

# Rund und schnell

## Koaxialkabel – das breitbandige Übertragungsmedium für multimediale Hausnetze

Ronald Sechting, Eberhard Gauger<sup>1</sup>

**Trotz einer Vielzahl alternativer Lösungsansätze für Multimediahausnetze hat das Koaxialkabel bis heute seine Vormachtstellung für die Realisierung von Hausnetzen behaupten können. Hier eine Beschreibung der Physik und Technik der Koaxialkabel.**

**W**urde diese Art von Netzen in der Vergangenheit vor allem für das Verteilen von Fernseh- und Hörfunksignalen von der terrestrischen Antenne, der Satellitenantenne oder dem Kabelanschluss zum Teilnehmergerät verwendet, sind seit ein paar Jahren interaktive Dienste wie Internetzugang und Kabeltelefonie als zusätzliche Nutzer des koaxialen Hausnetzes ins Spiel gebracht worden. Dadurch ergeben sich zusätzliche Anforderungen an das koaxiale Hausnetz. Der Elektroinstallateur findet hierzu verschiedene Kabeltypen auf dem Markt.

Ausgehend von einer Beschreibung der wesentlichen Grundlagen der Koaxialkabeltechnik und dem Stand der Normung, beschreiben wir hier die unterschiedlichen Anwendungen heutiger Multimediahausnetze und deren Anforderungen an Koaxialkabel am Beispiel des Triax-Hirschmann-Produktprogramms.

### Grundlagen

Wie das Wort sagt, bestehen Koaxialkabel aus einem Innenleiter und einem koaxial dazu angeordneten, röhrenförmigen Außenleiter, auch Schirm genannt. Koaxialkabel sind Wellenleiter, die eine elektrische Leistung von einer Quelle zu einem Verbraucher übertragen sollen, wobei im Idealfall der Innenwiderstand der Quelle und der Widerstand des Ver-

<sup>1</sup>Ronald Sechting, Produktmanager, Eberhard Gauger, freier Mitarbeiter der Triax-Hirschmann Multimedia GmbH, Neckartenzlingen

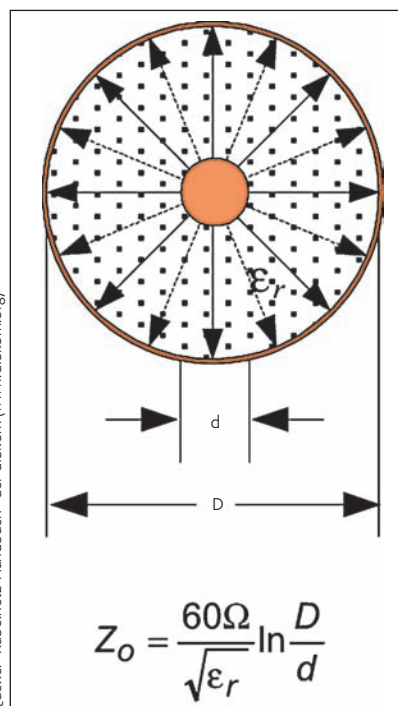


**Das Koaxialkabel: für Multimediaanwendungen und für TV noch immer der Klassiker**

brauchers dem Wellenwiderstand  $Z_0$  der Koaxialleitung entsprechen, womit in diesem System vollständige Anpassung herrscht.

Der Wellenwiderstand eines Koaxialkabels hängt ab

- vom Verhältnis zwischen Außenleiterdurchmesser zum Innenleiterdurchmesser sowie
- vom verwendeten Dielektrikum (Bild 1).



**Bild 1: Geometrie und Wellenwiderstand**

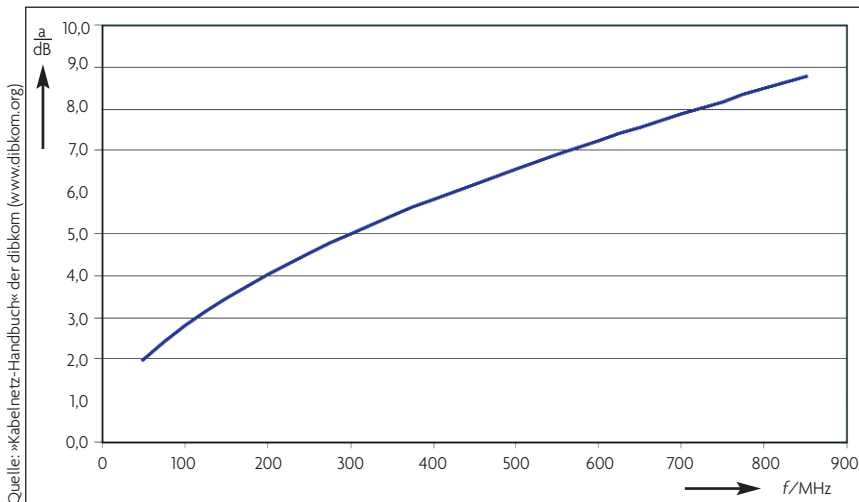
Für Kabelnetze verwendet man Kabel mit einem Wellenwiderstand  $Z_0 = 75 \Omega$ . Grundsätzlich gilt, dass mit steigendem Durchmesser des Kabels die Leitungsdämpfung abnimmt.

Als weitere Grundeigenschaft von Koaxialkabeln gilt, dass sich deren Dämpfung nach einem Gesetz verhält, was man wie folgt ausdrücken kann:

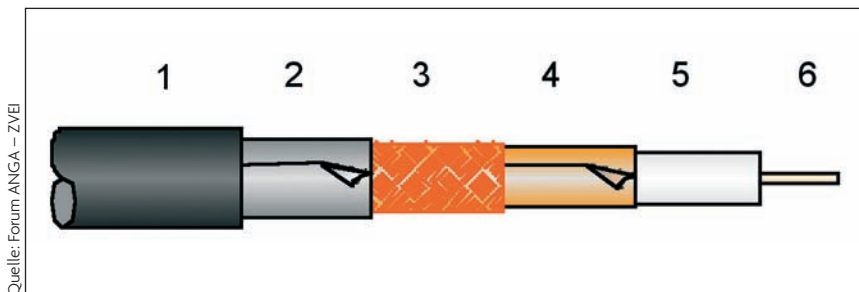
$$\text{Dämpfungsverhältnis } \frac{a_1}{a_2} \approx \sqrt{\frac{f_1}{f_2}}$$

Das Verhältnis der Kabeldämpfungen  $a_1$  und  $a_2$  bei zwei Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$  ist ungefähr gleich der Wurzel aus dem Verhältnis der beiden Frequenzen. Die Dämpfung bei 800 MHz ist dann z.B. ungefähr doppelt so groß wie bei 200 MHz (Bild 2).

Eine wichtige Eigenschaft der Koaxialkabel ist deren Schirmwirkung. Bestimmt wird dieser Parameter durch die Leitfähigkeit der verwendeten Materialien und die Art der Ausführung. Um die erforderlichen Schirmwerte für Kabelanlagen sicherzustellen, werden allgemein Kombinationen von Geflecht und Folien verwendet. Die Schirmwirkung wird bei Frequenzen oberhalb von 30 MHz als längenunabhängiges Schirmungsmaß (oder Schirmdämpfung) in dB, unterhalb von 30 MHz als längenabhängiger Kopplungswiderstand in  $m\Omega/m$  angegeben. Der Grund für diese Unterscheidung liegt in dem unterschiedlichen physi-



**Bild 2: Prinzipieller Dämpfungsverlauf von Koaxialkabeln**



**Bild 3: Aufbau eines typischen Installationskoaxialkabels, siehe auch dazu Tabelle 1**

Aufbau eines Koax-Kabels		
Nr.	Bezeichnung / Funktion	Material
1	<b>Außenmantel</b> zum Schutz vor mechanischer Beschädigung und Feuchte / Wasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PE, weiß und schwarz (mit UV-Schutz)</li> <li>• PVC (mit Beimischungen und Weichmachern)</li> <li>• LSZH-Materialmischungen (flammwidrig, halogenfrei)</li> </ul>
2	<b>Polyesterfolie</b> zum leichteren Entfernen des Außenmantels oder <b>Kunststoff-Metall-Folienverbund</b> zur zusätzlichen Schirmwirkung bei Triple-Shielded-Kabeln	PET z. B. AL/PET
3	<b>Geflecht aus Metalldrähten</b> , wesentlicher Teil des HF-Außenleiters und Teil der Schirmwirkung; Leiter für Fernspeise-Gleich- und Wechselstrom	CuSn
4	<b>Metallfolie</b> oder <b>Kunststoff-Metall-Folienverbund</b> , Teil der Schirmwirkung; kann mit dem Dielektrikum verklebt sein	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PET-Folie als Trägermaterial, ein- oder beidseitig z. B. mit Kupferfolie laminiert</li> <li>• Metallfolie aus Kupfer</li> <li>• PET-Folie als Trägermaterial, mit Metallfolie laminiert und Copolymerkleber</li> </ul>
5	<b>Dielektrikum</b> , zur Abstandsbildung zwischen Innen- und Außenleiter und zur Bestimmung des Wellenwiderstands	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zell-PE, physikalisch geschäumt</li> <li>• Zell-PE, chemisch geschäumt</li> <li>• Voll-PE</li> </ul>
6	<b>Innenleiter</b> , HF-Innenleiter; Leiter für Fernspeise-Gleich- und Wechselstrom	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kupfer (Weichkupfer)</li> <li>• Stahl (kupferbeschichtet)</li> </ul>

**Tabelle 1: Aufbau eines Koaxialkabels, die Nummern in Spalte 1 beziehen sich auf Bild 3**

### Schirmungsklassen, Grenzwerte

Schirmungsklasse	Kopplungswiderstand [ $m\Omega/m$ ] und Schirmungsmaß [dB] für die Frequenzbereiche			
	5 ... 30 MHz	30 ... 1000 MHz	1 GHz ... 2 GHz	2 GHz ... 3 GHz
A	$\leq 5 m\Omega/m$	$\geq 85$ dB	$\geq 75$ dB	$\geq 65$ dB
A+	$\leq 2,5 m\Omega/m$	$\geq 95$ dB	$\geq 85$ dB	$\geq 75$ dB
A++	$\leq 0,9 m\Omega/m$	$\geq 105$ dB	( $\geq 95$ dB)	( $\geq 85$ dB)
B	$\leq 15 m\Omega/m$	$\geq 75$ dB	$\geq 65$ dB	$\geq 55$ dB
C	$\leq 50 m\Omega/m$	$\geq 75$ dB	$\geq 65$ dB	$\geq 55$ dB

Tabelle 2: Grenzwerte der Schirmungsklassen nach EN 50117

### Schirmungsklassen, Normen

Norm	Anwendung / Frequenzbereich	Schirmungsklassen				
		A	A+	A++	B	C
EN 50117-2-1: 2005	Hausinstallation, innen 5 – 1000 MHz	X	(X)	---	X	(X)
EN 50117-2-2: 2004	Hausinstallation, außen 5 – 1000 MHz	X	(X)	---	X	(X)
EN 50117-2-3: 2004	Verteil- und Liniennetze 5 – 1000 MHz	---	(X)	X	---	---
EN 50117-2-4: 2004	Hausinstallation, innen 5 – 3000 MHz	X	(X)	---	X	(X)
EN 50117-2-5: 2004	Hausinstallation, außen 5 – 3000 MHz	X	(X)	---	X	(X)

Tabelle 3: Schirmungsklassen in den Normen EN 50117-2-x

kalischen Verhalten von Koaxialkabeln in den angegebenen Frequenzbereichen.

#### Verlegen der Kabel

Bei der Verarbeitung und Verlegung von Koaxialkabeln ist unbedingt darauf zu achten, dass die Kabel nicht unzulässig eng gebogen werden, da sich die Eigenschaften, je nach Aus-

führung der Konstruktion, erheblich verschlechtern können. Hersteller geben daher den minimalen Biegeradius in den Datenblättern an. Als Faustformel gilt, dass der minimale Biegeradius das Zehnfache des Außendurchmessers für mehrmalige und das Fünffache des Außendurchmessers für eine einmalige Beanspruchung nicht unterschreiten soll.

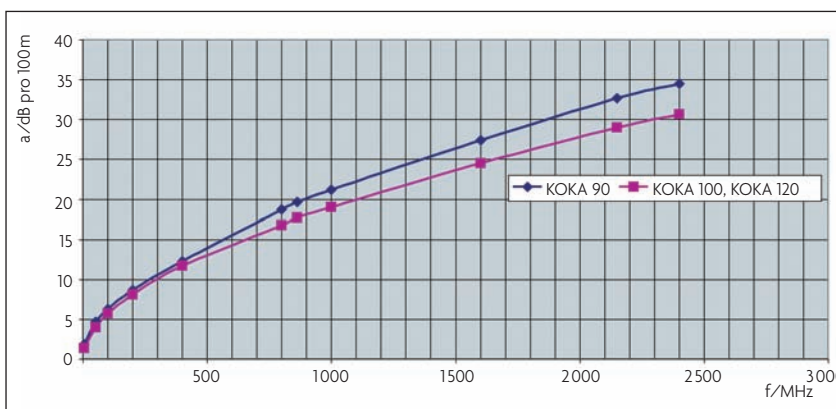


Bild 4: Dämpfungsverlauf a/dB der Koaxialkabel Koka 90, 100 und 120

### Typischer Aufbau und Materialien eines Installationskoaxialkabels

Koaxialkabel mit Folien-Geflecht-Aufbau haben sich in der Hausinstallation als Standardkabel durchgesetzt, da sie den Anforderungen an Flexibilität und Schirmung am besten gerecht werden. Bild 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Koaxialkabels.

Neben Kupfer als Material für den Innenleiter, das Geflecht und die Metallbeschichtung von Abschirmfolien kommt, vor allem bei Verwendung von Komponenten amerikanischer Hersteller, häufig auch Aluminium zum Einsatz.

### Normen für Koaxialkabel für Multimediakabelanlagen

Unter dem Titel »Koaxialkabel – Rahmenspezifikationen für Kabel für Kabelverteilanlagen« wurde bei der europäischen Normenorganisation CENELEC die Normenreihe EN 50117-2-x erarbeitet, die derzeit vier Teile zu Hausinstallationskabeln und einen Teil für Verteil- und Liniennetze umfasst. Beispielhaft werden aus diesen Normen die dort festgelegten Schirmungsklassen mit den maximal zulässigen Werten des Kopplungswiderstands und den minimalen Werten des Schirmungsmaßes vorgestellt (Tabelle 2). Diese sollen dazu beitragen, die Qualität von Multimediakabelnetzen für die verschiedenen Anwendungen und über einen langen Zeitraum sicherzustellen.

Die Werte in Klammern bei der Schirmungsklasse A++ sind in den Normen nicht festgelegt, sondern wurden aus Herstellerunterlagen übernommen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die fünf Rahmenspezifikationen der Reihe EN 50117-2-x und ordnet die verschiedenen Schirmungsklassen entsprechend zu. Wie man sieht, sind der Gruppe der Koaxialkabel für Verteil- und Liniennetze nur die beiden höchstwertigen Klassen A+ und A++ zugeordnet, während die typischen Hausinstallationskabel in den Schirmungsklassen C bis A+ definiert sind.

Mit X sind die Schirmungsklassen markiert, die in den seit 2004/2005 veröffentlichten Normen enthalten sind, während die zusätzlichen Markierungen (X) sich auf Ergänzungen beziehen, die sich derzeit im Abstimmprozess der europäischen Normung befinden. Über die zur Einführung anstehende Schirmungsklasse C, die sich von Klasse B nur durch deutlich schlechtere Werte

des Kopplungswiderstands im Frequenzbereich 5 ... 30 MHz unterscheidet, wird in Fachkreisen sehr kontrovers diskutiert. Hier wird der Markt entscheiden müssen, ob diese weitere Differenzierung notwendig ist und angenommen wird.

## Allgemeine Anforderungen an Koaxialkabel für Multimedia-Kabelnetze

Koaxialkabel für Multimediakabelanlagen sollten, allgemein gesprochen, folgende Eigenschaften haben:

1. dämpfungsarm, um große Kabellängen ohne Zusatzverstärkung überbrücken zu können;
2. hohe Schirmwirkung (zwei-, drei- oder vierfach geschirmt), um die EMV-Anforderungen für Kabelnetze (Störabstrahlung und Störfestigkeit gegen Einstrahlung) gemäß EN 50083-8 zu erfüllen;
3. preiswert, da Kabel immer »in Mengen« gebraucht werden;
4. alterungsbeständig, um für die Kabelnetze eine lange Funktionsdauer ohne merkliche Verschlechterung der elektrischen Daten zu gewährleisten;
5. flexibel zum problemlosen Verlegen in Rohren und Unterputzdosen (Biegeradien);
6. montagefreundlich beim Abisolieren und Anbringen von Steckverbindern;
7. witterungsbeständig bei Montage im Außenbereich, z.B. als Antennenanschlusskabel.

Diese Anforderungen können dann weiter konkretisiert werden, wenn im Einzelfall die Anwendungen und Dienste bekannt sind, die über das Hausnetz übertragen werden sollen, also wenn insbesondere feststeht, über welche der folgenden Möglichkeiten

- terrestrischer Empfang (insbesondere DVB-T)
  - Satellitenempfang (analog, digital)
  - Kabelanschluss (analog, digital)
- die TV- und Hörfunksignale bezogen und, so weit möglich, zusätzliche interaktive Kommunikationsdienste abgewickelt werden sollen.

## Verschiedene Koaxialtypen für die jeweilige Verwendung

Auf Basis der oben aufgestellten allgemeinen Anforderungen an Koaxialkabel für Multimediakabelnetze und der neuesten Ausgaben der Normenreihe EN 50117 hat die Triax-Hirschmann Multimedia GmbH ihr Programm an

Koaxialkabeln für die Hausinstallation komplett überarbeitet und zur Anga-Cable 2007 in den Markt eingeführt. Das Programm besteht aus den drei elektrischen Grundtypen Koka 90, Koka 100 und Koka 120, die, über verschiedene Materialien des Außenmantels, eine Reihe weiterer Varianten bilden, um damit Anforderungen unterschiedlicher Montageorte gerecht zu werden (Tabelle 4). Alle drei Typen sind im Frequenzbereich 5 MHz bis 2400 MHz spezifiziert und zeigen den Dämpfungsverlauf gemäß Bild 4. Die typischen Kenngrößen dieses Kabelprogramms sind in Tabelle 3 übersichtlich zusammengestellt.

### Der Universaltyp

Dieses Kabel eignet sich für die Realisierung hochwertiger koaxialer Hausnetze in »normaler« EMV-Umgebung. Es zeichnet sich durch eine niedrige Dämpfung im Kabelbereich bis 862 MHz wie auch im SAT-ZF-Bereich bis 2,4 GHz, durch eine hohe Rückflussdämpfung und gute Schirmwirkung aus. Verantwortlich dafür ist u. a. der hohe Einsatz an Kupfer für den Innenleiter ( $\varnothing$  1,13 mm) und für das Geflecht, das aus verzinnnten Kupferdrähten besteht und eine Bedeckung von ca. 80 % realisiert. Als Universaltyp steht Koka 100 mit weißem PVC-Außenmantel für die Innenraummontage und mit schwarzem PE-Mantel (UV- und feuchtigkeitsbeständig) für die Außen- und Erdverlegung zur Verfügung. Eine FRNC-Variante (Flame Retardant Non Corrosive) mit halogenfreiem, flammwidrigem, rauchhemmendem und UV-geschütztem Mantel ist für den Einsatz in Räumen mit speziellen Anforderungen an den Brandschutz (z.B. in öffentlichen Gebäuden) bestimmt.

### Der Premiumtyp

Durch das Einbringen einer zweiten Abschirmfolie, die mit dem äußeren Mantel verklebt ist, erreicht man bei dem Koaxialkabel Koka 120 eine ausgezeichnete Schirmwirkung, die im Bereich 30 MHz bis 2400 MHz sogar deutlich die Anforderungen der Klasse A++ der Normenreihe EN 50117 übertrifft. Es ist daher insbesondere für rückkanalfähige Hausnetze in Gegenden zu empfehlen, in denen mit verstärkten Einstrahlproblemen durch Funkdienste im Frequenzbereich unterhalb von 30 MHz (z.B. durch starke Kurzwellensender) zu rechnen ist. Aber

**Koaxialkabelprogramm**

	Koka 90	Koka 100	Koka 120
<b>Innenleiter</b>	Ø 1,02 mm, Stahl / Kupfer ummantelt	Ø 1,13 mm, Kupfer blank	Ø 1,13 mm, Kupfer blank
<b>Dielektrikum</b>	Ø 4,8 mm, PE, phys. geschäumt	Ø 4,8 mm, PE, phys. geschäumt	Ø 4,8 mm, PE, phys. geschäumt
<b>Schirmaufbau:</b>			
<b>1. Folie</b>	Al / PET / Al; Dicke 15 / 20 / 15 µm	Al / PET / COPOLYMER; Dicke 25 / 12 / 25 µm; verklebt	Al / PET / COPOLYMER; Dicke 25 / 12 / 25 µm; verklebt
<b>Geflecht</b>	CuSn, Ø 0,12 mm x 64; 45% Überdeckung	CuSn, 24 x 7 x 0,10 mm x 55 Pitch; 80% Überdeckung	CuSn, 16 x 7 x 0,10 mm x 55 Pitch; 60% Überdeckung
<b>2. Folie</b>	–	–	Al / PET; Dicke 9 / 12 µm; verklebt
<b>Trennfolie</b>	PET, transparent	PET, transparent	–
<b>Mantel</b>	Ø 6,8 mm, PVC, weiß	Ø 6,8 mm, PVC, weiß / PE schwarz / FRNC grau	Ø 6,8 mm, PVC, weiß / FRNC grau
<b>Min. Biegeradius</b>	35 / 70 mm	35 / 70 mm	35 / 70 mm
<b>Kopplungswiderstand</b>	≤ 8 mΩ/m (5 ... 30 MHz); Klasse B	≤ 3 mΩ/m (5 ... 30 MHz); Klasse A	≤ 4 mΩ/m (5 ... 30 MHz); Klasse A
<b>Schirmdämpfung</b>	≥ 85 dB bis 1000 MHz; Klasse A	≥ 95 dB bis 2400 MHz; Klasse A+	≥ 110 dB bis 2400 MHz; besser als Klasse A++
<b>Rückflussdämpfung</b>	25 ... 20 dB (5 ... 2150 MHz)	35 ... 24 dB (5 ... 2400 MHz)	35 ... 24 dB (5 ... 2400 MHz)
<b>Gleichstromwiderstand</b>	130 Ω/km	30 Ω/km	33 Ω/km
<b>Strombelastung</b>	≤ 3 A (DC)	≤ 8 A (DC)	≤ 8 A (DC)

**Tabelle 4: Kenngrößen eines Koaxialkabelprogramms**

auch in SAT-ZF-Verteilnetzen wird durch das gute Schirmungsmaß von > 110 dB bis 2400 MHz ein wirksamer Schutz vor GSM-Störungen erreicht. Wie beim Koka 100 bieten Innenleiter aus Kupfer und verzinnertes Geflecht einen guten Schutz vor Korrosionsschäden. Auch in den anderen Kenngrößen gleicht das HiQ-Kabel Koka 120 im Wesentlichen dem Universaltyp Koka 100.

**Die einfache Lösung**

Da in vielen Fällen der Kabelpreis von ganz entscheidender Bedeutung ist, während bei anderen technischen Parametern Abstriche möglich sind, wurde das Koaxialkabel Koka 90 als einfache Variante zum Universaltyp Koka 100 realisiert. Es bietet sich hauptsächlich für die Realisierung reiner Verteilnetze bis 862 MHz an und verfügt dort über eine ausreichend niedrige Dämpfung

(+2 dB/100m im Vergleich zu Koka 100) und ein der Klasse A entsprechendes Schirmungsmaß. Bei der Realisierung von SAT-ZF-Netzen oder von Verbindungsleitungen zwischen LNB und SAT-Receiver ist der Einsatz von Koka 90 bis zu Längen von ca. 30m ebenfalls möglich. Darüber hinaus muss aber, auf Grund des deutlich höheren Gleichstromwiderstands des Kabels (Stahl statt Kupfer für den Innenleiter) der Fernspeisung des LNB und der Schaltspannung 13/18V besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

**Zusammenfassung**

Am Beispiel der beschriebenen Koaxialkabeltypen für Multimediahausnetze konnte gezeigt werden, welchen technischen Stand die Koaxialkabeltechnologie in den letzten Jahren durch die Anwendung neuer Konstruktionen und die Verwendung neuer Materialien und Herstellverfahren erreicht hat. Damit konnten die Anforderungen vor allem im Bereich der Rückkanalübertragung bestens erfüllt werden, und das Koaxialkabel wird weiterhin seinem Anspruch

## ABMAHNWELLE FIRMA SUPERSAT

### Redaktionelle Information:

Im »de«-Heft 8/2007 haben wir auf S. 53 über die Abmahnwelle der Fa. Supersat berichtet (»Vorsicht Falle«). Hierzu hat uns der Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke, ZVEH, eine Information zukommen lassen, in der er den Mitgliedern zur Abgabe einer modifizierten Unterlassungserklärung rät. Wir zitieren hier die Information des ZVEH:

### Weniger Risiko durch Unterschrift

Aufgrund anhaltender Rechtsunsicherheit in der Sache »Abmahnwelle durch Fa. Supersat« empfiehlt der Zentralverband der Deutschen Elektro- und Informationstechnischen Handwerke (ZVEH) den Mitgliedsbetrieben derzeit, eine modifizierte Unterlassungserklärung zu unterschreiben. Dieses Vorgehen sorgt dafür, dass die Unternehmen einer später eventuell drohenden gerichtlichen Auseinandersetzung aus dem Weg gehen. Zum anderen verhindert es, dass Supersat im Falle eines gerichtlichen Entscheides Schadensersatzansprüche geltend machen könnte. Zudem beschneidet die Anerkennung der Unterlassungserklärung die Unternehmen kaum in ihrer Tätigkeiten auf diesem Geschäftsgebiet.

»Wir haben uns zu diesem Schritt entschieden, da im Moment niemand beurteilen kann, wie die Patentfrage durch die Gerichte entschieden wird«, argumentiert *Ingolf Jakobi*, Hauptgeschäftsführer des ZVEH. Die Recherchen des ZVEH haben ergeben, dass derzeit keine Patentnichtigkeitsklage anhängig ist (Stand: 25. April 2007). Die derzeit laufenden Verfahren bei den Gerichten in Mannheim, Karlsruhe und Frankfurt haben aktuell die Fristen für Urteile verlängert, da sie angesichts der undurchsichtigen Lage eine schnelle Klärung nicht herbeiführen können. Wie sich zunehmend herauskristallisiert, sind viele Industrieunternehmen mit der Problematik schon seit Jahren vertraut, haben jedoch nicht adäquat reagiert. Andere Hersteller haben durch hausinterne Regelungen Abhilfe geschaffen.

»Gerade wegen dieser verworrenen juristischen Entwicklung können wir nicht hinnehmen, dass die Probleme allein auf dem Rücken der Mitgliedsbetriebe ausgetragen werden. Durch das Unterschreiben der am 5. 4. 2007 von uns vorgelegten modifizierten Unterlassungserklärung ist zunächst einmal Rechtssicherheit für die Betriebe gewährleistet, so dass die Geschäfte ohne Beeinträchtigung fortgesetzt werden können«, erklärt *Jakobi* das Vorgehen des ZVEH.

gerecht, das breitbandige Übertragungsmedium im teilnehmernahen Bereich zu sein.

Auf einen zweiten Aspekt soll noch einmal ausdrücklich hingewiesen werden, nämlich bei der Auswahl des zu verlegenden Koaxialkabels immer die Zukunftssicherheit der Hausanlage im Auge zu behalten und den Frequenzbereich von 5 MHz bis 3000 MHz bezüglich Dämpfung und Schirmwirkung optimal abzudecken. Dann kann eine terrestrische Empfangs- und Verteilanlage später ohne Änderungen an der Kabelnetzinfrastruktur z.B. auf Satellitenempfang umgestellt oder für den Anschluss an ein interaktives Kabelnetz für Triple-Play-Dienste aufgerüstet werden.