Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 63 (1972)

Heft: 4

Artikel: Informationsübertragung mit Hilfe von Laserlicht

Autor: Hausherr, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915664

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Informationsübertragung mit Hilfe von Laserlicht

Nachrichtenübermittlung und optisches Radar

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV über Laserstrahlung vom 9. November 1971 in Zürich,

von *B. Hausherr*, Bern

621.375.826:621.391.63

Als man vor etwa zehn Jahren nach Anwendungsmöglichkeiten des eben erfundenen Lasers suchte, dachte man zuallererst an die Nachrichtenübermittlung. Inzwischen haben sich allerdings grössere Schwierigkeiten eingestellt, als bei der Verwirklichung anderer Anwendungen, welche anfangs weniger im Vordergrund standen. So erkennt man erst heute, in welcher Art und unter welchen Bedingungen der Laser zur Nachrichtenübermittlung eingesetzt werden dürfte. Wie im folgenden gezeigt werden soll, liegt der Vorteil einer Laserübertragungsstrecke nicht wie ursprünglich angenommen hauptsächlich in der grossen Übertragungskapazität, sondern in den möglicherweise kleineren Kosten gegenüber anderen Systemen derselben Kapazität.

Seit der Informationstheorie *Shannons* ist der Begriff «Information» ein im wissenschaftlichen Sinn messbarer Begriff geworden. Dadurch lassen sich Übertragungssysteme hinsichtlich ihrer Kapazität, d. h. der Menge von Information, welche sie pro Zeit übertragen, vergleichen. Der Messung von Informationsmengen liegt die Überlegung zugrunde, dass man über einen Sachverhalt oder über ein Objekt alles erfahren kann, falls man nur genügend Fragen stellt, welche mit «ja» oder «nein» beantwortet werden. Die Einheit der Informationsmenge nennt man 1 bit. Es ist diejenige Information, welche man durch genau eine beantwortete Entweder-Oder-Frage gewinnt. Das Messverfahren muss indessen noch etwas näher erläutert werden. Man kann natürlich nicht dem Wort «Vortrag» 1 bit Information zuordnen, nur weil jemand zufällig bei der ersten Frage darauf stösst. Vielmehr muss man sich darauf verlassen können, dass Information auch von einer Maschine gewonnen oder verarbeitet werden kann. Diese wird zuerst mit einem allgemein anwendbaren Verfahren den ersten Buchstaben herausfinden, indem sie das Alphabeth fortlaufend in Hälften unterteilt, und die den Buchstaben nicht enthaltenden Hälften ausscheidet. So wird sie nach fünf Fragen auf den Buchstaben stossen, womit sie die Informationsmenge 5 bit gewonnen hat. Dem sieben Buchstaben enthaltenden Wort kommt somit eine Informationsmenge von 35 bit zu. In der folgenden Zusammenstellung sind einige Informationsträger nach der Informationsmenge, welche sie pro Zeit vermitteln oder verarbeiten, aufgeführt.

Fernsehbild	10^7 bit/s
Diapositiv	$3 \cdot 10^3$ bit/s
Telephon	$5 \cdot 10^3$ bit/s
Mensch	10^4 bit/s
Menschheit	$5 \cdot 10^{13}$ bit/s

1 bit $\triangleq 10^{-23}$ Ws/^{0}C

Ein Fernsehbild zum Beispiel vermittelt 10^7 bit/s, wovon der Mensch allerdings nur 10^4 bit/s aufnehmen kann. Die Menge pro Zeit, welche er speichern kann, ist dabei noch viel kleiner. Bei einem Telephongespräch werden etwa $5 \cdot 10^3$ bit/s übertragen; diese Informationsmenge pro Zeit liegt natürlich nicht im Inhalt desselben, denn das würde ja bedeuten, dass man in einer Sekunde so viele Fragen stellen könnte, sondern es ist die Möglichkeit, die Stimme des Gesprächspartners erkennen zu können, welche die Übertragung von so viel Information erfordert. Die gesamte Menschheit kann mit Information gesättigt werden, wenn man ihr $5 \cdot 10^{13}$ bit/s anbietet; wie gezeigt wird, entspricht das gerade der Kapazität, welche theoretisch 10 Laserübertagungsstrecken aufweisen. Einigermassen erstaunlich ist, dass die Einheit der Informationsmenge 1 bit identisch mit einer physikalischen Einheit, nämlich derjenigen der Entropie ist.

	Trägerfrequenz (Hz)	Anzahl Kanäle
Telephonleitung	$0...10^4$	1
	10^5	5
Koaxialkabel	$0...10^7$	500
Mikrowellen	10^9	500
Laser	10^{14}	möglich 10^8
		erreicht 10^5

In der obigen Zusammenstellung sind die wichtigsten Übertragungssysteme aufgeführt, welche mit elektromagnetischen Wellen arbeiten. Elektromagnetische Wellen unterscheiden sich durch ihre Frequenz und damit auch durch ihre Wellenlänge, da das Produkt aus Wellenlänge mal Frequenz die Lichtgeschwindigkeit ergibt. Jede Wellenlänge gehorcht einem ganz anderen Ausbreitungsgesetz, falls man die Welle über eine Antenne in den Raum abstrahlt. Man kann elektromagnetische Wellen von einem Punkt zum anderen aber auch durch besondere elektrische Leitungen schicken. Die Information muss der Welle irgendwie aufgezwungen oder, wie man sagt, aufmoduliert werden. Da die Welle dadurch zum Informationsträger wird, nennt man sie Trägerwelle und ihre Frequenz die Trägerfrequenz. Eine Telephonleitung überträgt normalerweise Wellen mit einer Frequenz von etwa $0...10^4$ Schwingungen pro Sekunde. Eine Leitung mit dieser Kapazität nennt man einen Kanal. Einem Kanal entsprechen etwa 10^4 bit/s. Über kürzere Distanzen, d. h. einige Kilometer, können mit einer Trägerfrequenz von 10^5 Hz etwa 5 Kanäle übertragen werden. Mit stark erhöhtem Aufwand erreicht man heute bis zu 30 Kanälen über kürzere Distanzen. Koaxialkabel, welche einen grossen Teil der Verbindungen zwischen Städten übertragen, weisen eine Kapazität von etwa 500 Kanälen pro Kabel auf. Ebenfalls etwa 500 Kanäle werden über Mikrowellen-Richtfunkstrecken geleitet, die bei einer Trägerfrequenz von 10^9 Hz arbeiten. Theoretisch müsste es möglich sein, mit einer Laserübertragungsstrecke, welche bei einer Frequenz von 10^{14} Hz arbeitet, etwa 10^8 Kanäle gleichzeitig zu übertragen. Auf Versuchsstrecken wurden bisher 10^5 Kanäle erreicht.

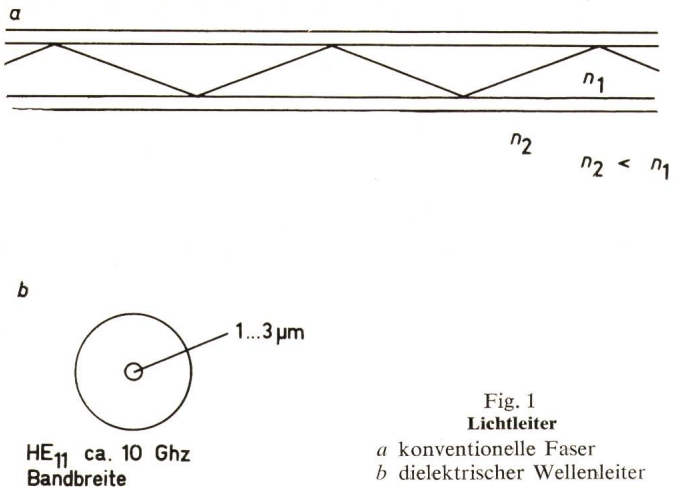

Fig. 1
Lichtleiter
a konventionelle Faser
b dielektrischer Wellenleiter

Offensichtlich besteht also ein Zusammenhang zwischen der Trägerfrequenz eines Übertragungssystems und seiner Übertragungskapazität, und zwar in der Weise, dass um so mehr Information pro Zeit übertragen werden kann, je höher die Trägerfrequenz gewählt wird. Laserübertragungsstrecken weisen also eine sehr grosse Kapazität auf, und mit einem besonderen Verfahren, dem Multiplexverfahren, könnten einem Lasersender u. U. die theoretisch möglichen 10^8 Kanäle aufmoduliert werden und im Empfänger demoduliert werden, obwohl Modulatoren und Photodetektoren bis jetzt keine wesentlich schnelleren Signale als solche im Nanosekundenbereich zu verarbeiten vermögen. Das Problem liegt jedoch ganz woanders. Es fehlt an einem geeigneten Übertragungsmedium für Laserstrahlen. Nebel und Regen lassen eine Übertragung durch die Atmosphäre über längere Strecken illusorisch erscheinen. Die Anwendung von infrarotem Laserlicht bringt, anders als oft vermutet wird, keine Vorteile. Ohne die Verwendung eines Lichtleiters wird also die Nachrichtenübertragung mit Hilfe von Laserlicht einigen wenigen speziellen Zwecken vorbehalten bleiben, wie z. B. der Datenübertragung zwischen Weltraumstationen, wo keine störende Atmosphäre in Erscheinung tritt.

Es wurden verschiedene Anordnungen auf ihre Tauglichkeit als Lichtleiter geprüft: Rohre mit justierbaren Linsen oder Gas enthaltende Rohre, die einen radialen Temperaturgradienten aufweisen und so, ebenfalls durch Linsenwirkung, den Strahl führen. Die einzige mit vernünftigem Aufwand realisierbare Möglichkeit zur Übertragung des Lichtes scheint aber die Verwendung der Glasfaser zu sein. Fig. 1a zeigt das Prinzip der konventionellen Glasfaser. Der Strahl erleidet beim Eintritt an der Grenzschicht zwischen Mantel und Kern, welche einen voneinander verschiedenen Brechungsindex aufweisen, Totalreflexion. Auf diese Weise bleibt das Licht, auch wenn die Faser gebogen wird, gefangen. Die Verluste bei dieser Art von Lichtleitung sind aber noch viel zu gross. Vielversprechender scheinen dagegen die Versuche mit dem dielektrischen Wellenleiter (Fig. 1b). Dessen Kern hat etwa die Abmessung der verwendeten Lichtwellenlänge, so dass sich darin eine bestimmte Wellenform ausbreitet, welche relativ kleine Verluste und geringe Verzerrungen erleidet. Labormuster dieser Faser der Corning-Werke haben Verluste von 99 %/km. Dies scheint zwar sehr viel zu sein, das Ergebnis ist aber bereits brauchbar.

Im folgenden soll nun kurz ein Übertragungssystem vorgestellt werden, welches gegenwärtig von der englischen Post, der deutschen Post und der AEG in ähnlicher Ausführung

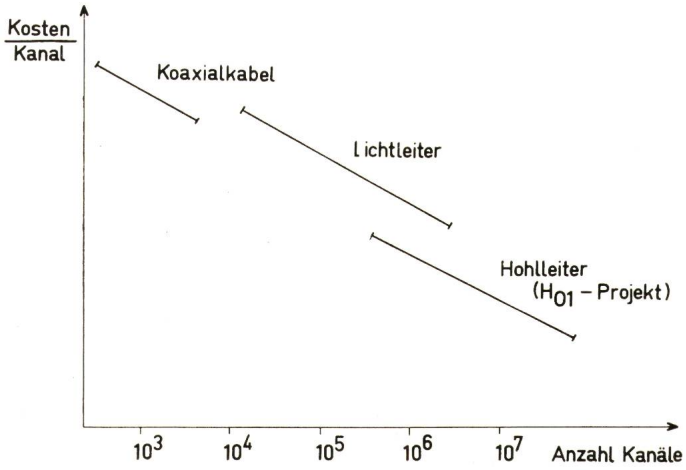

Fig. 3
Kosten verschiedener Übertragungssysteme

entwickelt wird. Es soll, falls die Glasfasern die erhofften Fortschritte machen, in einigen Jahren die Nachrichtenübermittlung innerhalb und zwischen grossen Ballungszentren übernehmen. Seine Kapazität ist vorerst für 300 Mbit/s ausgelegt, was heisst, dass etwa 30000 Kanäle gleichzeitig übertragen werden können. Es handelt sich um ein sog. Multiplex-Pulscodemodulations-System, dessen Prinzip Fig. 2 zeigt. Ein Telephonsignal z. B. wird in bestimmten zeitlichen Abständen abgetastet. Der abgelesene Spannungswert wird zur nächsten ganzen Zahl auf- oder abgerundet und die entstehende Zahl wird in digitaler Schreibweise, also mit den Ziffern 0 und 1, dargestellt. Die Ziffer 1 bedeutet dann, dass ein Puls ausgesendet wird, die Ziffer 0, dass keiner ausgesendet wird. In die Pulskette, welche einem Kanal entspricht, werden nun die Pulsketten mehrerer anderer Kanäle geschaltet. Das hat den grossen Vorteil, dass mit Hilfe besonderer Synchronisierungsverfahren an irgendeinem Punkt der Übertragungsstrecke irgendein oder mehrere Kanäle abgezweigt werden können, ohne dass die andern davon betroffen werden. Das System erfordert ohnehin alle Kilometer den Einbau eines Zwischenverstärkers, oder wie man sagt, Repeaters. Diese tragen aber, im Gegensatz zu Verstärkern für analoge Signale, nichts zum

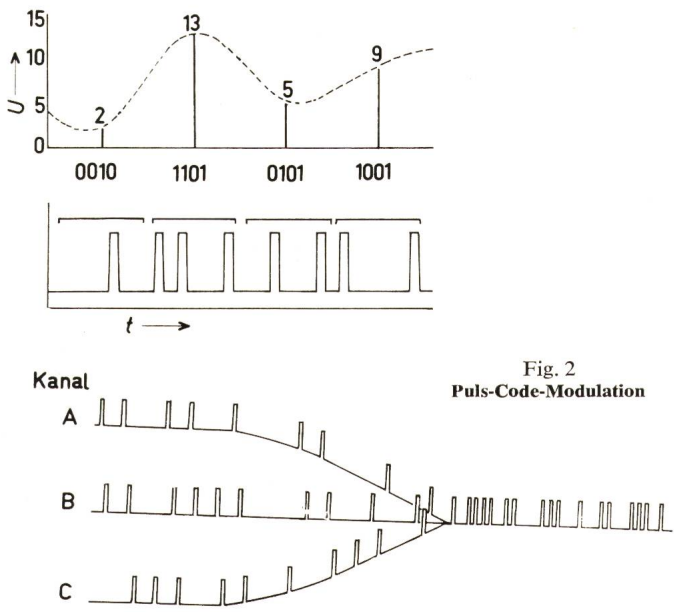

Fig. 2
Puls-Code-Modulation

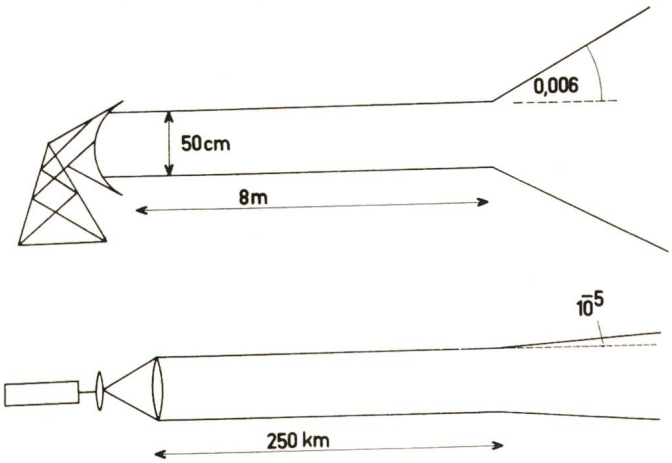

Fig. 4
Bündelungseigenschaften eines Mikrowellen-Richtstrahles und eines Laserstrahles

Rauschen bei der Übertragung bei. Die Sender, Empfänger und Repeater können, da sie mit Halbleiter-Lasern und Halbleiter-Photodioden ausgerüstet werden sollen, ausserordentlich klein, robust und relativ billig aufgebaut werden, sie weisen dazu einen geringen Energiebedarf auf.

Die Darstellung in Fig. 3 vergleicht ein solches Übertragungssystem hinsichtlich der Kosten pro Kanal mit andern Systemen. Übertroffen wird es durch das sich ebenfalls in Entwicklung befindliche Millimeterwellen-Hohlleiter-Projekt, welches jedoch, darf man den Prognosen glauben, für den berechneten Bedarf an Übertragungskanälen in den achziger Jahren von etwa 10^5 zu leistungsfähig wäre, und deshalb nicht voll ausgelastet werden könnte.

Wird der Laser zur Entfernungsmessung gebraucht, macht man sich vor allem die guten Bündelungseigenschaften des Laserlichtes zunutzen. Fig. 4 zeigt den Vergleich zwischen der Bündelung eines Mikrowellen-Richtstrahles und derjenigen eines Lichtstrahles. Gleiche Strahldurchmesser vorausgesetzt, beginnt sich der Mikrowellenstrahl bereits nach 8 m stark auszuweiten, währenddem der Lichtstrahl 250 km parallel bleibt. Dank dieser Eigenschaft des Laserlichtes können mit einem Laserentfernungsmesser auch kleine Ziele vermessen werden, ohne dass der grösste Teil des Lichtes unnütz ausgesendet wird. Das Prinzip, nach welchem fast alle Laserentfernungsmesser arbeiten, zeigt Fig. 5. Beim Sender handelt es sich meistens um einen Neodym- oder Rubin-Riesenimpulslaser, welcher eine Lichtimpuls von etwa 10 ns Dauer und einigen Megawatt Leistung aussendet. Der am Ziel reflektierte Impuls wird vom Photodetektor des Empfängers aufgefangen. Eine Elektronik misst den genauen Zeitunterschied zwischen Aussenden und Empfangen des Impulses, womit die Distanz festgelegt ist. In 10 ns legt das Licht eine Distanz von 3 m zurück. Damit kann die zu messende Entfernung, praktisch unabhängig von ihrer Grösse, auf etwa 3 m genau bestimmt werden. Zum Vorteil, dass ein solches optisches Radar als tragbares Gerät ausgeführt werden kann, ist es auch noch wesentlich genauer als ein Mikrowellenradar. Der Nachteil ist aber wieder, dass entweder nur bei klarer Luft, oder bei Nebel nur über sehr geringe Distanzen gemessen werden kann. Trotzdem findet dieses Radar Anwendung, z. B. als Landehilfe für Flugzeuge, welche sich nur noch einige Meter über der Piste befinden, oder für eine rein wissenschaftliche Anwendung, wie sie das Vermessen von Erdsatelliten mit Hilfe von Laserentfernungsmessern darstellt. So vermisst z. B. das Astronomische Institut der Universität Bern in Zusammenarbeit mit dem Institut für angewandte Physik mit Hilfe eines Rubin-Riesenimpuls-Lasers Erdsatelliten, welche sich in einer Entfernung von etwa 2000 km befinden mit einer Genauigkeit von 1 m. Die Erzielung einer solchen Genauigkeit ist für die Geodäsie von grosser Bedeutung. Ebenfalls für geodätische Zwecke ist ein Laserentfernungsmesser auf dem Markt, welcher eine höhere absolute Genauigkeit, wenn auch keine wesentlich bessere Relativgenauigkeit, als die eben beschriebenen Systeme hat. Er arbeitet mit einem kontinuierlichen, modulierten Helium-Neon-Laser von etwa 1 mW Leistung und gestattet Distanzen von einigen Kilometern mit einer Genauigkeit von etwa 1 mm auszumessen.

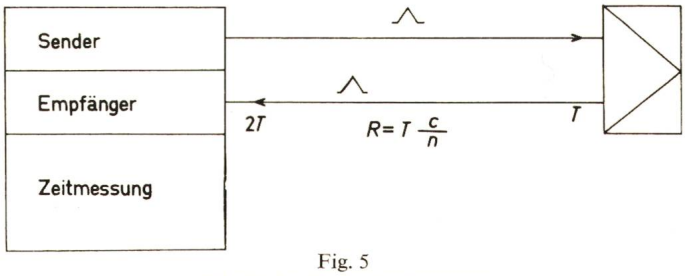

Fig. 5
Prinzip der Entfernungsmessung

Allgemein ist bei Laserentfernungsmessern die Genauigkeit nicht durch die Apparatur bestimmt, sondern durch die Unsicherheit in der Kenntnis der Lichtgeschwindigkeit sowie des Brechungsindexes der Luft, welcher lokal eine Funktion von Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist.

Bereits sollen demnächst kleine und billige Entfernungsmesser mit Halbleiterlasern auf den Verbrauchermarkt gelangen, z. B. als Warnung vor Hindernissen für Blinde oder als Entfernungsmesser in Kameras. Eine leider notwendig gewordene Aufgabe ist die Messung der Luftverschmutzung in verschiedenen Luftschichten geworden. Hierzu werden Laser-Riesenimpulse gegen die verunreinigte Luftschicht gesendet. Das gestreute, wieder aufgefangene Licht wird spektral untersucht, woraus man Rückschlüsse über Art und Grad der Verunreinigung erhält. So kann der Gehalt an Schwefeldioxyd in einigen Kilometern über einer grossen Stadt bis hinunter zu einer Konzentration von 5 ppm gemessen werden, das heisst 5 Teilen Schwefeldioxyd in einer Million Teile Luft.

Adresse des Autors:
B. Hausherr, dipl. Physiker, Assistent für angewandte Physik der Universität Bern, 3000 Bern.