

1.4.1 PowerLine die Technologie

Inhalt:

- 1.4.1.1 PowerLine die Technologie
- 1.4.1.2 Die Kopplung im Layer-I:
- 1.4.1.3 Verbraucher die stören vom PLC-Netz auskoppeln
- 1.4.1.4 Anleitung für die Anordnung von Filtern und Kopplern
- 1.4.1.5 Der MAC Layer-II
- 1.4.1.6 Die Sicherheit (Layer-II einhorchen)
- 1.4.1.8 Elektromagnetische Verträglichkeit
- 1.4.1.9 Fehlersuche in der Praxis

1.4.1.1 PowerLine die Technologie

Vorab einige Eckdaten zum PowerLine mit dem Standard HomePlug: Dieser Standard hat sich soweit für Inhouse Anwendungen etabliert. Der HomePlug Standard hat eine maximale Übertragungskapazität von 14 MBit. Wer welche zertifizierten Produkte auf dem Markt anbietet, kann auf www.homeplus.org nachgesehen werden. Es sind bereits einige Chipsets verfügbar wie z. B. das PowerPack INT5130 von www.intellon.com. Alle HomePlug kompatiblen Geräte können untereinander gemischt werden.



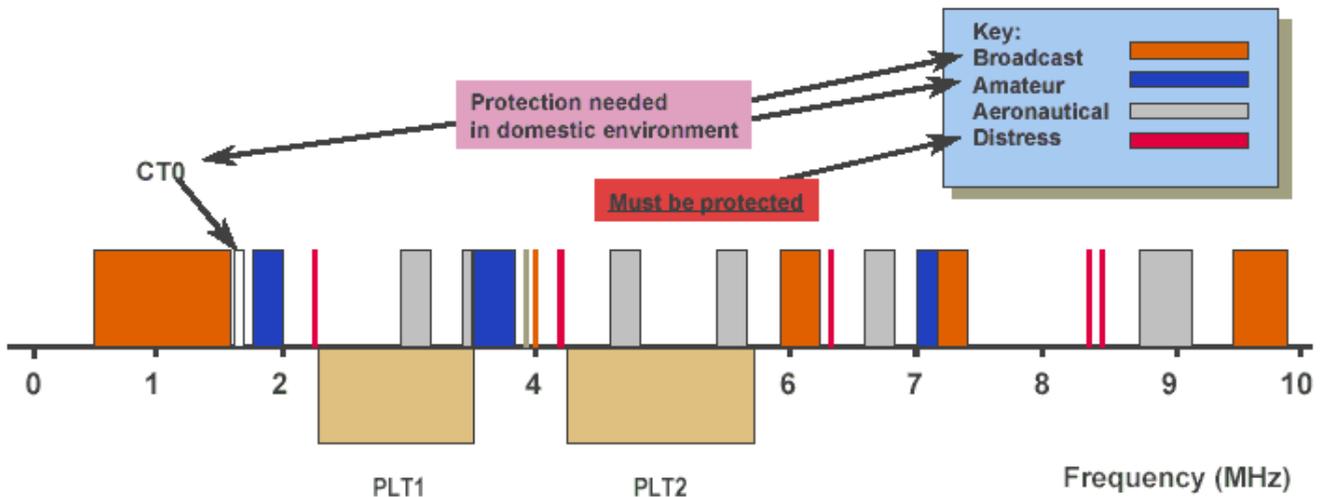
Die PowerLine Modems sind effektiv Modems (Modulator und Demodulator einer Trägerfrequenz) wie beim POTS (Plain old Telefon System) dem analogen Telefonmodem. Oder noch genauer wie bei Breitband Modems für xDSL. Beim PowerLine werden auch einzelne Kanäle mit einer bestimmten Trägerfrequenz verwendet. Mehrere solche Kanäle bilden dann die Breitband Übertragung. Das verwendete Verfahren heisst OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). OFDM ist eine Multiplex-Technik mit mehreren Trägerfrequenzen. D. h. das zur Verfügung stehende breite Frequenzband wird dabei in eine bestimmte Anzahl von Einzelkanälen aufgeteilt. Das Wort Orthogonal besagt, dass die Kanäle (Frequenzbänder) unabhängig voneinander betrieben werden. Treten nun schmalbandige Störungen auf, werden nur die betroffenen Kanäle gestört. Dann werden diese aus der Liste der Kanäle ausgeschlossen. Die zerstörten Daten werden durch Redundanz oder Neuanforderung korrigiert.

Da OFDM die Art der Übertragung im Layer-I beschreibt, ist trotzdem noch eine Modulation notwendig, um die einzelnen Träger der Kanäle zu modulieren. Als Modulation wird hier DBPSK oder DQPSK (differential quadrature phase shift keying) eingesetzt. Bei diesem Verfahren ist die Codierung die Differenz des aktuellen und des letzten Zeichens auf dem selben Kanal. Bei PowerLine wird der Layer-I (die Bit Übertragungsschicht) nur während der Übertragung aktiviert. D. h. jedes PowerLine Modem kann zu einem beliebigen Zeitpunkt mit einer Datenübertragung starten. Alle Modems erhalten alle Daten, leiten aber nur die für diesen Anschluss bestimmte Daten weiter.

Daraus ist ersichtlich, dass es sich um ein Kollisionsnetz handelt wie beim Ethernet CSMA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance protocol.). Aus diesem Grund wurde die maximale Anzahl der PowerLine-Geräte auf einem Kommunikationsnetz auf 7 Stück begrenzt.

Zusätzlich wurde noch ein sogenannter ROBO Modus implementiert, dieser verwendet ausschließlich DBPSK als Modulation. Der ROBO Mode ist überdurchschnittlich robust und wird für die Lastverteilungsdaten (Payload) verwendet. Dieser Modus hat eine sehr genaue Fehlerbehandlung, da die lebensnotwendigen Leitungsdaten übertragen werden. Der ROBO Modus verwendet alle Trägerfrequenzen und es können keine einzelnen Kanäle weggeklammert werden!

Die Übertragungskanäle sind im Frequenzbereich von 4.5 bis 21 MHz untergebracht. Dieses Frequenzband wird auch von einigen Amateurradios mitverwendet. Bei einzelnen dieser Bänder wurde die Sendeleistung der PowerLine Geräte zusätzlich reduziert, um Störungen zu vermeiden. Weiter mussten einige Frequenzbänder für PLC aus Sicherheitsgründen komplett entfernt werden.



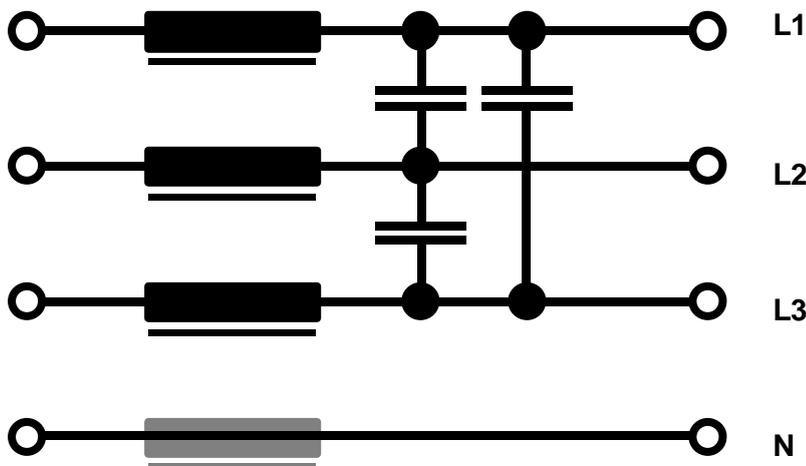
Die brutto Datenrate mit der DQPSK Modulation mit allen Trägern als aktiv beträgt 20 MBit, die davon netto zur Verfügung stehende Bit Rate ist max. 14 MBit.

1.4.1.2 Die Kopplung im Layer-I:

In einem Haus oder einer Wohnung tritt folgendes Problem auf. Ein PLC-Signal das in Phase L1 eingespielen wird und in Phase L2 oder L3 empfangen werden soll, wird durch den Phasenübergang stark gedämpft. Da die Verkoppelung zwischen unterschiedlichen Phasen nur durch das Übersprechen zwischen den Leitungen und durch angeschlossene Drehstromverbraucher (wie z. B. den Küchenherd) gegeben ist, liegen diese zusätzlichen Dämpfungen bei ca 20 dB, in ungünstigen Fällen bei bis zu 40 dB. Die heutigen PLC Systeme haben keine Probleme mit diesen Zusatzdämpfungen, nur die Übertragungskapazität verringert sich! Um dieses Problem zu vermeiden, werden sowohl Phasenkoppler als auch Trennfilter eingesetzt, um dämpfende Teile vom PLC abzutrennen. Durch den Phasen-Koppler werden die drei Phasen des Drehstromnetzes für den PLC-Frequenzbereich niederohmig miteinander verbunden. Die Zusatzdämpfung durch den Phasenübergang entfällt und die Leistungsfähigkeit des PLC-Netzwerkes wird durch den Phasenübergang nicht mehr beeinträchtigt.

L1..3 vom Eletrotableau

Zu den Verbrauchern (Steckdosen)

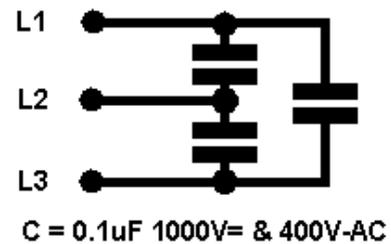


Spulen: 130uH, 10A
Kond.: 470nF, >400V-AC

Spule im Neutralleiter nicht immer erlaubt!

Ein Phasenkoppler ist wie im Bild nebenan aufgebaut. D.h. ein Kondensator von jeder Phase auf jede Phase.

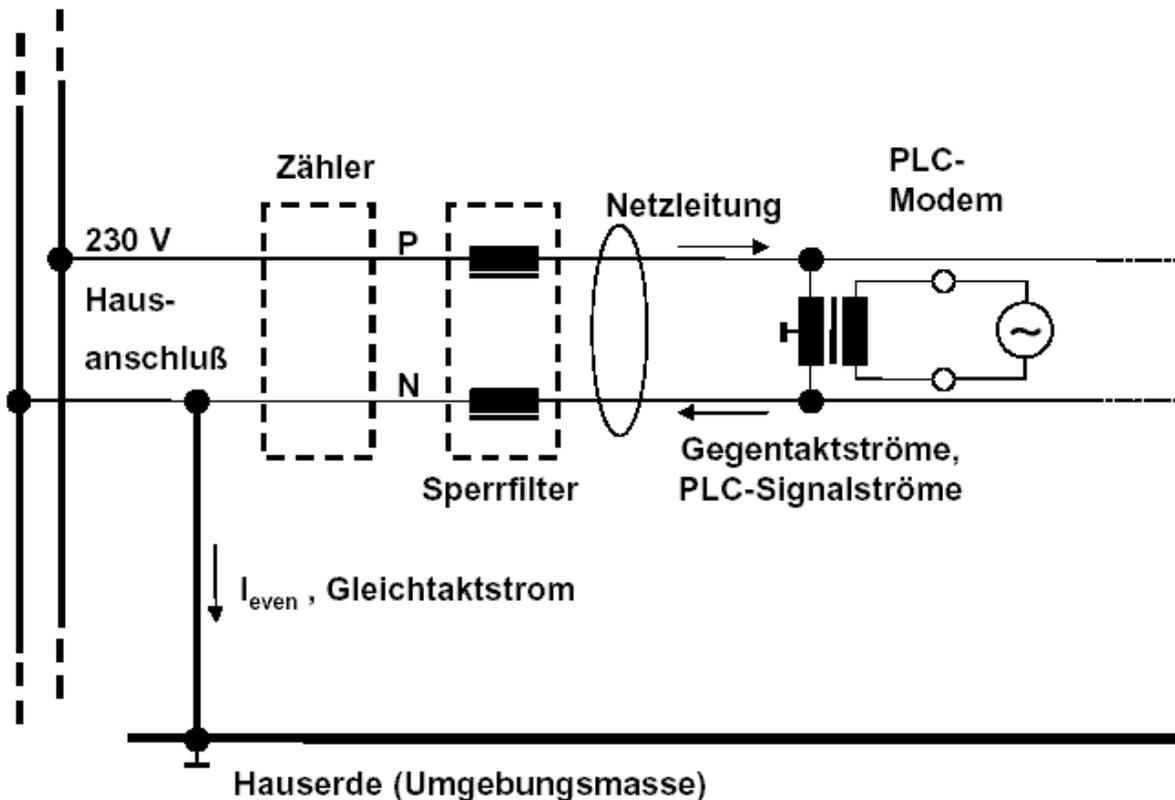
Achtung: Die Installation am Zählerkasten muss durch eine ausgebildete Fachkraft einer Elektroinstallationsfirma erfolgen!



Ein Sperrfilter mit Phasenkoppler im Hausanschlusskasten kann die Leistung des PLC-Netzwerkes stark verbessern. Der Grund liegt darin, dass der Hausanschluss mit allen weiteren Haushalten eine sehr niederohmige Impedanz aufweist. Somit wird ein grosser Anteil der PLC-Sendeleistung aufgenommen.

Wenn zusätzlich nicht für PowerLine benötigte Zweige mit einem Filter entkoppelt werden, so geht in diesen Zweigen keine Leistung mehr verloren und die Leistung kann sich auf dem Pfad der Nutzrichtung entfalten und die Übertragungskapazität erhöhen.

Eine weitere Ursache von erheblichen Störungen stammen aus der Nullung im Hauseingangsverteiler. Dort sind Nulleiter, Schutzleiter und die Hauserdungsanlage (Wasserleitung) verbunden. Bei einem Entkoppelungsfilter kann auch der Nulleiter (nicht Erdleiter!) entkoppelt werden. Durch den Sperrfilter wird diese Nullung und Erdung für den Frequenzbereich des PLC-Modems nicht wirksam.

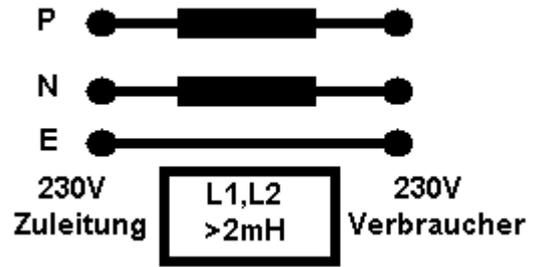


Ein grosses Problem ist die hochfrequente Einkopplung von Störsignalen von anderen PLC Systemen und funktechnischen Anlagen. Diese Störungen treten vor allem ab 5-10 MHz auf und reichen einige 10 m weit! Aus diesem Problem ist mit Dämpfungen und Störungen in der Grössenordnung von 15 bis 30 dB zu rechnen.

Die Dämpfung im Haus oder einer grossen Wohnung mit einer Hauseinführung liegt bei 99 % der Messungen zwischen zwei beliebigen Dosen unter 70 dB. Somit ergeben sich max. 70 dB Dämpfung zwischen den Dosen und 25 dB Störsignale. Das ergibt eine Dämpfung von 95 dB unter dem Sendepiegel. Da die Gesamtdämpfung bis um 100 dB sein darf, ist das kein Problem.

1.4.1.3 Verbraucher die stören vom PLC-Netz auskoppeln

Stellt man durch testen fest, dass ein Verbraucher mit einem kapazitiv entstörten Steckernetzteil zu stark dämpft, so kann dieser Verbraucher nach einem Störfilter betrieben werden.



Die Aussage, dass sich PowerLine für Altbauten aufgrund der elektrischen Leiterführung nicht eignet, wurde durch diverse Feldtests widerlegt.

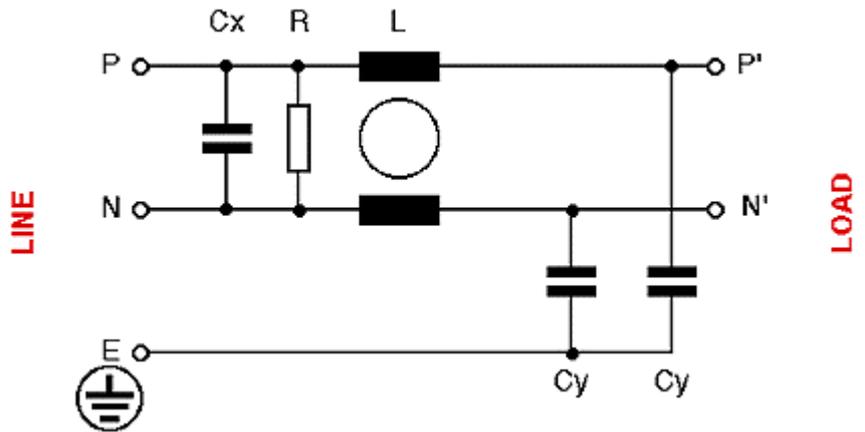
Je länger der Strang vom Elektrokasten bis zur Dose mit dem PowerLine desto mehr Dosen sind auf dem Weg passiert worden. Je mehr Dosen auf dem Pfad desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Gerät mit Entstörfilter direkt in die Dose gesteckt ist.

Entstörfilter sind vorgeschrieben, damit keine Störsignale aus Geräten auf das Stromnetz entweichen können. Dies wird mit L-C Filtern realisiert, die jedoch fast immer auch noch einen Kondensator über den Netzanschluss enthalten. Dies ist natürlich absolutes Gift für PLC Anwendungen. Mit zusätzlichen Filtern oder Verlängerungskabeln kann das Problem eliminiert werden.

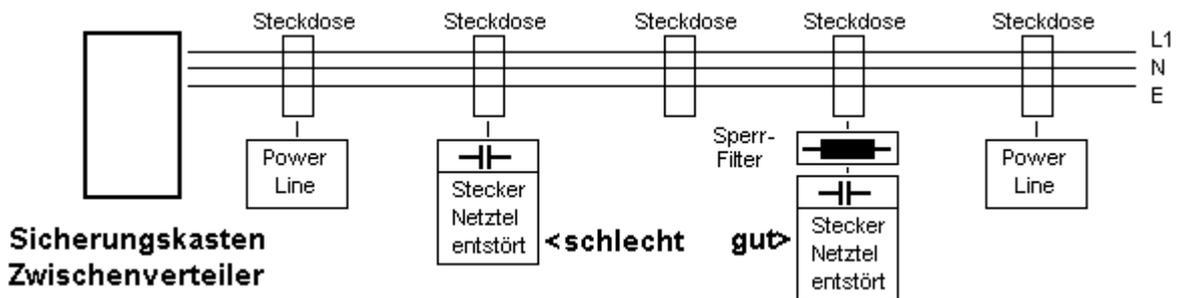
Die Standardfilter sind folgendermassen aufgebaut:

Zu beachten ist, dass eingangs- und ausgangs- Seitig Siebkondensatoren über den spannungsführenden Leitern liegt.

Dies ist jedoch ein Kurzschluss für die hochfrequenten PLC Signale.



PowerLine im Haus:



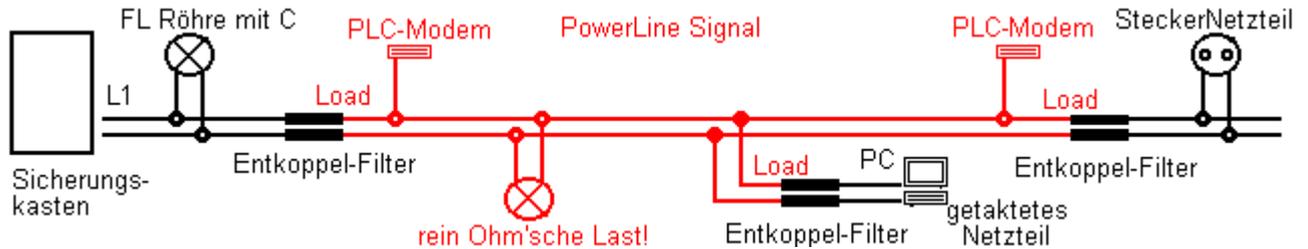
Beim obigen Schema ist es jetzt so, dass das Steckernetzteil des Notebooks einen Kondensator über der Speisung hat. Dies hat einen Kurzschluss für die hohen Frequenzen zur Folge, die für die PLC Technologie notwendig ist.

Wenn jetzt das Steckernetzteil des Notebooks mit einem 3 Meter Verlängerungskabel versehen wird, so ist der Kurzschluss erst nach dem HF-Widerstand X (nicht R) des Kabels. Und die Vernichtung des HF Signals ist um Dekaden geringer. Eine Spule in der Phase und im Null-Leiter ist noch viel besser – konkret ein Sperrfilter oder Entkoppelfilter!

1.4.1.4 Anleitung für die Anordnung von Filtern und Kopplern

Wir haben ja bereits die Übeltäter ausgemacht, die unser PLC Signal stören und vernichten, dies sind klar die Kondensatoren über den spannungsführenden Leitern. Da die meisten getakteten Speisungen der Vorschriften wegen mit Kondensatoren entstört sind müssen Sperrfilter vorgeschaltet werden.

Schema für den optimalen Einsatz einer PLC Verbindung mit entkoppel Filtern:



Zu beachten ist, dass die Seite auf der das PLC Signal ist an allen Filtern auf der Load Seite angeschlossen ist. Dies, da diese Seite keine Kondensatoren enthält. Die Sperrfilter können auch vor jede Dose und jeden Verbraucher der kapazitiv ist vorgeschaltet werden. Die PLC-Modem's sollten möglichst nahe an der Durchleitung (am BUS) platziert sein.

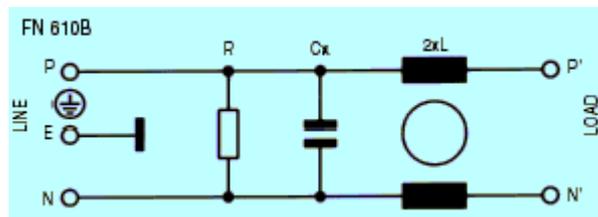
In der Praxis ist die Verkabelung leider oft nicht als BUS aufgebaut, sondern teils auch Sternförmig, ab einer Verteilerdose. Der Entkoppelfilter am Ende des Stranges kann auch weggelassen werden, wenn keine kapazitiven Lasten angeschlossen sind.

Die Entkoppelfilter am Anfang und am Ende der genutzten PLC-Leitung haben auch den Vorteil, dass die PLC Ausbreitung gestoppt wird. Dies verbessert die maximal mögliche Distanz beträchtlich, wenn ungebrauchte Segmente nicht mit PLC Signal-Leistung versehen werden müssen. Auch HF-Reflexionen und Auslöschungen von toten Segmenten bleiben aus und erhöhen die maximal mögliche Bitrate.



L=2x0.45mH
 C=0.033uF
 R=1MΩ
 I_{max}=10A
 U=110/250V-AC
 F=50-60Hz

Die Sperrfilter sind in einem Metallgehäuse untergebracht. Die Erdung des Gehäuses ist unerlässlich! Die Sperrfilter müssen in einem zusätzlichen Gehäuse untergebracht werden. (Im Sicherungskasten, in einem Verteiler oder in einer Dose.)



Funktion	Aufbau	max.	Art.-Nr.:	Preis
Sperrfilter 1-Phase	Metallgehäuse, Steckungen	10A	3002-010	Fr. 55.-
Phasenkoppler 2-Phasen	Für Hutschienen Montage, Schraubklemmen	400V	3002-042	Fr. 55.-
Phasenkoppler 3-Phasen	Für Hutschienen Montage, Schraubklemmen	400V	3002-043	Fr. 55.-
Sperrfilter Haus 3-Phasen	Metallgehäuse, M6 Schraubring	3x63A	3002-063	a.A.

Zu beziehen bei:

SYSTEM-CLINCH GmbH · Morgentalstr. 44 · CH-8355 Aadorf
 Tel.: (++41) 052 / 366 2222 · eMail: Info@Clinch.ch

1.4.1.5 Der MAC Layer-II

Die OFDM HomePlug Frames sind folgendermassen aufgebaut:

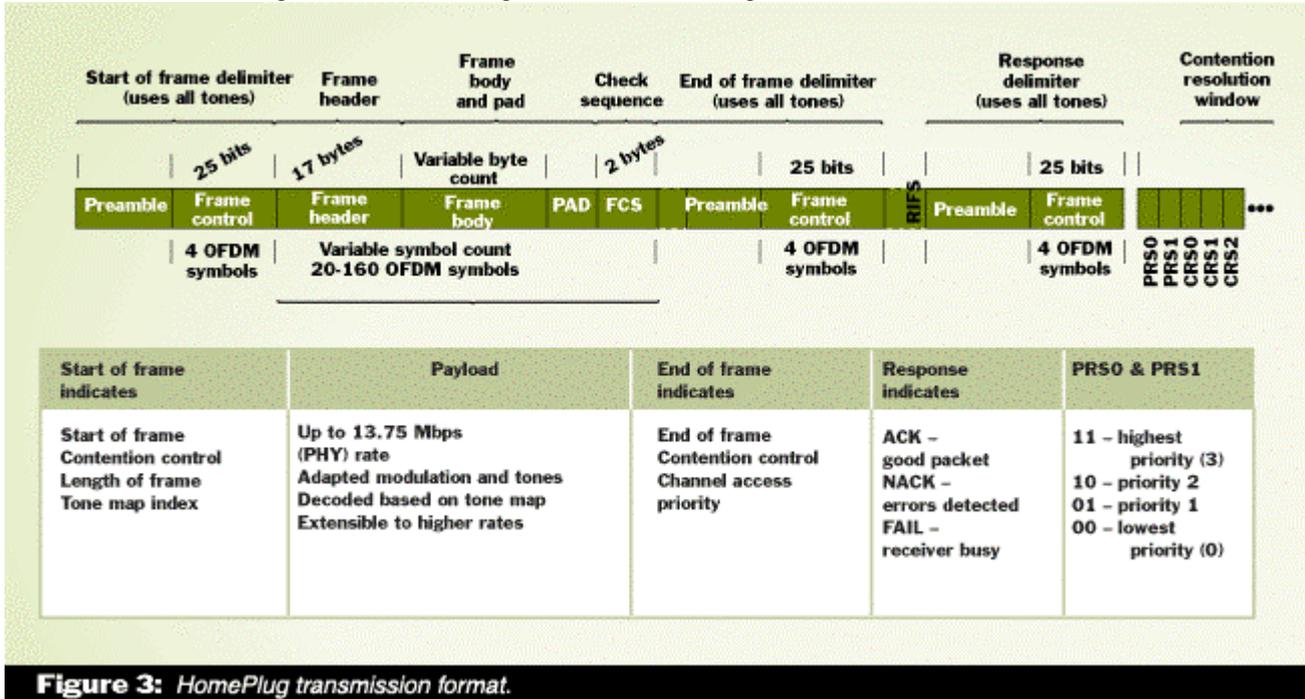


Figure 3: HomePlug transmission format.

Der MAC Layer verwendet den VCS (virtual carrier sense) Mechanismus, um Kollisionen zu vermeiden. Es wird auf dem Kommunikationsnetz nach einem Präambel (Starterkennungsmuster) gesucht. Aus jedem Rahmen (siehe oben) lässt sich die Zugriffskontrolle errechnen. Eine Kollision kann entstehen, wenn ein Netzteilnehmer senden möchte, aber einen Präambel übersehen hat.

Ein Konzeptionsproblem ist, dass der MAC Layer (OFDM kapselt MAC) in den OFDM Frame gekapselt ist, und dieser ist verbindungsorientiert. Dies kann zu Laufzeitproblemen im MAC Layer führen, z. B. wenn Rückbestätigungen fehlen, muss ein Timeout abgewartet werden und dies beim erneuten Sendeversuch ebenfalls. Es hat sich aber gezeigt, dass das prozentuale Verhältnis von vermissten und fehlerhaften Paketen in der Toleranz für langsame MAC Verbindungen liegt.

1.4.1.6 Die Sicherheit (Layer-II einhorchen)

Da die OFDM Pakete keinen Halt vor benachbarten Wohnungen oder Häusern machen, ist eine Verschlüsselung fast zwingend notwendig. Dies wurde beim HomePlug Standard mit einer DES Verschlüsselung mit 56 Bit gelöst. Das heisst, alle Clients eines HomePlug Netzwerkes müssen mit einem gemeinsamen Schlüssel versehen werden, dem encryption key. Der HomePlug Standard enthält auch ein Verfahren welches diese Schlüssel an Clients senden kann, die über keine Konfigurationsmöglichkeiten verfügen. Dies ist insbesondere für die Gebäudeautomation in naher Zukunft sehr interessant. Es ist wahrscheinlich, dass auch der Kühlschrank in absehbarer Zeit ein Webinterface erhält. Bei optimalen Verhältnissen wird eine Reichweite von bis zu 300 Metern erreicht. In der Praxis wird die Distanz von 300 m nicht erreicht! Es ist mit 80 bis 150 m zu rechnen. In Wohnungen und kleinen EFH sind keine Probleme zu erwarten, also 100 % der Netzanschlusssdosen sind HomePlug fähig.

1.4.1.7 Energiebedarf

Die PLC (Layer-II MAC) Technologie eignet sich primär für paketorientierte Datenkommunikation, d. h. IP-orientierte Informations- und Telekommunikationsdienste (Internet). Die für diese Dienste typische Betriebsart, insbesondere in privaten Haushalten, ist eine zeitweise Nutzung. Die effektive

Nutzungsdauer, d. h. die Zeit, in der tatsächlich Daten gesendet und empfangen werden, wird zudem durch den bei Internet Anwendungen typischen "burst"-artigen Betrieb limitiert. Werden keine Daten gesendet oder empfangen, werden die Geräte automatisch in einen Schlafmodus (Standby) mit geringem Energieverbrauch versetzt. Nur während des unmittelbaren Sendebetriebs werden HF-Signale in die Netzleitung eingespiesen. Ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl geeigneter Systemkomponenten ist ein geringer Energiebedarf.

1.4.1.8 Elektromagnetische Verträglichkeit

Die PLC Technologie verwendet Trägerfrequenzen von 4.5 bis 21 MHz. Aus physikalischen Gründen ist die elektromagnetische Abstrahlung in diesem Frequenzbereich ohne Schirmung doch beachtlich. Weil die räumliche Ausdehnung des Inhouse-Stromnetzes bezogen auf die Wellenlängen der Signale sehr klein ist, können die Grenzwerte doch eingehalten werden. Deshalb bleibt eine signifikante Antennenwirkung des Leitungsnetzes und eine dadurch verursachte elektromagnetische Abstrahlung bei den ins Auge gefassten Sendepiegeln weitestgehend aus. Aufgrund dieser obengenannten Zusammenhänge ist in diesem Frequenzbereich eine ausreichende Grundlage für die Koexistenz von Funk- und PLC-Anwendungen vorhanden.

1.4.1.9 Fehlersuche in der Praxis

In der Praxis sind einige Dinge bei Installationsproblemen zu beachten:

1. Kein PowerLine direkt an einer Stromschiene einstecken an der weitere Geräte angeschlossen sind (PC, Drucker, FL-Röhren, Motoren, Video, getaktete Geräte aller Art).
2. PowerLine-Adapter direkt in die Wanddose stecken, dies ergibt eine HF-Kopplung. Andere Verbraucher mit mind. 3 m Anschluss versehen und nicht direkt in die selbe Wanddose stecken.
3. Wird ein Mehrfachstecker direkt an der Wanddose eingesetzt, so muss das Powerline mit einem Kabel angeschlossen werden und die weiteren Verbraucher müssen ebenfalls über einem Kabel angeschlossen werden.
4. Phasen L1, L2, L3 sind egal, das Übersprechen ist kein Problem, jedoch ergibt sich eine Traffic-Einbusse (Phasen Koppler erhöhen die Übertragungsleistung, nicht aber die Distanz! Die Distanz wird eher verringert!)
5. Wird durch testen ein Gerät/Netzadapter gefunden der stark dämpft, so sind diese Geräte hinter einem HP-Sperrfilter anzuschliessen.
6. Alle PowerLines müssen am selben Sicherungskasten / Verteiler dran sein. Dicke 25 Amp Verbindungen zwischen Etagenverteilern sind zu vermeiden!
7. Alle ZyXel PowerLines müssen auf dem Typenschild das Wort NEW enthalten. Alle PowerLines müssen mit dem selben Verschlüsselungscode versehen sein (Ethernet und USB Typen).
8. Wenn alle PowerLines zum Testen an der selben Steckerleiste angeschlossen werden, muss es auf jeden Fall laufen!!! Sonst ist das Gerät defekt oder die Codes sind falsch!

Phasen Koppler und PowerLine-Filter haben wir an Lager.