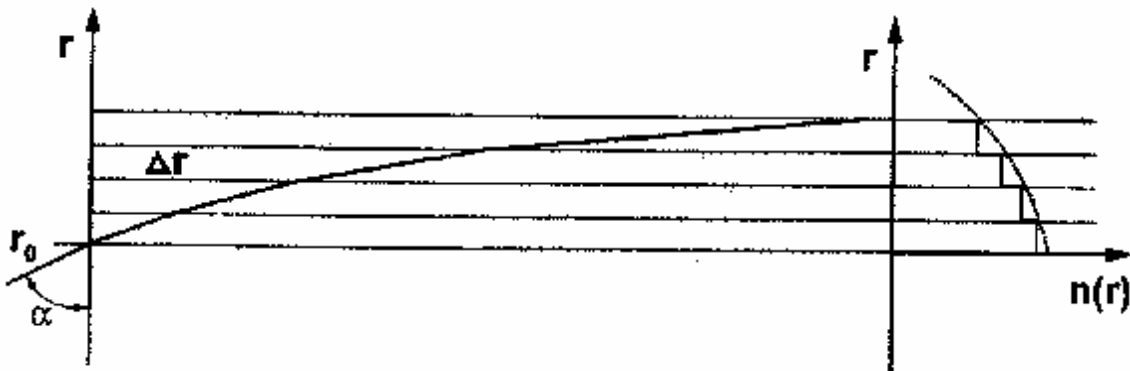


## Wie wird die Modendispersion verringert?

Die Modendispersion ist der ausschlaggebendste Dispersionseffekt im Multimode-Stufenprofil-LWL. In der vorherigen Betrachtung wurde festgestellt, dass die zunehmende Modendispersion zu einer abnehmenden Bandbreite führt. Folglich wird eine Lösung gesucht, welche diesen Effekt minimiert. Die Idee wäre eine Faser so zu bauen, dass die Laufzeitunterschiede minimiert werden. In der folgenden Grafik wird dargestellt, welche Maßnahmen hierzu erforderlich sind.



### Lösungsansatz

Im Stufenprofil-LWL bestand die Problematik der verschiedenen Ausbreitungswege der Lichtstrahlen. Da im Kern überall die gleiche Brechzahl ist, breiten sich die Lichtstrahlen mit gleichen Geschwindigkeiten aus. Der Lösungsansatz wäre demnach unterschiedliche Geschwindigkeiten für die Lichtstrahlen zu erreichen. Da sich diese im Faserkern ausbreiten, muss man infolgedessen diesen Faserkern anders bauen als bisher.

### Vom Stufen- zum Gradientenprofil

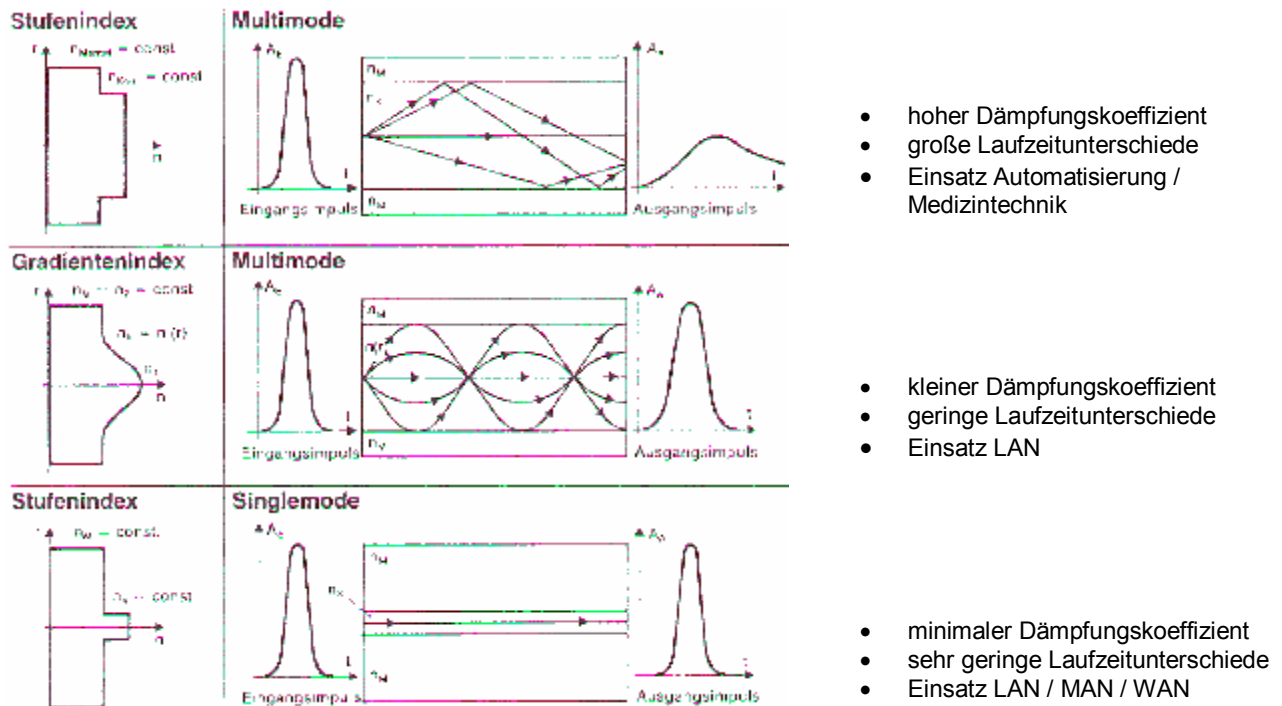
Um unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten innerhalb des Kerns zu erreichen, kamen Entwickler zu der Lösung, den Faserkern in viele Schichten zu zerlegen. Diese einzelnen Glasschichten wurden so dotiert, dass diese unterschiedliche Brechzahlen aufwiesen. Somit entstand der Multimode-Gradientenprofil-LWL. Als Groborientierung zu den Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Lichtes innerhalb des Kerns gilt die folgende Formel:

$$\text{Geschwindigkeit } v = \text{Lichtgeschwindigkeit } c / \text{Brechungsindex } n$$

**Fazit:** Durch den Aufbau des Faserkerns in viele Schichten mit unterschiedlichen Brechzahlen, erzielt man eine Minimierung der Modendispersion. Infolgedessen erhöht sich die erzielbare Bandbreite. Als Ergebnis erhält man den Multimode-Gradientenprofil-LWL, welcher in der nächsten a.b.a.-tec LWL-Info näher beschrieben wird.

## Welche Charakteristiken zeichnen die LWL-Typen aus ?

Um diese Frage zu beantworten, stellen wir zunächst die bisher erarbeiteten LWL-Typen für einen Vergleich nebeneinander.



### Multimode-Stufenprofil-LWL

Diesen LWL-Typ findet man heutzutage überwiegend als Kunststoff-LWL wieder. Dieser stellt eine preiswerte Alternative zum Glas-LWL dar, wenn über kurze Distanzen und mit kleinen Datenmengen übertragen werden soll. Im Vergleich zum Kupferleiter besitzt er die gleichen Vorteile wie der Glas-LWL. Da dieser LWL-Typ selten in der LAN-Welt anzutreffen ist, sind die beiden folgenden LWL-Typen von größerem Interesse.

### Multimode-Gradientenprofil-LWL

Bei diesem LWL-Typ handelt es sich um einen Quarzglas-LWL mit folgenden Charakteristiken:

- Betrieb im 1. und 2. optischen Fenster
- Typische Kerndurchmesser: 50µm oder 62,5µm
- Manteldurchmesser: 125µm

### Monomode-Stufenprofil-LWL

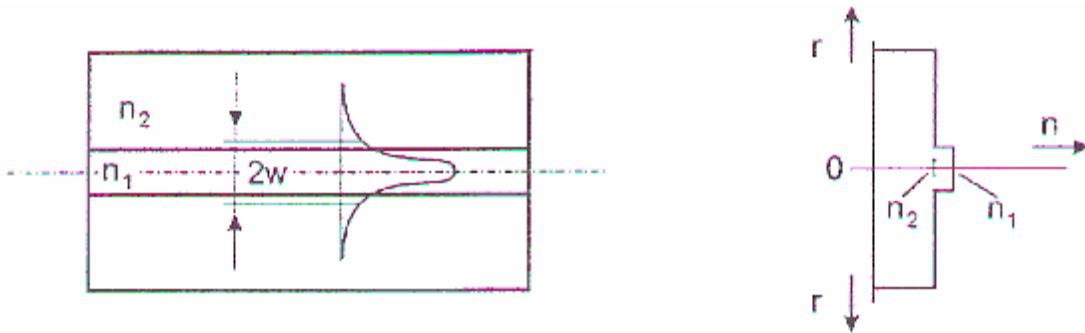
Hierbei handelt es sich ebenfalls um einen Quarzglas-LWL mit folgenden Charakteristiken:

- Betrieb im 2. und 3. optischen Fenster
- Typische Kerndurchmesser: 3µm...8µm
- Modenfelddurchmesser: 9,3µm bei 1310nm
- Manteldurchmesser: 125µm

**Fazit:** Für die verschiedenen Einsatzzwecke lassen sich die richtigen LWL-Typen finden. Neben den bisher erarbeiteten sogenannten „Standardtypen“ gibt es aber auch spezielle Typen, welche z.B. vom Profil abweichen. Ständig weitere Neuentwicklungen im Faserbereich bauen auf den bisherigen Erkenntnissen auf. Näheres hierzu in der folgenden a.b.a.-tec LWL-Info 016.

## Wie funktioniert der Monomode-Stufenprofil-LWL ?

Nachdem wir in der letzten Betrachtung gesehen haben, wie wir vom Multimode- zum Monomode-LWL gelangen, sollten wir uns die Funktionsweise des Monomode-Stufenprofil-LWL am Beispiel einer Grafik näher betrachten.



### Monomode-Stufenprofil-LWL

Der LWL besteht aus einem stufenförmigem Brechzahlprofil. Der Kern hat eine konstante Kernbrechzahl  $n_1$ , welche etwas größer als die konstante Mantelbrechzahl  $n_2$  ist. Das gebündelte Licht eines Lasers wird innerhalb des Akzeptanzkegels so eingekoppelt, dass sich ein Modus innerhalb der Faser ergibt. Wir erinnern uns, dass die technischen Voraussetzungen erfüllt sein müssen.

### Vom Strahlen- zum Wellenmodell

An der Grafik ist zu erkennen, dass wir es hier nicht mehr mit dem bekannten Strahlenmodell zu tun haben. Zur Erklärung ist hier das sogenannte „Wellenmodell“ vorteilhaft.

Zu erkennen ist, dass sich ein Teil der Welle im Kern fortbewegt. Der andere Teil bewegt sich durch den Mantel fort. Da die Kernbrechzahl etwas größer als die Mantelbrechzahl ist, resultieren hieraus zwei unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Teilwellen.

### Chromatische Dispersion

Nach der folgenden Formel

$$\text{Geschwindigkeit } v = \text{Lichtgeschwindigkeit } c / \text{Brechungsindex } n$$

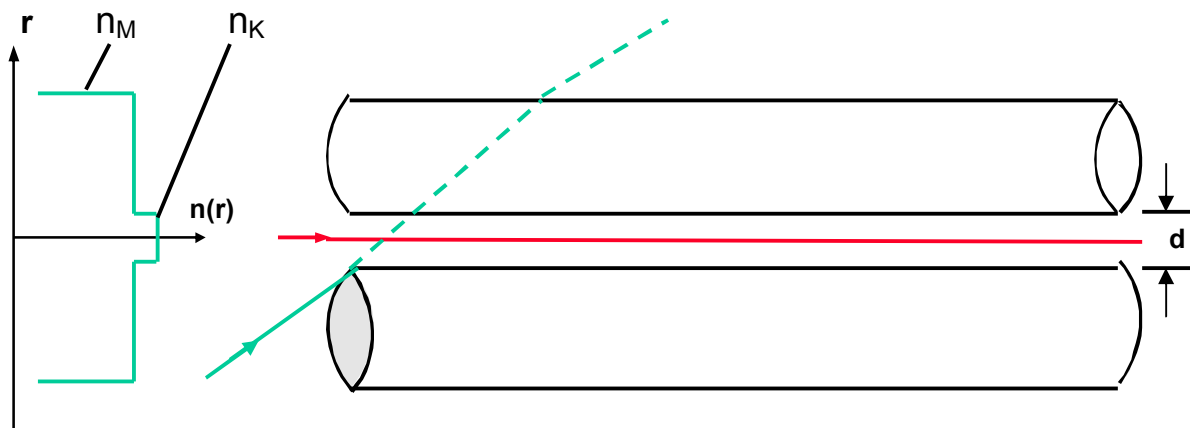
ist die Geschwindigkeit des Wellenanteils im Kern geringer, als die im Mantel. Der Modenfelddurchmesser  $2w$  ist abhängig von der Wellenlänge. Je größer die Wellenlänge wird, desto größer wird der Modenfelddurchmesser  $2w$ . Dieses führt zu einer Erhöhung des Wellenanteils im Mantel. Die unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Wellenanteile führen nach großen Distanzen geringfügig zu Impulsverbreiterungen. Man spricht hier von der „Wellenleiterdispersion“. Zusätzlich hat man, bedingt durch den Laser, noch im geringem Maße die Überlagerungen der Grundwellenlänge (Materialdispersion), welche in der a.b.a.-tec LWL-Info 011 erklärt wurde. Diese beiden Dispersionsarten ergeben zusammen die „chromatische Dispersion“.

**Fazit:** Der heutige Stand der Technik bietet für einen Monomode-Stufenprofil-LWL schon sehr gute Laser an. Somit bietet dieses System sehr lange Distanzen von über 50 km und Übertragungsbandbreiten, welche 10 GHz übersteigen. Dieser LWL-Typ kommt in LAN, WAN und MAN Netzwerken zum Einsatz.

## Wie bauen wir uns einen LWL für große Distanzen ?

Die bisher erarbeiteten LWL-Typen übertragen Datenraten über kurze bis mittlere Distanzen. Hierbei sind für einen hochwertigen Gradientenprofil-LWL für 1000BASE-LX bis 2 km ohne Probleme übertragbar. Wenn noch höhere Datenraten über längere Distanzen z.B. 50 km übertragen werden sollen, muss die Faser anders gebaut werden. Würden wir den Kern vergrößern, könnte man zwar mehr Licht einkoppeln, doch würde dies wieder zu größeren Modendispersionen führen. Was passiert denn, wenn man den Kern verkleinert ?

Dazu schauen wir uns die folgende Abbildung einmal genauer an.



### Von Multimode zu Monomode

In der Grafik wird deutlich, dass hier ein Stufenindex-LWL gewählt wurde, bei welchem der Kerndurchmesser verringert wurde. In der Praxis kommt man auf Werte zwischen 3 bis 8  $\mu\text{m}$ . Als zweite Maßnahme wurde der Brechungsindexunterschied verringert. An der roten Linie ist zu erkennen, dass man durch diese beiden Maßnahmen die Faser so konstruiert hat, dass nur eine Mode „hineinpasst“. Man spricht von Mono- bzw. Singlemode.

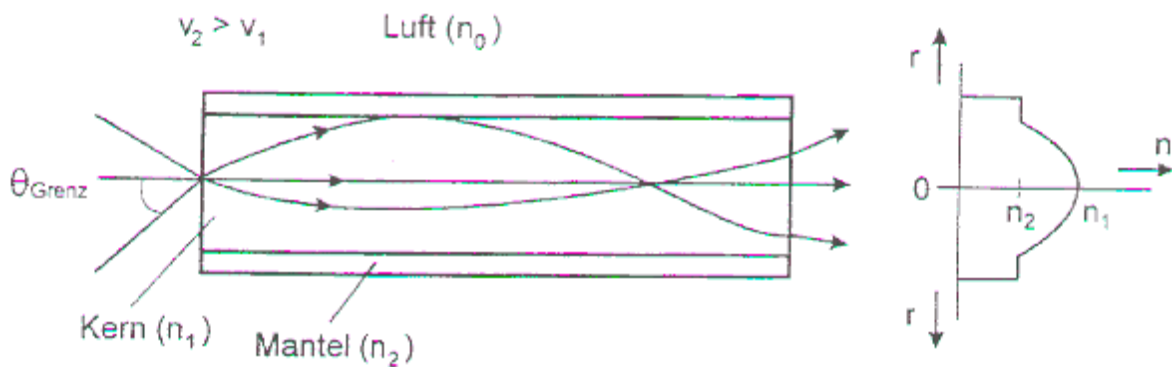
### Moden

Zu beachten wäre, dass diese Faser wirklich nur dann monomodig wirkt, wenn die technischen Voraussetzungen gegeben sind. Sollte dies nicht der Fall sein, werden mehrere Moden angeregt und somit hat man einen Multimode-Stufenprofil-LWL mit schlechten Übertragungseigenschaften. In der Regel geben richtig ausgesuchte Komponenten aber diese Voraussetzungen her und garantieren somit Monomodebetrieb.

**Fazit:** Durch Verringerung des Kerndurchmessers und Brechungsindexunterschieds wird die Faser so konstruiert, dass diese monomodig wird. Wenn nun auch die technischen Komponenten richtig ausgewählt werden, kann man über lange Distanzen große Datenraten fast verlustfrei übertragen. Das heißt, die Pulsbreite bleibt auch nach langer Strecke weitestgehend erhalten. Man spricht hier vom „Standard-Monomode-Stufenprofil-LWL“. Die Funktionsweise werden wir uns in der nächsten a.b.a.-tec LWL-Info anschauen.

## Wie funktioniert der Multimode-Gradientenprofil-LWL ?

Nachdem wir in der letzten Betrachtung gesehen haben, wie wir vom Stufen- zum Gradientenprofil gelangen, sollten wir uns die Funktionsweise des Multimode-Gradientenprofil-LWL am Beispiel einer Grafik näher betrachten.



### Gradientenprofil-LWL

Der LWL besteht aus einem gradientenförmigem Brechzahlprofil. Der Kern hat in der Achsenmitte die größte Kernbrechzahl  $n_1$ , welche zum Mantel hinlaufend immer kleiner wird. An der Grenzfläche Kern/Mantel ist die Kernbrechzahl am kleinsten. Die Mantelbrechzahl  $n_2$  ist konstant. Aus vorherigen Betrachtungen wissen wir, dass das auf die LWL-Stirnfläche auftreffende Licht, welches innerhalb des Akzeptanzkegels eingekoppelt wird, sich unter Totalreflexion ausbreitet. Bei diesem Gradientenprofil breitet es sich aufgrund der vielen Glasschichten auch unter ständiger Brechung aus.

### Moden

Die Strahlenverläufe innerhalb des Gradientenprofil-LWL sind sehr unterschiedlich. Der Strahl in der Mitte nimmt den kürzesten Weg, hat aber auch die geringste Geschwindigkeit. Der äußerste Strahl hat zwar den längsten Weg, aber dafür die höchste Ausbreitungsgeschwindigkeit. Somit wird gewährleistet, dass die Lichtstrahlen ungefähr zum gleichen Zeitpunkt am Ende des LWL angelangen. Die Modendispersion wurde also minimiert. Wie auch beim Stufenprofil-LWL kann die Anzahl der Lichtstrahlen einige Tausend bis einige Millionen betragen. Die möglichen Ausbreitungswege werden mit Hilfe der Maxwell-Gleichungen berechnet. Die daraus folgenden Lösungen sind die Moden. Als Gedankenstütze hier noch mal die bekannte Formel:

$$\text{Geschwindigkeit } \mathbf{v} = \text{Lichtgeschwindigkeit } \mathbf{c} / \text{Brechungsindex } \mathbf{n}$$

### Materialdispersion

Im Gradientenprofil-LWL haben wir Impulsverbreiterungen aufgrund der Vielzahl von Wellenlängen, welche der Empfänger neben der Grundwellenlänge überlagert. Somit kommt es in diesem LWL zu Materialdispersionen. Diese sind weitaus geringfügiger, als die Modendispersionen beim Multimode-Stufenprofil-LWL. Auch die Art und Qualität des Senders wirkt sich auf die Modendispersion aus.

**Fazit:** Der Multimode-Gradientenprofil-LWL ist der technologisch anspruchsvolle LWL. Aufgrund der geringen Dispersion, geringer Laufzeitunterschiede und kleiner Dämpfungskoeffizienten ist dieser LWL der Standard-LWL für den LAN-Bereich. Dort wo große Übertragungsbandbreiten (>1 GHz) und Entfernungen bis zu „einigen Kilometern“ übertragen werden müssen, wird auf diese Faser zurückgegriffen. Wir werden später sehen, dass die Entfernung auch von der Datenrate abhängig ist.

## Vom Stufenprofil-LWL zur OM3-Faser

Als man erkannte, dass ein Stufenprofil zur Übertragung hoher Datenraten nicht mehr ausreichte und als Ergebnis 1974 das Gradientenindexprofil entwickelte, war die Welt im Multimodebereich zunächst in Ordnung. Durch diese Erfindung konnte die Bandbreite von ca. 50 MHz auf bis zu 1 GHz bei Übertragung über 1 Kilometer erhöht werden.

Aber die Anforderungen wurden im Laufe der Zeit immer höher. Man entwickelte zwar spezielle Monomodefasern, doch die Anschlusstechnik ist aufwendig und kostenintensiv. Auch die aktiven Komponenten bewegen sich aufgrund der aufwendigen Lasertechnik in höheren Preisklassen. Folglich machten sich Entwickler Gedanken zur Optimierung und Realisierung der Übertragung immer höherer Datenraten unter Verwendung der Multimodetechnik.

Zu neuen Ergebnissen kam man im Sommer 2001. Es wurde eine neue Klasse von Multimode-LWL spezifiziert. Seitdem existiert eine Einteilung in sogenannte OM-Fasertypen.

Tabelle 1		Minimale modale Bandbreite in MHz x km		
		Vollanregung		Wirksame Laseranregung
Wellenlänge		850nm	1300nm	850nm
Fasertyp	Kerngrösse in $\mu\text{m}$			
OM1	50 oder 62,5	200	500	nicht spezifiziert
OM2	50 oder (62,5 !)	500	500	nicht spezifiziert
OM3	50	1500	500	2000

Tabelle 2	Maximale Dämpfung in dB / km			
	Multimode OM1,OM2,OM3		Singlemode OS1	
Wellenlänge	850nm	1300nm	1310nm	1550nm
Dämpfungskoeffizient	3,5	1,5	1,0	1,0

Laut Tabelle 1 kann eine 62,5 $\mu\text{m}$  Faser auch ein Typ der Klasse OM2 sein, wenn die technischen Daten bei Vollanregung erfüllt werden. Umgekehrt kann eine 50 $\mu\text{m}$  Faser ein Typ der Klasse OM1 sein. Für den OM3-Fasertyp erfüllt nur eine 50 $\mu\text{m}$  Faser die Spezifikation. Zu erkennen ist hierbei, dass die OM3-Faser für die Wellenlänge von 850nm optimiert ist.

Ein wichtiger Grund hierfür beruht auf dem angestrebten Einsatz in der Praxis in Verbindung mit einem kostengünstigen Laser. Um für ein Multimode-System die Linklänge von 300m bei 850nm zu erreichen, um dann noch 10 Gigabit erreichen zu können, stehen sogenannte VCSEL-Sender (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) zur Verfügung. Hiermit erreicht man in Verbindung mit der OM3-Faser die wirksame Laseranregung bei 850nm, um ein Bandbreite-Längen-Produkt von 2000 MHz x km realisieren zu können. Aus diesem Grunde spricht man auch von einer laseroptimierten Multimodefaser.

Die etablierten Kabelhersteller haben die OM3-Faser mit im Programm. Meist sind diese nur unter einem speziellen Namen im Katalog zu finden. Um die richtige Auswahl zu treffen, sollten die technischen Daten der Datenblätter unterschiedlicher Lieferanten miteinander verglichen werden.

**Fazit:** Ob nun Planer und Anwender eine Alternative zur Realisierung eines zukunftssicheren Netzwerks im LAN-Bereich haben, wird die Zukunft noch zeigen. In Bezug auf die Verarbeitungs- und Verbindungstechnik werden keine höheren Anforderungen gestellt als beim Standard-Multimode-LWL. Bei Überlegung zur Faserauswahl für Ethernet-Applikationen sollte geprüft werden, welcher Dienst (Wellenlänge, Datenrate) überhaupt übertragen werden soll. In jedem Falle sollten bei den Faserdaten die Linklängen bei den jeweiligen Diensten verglichen werden. Erst dann sollte die für den jeweiligen Übertragungszweck optimale Faser ausgewählt werden. Fasermischungen reduzieren die Übertragungslänge.