

## DMX512

(Ver o.2 L. Willkomm 19.12.2008)

DMX512 ist heute die am weitesten verbreitete Methode zur digitalen Lichtsteuerung. Diese Einführung beschreibt die technischen Grundlagen und gibt einige Hinweise zur Anwendung.

### 1. Geschichte

In den Anfangszeiten der elektrischen Bühnenbeleuchtung wurden Scheinwerfer direkt an einen Schrank mit Stellwiderständen oder Stelltransformatoren zur Helligkeitssteuerung angeschlossen. Die hierzu erforderlichen Kabel für hohe Ströme machten diesen Aufbau unflexibel. Später verbannte man die Stellglieder mit eher langsamen motorisierten Antrieben in einen Kellerraum und betätigte die Motoren von einem mobilen Lichtregiepult aus. Die Einführung der Phasenanschnittsteuerung mittels geeigneter Leistungshalbleiter (Thyristoren, Triacs) ermöglichte eine viel schnellere Bedienung; nun reichten auch kleine Steuerströme von der Regie zu den Dimmerpacks. Eine analoge Ansteuerung mit einer Steuergleichspannung von 0-10V wurde üblich und hatte den Vorteil, dass sie mit überall gängigen Taschenmultimetern zu überprüfen war. Die ersten Lichtsteuerpulte mit Presets erschienen: ein zweite Faderreihe erlaubte die Voreinstellung einer Szene, die dann mit einem Handgriff abgerufen werden konnte. Die Anlagen waren allerdings anfällig für Störungen durch Brummschleifen oder schlechte Verkablung; eine digitale Ansteuerung der Leuchten sollte hier für größere Betriebssicherheit sorgen. Auch das Aufkommen multifunktionaler Geräte machte die analoge Ansteuerung unpraktikabel: wenn außer Dimmern auch Filterräder, Blenden, Kopfpositionen u.a. gesteuert werden müssen, erfordert jede Funktion ein Steuerkabel; da die Geräte i.a. unterschiedlich viele Funktionen haben, ist eine Neuverkablung bei Änderung der Geräteanordnung problematisch. 1986 wurde daher der DMX512-Standard (Digital MultipleX) vorgeschlagen und 1990 von der USITT (United States Institute of Theater Technology) publiziert. Mittlerweile haben anerkannte Normungsgremien (DIN, ANSI, IEC) den Vorschlag präzisiert und erweitert (DMX512-A von 2004).

### 2. Grundlagen

DMX512 überträgt 8bit weite Steuerinformationen (also 256 mögliche Werte) unidirektional mit 250.000 bits pro Sekunde an 512 mögliche Adressen (Kanäle). Für einige Geräte (z.B. für glatte Fahrten großer Moving-Head-Scheinwerfer) ist diese Auflösung zu gering; sie erwarten 16-bit-Information auf 2 Kanälen (grob/fein).

Die Übertragung erfolgt bitseriell symmetrisch über eine abgeschirmte Zweidrahtleitung. Bis zu 512 Werte werden nacheinander auf der Leitung übertragen (gemultiplext), daher ist nur ein einziges Steuerkabel erforderlich. Alle angeschlossenen Empfänger haben DMX-In- und DMX-Out-Buchsen und werden in einer Kette verschaltet (Daisy Chain). An jedem Gerät wird eine Adresse eingestellt; nach einer Startmarkierung muss der Empfänger die übermittelten Bytes zählen und diejenigen Werte aus dem Datenstrom herausfiltern, auf die er zu reagieren hat. Eine explizite Adressierung findet also nicht statt. Wenn bei schlechter Signalqualität die Bytes nicht korrekt erkannt werden, der Empfänger sich also verzählt oder falsche Werte erkennt, kann es zu Fehlfunktionen kommen. DMX512 definiert keine Prüfsummen oder sonstige Möglichkeiten der Fehlererkennung, daher ist die Steuerung von potentiell gefährlichem Bühnenequipment (Pyrotechnik, Laser, Bühnenbewegung) nicht zulässig.

Die Zuordnung der Kanalnummern zu Gerätefunktionen ist nicht allgemein festgelegt; die Hersteller sind hier frei, die Funktionen nach Belieben zu ordnen. Meist hören die Empfänger auf mehreren aufeinander folgenden Kanalnummern: an jedem Gerät wird

eine Basisadresse eingestellt, die Leuchten werden dadurch unterscheidbar. Der Anwender muss also dafür sorgen, dass keine Kollisionen auftreten; falsche Adresseinstellung führt sicher zu Fehlern (etwa Farbwechsel statt Kopfbewegung oder Vermischung der Funktionen zweier Leuchten). Dagegen ist es ohne weiteres möglich, gleiche Funktionen mehrerer Leuchten auf die gleichen Kanäle zu legen. Der Leuchtenhersteller bestimmt auch die Bedeutung der DMX-Werte, etwa die Zuordnung DMX-Wert zu Lichtleistung (Dimmerkennlinie) oder DMX-Wert zu Filterradstellung. PC-gestützte DMX-Programme verfügen über Bibliotheken mit den Kanal- und Wertzuordnungen der gängigen Leuchtenhersteller, um dem Bediener für jeden Kanal die geeignete Bedienungsmethode zu bieten: Dimmer, Filter, Farbwechsler, Stroboskope, Scanner, kopfbewegte Scheinwerfer (Moving Head), Nebelmaschinen oder Konfettiwerfer erfordern jeweils angepasste Bedienkonzepte.

### 3. Verkablung

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Verkablung in einer Kette. Kabelverzweigungen sind mit Splitttern möglich. Um Reflexionen am Kabelende zu vermeiden, muss jeder DMX-Strang terminiert, d.h. mit einem Abschlusswiderstand in der Größe der nominellen Kabelimpedanz versehen werden. Dieser Widerstand ( $120\Omega$ , 0,25W) kann in die DMX-Out-Buchse des letzten Gerätes in der Kette gesteckt werden; es gibt aber auch Geräte mit schaltbarer oder automatisch zuschaltender Terminierung.

Die Übertragung erfolgt über ein oder zwei verdrehte und geschirmte Aderpaare. Mit geeigneten Kabeln lassen sich Leitungslängen von etwa 600m erreichen. Maximal 32 Empfänger können an einer Leitung hören, zur Ansteuerung von mehr Empfängern oder für längere Strecken muss das Signal durch Repeater aufgefrischt werden. Gut geeignet ist Digital-Audiokabel nach AES/EBU-Spezifikation; für feste Verkablung sollte man geschirmtes CAT5-Netzwerkkabel verlegen, auch Twinax-Kabel ist geeignet. Dagegen sollte Mikrofonkabel jedenfalls für längere Strecken nicht verwendet werden, die zu hohe Kapazität und fehlende Verdrehung macht es für diesen Frequenzbereich ungeeignet.

CAT5-Kabel kann auch gebraucht werden, um mehrere DMX-Universen (Gesamtheit aller Geräte an einem DMX-Strang, also in einem Adressraum) vom Pult zu Verteilern zu leiten, von welchen aus die normale Verkablung weiterführt (noch nicht standardisiert, proprietäre Protokolle).

Als Steckverbinder findet man an vielen Geräten noch 3-polige XLR-Stecker, manchmal auch Jack (TRS); nach der neueren Norm sind aber nur noch 5-polige XLR-Stecker zugelassen. Damit soll eine Verwechslung von Licht- und Mikrofonkabeln verhindert werden, da die 48V Phantomspannung an Mikrofoneingängen DMX-Empfänger zerstören könnte. Im Gegensatz zur Audiotechnik ist bei DMX der Ausgang weiblich, der Eingang männlich.

Masse liegt auf Pin 1, diese soll nicht mit dem Steckergehäuse (und daher dem Pultgehäuse, Leuchtengehäuse,..) verbunden werden, damit Potentialschwankungen der Schutzerdung keine Auswirkung auf die Datenübertragung haben. Pin 2 trägt Data1-, Pin 3 Data1+ (also gegenüber Audiokabeln vertauscht). Einige Hersteller (Martin-Geräte mit dreipoligem Stecker vor Baujahr 2000) arbeiten mit vertauschter Polarität; hier sind Adapterstecker notwendig.

Pin 4 (Data2-) und Pin 5 (Data2+) bieten einen zweiten DMX-Kanal zur Steuerung eines zweiten Universums oder als Rück- oder Servicekanal. Versorgungsspannung auf dem zweiten Adernpaar, wie bei einigen Firmen praktiziert, kann zu Schäden bei anderen Geräten führen. Vorsicht: um die Möglichkeiten des 2. Links zu nutzen, müssen nicht nur die Stecker 5-polig sein, sondern auch die Kabel. Auch müssen alle Geräte im Strang den 2. Link durchschleifen.

DMX512 gilt als robust: meistens funktioniert der Aufbau auch mit schlechtem Kabel

(Mikrofonkabel, sogar Multicores), ohne Buserminierung,.. Sporadisch auftretende Fehler sind dann allerdings schwierig zu finden.

#### 4. Kontroller und andere Geräte

Das spezielle Datenformat und die Geschwindigkeit von DMX überfordern die Standardschnittstellen (etwa eines PC): ein eigener Mikrocontroller muss die Datenwerte sammeln, nach Adressen ordnen und ausgeben. Ein DMX-Link kann bis zu 512 Geräteattribute steuern; müssen mehr Funktionen gesteuert werden, verkabelt man mehrere unabhängige DMX-Universen. Als DMX-Kontroller verwendet man Lichtsteuerpulte mit einem oder mehreren DMX-Ausgängen, PC-Interfaces (PCI-Steckkarten, USB-Geräte, PCMCIA-Karten), über Ethernet gesteuerte Kontroller, MIDI-gesteuerte Kontroller, Kontroller mit drahtloser Ansteuerung. Geeignete Software kann die Fähigkeiten eines Pults erweitern oder das Pult ersetzen.

DMX-Repeater ermöglichen eine Verlängerung des Stranges, Splitter eine Aufteilung. Merger führen die gesendeten Werte aus mehreren Kontrollern auf einen Strang, so dass unterschiedliche Kontroller für unterschiedliche Geräte eingesetzt werden können. Mixer ermöglichen darüber hinaus die Ansteuerung der selben DMX-Kanäle durch verschiedene Quellen und entscheiden dabei, ob der höchste, kleinste, mittlere Wert weitergeleitet wird.

DMX-Konverter wandeln DMX-Signale zu analogen Werten oder umgekehrt, Protokollkonverter wandeln DMX von oder zu anderen Protokollen.

DMX-Tester ermöglichen die Überprüfung der Anlage; es sind handliche Geräte, die in den DMX-Strang eingeschleift werden und die übermittelten Werte auf den einzelnen Kanälen anzeigen.

#### 5. Datenübertragung

DMX-512 wurde für die Übertragung auf langen Leitungen in Umgebungen mit hohen Störpegeln entwickelt. Es basiert auf RS-485 (über 10Mbit/s auf 1200m Leitungslänge), nutzt aber dessen Multimasterfähigkeit nicht; d.h. es gibt nur einen Paketsender auf der Leitung.

Die Übertragung erfolgt symmetrisch: der Datenstrom (Data+) und seine Inversion (Data-) werden auf zwei Leitungen übertragen, die gemeinsame Abschirmung dient als Referenz. Die Potentialdifferenz zwischen den beiden Datenleitungen trägt die Information: ist Data+ positiv gegen Data-, liegt eine 1 („Mark“) vor, im umgekehrten Fall eine 0 („Break“). Da sich eingestreute Störungen auf beide Leiter gleich auswirken, beeinflussen sie die Differenzspannung nicht. Der Sender muss differentielle Signale von 1.5V bis 5V liefern, der Empfänger eine Eingangsempfindlichkeit von  $\pm 200\text{mV}$  über den gesamten Gleichtaktbereich (Spannung zwischen Datenleitungen und Masse) von -7..+12V bieten.

Die Norm sieht keine galvanische Trennung der Geräte vor, dies ist jedoch bei den oft weit getrennten Geräten, die zudem häufig von getrennten Versorgungsnetzen gespeist werden, wünschenswert.

Das Signal auf der Leitung ist im Ruhezustand 1. Die Übertragung eines neuen Datenpakets (RESET) wird durch ein mindestens  $88\mu\text{s}$  langes 0-Signal angekündigt, auf das ein mindestens  $8\mu\text{s}$  langes 1-Signal (MAB, Mark-after-Break) folgt. In der ursprünglichen Spezifikation waren nur  $4\mu\text{s}$  vorgesehen, daher ist es möglich, dass alte Controller nur dieses kurze MAB senden, die Empfänger dieses aber nicht korrekt auswerten. Das RESET setzt die Bytezähler der angeschlossenen Empfänger auf Null und unterbricht eine eventuell noch laufende Übertragung.

Jedes übertragene Byte wird von einem Startbit (0) und zwei Stopbits (1) eingerahmt ( $8N2$ ), die Bitzeit beträgt  $4\mu\text{s} \pm 2\%$ ; ein Wort wird also in  $44\mu\text{s}$  übertragen. Die Zeit

zwischen den Datenbytes und zwischen den DMX-Paketen ist nicht festgelegt; im Interesse einer fehlerfreien Übertragung sollte die Zeit zwischen den Datenbytes möglichst kurz sein. Erfolgt während mehr als 1s keine Übertragung, dürfen die Geräte von einem Busfehler ausgehen und darauf reagieren; wie sie dies tun, ist nicht vorgeschrieben.

Das erste Datenbyte überträgt einen Startcode. Bei älteren Anlagen war dieser stets 0 („Dimmersteuerung“); neuere Anlagen können durch andere Startcodes besondere Übertragungen in den folgenden Daten (etwa 16-bit-Werte, Dimmerkennlinien,..) signalisieren. Vorsicht: alte Geräte könnten dieses nicht oder falsch verstehen. Dimmer,.. sollten alle Pakete mit von 0 abweichendem Startcode ignorieren und ihre eingestellten Werte beibehalten.

Auf das Startbyte folgen die bis zu 512 Datenbytes in aufsteigender Ordnung. Die Zeit zwischen den Paketen kann bis zu 1s betragen, die Übertragung erfolgt also nicht synchron. Es müssen nicht alle 512 Bytes übertragen werden: ein RESET signalisiert immer den Beginn eines neuen Datenpakets. Zwei aufeinander folgende Pakete sollen aber mindestens 1196 $\mu$ s (von RESET zu RESET) getrennt sein, dies entspricht 24 übertragenen Kanälen. Werden alle 512 Werte übertragen, dauert das Paket mindestens 22668 $\mu$ s, die Refreshrate beträgt dann 44.1Hz. Ist eine bessere Zeitauflösung für wenige Datenkanäle erforderlich, kann man dazu alle Geräte auf niedrige DMX-Adressen legen. Es kann allerdings vorkommen, dass Empfänger immer ein vollständiges Paket mit 512 Bytes erwarten und sonst nicht korrekt funktionieren.

## 6. DMX-512A und andere Protokolle

Die Firma Pulsar hatte mit PMX ein anderes Protokoll für eigene Geräte entwickelt. PMX ist langsamer (9600 bit/s), kann dafür aber die normale serielle Schnittstelle des PC benutzen. Adressen (128 Seiten à 120 Kanäle) werden explizit vor den Daten übermittelt, 14-bit-Werte sind möglich.

DMX512-A soll zur vorherigen Norm kompatibel bleiben, aber einige Dinge erweitern oder präzisieren. Etliche Erweiterungen werden noch diskutiert.

Die RESET-Zeit soll jetzt länger als 88 $\mu$ s sein, nach 1025ms Inaktivität wird ein Übertragungsausfall angenommen, die Reaktion des Empfängers hierauf wird aber nicht festgelegt.

5-polige XLR-Steckverbinder werden Pflicht, auch auf dem zweiten Adernpaar darf nur RS-485-Pegel anliegen. Spezielle Kabeltypen werden nicht vorgeschrieben. Die Verwendung des zweiten Adernpaares als Rückkanal wird angestrebt, aber noch nicht festgeschrieben. Galvanische Trennung durch optische Isolierung auf Empfängerseite wird empfohlen, aber nicht vorgeschrieben. Auch ein Überspannungsschutz an den Eingängen bleibt optional.

Von 0 abweichende Startcodes sollen definiert werden; dabei sollen einige Codes fest vorgegeben, andere reserviert, andere frei verfügbar bleiben. Es gibt Ansätze, hierüber die DMX-Übertragung zu sichern, d.h. Prüfsummen nach einem separaten Startcode zu übermitteln.

SIP (System Information Packet) kann Informationen wie Text, Anzahl der gesendeten DMX-Pakete,.. zum Monitoring übertragen. Eineindeutige Geräteidentifizier sollen eine Identifikation aller Geräte im Netz ermöglichen.

RDM (Remote Device Management) wurde 2006 definiert und fand schnell Verbreitung. Es setzt auf DMX512-A auf (gleiche Verkablung, gleiches Timing), ermöglicht aber Rückmeldungen an die Steuerung im Halbduplexbetrieb, d.h. über ein einziges Aderpaar. Da dieses die eigentliche Lichtsteuerung stören oder verlangsamen könnte, werden während der Show nur DMX-Pakete mit Startcode 0 gesendet, beim Setup aber RDM-Pakete mit anderen Startcodes, die z.B. die Geräte auffordern, sich mit ihrem UID (Unique Identifier) beim Pult anzumelden oder Statusinformationen an den Controller zu senden.

Repater und Splitter im DMX-Strang müssen für die bidirektionale Übertragung geeignet sein.

7. Weblinks zu benutzten und weiterführende Texten:

<http://www.dmx512-online.com/index.html>

<http://en.wikipedia.org/wiki/DMX512-A>

[http://de.wikipedia.org/wiki/DMX \(Lichttechnik\)](http://de.wikipedia.org/wiki/DMX_(Lichttechnik))

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

**AN-979: The Practical Limits of RS-485**

<http://www.hbernstaedt.de>

<http://www.theater-technisch-lab.nl/dmxdu.htm>