bzw. durchlaufen. Der Profi-Bus verwendet beispielsweise nur die physikalische Schicht, die Sicherungs- und die Anwendungsschicht. Die Schichten 3 bis 6 werden softwaretechnisch in der Anwendungsschicht überbrückt.⁶⁶

⁶⁵ Funktionsweise des Internets, S. z. V., Prof. Dr. N. Martini, S. 9

⁶⁶ www.it-administrator.de/lexikon/protokoll_stack.html 06.12.2007

Die Aufgaben der einzelnen Schichten kann man etwas zusammengefasst auch so darstellen:

Schichten	Aufgaben
Schicht 1	Regelt die physikalische Übertragung (Stecker, Kabel, etc.).
Schicht 2	Regelt die Netzzugangskontrolle (Ethernet, etc.).
Schicht 3	Hier wird das Datenformat geregelt und Netztopologien überwunden.
Schicht 4	Die Adressierung und Transportart wird hier bestimmt (TCP, UDP, etc.).
Schichten 5, 6 und 7	Sind auf der Anwenderseite. Hier wird der Inhalt der Daten in den Paketen bestimmt.

Abb. 3.2. Die Aufgaben der OSI-Schichten

Der Nutzer eines Systems kommt ausschließlich mit den Schichten der Anwenderseite in Berührung. Administratoren eines Netzwerkes kommen mit allen Schichten in Kontakt.

3.2. Physikalische Schicht

Die unterste OSI-Schicht, die physikalische Schicht, ist für die Bit-Übertragung zuständig. Sie lässt sich grob in zwei Bereiche aufteilen. Grundlage der digitalen Datenübertragung ist das Übertragen von Signalen. Die Signale können mathematisch beschrieben werden. Für die Übertragung werden Übertragungsmedien benötigt. Dies können Kupferdrähte, Lichtwellenleiter oder auch die Atmosphäre, als Träger für Funkwellen, sein. Die mathematischen Grundlagen werden hier vorausgesetzt, und es werden ausschließlich die Übertragungsmedien beschrieben

3.2.1. Übertragungsmedien

Die Übertragungsmedien werden unter sich in zwei große Gruppen aufgeteilt. Die terrestrischen und die aerischen Medien. Unter die terrestrischen fallen alle Kupferkabel und Lichtwellenleiter. Als aerische Übertragungsmedien bezeichnet man Funk- und Laserstrahlen.⁶⁷

⁶⁷ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 102

3.2.1.1. Verdrillte Kabel

Das verdrillte Kupferkabelpaar zählt zu den am weitesten verbreiteten Übertragungsmedien. Hier werden zwei ca. 1 mm starke Kabelpaare schneckenförmig miteinander verdrillt. Die Verdrillung und ein zusätzlicher Schirm aus leitfähigem Material dienen zum Schutz gegen Störeinflüsse, wie magnetische Wechselfelder.

Auf dem Markt sind verschiedene Kabel mit verschiedenen Schirmungen vorhanden. Dabei wurden folgende Bezeichnungen eingeführt (XX/YZZ):⁶⁸

XX gibt Auskunft über den Gesamtschirm:

- U = Ungeschirmt
- F = Foliengeschirmt
- S = Geflechtschirm
- SF = Geflecht- und Folienschirm

Y bezeichnet den Schirm der Adernpaare:

- U = Ungeschirmt
- F = Foliengeschirmt
- S = Geflechtsschirm

ZZ steht immer für Twisted-Pair.

Im Folgenden werden die gängigsten Kabel beschrieben:

- UTP-Kabel ist ein ungeschirmter Kabeltyp, der weltweit gerade in Hausinstallationen weit verbreitet ist. Sie sind sehr leicht zu verlegen und dank ihres hohen Frequenzbereichs für viele Anwendungen einsetzbar.⁶⁹
- S/UTP-Kabel haben einen zusätzlichen Geflechtschirm innerhalb der Kunststoffhülse.

⁶⁸ <http://de.wikipedia.org/wiki/Twisted-Pair-Kabel> vom 12.12.07

⁶⁹ <http://www.itwissen.info/?ano=01-007131&id=31> vom 12.12.07

- FTP-Kabel haben um die Adernpaare jeweils einen metallischen Schirm. Durch den zusätzlichen Schirm können sie schwieriger verlegt werden, bieten jedoch, im Gegensatz zu UTP-Kabeln, einen besseren Schutz gegen „Übersprechen“. Bei den FTP-Kabeln gibt es auch Versionen mit Geflechts- oder Folienschirm (S/FTP, F/FTP oder SF/FTP).⁷⁰
- Twisted-Pair-Kabel, wie die verdrehten Kabel auch genannt werden, gibt es in verschiedenen Kategorien. Die Kategorie sagt etwas über die Verdrehungen pro Zentimeter aus.

Die Abbildung 3.3. zeigt die verschiedenen Kategorien der verdrehten Kabel:

Kabeltyp	Spezifikation	Max. Frequenz	Impedanz	Anwendung
STP	IBM Typ 1/9	20 MHz	150 Ohm	4- und 16-Mbit-Token-Ring
UTP-1	EIA/TIA-568 Kat. 1	100 kHz	100 Ohm	analoge Sprachübertragung
UTP-2	EIA/TIA-568 Kat. 2	100 kHz	100 Ohm	IBM-Verkabelung Typ 3 (Sprache)
UTP-3	EIA/TIA-568 Kat. 3	16 MHz	100 Ohm	10BaseT, 100BaseT4, 100VG-AnyLAN, ISDN
UTP-4	EIA/TIA-568 Kat. 4	20 MHz	100 Ohm	16-Mbit-Token-Ring
UTP-5	EIA/TIA-568 Kat. 5	100 MHz	100 Ohm	100BaseT, SONET, SOH
UTP-6	Kat. 6	200 MHz	–	155-MBit-ATM, keine verabschiedete Spezifikation
UTP-7	Kat. 7	600 MHz	–	622-MBit-ATM, Gigabit-Ethernet, keine verabschiedete Spezifikation

Abb. 3.3. Twisted-Pair-Kabel-Kategorien

Die Bandbreite und die Übertragungsgeschwindigkeit liegen an der Länge des Kabels und dem Durchmesser. Die Länge ist durch das Ansteigen des Leitungswiderstands beschränkt und ein großer Nachteil beispielsweise gegenüber Lichtwellenleitern. Über Twisted-Pair-Kabel können sowohl digitale als auch analoge Signale übertragen werden.⁷¹

⁷⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Twisted-Pair-Kabel> vom 12.12.2007

⁷¹ <http://de.wikipedia.org/wiki/Twisted-Pair-Kabel> vom 12.12.2007

3.2.1.2. Koax-Kabel

Als zweites wichtiges Kupferkabel sei hier noch das Koax-Kabel genannt. Das Koax ist besser abgeschirmt als das verdrehte Kabelpaar. Dadurch eignet es sich besser für hohe Entfernungen und schnellere Geschwindigkeiten. Im Inneren des Kabels ist ein relativ steifer Kupferdraht. Um den Kupferdraht ist eine Kunststoffhülle gewickelt, um die wiederum ein Netz aus Kupferdraht gewickelt ist. Der äußere Mantel ist durch einen weiteren Kunststoffmantel geschützt. Das Koax-Kabel wird häufig für Kabelfernsehen genutzt. In der Telefonindustrie muss es zunehmend den Lichtwellenleitern weichen.⁷²

3.2.1.3. Lichtwellenleiter

Die Lichtwellenleiter sind die schnellsten und besten Übertragungsmedien. Die sehr lange Kabellänge und die sehr geringe Störanfälligkeit gegenüber anderen Übertragungsmedien zeichnen Lichtwellenleiter aus. Hier können Signale mit Lichtgeschwindigkeit versendet werden. Die Grenzen der Geschwindigkeit werden nur durch die Schnittstellen zwischen den einzelnen Medien bestimmt.

Ein optisches Übertragungssystem besteht aus drei Teilen. Der Lichtquelle, dem Übertragungsmedium (z. B. Glasfaser) und einem Detektor. Soll zum Beispiel ein „1er-Bit“ übertragen werden, schickt die Lichtquelle einen Impuls über das Medium. Der Detektor erkennt es und gibt es an die entsprechende nächste Komponente weiter. Durch die Brechungen und Reflexionen an den Schnittstellen zur Umgebung würde so ein System aber nicht praxistauglich sein, da in der Faser nur noch konfuse Lichtwellen kreuz und quer schießen. Trifft das Licht in einem bestimmten Winkel auf die Außenhülle, wird es komplett in den Kern zurückgeworfen. Der gesamte Lichtstrahl bleibt auf diese Weise im Lichtwellenleiter. Es werden verschiedene Wellenlängen des Lichtes übertragen. Solche Fasern werden Multimodusfasern genannt.

⁷² <http://de.wikipedia.org/wiki/Koaxialkabel> vom 12.12.2007

Wird der Durchmesser der inneren Faser auf den bestimmten Durchmesser einer Wellenlänge des Lichtes reduziert, breitet sich das Licht ohne Reflexion an einer geraden Linie aus. Die Faser wirkt wie ein Wellenleiter. Lichtwellenleiter, die nur eine Welle übertragen, heißen Einzelmodusfasern oder Monomode-Fasern. Sie brauchen spezielle Sender und können längere Strecken überbrücken.⁷³

3.2.1.4. Drahtlose Übertragung

Die drahtlose Übertragung wird neben der Glasfaser als die zweite zukünftige Übertragungsart vorausgesagt. Heute gibt es schon viele Plätze oder ganze Städte, die mit entsprechenden Sendern ausgestattet sind, so dass man sich überall per Funk- bzw. Wireless-LAN (WiFi) in das Internet oder andere Netze einwählen kann.

Dieser Abschnitt beschreibt die grundlegende Funktion der drahtlosen Übertragung, hat aber keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit. Eine ausgiebige Erklärung der Funktion der drahtlosen Übertragung würde an dieser Stelle zu weit führen.

Schließt man eine Antenne der richtigen Größe an einen elektrischen Stromkreis, können elektromagnetische Wellen effizient ausgestrahlt werden. Ein Empfänger kann sie innerhalb einer bestimmten Entfernung empfangen.

Es gibt bestimmte Verfahren, Signale auf andere Frequenzen zu modellieren. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist die Frequenzmodulation (FM), mit der wir unsere UKW-Radio-Signale empfangen. Bei FM werden die eigentlichen Signale auf eine hochfrequente Trägerfrequenz (bei UKW-Hörfunk 87,5 – 108 MHz) modelliert. Die hohen Frequenzen können besser auf längere Strecken übertragen werden als die tieferen. Beim Radio stellen wir ein, welche Frequenz demoduliert werden soll, und wir können das Signal des entsprechenden Radiosenders hören.

⁷³ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/kom/0301282.htm> vom 12.11.2007

Am Anfang und am Ende eines drahtlosen Übertragungsweges steht immer eine Schnittstelle zum jeweiligen Empfänger bzw. Sender. Die Stecker und Schnittstellen kommen aus unterschiedlichen Bereichen. Übliche und häufig verwendete Schnittstellen sind: RS232, RS485, V.24 sowie ISDN.

Dies ist das Grundprinzip der drahtlosen Übertragung. Näheres über Wireless-LAN wird im Abschnitt 3.5.4. über die IEEE 802-Norm beschrieben.

3.3. Die Sicherungsschicht

Die Sicherungsschicht wird auch als Data-Link-Layer bezeichnet. Sie hat folgende Grundaufgaben:⁷⁴

- Sie ist eine genau definierte Schnittstelle zur nächsthöheren Schicht, der Vermittlungsschicht.
- Die Sicherungsschicht legt fest, wie die Bits bzw. Pakete der Vermittlungsschicht in Rahmen zusammengefasst werden.
- Sie kümmert sich um Fehler bei der Datenübertragung (Fehlerkorrektur).
- Der Datenfluss wird geregelt, so dass verschiedene Geschwindigkeiten der Sender und Empfänger nicht zu Störungen führen.
- Wenn es technisch möglich ist, werden Verbindungen verwaltet.

Die Aufgaben der Sicherungsschicht werden im Folgenden nacheinander beschrieben.

⁷⁴ Prof. Dr. N. Martini, S. z. V., Funktionsweise des Internets, S. 13

3.3.1 Die Schnittstelle zur Vermittlungsschicht

Eine der Hauptaufgaben der Sicherungsschicht ist die Übertragung von Daten der Vermittlungsschicht des Quellrechners zu der Vermittlungsschicht des Zielrechners.

Die echte Datenübertragung erfolgt wie im unten stehenden Bild aufgezeigt. Zur besseren Vorstellung wird in diesem Kapitel davon ausgegangen, dass die Sicherungsschichten der beiden Hosts direkt miteinander kommunizieren.⁷⁵

Von der Sicherungsschicht können verschiedene Dienstarten bereitgestellt werden:

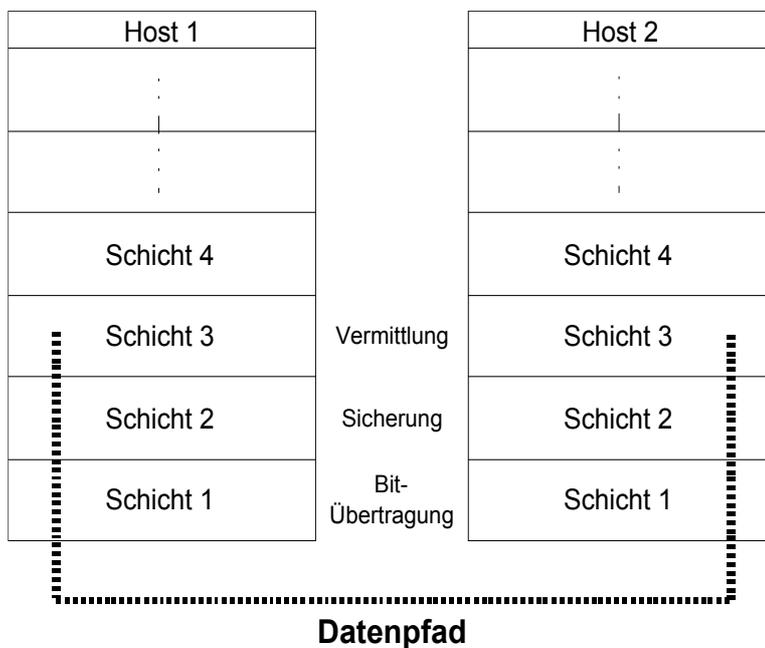


Abb. 3.4. Der Datenpfad durch die Schichten

75 A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 200

3.3.1.1. Unbestätigte verbindungslose Dienste

Bei diesem Dienst werden unabhängige Datenrahmen ins Netz gesendet. Der Sender erhält keinerlei Bestätigung, ob ein Datenrahmen beim Empfänger angekommen ist, oder ob der Datenrahmen fehlerhaft war. Die Fehlerkorrektur wird bei diesem Dienst von höheren Schichten erledigt. Dieser unkontrollierte Dienst wird hauptsächlich in relativ sicheren und fehlerfreien Netzen eingesetzt. Bei Echtzeitübertragungen, wie zum Beispiel Sprache, kommt er ebenfalls zum Einsatz, da hier ein verloren gegangener Rahmen nicht so ausschlaggebend ist wie ein verspäteter.⁷⁶

3.3.1.2. Bestätigte verbindungslose Dienste

Bei den bestätigten verbindungslosen Diensten werden die Daten zunächst verbindungslos ins Netz geschickt. Wenn der Rahmen beim Empfänger angekommen ist, erhält der Sender eine Empfangsbestätigung. Der ankommende Rahmen wird bei diesem Dienst auch auf Fehler untersucht. Ist er korrekt übertragen worden, wird eine Empfangsbestätigung an den Sender versendet. Kommt nach einer festgelegten Zeit keine Empfangsbestätigung beim Empfänger an, wird der Datenrahmen erneut gesendet.

Die Quittierung auf der Sicherungsschicht ist nur eine Optimierung der Verbindung. Die Transportschicht hat die eigentlichen Zügel in der Hand und fordert für sich zusätzlich Bestätigungen für die erfolgreiche Übertragung an.

Die Bestätigung der Rahmen in der Sicherungsschicht kann zu wesentlich längeren Zeiten führen, bis eine Nachricht ihr Ziel erreicht hat. Es ist zu überlegen, ob diese Zeit in Kauf genommen wird. Bei sicheren Netzen, wie beispielsweise Netzen mit Lichtwellenleitern, könnte darauf verzichtet werden. Bei traditionell unsicheren Verbindungen, wie Funkstrecken (WiFi), sollte eher nicht auf die Empfangsbestätigung und den dadurch entstandenen Overhead verzichtet werden.⁷⁷

⁷⁶ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 200

⁷⁷ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 201

3.3.1.3. Verbindungsorientierte Dienste

Hier wird zunächst eine feste Verbindung zwischen Sender und Empfänger aufgebaut. Der verbindungsorientierte Dienst gilt als hochwertigster Dienst. Zuerst wird zwischen Sender und Empfänger eine Verbindung aufgebaut. Es folgt der Austausch von Variablen und Zählern, um herauszufinden, welcher Rahmen als nächstes zu versenden ist. Im zweiten Teil werden die Rahmen in richtiger Reihenfolge an den Empfänger versendet.

Im letzten Teil der Verbindung werden die Puffer geleert, und die Verbindung wird beendet. Jeder abgesendete Datenrahmen ist nummeriert, und die Sicherungsschicht sorgt dafür, dass er auch ankommt. Während bei verbindungslosen Diensten Empfangsbestätigungen verloren gehen können und dadurch Rahmen zweimal ankommen, wird hier jeder Rahmen nur einmal gesendet, und es kommen alle Rahmen in richtiger Reihenfolge in einem kontinuierlichen Bitstrom beim Empfänger an. Die Vermittlungsschicht kann dementsprechend kontinuierlich weiter verarbeiten. Diese Art von Dienst wird bei Funkübertragungen eingesetzt, da diese besonders störanfällig sind.⁷⁸

3.3.2. Rahmendarstellung

Die Sicherungsschicht fasst die Pakete der Vermittlungsschicht in Rahmen zusammen und gibt die Rahmen als Bitstrom an die Bitübertragungsschicht weiter. Bei der Bitübertragung können Fehler entstehen. Bits können verfälscht werden oder verloren gehen, oder sich bei der Übertragung vermehren. Die Aufgabe der Sicherungsschicht ist es, solche Fehler aufzuspüren, sie zu korrigieren oder eine erneute Versendung des fehlerhaften Teils anzufordern. Um bestimmte Bitströme unterteilen und so kontrollieren zu können, stellt die Sicherungsschicht Bits in Rahmen zusammen. Für diese Rahmen werden Prüfsummen berechnet. Beim Empfänger werden die Prüfsummen erneut errechnet und mit den abgesendeten verglichen. Ist ein Rahmen fehlerhaft, wird eventuell eine erneute Anforderung an den Sender geschickt, die entsprechenden Rahmen zu versenden.⁷⁹

⁷⁸ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 201

⁷⁹ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 202

Die vier gängigsten Methoden der Rahmendarstellung sind:

- Zeichenzählung,
- Anfangs- und Endzeichensetzung (Zeichenstopfen),
- Anfangs- und Endflag (Bitstopfen) und
- Manchester-Kodierung.

Eine ausführliche Beschreibung würde an dieser Stelle zu weit führen.⁸⁰

3.3.3. Fehlerüberwachung

Eine der Grundaufgaben der Sicherungsschicht ist die Fehlererkennung und -korrektur. Damit zuverlässige, verbindungsorientierte Dienste funktionieren, und die Sicherungsschicht der Vermittlungsschicht einen zuverlässigen Bitstrom, d. h. die Rahmen in der richtigen Reihenfolge zur Verfügung stellen kann, sind einige Mechanismen erforderlich. Die Rahmen, die korrekt empfangen werden, werden quittiert, und der Sender weiß, dass sie korrekt angekommen sind. Bei der Versendung von Rahmen wird ein Timer gestartet. Läuft der Timer aus, ohne dass eine Bestätigung für den Empfang beim Sender eingeht, wird der Rahmen erneut versendet. Der Timer beugt dem Fehlerfall vor, dass ein Rahmen auf dem Weg ganz verloren geht, und der Empfänger gar nicht weiß, dass er eine Empfangsbestätigung versenden soll. Kommen die Rahmen durch einen Fehler in falscher Reihenfolge an oder werden mehrmals abgeschickt, sorgt ein Zähler dafür, dass der Empfänger die richtige Reihenfolge erkennt.

Als weitere Grundaufgabe der Sicherungsschicht sei hier die Flusssteuerung erwähnt. Haben Sender und Empfänger eine unterschiedliche Verarbeitungsgeschwindigkeit, sind Puffer nötig. Durch die Puffer können Rahmen zwischengespeichert werden, die erst noch verarbeitet werden müssen, und der Sender bzw. Empfänger kann in seiner eigenen Geschwindigkeit weiterarbeiten. Erst wenn ein Puffer überläuft, wird eine Fehlermeldung versendet.⁸¹

⁸⁰ weiterführende Informationen in A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, ab S. 205

⁸¹ Prof. Dr. N. Martini, S. z. V., Funktionsweise des Internets, S. 15

3.3.3.1. Fehlererkennung und -korrektur

In diesem Absatz wird der Vollständigkeit halber auf die Möglichkeiten der Fehlererkennung und -korrektur hingewiesen.

Die Fehlererkennung wird mittels Fehlererkennungs-codes durchgeführt. Es werden nur so viele redundante Informationen den Nutzdaten angehängt, dass eine Fehlererkennung möglich ist. Bei der Fehlerkorrektur werden mehr redundante Informationen mit gesendet, so dass eine Erkennung und Ableitung der Original-Daten möglich ist. Ob einer Nachricht entsprechend viele zusätzliche Bits angehängt werden, dass die Original-Nachricht wieder hergestellt werden kann, oder ob lediglich so viele Bits mit übertragen werden, dass der Fehler erkannt wird, kommt darauf an, welcher Code verwendet wird. Wenn der Fehler nur erkannt und nicht korrigiert wird, kann der Empfänger den Sender auffordern, den entsprechenden Rahmen erneut zu versenden.⁸²

3.3.4. Protokolle der Sicherungsschicht

Die Sicherungsschicht hat die Aufgabe, die Datenpakete, die sie von der Vermittlungsschicht erhält, in Rahmen einzuschließen. Die Rahmen bestehen dann aus dem Datenpaket und einigen Steuerdaten. Das Verhältnis zwischen Paket und Rahmen lässt sich wie folgt beschreiben: Die Vermittlungsschicht erstellt ein Paket. Das Paket besteht aus einer Nachricht, die von der Transportschicht kommt und einem Header, der von der Vermittlungsschicht angefügt wird. Dieses Paket, bestehend aus Header und Nachricht, wird in einem Paket zusammengefasst. Das Paket wird an die Sicherungsschicht übergeben. Die Sicherungsschicht fügt dem Paket ein Info-Feld zu und macht aus dem Paket einen Rahmen.⁸³

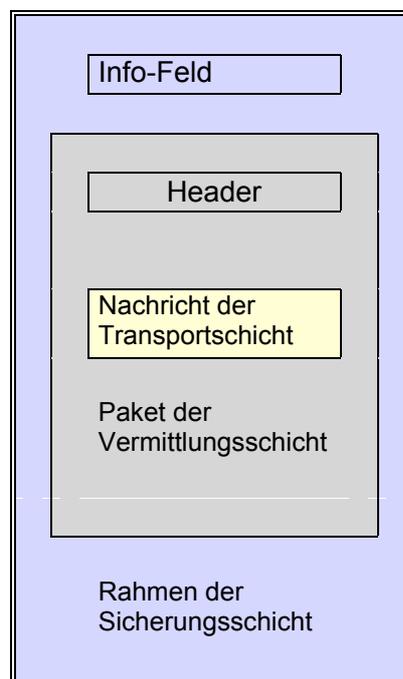


Abb. 3.5. Nachricht in der Sicherungsschicht

⁸² A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 207

⁸³ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 215

3.3.4.1. Stop-and-Wait

Da die Übertragung von Daten in der Regel nicht fehlerfrei läuft, und der Empfänger nicht die gleiche Geschwindigkeit bringen kann wie der Sender, ist es notwendig, empfangende Rahmen in einem Puffer zwischenspeichern, bis sie verarbeitet werden können. Für den Sender ist es wiederum notwendig zu wissen, ob ein Rahmen angekommen ist oder nicht, da er ansonsten erneut versendet werden müsste.

Das Stop-and-Wait-Verfahren beruht auf dieser Überlegung. Der nächste Rahmen wird erst gesendet, wenn der letzte bestätigt ist. Falls die Bestätigung verloren geht, sorgt ein Timer bei ausbleibender Bestätigung für das erneute Versenden des Rahmens. Eine laufende Nummer, die an die Rahmen angehängt wird, sorgt dafür, dass der Empfänger die Rahmen in der richtigen Reihenfolge verarbeiten kann.⁸⁴

Der Kommunikationskanal, der für das Stop-and-Wait-Protokoll benötigt wird, ist Vollduplex. Der Sender schickt die Rahmen zum Empfänger in die eine Richtung, und der Empfänger schickt die Bestätigung in die andere Richtung. Durch die strenge Organisation würde hier aber prinzipiell ein halbduplexer Kanal ausreichen, da immer nur einer zurzeit senden darf.⁸⁵

3.3.4.2. Sliding-Window-Protokolle (SWP)

Das unter Punkt 3.3.4.1. beschriebene Stop-and-Wait-Protokoll hat den entscheidenden Nachteil, dass die Übertragung sehr langsam ist, da jeweils Sender und Empfänger aufeinander warten müssen, um erneut zu senden. Gehen Rahmen verloren, muss erst ein Timer ablaufen bis erneut versendet werden kann.

Die Timereinstellung zieht bei zu langen Ablaufzeiten eine schlechte Ausnutzung der Bandbreite nach sich, und zu kurze Timer-Einstellungen führen zu einer hohen Anzahl von Duplikaten.

⁸⁴ Prof. Dr. N. Martini, S. z. V. Funktionsweise des Internets, S. 16

⁸⁵ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 222

Beim Sliding-Window-Protokoll darf der Sender mehrere Rahmen versenden, auch ohne eine Bestätigung erhalten zu haben. Die gesendeten Rahmen werden in einem Puffer bis zur Bestätigung zwischengespeichert. Auf der Empfängerseite wird ebenfalls zwischengespeichert. Die Puffergröße muss so gewählt sein, dass auch, wenn ein Rahmen am Anfang der Sendung verloren geht, alle nachfolgenden Rahmen noch verfügbar sind, so dass sie erneut versendet werden können.⁸⁶

Sollten bei der Übertragung Fehler auftreten, gibt es verschiedene Verfahren, damit umzugehen. Ein Ansatz ist, dass die Sendung ab dem verlorenen oder beschädigten Rahmen wiederholt wird. Es werden alle Pakete nach dem Fehlerpaket erneut versendet. Hier ist der kleine Empfangspuffer von Vorteil. Nachteilig wirkt sich die schlechte Ausnutzung der Bandbreite aus.

Der zweite und bessere Ansatz ist die selektive Wiederholung. Es wird nur der fehlerhafte Rahmen erneut übertragen. Hier ist ein großer Empfangspuffer nötig, im Gegenzug wird die Bandbreite jedoch viel besser ausgenutzt. Der Sender darf den Rahmen erst aus dem Sendepuffer löschen, wenn er eine Bestätigung über den korrekten Empfang erhalten hat. Die Folgenummern sorgen auch hier für die richtige Reihenfolge.⁸⁷

3.3.5. Protokollbeispiele der Sicherungsschicht

Verwendete Protokolle der Sicherungsschicht sind:

- HDLC (High-Level-Data-Link-Control-Protokoll)
- SLIP (Serial-Line-Internet-Protokoll)
- PPP (Point-to-Point)

⁸⁶ <http://www.tecchannel.de/netzwerk/grundlagen/431724/index4.html> am 11.12.2007

⁸⁷ Prof. Dr. N. Martini, S. z. V., Funktionsweise des Internets, S. 18

3.4. Die MAC-Teilschicht (MAC = Media-Access-Control)

Die MAC-Teilschicht ist ein Teil der Sicherungsschicht und liegt am unteren Rand jener. Der Name Media-Access-Control gibt einen Hinweis darauf, dass in dieser Teilschicht der Sicherungsschicht die Zugangssteuerung verschiedener Netzwerkteilnehmer in einem Broadcast-Netz definiert ist.

Das Hauptproblem in einem Broadcast-Netz ist, wie ein einzelner Kanal mehreren Teilnehmern zur Verfügung gestellt werden kann. Bei Punkt-zu-Punkt-Verbindungen hingegen wird eine feste Verbindung aufgebaut, so dass hier keine Zugangssteuerung nötig ist.⁸⁸

3.4.1. Kanaluordnung

Es gibt zwei Möglichkeiten, die Übertragungskanäle zuzuordnen. Die statische und die dynamische Kanaluordnung.

3.4.1.1. Statische Kanaluordnung

Ein einfacher Weg, einen einzelnen Übertragungsweg unter mehreren Nutzern aufzuteilen, ist das Frequenzmultiplexverfahren (FDM). Hier wird die vorhandene Bandbreite unter allen Teilnehmern aufgeteilt, und jeder Teilnehmer hat sein festes Frequenzband, so dass es nicht zu Überschneidungen kommt. Das kann bei einer gleich bleibenden Anzahl von Nutzern mit konstantem Datenverkehr sinnvoll sein.

Problematisch wird FDM bei einer wechselnden Anzahl von Nutzern und bei unregelmäßigem Datenverkehr. Auch wenn die Anzahl von Nutzern konstant bleibt, ist es in vielen Fällen nicht sinnvoll, einen Übertragungsweg in feste Kanäle zu unterteilen und diese zuzuordnen. Ein unregelmäßiger Datenverkehr, der in den meisten Netzen vorkommt, nutzt im Falle einer statischen Kanaluordnung die vorhandene Bandbreite nie effektiv aus.

⁸⁸ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 269

3.4.1.2. Dynamische Kanalzuordnung in LANs und WANs

Eine dynamische Kanalzuordnung ist bei LANs und WANs wesentlich sinnvoller, da hier extrem hohe Schwankungen im Datenverkehr vorkommen.

Es greifen „n“ unabhängige Stationen auf einen Kanal zu. Das Problem des Mehrfachzugriffs wird durch Warteschlangen-, Zeitmultiplex- oder mit Random-Access-Verfahren gelöst. Warteschlangenverfahren sind sehr aufwendig und fehlerhaft, weshalb sie in der Praxis selten benutzt werden. TokenRing und TokenBus arbeiten mit Zeitmultiplexverfahren. Random-Access wird beim Ethernet verwendet.

Verzichtet man in einem LAN oder WAN komplett auf die Zugriffsteuerung, sind „Kollisionen“ nicht zu verhindern.⁸⁹

3.5. Die IEEE802-Norm

Im „Institute of Electrical and Electronics Engineers“ (IEEE) gibt es verschiedene Normungsgremien, die sich mit Techniken zur Datenübertragung in Netzwerken beschäftigen. Die IEEE-Normen unterscheiden sich in der Bitübertragungsschicht und in der MAC-Übertragungsschicht, sind aber in der Sicherungsschicht kompatibel. Der Teil der Sicherungsschicht, der kompatibel ist, wird als Logical-Link-Control (LLC) benannt und ist der untere Teil der Sicherungsschicht, wenn die MAC-Teilschicht der obere Teil ist.

In den Unterabschnitten der IEEE-Normen werden verschiedene LAN-Techniken und deren Zugangssteuerungen definiert. Ein Beispiel ist das CSMA/CD-Verfahren (Abschnitt 3.5.1.) bei Ethernet, TokenBus, TokenRing und Fast-Ethernet.⁹⁰

In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten der IEEE802-Normen vorgestellt.

⁸⁹ Prof. Dr. N. Martini, Skript z. V. Funktionsweise des Internets, S. 22

⁹⁰ http://de.wikipedia.org/wiki/IEEE_802 vom 25.11.2007

3.5.1. IEEE802.3 und Ethernet

Die Geschichte des Ethernets geht bis in die 1970er Jahre zurück. Damals baute die Universität auf Hawaii ein Netzwerk auf, um für die Inselgruppe eine Kommunikationsplattform zu schaffen. Robert Metcalfe, später Gründer der Firma 3com, verfeinerte das Netz. Die Übertragung erfolgte über eine Leitung, den Äther, woraus der Begriff Ethernet entstand.

1982 normte die IEEE-Gruppe das Ethernet und entwickelte das CSMA/CD-Verfahren. Den größten Boom und somit auch die größte Verbreitung erlangte das Ethernet mit der ab den 1990er Jahren rasanten Verbreitung von PCs.⁹¹

Das Grundkonzept der 802.03-Norm gilt für Netze mit einem Persistent und funktioniert auf Basis des CSMA/CD-Zugriffsverfahren (CSMA/CD = Carrier-Sense Multiple-Access with Collision-Detection).

Carrier-Sense bedeutet, dass derjenige im Netzwerk, der senden will, zunächst ins Netz hinein hört. Er hört, ob jemand anders im Netz gerade senden will. Ist dies nicht der Fall, schickt er sein Paket ins Netz zum Empfänger.

Multiple-Access steht für multiplen Eingang. Jeder Teilnehmer ist unmittelbar nach der Sendung von Datenpaketen wieder dazu berechtigt, eine erneute Verbindung aufzubauen.

Eine Collision-Detection ist notwendig, da auch zwei Sender gleichzeitig senden könnten, und dann eine Kollision auftreten würde.

Tritt eine Kollision auf, wird das Datenpaket nach einer bestimmten Zeit erneut versendet. Wird die Übermittlung nach einer definierten Anzahl von 15 Versuchen ständig abgebrochen, wird ein Störsignal gesendet, der Versuch beendet und eine Fehlermeldung an die Vermittlungsschicht geschickt.⁹²

Der CSMA/CD-Algorithmus kann auch als „Cocktail-Party“-Algorithmus bezeichnet werden. Man stelle sich folgende Situation auf einer Cocktail-Party vor: Eine kleine Gruppe steht irgendwo und unterhält sich angeregt. Sprechen alle durcheinander versteht niemand mehr etwas, und das Gesagte muss wiederholt werden.

⁹¹ W. Riggert, Rechnernetze, S. 64

⁹² Gerhard Lienemann TCP/IP-Grundlagen, S. 21

Aus diesem Grund hört der aufmerksame Gesprächsteilnehmer zunächst in die Runde, ob jemand anderes spricht. Spricht niemand, kann eine neue Geschichte zum Besten gegeben werden. Hören zwei gleichzeitig in die Runde, kann es dazu kommen, dass zwei gleichzeitig ansetzen, um etwas zu äußern. Merken es beide, hören sie beide wieder auf zu sprechen und versuchen es nach einem kleinen Moment erneut. Sollte eine erneute „Kollision“ der beiden Gesprächspartner entstehen, wird die Erzählung ein zweites Mal abgebrochen. Genauso funktioniert die CSMA/CD-Zugangssteuerung.⁹³

⁹³ B. Jäger, S. z. V., S. 79

3.5.1.1. 10Base5

Nimmt man die erste Form des Ethernets, das 10Base5 (Thick-Net oder Thick-Ethernet), steht die „10“ für die Geschwindigkeit von 10 Mbps, das „Base“ für das Arbeiten im Basisband des Frequenzspektrums und die „5“ für die 500 m, die ein Segment lang sein darf. Das erste Kabel, welches zur Verkabelung in einem Ethernet-Netzwerk verwendet wurde, war ein sehr dickes

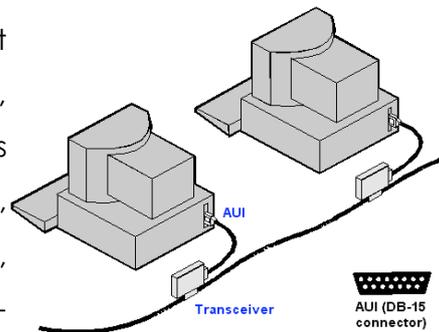


Abb. 3.6. 10Base5

„gartenschlauchähnliches“ Kabel, das sehr unflexibel und schwer zu verlegen war. Daher auch der Name „Thick-Ethernet“. Die Anschlüsse wurden hier mit „Vampir-Abzweigen“ gemacht, wobei ein Stift vorsichtig bis zur Hälfte in das Übertragungskabel geschoben wurde.⁹⁴

Parameter des 10Base5-Standards:⁹⁵

Eigenschaft	Wert
Kabeltyp	Koaxialkabel 50 W
Signalisierungstechnik	Basisband
Kodierung	Manchester
Topologie	Bus
Max. Segmentlänge	500 m
Max. Stationsmenge pro Segment	100
Max. Netzausdehnung	2.500 m
Mindestabstand zweier Stationen	2,5 m
Max. Anzahl Kopplungselemente	5 Segmente über 4 Repeater
Stecker	AUI – 15-poliger Kabelanschluss („Vampire-Abzweig“)
Max. Länge des Drop-Kabels	50 m
Übertragungsgeschwindigkeit	10 Mbits/s

Abb. 3.7. Parameter des 10Base5-Standards

94 A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 303

95 W. Riggert, Rechnernetze, S. 75

3.5.1.2. 10Base2

Auf das dicke, unflexible Kabel folgte das „Thin-Ethernet“, welches die Bezeichnung 10Base2 hat. Hier wurden die Abzweige mittels BNC-T-Stücken realisiert, und es war viel flexibler und einfacher zu verlegen. Die Kabelsegmente durften nur 200 m lang sein und es durften 30 Maschinen an ein Segment angeschlossen werden.⁹⁶

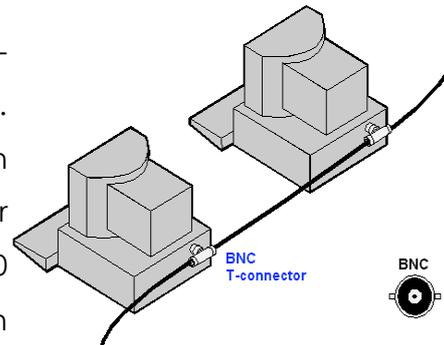


Abb. 3.8. 10Base2

Parameter des 10Base2:⁹⁷

Eigenschaft	Wert
Kabeltyp	Koaxialkabel 50 W
Signalisierungstechnik	Basisband
Kodierung	Manchester
Topologie	Bus
Max. Segmentlänge	185 m
Max. Stationsmenge pro Segment	30
Max. Netzausdehnung	925 m
Mindestabstand zweier Stationen	0,5 m
Max. Anzahl Kopplungselemente	5 Segmente über 4 Repeater
Stecker	BNC
Übertragungsgeschwindigkeit	10 Mbits/s

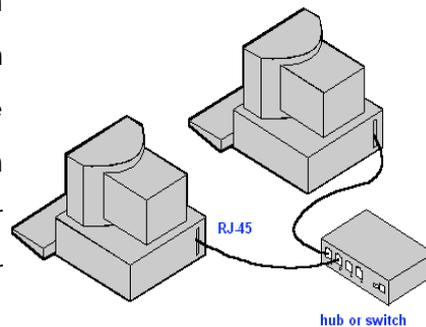
Abb. 3.9. Parameter des 10Base2-Standards

⁹⁶ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 304

⁹⁷ W. Riggert, Rechnernetze, S. 75

3.5.1.3. 10BaseT

Da bei einem Fehler, wie beispielsweise einem Kabelbruch, die defekte Stelle nur schwer in einer Busstruktur aufgefunden wird, wurde die Stern-Bus-Verdrahtung eingeführt. Hier werden die einzelnen Stationen von einem Hub oder Switch sternförmig verkabelt und die Verteiler untereinander in einer Busstruktur verbunden.



Dies erfordert einen wesentlich höheren Ver-
 belungsaufwand, die Vorteile bei der Fehleranalyse überwiegen jedoch. Diese Form des Ethernets wird 10BaseT genannt.

Abb. 3.10. 10BaseT

Der bevorzugte Stecker ist der RJ45-Stecker mit folgender Pin-Belegung:⁹⁸

Kontakt	Signal
1	Transmit. +
2	Transmit. -
3	Receive +
4	nicht belegt
5	nicht belegt
6	Receive -
7	nicht belegt
8	nicht belegt

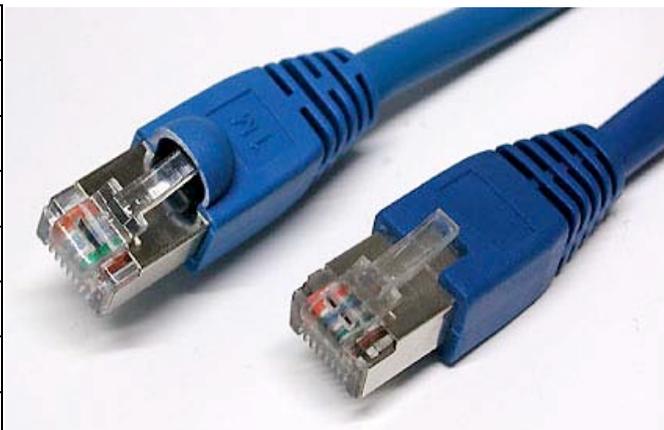


Abb. 3.11. Pin-Belegung RJ45-Stecker

Abb. 3.12. RJ45-Stecker

Die Datenrahmen beim Ethernet haben folgenden Aufbau:

Präambel	Zieladresse	Quelladresse	Typfeld	Datenfeld	Prüffeld
8 Byte	6 Byte	6 Byte	2 Byte	46 – 1500 Byte	4 Byte

Abb. 3.13. Ethernet-Datenrahmen

⁹⁸ W. Riggert, Rechnernetze, S. 77

3.5.1.4. Fast-Ethernet

Nachdem die 10 Mbit Übertragungsgeschwindigkeit in der schnell wachsenden Netzwerktechnik zu langsam wurde, überlegten sich die IEEE-Gruppen, wie ein schnelleres Netz am besten aussehen könnte. Die Überlegungen gingen von einem komplett neuen Standard bis zu einem überarbeiteten Ethernet 802.3. Da der Name Ethernet schon sehr verbreitet war, und die Entwicklung des neuen Standards sehr schnell gehen sollte, entschied man sich Anfang der 1990er dafür, eine schnellere Form des Ethernets unter der Norm IEEE802.3 hervorzubringen.

Es wurden alle Paketformate, Schnittstellen und Regeln beibehalten, nur die Bitzeit von 100 ns wurde auf 10 ns herabgesetzt. Als Leitungsaufbau wurde die 10BaseT-Verkabelung gewählt und lediglich die 10 durch eine 100 ersetzt (100BaseT). Um verschiedene Kabeltypen verwenden zu können, definierte man für jeden erlaubten Kabeltyp spezielle Anforderungen.⁹⁹

Merkmale des Fast-Ethernet

Modulation	PAM14, 4 Bit pro Schritt
Symbolrate	800 Msymbole/s, Vollduplex
Kodierung	128-DSQ, LDPC
Framegröße	3.250 Bit Nutzdaten
Anschluss	RJ45
Reichweite	55 Meter mit CAD6e (500 MHz) 100 Meter mit CAT6a (625 MHz)

Abb. 3.14. Merkmale des Fast-Ethernet

Kategorien des Fast-Ethernet:

Bezeichnung	Kabel	Max. Segment	Vorteile
100BaseT4	Twisted Pair	100 m	UTP Cat-3-Kabel
100BaseTX	Twisted Pair	100 m	Vollduplex bei 100 Mbps
100BaseF	Glasfaser	2.000 m	Vollduplex bei 100 Mbps; lange Strecken

Abb. 3.15. Kategorien des Fast-Ethernets

⁹⁹ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 350

3.5.1.5. Gigabit-Ethernet

Auch das Fast-Ethernet wurde mit der Zeit für bestimmte Anwendungen zu langsam. Gerade zentrale Ethernet-Stationen, wie Server und Switches, brauchen aufgrund von datenintensiven Anwendungen eine schnellere Verbindung. Gigabit-Ethernet ist sowohl mit Glasfaser-Verbindungen als auch mit Cat.-5-Kabeln möglich. Die Übertragung über die Kupferleitungen funktioniert allerdings nicht ohne ein paar Tricks, wie beispielsweise die Nutzung aller vier Adernpaare.¹⁰⁰

Die verschiedenen Gigabit-Ethernet-Standards:

Standards	Kabel	Max. Segment	Merkmale
1000Base-LX	LWL	bis 5 km	Kann bei Monomode-Fasern bis zu 5 km überbrücken. Es werden lange Wellenlängen übertragen.
1000Base-SX	LWL	< 500 m	Wird für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen verwendet, daher kein CSMA/CD-Modus. Es werden nur kurze Wellenlängen übertragen.
1000Base-CX	Twisted Pair	25 m	
1000Base-T	Twisted Pair	100 m	Es können CAT.5-Kabel verwendet werden.

Abb. 3.16. Verschiedene Gigabit-Ethernet-Standards

3.5.1.6. 10Gigabit-Ethernet

Ursprünglich war im 10Gigabit-Ethernet nur Glasfaser als Übertragungsmedium vorgesehen. Die Kupferkabel wurden aber im Nachhinein in den Standard aufgenommen. Um die Technik flexibel zu gestalten, unterstützt das 10Gigabit-Ethernet sieben verschiedene Glasfasertypen.

Erstmals wurde bei dieser Ethernet-Version teilweise auf den CSMA/CD-Modus verzichtet, wenn im Vollduplex-Modus gearbeitet wird.¹⁰¹

¹⁰⁰ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0603201.htm> vom 12.12.07

¹⁰¹ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0603201.htm> vom 15.10.07

Übersicht über die verschiedenen Ethernet-Standards mit den jeweiligen Übertragungsmedien:

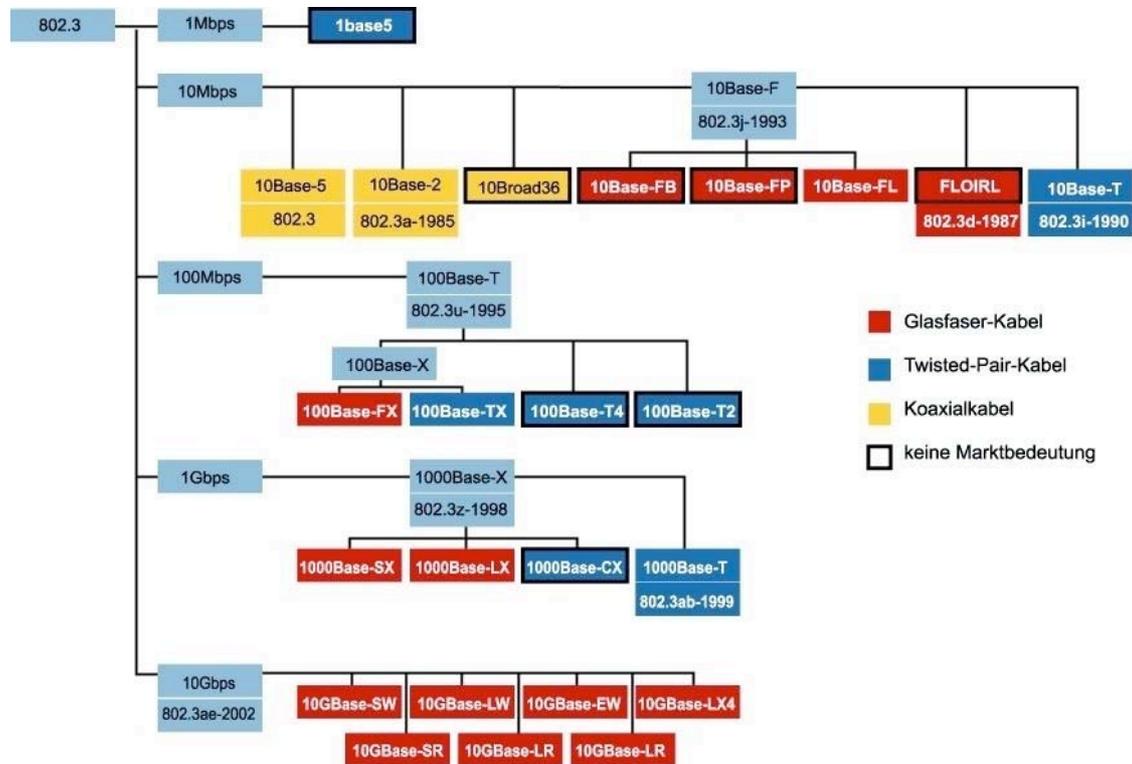


Abb. 3.17. Verschiedene Ethernet-Standards

3.5.1.7. Power-over-Ethernet

In der IEEE802.3af-Norm wird die Stromversorgung der Endgeräte über Ethernet geregelt. Bisher brauchten alle Ethernet-Teilnehmer, wie beispielsweise Access-Points, eine separate Stromversorgung über ein externes Netzteil. Durch den Power-over-Ethernet-Standard ist eine Stromversorgung bis zu einer Leistung von 15 Watt über die vorhandenen Twisted-Pair-Kabel möglich. Altgeräte oder Geräte mit einer externen Stromversorgung werden durch diesen Standard nicht beeinflusst. Durch den vorhandenen Querschnitt des Kabels darf der Strom nicht über 350 mA steigen, und die Spannung sollte sich um die 48 V bewegen.¹⁰²

¹⁰² http://de.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet vom 17.01.2008

Die RJ45-Steckerbelegung bei Power-over-Ethernet:

Pin	Spare-Pare-Speisung	Phantom-Speisung	
		Midi-x	Midi
1	RX+	Rx+ / V-	Rx+ / V+
2	RX-	Rx- / V-	Rx- / V+
3	TX+	Tx+ / V+	Tx+ / V-
4	V+	–	–
5	V+	–	–
6	TX-	Tx- / V+	Tx- / V-
7	V-	–	–
8	V-	–	–

Abb. 3.18. Pin-Belegung RJ45-Stecker PoE

3.5.2. IEEE802.4 TokenBus

TokenBus ist ein heute sehr selten gewordenes System. Es ist als Bus- bzw. Baumstruktur aufgebaut. Jeder Teilnehmer kennt die Adresse seiner unmittelbaren Nachbarn. Ein Steuerrahmen (Token) wandert von einer Station zur anderen. Immer wenn eine Station den Token hat, darf sie senden, und alle anderen sind auf den Empfang eingestellt. Dann wird der Token weitergegeben. So können keine Kollisionen entstehen. Es können Übertragungsraten bis 10 Mbps erreicht werden.¹⁰³

3.5.3. IEEE802.5 TokenRing

TokenRing wird heute selten eingesetzt. Es ist kein Broadcast-Netz, sondern eine Zusammenstellung mehrerer Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, die in einem Ring angeordnet sind. Die Zugangssteuerung erfolgt mittels Token. Nur wer den Token hat, darf innerhalb der Token-Hold-Time (einer festgesetzten Zeit) senden. Die gesendeten Bits werden von jedem Teilnehmer bestätigt, und wenn sie eine Runde hinter sich haben, werden sie aus dem Ring entfernt. Es sind Geschwindigkeiten von 4 oder 16 Mbps definiert.¹⁰⁴

¹⁰³ http://www.itwissen.info/definition/lexikon/_tbtb_tbtoken%20bustb_tbtoken%20bus.html

¹⁰⁴ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0908011.htm> vom 17.12.2007

3.5.3.1. FDDI

FDDI ist eine auf TokenRing basierte Technik. Es ist die Weiterentwicklung der 802.5-Norm. Als Kabel werden Lichtwellenleiter (LWL) verwendet, die zur Sicherheit doppelt verlegt werden. FDDI wird bei MANs eingesetzt. Es können Ringlängen bis 200 km erreicht und bis zu 100 Stationen einbezogen werden. Aufgrund der großen Leitungslängen können mehrere Token im Umlauf sein. FDDI eignet sich hervorragend für komplexe Backbone-Strukturen.¹⁰⁵

3.5.4. IEEE802.11 Wireless-LAN

In der IEEE802.11-Norm wurde ein drahtloses Übertragungsprotokoll standardisiert, welches dem Ethernet ähnelt, nur ohne Kabel funktioniert. Die erste 802.11-Norm wurde 1997 herausgebracht. Eine Erweiterung folgte 1999 mit der 802.11a- und 802.11b-Norm. 2003 wurde die 802.11g-Erweiterung verabschiedet, und in Planung für 2009 ist eine weitere Ergänzung in der 802.11n-Version.



Abb. 3.19. WiFi-Logo

Um die Verbreitung zu beschleunigen, wurde die Wireless-Ethernet-Compatibility-Alliance (WECA) gegründet, um Wireless-LAN fähige Geräte zu zertifizieren und unter dem Markennamen WiFi marketingtechnisch zu vermarkten.¹⁰⁶

In der WECA sind ca. 300 Unternehmen vereinigt, die eine Interoperabilität der verschiedenen Geräte gewährleisten, sofern sie das WiFi-Logo tragen.¹⁰⁷

¹⁰⁵ Gerhard Lienemann TCP/IP Grundlagen, S. 25

¹⁰⁶ <http://www.tecchannel.de/netzwerk/wlan/401704/index13.html> vom 18.12.2007

¹⁰⁷ <http://de.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> vom 18.12.2007

Technisch gesehen nimmt die IEEE802.11-Norm Einfluss auf die ersten beiden OSI-Schichten. In der physikalischen Schicht ist die grundsätzliche drahtlose Übertragung definiert, und in der Sicherungsschicht wird ähnlich dem Ethernet mit einem protokoll-unabhängigen System gearbeitet.

3.5.4.1. Modulationsarten

In der physikalischen Schicht wird das Signal auf eine Trägerfrequenz moduliert. Es werden folgende Modulationsarten unterstützt:¹⁰⁸

- BPSK (Binary-Phase-Shift-Keying), 2 Zustände
- QPSK (Quad-Phase-Shift-Keying), 4 Zustände
- 16-QAM (Quadratur-Amplituden-Modulation), 16 Zustände
- 64-QAM (Quadratur-Amplituden-Modulation), 64 Zustände

3.5.4.2. Die verwendeten Frequenzen

Die Frequenzen, mit denen übertragen werden darf, werden von der internationalen Fernmeldeunion (ITU) festgelegt bzw. freigegeben. In Europa wird WLAN im 2,4-GHz- und 5-GHz-Bereich übertragen. In den jeweiligen Frequenzbereichen stehen mehrere Kanäle für die Übertragung zur Verfügung. Welcher Kanal verwendet wird, kann durch zwei verschiedene Verfahren geregelt werden.

Das Dynamic-Frequency-Selection-Verfahren (DFS) wählt selbstständig eine freie Frequenz. Mit diesem Verfahren werden andere Systeme, die ebenfalls in diesem Spektrum arbeiten, nicht behindert.

Das Transmit-Power-Control-Verfahren (TPC) arbeitet sparsam. Die Sendeleistung wird entsprechend der Entfernung geregelt. Bei niedrigeren Entfernungen wird eine kleinere Sendeleistung benötigt als bei höheren Entfernungen.¹⁰⁹

¹⁰⁸ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907041.htm> vom 18.12.2007

¹⁰⁹ http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN vom 10.12.2007

Welche Frequenzen verwendet werden dürfen, zeigen die unterstehenden Tabellen:

Allgemein:

Standard	Frequenzbereich	Bemerkungen
IEEE 802.11a	5,15 – 5,725 GHz	Kanäle: 19, alle überlappungsfrei, in Europa mit TPC und DFS nach 802.11 h.
IEEE 802.11b	2,4 – 2,4835 GHz	Kanäle: 11 in den USA / 13 in Europa / 14 in Japan. Maximal 3 Kanäle überlappungsfrei nutzbar.
IEEE 802.11g	2,4 – 2,4835 GHz	Kanäle: 11 in den USA / 13 in Europa / 14 in Japan. Maximal 3 Kanäle überlappungsfrei nutzbar.

Abb. 3.20. Frequenzbereiche beim Wireless-LAN

Der 2,4-GHz-Bereich

Kanal-Nr.	Frequenz (GHz)	Erlaubt in
1	2,412 GHz	Europa, USA, Japan
2	2,417 GHz	Europa, USA, Japan
3	2,422 GHz	Europa, USA, Japan
4	2,427 GHz	Europa, USA, Japan
5	2,432 GHz	Europa, USA, Japan
6	2,437 GHz	Europa, USA, Japan
7	2,442 GHz	Europa, USA, Japan

Kanal-Nr.	Frequenz (GHz)	Erlaubt in
8	2,447 GHz	Europa, USA, Japan
9	2,452 GHz	Europa, USA, Japan
10	2,457 GHz	Europa, USA, Japan
11	2,462 GHz	Europa, USA, Japan
12	2,467 GHz	Europa, Japan
13	2,472 GHz	Europa, Japan
14	2,484 GHz	Japan

Abb. 3.21. Der 2,4-GHz-Bereich

Der 5-GHz-Bereich

Kanal-Nr.	Frequenz (GHz)	Erlaubt in
34	5,17 GHz	Japan
36	5,18 GHz	USA, Singapur
38	5,19 GHz	Japan
40	5,20 GHz	USA, Singapur
42	5,21 GHz	Japan
44	5,22 GHz	USA, Singapur
46	5,23 GHz	Japan
48	5,24 GHz	USA, Singapur

Kanal-Nr.	Frequenz (GHz)	Erlaubt in
52	5,26 GHz	USA, Taiwan
56	5,28 GHz	USA, Taiwan
60	5,30 GHz	USA, Taiwan
64	5,32 GHz	USA, Taiwan
149	5,75 GHz	USA, Taiwan
153	5,77 GHz	USA, Taiwan
157	5,79 GHz	USA, Taiwan
161	5,81 GHz	USA, Taiwan

Abb. 3.22. Der 5 GHz-Bereich

Welcher Frequenzbereich verwendet wird, hängt von dem jeweiligen Standard ab. In der 802.11a-Norm wird das 5-GHz-Frequenzband verwendet und in der 802.11b-Norm der Bereich um 2,4 GHz.

Wie in den obigen Tabellen zu sehen, sind die Kanäle auf den Frequenzbändern nicht weltweit einheitlich geregelt, wodurch sich Unterschiede in der Nutzung ergeben.¹¹⁰

¹¹⁰ http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN vom 10.12.2007

3.5.4.3. Datenraten

Hier eine Übersicht über die erreichbaren Datenraten der verschiedenen Standards:

IEEE 802.11	2 Mbps maximal
IEEE 802.11a	54 Mbps maximal (108 Mbps bei 40 MHz Bandbreite proprietär)
IEEE 802.11b	11 Mbps maximal (22 Mbps bei 40 MHz Bandbreite proprietär, 44 Mbps bei 60 MHz Bandbreite proprietär)
IEEE 802.11g	54 Mbps maximal (g+ = 108 Mbps proprietär, bis 125 Mbps möglich; 2 Mbps im Mischbetrieb (g+b) mit IEEE 802.11b)
IEEE 802.11h	54 Mbps maximal (108 Mbps bei 40 MHz Bandbreite)
IEEE 802.11n	300 Mbps maximal (Verwendung von MIMO-Technik; Entwurf am 20.01.2006 verabschiedet; Draft 2.0 am 19.03.2007 als neuer Entwurf verabschiedet)

Abb. 3.23. Datenraten der verschiedenen Standards

3.5.4.4. Die Reichweite

Die Reichweite hängt von vielen verschiedenen Faktoren ab. Ausschlaggebend sind unter anderem die verwendete Antenne sowie die räumlichen Gegebenheiten. Allgemein kann mit einer Reichweite von 30 bis 100 m gerechnet werden. Mit Richtantennen sind sogar Entfernungen bis 2 km erreichbar.¹¹¹

¹¹¹ <http://www.tecchannel.de/netzwerk/wlan/401704/index13.html> vom 18.12.2007

3.5.5. IEEE802.15.1 Bluetooth

Als letzter IEEE-802-Standard soll hier der IEEE-802.15.1-Standard behandelt werden.

Bei Bluetooth handelt es sich eigentlich

um einen von der Firma Ericsson entwickelten



Abb. 3.24. Bluetooth-Logo

Industriestandard zur Übertragung von Daten über kurze Strecken per Funk. Die Reichweite beträgt ohne zusätzlichen Verstärker ca. 10 m. Die Übertragung kann ohne Sichtkontakt erfolgen, und es kann neben Daten auch Sprache übertragen werden. Als lukrative Einsatzgebiete von Bluetooth haben sich mobile Kommunikationsgeräte wie Handys, Laptops oder Musik-Player ergeben sowie beispielsweise Freisprecheinrichtungen in Automobilen. Eine zukünftige Anwendung könnte die Steuerung von Haushaltsgeräten per Laptop sein.¹¹²

Da Bluetooth im selben Frequenzband wie WLAN zwischen 2,402 GHz und 2,480 GHz sendet, kann es hier zu Störungen kommen. Um Störungen zu vermeiden, wird ein Frequenzsprungverfahren eingesetzt. Hierbei wird das Frequenzband in 79 Frequenzstufen im 1 MHz Abstand eingeteilt. Während der Übertragung werden die Frequenzstufen bis zu 1.600 Mal in der Sekunde gewechselt. Die Datenübertragungsraten variieren je nach verwendeter Version. Sie bewegen sich zwischen 732,2 Kbit/s und 2,1 Mbit/s.¹¹³

¹¹² http://www.itwissen.info/definition/lexikon/_bluetooth_bluetooth.html vom 17.12.2007

¹¹³ <http://de.wikipedia.org/wiki/802.15.1> vom 17.12.2007

3.6. Die Vermittlungsschicht

Die dritte Schicht ist die Vermittlungsschicht. Das Ziel der Vermittlungsschicht ist, Pakete vom Quellrechner zum Zielrechner zu bringen. Die Aufgabe unterscheidet sich wesentlich von der Aufgabe der Sicherungsschicht, welche die Datenrahmen ausschließlich von einem Ende der Leitung zum anderen Ende transportieren soll. Bei der Vermittlung der Pakete der Vermittlungsschicht werden die Grenzen der Netze übersprungen, und die Pakete werden über Router hinweg durch verschiedene Netze versendet. Damit die Daten zum richtigen Ziel gelangen, muss die Vermittlungsschicht Kenntnisse über die Netzstruktur haben. Die Vermittlungsschicht wählt den richtigen Weg, d. h. sie entscheidet über welchen Router die Daten versendet werden und welches Netz durchquert wird. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass es zu keiner Überlastung von Teilstrecken kommt oder einzelne Bereiche nie verwendet werden.¹¹⁴

3.6.1. Die Aufgaben der Vermittlungsschicht

Die Hauptaufgaben der Vermittlungsschicht sind:¹¹⁵

- Kenntnisse über alle Router im Netz
- Routing, (d. h. die Wahl des richtigen Weges)
- Vermittlung von Paketen zwischen unterschiedlichen Netztopologien
- Bereitstellung von Diensten für die Transportschicht

Die Schnittstelle zwischen Transport- und Vermittlungsschicht ist auch deshalb besonders definiert, da es oft auch die Schnittstelle zwischen privaten Netzbetreibern und Telefongesellschaften bzw. Providern ist. Die Betreiber der Netze müssen die vom Kunden erzeugten Datenpakete zu ihrem Ziel befördern.

114 A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 369

115 Funktionsweise des Internets, S. z. V., Prof. Dr. N. Martini, S. 28

Die Dienste der Vermittlungsschicht haben folgende Ziele:

- Die Dienste sollen unabhängig von der Technologie des Teilnetzes sein.
- Die Transportschicht wird durch die Vermittlungsschicht von der Anzahl und der Art der Topologie der vorhandenen Teilnetze abgeschirmt. Die der Transportschicht zur Verfügung gestellten Netzadressen müssen ein einheitliches Nummerierungs-Schema darstellen, auch zwischen LANs und WANs.¹¹⁶

Dass die Pakete zum richtigen Ziel gelangen, bewirken die Adressen. Die Vermittlungsschicht verpackt die Daten aus der Transportschicht zu Paketen und fügt Adressen hinzu.

Der richtige Weg des Datenpaketes wird mittels statischem und dynamischem Routing gewählt. Die Vermittlungsschicht kann entweder einen verbindungsorientierten oder einen verbindungslosen Dienst bereitstellen.

Ein verbindungsloser Dienst wäre beispielsweise das Internet und verbindungsorientierte Dienste wären zum Beispiel ISDN-Anwendungen wie ATM (Asynchronous-Transfer-Mode).

3.6.2. Routing-Algorithmen

Eine der Hauptaufgaben der Vermittlungsschicht ist, durch die Kenntnisse über alle Router im Netz, den richtigen Weg zu wählen. Dies wird durch die verschiedenen Routing-Algorithmen realisiert.

Die Grundanforderungen an die Routing-Algorithmen sind, dass keine Pakete verloren gehen dürfen, sie robust und fair sein und den Datenfluss optimieren sollen.

Die Routing-Algorithmen lassen sich grob in drei Gruppen teilen. Die statischen Routing-Algorithmen, die adaptiven Routing-Algorithmen und die hierarchischen Routing-Algorithmen.

¹¹⁶ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 370

3.6.3. Überlast-Überwachung

Bei normaler Belastung werden alle Pakete vom Router fehlerfrei übertragen. Es kann jedoch zu Überlast kommen. Übersteigt die Anzahl der Pakete die Kapazitäten der Leitung, müssen Pakete verworfen werden. Die Gründe für Überlast sind meistens mehrere Eingangsleitungen, aber nur eine Ausgangsleitung, zu geringe Speicherkapazität für Warteschlangen, langsame Prozessoren oder geringe Leitungskapazität. Überlast kann vermieden werden, wenn die Router regelmäßig Testpakete versenden.

Lösungen für das Überlast-Problem wären zum Beispiel die Vergrößerung der Bandbreite, die Verringerung der Last oder, dass einfach keine neuen Verbindungen zugelassen werden, wenn sich eine Überlast-Situation anbahnt.¹¹⁷

¹¹⁷ Funktionsweise des Internets, S. z. V., Prof. Dr. N. Martini, S. 30

3.7. Die Vermittlungsschicht im Internet

Die Vermittlungsschicht sieht das Internet als großen Zusammenschluss von mehreren Backbones, an die wiederum die kleineren LANs der Universitäten, größerer Unternehmen und Provider angrenzen. Das Internet-Protokoll (IP) hält den ganzen Verbund zusammen. Die Internetkommunikation funktioniert folgendermaßen:

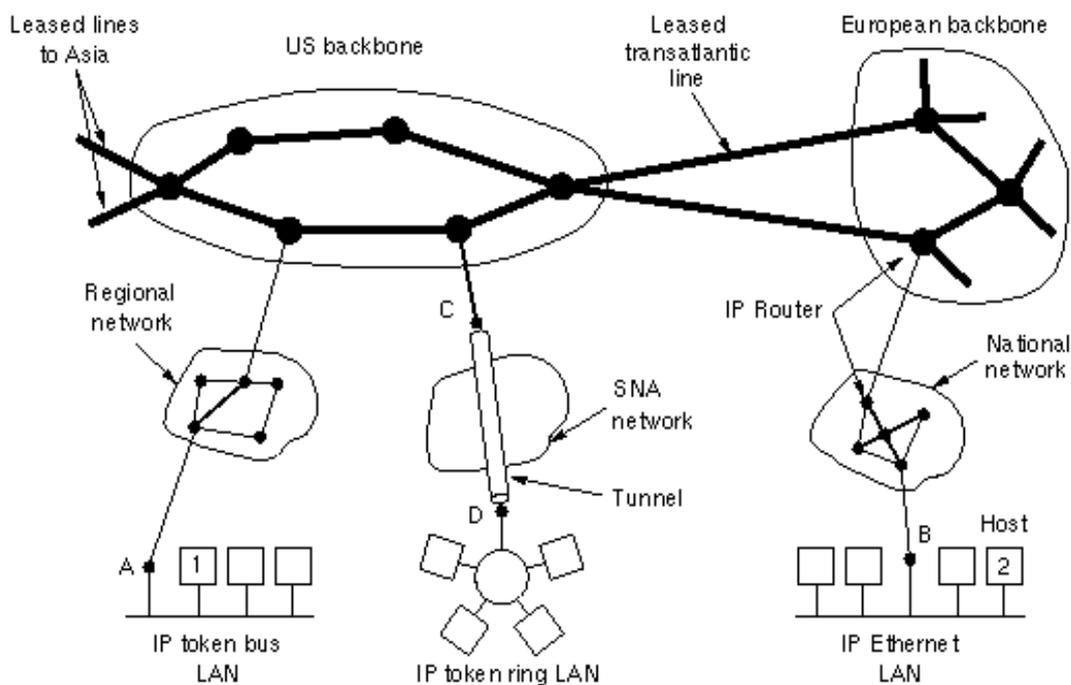


Abb. 3.25. Aufbau des Internets

Die Transportschicht übernimmt Datenströme und teilt diese in Datagramme auf. Jedes Datagramm kann eine theoretische Größe von 64 Byte haben und wird auf der Reise durchs Internet möglicherweise in kleinere Einheiten aufgeteilt.

Wenn alle Teile die Zieladresse erreicht haben, werden sie von der Vermittlungsschicht wieder zu einem Datagramm zusammengefasst und an die Transportschicht weitergegeben.

3.7.1. Das IP (Internet-Protokoll)

Das IP übernimmt keinerlei Verantwortung über Verlust, Duplikat oder Reihenfolge der Pakete. Die Fehlerüberprüfung übernimmt ebenfalls die Transportschicht.

Die Aufgaben, die das IP in der Vermittlungsschicht übernimmt sind:

- die Adressierung, so dass jedes Paket Quell- und Zieladresse enthält,
- das Routing in den Netzen,
- die Spezifikation höherer Protokolle (TCP, UDP) und
- die Fragmentierung.¹¹⁸

3.7.2. IP-Adressen

Jeder Teilnehmer im Internet hat eine eigene IP-Adresse. Das ist sowohl jeder Host als auch jeder Router. Jede IP-Adresse ist weltweit nur einmal vergeben. Jede Adresse ist 32 Bit lang und steht im IP-Header-, im Source-Adress- und im Destination-Adress-Feld.

Die Adressen werden in Dezimal-Zahlen in punktierter Schreibweise (Dotted-Decimal-Notation) geschrieben. Die 32 Bit werden zu 4 Blöcken mit je einem Byte (Octet) zerlegt und können jeweils die Werte 0 – 255 annehmen.

In der IP-Adresse gibt jeweils ein Teil der Adresse Auskunft über das jeweilige Teilnetz, in dem sich ein Host befindet. Der andere Teil adressiert den Host an sich.

Die IP-Adressen sind weltweit in fünf Klassen unterteilt. A-, B-, C-, D- und E-Adressen. Die Klassen A, B und C sind die Klassen, mit denen man am häufigsten in Berührung kommt. Die Klasse-D-Netze sind für Multicast-Anwendungen und die Klasse-E-Netze sind für zukünftige Anwendungen reserviert.¹¹⁹

¹¹⁸ Funktionsweise des Internets, S. z. V., Prof. Dr. N. Martini, S. 32

¹¹⁹ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 446

Die Abbildung 2.26. zeigt die Adressbereiche der IP-Adressen:

A	0	Netz	Host	1.0.0.0 bis 127.255.255.255
B	10	Netz	Host	128.0.0.0 bis 191.255.255.255
C	110	Netz	Host	192.0.0.0 bis 223.255.255.255
D	1110	Multicast-Adresse		224.0.0.0 bis 239.255.255.255
E	11110	Für zukünftige Nutzer reserviert.		240.0.0.0 bis 247.255.255.255

Abb. 3.26. Der IP-Adressraum

Die ersten Bits definieren den Adresstyp, d. h., ob es sich beispielsweise um ein A- oder ein C-Netz handelt.

3.7.2.1. Netzklassen

In den verschiedenen Netzklassen gibt es jeweils eine unterschiedliche Anzahl an Teil-Netzen und Hosts. In einem Klasse-A-Netz gibt es beispielsweise bis zu 126 Netze mit bis zu 16 Millionen Hosts. Wie aus Abbildung 3.26 hervorgeht, fangen Klasse-A-Netze grundsätzlich mit einer 0 an. Die letzten sieben Bit des ersten Byte geben Auskunft über die Anzahl der Netze ($2^7 = 128$). In jeder Netzklasse werden die Adressen 0.0.0.0. von einem Host verwendet, wenn er gestartet wird. Die Adresse 1.1.1.1 ist für Broadcast-Sendungen an das lokale Netz reserviert. Aus diesem Grund bleiben von den möglichen 128 Netzen nur 126 übrig.

In einem Klasse-B-Netz verschiebt sich diese Zahl auf 16.382 Netze mit jeweils bis zu 64.000 Hosts.

Klasse-C-Netze bieten Platz für bis zu 2 Millionen Netze mit jeweils bis zu 254 Hosts.

Sonderadressen sind die Adresse 127.x.y.z für interne Tests der TCP/IP-Software, der Wert 255 ist eine Broadcast-Adresse und der Wert 0 ist für die Kennzeichnung des eigenen Netzes vorgesehen.

3.7.2.2. Teilnetze

Da international immer mehr Netze ins Leben gerufen werden, und die bestehenden Netze weiter expandieren, gibt es die Möglichkeit, Teilnetze aufzubauen. Beispielsweise können Stationen, die untereinander und nach außen vernetzt sind, zu einem Subnetz zusammengefasst werden.

Durch die Struktur der IP-Adressen lassen sich beispielsweise im C-Netz 256 Rechner adressieren. Mittels Subnetzmaske kann man die Netze in kleinere Teilnetze unterteilen. Hierbei werden bestimmte Bits der Rechneradresse zur Erweiterung der Netzadresse verwendet.

Von außen werden dann nur noch die Netzadresse und die Subnetzmaske benötigt und nicht jede einzelne Hostadresse innerhalb eines Teilnetzes. Dies vereinfacht das Routing, da nur der letzte Router, der in das Ziel des Subnetzes routet, für die Zustellung des IP-Paketes verantwortlich ist und alle Hostadressen innerhalb des Subnetzes kennen muss.

Vorteile einer Unterteilung in Subnetze sind neben dem Einsparen von IP-Adressen die Dezentralisierung der Netzverwaltung und die Überbrückung größerer Entfernungen in LANs.

Wie die IP-Adresse ist auch die Subnetzmaske eine 32 Bit lange Adresse, die in 4 Blöcke aufgeteilt wird. Jedes Bit der Subnetzmaske ist einem Bit der IP-Adresse zugeordnet. Die Subnetzmaske ist in sich noch in zwei Teile aufgeteilt. Einer Folge von Einsen und einer Folge von Nullen.¹²⁰

Sie hat beispielsweise die folgende Form:

Hostanzahl	Subnetzmaske	32-Bit-Wert
1024	255.255.252.0	1111 1111 1111 1111 1111 1100 0000 0000

Abb. 3.27. Beispiel einer Subnetzmaske

Die Hostanzahl wird mit der Anzahl der Nullen im 32-Bit-Wert bestimmt. Im obigen Beispiel kommt nach einer Folge von 22 Einsen eine Folge von 10 Nullen ($2^{10}=1024$).

An der Stelle, an der sich der 32-Bit-Wert von 1 auf 0 ändert, trennt sich die IP-Adresse in Netzwerk-Adresse und Host-Adresse. Es können zum Beispiel 1024 Hosts adressiert werden. Die Subnetzmaske wird quasi wie eine Schablone über die IP-Adresse gelegt um herauszufinden, wo die Hostadresse anfängt bzw. die Netzadresse endet. Ist die Netzadresse des Quell- und Zielrechners gleich, wird das Paket nur innerhalb des Subnetzes versendet, ohne dieses zu verlassen.¹²¹

Die Abbildung 3.28. zeigt den Zusammenhang zwischen IP-Adresse, Subnetzmaske, Netzwerk-Adresse und Stations-Adresse.

	Dezimal				Binär (Bit)							
IP-Adresse	192	.168	.0	.1	1100	0000	1010	1000	0000	0000	0000	0001
Subnetzmaske	255	.255	.255	.0	1111	1111	1111	1111	1111	1111	0000	0000
Netzwerk-Adresse	192	.168	.0	.0	1100	0000	1010	1000	0000	0000	0000	0000
Stationsadresse	0	.0	.0	.1	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0001

Abb. 3.28. Zusammenhang zwischen den verschiedenen Adressen

121 <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907201.htm> vom 10.12.2007

Der Rechner findet durch eine logische „AND“-Verknüpfung der Subnetzmaske mit der IP-Adresse den Netzwerk-Adressen-Teil der IP-Adresse heraus. Die Abbildung 3.29. zeigt den Zusammenhang zwischen den logischen Operationen mit den einzelnen Adressenteilen.

	Dezimal	Binär	Berechnung
IP Adresse	130. 094. 122. 195	10000010 01011110 01111010 11000011	IP-Adresse
Netzmaske	255. 255. 255. 224	11111111 11111111 11111111 111 00000	AND Netzmaske
Netzwerk- adresse	130. 094. 122. 192	10000010 01011110 01111010 110 00000	Ist, Netzwerkadresse
IP-Adresse	130. 094. 122. 195	10000010 01011110 01111010 11000011	IP-Adresse
Netzmaske	255. 255. 255. 224	11111111 11111111 11111111 111 00000	AND NOT Netzmaske
Hostadresse	3	00000000 00000000 00000000 000 00011	Ist, Hostadresse

Abb. 3.29. „AND“-Operation der Adressen

3.7.2.3. IP-Broadcast

Wie in Absatz 3.7.2. beschrieben, gibt es zur Versendung von Datenpaketen an alle Netzteilnehmer bestimmte IP-Adressen. Werden Pakete an solche Adressen versendet, erhält jeder Teilnehmer ein Paket. Durch Broadcasting wird die Bandbreite stark beansprucht, da zu jedem Teilnehmer ein Paket weitergeleitet werden muss. Es gibt Broadcast-Adressen für große Netzverbunde und Teilnetze.

3.7.2.4. IP-Multicast

Multicast beschreibt das Versenden von Daten an eine bestimmte Gruppe von Teilnehmern. Wie bei Broadcast, gibt es auch hier bestimmte Adressen, an die Multicast-Pakete versendet werden können. Der Vorteil bei Multicast-Verbindungen ist, dass der Sender dieselbe Bandbreite wie bei Unicast-Verbindungen benötigt. Die Pakete werden jeweils an den Routern und Switches vervielfacht und an die entsprechenden Teilnehmer weitergeleitet.¹²²

In der IPv4 ist für Multicasting der Adress-Bereich 224.0.0.0 bis 239.255.255.255 zuständig. Zusätzlich wurde von der IANA der MAC-Adressen-Bereich 01:00:5e:00:00:00 bis 01:00:5e:ff:ff:ff für Multicast bereitgestellt.

Für Ethernet können die Multicast-IP-Adressen auf die bestimmten MAC-Adressen abgebildet werden. Damit Multicasting funktioniert, muss auch die Infrastruktur des Netzes multicastfähig sein. Dazu gehört, dass die Router entsprechende Informationen über die Multicast-MAC-Adressen bekommen. Dies geschieht durch spezielle Pakete, die von den Routern ins Netz gesendet werden, um eine Multicastgruppe zu erkennen.

Ist die Infrastruktur in Ordnung, kann jeder Knoten im Netz einer Multicastgruppe beitreten oder wieder aussteigen.¹²³

3.7.3. Internet-Steuerprotokolle

Zusätzlich zum IP werden im Internet verschiedene Steuerprotokolle verwendet.

Dies sind unter anderem:

- ICMP (Internet-Control-Message-Protokoll)
- ARP (Adress-Resolution-Protokoll)
- RARP (Reverse-Adress-Protokoll)

Da das Internet nicht Teil dieser Arbeit ist, werden die Routing-Protokolle hier nicht behandelt.

¹²² <http://de.wikipedia.org/wiki/Multicast> vom 11.12.2007

¹²³ http://www.microsoft.com/.....valuate/technol/tcpipfund/tcpipfund_appa.mspx vom 11.12.2007

3.7.4. IP-Version 6 (IPv6)

Die in Abschnitt 3.7.3. beschriebene Form der Adressierung bezieht sich auf den momentanen Standard des IP in der Version 4 (IPv4).

Mit CIDR wird der Adressraum von IPv4 zwar besser ausgeschöpft, jedoch nicht größer. Auf längere Sicht werden die vorhandenen Adressen bei dieser Adressierungsform aber nicht ausreichen.

Da zukünftige Anwendungen weitere Probleme mit sich bringen, und der Benutzerkreis des Internets sich erheblich ausweitet, ist eine neue Version von IP unabdingbar.

Die Ziele des neuen IPv6 sind: die Unterstützung von Milliarden Hosts, Reduzierung der Routingtabellen, Vereinfachung des Protokolls, höhere Sicherheit, bessere Unterscheidung von Diensten, Unterstützung von Multicasting, Ortsänderung eines Rechners ohne Adressänderung und die Kompatibilität zu IPv4.

Wichtige Merkmale sind: längere Adressen (16 statt 4 Byte), Vereinfachung des Headers (8 statt 13 Felder), bessere Unterstützung von Optionen und Authentifikation sowie Datenschutz.¹²⁴

3.8. Die Transportschicht

Die Transportschicht hat die Aufgabe, die Daten unabhängig vom physischen Netz vom Quell- zum Zielrechner sicher, schnell und kostengünstig zu übertragen. Sie ist nicht nur eine weitere Schicht, sondern der Kern der gesamten Protokoll-Hierarchie.¹²⁵ Die Einheit der Transportschicht ist die TPDU (Transport-Protocol-Data-Unit). Die TPDU wird zum Austausch von Nachrichten der Transportschichten verwendet. Kommt ein Rahmen beim Empfänger an, wird der Header von der Sicherungsschicht verarbeitet, und der Inhalt des Nutzdaten-Feldes wird in Form von Paketen an die Vermittlungsschicht weiter gegeben. Die Vermittlungsschicht verarbeitet den Header der Pakete und gibt wiederum den Nutzdatenfeldinhalt an die Transportinstanz weiter.

124 A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 469

125 A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 511

Wie in der Vermittlungsschicht gibt es auch in der Transportschicht verbindungslose und verbindungsorientierte Dienste. Der ganze Verbindungsaufbau ähnelt sehr dem Verbindungsaufbau der Vermittlungsschicht. Als erstes wird eine Verbindung aufgebaut, als zweites werden die Daten übertragen und als drittes wird die Verbindung wieder abgebaut. Auch die Fehlererkennung und -korrektur sowie die Flusssteuerung können von der Transportschicht übernommen werden. Der einzige große Unterschied und damit auch die Begründung für die Notwendigkeit der Transportschicht, ist, dass sie in den meisten Fällen direkt bei den Stationen oder Hosts angesiedelt ist.

Würde die Vermittlungsschicht eine Datenübertragung einfach beenden, hätte der User keinerlei Möglichkeiten zu kontrollieren, ob und wieviel Daten angekommen sind. Mit der Transportschicht besteht die Möglichkeit, die Empfänger-Transportschicht zu kontaktieren und eventuell verloren gegangene Daten erneut zu senden.

Die Transportschicht kann sehr zuverlässige Verbindungen ermöglichen, die von der Benutzerseite gesteuert werden können. Es werden, egal ob Ethernet, DSL, ISDN oder Funk, kontrollierbare Ende-zu-Ende-Verbindungen ermöglicht.¹²⁶

Die meisten Programme, die mit der Transportschicht in Verbindung kommen, benötigen nur eine reine Datenübertragung. Dazu werden folgende Operatoren verwendet:¹²⁷

LISTEN	=	auf Verbindung warten
CONNECT	=	Verbindungsanforderung
SEND/RECIEVE	=	Daten senden
DISCONNECT	=	Verbindungsabbau

Damit eine Transportinstanz die andere Transportinstanz erreicht, gibt es auch hier eine Adressierung. Die Adressierung erfolgt über IP-Adresse und Portnummer. Die allgemeine Bezeichnung hierfür ist TSAP (Transport-Service-Access-Point).

¹²⁶ Funktionsweise des Internets, S. z. V., Prof. Dr. N. Martini, S. 38

¹²⁷ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 516

3.8.1. Die Portnummern

Neben der Schnittstelle zur Vermittlungsschicht ist die Transportschicht auch Schnittstelle für die höheren Schichten. Damit auf der Anwendungsschicht mehrere Prozesse nebeneinander laufen können und eine Datenverbindung von verschiedenen Anwendungen gleichzeitig benutzt werden kann, hat jede Anwendung auf der Anwendungsschicht seine Portnummer.

Die Portnummer kann als Adresse der verschiedenen Anwendungen gesehen werden. Die Nummern 1 bis 1024 sind bestimmten Anwendungen fest zugeordnet.¹²⁸

3.8.2. Die Verbindung

Wie oben kurz beschrieben, setzt sich die Verbindung aus drei Teilen zusammen, dem Verbindungsaufbau, der Datenübertragung und dem Verbindungsabbau.

3.8.2.1. Der Verbindungsaufbau

Der Verbindungsaufbau scheint im ersten Moment sehr einfach zu sein. Es müsste genügen, dass eine Transportinstanz eine „CONNECTION REQUEST TDPU“ an die Zieltransportschicht sendet und die Zieltransportschicht mit „CONNECTION ACCEPTED“ antwortet. Das Problem entsteht, wenn einzelne Pakete verloren gehen oder versehentlich dupliziert werden.

Problematisch sind vor allem verspätete Duplikate, da der Empfänger hier nicht weiß, ob es sich um die erste oder eine duplizierte Verbindungsanfrage handelt. Lösungen für die genannten Probleme bringen zum Beispiel Teilnetzzähler oder Zeitstempel. Diese bewirken, dass ein Paket nicht in Schleifen geraten kann und unendlich lange durchs Netz irrt. Durch Zeitstempel können Pakete nach einer bestimmten Zeit einfach aufgelöst werden.

¹²⁸ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0812271.htm> vom 20.12.2007

Der Two-Way-Handshake ist eine Möglichkeit, die Verbindung aufzunehmen:¹²⁹

1. Verbindungsaufbau durch Austausch von Synchronisationszeichen (SYN).
2. Die Zieltransportschicht antwortet mit einem Bestätigungspaket (ACK).
3. Bei fehlender Rückmeldung wird erneuter SYN gesendet.
(Duplizierte Pakete werden ignoriert).

Bei dem Two-Way-Handshake werden die Pakete fortlaufend nummeriert. Verloren gegangene Pakete machen hier aber immer noch Probleme. Diese Probleme werden mit dem Three-Way-Handshake behoben.

Mit dem Three-Way-Handshake wird die Wahrscheinlichkeit falscher Verbindungsaufbauten reduziert. Zusätzlich zum Two-Way-Handshake werden Sequenznummern der SYN-Pakete gegenseitig bestätigt. Ein umgangssprachliches Beispiel macht den Three-Way-Handshake verständlich:

Anton und Berta möchten sich per E-Mail verabreden, dazu werden folgende Nachrichten ausgetauscht:

1. Anton schickt Berta einen Terminvorschlag.
2. Berta schickt Anton eine Bestätigung des Termins.
3. Anton schickt Berta eine Bestätigung, dass er Bertas Bestätigung erhalten hat.

Die dritte Nachricht klingt zwar zunächst überflüssig, bei genauerem Hinsehen ist sie jedoch durchaus sinnvoll. Wenn Anton keine Bestätigung der Bestätigung geschickt hätte, könnte Nachricht Nr. 2 verloren gegangen sein, und Berta würde alleine zu dem Termin erscheinen, da Anton keine Bestätigung erhalten hat und somit denkt, Berta hätte die E-Mail nicht bekommen.¹³⁰

¹²⁹ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 528

¹³⁰ <http://de.wikipedia.org/wiki/Drei-Wege-Handshake> vom 20.12.2007

Wie oben bei dem Beispiel mit Berta und Anton läuft der Three-Way-Handshake auf der Transportschicht ab:

- Als erstes wird eine Verbindungsanfrage mit „SYN SENT“ angefragt. Es wird für die richtige Reihenfolge eine Sequenznummer X angefügt „SEQ X“
- Als zweites wird die Verbindung durch „SYN/ACK“ bestätigt. Die Sequenznummer wird um einen Wert erhöht „SEQ X+1“, und es wird eine Sequenznummer für die Bestätigung angefügt „SEQ Y“
- Als dritten Teil des Verbindungsaufbaus wird die Bestätigung wiederum bestätigt und die Sequenznummern erhöht „ACK = Y+1; X+1“.¹³¹
- Die Datenübertragung kann beginnen.

3.8.2.2. Datenübertragungsphase

Ist eine Verbindung aufgebaut, bleibt sie bis zum aktiven Abbau bestehen. Die Datenpakete werden direkt zum Empfänger oder in deren Puffer gesendet.¹³²

3.8.2.3. Der Verbindungsabbau

Auch für den Verbindungsabbau wird der Three-Way-Handshake verwendet.

Der Abbau einer Verbindung läuft folgendermaßen ab:

Sender: Alle Daten werden aus dem Sendepuffer entfernt.

Sender: FIN-Befehl an den Empfänger.

Empfänger: Alle Daten werden aus dem Empfangspuffer entfernt, und es wird eine Information an die höhere Schicht gesendet, dass die Verbindung abgebaut wird.

Empfänger: Sendet alle ausstehenden Daten und gibt Einverständnis für den Verbindungsabbau.

Sender: Gibt Information an die höhere Schicht und bestätigt Abbau.

Empfänger: Beendet die Verbindung.

Für die Datenübertragungsphase werden Transportprotokolle wie TCP verwendet.

¹³¹ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 529

¹³² Funktionsweise des Internets, Skript z. V., Prof. Dr. N. Martini, S. 43

3.8.3. Transportprotokolle

3.8.3.1. TCP (Transmission-Control-Protokoll)

TCP stellt eine zuverlässige Ende-zu-Ende-Verbindung her. Die Daten aus der Anwendungsschicht werden durch das TCP in kleine Segmente aufgeteilt und Steuerinformationen hinzugefügt. Der neu entstandene Datenstrom wird an die Vermittlungsschicht, zum Beispiel an das IP, weitergegeben.¹³³

TCP wird gerne und oft mit dem sich auf der Vermittlungsschicht befindenden IP genannt (TCP/IP), das liegt an einer Reihe von Vorteilen, die diese Kombination mit sich bringt.

TCP/IP hat folgende Vorteile:

- TCP/IP ist an keinen Hersteller gebunden.
- TCP/IP kann auf einfachen Computern und auf Großcomputern implementiert werden.
- TCP/IP ist in LANs und WANs nutzbar.
- TCP/IP macht die Anwendung vom Übertragungssystem unabhängig.

Ein Nachteil, den TCP hat, ist der relativ große Verwaltungsaufwand. Wenn nur eine kleine Zahl von Bytes übertragen wird, ist der Anteil von Verwaltungsinformationen mit 40 Byte überproportional groß. Das Verhältnis lässt sich nur durch eine größere Menge von zu übertragenden Nutzdaten verbessern.¹³⁴

¹³³ W. Riggert, Rechnernetze, S. 134

¹³⁴ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0606251.htm> vom 20.12.2007

TCP im Zusammenhang mit anderen Protokollen im OSI-Modell:

Schichten	
7, 6, 5	Anwendungen
4	TCP, UDP
3	ICMP, IP , ARP
2, 1	Hardware

Abb. 3.30. TCP im OSI-Modell

Diese Darstellung der Protokolle im OSI-Modell wird auch als TCP/IP-Referenzmodell bezeichnet. Hier werden die unteren beiden und die oberen drei Schichten zusammengefasst, so dass es insgesamt nur noch vier Schichten gibt.

Da im IP keine Fehlerüberprüfung oder Flusststeuerung vorhanden ist, muss TCP dies ebenfalls übernehmen. TCP unterstützt halbduplexe Ende-zu-Ende-Verbindungen. Broad- und Multicasting wird nicht unterstützt.

3.8.3.2. UDP (User-Datagramm-Protokoll)

Das UDP ist im Gegensatz zu TCP ein verbindungsloses Protokoll. Die Daten werden ins Netz gesendet ohne spezielle Verbindungen. Dadurch ist eine Flusststeuerung nicht möglich und wird bei UDP von höheren Schichten übernommen. Die empfangenen Daten werden vom UDP ohne jegliche Kontrolle über Fehler oder Reihenfolge an die nächsthöhere Schicht weitergeleitet. Die Vorteile von UDP sind der minimale Protokoll-Mechanismus, eine höhere Geschwindigkeit und die Unempfindlichkeit gegenüber Störungen.¹³⁵

UDP ist aufgrund des geringen Verwaltungsanteils auch für die Übertragung von wenigen Nutzdaten gut geeignet.

¹³⁵ <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0812281.htm> vom 20.12.2007

Die einzige Gemeinsamkeit, die UDP mit TCP hat, ist, dass sie ebenfalls die Portstruktur der Anwendungen nutzen und so verschiedene Anwendungen gleichzeitig mit Daten versorgen kann.

Einige Beispiele für Anwendungen, die UDP nutzen, sind folgende: TFTP, BootP, NFS, SNMP und DNS. Hier wird meistens nur ein Paket übertragen, weshalb TCP zu aufwendig wäre.¹³⁶

3.9. Die Sitzungsschicht

Die Sitzungsschicht war im OSI-Modell für Aufgaben der Kommunikation zwischen den sendenden und den empfangenden Stationen vorgesehen. Ein Einsatzbereich ist der Client-Server-Bereich. Als Beispiel kann hier Remote-Procedure-Call (RPC) genannt werden. Mit Hilfe von RPC können über ein Netzwerk Funktionsaufrufe auf entfernten Rechnern durchgeführt werden.¹³⁷

3.10. Die Darstellungsschicht

Die Grundaufgabe der Darstellungsschicht ist die Umwandlung der Datendarstellung auf betriebssystemspezifische Merkmale. Beispiel: XDR.

3.11. Die Anwendungsschicht

Die Anwendungsschicht ist die Schnittstelle zwischen Benutzerprogrammen und Netzwerkfunktionen. Sie arbeitet ebenfalls mit Protokollen, um ein betriebssystemunabhängiges Funktionieren zu gewährleisten.

Während die Festlegungen der unteren Schichten (Kabel, TCP/IP, etc.) sehr gut für die Lichtsteuerung nutzbar sind, fehlt auf der Anwendungsschicht bisher eine genormte Lösung, worauf verschiedene Hersteller zurückgreifen könnten, um ein herstellerübergreifendes Funktionieren der Geräte gewährleisten zu können.

¹³⁶ A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 529

¹³⁷ http://de.wikipedia.org/wiki/Remote_Procedure_Call vom 21.12.2007

Hier setzt die neue Protokollfamilie des ACN an, die im gesonderten Kapitel 7 – ACN (Architecture for Control Networks) ausführlich behandelt wird. Protokolle der Anwendungsschicht sind:

- FTP (File-Transfer-Protokoll)
- SMTP (Simple-Mail-Transfer-Protokoll)
- HTTP (Hyper-Text-Transfer-Protokoll)
- DNS (Domain-Name-Server)
- NNTP (Network-News-Transport-Protokoll)
- Telnet

Die Benutzerprogramme wie Firefox als Browser oder Mail-Programme wie Thunderbird, setzen auf diese Protokolle auf. Sie sind nicht mit ihnen zu verwechseln.

Die Protokolle der Anwendungsschicht im Bereich der Lichttechnik werden ab Kapitel 5 dieser Arbeit beschrieben.

3.11.1. DHCP

Da die Pflege und Einrichtung von IP-Adressen mit einem gewissen Aufwand verbunden ist, vor allem wenn diese Einträge ständig wechseln, gibt es das DHCP (Dynamic-Host-Configuration-Protokoll). Hier werden Plug-and-Play-mäßig IP-Adressen an die Clients vergeben. Der DHCP-Server hat einen gewissen Vorrat an Adressen, und wer sich anmeldet bekommt eine. Des Weiteren kann der DHCP-Server beispielsweise auch Subnetzmasken vergeben.

3.12. Fazit

Das OSI-Referenzmodell bietet einen genauen, strukturellen Aufbau zur Vernetzung.

Die einzelnen Techniken, wie Ethernet oder TCP/IP, sind praxiserprobt und haben eine sehr weite Verbreitung.

Deshalb bietet es sich an, die Vernetzung von Lichtsteueranlagen mittels der bestehenden Infrastruktur zu betreiben und lediglich die Oberfläche für die jeweiligen Anwendungen anzupassen.

4. Lichtnetzwerke heute

Nachdem in Kapitel 1 und 2 auf die Geschichte und die Grundlagen der Lichttechnik eingegangen und in Kapitel 3 die Grundlagen der Netzwerktechnik beschrieben wurden, führt dieses Kapitel die Licht- und Netzwerktechnik zusammen.

Zunächst werden beispielhaft Netzwerke behandelt, wie sie in der heutigen Lichttechnik vorkommen. Im zweiten Abschnitt dieses Kapitels werden einige Endgeräte vorgestellt, die direkt mit Ethernet-Protokollen angesteuert werden können. In Kapitel 5 werden die wichtigsten Firmenprotokolle beschrieben, mit denen zurzeit die Netzwerke in der Beleuchtungstechnik betrieben werden.

Um nicht zu jedem Gerät, das an ein Netzwerk angeschlossen ist, eine genaue Funktionsangabe zu machen, wird hier der Oberbegriff „Netzwerkknoten“ bzw. „Knoten“ für Geräte verwendet, die über eine Netzwerkschnittstelle verfügen.

4.1. DMX512-Netzwerke

Seit DMX512 1986 erstmalig genormt wurde, gibt es unzählige Produkte auf dem Markt, die mit DMX angesteuert werden können. DMX wurde ausführlich bereits in Abschnitt 2.2.3. beschrieben.

Die Netzwerke zur Steuerung von Geräten, die mit DMX512-1990, der erstmalig überarbeiteten Version der 1986er Norm arbeiten, beruhen in den meisten Fällen auf einer einfachen Busstruktur (Abschnitt 3.0.).

Sollten Leitungslängen über 300 m benötigt werden, können Booster das DMX-Signal wieder auffrischen und in die nächsten 300 m Leitung senden. Booster haben eine Verstärkung von 1 und arbeiten eigentlich als Repeater, d. h., sie bereiten das Signal nur auf. Der Begriff Booster hat sich in der Praxis durchgesetzt, obwohl er eigentlich falsch ist, da durch den Booster keine Verstärkung erfolgt. Die 300 m Leitungslänge sind ein Praxiswert. Durch die USITT wurde eine maximale Leitungslänge von 1200 m angegeben, die sich in der Praxis jedoch nicht bewährt hat.

Werden in einem Netzwerk zwei Linien zusammengeführt, z. B. durch das Verwenden von zwei Pulten, können Merger zwei DMX-Universen zu einem zusammenfassen.¹³⁸ Merger können entweder im HTP-Modus (höchster Wert zählt) oder im LTP-Modus (letzter Wert zählt) laufen.



Abb. 4.1. DMX-Merger

Um eine DMX-Linie in mehrere Linien aufzuteilen, werden Splitter eingesetzt. Hier ist zu beachten, dass Splitter keine neuen DMX-Linien erzeugen, sondern lediglich das ankommende Signal an mehrere Ausgänge weitergeben.

In einem Splitter können zusätzliche Features, wie die galvanische Trennung von Eingang und Ausgängen sowie eingebaute Repeater-Funktionen vorhanden sein.

Splitter werden beispielsweise auf Bühnen eingesetzt, wo eine DMX-Linie mehrere Beleuchtungszüge mit Steuersignalen versorgt.

Die Abbildung 4.2. zeigt ein einfaches DMX-Netzwerk. Es besteht aus einem Haupt- und einem Havariepult, einem Merger, einem Dimmer, einem Booster und vier Moving-Lights. Beide Pulte geben jeweils dasselbe DMX-Universum aus. Die Universen werden durch den Merger zu einem Universum zusammengefasst. Hier kann man sich eine Haupt- und Havariepult-Situation vorstellen. Fällt eines der beiden Pulte aus, kann einfach auf das andere ausgewichen werden, ohne hardwareseitig umzubauen.

Das DMX-Universum geht vom Merger in den Dimmer und von dort in den Booster. Die gestrichelte Linie symbolisiert eine Leitung, die größer als 300 m ist. Statt des Boosters könnte auch vor dem Dimmer ein Splitter mit eingebautem Repeater stehen, so dass die DMX-Linie vom Splitter separat in den Dimmer und zu den Moving-Lights geführt werden könnte.

Bei den Moving-Lights wird die Daisy-Chain-Verkabelung fortgeführt. Am letzten Moving-Light sollte der DMX-Ausgang mit einem 120 Ohm Widerstand terminiert sein, um Reflexionen in der Leitung zu verhindern.

¹³⁸ <http://www.soundlight.de/techtips/dmx512/dmx512.htm> vom 10.01.2008

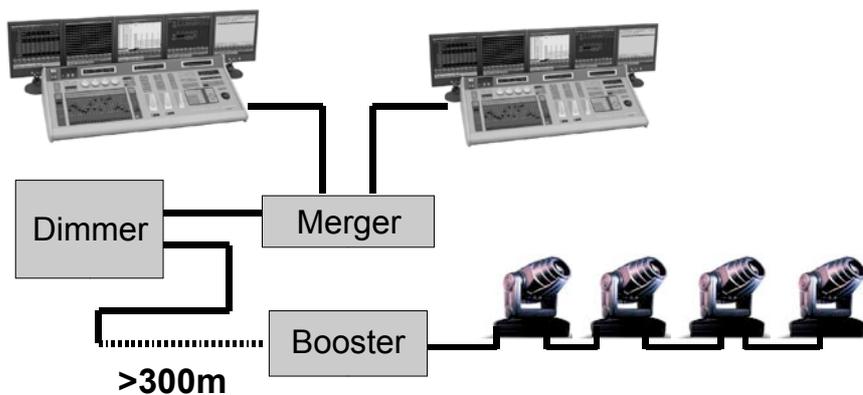


Abb. 4.2. Einfaches DMX-Netzwerk

Die Abbildung 4.2. zeigt beispielhaft den Einsatz eines Boosters und eines Mergers. In der Praxis werden je nach Produktion größere Mengen solcher DMX-Netzwerkknoten eingesetzt.

Das in Abbildung 4.2. abgebildete Steuerpult der Firma Transtechnik könnte zum Beispiel 8 DMX-Universen, d. h. 4.096 Kreise mit DMX-Signalen versorgen.¹³⁹

4.2. Einfache Ethernet-Netzwerke zur Lichtsteuerung

Die DMX512-1990-Netzwerke haben den großen Nachteil, dass die Übertragung nur in eine Richtung funktioniert, und dass nur die momentanen Werte der einzelnen Kanäle übertragen werden.

Mit RDM, das in Abschnitt 2.2.5. beschrieben wurde, ist zwar eine bidirektionale Kommunikation möglich, jedoch fehlen in den RDM-Erweiterungen von DMX512 Features, wie die Synchronisation von Pulten oder das gemeinsame Übertragen von mehreren Linien auf einer Leitung.

Ethernet bietet, wie in Abschnitt 3.5.1 beschrieben, eine solide und praxiserprobte Möglichkeit, Daten in einem Netz zu übertragen und ist ein weltweit akzeptierter Standard. Als Zugriffsverfahren wird der CSMA/CD-Modus verwendet, der ebenfalls in Abschnitt 3.5.1. beschrieben wurde.

¹³⁹ Transtechnik Prisma NTX Datenblatt, S. 1

Da durch die stetig wachsende Anzahl von Kanälen und die zunehmende Komplexität der Netze der Bedarf nach einem besseren Standard aufkam, entwickelten Firmen, wie beispielsweise ADB-Lighting, Artistic Licence, Martin-professionell, MA-Lighting und Strand Lighting Protokolle zur Übertragung von DMX-Daten über eine Infrastruktur, die auf Ethernet beruht.

Die Hauptvorteile, die bei dem Betreiben von Lichtnetzwerken mittels Ethernet bestehen, sind die schnelle Datenübertragung und die Möglichkeit, mehrere DMX-Universen gleichzeitig über eine Leitung zu versenden.

Durch die schnellere Datenübertragung kann eine Echtzeitfähigkeit des Systems erreicht werden. Die Echtzeitfähigkeit kann allerdings nicht pauschalisiert werden, da es auf das verwendete Übertragungsprotokoll und die verwendete Infrastruktur ankommt, ob ein System echtzeitfähig ist.

Näheres über die Echtzeitfähigkeit der unterschiedlichen Übertragungsprotokolle wird in Kapitel 5 beschrieben.

Bei der Verwendung von Fast-Ethernet (Abschnitt 3.5.1.4.) können mit einer Geschwindigkeit von 100 Mbit/s knapp 400 Mal schnellere Datenübertragungen stattfinden als beim DMX mit einer Geschwindigkeit von 256 Kbit/s. Weitere Vorteile, die die Lichtsteuerung durch Ethernet-Netzwerke mit sich bringt, sind die Synchronisation zwischen mehreren Steuerpulten und Rechnern, die Verwendung von File-Servern und die Integration von zusätzlichen Monitoren an den verschiedensten Plätzen im Netzwerk zur Kontrolle.

Die Anwendung des Ethernet-Standards in der Lichttechnik ist nicht als Ersatz zum weiter verbreiteten DMX512 zu sehen, sondern als Ergänzung oder Erweiterung.

Mittels Ethernet wird die Steuerung und Programmierung vereinfacht, und es können komfortabler mehrere DMX-Universen über eine Leitung übertragen werden. DMX512 wird an vielen Endgeräten, wie Moving-Lights und einfachen Dimmern, als Hauptsteuersignal bestehen bleiben.

Die Abbildung 4.3. zeigt ein einfaches Ethernet-Netzwerk. Die beiden Steuerpulte sind über den Ethernet-Switch mit allen anderen Knoten im Netz verbunden. Der File-Server kann alle relevanten Showdaten verwalten, so dass beide Pulte eine externe Möglichkeit haben, Showdaten abzulegen bzw. auf sie zuzugreifen. Der Dimmer in Abbildung 4.3. ist ein Digital-Dimmer mit Ethernet-Anbindung. Über die Ethernet-Verbindung können beispielsweise neue Dimmerkurven auf den Dimmer geladen werden, oder der Dimmer kann dem Pult mitteilen, welche Sicherung gerade ausgefallen ist.¹⁴⁰

Den Ethernet-DMX-Wandler gibt es in verschiedenen Varianten, die in Abschnitt 4.3.3. genauer beschrieben werden. Ebenfalls ist in der Abbildung 4.3. zu sehen, dass eine problemlose Skalierbarkeit des Netzes gegeben ist, da weitere Switches in das Netz eingebunden werden können.

In Kapitel 8 werden einige Beispiele sehr komplexer Ethernet-DMX-Netzwerke ausführlich beschrieben.

Zusätzliche Monitore können durch weitere Rechner an Ethernet-DMX-Wandlern mit integrierten Rechnern in das Netz eingebunden werden. So kann beispielsweise der technische Leiter den Ablauf der Show, von seinem Büro aus, über einen Monitor verfolgen.

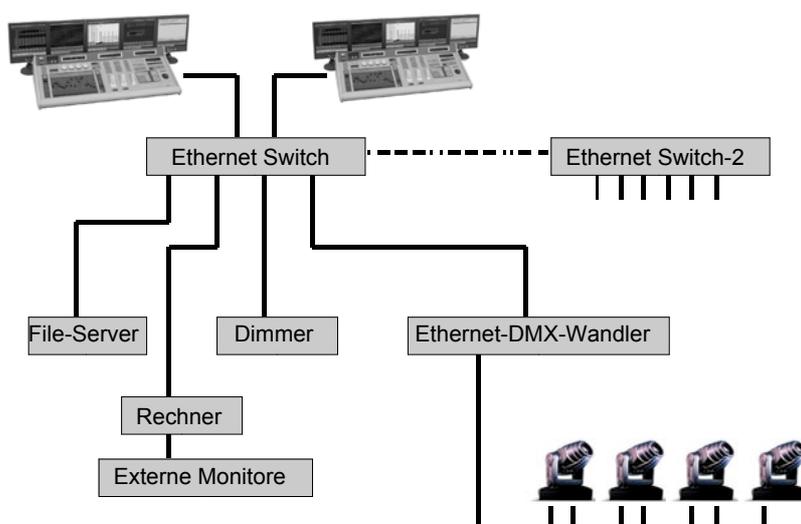


Abb. 4.3. Einfaches Ethernet-Netzwerk

4.3. Ethernet-Hardware

Trotz der vielen Vorteile würde ein reines Ethernet-Netzwerk auch Nachteile haben. Die Sternbusverkabelung würde beispielsweise in einer Beleuchtungstraverse auf einer Tournee einen sehr großen Verkabelungsaufwand mit sich bringen.

Bei Festinstallationen wäre es nur ein einmaliger Verkabelungsaufwand, während im Tourbetrieb nicht mehr auf eine Daisy-Chain-Verkabelung verzichtet werden kann. Hier können nur bestimmte Geräte, wie Ethernet-DMX-Wandler oder Digitaldimmer in ein Netzwerk integriert werden.

Ein weiterer Nachteil war lange Zeit die verwendete Hardware, die für die Bürokommunikation entwickelt wurde und nicht für den Bühnenbetrieb geeignet war.

Da die Ethernet-Technik sich einer immer größeren Verbreitung, auch im Bühnenbereich erfreut, gibt es mittlerweile auch bühnentaugliche Hardware. Neben den entsprechend geschützten Kabeln gibt es auch geschützte RJ45-Stecker.

4.3.1. Der EtherCon-Stecker

EtherCon-Stecker, wie auf Abbildung 4.4. zu sehen, haben ähnlich den XLR-Steckern einen Metall-Schutz, der den eigentlichen RJ45-Stecker schützt.¹⁴¹ Während auf der Bühne ein geschützter RJ45-Stecker zum Einsatz kommt, kann in den Lichtregien weiterhin ein ungeschützter RJ45-Stecker eingesetzt werden da hier



Abb. 4.4. EtherCon-Stecker

weniger häufig starke mechanische Belastungen auf die Stecker einwirken, so dass auch der preiswertere, ungeschützte Stecker ausreicht.

¹⁴¹ http://www.neutrik.com/content/products/level02.aspx?id=204_1954039963&catId=CatMSDE_lighting vom 14.01.2008

4.3.2. Hub und Switch

Da die Ethernet-Verkabelung nach dem Stern- und Bus-Prinzip verläuft, benötigt man entsprechende Sternpunkte. Die Sternpunkte werden dann busförmig miteinander verbunden.

Als Sternpunkt werden entweder Switches oder Hubs verwendet. Der Unterschied zwischen beiden ist, dass die Hubs nach dem Broadcast-Prinzip arbeiten, also das empfangene Datenpaket an alle Ausgänge weiterleiten. Dies kann gerade durch den CSMA/CD-Modus (Abschnitt 3.5.1.) zu Kollisionen führen. Switches haben Kenntnisse über ihre angeschlossenen Netzwerk-Knoten, so dass sie das Datenpaket nur an den entsprechenden Ausgang weiterleiten müssen und dadurch Kollisionen vermieden werden. Ein weiterer Vorteil von Switches ist, dass an jedem Port die gleiche Geschwindigkeit zur Verfügung steht. Beim Hub müssen sich die angeschlossenen Geräte die Bandbreite teilen.¹⁴²

In Lichtsteuerungsnetzwerken sollten Switches verwendet werden, da ansonsten alle anderen Bestrebungen, Bandbreite zu sparen, unnötig wären.

Es gibt zwei Arten von Switches. Die einen arbeiten auf der Sicherungsschicht, also OSI-Schicht 2 (Abschnitt 3.3.). Schicht 2 oder Layer-2-Switches haben keine Management-Funktionen und verarbeiten lediglich die 48Bit-MAC-Adressen. Zu jeder MAC-Adresse wird ein SAT (Source-Address-Table) angelegt, in dem auch der entsprechende Port festgehalten wird, an den Pakete geleitet werden müssen, damit sie die entsprechende MAC-Adresse erreichen.

Switches, die auf der Vermittlungsschicht (Abschnitt 3.6.) arbeiten, verfügen über zusätzliche Management- oder Filterfunktionen. Neben dem einfachen Weiterleiten der Pakete an die entsprechenden Ports können die ein- und ausgehenden Pakete, beispielsweise zum Schutz des Netzes vor fremden Paketen, gefiltert werden, oder es können virtuelle Netze aufgebaut werden.

¹⁴² B. Jäger, Lichtsteuerung, S. z..V., S. 85

Um Netzwerke zu erweitern bzw. sicher aufzubauen, können theoretisch beliebig viele Switches in einem Netzwerk zusammengefasst werden. Die Anzahl der Switches ist praktisch nur durch die Größe der Tabelle begrenzt, in der sich der Switch die angeschlossenen Netzwerkteilnehmer merken kann. Die Tabelle wird als SAT (Source-Address-Table) bezeichnet. Die kleinste SAT-Tabelle im Netz begrenzt die gesamte Anzahl der am Netz angeschlossenen Knoten, da in allen Switches alle Knoten in der SAT-Tabelle vermerkt werden müssen.¹⁴³

Um ein sicheres Netz aufzubauen und trotzdem nicht Pakete mehrmals durch das Netz zu versenden, wurde das Spanning-Tree-Protokoll eingeführt.

Stark vereinfacht lässt sich das Spanning-Tree-Protokoll folgendermaßen erklären. Beim Spanning-Tree-Protokoll kommunizieren die Switches untereinander als Bridges über ein Bridge-Protokoll. Jeder Bridge-Verbindung wird eine spezielle Priorität zugeordnet. Eine 100Mbit-Verbindung hat dabei eine höhere Priorität als eine 10Mbit-Verbindung, weshalb die 100Mbit-Verbindung gewählt und die 10Mbit-Verbindung gesperrt wird.¹⁴⁴

Durch diese Art der Organisation ist eine redundante Übermittlung von Informationen unmöglich, und es kann trotzdem ein sicheres System aufgebaut werden.

4.3.3. Ethernet-DMX-Wandler

Durch die Verwendung von geeigneten Übertragungsprotokollen, wie zum Beispiel Art-Net (Kapitel 6) oder zukünftig ACN (Kapitel 7), können mehrere DMX-Universen problemlos über eine Ethernet-Verbindung transportiert werden. Da die meisten Endgeräte, wie Moving-Lights oder einfache Dimmer, weiterhin mit DMX512 gesteuert werden, muss es Geräte im Netzwerk geben, die das verwendete Ethernet-Protokoll in DMX512 umwandeln.

Die meisten Pulhersteller haben solche Wandler mit in ihre Produktlinie aufgenommen. Zusätzlich zu der einfachen Wandler-Funktion können weitere Funktionen, wie das Speichern und Abspielen kleiner Stimmungen, mit in das Gerät aufgenommen werden.

¹⁴³ http://de.wikipedia.org/wiki/Switch_%28Computertechnik%29 vom 04.02.2008

¹⁴⁴ http://de.wikipedia.org/wiki/Spanning_Tree_Protocol vom 04.02.2008

ADB-Lighting hat mit dem Netgate-XT einen DMX-Ethernet-Wandler im Programm, der neben der Wandlung zusätzliche Funktionen bietet. Es werden beispielsweise SVGA-, MIDI-, oder Anschlüsse zum Fernauslösen von Schließkontakten bereitgestellt.

4.3.3.1. Zusätzliche Prozessoren

MA-Lighting hat einen Netzwerk-Signal-Prozessor (NSP) im Programm, der über das firmeneigene MA-Net (Abschnitt 5.6.) oder Art-Net angesteuert wird und bis zu vier getrennte DMX-Universen ausgeben kann. Dadurch können die MA-Pulte um bis zu 64 DMX-Linien erweitert werden und dabei echtzeitfähig, d. h. framesynchron bleiben.

Mit der Anbindung an ein MA-Pult kann die Anzahl der am Pult verfügbaren Universen erhöht werden, wobei die Rechenarbeit von dem NSP-Prozessor übernommen wird. Dadurch kommt es zu keiner Überlastung des Pult-Prozessors.¹⁴⁵

Da die ersten grandMA-Pulte 1997 ausgeliefert wurden, ist die Hardware entsprechend alt, und die Rechenleistung kann nicht komplett vom Pult-Prozessor übernommen werden.¹⁴⁶

High End Systems hat mit dem „DMX-Prozessor“ ein ähnliches Gerät auf den Markt gebracht. Genau wie beim NSP können die Pult-Universen pro DMX-Prozessor um vier weitere Universen erweitert werden. Die Rechenarbeit wird vom DMX-Prozessor übernommen. High End Systems hat die Anzahl der höchstmöglich anzuschließenden Geräte nicht begrenzt.

¹⁴⁵ NSP-Datenblatt, MA-Lighting

¹⁴⁶ http://www.malighting.com/product_history.html?&L=2 vom 04.02.2008

4.4. Ethernet-Endgeräte

In diesem Kapitel werden einige Endgeräte vorgestellt, die direkt mit Ethernet-Protokollen angesteuert werden können. Es werden nur beispielhaft einige Geräte beschrieben, um das allgemeine Verständnis zur Funktion von Ethernet-Protokollen zu fördern und weitere Möglichkeiten aufzuzeigen, die sich durch ein Ethernet-Netzwerk ergeben. Grundsätzlich finden sich ethernetfähige Geräte im gesamten Lichtnetzwerk.

Als Endgeräte werden hier beispielhaft ein Scheinwerfer, eine Kontrolleinheit, ein LED-Panel und ein Medienserver vorgestellt.

4.4.1. Automatisierte Profilscheinwerfer

Um gezielt Objekte oder Personen auf der Bühne auszuleuchten und den Lichtkegel kontrolliert zu begrenzen, werden Profilscheinwerfer eingesetzt. Damit sie während einer Vorstellung in verschiedenen Szenen verwendet werden können, benötigen sie sehr leise Motoren und eine exakte Steuerung. In Abbildung 4.5. ist der WARP-Profilscheinwerfer der Firma ADB-Lighting abgebildet. Er ist komplett ohne Lüfter gebaut und lässt sich via Ethernet oder DMX512 ansteuern. Die Ethernet-Ansteuerung bietet



Abb. 4.5. WARP-Profilscheinwerfer

unter anderem die Möglichkeit, den Scheinwerfer über einen Standard-Browser zu konfigurieren. Die komplette Ansteuerung, Rückmeldung, Konfiguration und die Software-Updates werden über Ethernet realisiert.

Über den Browser gibt der WARP auch seine momentane Position in Pan und Tilt an sowie den Lampenstatus und eventuelle Fehlermeldungen. Zusätzlich ist im WARP ein Ethernet-DMX-Wandler und ein Ethernet-Knoten verbaut, so dass nicht auf die komfortable Daisy-Chain-Verkabelung verzichtet werden muss.¹⁴⁷

4.4.2. Kontroll-Einheiten

Zum Abrufen von programmierten Lichtstimmungen können an beliebigen Stellen Kontrolleinheiten platziert werden. Die Kontrolleinheiten werden über eine Ethernet-Verbindung an das Netzwerk angeschlossen und ermöglichen so den Zugriff auf andere Knoten im Netz. Die Firma Zero 88 bietet beispielsweise ein „Controll Panel“ an, welches über das firmeneigene ChiliNet angesteuert wird. Durch die Kontroll-Einheiten können neben Stimmungen und Sequenzen auch andere Raumfunktionen gesteuert werden.¹⁴⁸

4.4.3. LED-Panels

In den letzten Jahren ist die LED-Technik weit fortgeschritten, und LED-Panels finden immer mehr Einsatzmöglichkeiten. Um die Technik voll auszunutzen, ist es nötig die Panels mit einer Vielzahl von DMX-Kanälen zu versorgen, so dass zur Steuerung schnell mehrere DMX-Universen zusammenkommen. Die Abbildung 4.6. zeigt ein

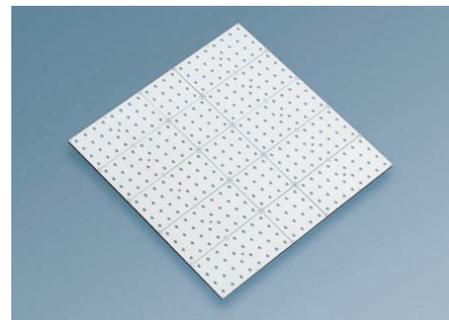


Abb. 4.6. LED-Panel

LED-Panel der Firma Schnick-Schnack-Systems. Ein Panel dieser Art hat die Größe von einem Quadratmeter und ist mit 400 Dioden ausgestattet. Um jede Diode einzeln anzusteuern, wäre fast ein ganzes DMX-Universum mit 512 Kanälen nötig. Um die Steuerung komfortabler zu gestalten, kann das Panel über Art-Net angesteuert werden. Das Panel kann über den Netzwerkanschluss entweder von einem Lichtpult oder von einem Medienserver angesteuert werden.¹⁴⁹

¹⁴⁸ Bedienungsanleitung für Abruf-Steuereinheiten der Firma Zero 88

¹⁴⁹ <http://www.schnickschnacksystems.com/Panel-Datenblatt.pdf> vom 14.01.2008

4.4.4. Medienserver

Um den entsprechenden Inhalt auf die in Abschnitt 4.4.3. beschriebenen LED-Panels zu bringen, gibt es entweder die Möglichkeiten, das LED-Panel von einem Lichtpult mit einfachen Effekten zu versorgen, oder bei aufwendigerem Inhalt einen Medienserver einzusetzen.

In diesem Abschnitt wird der Medienserver lediglich als ein Gerät beschrieben, welches von einem Lichtpult angesteuert werden kann, dementsprechend werden hier nur einige Merkmale aufgezeigt. Eine detaillierte Beschreibung der Medienserver würde an dieser Stelle zu weit führen.

Die Aufgabe eines Medienservers ist im Grunde das Verwalten von Medien auf einem Server. Mit einer zusätzlichen Software ist es möglich, diese Medien zu bearbeiten und zu kombinieren.

Daraus folgt, dass Medienserver entweder eine reine Software-Lösung sein können und auf einem Standard-Rechner laufen oder auch gleich die entsprechende Hardware mitbringen. Da die Hardware-Anforderungen im Videobereich vergleichsweise hoch sind, ist es durchaus sinnvoll, eine Medienserver-Software in Kombination mit der entsprechenden Hardware zu betreiben.

Die Abbildung 4.7. zeigt einen Medien-Server, die Pandoras-Box der Firma Coolux. Um die Datenmengen zu verwalten, hat die Pandoras-Box eine Festplatte von 1,2 TB (120 Gigabyte).¹⁵⁰ Die Ansteuerung erfolgt über Art-Net (Kapitel 6) oder DMX512 (Abschnitt 2.2.3.).



Abb. 4.7. Pandoras-Box von Coolux

¹⁵⁰ http://www.coolux.de/root/downloads/pdf_de/PB_MediaServer_v3_5_de.pdf vom 15.01.2008

Durch das Integrieren von Medienservern in die Netzwerke der Lichttechnik ist eine gemeinsam aufeinander abgestimmte Programmierung und Abfolge einer Show viel komfortabler, als wenn die Gewerke Licht- und Videotechnik separat organisiert wären.

Weitere Hersteller von Medienservern sind unter anderen Sony, Robe, MA-Lighting und High End Systems.

4.5. Fazit

In diesem Kapitel wurden die Grundlagen heutiger Lichtnetzwerke beschrieben. Die vorgestellten Endgeräte bieten einen Einblick in die Möglichkeiten, die durch das Erweitern einfacher DMX-Netzwerke zu Ethernet-/DMX-Netzwerken entstehen.

Damit Netzwerke funktionieren, und die Datenpakete über die verschiedenen OSI-Schichten von der einen Anwendungsschicht zur nächsten gelangen, sind verschiedene Protokolle und Mechanismen nötig, die in Kapitel 3 ausführlich beschrieben wurden.

In Kapitel 5 wird die Kommunikation auf den Schichten 5 bis 7 beschrieben sowie einige Protokolle, die von den Lichtfirmen entwickelt wurden.

5. Übertragungsprotokolle

In diesem Kapitel werden verschiedene Übertragungsprotokolle zur Übertragung von DMX512- und anderen Lichtsteuerungsdaten über eine Ethernet-Verbindung beschrieben.

In Abschnitt 4.4. wurden einige Geräte vorgestellt, die ohne die Ethernet-Ansteuerung nur eingeschränkt funktionieren würden. Um diese Ethernet-Lichttechnik komfortabel zu steuern, haben einige Firmen Protokolle zur Steuerung ihrer Ethernet-Geräte entwickelt. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Protokolle vorgestellt, die von Firmen wie der ETC GmbH, MA-Lighting oder der ESTA (Abschnitt 2.4.1.) entwickelt wurden und zurzeit verwendet werden.

Da der Protokollaufbau teilweise zu den jeweiligen Firmengeheimnissen gehört, kann hier nur eine eingeschränkte Beschreibung stattfinden.

5.1. Architecture-for-Control-Network

Das Architecture-for-Control-Network (ACN) ist eine Architektur zur Kommunikation zwischen Netzwerkknoten verschiedener Hersteller. Es ist eine Architektur, die von der ACN-Task-Group der ESTA (Abschnitt 2.4.2.) entwickelt wurde und in der ESTA 1.17. 2006 ACN beschrieben ist. Die ANSI (Abschnitt 2.4.1.) hat diesen Entwurf übernommen und in der ANSI BSR E1.17 herausgegeben. Die Architektur bietet verschiedene Module zur Übertragung bestimmter Daten, wie das DSP (DMX-A-Streaming-Protokoll, DMX-over-ACN) oder das DMP (Device-Management-Protokoll, Protokoll zur Beschreibung der jeweiligen Gerätefunktion) an.

Das DSP wird in diesem Kapitel in Abschnitt 5.5.1. behandelt, da es von der Firma ETC GmbH bereits eingesetzt wird.

ACN ist eine sehr umfangreiche Architektur. Sie bietet Möglichkeiten eines vereinheitlichten Standards in den Schichten 5 bis 7 des OSI-Modells zur Übertragung verschiedenster Daten.

Da ACN sehr umfangreich ist und in der ANSI BSR E1.17 definiert ist, kann in Kapitel 7 sehr ausführlich auf ACN, die Architektur zur Steuerung von Lichtnetzwerken, eingegangen werden.

5.2. Art-Net

Die Firma Artistic Licence entwickelte 1998 das Art-Net-Protokoll zur Übertragung von DMX512- oder RDM-Daten in einem Ethernet-Netzwerk. Es können maximal 255 Universen übertragen werden.

Art-Net hat in seiner ersten Version nur mit Broadcast-Verbindungen gearbeitet, was für größere Installationen zu Problemen hinsichtlich der Bandbreite des Netzwerkes geführt hat.

Der Standard ist offen, was bedeutet, dass jede Firma, die Geräte für Netzwerke im Bereich der Lichttechnik entwickeln möchte, Art-Net implementieren kann. Die Offenheit des Art-Net-Protokolls hat dazu geführt, dass sich ein großer Teil der Firmen aus der Beleuchtungsindustrie zur Art-Net-Alliance (Abschnitt 6.1.) zusammengeschlossen hat.

Dadurch, dass Art-Net ein offener Standard, und der Aufbau unter www.ArtisticLicence.com einsehbar ist, kann in Kapitel 6 ausführlich auf Art-Net eingegangen werden.

In Kapitel 8 werden einige praktische Einsätze von Art-Net beschrieben.

5.3. AVAB/IPX

Die Firma AVAB aus Schweden ist Spezialist auf dem Gebiet der Lichtsteueranlagen. Seit 2002 gehört die Firma mit zur ETC GmbH.¹⁵¹

AVAB/IPX ist ein Ethernet-Protokoll, welches auf dem Internetwork-Packet-Exchange (IPX) beruht.¹⁵²

151 <http://www.etcconnect.com/company.history.aspx> vom 15.01.2008

152 http://de.wikipedia.org/wiki/Internetwork_Packet_Exchange vom 15.01.2008

5.4. AVAB/UDP

Eine Weiterentwicklung des AVAB/IPX-Protokolls ist das AVAB/UDP. Ein Hauptunterschied besteht darin, dass es auf dem UDP basiert (Abschnitt 3.8.3.2.) und dass die Pakete Daten von bis zu zwei DMX-Universen transportieren können.¹⁵³

Eine ebenfalls verbreitete Bezeichnung für das AVAB/UDP ist Transtechnik/UDP. Da AVAB/UDP mit dem Broadcast-UDP-Protokoll arbeitet, werden die meisten Daten über Broadcast-Adressen versendet.

5.4.1. Die Funktion von AVAB/UDP

Grundsätzlich kann ein AVAB/UDP-Netz in zehn Subnetze aufgeteilt werden. Jedes Subnetz verwendet dabei eine eigene Portnummer und kann bis zu 32 Universen übertragen. Zur besseren Ausnutzung der Bandbreite und zur Organisation können Geräte auf bestimmte Universen beschränkt sein oder nur in bestimmte Netze senden.

Da es sich bei UDP-Verbindungen um verbindungslose Übertragungen handelt und es keinerlei Flusssteuerung gibt, sollte die Refresh-Rate im Netz synchron mit der der angeschlossenen Geräte sein, und die Empfänger müssen in der Lage sein, eine maximale Anzahl von 48 Paketen pro Sekunde verarbeiten zu können. Können die Empfänger weniger Pakete pro Sekunde verarbeiten, kann es zu Datenverlusten kommen.

Bleiben die zu übertragenden Daten unverändert, kann die Geschwindigkeit auf ein Paket pro Sekunde herabgesetzt werden.

Um Daten von mehreren Sendern zu verarbeiten, gibt es zwei verschiedene Modi. Der „Single Modus“ wird für Netze mit einem DMX-Sender verwendet. Es gibt ein Master-Pult. Die DMX-Ausgänge der eventuell angeschlossenen „Slaves“ (weitere Sender) werden blockiert, so dass immer nur einer senden kann. Sollten dennoch mehrere Sender Pakete ins Netz senden, werden nur die jeweils ersten Pakete verarbeitet. Die nachkommenden Pakete werden verworfen.

Sollte im Havarie-Fall ein Sender ausfallen, können nach einer bestimmten Zeit auch Pakete von anderen Sendern (Havariepult) verarbeitet werden.

Der zweite Modus, mit dem gearbeitet werden kann, ist der „Ethernet Merge“. Hier können mehrere Konsolen im Netz als DMX-Sender fungieren. Die Empfänger können im Ethernet-Merge-Modus Daten von mehreren Sendern verarbeiten. Werden verschiedene Daten für eine Funktion empfangen, werden diese im HTP (höchster Wert zählt) gemergt.¹⁵⁴

Dieser Modus erlaubt es, große physische Netze aufzubauen und mehrere Sender zu integrieren. Fällt ein Steuerpult aus, kann schnell ohne neue Verkabelung auf ein anderes Pult umgeschaltet werden.

Da AVAB/UDP auf Broadcasting basiert, könnte es bei größeren Produktionen mit zu gering bemessener Infrastruktur zu Überlastungen des Netzes kommen.

Bei Festinstallationen, wo das Haupteinsatzgebiet von AVAB/UDP liegt, können solche Probleme allerdings im Voraus berücksichtigt werden. Eine der größten Festinstallationen mit AVAB/UDP als Netzwerkprotokoll sind Theater in Amsterdam und München.¹⁵⁵

5.5. ETCNet

Die Firma ETC (Electronic Theatre Controls) wurde 1975 in den USA gegründet. Die von ETC entwickelten Ethernet-Übertragungsprotokolle unterstützen in der ersten Form (ETCNet1) die Übertragung über die Ethernet-Standards 10Base2, 10BaseF und 10BaseT.

Mit ETCNet1 war man in der Lage, sechs DMX-Linien gleichzeitig via Ethernet zu übertragen.¹⁵⁶

ETCNet2 passte sich der Weiterentwicklung des Ethernets an. Es können bis zu 32.767 DMX-Kanäle übertragen werden. Da ETCNet ein unveröffentlichter Standard ist und ETC nicht zur Art-Net-Alliance gehört, konnten die Geräte anderer Hersteller lange Zeit nicht mit Geräten von ETC kommunizieren.

¹⁵⁴ ETC GmbH, Protocol Spezifikation AVAB UDP, Version 1_7_1, S. 3 – 7

¹⁵⁵ ETC GmbH

¹⁵⁶ M. Kaiser Diplomarbeit, S. 95

Mittlerweile kann mit beispielsweise Capture, Green Hippo, MA, Sandnet oder Wysiwyg zusammengearbeitet werden.

ETCNet arbeitet nach dem Prinzip, dass nur DMX-Daten gesendet werden, die eine Veränderung zum vorigen Wert beinhalten. Ansonsten wird alle fünf Sekunden ein Update-Datenpaket der momentanen Werte gesendet.¹⁵⁷

Die Eingangsports der jeweiligen Anwendungen können so gesperrt werden, dass sie nur bestimmte Universen annehmen. Beispielsweise kann Port 20 nur die Universen 1 bis 20 annehmen. Damit werden die jeweiligen Anwendungen vor unnötigen Daten geschützt.

Um weiteren, unnötigen Datenverkehr zu vermeiden, arbeitet ETCNet2 auf der Basis von IP-Multicast (Abschnitt 3.7.2.4.).

Um während des Betriebs des Netzwerks auch eine große Flexibilität zu gewährleisten, können 20 Prioritäten vergeben werden, so dass das gesamte Lichtnetz einer Installation, inklusive Show-, Architektur- und Putzlicht zusammenarbeiten kann. Ein Beispiel für die Vergabe von Prioritäten wäre die Situation einer Architekturpriorität, die durch die höhere Priorität des Lichtpultes außer Kraft gesetzt würde.¹⁵⁸

5.5.1. ETCNet3/DMX-over-ACN

ETCNet3 gilt als die erste Anwendung von ACN.

DMX-over-ACN basiert auf der ACN E1.17-Norm. Da die gesamte Architektur der ACN E1.17-Norm beschrieben wurde, diese jedoch sehr umfangreich ist, entschloss man sich bei der ESTA, eine Untergruppe in der ACN-Task-Group zu bilden, welche speziell die Übertragung von DMX-A-Daten über eine ACN-Architektur beschreibt.

ETCNet3 arbeitet nach dem Entwurf ESTA zur BSR E1.31-Norm (Draft 2.0). In dieser Norm wird das DMX-A-Streaming-Protokoll (DSP) beschrieben.

¹⁵⁷ http://www.hbernstaedt.de/KnowHow/Steuersignale/Steuersignale_08/Steuersignale08b.htm vom 28.01.2008
¹⁵⁸ ETC GmbH

Das DSP kann dafür verwendet werden, DMX-A-Daten via TCP/IP zu versenden. Die DMX-A-Daten werden in einer einfachen Weise verpackt, die mit der Verpackungsstruktur der ACN E1.17-Norm kompatibel ist.

Für Uni- und Multicast-Verbindungen werden das Session-Data-Protokoll (SDT, Abschnitt 7.3.5.) und das Root-Layer-Protokoll (RLP, Abschnitt 7.3.8.) verwendet. Zur Übertragung der Daten ist es nicht nötig, die Protokolle zu verstehen, wie sie in den genannten Abschnitten beschrieben werden, es reicht aus zu wissen, dass sie verwendet werden.¹⁵⁹

Eine detaillierte Beschreibung, wie das DSP in einer ACN-Architektur eingesetzt werden kann, erfolgt in Abschnitt 7.8.

5.6. MA-Net

MA-Net ist das Firmenprotokoll der Firma MA-Lighting. MA-Lighting hat seinen Firmensitz in Paderborn und wurde 1983 gegründet.

Laut MA-Lighting ist eines der wichtigsten Merkmale von MA-Net die Echtzeitfähigkeit. Durch NSPs (Abschnitt 4.3.3.1.) wird Rechenleistung ausgegliedert und eine framesynchrone Ausgabe an verschiedenen Punkten gewährleistet. Mit jedem Paket wird ein Zeitstempel übermittelt.

Dadurch, dass MA-Net hohen Wert auf die Echtzeitfähigkeit legt, und mit 100 Mbit/s eine relativ hohe Übertragungsgeschwindigkeit hat, ist MA-Net nicht optimal für Funk-Übertragungen geeignet. Eine Unterbrechung der Übertragung führt zu Problemen bei der Verarbeitung der Zeitstempel.

Zur Übertragung großer Showdaten werden TCP-Verbindungen verwendet, und die Synchronisation erfolgt über UDP.¹⁶⁰

Die IP-Adressierung erfolgt in den häufigsten Fällen im IP-Klasse-C-Bereich (192.168.0.0 bis 192.168.255.255).¹⁶¹

Die Produkte von MA unterstützen neben dem firmeneigenen MA-Net weitere Schnittstellen zu Art-Net, ETCNet2 oder Pathport.

¹⁵⁹ BSR E1.31. DSP, S. 6

¹⁶⁰ http://www.hbernstaedt.de/KnowHow/Steuersignale/Steuersignale_08/Steuersignale08b.htm vom 28.01.2008

¹⁶¹ J. Müller, Handbuch der Lichttechnik, S. 248

5.7. Pathport-Protokoll

Das Pathport-Protokoll wurde von der Firma Pathway Connectivity entwickelt. Pathway Connectivity bietet Produkte aus dem Bereich der Lichtsteuerung rund um DMX und Ethernet an.

Eine Hauptaufgabe von Pathport ist es, DMX-Signale an Orten bereit zu stellen, an denen sie benötigt werden.

Da Pathway Connectivity sich auf Zubehör für Lichtnetzwerke spezialisiert hat, ist eine Zusammenarbeit mit anderen Herstellern sinnvoll und funktioniert auch. Unter anderem mit Herstellern wie Green Hippo, Strand Lighting, und Genlyte.¹⁶²

5.8. ShowNet

Strand Lighting stellte 1994 erstmals das Ethernet-Protokoll ShowNet vor. In der ersten Version wurde UDP als Transportprotokoll verwendet. Mittlerweile wurde ShowNet weiterentwickelt, und es kann beispielsweise zur Synchronisation zweier Pulte oder zum Transport von MIDI-Daten verwendet werden.¹⁶³

5.9. ADB-Netzwerk

ADB arbeitet bei der Übertragung von DMX-Werten mit dem 10 Mbit-Art-Net-Standard und für alle weiteren Übertragungen mit einem firmeneigenen 100 Mbit-Standard. Der firmeneigene Standard arbeitet eher auf ACN-Basis. Die angeschlossenen Geräte melden sich selbstständig am Netz an und beschreiben ihre Funktionen. Der Nutzer bestimmt dann, ob der Knoten an der jeweiligen „Session“ teilnehmen darf oder nicht.¹⁶⁴

¹⁶² <http://www.pathwayconnect.com> vom 17.01.2008

¹⁶³ http://www.hbernstaedt.de/KnowHow/Steuersignale/Steuersignale_08/Steuersignale08b.htm vom 28.01.2008

¹⁶⁴ http://www.hbernstaedt.de/KnowHow/Steuersignale/Steuersignale_08/Steuersignale08b.htm vom 28.01.2008

5.10. CobraNet

Obwohl CobraNet eigentlich nicht aus dem Bereich der Lichttechnik kommt, soll es hier ebenfalls kurz erwähnt werden. CobraNet wurde von Cirrus Logic zur Echtzeitübertragung von digitalen Audiodaten über Ethernet entwickelt. CobraNet basiert auf Fast-Ethernet und kann 64 unabhängige Kanäle übertragen. Es wird neben öffentlichen Gebäuden, wie Flughäfen, auch in Theatern zur Verteilung von Audiodaten verwendet.¹⁶⁵

5.11. Weitere Firmenprotokolle

Die Firma Compulite hat mit CompuliteNet ebenfalls einen firmeneigenen Standard entwickelt, der es beispielsweise ermöglicht, Video-Daten über das Netz zu versenden, um externe Monitore einzubinden. Die Firma zero88 entwickelte zur Kommunikation ihrer Dimmer das ChilliNet. Das von der australischen Firma Bytecraft entwickelte SANet diente ursprünglich ebenfalls der Ansteuerung von Dimmern.

¹⁶⁵ http://www.itwissen.info/definition/lexikon/___cobranet.html vom 17.01.2008

5.12. SandNet

Die norwegische Firma Sandsys hat sich auf das Umwandeln verschiedener Protokolle aus dem Bereich der Lichtsteuerung spezialisiert. Sandsys bietet zum Beispiel Bauteile an, die den von ETC GmbH verwendeten DMX-over-ACN-Standard in Art-Net umwandeln. Die Abbildung 5.1 zeigt ein SandNet-Fenster. Es werden unter anderem Protokolle von AVAB, Compulite, MA-Lighting, ETC GmbH, Pathway Connectivity und Artistic Licence gewandelt.¹⁶⁶ Mit Sandnet können ebenfalls DMX512-, MIDI- oder VGA-Daten übertragen werden. Neben den Protokollen zur Übertragung von reinen Steuerinformationen können auch einige Visualisierungsprogramme, wie Wisiwyg ins Netz oder die Software-Version der Hog (Lichtkonsole von der Firma High End Systems) eingebunden werden.¹⁶⁷

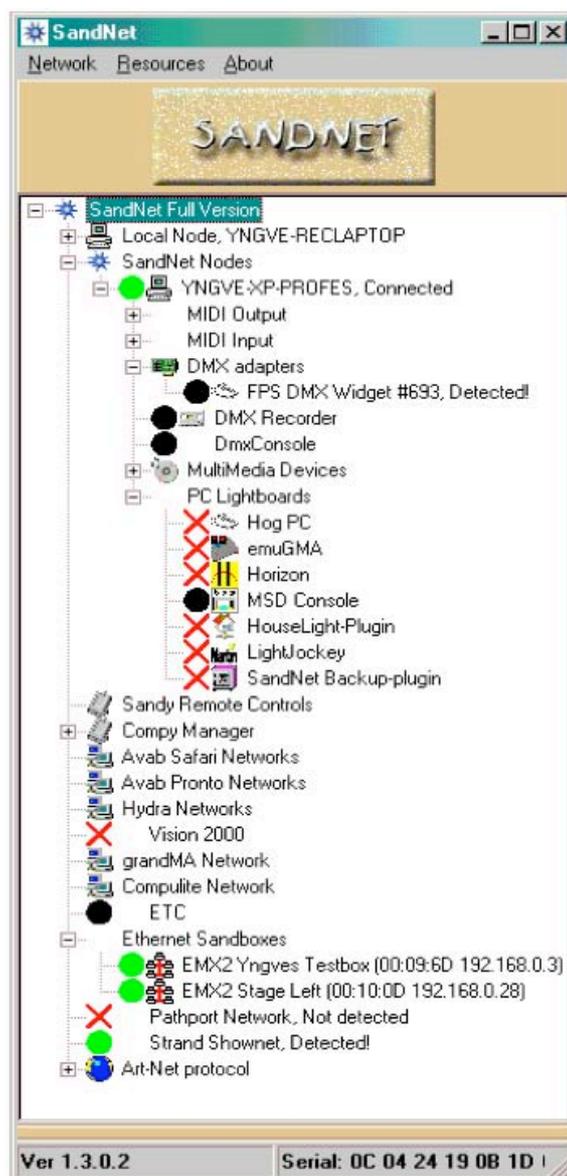


Abb. 5.1. SandNet-Fenster

¹⁶⁶ <http://www.sandsys.com/products/sandnet/index.htm#Local%20Node> vom 20.01.2008

¹⁶⁷ <http://www.sandsys.com/products/sandnet/index.htm#Local%20Node> vom 20.01.2008

5.13. Fazit

Es gibt neben ACN und Art-Net mehrere firmeneigene Protokolle, die teilweise auch auf Produkten mehrerer Firmen laufen, jedoch nicht der Allgemeinheit zugänglich sind. Informationen zum Aufbau der Firmenprotokolle werden aus firmenpolitischen Gründen knapp gehalten. Einige Firmen kommunizieren miteinander, so dass beispielsweise ein ShowNet-Gerät auch über eine grandMA-Konsole gesteuert werden kann.

Die einzige Möglichkeit neben der Verwendung offener Protokolle ist der Einsatz von SandBoxen der Firma Sandsys, die mittels SandNet (Abschnitt 5.12.) die Protokolle verschiedener Hersteller in einem Netz zusammenfassen können. Der Verbraucher ist in der Wahl der Geräte sehr eingeschränkt und auf die Zusammenarbeit der Firmen aus der Lichtbranche angewiesen, um für den jeweiligen Zweck das beste Gerät einer beliebigen Firma verwenden zu können.

6. Art-Net

Art-Net ist ein Protokoll zur Übertragung von Lichtsteuerungsdaten über Ethernet. Mit dem Art-Net-Protokoll können lichttechnische Geräte angesteuert werden, wie sie in Abschnitt 4.4. beschrieben wurden. Zur Steuerung dieser Geräte oder Knoten können beispielsweise DMX512-, DMX-A-, RDM- oder MIDI-Daten übertragen werden.

Da Art-Net Ethernet als Übertragungsstandard verwendet, gelten die Definitionen aus Abschnitt 3.5.1. über Ethernet. Art-Net definiert die Übertragung der Steuerungsdaten in der Anwendungsschicht des OSI-Modells.

Die Zusammenarbeit von Art-Net und Ethernet kann mit der Zusammenarbeit von DMX512 und dem RS485-Standard verglichen werden.

6.1. Artistic Licence

Die Firma Artistic Licence aus Großbritannien ist die Entwicklungsfirma des Art-Net-Protokolls. Artistic Licence hat sich auf Geräte und Software zur Steuerung von Licht- und Videotechnik spezialisiert. Sie selbst beschreiben sich als Entwickler von Steuerungen im Bereich der Licht- und Unterhaltungsindustrie.¹⁶⁸

Die Firma hat sich zu einem Spezialisten von kleineren Steuerungsgeräten im Bereich der Lichtsteuerung entwickelt.

Artistic Licence stellt Art-Net als offenes Protokoll zur Verfügung, sodass sich in den letzten Jahren immer mehr Firmen der „Art-Net-Alliance“ angeschlossen haben, und es teilweise so aussieht, als ob sich Art-Net zu einem Quasi-Standard entwickeln würde. Mittlerweile haben sich über 50 Firmen Art-Net angeschlossen.

¹⁶⁸ <http://www.artisticlicence.com> vom 03.01.2008

Zur Art-Net-Alliance gehören unter anderem die Firmen AC Lighting Ltd., ACT Inc., ADB, ArKaos, Avab Transtechnic, Avolites, Barco, Bigfoot, Botex, Cameleon, Celco, Compulite, DES, Design & Drafting, Digital Enlightenment, Doug Fleenor Design, Ecue, ELC Lighting, Electronics Diversified, EDI, Enttec, Flying Pig, Goddard Design Co, Goldstage, Green Hippo, High End Systems, Horizon Controls, IES, I-Light Group, Invisible Rival, Jands Electronics Pty, KissBox, LeHigh Electric Products Co, LewLight, LSC, Luminex, MA-Lighting, Martin Professional, Medialon, Mediamation, Nondim Enterprises, Pathway Connectivity, PixelMad, Robe Show Lighting, SandNet, Stage Research, SunLite, Sunset Dynamics, Team Projects, Theatrelight Ltd, Touchlight Systems Ltd, VNR Electronique SA, Zero 88 und Artistic Licence.¹⁶⁹

Jede Firma, die Art-Net in ein Produkt implementieren möchte, meldet sich bei Artistic Licence. Die Firmen geben die Registrierungs-Codes, auch OEM-Codes genannt, an Artistic Licence und können sich dann die entsprechenden Treiber und Software-Entwicklungs-Tools herunterladen bzw. in ihre Produkte übernehmen.

6.2. Der Aufbau

Art-Net ermöglicht den Transport von DMX-Daten über große Entfernungen mit Hilfe des IEEE802.3-Standards über Ethernet. Art-Net arbeitet laut Hersteller ausgezeichnet auf dem 10BaseT-Standard, der eine Übertragungsgeschwindigkeit von 10 Mbit/s bereitstellt. Theoretisch sollen bis zu 255 DMX-Linien übertragen werden können, wobei eine Übertragungsrate von 10Mbit/s beim 10BaseT-Standard lediglich eine Übertragung von 40 Linien mit jeweils 250 Kbit/s zulässt. In der Praxis sollten aber 30 Linien pro 10BaseT-Verbindung via Broadcast nicht überschritten werden. Sollten mehr als 30 DMX-Linien benötigt werden, können diese via Unicast übertragen werden.¹⁷⁰

¹⁶⁹ http://www.artisticlicence.com/index.php.....&policies_id=&cart_id=&order_id= vom 05.01.2008

¹⁷⁰ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 1

Um die Bandbreite effektiv zu nutzen, ist es zusätzlich möglich, einzelne DMX-Eingänge von einzelnen Netzwerk-Knoten durch einen Steuerungsbefehl (ArtInput) zu deaktivieren.¹⁷¹

Die generelle Kommunikation erfolgt mittels UDP. Das UDP (User-Datagramm-Protokoll) wurde ausführlich in Abschnitt 3.8.3.2. beschrieben. Die Datenpakete werden beim UDP an alle Ausgänge eines Routers gesendet und haben keine direkte Adressierung. Dadurch stellt das UDP lediglich einen verbindungslosen Dienst bereit. Die Datenpakete werden mittels Port-Nummern zu den verschiedenen Diensten auf der Anwendungsschicht geleitet.

6.3. IP-Adressierung

Das Art-Net-Protokoll verwendet das Klasse-A-IP-Adressierungs-Schema. Ein DHCP-Server (siehe Abschnitt 3.11.1.) ist dadurch nicht erforderlich, wobei das Art-Net-Netzwerk in diesem Falle nicht mit dem Internet verbunden sein darf, da ansonsten die Verwendung von Klasse-A-Adressen nicht zulässig wäre, und es zu Konflikten mit anderen Netzen im Internet kommen könnte (näheres zu Klasse-A-Adressen unter Abschnitt 3.7.2.).

IP-Adressen sind in vier Teile unterteilt. A.B.C.D. (z. B.: 100.100.150.192). Der untere Teil der IP-Adresse, B.C.D. ist bei Art-Net abhängig von der MAC-Adresse. Die MAC-Adresse hat folgende Form u:v:w:x:y:z. Der Teil u:v:w ist bei der IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) registriert. Die IEEE verwaltet alle MAC-Adressen weltweit. Der Teil x:y:z wird von den jeweiligen Firmen vergeben.

Um IP-Adressen-Konflikten zwischen den Produkten verschiedener Hersteller, die Art-Net verwenden, auszuweichen, werden die IP-Adressen mit den MAC-Adressen bzw. den OEM-Codes verknüpft.

171 Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 21

Eine Möglichkeit, die IP-Adresse mit der MAC-Adresse zu verknüpfen, besteht in der Addition der unteren Bytes des OEM-Codes, mit dem X-Feld der MAC-Adresse. Das Ergebnis liefert den B-Teil der IP-Adresse.¹⁷²

Als zweite Möglichkeit kann der Benutzer die IP-Adressen auch selbst vergeben. Dies kann nötig sein, wenn die Geräte in bestehende Netzwerke eingegliedert werden sollen. Die Subnetzmaske (siehe Abschnitt 3.7.2.2.) hat im Regelfall die folgende Form: 255.0.0.0., es sei denn, auch diese wurde vom Benutzer anderweitig eingegeben.

Die Abbildung 6.1. zeigt den allgemeinen Aufbau einer IP-Adresse im Art-Net-Netzwerk ohne Verbindung zu anderen Netzen:

IP-Adressierung bei Art-Net				Subnetzmaske
A	B	C	D	
2	x+OEM	Y	Z	255.0.0.0.

Abb. 6.1. IP-Adresse im Art-Net-Netzwerk

Beim Start einer Art-Net-Session werden die IP-Adressen geprüft.

6.4. Netzwerktopologien

Das Art-Net-Protokoll ermöglicht es, zwei unterschiedliche Arten der Vernetzung gleichzeitig über ein Netzwerk zu verwenden. Zum einen Peer-to-Peer und zum anderen Server-to-Peer.

6.4.1. Peer-to-Peer

Beim Peer-To-Peer-Netzwerk können die Teilnehmer ohne einen Server Daten hin und her transferieren. Teilnehmer können neben Scheinwerfern und Dimmern auch Medienserver sein. Alle Daten, die transportiert werden, verwenden das ArtDMX-Paket-Format. Die Pakete werden über Broadcast an alle Teilnehmer gesendet. Diese Form der Topologie wird verwendet, um DMX512-Daten an alle Netzwerkteilnehmer in einem Netzwerk zu senden. Als IP-Adresse wird die Broadcast-Adresse 2.255.255.255 (oder 10.255.255.255) verwendet.

Dieser Broadcast-Mechanismus kann für große Installationen zum Verhängnis werden, da die Bandbreite dann nicht mehr ausreicht. Hier kann bei der ACN-Architektur zum Beispiel das SDT verwendet werden. Mittels Multicast wird die Anzahl der Empfänger auf eine bestimmte Gruppe reduziert.¹⁷³

6.4.2. Server-to-Peer

Der Server-to-Peer-Modus ist ein ausgeklügeltes System, in dem ein oder mehrere Teilnehmer mit einem oder mehreren Servern kommunizieren. Server können hier zum Beispiel Lichtsteuerkonsolen sein. Medienserver gelten hier nicht als Server, sondern als Knoten. Im Gegensatz zum Peer-to-Peer-Netz wird beim Server-to-Peer nicht mit Broadcasting, sondern mit Unicast-Verbindungen gearbeitet. Über eine Unicast-Verbindung können mittels ArtDMX-Paketen bis zu 40 DMX-Linien in einem Netzwerk übertragen werden.

Zu welchem Universum, d. h. zu welcher DMX-Linie, ein Wert gehört, ist über Adressen geregelt. Jede DMX-Linie hat eine eigene Adresse. Innerhalb eines 8Bit-Wertes ist der obere Teil für weitere Teilnetzadressen reserviert, und der untere Teil gibt Auskunft über die DMX-Linie bzw. das DMX-Universum.¹⁷⁴

¹⁷³ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 3

¹⁷⁴ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 3

6.5. Operationen

Innerhalb eines Art-Net-Netzwerkes gibt es verschiedene Operationen, die im Folgenden beschrieben werden.

6.5.1. ArtPoll

Das ArtPoll-Paket wird nur von Servern gesendet. Es wird verwendet, um herauszufinden, ob sich weitere Server in einem Netz befinden. Das Paket wird vom Server mittels Broadcast ins Netz gesendet und jeder Teilnehmer, Server und jedes Gerät antworten. Wenn der Server erkannt hat, welche Teilnehmer es gibt, kann er entscheiden, ob er eine Unicast-Verbindung zu einem Gerät oder Server aufnimmt, oder ob er weiter Broadcast-Informationen senden will. Die maximale Zeit, die zwischen einer ArtPoll-Anfrage und dem ArtPollReply, also der Antwort liegen darf, sind drei Sekunden.¹⁷⁵

Beim Empfang eines ArtPolls (ArtPoll Received) läuft das Antworten nach folgendem Schema ab:

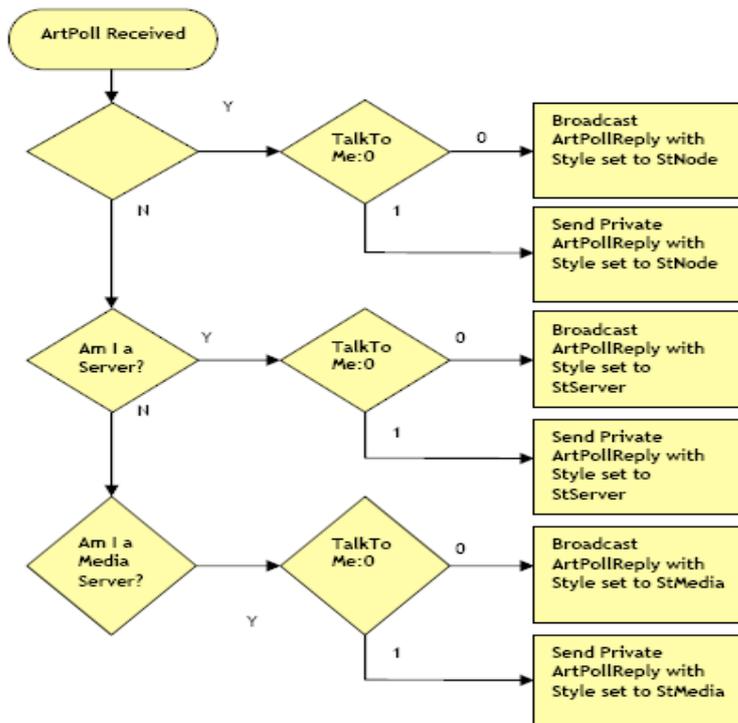


Abb. 6.2. ArtPoll-Anfrage

Die Inhalte der Artpoll-Anfrage und der ArtPollReply-Felder sind durch Artistic License definiert. Firmen, Entwickler oder Interessierte können bei Artistic License Tabellen mit den entsprechenden Inhalten einsehen.

6.5.2. ArtIpProg

Die ArtIpProg-Pakete ermöglichen eine nachträgliche Änderung der IP-Adresse von einem Gerät. Um eine IP-Adresse nachträglich zu ändern, sendet der Server ein ArtIpProg-Paket direkt an das entsprechende Gerät. Unterstützt das Gerät die Änderung der IP-Adresse durch den Server, antwortet es mit einem ArtIpProgReply. Geräte, die die Änderung der IP-Adresse durch einen Server nicht unterstützen, antworten nicht auf eine ArtIpProg-Anfrage.¹⁷⁶

6.5.3. ArtDMX

ArtDMX ist das Datenpaket, in dem DMX-Daten via Art-Net übertragen werden. Das Paket ist für alle Verbindungen, sei es für Peer-to-Peer- oder Peer-to-Server-Verbindungen, gleich aufgebaut. Die Geräte senden die ArtDMX-Pakete über die Kontaktadresse, sodass weiterhin Peer-to-Peer-Anwendungen möglich sind, auch wenn sich ein Server im Netz befindet.

Die ArtDMX-Pakete werden, je nach Universum-Adresse, an den entsprechenden Port ausgegeben. Verändern sich die DMX-Werte nicht, werden die ArtDMX-Pakete alle vier Sekunden erneut gesendet. Ansonsten wird bei jeder Änderung der Länge der Pakete oder bei verändertem Inhalt das Paket erneut gesendet.¹⁷⁷

6.5.3.1. Unicast

Im Normalfall werden die ArtDMX-Pakete per Broadcast an alle Geräte versendet. Seitdem Art-Net2 eingeführt wurde, ist es auch möglich, Daten via Unicast-Verbindung zu übertragen. Hier werden die Daten nur an das jeweilige Universum und deren Teilnehmer übertragen. Damit sichergestellt wird, dass sich das Universum nicht verändert hat, wird regelmäßig ein ArtPoll gesendet, der wie oben beschrieben, das vorhandene Netzwerk analysiert.

¹⁷⁶ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 14

¹⁷⁷ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 19

Ab einer Anzahl von mehr als 30 Universen erfolgt die Versendung der Daten via Unicast. Ansonsten ist es nicht mehr möglich, die Daten in Echtzeit zu übertragen.¹⁷⁸

6.5.3.2. Refresh-Rate

Das ArtDMX-Paket ist für die Übertragung von DMX512-Daten gedacht. Deshalb sollte die Refresh-Rate bei einer Übertragung mit Art-Net nicht über der Refresh-Rate von DMX512 liegen.¹⁷⁹

DMX512-1990 arbeitet mit einer Refresh-Rate von 44,1 Hz.

6.5.3.3. Das Mergen von Daten

Grundsätzlich ist es durch Art-Net möglich, Daten von verschiedenen Quellen zu einem Knoten zu versenden. Empfängt ein Knoten Daten von unterschiedlichen Sendern, sieht er dies an der Absender-IP-Adresse. Je nach Konfiguration kann in einem solchen Fall eine Fehlermeldung ausgegeben werden, oder die Daten können „gemergt“ werden. Hier wird entweder der HTP- oder der LTP-Modus angewendet. Bisher können lediglich Daten von zwei Quellen gemergt werden. Senden weitere Quellen Pakete, werden diese ignoriert. Das Mergen kann entweder für den Einsatz von zwei Steuerungspulten oder für den Einsatz eines Steuerungspultes und eines Havariepultes sinnvoll sein.¹⁸⁰

¹⁷⁸ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 19

¹⁷⁹ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 20

¹⁸⁰ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 21

6.5.4. Firmware Updates

Ein weiteres Feature im Art-Net-Protokoll ist die Möglichkeit des Updatens der Software der Netzwerkteilnehmer.

Der Server kann über ein „ArtFirmwareMaster“-Paket Software-Pakete an die Knoten senden. Die Sendung erfolgt an die private IP-Adresse des jeweiligen Knotens. Jedes empfangene Paket wird durch den Knoten mit einem „ArtFirmwareReply“-Paket quittiert. Der Empfänger hat bis zu 20 Sekunden Zeit, die Empfangsbestätigung zu senden.

Mit der UBEA (User-Bios-Expansion-Area) ist es sogar möglich, dass Fremdfirmen Teile der Software updaten. Dies ist aber nur möglich, wenn die Hersteller-Firma das UBEA vorinstalliert hat.¹⁸¹

6.6. RDM

RDM-Daten können wie DMX-Daten über das Art-Net-Protokoll übertragen werden. Dazu werden folgende Begriffe definiert:

- Input-Gateway: Geräte, die DMX-Daten in ein Art-Net-Netzwerk eingeben.
- Output-Gateway: Geräte, die DMX512-Daten aus einem Art-Net-Netzwerk ausgeben.
- Table-of-Devises (TOD): Eine Liste mit RDM-Geräten, die Input- und Output-Gateways enthalten.

Alle RDM-Geräte im Netzwerk werden automatisch erkannt und werden in die TOD aufgenommen.¹⁸²

¹⁸¹ Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 22

¹⁸² Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 25

6.7. Anwendungen

Dadurch, dass es sich bei Art-Net um einen offenen Standard handelt und sich mittlerweile viele Firmen dem Art-Net-Standard angeschlossen haben, bietet es eine gute Möglichkeit, Daten über Ethernet zwischen verschiedenen Knoten auszutauschen, auch wenn sie von verschiedenen Herstellern kommen.

Art-Net ist ein einfacher und übersichtlicher Standard. Die Übersichtlichkeit hat den Vorteil, dass zukünftig gerade kleinere Produktionen auf diesen Standard zurückgreifen können. Bei sehr großen Produktionen mit mehr als 40 DMX-Universen wird zu Recht auf Unicast-Verbindungen bestanden. Broadcasting würde hier die vorhandene Bandbreite zu sehr belasten und zu viele unnötige Daten durch das Netz senden.

In Kapitel 8 werden einige Produktionen beispielhaft untersucht und der praktische Einsatz von Art-Net aufgezeigt.

7. ACN – „Architecture for Control Network“

Wie in vorangegangenen Kapiteln beschrieben, ist der Wunsch und der Bedarf der Unterhaltungsindustrie nach einem genormten Übertragungsstandard, der ethernet-tauglich ist, stark gewachsen. Einige Firmen haben, wie in Kapitel 5 erläutert, firmeneigene Standards entwickelt, die nur teilweise mit Geräten anderer Hersteller kommunizieren können. In Kapitel 5 wurde ebenfalls die Normungsumgebung der ACN beschrieben. ACN ist in der ESTA 1.17.2006 ACN definiert.

Zunächst wird ein allgemeiner Überblick über den Umfang und die Ziele bei der Entwicklung der ACN gegeben. Im weiteren Verlauf des Kapitels, ab Abschnitt 7.3., wird auf die verschiedenen Module in der ACN detailliert eingegangen.

7.1. Grundlagen

„Architecture for Control Network“ heißt wörtlich übersetzt „Architektur für ein Steuerungsnetzwerk“. Der Titel beschreibt gut, was sich hinter ACN verbirgt. Das Wort „Architektur“ ist zusammengesetzt aus den Wörtern „arche“, was man mit Anfang oder Ursprung übersetzen kann, und „techné“ oder „tectum“, was Kunst, Handwerk oder Gebäude bedeutet. Man kann „Architektur“ also sowohl zu „Anfangskunst“ als auch zu „Ursprungsgebäude“ übersetzen. Das Wort „Architektur“ bezog sich in seiner ursprünglichen Form auf die Konstruktion und den Entwurf von Gebäuden. Heute wird es ebenfalls für die Konstruktion und das Grundgerüst eines Rechners (Rechnerarchitektur) oder eines Netzwerkes verwendet.¹⁸³

ACN ist ein Gerüst aus einer Sammlung von Protokollen und Sprachen, welche mit anderen Netzwerkprotokollen kombiniert werden können. Die Kombination und die Symbiose mit anderen Protokollen werden vorausgesetzt und können auf den unterschiedlichsten Wegen erfolgen.

¹⁸³ <http://de.wikipedia.org/wiki/Architektur> vom 25.11.2007

ACN enthält keinerlei Definition über die unteren Schichten des OSI-Modells. Es findet ausschließlich in den oberen Schichten 4 bis 7 eines Netzwerkes statt. Deshalb werden im ACN keine Kabel, Stecker oder sonstige Übertragungswege definiert. ACN kann auch nicht alleine funktionieren. Es ist auf die Kombination und die Zusammenarbeit mit den unteren Schichten angewiesen. Da ACN eine Sammlung von Protokollen ist, wird ACN im weiteren Verlauf des Kapitels als Architektur bezeichnet. Die Architektur besteht aus mehreren Bausteinen, die entweder als Module im Allgemeinen oder speziell als Protokolle bezeichnet werden.

7.1.1. ACN und das OSI-Modell

Schichten		Aufgaben und Definitionen	ACN-Module
7	Anwendungsschicht	Anwendungen, Adressierung mittels Ports	Oberfläche in den Knoten. (Pult, Dimmer, etc.) DDL, DMP, SLP, SDT
6	Darstellungsschicht	ASCII, Video	
5	Sitzungsschicht	Betriebssysteme	
4	Transportschicht	TCP-, UDP-Protokolle	Auf der Transportschicht greift ACN auf die vorhandenen Netzstrukturen zurück
3	Vermittlungsschicht	Adressierung mittels IP	
2	Sicherungsschicht	IEEE.802.xx, MAC-Teilschicht	
1	Physikalische Schicht	Kabel, Stecker, Bitübertragung	

Abb. 7.1. ACN und das OSI-Modell

Wie in Kapitel 3 über das OSI-Modell beschrieben, werden Netzwerke in Schichten aufgeteilt. Die unterste Schicht ist die Bitübertragungsschicht und die oberste Schicht ist die Anwendungsschicht.

Die Module der ACN beziehen sich auf die Schichten über der Transportschicht. Neben dem OSI-Modell gibt es das in Abschnitt 3.8.3.1. beschriebene TCP/IP-Referenzmodell. Beim TCP/IP-Referenzmodell sind die Schichten 5 bis 7 zu einer Anwendungsschicht zusammengefasst.

Die Module des ACN befinden sich in die Schichten 5 bis 7 des OSI-Modells und können deshalb auch als Module der Anwendungsschicht hinsichtlich des TCP/IP-Referenzmodells gesehen werden.

7.2. Die Entwicklungsziele der ACN-Task-Group

Bei der Entwicklung von ACN wurde darauf geachtet, dass ACN die bestehenden Protokolle, welche sich ständig ändern und weiterentwickeln, in ein genormtes System zusammenfassen.

Durch die verschiedenen Protokolle, die es auf dem Markt gibt, war es notwendig, die Module im ACN klar zu begrenzen und ihre Funktionen genau zu beschreiben. Daraus soll folgen, dass die einzelnen Protokolle wie Bausteine miteinander kombiniert oder einzeln genutzt werden können.

Es sollte außerdem genau definiert werden, wie die Umwandlung zu anderen Standards erfolgen kann, um eine Zusammenführung bestehender Netzwerke, die mit Protokollen außerhalb der ACN arbeiten, zu gewährleisten.¹⁸⁴

Als Hauptübertragungsstandard wurde der Ethernet-Standard ausgewählt. Ethernet ist ein weit verbreiteter Standard, und die Infrastruktur ist in vielen Gebäuden vorhanden. Die Leitungen in den Kabelkanälen der Häuser können genauso gut verwendet werden wie die Bauteile der Computerindustrie, die es seit langem auf dem Markt gibt. Das bringt den entscheidenden Vorteil, dass die Hardware nicht neu entwickelt werden muss. Das praxiserprobte Equipment wird einem weiteren Nutzen unterzogen.

Neben dem Ethernet-Standard, der in Kapitel 3.5.1. beschrieben wurde, kann ACN aber auch auf andere Standards, wie zum Beispiel Wireless-LAN, aufgesetzt werden. Auch dies war eine Grundforderung bei der Entwicklung.

ACN soll keine Architektur sein, die sich auf die Beleuchtungsindustrie beschränkt. In der Branche der Unterhaltung, sei es im Theater, auf großen Events oder Konzerten, werden die unterschiedlichsten Gewerke, wie Ton-, Licht-, Pyro-, Video- und Bühnentechnik, immer stärker miteinander vernetzt.

184 ANSI E1.17-2006 ACN, S.4

ACN bietet auch für die anderen Gewerke eine Möglichkeit, ihre Daten sicher und schnell zu übertragen. ACN schafft ein Gerüst, dem es einerlei ist, wen oder was es verbindet bzw. zusammenhält. Sollten verschiedene Daten aus unterschiedlichen Bereichen auf einem Netz transportiert werden, ist auf eine entsprechende Sicherung bzw. Filterung der einzelnen Netze zu achten.

Die Erwartungen an ACN können zu Recht groß sein. Der Computer ist in fast allen Bereichen des Lebens enthalten. Es sollte, wie im normalen EDV-Bereich, möglich sein, Geräte verschiedener Hersteller mittels „Plug and Play“ miteinander zu verbinden und in beide Richtungen kommunizieren zu lassen.

7.2.1. Die Entwicklungsziele

Die Ziele der Entwickler, welche minimal erfüllt werden sollten, werden im Folgenden beschrieben:¹⁸⁵

1. Kompatibilität zwischen verschiedenen Herstellern:

Das Protokoll sollte es möglich machen, dass Geräte verschiedener Hersteller brauchbar miteinander kommunizieren können.

Zum Beispiel, dass ein Pult sich mit einem Dimmer oder mit einem Moving-Light eines anderen Herstellers austauschen kann.

2. Mehrere Sender:

Das Protokoll sollte es anbieten, dass verschiedene Sender zur gleichen Zeit Daten über das Netzwerk versenden und mehrere Nutzer auf das Netz zugreifen können.

Es gibt keine Einschränkungen wie bei DMX512, dass es nur einen Sender gibt. Ein Sender kann den Zustand zwischen Sender und Empfänger wechseln, und es gibt keinerlei Beschränkungen bezüglich der Anzahl von Sendern oder Empfängern.

Der Datenfluss sollte in beide Richtungen möglich sein (bidirektional).

¹⁸⁵ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 5/6

3. Ein Transportweg, aber eine mehrfach unanhängige Nutzung:

Das Protokoll sollte einem Netzwerk erlauben, mehrere unabhängige Anwendungen zu betreiben. Als Beispiel sei hier eine große, komplexe Installation genannt. Hier wäre es wünschenswert, eine dynamische Konfiguration von Standorten mit Steuerungen und einer unabhängigen Adressierung zu ermöglichen. Jedes Gerät erhält eine Adresse für die gesamte Lebenszeit, unabhängig davon, wo es eingesetzt wird.

Eine Zusammenführung von Licht-, Audio- und Video-Daten ist möglich, aber nicht immer wünschenswert. Es sollten unterschiedliche Systeme nebeneinander und unabhängig voneinander auf demselben System laufen.

4. Ein etabliertes Protokoll:

Das Protokoll sollte über die verbreitete Infrastruktur der Netzwerktechnik laufen. Neben Ethernet werden alle Protokolle der Schichten 3 bis 5 unterstützt, und ihre Funktionen können benutzt werden.

5. Ausnutzen der Möglichkeiten durch die Benutzung vorhandener Technologien:

Das Protokoll sollte so aufgebaut sein, dass es die große Menge an vorhandenen Geräten im Bereich der Netzwerktechnik nutzen kann. Das beinhaltet z. B. Router, Switches, Speicher, Diagnose-Geräte, etc., die im Handel erhältlich sind.

6. Unterstützung herstellerspezifischer Anwendungen:

Nur ein Teil der Steuerung und des Datenbedarfs in einer modernen Unterhaltungstechnologie ist über die gesamte Industrie standardisiert. Das Protokoll sollte herstellerspezifische Erweiterungen auf einem eleganten Weg unterstützen.

7. Skalierbarkeit:

Das Protokoll sollte eine angemessene Adressierung für den Bedarf an Größe und Komplexität der Anwendungen haben. Es sollte einfach genug für den Einsatz in einem kleinen System und ebenso auf ein größeres skalierbar sein, wie zum Beispiel große Musicals, Events oder Vergnügungsparks.

8. Erweiterbarkeit:

Das Protokoll sollte so aufgebaut sein, dass es problemlos für Anwendungen in der Zukunft erweitert werden kann. Es sollte mit vergangenen und zukünftigen Anwendungen fertig werden.

9. Leicht zu konfigurieren:

Das Protokoll sollte Hilfsmittel anbieten, die die Konfiguration und das Managen einfach machen. Bauteile sollten sich dynamisch erkennen und die Fähigkeit haben, ohne Benutzereingriff per „Plug and Play“ ins Netz eingefügt zu werden.

10. Effiziente und vorhersehbare Benutzung der möglichen Bandbreite:

Das Protokoll sollte einigermaßen sparsam mit vorhandener Bandbreite umgehen. Es sollten möglichst wenig redundante Informationen, d. h. Informationen, die keine Veränderung zur vorherigen Information beinhalten, über das Netz versendet werden.

Zum Beispiel sollte es möglich sein, während einer kontinuierlichen Aktualisierung einer bestimmten Ebene nur die Änderungen auszugeben, um so Bandbreite zu sparen.

Der genaue Bedarf an Bandbreite sollte berechenbar sein, d. h. Entwickler neuer Geräte müssen die benötigte Bandbreite vorher angeben.

11. Anpassungsfähigkeit und Steuerung im Hinblick auf die Sub-Netze und das Routing:

Während eine skalierbare und erweiterbare Benutzung der vorhandenen Bandbreite ermöglicht werden sollte, ist es wichtig, dass der normale Verkehr im Netz nicht beeinflusst wird. Das Routing und die Adressen von Sub-Netzen können frei von den Netzwerkarchitekten verwendet und neue Geräte in vorhandene Netze eingebunden werden. Sub-Netz-Adressierung stellt ein Mittel für den eingeschränkten Netzwerkverkehr für Unternetze in großen, komplexen Netzwerken dar (Abschnitt 3.7.2.2.). Die vorhandenen Netze werden durch die ACN-Anwendungen nicht eingeschränkt.

12. Fehler-Toleranz:

Alle Anwendungsgebiete von ACN können keine häufigen Fehler dulden, und von Endverbrauchern kann nicht erwartet werden, dass sie ein hohes Maß an Fachwissen mitbringen. Die ACN-Architektur sollte ein hohes Maß an Sicherheit bieten, höher als bisherige Systeme. Idealerweise sollten Fehler im Netzwerk entdeckt und minimiert bzw. mit einem sehr kleinen Benutzereingriff behoben werden. Nach einem Ausfall des Systems, sollte es sich selbst wiederherstellen.

7.3. Der ACN-Grundaufbau

In diesem Abschnitt werden der Grundaufbau und die Grundmodule der ACN beschrieben.

7.3.1. Device-Management-Protocol (DMP)

Die Steuerung eines ACN-Gerätes ist möglich, wenn alle Funktionen erkannt wurden und als Parameter bestimmt sind. Für die Steuerung der ACN-Geräte wurde das Device-Management-Protocol (DMP) eingeführt. Die Hauptbefehle des DMP sind „get_property“ und „set_property“.

Mit dem Befehl „get_property“ werden die Geräte durch das Erhalten der Werte überwacht. Hier ist das „Erhalten“ im Sinne von „unverändert“ gemeint. Die Geräte bekommen den Befehl, den momentanen Wert nicht zu verändern, sondern zu halten. Die „set_property“-Befehle steuern das Gerät. Durch sie erfolgt eine aktive Veränderung.

Das DMP erkennt auch die Adresspläne innerhalb eines Gerätes, wobei es keinen Unterschied macht, ob es sich bei einem Wert um einen Dimmer-Wert oder um einen Positionswert handelt.¹⁸⁶

Das DMP übernimmt die eigentliche Steuerung der Geräte ähnlich dem DMX512.

7.3.2. Device-Description-Language (DDL)

Das DMP stellt eine grundlegende Möglichkeit zur Steuerung der Geräte bereit. Ohne das Wissen, wofür ein Attribut steht, ist keine sinnvolle Steuerung möglich. Der Operator muss wissen, ob es sich zum Beispiel um einen Dimmerkanal oder den Winkel eines Motorbügels handelt.

Ohne eine allgemeine Gerätebeschreibung müssten bestimmte Schemata festgelegt werden, wo Eigenschaften bestimmter Funktionen immer auf derselben Adresse liegen. Dies widerspricht jedoch einigen Grundforderungen der Entwicklungsziele und wäre nicht praxistauglich. Bei der Entwicklung wurde unter anderem die Skalierbarkeit gefordert, die bei festgelegten Werten nicht mehr gegeben ist.

¹⁸⁶ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 6

In der ACN ist der Weg zur Erkennung allgemeiner Eigenschaften und spezieller Gerätefunktionen durch eine extra „Gerätebeschreibung“ spezialisiert.

Die Device-Description-Language (DDL) definiert das Format und die Sprache für die speziellen Geräte-Beschreibungen. So wird zum Beispiel dem Operator am Pult ermöglicht, für jedes Gerät die bestimmten Funktionen und Attribute, die es bereitstellt, automatisch zu erkennen.¹⁸⁷

Das DDL erlaubt nicht nur eine Erkennung der Funktionen der Geräte, sondern ermöglicht auch eine sehr komfortable Steuerung. Es gibt immer den momentanen Wert, also zum Beispiel die ausgegebene Intensität oder Gobo-Nummer, zur Steuerung zurück. Die DDL muss beispielsweise der Scheinwerferhersteller in jedem Scheinwerfer, der ACN-fähig ist, hinterlegen, so dass ein Steuerungspult eines anderen Herstellers nur noch die DDL abfragen muss und genau über die Funktionen und Eigenschaften des jeweiligen Scheinwerfers Bescheid weiß. Eine Aktualisierung der Bibliotheken in den Pulten wird auf diese Weise überflüssig.

7.3.3. Component-Identifizier (CID)

In einer komplexen Netzwerkkumgebung gibt es keinen direkten Zusammenhang zwischen Netzwerkschnittstellen und Geräten, die senden oder empfangen. Ein einzelnes Gerät kann mehrere Schnittstellen haben, und auf einem Computer können beispielsweise mehrere unabhängige ACN-Anwendungen laufen. Es ist ein Mechanismus erforderlich, der es ermöglicht, Daten zu identifizieren und eine klare Adressierung möglich macht. Ein weiterer Bedarf besteht in der beständigen Identifizierung von Geräten, unabhängig vom Einsatzort.

In der ACN wird jeder Sender oder Empfänger als „Component“, also als „Komponente“ bezeichnet. Im Folgenden wird die Bezeichnung „Komponente“ verwendet.

Alle Kommunikationen in einer ACN-Umgebung finden zwischen den Komponenten statt. Jede Komponente hat eine „Component-Identifizier“, eine „Komponenten-Identität“, welche einmalig ist. Die „Component-Identifizier“ wird mit CID abgekürzt.

¹⁸⁷ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 7

Ein Gerät, wie ein Dimmer oder Audioverstärker, ist typischerweise eine ACN-Komponente. Eine große Konsole oder ein Computer können mehrere Komponenten sein.

Ein einziger Netzwerkteilnehmer kann mehrere Netzwerkschnittstellen haben und mit verschiedenen Medien zusammenarbeiten (Ethernet, Modem o. Ä.).

Es ist auch möglich, dass ein einzelner Computer mit mehreren Programmen, die ACN verwenden, ausgestattet ist. Die verschiedenen Programme könnten nichts voneinander wissen und trotzdem dieselbe Netzwerkschnittstelle verwenden. Jedes dieser Programme wäre eine Komponente und würde eine CID benötigen. Eine CID besteht aus einer 128-Bit-Nummer. Das CID wird ein Leben lang verwendet. Durch die CID kann jede Komponente an jedem Tag als dieselbe identifiziert werden.

In Systemen, in denen die Komponenten häufig wechseln, können dynamische CIDs generiert werden, um auch hier einen reibungslosen, unabhängigen Betrieb zu gewährleisten.¹⁸⁸

7.3.4. Multicasting

Die oben genannten typischen Nachrichten des DMP sind kurze „getting“- und „setting“-Nachrichten. Transportwege, wie das Ethernet mit dem TCP/IP, sind effizienter bei langen, und weniger effizient bei kurzen Nachrichten. TCP hat, wie in Abschnitt 3.8.1. beschrieben wurde, mit 40 Byte einen sehr großen Verwaltungsaufwand, wie zum Beispiel die Quittierung jeder einzelnen Nachricht. Dies kostet zu viel Bandbreite und bedeutet für die „getting“- und „setting“-Nachrichten eine Unausgeglichenheit in Bezug auf die effiziente Nutzung der Bandbreite. Kurze Befehle, wie die oben genannten „getting“- und „setting“-Befehle, können deswegen mittels UDP (Abschnitt 3.8.3.2.) übertragen werden.

188 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 12

ACN ermöglicht das Verpacken von mehreren kurzen Nachrichten in ein Paket. Ein Paket enthält dann mehrere Nachrichten, die in eine gesammelte Sendung an alle Geräte versendet werden. Die Geräte, für die eine Nachricht dabei ist, entpacken sich diese und können sie weiter verarbeiten. Eine einzelne Sendung an eine bestimmte Gruppe von Geräten wird als Multicasting bezeichnet.¹⁸⁹

7.3.5. Session-Data-Transport (SDT)

Geht eine set_property-Nachricht auf dem Weg zu einem Gerät verloren oder kommt ohne Auftrag an, muss das Gerät in einen Fehlermodus wechseln.

Ein betriebssicherer Transport mit einer Versicherung, dass die Nachricht korrekt ankommt und bei einer fehlerhaften Übertragung eine Fehlermeldung herausgibt, so dass der Operator Bescheid weiß, ist sehr aufwendig. Es steht ein großer Arbeitsaufwand dahinter zu checken, ob jede Nachricht sein bestimmtes Ziel erreicht hat.

In einem Multicast-Protokoll kann eine vollständige Empfangsbestätigung nicht funktionieren, wenn ausgehende Nachrichten an mehrere Geräte adressiert sind und alle eine Empfangsbestätigung senden. In so einem Fall wäre das Netzwerk schnell überlastet.

Im ACN übernimmt das Session-Data-Transport (SDT) den effizienten und betriebssicheren Transport der Nachrichten.¹⁹⁰

7.3.6. Discovery und SLP

Die Forderung unter Punkt 10 des Abschnitts 7.2.1., Hilfsmittel für den Operator bereitzustellen um eine leichte Konfiguration zu ermöglichen, wird in diesem Abschnitt behandelt. Die Erkennung der Geräte, die online gehen, erfolgt durch das SLP (Service-Location-Protokol). Ihre Funktionen werden durch das DDL beschrieben.

Discovery beinhaltet den Prozess des automatischen Findens und der automatischen Organisation der Geräte, sowie die automatische Information der Geräte, wie sie zu steuern sind.¹⁹¹

189 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 7

190 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 8

191 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 8

Im ACN bedeutet dies:

Als erstes hat die Steuerung alle am Netzwerk angeschlossenen Geräte zu finden, als zweites hat die Steuerung herauszufinden, welche Art von Geräten angeschlossen ist und als drittes soll der Aufbau erkannt werden, so dass die Geräte, wenn es gefordert wird, gesteuert werden können. Wäre das DDL zum Beispiel in einem Scheinwerfer angesiedelt, müsste das SLP wiederum von einer Steuerung ausgesendet werden, die vom Scheinwerfer das DDL „abholt“ und an die entsprechende Anwendung im Pult „weitergibt“. Natürlich muss jeder Knoten im ACN eine DDL liefern. Der Scheinwerfer ist hier nur beispielhaft aufgeführt.

7.3.7. Protocol-Data-Unit (PDU)

Bei der Entwicklung von SDT und DMP wurde erkannt, dass die Nachrichtenformate beider Protokolle ein sehr ähnliches Format haben. Daraufhin wurde ein klares, eindeutiges Nachrichtenformat entwickelt, welches über die Grenzen der Protokolle erhalten bleibt. Die Protocol-Data-Unit (PDU) ist als einheitliches Nachrichtenformat definiert.¹⁹²

Die Verpackung der Nachrichten in PDUs bringt, in Bezug auf die Geschwindigkeit, eine Optimierung für das Netzwerk mit sich. Punkt 10 (Abschnitt 7.2.1.) forderte eine effiziente Benutzung der Bandbreite. Dies kann durch die ACN-PDU erfüllt werden. Die ACN-PDU unterstützt mehrere Optimierungen, wie die maximale Anzahl von Nachrichten, die in ein Paket gepackt werden. Dies bedeutet zwar einen Anstieg an Komplexität, der sich aber bewiesenermaßen positiv auf die verbesserte Effizienz auswirkt.

¹⁹² ANSI E1.17-2006 ACN, S. 12

7.3.7.1. Die Adressenauswahl

In der DMP-Ebene kann ein großer Adressbereich und eine große Anzahl von Adressen verwendet werden. Dies erlaubt auch die problemlose Übertragung in andere Systeme und bringt eine effiziente Nutzung der Bandbreite mit sich.

Das Verpacken der PDUs in PDU-Blöcke wird in Abschnitt 7.5. genauer beschrieben.

7.3.8. Das Root-Layer-Protokoll (RLP)

Um das Baukastenprinzip möglich zu machen und verschiedene Module zu verwenden sowie verschiedene Nachrichten in ein Paket zu verpacken, wurde das Root-Layer-Protokoll eingeführt. Es gibt genau an wie PDUs, also die einheitlichen Dateneinheiten der Protokolle, von einem in das andere Protokoll versendet und als einzelne PDU empfangen werden können.¹⁹³

7.4. Das ACN-System

Im Folgenden wird das Zusammenspiel der einzelnen Module beispielhaft beschrieben. Es gibt weitere Möglichkeiten, die Module einzusetzen und dieses Beispiel dient nur dem allgemeinen Verständnis.

7.4.1. Der Transport von ACN-Protokollen

Der Transport der ACN-Module erfolgt mittels der Transportschicht und den darunter liegenden Schichten im OSI-Modell. Transportmöglichkeiten bieten hier unter anderem das TCP (Transmission-Control-Protokoll) und das UDP (User-Datagramm-Protokoll).

Hier wird beispielhaft der Transport von ACN-Protokollen der oberen Schichten über das TCP/IP-Verfahren beschrieben. Es ist genauso problemlos möglich, ACN-Protokolle über andere Transportwege zum Ziel zu bringen.

¹⁹³ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 18

7.4.2. Der Transport mittels TCP/IP

Durch die allgemeine Akzeptanz und die weite Verbreitung der TCP/IP-Familie gibt es eine Menge an Hard- und Software auf dem Markt, die sich mit TCP/IP beschäftigen. Ein weiteres Argument, welches für den Transport von ACN-Modulen über TCP/IP spricht, ist, dass die weite Verbreitung auch für zukünftige Anwendungen eine gute Basis birgt. TCP/IP wird üblicherweise unter Einbeziehung der Transportwege weiterer Standards, wie Wireless-Ethernet, Firewire, Modems oder Hochgeschwindigkeitsnetzen wie FDDI transportiert. Daraus kann abgeleitet werden, dass ACN über das TCP/IP-Verfahren laufen kann, es kein Ethernet-Standard ist, aber alle Vorteile des Ethernets verwendet.¹⁹⁴

Die Abbildung 7.2. verschafft einen Überblick über die Anordnung der ACN-Module in einer TCP/IP-Umgebung.¹⁹⁵

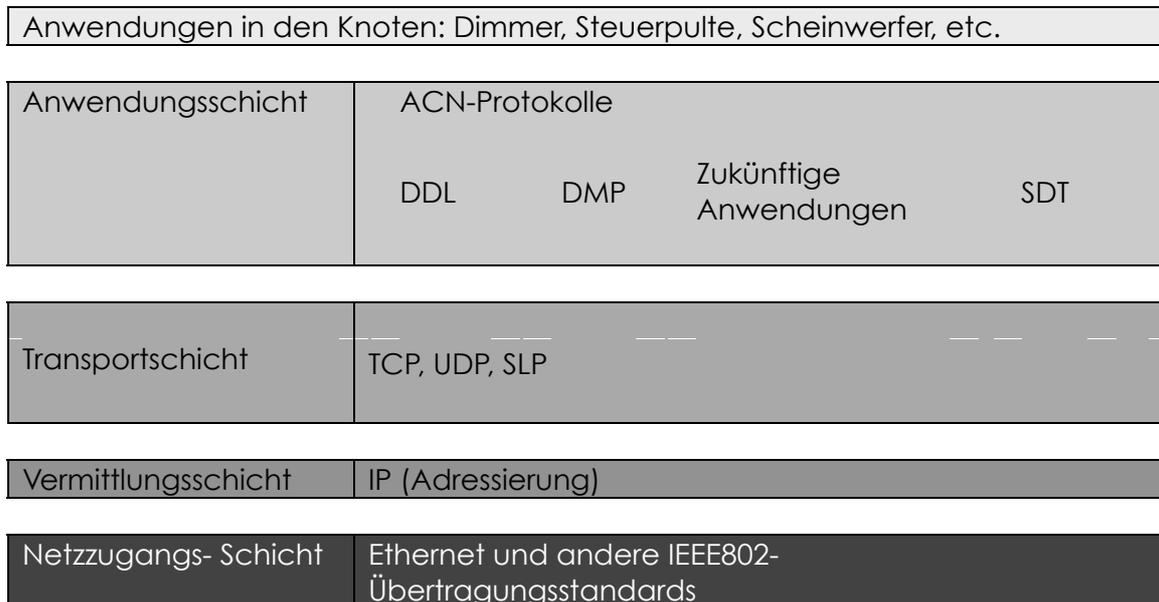


Abb. 7.2. ACN in der TCP/IP-Umgebung

194 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 9
195 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 10

In der Abbildung 7.2. sieht man, dass ACN nur einen Teil der TCP/IP-Familie verwendet. Alle Teile, die verwendet werden, sind so klein wie möglich gehalten. Bei speziellen Operationen, wie beispielsweise SDT über UDP zu versenden, ist es möglich, ohne Teile von TCP/IP auszukommen.¹⁹⁶

Durch die klare Trennung von ACN und TCP/IP sollte auch eine Veränderung von IPv4 auf IPv6 problemlos möglich sein.

7.4.3. Wie sollte ein typisches ACN-System funktionieren?

In einem ACN-System für die Steuerung von Geräten über Ethernet sendet der Operator über das verwendete Pult zunächst einen get/set_property-Befehl an die Geräte. Dieser Befehl ist im DMP definiert. Diese Nachricht wird mittels SDT gesendet. SDT stellt eine sichere Übertragung und ein Multicast-Protokoll bereit.

Die DMP- und SDT-Nachrichten werden in eigene PDUs verpackt, welche das beschriebene PDU-Format verwenden. Die PDUs werden mittels UDP über das Ethernet versendet. Neue Geräte, die online gehen, werden durch das SLP erkannt, und ihre speziellen Funktionen werden mittels DDL analysiert und konfiguriert.

7.4.4. ACN in anderer Umgebung

Die Protokolle, die aus dem ACN-Projekt entstanden sind, folgen dem Baukastenprinzip und sind alle unabhängig voneinander. Dies erlaubt ein Hinzufügen, Weglassen oder Kombinieren, wie es gerade nötig ist. Des Weiteren sind viele Parameter für den optimalen Gebrauch beschrieben, aber nicht fixiert.

Die augenblicklichen Protokolle der ACN-Architektur können erweitert oder verbessert werden, und neue Protokolle können alte ersetzen.

Es ist zum Beispiel möglich, die Root-Layer-PDUs in höheren Schichten zu verwenden und sie auf die Protokolle zu spezialisieren.¹⁹⁷

Im ACN wäre die nächsthöhere Schicht bzw. das nächsthöhere Protokoll das SDT.

¹⁹⁶ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 10

¹⁹⁷ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 11

7.5. Der Aufbau und die Benutzung von PDUs und PDU-Blöcken

In diesem Absatz wird der Aufbau eines PDU-Blockes beispielhaft beschrieben.

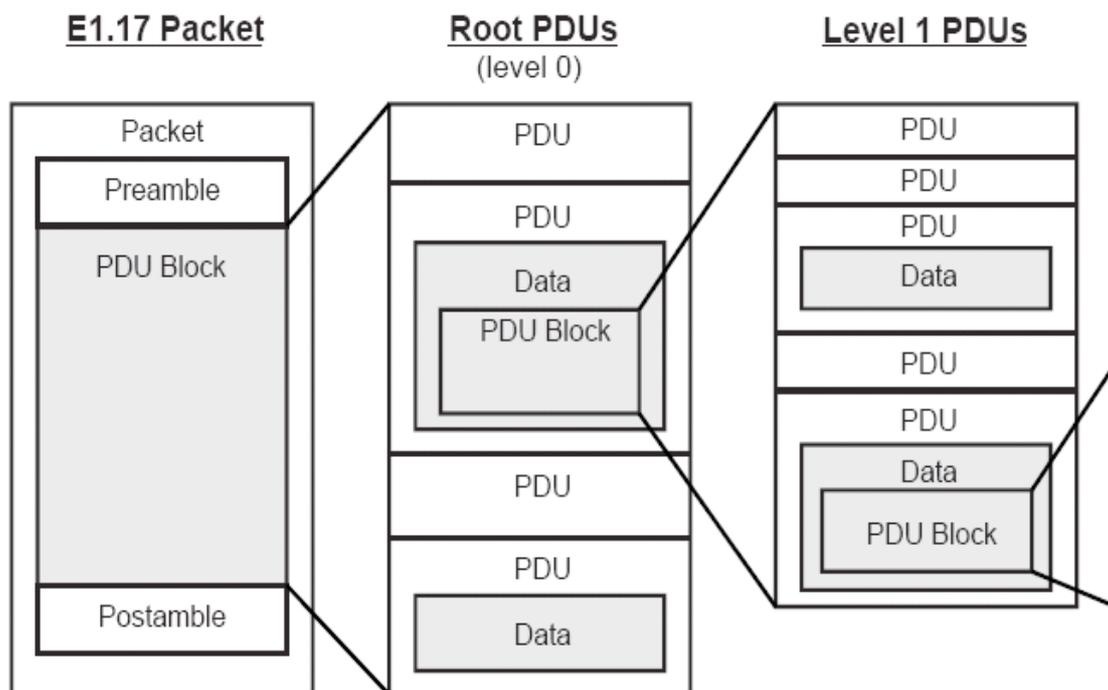
7.5.1. PDU-Blöcke

Mehrere PDUs bilden gemeinsam nebeneinander, in einem einzelnen Datenblock gepackt, einen PDU-Block.

In der ACN meint der Begriff PDU-Block ein Zusammenpacken von PDUs nach den unten genannten Regeln. Die Anzahl und Größe der PDU-Blöcke richtet sich nach dem Umfeld und der Art der Anwendung, in der er verwendet wird.

Jeder PDU in einem PDU-Block enthält einen Datenteil. Dieser begrenzt entweder den PDU oder den PDU-Block.¹⁹⁸

Die Abbildung 7.3. zeigt die Verpackung einzelner PDUs in einem PDU-Block:



A packet contains a single PDU block. It is handled by the Root Layer Protocol.

Abb. 7.3. PDUs im PDU-Block

7.5.2. Die Benutzung von PDUs und PDU-Blöcken.

PDUs und PDU-Blöcke sind das Basis-Gerüst, um ein ACN-Paket zu bilden. ACN-Protokolle definieren Nachrichten. Die Nachrichten setzen die Maßstäbe, wie die PDU-Struktur organisiert sein muss und wie sie funktioniert. Die Struktur ist klar, aber die Regeln und Benutzung sind individuell.

PDUs von mehreren Protokollen können als einzelne PDU-Blöcke auftreten. Sie sind durch die individuellen Bedürfnisse begrenzt.

Ein ACN-Protokoll darf bestimmen, mit welchen anderen PDUs Nachrichten verschachtelt werden dürfen. Ein Protokoll darf außerdem exakt bestimmen, welche Nachricht mit in seinen jeweiligen PDU-Block darf. Dies erlaubt dem Protokoll zu bestimmen, wie dieser Teil von einem ACN-Block strukturiert ist.¹⁹⁹

Weil das Root-Layer-Protokoll PDUs verwendet, um Daten in ein Paket zu verpacken, ergibt sich, dass alle Protokoll-Daten in einem ACN-Paket direkt oder indirekt innerhalb des PDU auf dem Root-Layer entschlüsselt werden müssen. Zusätzlich können sie von höheren Schichten verschlüsselt werden.

7.5.3. Pakete

Im ACN meint der Ausdruck Paket ein Datagramm, welches von den unterliegenden Schichten übertragen wird und nicht an irgendeine äußere Schicht gekoppelt ist. Pakete werden vom Root-Layer-Protokoll empfangen und gesendet.

Beim Empfang eines PDU-Blocks werden alle PDUs innerhalb des Blocks strikt in der Reihenfolge geprüft und verarbeitet, wie sie in den Block eingetreten sind.²⁰⁰ Somit ist eine Flusststeuerung, die es bei UDP nicht gibt, durch das Root-Layer-Protokoll gegeben.

Die ACN-Protokolle übertragen PDUs auch strikt in der Reihenfolge weiter, es sei denn, es ist etwas anderes definiert. Dadurch bekommen die höheren Schichten bzw. Anwendungen einen kontinuierlichen Datenstrom.

¹⁹⁹ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 13
²⁰⁰ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 14

7.5.4 PDU-Felder

Jeder PDU in einem PDU-Block besteht aus fünf Feldern. Flags, Length, Vektor, Header und Data. Mit der Ausnahme, dass Flag und Length zusammengepackt werden, haben alle Felder eine Größe von einem Octet.²⁰¹

Der Begriff Octet meint das europäische Byte von 8 bit. Da nicht überall 1 Byte 8 bit enthält, wurde der Begriff Octet eingeführt.

Die Abbildung 7.4. zeigt den Aufbau eines PDU:

7	6	5	4	3	2	1	0
Flags				Length			
L V H D				(4bit)			
LengthL							
LengthX (only Present if L flag = 1)							
Vector Length up to 4 octets As defined by protocol ...							
Header Length variable As defined by protocol ...							
Data Length variable as defined by protocol ...							

Abb. 7.4. ACN-PDU

Header:

– Der Header liefert zusätzliche Informationen zu dem Inhalt des PDU. Die Größe, Benutzung und das Format des Headers werden individuell vom Protokoll bestimmt. Das Header-Feld könnte auch eine Größe von 0 haben.

Die Verantwortung, dass PDUs effizient entpackt werden können, liegt im Protokoll. Die Größe aller PDUs in einem Block muss gleich sein. Wenn sich die Längen innerhalb eines PDU-Blocks unterscheiden, muss die Entschlüsselung separat definiert sein. Sonst würden bei der Entschlüsselung die Grenzen der einzelnen PDUs überschritten werden.

²⁰¹ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 15

(Die Entschlüsselung kann zum Beispiel durch das Platzieren einer Information über die Größe im ersten Octet des Header-Feldes gewährleistet werden). Diese ist notwendig um die Abgrenzungen zwischen dem Header und den Daten-Feldern immer zu erkennen, auch wenn der Vektor oder Teile des Headers nicht erkannt werden.²⁰²

Data:

Der Inhalt des Data-Feldes ist Sache des jeweiligen Protokolls, Nachrichtentyps oder anderer Versender, die im Vektor-Feld definiert sind.

Das Datenfeld kann eine Größe von 0 haben. Das liegt daran, dass die Länge von dem gesamten PDU bekannt ist und die Größe aller anderen Felder auch bekannt ist. Das Datenfeld kann so immer errechnet werden.

Das Benutzen von einem separaten Header und einem separaten Daten-Feld gibt mehr Spielraum für die Protokolle, den Inhalt um redundante Informationen, die im nächsten PDU ebenfalls vorkommen, zu verbessern.²⁰³

7.5.5. PDU-Verpackungsregeln

Die Analyse des Datentyps, der im ACN vorkommt, zeigt, dass viele sich wiederholende Strukturen vorkommen. Einige Teile der Informationen wechseln nicht von einer Einheit zur nächsten. Das ACN-PDU-Packen hat das Ziel, Daten effizient zu komprimieren. Insbesondere Daten, die sich von einem Paket zum nächsten wiederholen.

Dies wird angewendet auf das Vektor-, Header- und Data-Feld und erfolgt nach den folgenden Regeln:

Die drei Flags V, H und D im PDU zeigen jeweils die Lage des dazugehörigen Feldes. Der V-Flag zeigt die Lage des Vektor-Feldes, der H-Flag, die des Headers und der D-Flag zeigt die Lage des Data-Feldes.²⁰⁴

202 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 16

203 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 17

204 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 17

Während der Konstruktion eines PDU-Blocks wird eines der drei Felder Vektor, Header oder Data ausgelassen, wenn die Werte identisch mit den Werten im vorangegangenen PDU sind. Wenn ein Wert anders als im vorigen Feld ist, wird er in diesem PDU abgebildet.

Wenn ein Feld ausgelassen wird, wird der Wert in dem Flag auf 0 gesetzt. Ist das Feld vorhanden, wird der Wert des Flags auf 1 gesetzt.

Beim Entpacken eines PDU-Blocks und einem gesetzten Flag (1) wird der Wert in dem entsprechendem Feld verwendet. Bei einem nicht gesetzten Flag (0) wird der Wert des vorherigen PDUs eingefügt.

Des Weiteren muss beachtet werden, dass es zwischen geerbtem Wert und nicht existierendem Wert einen Unterschied gibt. Das Übernehmen des vorherigen Wertes wird durch $H = 0$ oder $V = 0$ angezeigt. Das nicht existieren eines Wertes wird durch $H = 1$ oder $V = 1$ und Länge = 0 angezeigt.²⁰⁵

7.5.5.1. Vererbung beim Start eines PDU-Blocks

Der vorherige Wert eines PDU-Feldes sollte nicht in den nächsten Block weitergegeben werden. Daraus folgt, dass beim Start eines PDU-Blocks kein Wert eines vorangegangenen Feldes abrufbar ist.

Jeder PDU, der ein oder mehrere Felder enthält und dessen Wert aus irgendeinem Grund nicht verfügbar ist, sollte verworfen und der nächste Block verarbeitet werden. Jeder Feldwert, der von einem nicht abrufbaren Wert geerbt werden soll, definiert sich selbst als nicht abrufbar.²⁰⁶

7.5.5.2. Verarbeitung von verworfenen PDUs

Es ist einem PDU erlaubt, einen Wert von einem vorangegangenen PDU, welcher sich selber verworfen hat, zu übernehmen. Das kann auftreten, wenn zum Beispiel das Vektor-Feld nicht bemerkt wurde, da einer der Feld-Werte nicht verfügbar war. Das bedeutet, dass der Empfänger eine Implementierung haben muss, um den Wert aufzubewahren und ihn zu erkennen, wenn ein nachfolgendes Feld ihn abrufen will, obwohl das Feld schon verworfen wurde.²⁰⁷

205 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 18

206 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 18

207 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 18

7.6. Das ACN-Root-Layer-Protokoll

Der Zweck des Root-Layer-Protokolls im ACN ist die Verbindung der oberen Schicht-Protokolle mit der Transportschicht. Dies wird mit zwei Funktionen erfüllt:

7.6.1. Multiplexing/Demultiplexing

Multiple Protokolle können an der untersten Transportschicht der ACN-Architektur existieren. Zum Beispiel könnten beide STD und XYZP nebeneinander konkurrierend verwendet werden. In dieser Situation packt das Root-Layer-Protokoll PDUs von beiden Protokollen in ein Paket für die Übertragung (Multiplexing) und entpackt sie nach dem dazugehörigen Empfänger-Code beim Empfang (Demultiplexing). Dies erlaubt eine Koexistenz von mehreren Protokollen auf einem gemeinsamen Transport. Dadurch können beispielsweise auch firmenspezifische Protokolle mit in den PDUs transportiert werden.²⁰⁸

7.6.2. Ergänzende Informationen

Verschiedene Basis-Transporte ändern häufig den Service, den sie anbieten. Ergänzende Informationen sind notwendig und wünschenswert für eine erfolgreiche Verarbeitung von ACN-Paketen. Das Root-Layer-Protokoll bietet die Preamble-(Vorwort)- und Postamble-(Nachwort)-Felder, um solche Informationen unterzubringen. Typische Informationen in diesen Feldern beinhalten die Paketlänge, Fehlererkennung (Prüfsummen, etc), Paket-Erkennung und anderes.

Der Begriff Root-PDU oder Root-Layer-PDU meint einen PDU, der separat von einem Paket ist und nicht an irgendein anderes Paket angeschlossen ist.

Das Root-Layer-Protokoll ist für die ACN-Architektur maßgeschneidert. Es wird eine große Auswahl von verschiedenen Transportwegen, die alle verschiedene Anforderungen haben, unterstützt.

Deswegen sind einige Basisregeln und eine generelle Beschreibung bereitgestellt worden, sowie spezielle Regeln für Transportprotokolle, um eine angemessene Kompatibilität zu gewährleisten.

208 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 18

7.6.3. Das Root-Layer-Paket-Format

Das Format von ACN-Paketen sollte aus einem Preamble-Feld, einem PDU-Block und einem Postamble-Feld bestehen.

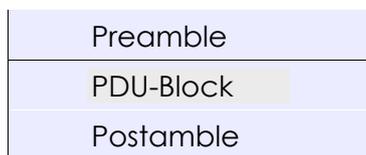


Abb. 7.5. Das ACN-Paket

Die Benutzung des Preamble- und Postamble-Feldes ist individuell verschieden, es ist abhängig vom verwendeten Transport-Protokoll.²⁰⁹

7.6.3.1 Preamble

Das Format und der Inhalt des Preamble-Feldes sind abhängig von dem jeweiligen Transportprotokoll. Es sollte eine angemessene, kompatible Form haben. Das Preamble kann verwendet werden, um Informationen zu übertragen, die für den besonderen Transport erforderlich oder auch leer sind. Beispielsweise kann ein UDP-System einen Marker setzen, der Netzwerk-Analysen aktiviert, um ACN-Pakete zu erkennen und herauszufiltern.

Wenn ein Transport von ACN-Daten aus einem bestimmten Protokoll das Preamble-Feld nicht benötigt, kann es auch leer sein.

7.6.4. Das Vektor-Feld im Root-Layer-PDU

Das Vektor-Feld aller Root-Layer-PDUs soll den Protokoll-Identifikator beinhalten, der das Datenfeld erzeugt hat.²¹⁰

7.6.5. Header-Feld im Root-Layer-PDU

Das Header-Feld in den Root-Layer-PDUs soll den CID beinhalten, der den PDU generiert hat (Quellen-CID).

209 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 19

210 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 19

7.6.6. Daten-Feld im Root-Layer-PDU

Das Datenfeld im Root-Layer-PDU soll die Protokoll-Daten enthalten und nicht sichtbar für das Root-Layer-Protokoll sein.

7.6.7. Postamble

Das Postamble-Feld hat eine ähnliche Funktion wie das Preamble-Feld. Es kann Daten beinhalten, wie zum Beispiel Fehlerkorrekturcodes oder Ähnliches. Es kann aber, wie das Preamble-Feld, leer sein.

7.6.8. Root-Layer-Protokoll-Operationen

Bei der Versendung vereinigt das Root-Layer-Protokoll die PDUs von höheren Protokollen in dem PDU-Block eines Paketes. Es hängt Preamble- und Postamble-Felder an und leitet das gesamte Paket an das Transportprotokoll zur Versendung weiter.

Beim Empfang führt das Root-Layer-Protokoll jede Art von Bestätigung oder Filterung aus, die von dem jeweiligen Transportprotokoll im Pre- oder Postamble beschrieben ist. Wenn das Paket dann akzeptiert ist, werden die PDUs extrahiert und zu den dazugehörigen Protokoll-Anwendungen weitergeleitet.

Wenn ein PDU empfangen wird, dessen Protokoll-ID (im Vektor-Feld) nicht erkannt wurde, wird dies protokolliert, aber die Verarbeitung des Paketes wird nicht gestoppt. Dieses PDU wird verworfen. Falls ein weiteres vorhanden ist, wird mit diesem weitergemacht. Wenn ein Längen-Feld vorhanden ist, erlaubt es allen PDUs, den nächsten PDU zu erkennen, ohne vorher das Wissen über die Bedeutung des gegenwärtigen PDUs zu haben.²¹¹

7.6.9. Root-Layer-Adressierung

Das Root-Layer-Protokoll bearbeitet nicht die Adressen der Pakete oder PDUs und wandelt keine Komponenten-Identifiers oder Transport-Schicht-Adressen. Dies geschieht in den anderen Protokollen.²¹² Die Abbildung 7.6. zeigt das Verpacken der Daten der einzelnen Protokolle, die SDT- und DMP-Daten in einer PDU-Struktur und das Verpacken aus verschiedenen PDUs in die PDU-Blöcke.

211 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 18

212 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 20

Die Verpackungsstruktur der Daten in PDUs und PDU-Blöcke:

Root-Layer-Protokoll

ACN-Paket

Dies beinhaltet ein einziges SDT-PDU. Es wird transportiert per UDP. Dadurch ist der Preamble durch die EPI vom Root-Layer-Protokoll für UDP definiert.

SDT

SDT-Base-Layer

Der SDT-Base-Layer beinhaltet eine sichere Schutzhülle. Er sichert und ordnet alle PDUs in seinem SDT-Client-Block. Alle SDT-Client-Protokoll-Daten sind in Schutzhüllen.

SDT-Client-Block

Der SDT-Base-Layer beinhaltet eine sichere Schutzhülle. Er sichert und ordnet alle PDUs in seinem SDT-Client-Block. Alle SDT-Client-Protokoll-Daten sind in Schutzhüllen.

DMP

DMP-Block

Der DMP-Block enthält zwei „set_Property“- und ein „get_Property“-Kommando.

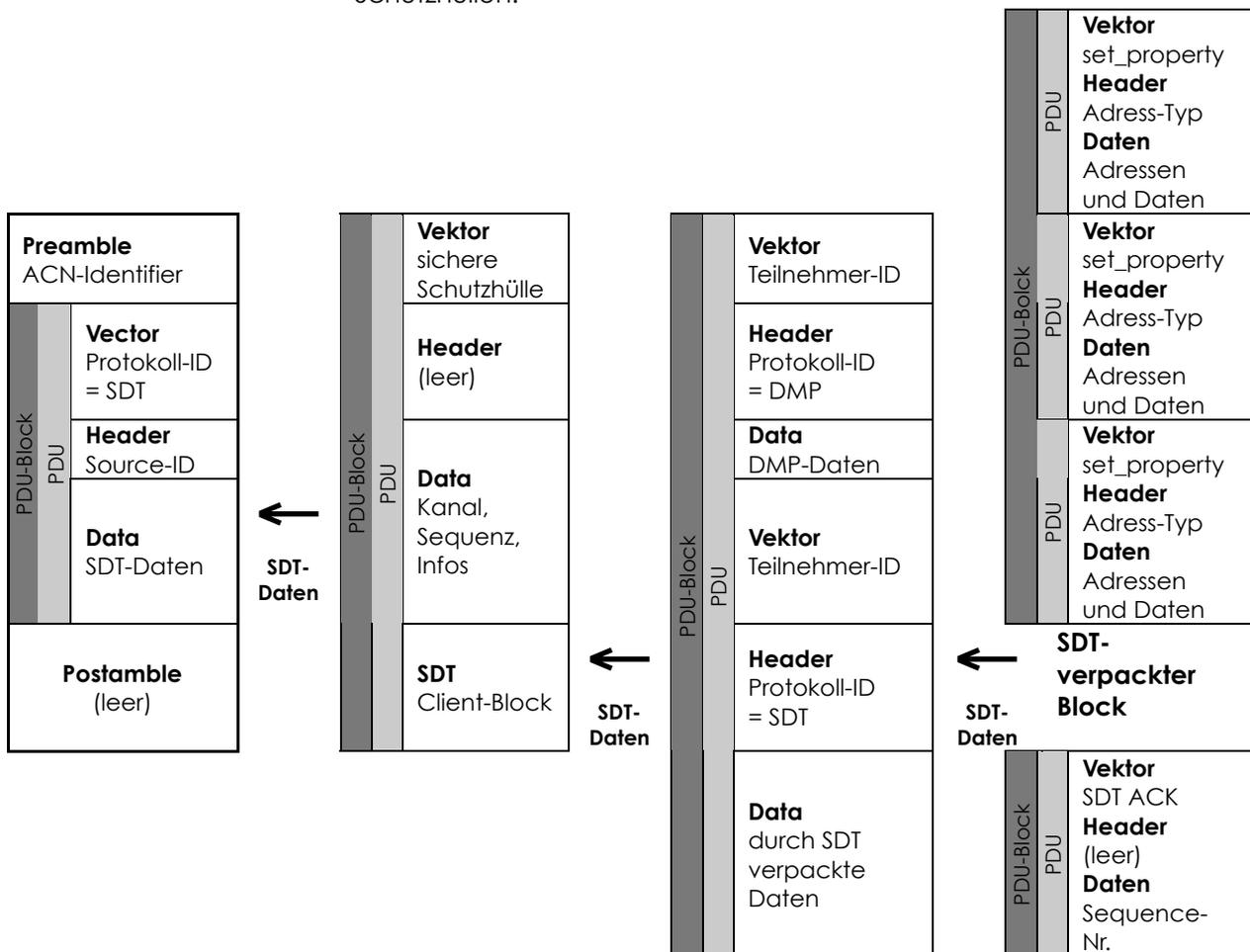


Abb. 7.6. Daten in PDUs und PDU-Blöcken

Dieses Diagramm ist rein schematisch. Es zeigt die Größe eines Vektor-, Header- und Data-Feldes in jedem PDU. Es wird nicht die Größe der Flags oder die Länge gezeigt, und auch nicht welcher Wert gesetzt und welcher vererbt wurde.

An den beiden äußeren Ebenen enthält jeder PDU-Block nur einen PDU. Der SDT-Client-Block enthält einen PDU, der zu einer DMP-Komponente adressiert ist und eine Komponente mit einer SDT-Nachricht. Innerhalb des PDU-Blocks, der vom DMP ausgewertet wird, ist ein PDU-Block mit drei DMP-PDUs.

Die Größe des Headers ist in jeder Ebene festgelegt, mit Ausnahme des DMP-PDU-Blocks. Im Root-Layer-Protokoll enthält der Header immer den Quell-CID, deshalb ist er 16 Octet groß. In der SDT-Basis-Schicht und in den Headern, die innerhalb des SDTs sind, ist der Header leer (Größe = 0), während in einem SDT-Client-Block der Header immer die Protokoll-ID enthält.

Im DMP ist der Header verschieden groß, aber immer in derselben Weise zu lesen.²¹³

213 ANSI E1.17-2006 ACN, S. 22

7.7 Allgemeines

7.7.1. Protokoll-Kennung

Protokolle, die innerhalb des ACN verwendet werden, verwenden die 32Bit-Protokoll-ID, die von der ESTA definiert ist.

Protokolle, die im Root-Layer-Protokoll übertragen werden, verwenden alle 4 Bytes in der Netzwerk-Byte-Anordnung. Es sei denn, es ist ein anderes Format separat einem höheren Protokoll definiert. Wenn die Protokoll-ID in einem ACN-System übertragen wird, sollten alle 4 Bytes für die Protokoll-ID verwendet werden.²¹⁴

7.7.2. Kompatible Profile

Die Protokolle, die im ACN definiert sind, folgen einer sehr modularen Bauweise und sind unabhängig voneinander. Diese Tatsache erlaubt es, die einzelnen Protokolle zu verändern, wegzulassen oder neu zu kombinieren.

Viele Parameter innerhalb der Module, wie Paket-Größe oder maximale Länge, sind nicht festgelegt. Dies ist notwendig für eine unabhängige, optimale Nutzung in anderer Umgebung. Hindernisse zur Kompatibilität bestehen auf verschiedenen Schichten. ACN kann und sollte nicht alle Parameter definieren, das ist Teil der jeweiligen Kern-Spezifikationen.

Eine kompatible Architektur sollte bestimmte Wertebereiche vorgeben, in denen man sich bewegen kann und bestimmte Ergänzungsmöglichkeiten aufweisen, auf die man aufbauen kann.

Ein kompatibles Protokoll sollte ebenfalls definieren, welche zusätzlichen Geräte nötig sind, um es in anderen Systemen zu verwenden. Dies meint einfache Geräte, wie zum Beispiel Ethernet-Firewire-Wandler oder auch Wandler in höheren Schichten.²¹⁵

²¹⁴ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 22

²¹⁵ ANSI E1.17-2006 ACN, S. 22

Jedes Netzwerkprotokoll sollte eine bestimmte Sprache bzw. bestimmte Begriffe definieren.

Wenn klare Definitionen, auch der Begriffe, vorhanden sind, können auch Geräte verschiedener Hersteller mit den jeweiligen Aufschriften miteinander kommunizieren. Als Beispiel sei hier das DMX512/1990 genannt, bei dem man sicher sein kann, dass alle Geräte mit dieser Aufschrift problemlos miteinander funktionieren.

Bei ACN hat sich der Begriff „ACN-Ready“ eingebürgert. Da es aber noch keine deutsche Norm gibt, bleibt abzuwarten, ob die ACN-Ready-Geräte nach der ESTA dieselben Anforderungen an die Geräte stellen, wie ACN-Ready nach der DIN.

7.8. ACN-Anwendung am Beispiel des DMX-A-Steaming-Protokolls (DSP)

Wie in Beispiel 5.5.1. beschrieben wurde, nutzt das auch unter ETCNet3 bekannte DSP einige ACN-Module zur Übertragung von DMX-A-Daten über eine Ethernet-Verbindung. Während in Abschnitt 5.5.1. über die allgemeine Funktion berichtet wurde, soll hier beschrieben werden, welche Module wie zum Einsatz kommen.

Die verwendeten Module sind das Root-Layer-Protokoll (RLP, Abschnitt 7.3.8.) und das Session-Data-Transport-Modul (SDT, Abschnitt 7.3.5.). Das verwendete Paket-Format ist die Protocol-Data-Unit (PDU, Abschnitt 7.3.7). Für die spezielle Übertragung von DMX-A-Daten mit dem Device-Management-Protokoll (DMP, Abschnitt 7.3.1.) wurde das E1.31-Framing-Protokoll definiert. Die Abbildung 7.7. zeigt das E1.31.-Paket-Format.²¹⁶

Wie in Abbildung 7.6. zu sehen ist, werden die DMP-Daten, in diesem Fall die DMX-A-Daten, in ein SDT-Client-Block verpackt. Der SDT-Client-Block enthält die Teilnehmer-ID. Die Teilnehmer-ID ist der in Abschnitt 7.3.3. beschriebene Component-Identifizier (CID).

²¹⁶ BSR E1.31 DSP, Draft Standard 2.0, S. 6

Im PDU-Base-Layer wird der SDT-Client-Block sicher verpackt und zu einem ACN-Paket weitergegeben. Hier wird der ACN-Paket-Identifikator mit dem Text: „ACN E1.17\0\0\0“ eingegeben. Erhält ein Empfänger ein ACN-Paket ohne oder mit einem anderen Identifikator, wird das ankommende Paket verweigert. Die Pre- und Postamble-Felder werden auf bestimmte Größen festgesetzt, die, wenn sie von der definierten Größe abweichen, ebenfalls zu einer Verweigerung des Paketes führen.²¹⁷

Octet	Field Size	Field Name	Field Description	Field Contents
Root Layer				
0, 1	2	Preamble Size	Define RLP Preamble Size.	0x0010 fixed
2,3	2	Post-amble Size	Define RLP Post-amble Size.	0x0000 fixed
4-15	12	ACN Packet Identifier	Identifies this packet as E1.17	"ASC-E1.17\0\0\0"
16-17	2	Flags and Length	Protocol flags and length	Low 12 bits = PDU length High 4 bits = 0x7
18-21	4	Vector	Identifies Data as 1.31 Protocol	0x00000003
22-37	16	CID	Sender's CID	Sender's unique identification
E1.31 Framing Layer				
38-39	2	Flags and Length	Protocol flags and length	Low 12 bits = PDU length High 4 bits = 0x7
40-43	4	Vector	Identifies 1.31 data as DMP PDU	0x00000002
44-75	32	Source Name	User Assigned Name of Source	UTF-8 encoded string
76	1	Priority	Source Priority	Valid range 0-200
77	1	Sequence Number	Sequence Number	Used to detect duplicate or out of order packets.
78-79	2	Universe	Universe Number	Distinct Universe of DMX Data
DMP Layer				
80-81	2	Flags and Length	Protocol flags and length	Low 12 bits = PDU length High 4 bits = 0x7
82	1	Vector	Identifies Set Property Message	0x02
83	1	Address Type & Data Type	Identifies format of address and data	0xa1
84-85	2	First Property Address	Start Code	0x0000-0x00ff
86-87	2	Address Increment	Address Increment	0x0001
88-89	2	Property count	Identifies number of properties in packet	0x0000 – 0x0200
90-601	0-512	Property values	DMX512-A data	Data

Abb. 7.7. Das E1.31.-Paket-Format

7.8.1. Das E1.13-Framing-Protokoll

Im E1.13-Framing-Protokoll werden die folgenden Punkte beschrieben:²¹⁸

7.8.1.1. Übertragungsrate

Bei der Übertragung von Paketen sollte die Übertragungsrate der Empfänger nicht überschritten werden.

7.8.1.2. Null-Start-Code-Anforderungen

Um die Bandbreite effektiv zu nutzen, sollten keine redundanten Null-Start-Code-Informationen übertragen werden. Für gegebene Universen sollten Null-Start-Code-Daten nur übertragen werden, wenn diese sich ändern. Dies geschieht nach den folgenden Regeln:

1. Drei Pakete, die keine Änderung enthalten, sollen vor einer störungsfreien Übertragung, wo keine Änderung stattfindet, gesendet werden.
2. Danach werden „keep-alive“-Pakete mit einem Intervall zwischen 800 ms und 1000 ms gesendet. Jedes „keep-alive“-Paket soll genau den Inhalt des letzten Null-Start-Code-Datenpakets haben.

Diese Regeln sind nicht auf die alternativen Startcode-Pakete anzuwenden.

7.8.1.3. Verlieren von Netzwerk-Daten

Daten gelten als verloren, wenn sie innerhalb einer Periode von 2,5 Sekunden nicht von einem gültigen Absender angekommen sind.

7.8.1.4. Mehrere Quellen

Ein Empfänger kann Daten für dasselbe Universum von verschiedenen Quellen empfangen. Die Absender werden durch Prüfung des CID ausgemacht.

²¹⁸BSR E1.31 DSP, Draft Standard 2.0, S. 9

7.8.1.5. Prioritätsfeld

Ein Prioritätsfeld ist im Paket bereitgestellt, um es Systemen zu erlauben, ein Prioritäts-Schema für mehrere Quellen zu verwenden.

Diese Prioritätsmöglichkeiten haben einen Bereich von 0 bis 200 (201 – 255 sind reserviert). 1 ist dabei die unterste Priorität und 200 die höchste. Ein Wert von 0 entspricht keiner Priorität. Sender, die nicht die Möglichkeit haben, Prioritäten zu vergeben, setzen diesen Wert auf 0. Empfänger, die nicht die Möglichkeit haben, Prioritäten zu lesen, ignorieren dieses Feld.

7.8.1.6. Quellen-Namen-Feld

Jeder Quelle kann ein Name zugeordnet werden.

7.8.1.7. Sequence-Nummern-Feld

Empfänger, die keine Sequence-Nummern verarbeiten können, ignorieren dieses Feld. Ansonsten werden Sequence-Nummern vergeben.

7.8.1.8. Flags und Length

Das E1.31-Flags- und Length-Feld ist ein 16Bit-Feld, das die PDU-Längen in den unteren 12 Bits beinhaltet und 0x7 in den oberen 4 Bits beinhaltet.²¹⁹

²¹⁹BSR E1.31 DSP, Draft Standard 2.0, S. 11

7.8.2. Die Benutzung des DMP²²⁰

Im Datenteil des PDU-Feldes werden die DMX-A-Daten verpackt. Die Daten werden, wie bei der Übertragung in einem RS485-System in der Reihenfolge der einzelnen Kanäle (0 – 512) in den Datenteil gepackt. Hier sollte die Anzahl der Kanäle, auch wenn es technisch möglich wäre, nicht die 512 übersteigen.²²¹

7	6	5	4	3	2	1	0
Flags = 0 x 7				Length = hi			
LengthL-lo							
LengthX-hi							
Vektor: 0x02							
Header: 0xa1							
Data: Im Datenteil werden die DMX-A-Daten verpackt.							

Abb 7.8. PDU-Feld verwendet durch das DMP

7.8.3. Operationen in IPv4-Netzwerken

Zur Adressierung in IPv4-Netzen werden Multicast-Adressen verwendet, die nach den gewünschten DMX-Universen geordnet sind. Um bestimmte Universen zu adressieren, werden die letzten Bytes der Multicast-Adresse zur jeweiligen Universumnummer verändert. Hier sind bei der IANA (Organisation zur Verwaltung von IP-Adressen) Adressen für die ersten 256 Universen registriert.²²²

Abbildung 7.9. zeigt eine IP-Multicast-Adresse:

IP-Adressen-Byte	Wert
1	239
2	255
3	Universum Hi Byte
4	Universum Lo Byte

Abb. 7.9. Multicast-Adresse im E1.31

²²⁰BSR E1.31 DSP, Draft Standard 2.0, S. 11

²²¹BSR E1.31 DSP, Draft Standard 2.0, S. 12

²²²BSR E1.31 DSP, Draft Standard 2.0, S. 12

7.8.4. Übersetzung zwischen DMX-A und E1.31

Um Daten von einem DMX-A-Netzwerk in ein DMX-A over ACN-Netzwerk zu übertragen, sind Übersetzungsgeräte notwendig. Hierfür gibt es folgende Festlegungen:²²³

- Ein Sender sollte keine E1.31-Pakete an ein Universum senden, ohne dass er ein E1.31-Paket von diesem erhalten hat.
- Ein Sender sollte die Pakete in der gleichen Geschwindigkeit versenden wie er sie von einem DMX-Gerät empfangen hat. Sollten Pakete in einer Reihenfolge fehlen, wird die Übertragung unterbrochen.
- Jedes gesendete DMX-A-Paket soll alle Nummern, von dem ersten bis zum letzten gesendeten DMX-A Paket, beinhalten.

7.9. Fazit

Die ACN-Architektur ist ein sehr umfangreicher Zusammenschluss von Protokollen. Teilweise wurden für die ACN-Architektur neue Protokolle, wie beispielsweise das DMP, entwickelt. Oder es wurde wie beim SDT auf bereits bestehende Protokolle zurückgegriffen.

Durch das Ausgliedern bestimmter Funktionen, wie dem Transport von DMX-A-Daten via ACN-Architektur, kann sich die Unterhaltungsindustrie langsam an die neue Architektur gewöhnen und sie nach und nach in ihre Produkte implementieren.

ACN bietet die Chance, zukünftig kinderleicht Netzwerke aufzubauen, in denen sich Geräte per „Plug and Play“ selbst konfigurieren können, und der Operator sich um die eigentliche Programmierung der Show kümmern kann.

²²³BSR E1.31 DSP, Draft Standard 2.0, S. 13

8. Praxis-Anwendungen

In diesem Kapitel werden drei praktische Beispiele untersucht, bei denen Art-Net, AVAB/UDP und MA-Net zum Einsatz gekommen sind. Das erste der drei Beispiele ist eine multimediale Show bei der Expo 2005 in Japan, das zweite Beispiel ist die Eröffnung des Berliner Hauptbahnhofs 2006 und als drittes Beispiel wird das Lichtnetzwerk vom Studio 2 des NDR in Hamburg beschrieben

Dieses Kapitel soll die praktischen Einsatzmöglichkeiten der in den vorigen Kapiteln beschriebenen Protokolle aufzeigen

Dass hier zwei Beispiele mit Art-Net und MA-Net beschrieben werden, hängt mit den für diese Arbeit zur Verfügung stehenden Quellen zusammen. Es könnten auch Protokolle anderer Firmen eingesetzt werden.

8.1. Nagoya Japan

Bei der EXPO 2005 wurde den Besuchern jeden Abend ein multimediales Theater-Ereignis präsentiert. Robert Wilson inszenierte als Regisseur diese Show, die inhaltlich die Verbindung von Mensch und Natur als 30-minütiges Schauspiel darstellen



Abb. 8.1. „In the evening at Koi Pond“

sollte. Die Show fand in der ungewöhnlichen Umgebung eines 25.000 qm großen Karpfenteiches statt, der den Mittelpunkt des Expogeländes in Nagoya bildet.²²⁴

Das Lichtdesign von A. J. Weissbard beinhaltete außergewöhnliche Lichteffekte kombiniert mit Bühneneffekten, die zur Musik und zu punktuellen sprachlichen Einlagen synchronisiert wurden.

²²⁴ <http://www.lightpower.de/referenzen/referenzen.php4?iCat=6&refid=315> vom 02.01.2008

8.1.1. Die Anforderungen

Aufgrund des ungewöhnlichen Ortes und den Ansprüchen des Lichtdesigners mussten unter anderem folgende, technische Gegebenheiten in die gesamte Show-Steuerung eingebunden werden:²²⁵

- Die Steuerung der Videotechnik, die aus vier Medienservern mit sechs Layern bestand und 320 DMX-Linien benötigte.
- Die Nebeltechnik.
- Die Wasserbilder inklusive der Pumpen.
- Alle hydraulisch arbeitenden Planeten-Plattformen.
- Die drahtlose (wireless) Lichttechnik an Bord der einzelnen kleinen Boote.
- Steuerung des konventionellen und intelligenten Lichtes sowie LEDs.
- SMPTE-und MIDI-Time-Code-Übertragung.

8.1.2. Die Steuerung

Als Steuerpult wurde eine grandMA-Full-Size-Konsole eingesetzt. Die Hauptkonsole wurde von einem Stage-Manager-PC und zehn NSPs unterstützt, die jeweils auch einen Teil der Rechenarbeit übernahmen.

Als Backup-System kam eine zweite grandMA-Full-Size zum Einsatz. Der Medienserver war eine Pandoras-Box der Firma Coolux (Abschnitt 4.4.4.), die über Art-Net angesteuert wurde.

Bei dem Steuerungsnetzwerk konnte nicht auf eine herkömmliche DMX-Verkabelung zurückgegriffen werden. Neben einigen festen Scheinwerfern musste die meiste Beleuchtungstechnik auf Booten und auf einer künstlichen Insel untergebracht werden. Die Steuerung erfolgte über ein Wireless-LAN-System, welches an die japanischen Verhältnisse, d. h. Frequenzen, etc. angepasst wurde und Funkstrecken von über 100 Metern überbrücken musste.

Es wurden acht feste Funkstationen um den See errichtet, die jeweils mit gerichteten Antennen bestimmte Teile der Spielfläche mit Signalen abdeckten. Alle Funkstationen waren direkt ins Lichtsteuernetzwerk eingebunden.²²⁶

²²⁵ MA-Lighting, Case-Studie
²²⁶ MA-Lighting, Case-Studie

8.1.3. Die Signalübertragung

Die Netzwerk-Lösung musste in einem Gebiet von ca. 40.000 qm an verschiedenen Punkten saubere DMX-Signale liefern. Dies wurde mittels Netzwerk-Signal-Prozessoren (NSPs) ermöglicht. Die NSPs haben jeweils einen Teil der Show berechnet und konnten jeder bis zu vier DMX-Linien ausgeben.

Durch den Einsatz von MA-Net (Abschnitt 5.6.) konnten an allen NSPs framesynchrone DMX-Signale ausgegeben werden.

Insgesamt kamen zehn NSPs zum Einsatz, welche durch zehn Switches angesteuert wurden.

Die Switches, wie auf der Abbildung 8.2. zu sehen, wurden untereinander mittels Glasfaser-Leitungen verbunden. Die Glasfaser-Leitungen (Abschnitt 3.2.1.3.) wurden vor allem wegen ihrer geringen Störanfälligkeit eingesetzt.

Die Abbildung 8.2. zeigt den schematischen Aufbau des Netzwerkes zur Steuerung der Show. Durch farbliche Kennzeichnung lässt sich erkennen, welche Signalform für die einzelnen Geräte verwendet wurde.

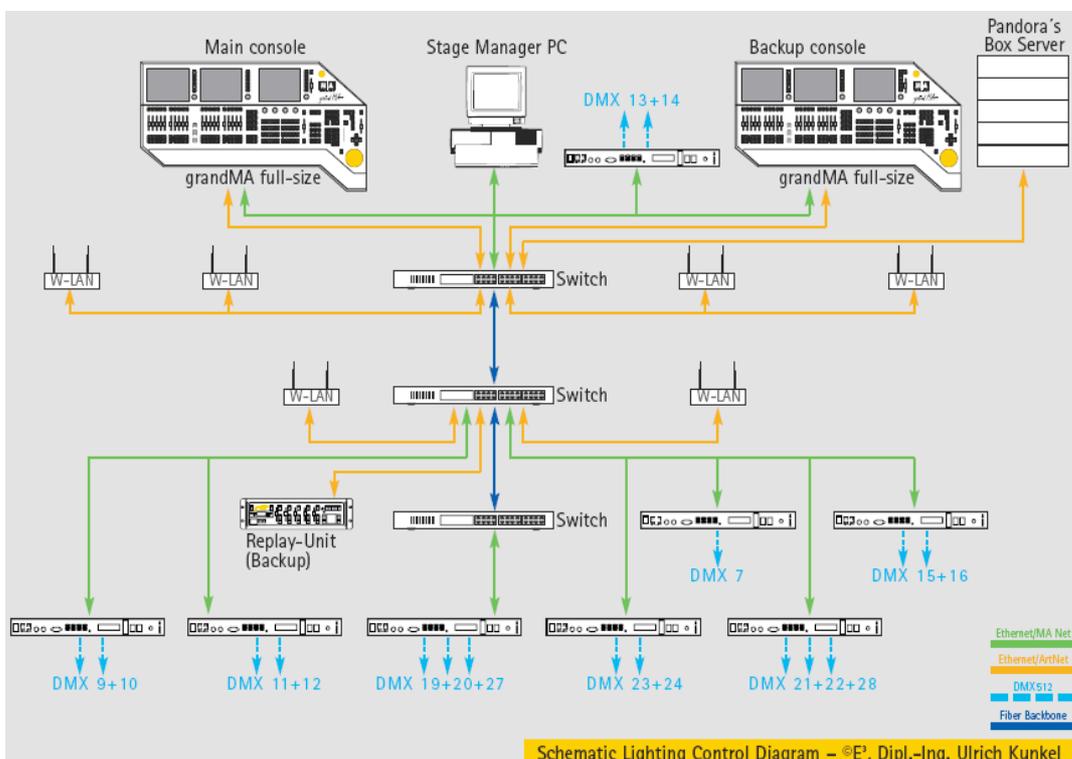


Abb. 8.2. Signalführung Nogoya Japan

Die beiden grandMA-Full-Size-Konsolen sind inklusive des Stage-Manager-PCs und eines NSP mittels MA-Net vernetzt.

Der erste Switch bekommt jeweils ein Art-Net-Signal von den beiden Konsolen und ein Art-Net-Signal von der Pandoras-Box.

Der Stage-Manager-PC gibt ein MA-Net-Signal an den ersten Switch. Ab hier lässt sich beobachten, dass alle Wireless-Access-Points mit einem Art-Net-Signal beliefert werden und die NSPs jeweils mit einem MA-Net-Signal. Die Funkstrecken wurden alle mit Art-Net realisiert, da MA-Net wegen seiner Anfälligkeit gegenüber Unterbrechungen hier nicht die gewünschte Sicherheit gebracht hätte. Wie in Abschnitt 5.6. beschrieben, reagiert MA-Net auf Störungen sehr empfindlich, da die framesynchrone Ausgabe durch Unterbrechungen nicht mehr gegeben ist.

8.1.4. Die Programmierung

Zur Programmierung wurden die beiden eingesetzten grandMA-Full-Size-Konsolen im Multi-User-Betrieb verwendet und die Programmierungsarbeit auf die beiden Pulte verteilt, während immer beide Pulte auf dem neuesten Stand der Programmierung waren, und die Ressourcen beider Pulte verwendet werden konnten. Das eine Pult diente dem anderen immer als Backup.

Auf einem der Pulte wurde ausschließlich das Licht und auf dem anderen die Videotechnik programmiert. Zusätzlich wurde eine grandMA-OnPC-Version verwendet.²²⁷

Die eingeschränkten Benutzerrechte erlaubten es den Programmierern, jeweils nur an ihrem Teil der Show, sei es Licht oder Video, zu arbeiten, und der Lichtdesigner konnte die verschiedenen Programmierungsabschnitte separat überwachen.²²⁸

²²⁷ <http://www.lightpower.de/referenzen/referenzen.php4?iCat=6&refid=316> com 03.01.2008
²²⁸ MA-Lighting

8.1.5. Fazit

An der schematischen Darstellung in Abbildung 8.2. lässt sich erkennen, dass MA-Net für die kabelgebundene Ansteuerung der NSPs und Art-Net für die Funksteuerung der Lichttechnik auf den Booten und der Insel verwendet wurde. Der Vorteil von MA-Net, dass immer framesynchrone Signale an allen Ausgängen zur Verfügung stehen sollen, wird bei der Funkübertragung zum Nachteil, da es bisher kein echtzeitfähiges Funksystem auf dem Markt gibt, das eine kontinuierliche Verbindung ohne Ausfälle garantieren kann.²²⁹ Hier kann aber dank der Zusammenarbeit mit Artistic License auf Art-Net zurückgegriffen werden, was nur mit 10 Mbit/s Übertragungsgeschwindigkeit arbeitet und durch seinen Aufbau (Kapitel 6) auch nach einer Unterbrechung der Verbindung problemlos weiterarbeiten kann.

Eine ACN-Architektur würde hier vermutlich zu einem gemeinsamen Standard führen. Es müssten nicht vom Pult aus Art- und MA-Net generiert werden, sondern es bräuchten lediglich ACN-Protokolle für die verschiedenen Anwendungen ausgegeben werden. Für die Wireless-LAN-Übertragung könnte der IEEE802.11-Standard verwendet werden, und neben den NSPs der Firma MA-Lighting könnten auch Geräte anderer Firmen, wie beispielsweise DMX-Prozessoren der Firma High End- Systems, verwendet werden.

Eine Anwendung von ACN würde es dem Netzwerkplaner erlauben, Geräte verschiedener Hersteller zu verwenden, ohne auf die Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenen Firmenprotokolle zu achten.

²²⁹ MA-Lighting, Produktkatalog, S. 44

8.2. Einweihung des Berliner Hauptbahnhofs

Am 26. Mai 2006 wurde in Berlin der neue Hauptbahnhof eingeweiht. Nach einer Reihe von Konzerten und Rede-Beiträgen der anwesenden Prominenz aus Politik und Wirtschaft, unter anderem Bundeskanzlerin Angela Merkel und Verkehrsminister Wolfgang Tiefensee, wurde der Bahnhof eindrucksvoll durch eine „Lichtsinfonie“, komponiert von Jerry Appelt, illuminiert.²³⁰



Abb. 8.3. Eröffnung Berlin Hauptbahnhof

8.2.1. Die Idee

Die Idee war es, zwei Züge, bestückt mit 16 Space-Cannons, aus Ost und West in den Bahnhof einfahren zu lassen. Auf dem Bahnhofsgebäude waren ebenfalls Space-Cannons installiert, so dass sich die Lichtkegel der beiden Züge mit denen des Bahnhofs treffen und so das Zusammenwachsen der beiden Teile Berlins symbolisieren sollten.²³¹

²³⁰ http://de.wikipedia.org/wiki/Berlin_Hauptbahnhof#Er.C3.B6ffnungsfeier_vom_08.01.2008

²³¹ http://www.tagesspiegel.de/berlin/art270,1928365_vom_08.01.2008

Die Technik-Liste umfasste neben den knapp 1.000 konventionellen Scheinwerfern mehrere hundert Moving-Lights vom Typ MAC2000 und MAC600.²³²

Die Show sollte voll synchronisiert mittels Time-Code-Signal gesteuert werden. Aus der Masse an Scheinwerfern kamen rund 9.000 DMX-Kanäle zusammen, die in 22 DMX-Universen aufgeteilt wurden. Die Hauptschwierigkeit bestand darin, ein Netz zu schaffen, das für das hohe Datenaufkommen stabil genug war, und das über das große Areal des Hauptbahnhofs synchrone Signale ausgeben konnte. Als zusätzliche Schwierigkeit kamen die beiden Züge hinzu, die jeweils mit 16 Space-Cannons „Ireos PRO 7 kW“ bestückt waren und in keiner Weise mit Steuerkabeln erreicht werden konnten, da sie gefahren sind.

8.2.2. Die Steuerung

Die gesamte Steuerung wurde von drei grandMA-Full-size und einer grandMA-light übernommen. Zwei der drei grandMA-Full-size-Konsolen dienten als Haupt- und Havariepult. Die Pulte waren jeweils auf den beiden Zügen als zusätzliches, lokales Backup installiert. Insgesamt 17 NSPs sorgten an den verschiedenen Stellen für die Versorgung mit korrekten DMX-Signalen. Acht der NSPs wurden auf dem Areal des Hauptbahnhofs verteilt, einer auf jedem Zug, und sieben der NSPs wurden in der Nähe der Steuerung aufgestellt. Die NSPs dienen nicht nur der Umwandlung von Ethernet-Daten in DMX-Signale, sie übernehmen auch einen Teil der Rechenleistung, da die Konsolen mit dem Datenvolumen überfordert gewesen wären.²³³ Die verwendeten Protokolle waren neben MA-Net, womit die NSPs angesteuert wurden, Art-Net, DMX und andere.

8.2.3. Die Signalübertragung

Für eine zuverlässige Signalübertragung wurde ein Optocore-System verwendet, welches als Übertragungsmedium Glasfaser nutzt und neben den Steuerdaten für die Lichttechnik auch Video- und Ton-Daten transportieren konnte.

²³² <http://www.procon-online.de/go/referencec-de-events-9d76b94fo>. vom 08.01.2008
²³³ MA-Lighting

Optocor ist ein Glasfaser-Netz, welches die Übertragung von verschiedenen Steuerdaten, wie RS232/RS422/RS485, CAN-Bus, DMX, Ethernet, etc. unterstützt. In diesem System ist es möglich, die Daten der verschiedenen Gewerke, wie Licht-, Ton-, und Videotechnik über eine Infrastruktur laufen zu lassen, und die Daten entsprechend zu routen.²³⁴

Um die Space-Cannons auf den beiden Zügen mit Steuerungssignalen erreichen zu können, wurde auf jedem Zug eine Ethernet-Funk-Station ähnlich eines Access-Points aufgebaut, welche die empfangenen Daten an den jeweiligen NSP weitergaben. Der NSP versorgte dann die Scheinwerfer mit den entsprechenden DMX-Signalen und wurde im Backup-Fall, also dem Abbruch der Funkverbindung von dem jeweiligen Steuerpult, mit Daten versorgt. Um eine Datenüberlast an den beiden Zügen zu vermeiden, wurde vor der Absendung eine Filterung der Ethernet-Daten mit einem „Schicht 3“-Switch (Layer 3 Switch, Abschnitt 4.3.2.) durchgeführt. Diese Art von Switch kann die Datenpakete so filtern, dass nur noch Pakete mit den gewünschten DMX-Daten durchgelassen werden, und so die Funkverbindung nicht so schnell überlastet wird. Falls es doch zu Störungen bei der Funkübertragung kommen sollte, würden die Pulte auf den Zügen die Steuerung lokal übernehmen.²³⁵

Diese Art des zusätzlichen Backups auf den Zügen zeichnete sich während der Show auch als unverzichtbar aus. Durch eine Funkverbindung eines deutschen TV-Senders wurde die Verbindung zu einem der Züge kurz vor der Show unterbrochen.

Der Time-Code konnte trotzdem pünktlich auf dem lokalen Pult gestartet werden, so dass die Show synchron starten konnte. Trotz der fehlenden Verbindung kam es zu keinem zeitlichen Versatz in der Show.

²³⁴ http://www.proaudio-seminare.de/live/index_266_DEU_AE.html
²³⁵ MA-Lighting

Die Abbildung 8.4. zeigt eine Übersicht des verwendeten Netzwerkes.

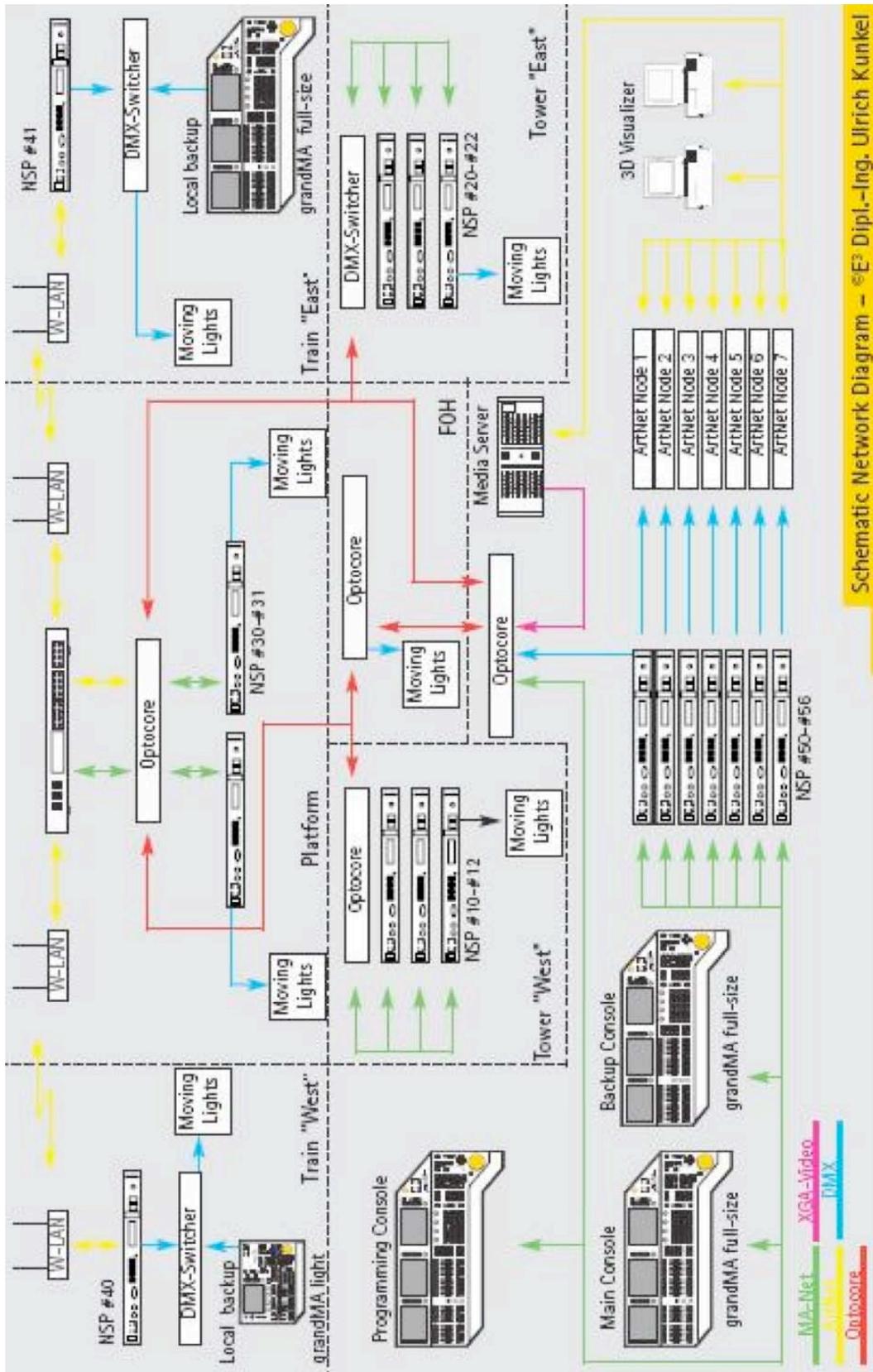


Abb. 8.4. Netzwerkplan Eröffnung Hauptbahnhof

8.2.4. Welche Protokolle

Wie auf der Abbildung 8.6. zu sehen, wurden für die Steuerung der verschiedenen Geräte unterschiedliche Protokolle verwendet. Die grandMA-Pulte geben ausschließlich MA-Net als Steuersignal aus. Das Signal wird von den Pulten entweder direkt zu einem NSP gebracht oder über das Optocore-System zu weiteren NSPs im Netzwerk verteilt. An den verschiedenen Stellen auf dem Gelände, an denen die Signale gebraucht werden, wird MA-Net aus dem Optocore „gezogen“ und „speist“ die entsprechenden NSPs auf dem Gelände.

Art-Net wird, wie im Beispiel 8.1. beschrieben, für die Übertragung per Funk verwendet. Die beiden Züge bekommen über spezielle WLAN-Brücken ihre Art-Net-Daten, die vom NSP in DMX gewandelt werden und dann zu den Scheinwerfern auf den Zügen gehen.

Ebenfalls in das System eingebunden ist ein Media-Server, der auch über Art-Net angesteuert wird und mit zwei Rechnern mit 3D-Visualisierungen verbunden ist.

8.3. Neubau des Studio 2 beim NDR

Anfang 2004 beauftragte der NDR die Transtechnik GmbH, mit dem Neubau der Studios 1 und 2 als Generalunternehmer für die Licht- und Bühnentechnik.

Schon im Februar 2005 wurden die Studios übergeben. Produziert werden hier unter anderem das Hamburg Journal und das Vorabendmagazin „DAS“.²³⁶

Dieses Beispiel aus der Praxis wurde ausgewählt, da hier gezeigt werden kann, wie in einer Festinstallation alle Geräte eines Beleuchtungsnetzwerkes über ein Ethernet-Protokoll angesteuert werden können.

²³⁶ <http://www.studio-hamburg.de/index.php?id=503> vom 06.02.2008

8.3.1. Die Steuerung

Das gesamte Lichtnetzwerk wird von einem Focus-NT-Pult der Firma Transtechnik aus Holzkirchen gesteuert.

Da Transtechnik seit 2002 zur ETC GmbH gehört, werden von der Focus-NT-Konsole AVAB/UDP, AVAB/IPX und ETCNet unterstützt..²³⁷

Bei dieser Installation wird als Ethernet-Protokoll ausschließlich AVAB/UDP (Abschnitt 5.4.) verwendet.

Für Bereiche, bei denen sehr hohe Ausfallsicherheit benötigt wird, wie zum Beispiel einem Tagesschau-Studio, wird weiter mit DMX512 gearbeitet.

8.3.2. Das Netzwerk

Die Abbildung 8.5. zeigt ein sehr stark vereinfachtes Schema des Beleuchtungsnetzwerkes:

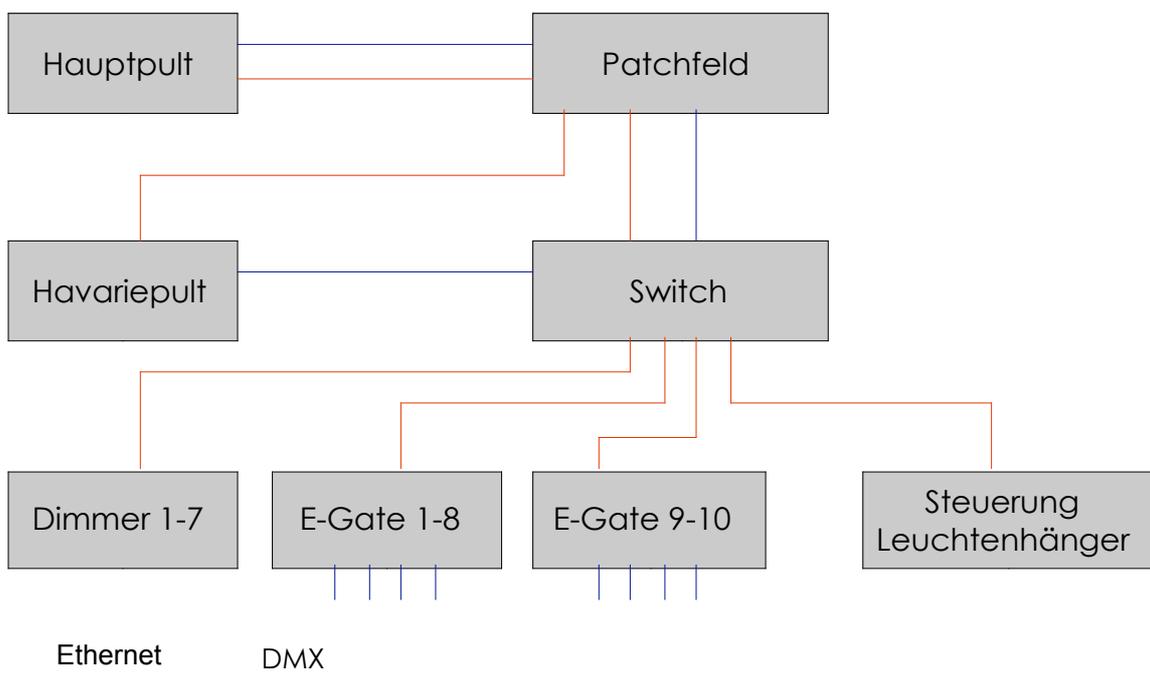


Abb. 8.5 Netzwerkschema Studio 2

²³⁷ <http://www.etcconnect.com/product.overview.aspx?ID=20235> vom 06.02.2008

In der Abbildung 8.5. ist zu erkennen, dass das Haupt- und Havariepult über das Patchfeld und den Switch sowohl über eine Ethernet-Leitung als auch über eine DMX-Leitung verbunden sind.

Vom Switch gehen jeweils Ethernet-Leitungen zu den E-Gates, den Dimmern und der Leuchtenhängersteuerung bzw. dem Studioautomatisierungssystem.

Als Studioautomatisierungssystem kommt das Voyager 2 System von ETC zum Einsatz. Dadurch, dass es von demselben Hersteller wie der Rest der Anlage stammt, kann es ebenfalls über AVAB/UDP optimal ins Netzwerk eingebunden werden.

Die angesteuerten E-Gates sind Ethernet-DMX-Wandler, die jeweils DMX-Signale zu den entsprechenden Geräten senden.

Die Dimmer sind ebenfalls ins Netzwerk integriert, so dass am Steuerpult bequem Rückmeldungen, wie beispielsweise die eingesetzte Dimmerkurve, abgelesen werden können.

8.4. Fazit

In diesem Kapitel sollten einige Einsatzmöglichkeiten der in den Kapiteln 5 bis 7 beschriebenen Protokolle aufgezeigt werden.

Ob es um die Ansteuerung von Scheinwerfern auf Booten oder Zügen geht, oder festinstallierte Anschlussmöglichkeiten für Scheinwerfer in Studios vernetzt werden sollen, ist prinzipiell nicht relevant. Es geht um die Vorteile, die durch die Vernetzung entstehen.

Ohne den Einsatz von Ethernet in den hier beschriebenen Beispielen wären solche Produktionen, wie die Eröffnung des Berliner Hauptbahnhofs, nicht ohne weiteres möglich, und neue Studios würden nicht so komfortabel von möglichst wenig Personal betreut werden können.

Schlusswort

Die Analyse der momentanen Situation bezüglich der Netzwerke im Bereich der Lichttechnik und der neuen Architekturen zur Steuerung von Licht- und Medientechnik hat gezeigt, wie wichtig ein genormter Standard ist.

Die in Kapitel 5 vorgestellten Firmenprotokolle zeigen klar, dass der Bedarf nach einem Übertragungsstandard auf Ethernet-Basis vorhanden ist.

Artistic Licence hat mit dem Art-Net-Standard den Anfang gemacht, in dem zunächst einmal DMX512- und RDM-Daten via Ethernet transportiert werden können.

Die ACN-Architektur bietet mit Sicherheit große Chancen und Vereinfachungen bei der Vernetzung verschiedener Geräte, gerade von unterschiedlichen Herstellern.

Die Architektur ist mit ihren Protokollen jedoch so umfangreich, dass es noch eine Weile dauern wird, bis die Hersteller wirklich den vollen Standard in ihre Geräte implementieren können.

Das hat die ACN-Task-Group ebenfalls erkannt und hat mit der Entwicklung eines vereinfachten Standards zur Übertragung von DMX-A- und RDM-Daten via ACN-Architektur begonnen. Durch Firmen, wie die ETC GmbH kommt dieser vereinfachte Standard auch zum Einsatz, und es lässt hoffen, dass nach und nach alle Teile der Architektur in die Praxis umgesetzt werden können.

Firmen, die stark auf ihr Firmenprotokoll setzen, sollten es nicht versäumen, wenigstens im Hintergrund die ACN-Bausteine in ihre Produkte zu implementieren, da hier die Zukunft liegt.

Für den Verbraucher bleibt zunächst abzuwarten, dass die deutsche DIN eine ACN-Norm in Bezug zur amerikanischen Norm erarbeitet, und so die Hersteller auch verbindliche Angaben bezüglich ACN-Implementierungen machen können. Ein jetziges „ACN-Ready“ ist durch das Fehlen einer deutschen Norm noch nicht viel wert.

Meine Prognose ist, dass die Firmenprotokolle nach und nach verschwinden werden. Die ACN-Architektur ermöglicht es auch weiterhin, firmenspezifische Daten zu übertragen und über die Protokolle zu versenden. Es werden also weiterhin spezielle Firmen-Features auf dem Markt sein und durch entsprechendes Marketing unter die Leute gebracht werden.

Die Benutzung entsprechender Netzwerke wird sich nach einer Weile der Eingewöhnung jedoch stark vereinfachen. Auf großen Produktionen werden beispielsweise Moving-Lights per „Plug and Play“ am Pult angemeldet, von dort adressiert, upgedatet und konfiguriert werden.

Bei einer entsprechenden Verbreitung der ACN-Architektur können neben der Lichttechnik auch andere Gewerke, wie die Bühnen-, Video- oder auch Tontechnik ihre Daten über dasselbe Netz versenden.

Ein Zusammenspiel einzelner Gewerke, wie zum Beispiel Licht- und Videotechnik, ist mit Sicherheit sinnvoll, jedoch muss auch auf eine entsprechende Filterung der Netze zueinander geachtet werden, um Störungen zu vermeiden.

Die Funkanbindung bietet durch das Wegfallen von Kabeln eine enorme Installations-Erleichterung, doch durch die vielen Frequenzen, die sich bereits jetzt in unserer Atmosphäre tummeln, wird es nicht leichter werden, einheitliche Festlegungen treffen zu können und sichere Verbindungen zu gewährleisten.

Abbildungsnachweis

Abbildungen Kapitel 1

- | | | |
|------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1. | Kolosseum in Rom | http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Collesseum_rom.jpg vom 21.11.2007 |
| 1.2. | Zylinderdimmung nach Sabbattini | Max Keller, Faszination Licht, S. 17 |
| 1.3. | Bordoni-Stellwerk | B. Jäger, Lichtsteuerung, S. 32 |
| 1.4. | Tyrartondimmer | http://strandarchive.co.uk/control/dimmer/thyratron/thyratron.html vom 25.11.2007 |
| 1.5. | Lichtstellpult der 60er Jahre | gerriets.com/_download/Infotafeln-Museumsgang.pdf vom 23.11.2007 |
| 1.6. | Das erste Moving-Light-Steuerpult | gerriets.com/_download/Infotafeln-Museumsgang.pdf vom 23.11.2007 |

Abbildungen Kapitel 2

- | | | |
|------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.1. | Bolero-Pult | http://www.adblighting.com/page=productdetails&cat=5&subcat=23&id=139 vom 14.12.2007 |
| 2.2. | Jester-Pult von Zero 88 | http://www.zero88.com/de/products/2/52 vom 14.12.2007 |
| 2.3. | Scancommander | http://www.arax.de/verkauf/ma/scancom/sc21.jpg vom 15.12.2007 |
| 2.4. | Whole Hog 3 | http://www.highend.com/products/controllers/Wholehog3Console.asp vom 15.12.2007 |
| 2.5. | grandMa-Full-Size | http://www.malighting.com/lighting_consoles.html?&L=2 vom 16.12.2007 |
| 2.6. | Beispielhafte Lichtsteuerung | http://www.etcconnect.com/productoverview.aspx?ID=20015 vom 14.12.2007 |
| 2.7. | Das DMX-Signal | http://www.soundlight.de/techtips/dmx512/vpdmxti.gif vom 16.10.2007 |
| 2.8. | Verbindungsmöglichkeiten bei DMX-A | ANSI E1.13, S.37 |
| 2.9. | Alternative Startcodes | eigene Tabelle |

Abbildungen Kapitel 3

3.1.	Das OSI-Schichtenmodell	eigene Tabelle
3.2.	Die Aufgaben der OSI-Schichten	eigene Tabelle
3.3.	Twisted-Pair-Kabel-Kategorien	http://www.elektronikkompodium.de/sites/net/0510091.htm vom 12.12.07
3.4.	Der Datenpfad durch die Schichten	eigene Tabelle
3.5.	Nachricht in der Sicherungsschicht	eigene Tabelle
3.6.	10Base5	http://img.zdnet.com/techDirectory/10BASE5.GIF vom 07.12.2007
3.7.	Parameter des 10Base5	eigene Tabelle
3.8.	10Base2	http://img.zdnet.com/techDirectory/10BASE2.GIF vom 07.12.2007
3.9.	Parameter des 10Base2	eigene Tabelle
3.10.	10Base T	http://img.zdnet.com/techDirectory/10BASE-T.GIF vom 07.12.2007
3.11.	Pin-Belegung RJ45-Stecker	eigene Tabelle
3.12.	RJ45-Stecker	https://www.csn.tu-chemnitz.de/pictures/rj45.png vom 07.12.2007
3.13.	Ethernet-Datenrahmen	http://www.elektronikkompodium.de/sites/net/0603201.htm vom 07.12.2007
3.14.	Merkmale des Fast-Ethernet	http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/1107311.htm vom 08.12.2007
3.15.	Kategorien des Fast-Ethernet	eigene Tabelle
3.16.	Verschiedene Gigabit-Ethernet-Standards	eigene Tabelle
3.17.	Verschiedene Ethernet-Standards	http://www.tecchannel.de/netzwerk/grundlagen/401829/ vom 17.12.2007
3.18.	Steckerbelegung RJ45 bei „PoE“	eigene Tabelle
3.19.	WiFi-Logo	http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:WiFi_Logo.svg vom 19.12.2007
3.20.	Frequenzbereiche beim Wireless-LAN	http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN vom 10.12.2007
3.21.	Der 2,4-GHz-Bereich	http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN vom 10.12.2007

3.22.	Der 5-GHz-Bereich	http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN vom 10.12.2007
3.23.	Datenraten der verschiedenen Standards	http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN vom 10.12.2007
3.24.	Bluetooth-Logo	http://www.bluetooth.com/bluetooth/ vom 07.02.2008
3.25.	Aufbau des Internets	A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, S. 44
3.26.	Der IP-Adressraum	eigene Tabelle
3.27.	Beispiel einer Subnetzmaske	eigene Tabelle
3.28.	Zusammenhang zwischen den verschiedenen Adressen	http://www.elektronikkompndium.de /sites/net/0907201.htm vom 10.12.2007
3.29.	„AND“-Operation zwischen den Adressen	http://de.wikipedia.org/wiki/IP-Adresse vom 10.12.2007
3.30.	TCP im OSI-Modell	http://www.elektronikkompndium.de/ sites/net/0606251.htm vom 20.12.2007

Abbildungen Kapitel 4

4.1.	DMX-Merger	http://www.actlighting.com/ELC/Images/ DT221-large.jpg vom 10.01.2008
4.2.	Einfaches DMX-Netzwerk	eigene Zeichnung
4.3.	Einfaches Ethernet- Netzwerk	eigene Zeichnung
4.4.	EtherCon-Stecker	http://www.neutrik.com/content/products/ level02.aspx?id=204_1954039963& catId=CatMSDE_lighting vom 14.01.2008
4.5.	WARP-Profilscheinwerfer	http://www.alia.com.au/business/WARP- foto.jpg vom 15.01.2008
4.6.	LED-Panel	http://www.schnickschnacksystems.com/ Produkte/Leuchten/Paneel-C406 Fleisch480RGB.jpg vom 14.01.2008
4.7.	Pandoras-Box von Coolux	http://www.coolux.de/root/downloads/ pdf_de/PB_MediaServer_v3_5_de.pdf vom 16.01.2008

Abbildungen Kapitel 5

- 5.1. Fenster der SandNet-Software <http://www.sandsys.com/products/sandnet/index.htm#Local%20Node> vom 20.01.2008

Abbildungen Kapitel 6

- 6.1. IP-Adresse im Art-Netzwerk eigene Tabelle
- 6.2. ArtPoll-Anfrage Art-Net 2 Protokoll Release V1.4 Version vom 09.10.2007, S. 5

Abbildungen Kapitel 7

- 7.1. ACN im OSI-Schichtenmodell eigene Tabelle
- 7.2. ACN in TCP/IP-Umgebung eigene Tabelle nach ANSI E1.17-2006 ACN, S. 10
- 7.3. PDUs im PDU-Block ANSI E1.17-2006 ACN, S. 13
- 7.4. ACN/PDU eigene Tabelle nach ANSI E1.17-2006 ACN, S. 5
- 7.5. Das ACN-Paket eigene Tabelle
- 7.6. Daten im PDU-Block eigene Tabelle nach ANSI E1.17-2006 ACN, S. 21
- 7.7. Das E1.31.-Paket-Format ESTA (Draft 2.0) E1.31DSP, S. 6
- 7.8. PDU-Feld verwendet durch das DMP eigene Tabelle
- 7.9. Multicastadresse im E1.31 eigene Tabelle nach ESTA (Draft 2.0) E1.31DSP, S. 12

Abbildungen Kapitel 8

- | | | |
|------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8.1. | „In the evening at Koi Pond“ | http://www.lightpower.de/referenzen/referenzen.php4?iCat=6&refid=315
vom 02.01.2007 |
| 8.2. | Signalführung Nagoya Japan | MA-Lighting |
| 8.3. | Eröffnung Berlin Hauptbahnhof | http://www.jpappelt.de vom 08.01.2008 |
| 8.4. | Netzwerkplan Eröffnung Hauptbahnhof | MA-Lighting |
| 8.5. | Netzwerkschema Studio 2 | eigene Zeichnung |

Quellenverzeichnis

A. S. Tannenbaum, Computernetzwerke, 3. revidierte Auflage
ADB-Lighting, WARP-Datenblatt
ANSI E1.17-2006 ACN
ANSI E1.11, S. 13
Artistic Licence, What is RDM
Bedienungsanleitung für Abruf-Steuereinheiten der Firma Zero 88
Berthold Jäger, Lichtsteuerung, Skript zur Vorlesung
Bruno Grösel, Bühnentechnik, S. 9, 3. Auflage
BSR E1.31. DSP, S. 6
DIN 56930-2
ETC GmbH
ETC GmbH Protocol Specification AVAB UDP, Version 1_7_1, S. 7
Gerhard Lienemann, TCP/IP-Grundlagen
gerriets.com/_download/Infotafeln-Museumsgang.pdf vom 23.11.2007
[http:// www.artisticlicence.com/index.php.....&policies_id=&cart_id=&order_id=](http://www.artisticlicence.com/index.php.....&policies_id=&cart_id=&order_id=) Art-Net 2ProtokollRelease V1.4 Version vom 09.10.2007
<http://de.wikipedia.org/wiki/802.15.1> vom 17.12.2007
<http://de.wikipedia.org/wiki/Architektur> vom 25.11.2007
http://de.wikipedia.org/wiki/Berlin_Hauptbahnhof#Er.C3.B6ffnungsfeier
vom 08.01.2008
<http://de.wikipedia.org/wiki/Drei-Wege-Handshake> vom 20.12.07
http://de.wikipedia.org/wiki/IEEE_802 vom 25.11.07
http://de.wikipedia.org/wiki/Internetwork_Packet_Exchange vom 15.01.2008
<http://de.wikipedia.org/wiki/Koaxialkabel> vom 12.12.2007
<http://de.wikipedia.org/wiki/Kolosseum> vom 20.11.2007
<http://de.wikipedia.org/wiki/Multicast> vom 11.12.2007
<http://de.wikipedia.org/wiki/Netzwerke> vom 28.12.2007
http://de.wikipedia.org/wiki/Normung#Europ.C3.A4ische_Normung
vom 23.01.2008
http://de.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet 13.01.2008

http://de.wikipedia.org/wiki/Remote_Procedure_Call vom 21.12.2007

http://de.wikipedia.org/wiki/Spanning_Tree_Protocol vom 04.02.2008

http://de.wikipedia.org/wiki/Switch_%28Computertechnik%29
vom 04.02.2008

<http://de.wikipedia.org/wiki/Thyratron> vom 23.11.2007

<http://de.wikipedia.org/wiki/Twisted-Pair-Kabel> vom 12.12.2007

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi> vom 18.12.2007

http://de.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN vom 10.12.2007

http://dthg.de/praxis/beleuchtung/lichttechnik/lichtsteuerung/ls05_speicher.htm vom 14.12.2007

http://dthg.de/praxis/beleuchtung/lichttechnik/lichtsteuerung/ls08_speicher_moving-light.htm vom 15.12.2007

[http://en.wikipedia.org/wiki/RDM_\(lighting\)](http://en.wikipedia.org/wiki/RDM_(lighting)) vom 24.01.2008

<http://en.wikipedia.org/wiki/USITT> vom 15.01.2008

<http://staff.fh-hagenberg.at/schaffer/avt3/AVT3-WS0405-Beleuchtungstechnik.pdf> vom 17.12.2007

<http://strandarchive.co.uk/control/d54/d54.html> vom 02.12.2007

<http://wapedia.mobi/de/DMX-Signal> vom 10.01.2008

<http://www..zero88.com/de/products/2/52> vom 14.12.2007

<http://www.adblighting.com/?page=productdetails&cat=5&subcat=23&id=139> vom 14.12.2007

<http://www.artisticlicence.com> vom 03.01.2008

http://www.coolux.de/root/downloads/pdf_de/PB_MediaServer_v3_5_de.pdf vom 15.01.2008

http://www.dthg.de/fachverband/chronik/chronik_stichworte.htm
vom 23.01.2008

<http://www.ecue.tv/nano.28.0.html> vom 16.12.2007

<http://www.elektronikkompndium.de/sites/grd/1003151.htm> vom 20.01.2008

<http://www.elektronik-kompndium.de/sites/kom/0301282.htm>
vom 12.11.2007

<http://www.elektronik-kompndium.de/sites/net/0606251.htm>
vom 20.12.2007

<http://www.elektronik-kompndium.de/sites/net/0812271.htm>
vom 20.12.2007

- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0812281.htm>
vom 20.12.2007
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907041.htm>
vom 18.12.2007
- <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/net/0907201.htm>
vom 10.12.07
- <http://www.esta.org/about/index.html> vom 15.01.2008
- <http://www.esta.org/about/worldetf.html> vom 15.01.2008
- http://www.esta.org/tsp/documents/published_docs.php vom 22.01.2008
- <http://www.etconnect.com/company.history.aspx> vom 15.01.2008
- <http://www.etconnect.com/product.overview.aspx?ID=20015>
vom 16.12.2007
- <http://www.etconnect.com/product.overview.aspx?ID=20235>
vom 06.02.2008
- <http://www.gasgeschichte.de/geschichte.html> vom 20.11.2007
- http://www.hbernstaedt.de/KnowHow/Steuersignale/Steuersignale_08/Steuersignale08b.htm vom 28.01.2008
- http://www.itwissen.info/definition/lexikon/___cobranet.html vom 17.01.2008
- http://www.itwissen.info/definition/lexikon/_bluetooth_bluetooth.html
vom 17.12.2007
- http://www.itwissen.info/definition/lexikon/_tbtb_tbtoken%20bustb_tbtoken%20bus.html vom 12.11.2007
- <http://www.lightpower.de/referenzen/referenzen.php4?iCat=6&refid=315>
vom 02.01.2007
- http://www.malighting.com/product_history.html?&L=2 vom 22.01.2008
- http://www.microsoft.com/.....valuate/technol/tcpipfund/tcpipfund_appa.mspx vom 11.12.2007
- <http://www.netzmafia.de/skripten/netze/netz1.html> vom 14.11.2007
- http://www.neutrik.com/content/products/level02.aspx?id=204_1954039963&catId=CatMSDE_lighting vom 14.01.2008.
- <http://www.pathwayconnect.com> vom 17.01.2008
- <http://www.planetwissen.de/pw/Artikel,,,,,,,,,0EE4014D1A725F6EE0440003BA5E08D7,,,,,,,,,html> vom 20.11.2007
- http://www.proaudio-seminare.de/live/index_266_DEU_AE.html
- <http://www.procon-online.de/go/referencec-de-events-9d76b94fo..>
vom 08.01.2008

<http://www.sandsys.com/products/sandnet/index.htm#Local%20Node>
vom 20.01.2007

<http://www.schnickschnacksystems.com/Panel-Datenblatt.pdf>
vom 14.01.2008

<http://www.soundlight.de/techtips/dmx512/dmx512.htm> vom 16.10.2007

<http://www.studio-hamburg.de/index.php?id=503> vom 06.02.2008

<http://www.tagesspiegel.de/berlin/;art270,1928365> vom 08.01.2007

<http://www.tecchannel.de/netzwerk/grundlagen/431724/index4.html>
vom 11.12.07

<http://www.tecchannel.de/netzwerk/wlan/401704/index13.html>
vom 18.12.2007

<http://www.vplf.org/Verband/Arbeitskreise/Licht.php> vom 23.01.2008

<http://www.vplf.org/Verband/Ziele.php> vom 23.01.2008

J. Mueller, Handbuch der Lichttechnik, 3. Auflage

M. Kaiser, Diplomarbeit

MA-Lighting

MA-Lighting, Case-Studie

MA-Lighting, Produktkatalog

Max Keller, Faszination Licht

NSP-Datenblatt, MA-Lighting

Prof. Dr. N. Martini, Funktionsweise des Internets, Skript zur Vorlesung

Prof. Roland Greule, Handout Dimmerarten

Prof. Roland Greule, Handout Lichtstellpulte

Prof. Roland Greule, Lichtsteuerung von 1550 – 1982,

Transtechnik Prisma NTX Datenblatt

USITT BSR E1.3- 2001

W. Riggert, Rechnernetze,

www.it-administrator.de/lexikon/protokoll_stack.html 06.12.07