

Joachim Schwarz

# Deterministische und synchronisierte Übertragung von Audiodaten über Ethernet

November 1998

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1	Synchrone Datenübertragung . . . . .	3
1.2	Asynchrone Datenübertragung . . . . .	3
1.3	Isochrone Datenübertragung . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Funktionsweise</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Komponenten</b>	<b>6</b>
3.1	CAT5 Kabel . . . . .	6
3.2	Glasfaserkabel . . . . .	6
3.3	Data Terminal Equipment (DTE) . . . . .	7
3.4	Hubs . . . . .	7
3.5	Crossover Kabel . . . . .	7
3.6	Medienkonverter . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Allgemeine Richtlinien</b>	<b>7</b>
4.1	Geschaltete Netzwerke . . . . .	7
4.2	Gemeinsame Netzwerke . . . . .	8
4.3	Distanzen . . . . .	8
4.4	CAT5 Kabel (100BASE-TX) . . . . .	8
4.5	Multimode Faser (100BASE-FX) . . . . .	8
4.6	Netzwerkdurchmesser . . . . .	8
4.7	Laufzeit (Propagation Time) . . . . .	9
4.8	Systemkapazität . . . . .	9
4.9	Systemkosten . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>9</b>

## 1 Einleitung

Die digitale Vernetzungs- und Übertragungstechnik hat in den vergangenen Jahren zusehends an Bedeutung gewonnen. Man kann zwar nicht sagen, daß die zugehörigen Produkte wie die Pilze aus dem Boden schossen, trotzdem tummeln sich inzwischen Hersteller mit mehr oder weniger großem Erfolg auf dem Weltmarkt und buhlen um die Gunst der immer zahlreicher werdenden Kunden. Am Anfang gehörten vor allen Dingen Funkhäuser zum Kreis der erlauchten Anwender, die mit ihren hohen Ansprüchen, die Standards für die digitale Übertragung hoch schraubten. Nun, wenn die Techniker und Beschaffer einer Sendeanstalt Maßstäbe setzen, dann hat dies eine gute und eine weniger gute Seite:

- Die Qualität und Leistungsfähigkeit der Systeme, bezüglich Wandler, Übertragungsqualität und -geschwindigkeit, Distanzen und Anzahl der möglichen Kanäle, respektive der Bandbreite des Systems ist ausgesprochen hochklassig.
- Die Kehrseite der Medaille läßt sich mit einem einzigen Wort beschreiben: teuer!

Hochklassig und teuer kombinieren sich so wunderbar miteinander wie „Reich und Schön“ und ähnliches. Wie es bei der Kombination von hochklassig mit zuverlässig oder servicefreundlich aussieht, steht allerdings auf einem anderen Blatt. Und was, wenn der Anbieter sich übernommen hat? Oder im Rausch des Erfolges das Unternehmen verkauft wird, unter gleichzeitigem teilweisen Verlust der Entwicklungskapazitäten weil sich die Motoren hinter der Entwicklung mit „verkauft“ fühlen? Wir wollen nun nicht den Teufel an die Wand malen. Trotzdem ist natürlich der Gedanke ausgesprochen verlockend, bestehende Netzwerktechnologie einzusetzen, welche industriell gefertigt auch wirklich industriellen Anforderungen entspricht, und deren Komponenten in einer Preisregion liegen, die zu keinerlei Diskussion Anlaß geben. Die Hauptrolle bei diesen Überlegungen spielte immer wieder Ethernet. Man findet es überall, denn es gibt kaum Anwendungen in Bürohäusern, Universitäten oder industrielle Anwender in Forschung und Produktion, die es nicht einsetzen. Weltweit gibt es zur Zeit übrigens etwa 50 Millionen Knoten. Daher gibt es eine Vielzahl von Anbietern, hohe Redundanz, leichte Austauschbarkeit, Service an jeder Ecke und Preise, die jeder proprietären Lösung Hohn sprechen. Es gibt nur eines nicht: eine deterministische Übertragung.

Und damit war Ethernet, obwohl sei Jahrzehnten bewährt und immer weiter-entwickelt, fürs erste aus dem Rennen. Denn Audiodaten haben keine Zeit zu verlieren. Schlimmer noch wäre ein Versatz zwischen einzelnen Kanälen – ein Effekt, der bei Ethernet nicht auszuschließen ist. Wie schade, denn eben erst war der Funke übergesprungen und die Anzahl der Anwendungen exponentiell gestiegen. Welche Messe, oder Stadthalle, welches Theater und welcher Vergnügungspark hätte nicht gerne die Vorteile einer digitale Audiostrecke genutzt? Für die elitären Lösungen, so schön und leistungsfähig sie auch sein mögen, reicht leider das Budget nicht. Hinzu kommt ein häufig vergessener Umstand: die bestehenden Systeme werden meist speziell auf die Anwendung zugeschnitten und erfordern daher beim Hersteller ein ausgefeiltes Dokumentationssystem, um bei Ausfällen richtig reagieren zu können. Und das verursacht organisatorische, sowie finanzielle Sonderaufwendungen, besonders bei erfolgreichen Systemen. Den Nachteilen zum Trotz setzte man sich bei der amerikanischen Firma PEAK Audio

mit den Möglichkeiten des Ethernet noch einmal auseinander. Entscheidend für die Verwendbarkeit der weit verbreiteten und äußerst zuverlässigen Komponenten erschien eine Modifikation des bestehenden Übertragungsprotokolls.

Ethernet ist, wie eingangs erwähnt, zur Übertragung von sporadischen, eng in ihrer Bandbreite begrenzten Computerdaten entwickelt worden. Die im Ethernetprotokoll verwendeten statistischen Prozesse, die zur Vermeidung einer Netzwerksättigung eingesetzt werden, verhindern eine deterministische Übermittlung zeitgebundener Daten. Nachdem entsprechende Änderungen an der Transport und Netzwerkebene des OSI (Open System Interconnection) 7-Ebenen Modells vorgenommen wurden, ließ sich dieser Nachteil allerdings vollständig umgehen. Diese Änderungen hatten nicht nur eine deterministische Übertragung zur Folge, sondern vergrößerten die mögliche Bandbreite erheblich, die normalerweise bei höchstens vierzig Prozent liegt (rd. 40 MBit bei einem FastEthernet 100 MBit System). Ein 100 MBit CobraNet Netzwerk kann 64 Kanäle (20 Bit/48 kHz), die Wordclock und RS-xxx Steuerdaten auf einem einzigen CAT-5 Kabel weiterleiten. Bevor wir nun zu einer Beschreibung der zur Zeit erhältlichen Systemkomponenten schreiten, soll im folgenden noch einmal die Grundstruktur der Cobra-Net Technologie beschrieben werden: CobraNet vereint die positiven Eigenschaften synchroner und asynchroner Ansätze und wird hiermit zu einer echten Alternative. Es handelt sich um ein echtes isochrones Übertragungsprotokoll. Noch einmal kurz zur Erinnerung, wir unterscheiden drei verschiedene Datenströme – asynchrone, synchrone und isochrone – die sich in ihren möglichen Applikationen erheblich voneinander unterscheiden:

### 1.1 Synchrone Datenübertragung

- Eine gemeinsame Synchronisationsquelle
- Gemeinsame Sync- und Datenübermittlung
- Keine Datenpuffer (Zwischenspeicher) nötig
- Konstante Übertragungsrate (siehe auch TDM)
- „Drahtähnliche“ Funktion
- Ideal für Audio- und Videoanwendungen
- Hoher Preis

### 1.2 Asynchrone Datenübertragung

- Keine gemeinsame Synchronisation nötig (je nach Anwendung)
- Relativ große Datenpuffer
- Variable Übertragungsraten
- Ideal zur Übertragung großer Datenmengen
- Zeitkritisch durch unvorhersehbare Delayzeiten

### 1.3 Isochrone Datenübertragung

- Gemeinsamer Sync möglich
- Geringer Datenpuffer, abhängig von der gewünschten Leistung
- Variables, aber vorhersagbare Laufzeiten
- Gut geeignet zur Übertragung von Audio- und Videodaten

## 2 Funktionsweise

CobraNet ist ein System, welches den Transport von isochronen Datenströmen, so wie sie Audio- und Videoanwendungen fordern, über 10 und 100 MBit Ethernet Datennetze erlaubt, wobei einer Erweiterung auf z.B. 1 GBit jederzeit möglich ist. Es kann zusätzlich und problemlos asynchrone Steuerdaten transportieren, ohne dabei einen Konflikt mit den isochronen Daten hervorzurufen. Es verwendet ein sogenanntes „Reservation Protocol“, sowie eine erweiterte Media Access Control (Zugriffssteuerung), um dadurch die isochrone Datenübertragung auf Ethernet zu erreichen. Durch geeignete Maßnahmen gelingt es CobraNet, die nicht deterministische Natur von Ethernet zu überwinden. Die nachfolgenden Graphiken erklären die Grundzüge von CobraNet auf recht anschauliche und leicht verständliche Art und Weise:

![[Isochrone Sendeknoten]][image-1998-01] ![[Isochrone Empfangsknoten]][image-1998-02] ![[Prinzipielle Aufteilung der Übertragungsbandbreite durch CobraNet]][image-1998-03]

Die zusätzlich übertragbaren Steuerdaten können sowohl isochroner, wie auch asynchroner Art sein, was den diversen Bestrebungen über eine Vereinheitlichung der Steuerprotokolle, wie auch einer herstellerübergreifenden Kompatibilität entgegenkommt. Hierdurch ergeben sich weitere Vorteile für das sogenannte Network Management, sowie bei der Überwachung der Knoten und einzelnen Teilnehmer. Die Eigenschaften dieses neuen Netzwerkprotokolls stellen sich wie folgt dar:

- Fehlerlose Übertragung des System-Syncs mit niedrigem Jitter und minimierter Verschiebung
- Deterministische Übertragung trotz vorhandener Kompatibilität mit dem standardisierten CSMA/CD Verfahren
- Konvertierung von isochronen in synchrone Datenströme und umgekehrt
- Geregelt asynchrone Datenübertragung

Soweit stellt sich CobraNet in den schillerndsten Farben dar. Wie immer gibt es natürlich auch hier einen Pferdefuß, der sofort zu Tage tritt, wenn man die folgende Frage stellt: Was passiert mit den Audiodaten, wenn man im gleichen Netzwerk z.B. zusätzlich eine große Datei an einen Laserdrucker überträgt? Antwort: die Audioübertragung wird unterbrochen. CobraNet ist primär dazu gedacht, Audio- und Videodaten zu übertragen. Die zusätzliche Möglichkeit, geregelt(!) asynchrone Datenströme mit aufzunehmen, verleitet sofort zur Annahme, normale Datenübertragungen, wie man sie aus dem Computernetz kennt, ebenfalls an die verschiedenen Teilnehmer senden zu können. Wenn Sie sich aber Bild 3 noch einmal genau ansehen, dann werden sie feststellen, daß die Datenpäckchen für unregelmäßigen Ethernetverkehr sehr klein ausfallen. Werden diese Päckchen zu groß, schränkt man also die zur

Audioübertragung verfügbare Bandbreite ein, so kommt es zu unerwünschten Aussetzern. Gleichzeitig ist also eine Nutzung des Netzes für normalen Datenverkehr und Audio-/Videoübertragung nicht möglich. Wenden wir uns nun der Netzwerktopologie und den zugehörigen Komponenten zu. Zum Einsatz kommen handelsübliche Geräte und Kabel, wie im folgenden beschrieben.

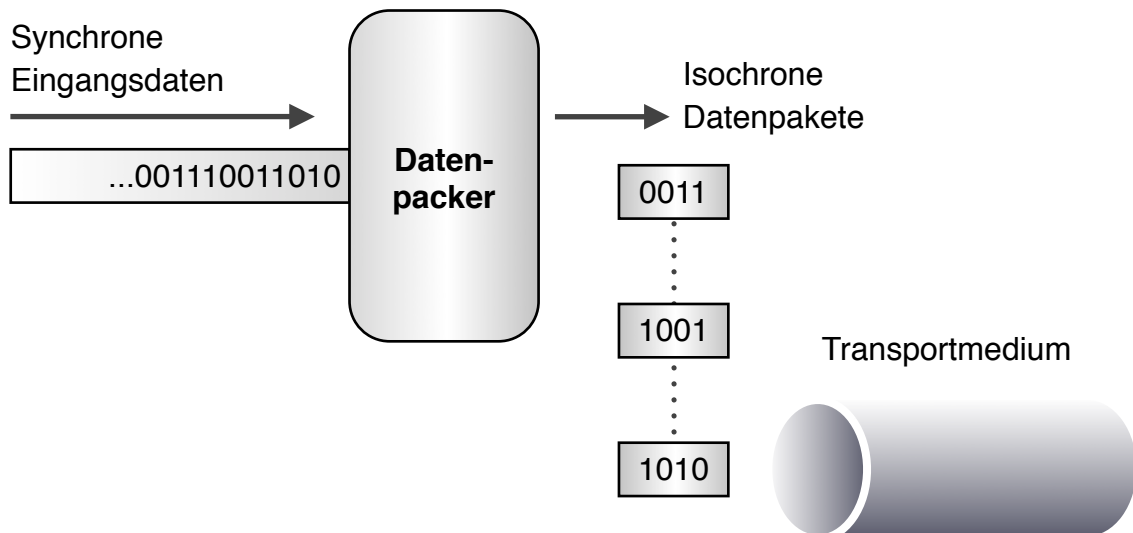


Abbildung 1: image-1998-01

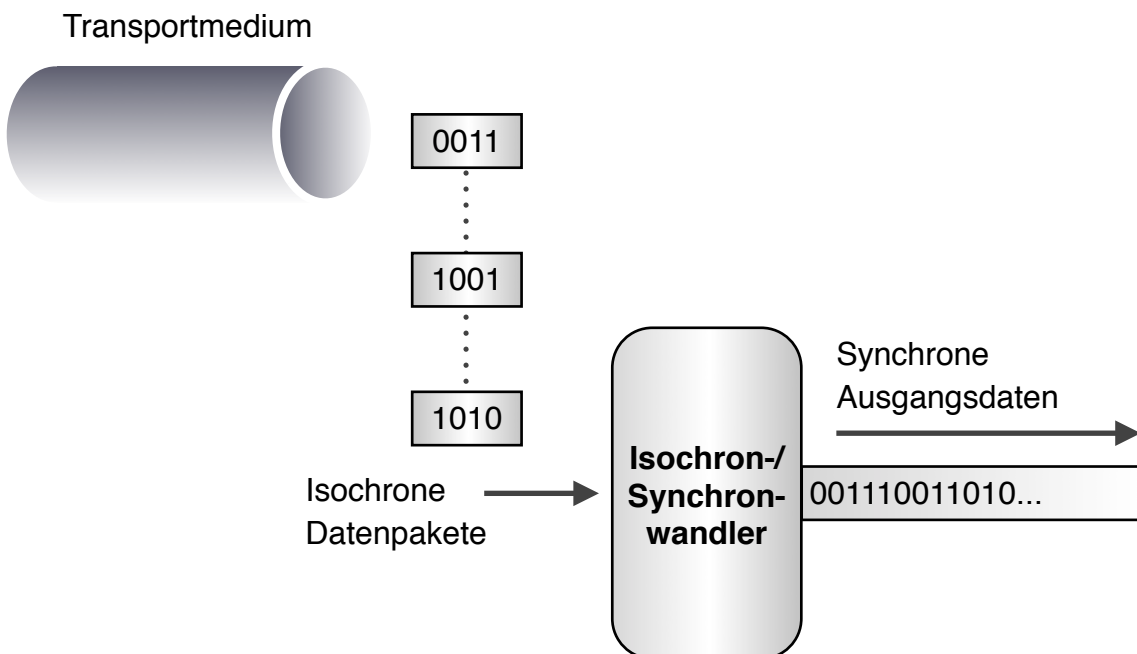


Abbildung 2: image-1998-02

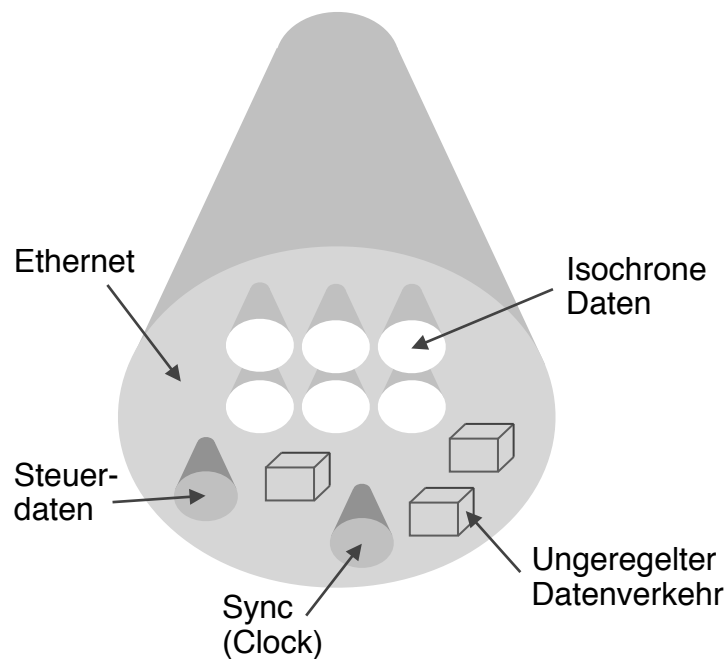


Abbildung 3: image-1998-03

### 3 Komponenten

#### 3.1 CAT5 Kabel

Hierbei handelt es sich um handelsübliches UTP (Unshielded Twisted Pair) Datenkabel. Es unterscheidet sich im großen und ganzen nicht von handelsüblichem Telefonkabel, wobei die Drähte fester verdreht sind. Ein CAT5 Kabel enthält 4 verdrehte Kabelpaare, von denen zwei für Ethernet benutzt werden; ein Paar zur Übertragung und ein Paar zum Empfang. Die Kosten liegen bei etwa DM 0,50 pro Meter.

#### 3.2 Glasfaserkabel

Ohne lange darauf einzugehen, läßt sich sagen, daß die Verlegung von Glasfaserkabeln mittlerweile zum Repertoire vieler Elektriker gehört, da die Technologie ihren elitären Charakter eingebüßt hat. Es befinden sich zur Zeit vor allen Dingen zwei Kabeltypen im Einsatz: Multimode und Mono- (Single-) mode Kabel. Multimodefasern erlauben eine Distanz von rund zwei Kilometern, was den Anforderungen der meisten Audionetze bereits Rechnung trägt. Größere Entfernungen können mit Monomodefasern überbrückt werden. Ethernet-Netzwerke laufen im Duplexbetrieb. Daher sind immer zwei Fasern notwendig. Die LWL-Kabel gibt es in den unterschiedlichsten Ausführungen mit zwei bis hinauf zu zweitausend Fasern, von Einfacharmierung bis hin zu nagerfesten und stahlfaserverstärkten Installationskabeln.

### 3.3 Data Terminal Equipment (DTE)

Hierbei handelt es sich um die Quellen und Senken im Netzwerk. Bei CobraNet sind dies die angeschlossenen Audiogeräte.

### 3.4 Hubs

Im allgemeinen auch als Konzentratoren oder Repeater bekannt, lassen sich an Hubs zahlreiche DTEs anschließen, die dann passiv miteinander verkoppelt werden. Die empfangenen Daten werden hierbei regeneriert und dann wieder an alle Teilnehmer versandt. Ein Ethernet-Netzwerk wird normalerweise in einer Sterntopologie aufgebaut, wobei der Hub im Zentrum angebracht wird. Handelsübliche Hubs sind mit 8 bis 24 Anschlüssen, wobei bei manchen Modellen die Hubs miteinander verbunden werden können. Diese Verbindung von mehreren Hubs verhält sich dann elektronisch wie ein einzelner mit einer größeren Anzahl von Teilnehmern. Man unterscheidet normalerweise Klasse I und Klasse II Hubs. Die Klasse II ist dabei erheblich leistungsfähiger und wird mittlerweile fast ausschließlich ausgeliefert.

### 3.5 Crossover Kabel

Ein Crossover Kabel kann benutzt werden, um zwei DTEs direkt, also ohne Hub miteinander zu verbinden. Zu diesem Zweck sind die Sende- und Empfangsdrähte im Kabel vertauscht.

### 3.6 Medienkonverter

Bei einem Medienkonverter handelt es sich im Grunde genommen um einen Hub mit nur zwei Ports unterschiedlicher Formate. Im allgemeinen finden Medienkonverter mit CAT5 (RJ-45), Multimode und Monomodeanschlüssen Verwendung.

## 4 Allgemeine Richtlinien

### 4.1 Geschaltete Netzwerke

Die aktuelle Version von CobraNet schließt die Verwendung von Ethernet Swit-ches bis auf wenige Ausnahmen aus.

## 4.2 Gemeinsame Netzwerke

Die deterministische Struktur eines CobraNet Netzwerkes schließt die gleich-zeitige Verwendung von normalen Ethernetkomponenten, wie Computern oder Druckern im Audionetzwerk aus. Datentransfers von und zu solchen Geräten kann zu Aussetzern führen. Die besondere Struktur des CobraNet Protokolls nützt über 90 Prozent der möglichen Bandbreite (gegenüber max. 40 Prozent bei normalem Ethernet) und läßt daher wenig Raum für unregelmäßige Ethernetanwendungen.

## 4.3 Distanzen

Die überbrückbaren Distanzen hängen von den jeweils verwendeten Kabeln und Medien ab. Wenn die maximal möglichen Abstände zwischen Teilnehmern überschritten werden, kann es zu Verbindungsproblemen kommen. Diese Probleme äußern sich normalerweise durch Aussetzer und Fehleranzeigen.

## 4.4 CAT5 Kabel (100BASE-TX)

CAT5 Kabellängen sind auf Grund von Dämpfung und Streuverlusten auf eine Länge von rund 100 m begrenzt. Eine CAT5 Kabel mit mehr als 100 m Länge unterliegt in den meisten Fällen einer überhöhten elektromagnetischen Unverträglichkeit.

## 4.5 Multimode Faser (100BASE-FX)

Die maximale Länge einer Multimodefaser beträgt zwei Kilometer, da aufgrund der häufigen Totalreflexionen und dadurch bedingter Laufzeitunterschiede unscharfe Signalfanken entstehen. Monomodefasern Für die Übertragung von Ethernet auf Monomodefasern gibt es keinen offiziellen Standard. Einige der proprietären System sind in der Lage, Distanzen von bis zu 100 Kilometern überwinden.

## 4.6 Netzwerkdurchmesser

Der sogenannte Netzwerkdurchmesser definiert sich als der maximal mögliche Abstand zwischen zwei DTEs. Um Kollisionen zuverlässig feststellen zu können, kann ein Ethernet Netzwerk nur über eine bestimmte Maximaldistanz verfügen. Um Kollisionen zuverlässig zu vermeiden kann ein CobraNet-Netzwerk ebenfalls nur eine bestimmte Maximaldistanz.



#### 4.7 Laufzeit (Propagation Time)

Die Kabeldistanzen in einem Ethernet (CobraNet) Netzwerk sind deshalb von Bedeutung, weil sie die Laufzeiten der Datenpakete zwischen den einzelnen Teilnehmern wesentlich beeinflussen. Diese Datenpakete müssen in einem einwandfrei funktionierenden System innerhalb bestimmter Laufzeiten bei den anderen Teilnehmern eintreffen. Um die Laufzeit durch das Netz bestimmen zu können, müssen nicht nur die Laufzeiten durch die Kabel/Fasern, sondern auch die Verzögerungen innerhalb der einzelnen elektronischen Komponenten, wie Hubs, Medienkonverter, usw. beachtet werden. Die Laufzeit in einem Ethernet/CobraNet Netzwerk bemißt sich in sogenannten Bitperioden, die sich wie folgt berechnen: 1 Bitperiode =  $1/100\text{MHz} = 10$  Nanosekunden. CobraNet ist zur Zeit in der Lage eine maximale Verzögerung von 2560 Bitperioden zu verarbeiten.

#### 4.8 Systemkapazität

CobraNet 1.0 unterstützt die Verteilung von 64 Kanälen mit 20 Bit und 48 kHz Samplefrequenz. Bei geringerer Auflösung, also z.B. 16 Bit, können auch mehr Kanäle übertragen werden. Die Kapazität von 64 Kanälen begrenzt die Anzahl der möglichen DTEs als Systemeingänge (z.B. RAVE 161). Die Anzahl der möglichen Ausspieler bleibt hiervon unberührt. Hierdurch liegen Systeme mit 64 Eingängen und 1028 Ausgängen im Bereich des möglichen.

#### 4.9 Systemkosten

Die Kosten für ein CobraNet Netzwerk sind natürlich von der Netzwerkgröße und den verwendeten Medien (CAT5 oder LWL) abhängig. Die große Anzahl von Kanälen auf einem Netz reduziert die Kosten gegenüber herkömmlichen Systemen dramatisch, teilweise über fünfzig Prozent.

### 5 Zusammenfassung

Mit CobraNet steht uns eine neue Technologie zur Verfügung, welche man getrost als „Digitale Netze für Jedermann“ bezeichnen könnte. Die Tatsache, daß man sich ausschließlich auf die Verwendung bewährter, austauschbarer und jederzeit beschaffbarer Komponenten beschränkte, führt zu einer erweiterten Anwendbarkeit und vor allen Dingen Betriebssicherheit und Redundanz. Wie groß und edel die Herausforderung für den einzelnen Techniker auch sein mag, es ist mit Sicherheit nicht notwendig, für jedes Produkt das Rad neu zu erfinden. Digitale Netze stehen nun jeder kleineren Anwendung zu Verfügung, die sich nicht auf einen millionenschweren Etat stützen kann. Und dabei bleiben auch die berechtigten und zukunftssträchtigen Anforderungen, wie Transport von Steuerdaten, Video oder erweiterte Netzwerke durch Switched Ethernet nicht auf der Strecke. Durch seine Universalität und allgegenwärtige Präsenz dient Ethernet dabei auch als Einstieg und Verbindung zu fortschrittlichen Technologien wie Gigabit Ethernet oder ATM, wobei sich lokale Netze (LAN) problemlos in sog. Metropolitan Networks wie auch die Backbones entsprechender WANs einbinden lassen. Durch die Erfahrung der

Entwicklungsfirma PEAK Audio, auch unterschiedliche Spieler der Audioindustrie an einen Tisch und unter eine Decke zu bringen, dürfen wir auf einen neuen und bezahlbaren Standard hoffen.