

Licht als Nachrichtenträger

Autor(en): **Hübner, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **40 (1962)**

Heft 7

PDF erstellt am: **28.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875129>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Licht als Nachrichtenträger

Allgemeines

Der steigende Nachrichtenaustausch erfordert immer weitere Fernsprechanäle und immer breitere Bänder. Darum bemühen sich die Nachrichtenfachleute zur Erschliessung immer kürzerer Wellenlängen; denn je höher die Frequenz, desto mehr Kanäle lassen sich in einem solchen Band unterbringen. Als äusserstes Extrem würde das Licht als Trägerwelle eine ideale Lösung des Problems der bisherigen Kanalknappheit ermöglichen und fantastisch hohe Kanalzahlen erreichen lassen. Nachrichteningenieure der USA haben errechnet, dass die Nachrichtendichte im Jahre 1970 auf etwa 20 000 Sprechkanäle angewachsen sein wird. Unter Zugrundelegung von $5 \cdot 10^4$ bit/s für hochwertige PCM (Puls-Code-Modulation) ergibt sich eine Kanalkapazität von 10^9 bit/s je Weitverkehrs-telephoniekanal, während man mit den heutigen Mikrowellensystemen höchstens 10^7 bit/s zu erreichen vermag. Im Bereiche des sichtbaren Lichtes ($4 \cdot 10^5 \dots 7,5 \cdot 10^5$ GHz) liessen sich einige hunderttausend Millionen neue Sprechkanäle oder über 50 Millionen Fernsehkanäle unterbringen. Das sind gewiss erstaunliche Zahlen, welche die Techniker und Forscher aller Länder anspornen, diese neuen Möglichkeiten dem Nachrichtendienst zu erschliessen. Eine erste verwendbare Lösung bietet sich hier mit dem vor kurzem entdeckten «Laserprinzip» an.

Was ist ein Laser?

Die Fortschritte auf dem Gebiete der Halbleiterforschung führten zu einer Reihe wichtiger Entdeckungen, die unter anderem auch für die Nachrichtentechnik von grosser Bedeutung werden könnten. Eine davon ist die der molekularen Mikrowellenverstärker, der sogenannte Maser. Einen Spezialfall bildet der von den *Bell Telephone Laboratories* USA in verwertbare Form gebrachte optische Maser, der sogenannte Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* = Lichtverstärkung durch induzierte Emission von Strahlung). Die Maser und Laser sind ganz allgemein elektronische Verstärker, die den Energiezustand von Atomen oder Molekülen ausnutzen, wobei sie sich nur durch die Wellenlänge voneinander unterscheiden. Die besonderen Vorteile liegen darin, dass sie, im Gegensatz zu Röhren und Transistoren, eine sehr hohe Frequenzgenauigkeit erreichen, sehr rauschfrei und in weitem Temperaturbereich unverändert gut arbeiten, was besonders für Raumfahrtprojekte wichtig ist. Sie können nicht nur als Verstärker, sondern auch als Oszillatoren, also als Energieerzeuger eingesetzt werden, wobei sie vollkommen oberwellenfrei auf nur einer einzigen selektiven Frequenz arbeiten.

Der erste von *Schawlow* und *Townes* 1958 vorgeschlagene, von den *Bell Laboratories* und den *Hughes Research Laboratories* entwickelte optische Maser war der Rubin-Laser. Seine Wirkungsweise soll anschliessend kurz erläutert werden. Es gibt noch andere Laser-Arten, jedoch arbeiten sie im wesentlichen alle nach dem gleichen Prinzip.

Das Prinzip des Rubin-Lasers

Der Rubin-Laser stellt den ersten optischen Versuch dar, kohärentes Licht¹, wie es in der Optik genannt wird, zu erzeugen und als Nachrichtenträger zu verwenden. Licht von einem Laser ist mindestens 10^6 mal kohärenter als das von irgendeiner anderen Lichtquelle erzeugte. Laser-Licht bringt aber ausserdem den Vorteil, nur minimale Energieverluste durch Streuung zu erleiden, da man den Strahl bis auf weniger als $\frac{1}{2}^\circ$ bündeln und auf sehr kleine Empfangsantennen ausrichten kann. Infolge der hohen Kohärenz ist der Rauschanteil minimal. Theoretisch könnte ein Laser-Strahl einen Wirkungsbereich von 150 000 km mit weniger als 1,5 km Strahl-Durchmesser erreichen (ein Mikrowellensender würde unter gleichen Voraussetzungen bis auf 15 000 km streuen). *Figur 1* veranschaulicht das Prinzip des Rubin-Lasers. Man verwendet dazu einen allseitig verspiegelten, mit Chromatomen gedopten synthetischen Rubinkristall, in dem durch äussere Anregung ein Lichtstrahl erzeugt wird, der den Rubin in Richtung der Kristallachse scharf gebündelt verlässt. Der Rubin wird dabei im allgemeinen in einen schwingungsfähigen Hohlraum gesetzt. Sind genügend Chromatome durch eine äussere Strahlungsquelle in den Erregungszustand versetzt, so dass die induzierte Lichtemission die Verluste des optischen Hohlräum übersteigt, so entsteht in diesem eine stehende Welle. Die durch induzierte Emission verursachte dauernde Phasenverstärkung führt in *Figur 1A* zu einer Intensitätsverstärkung der Lichtwelle, während das nichtangeregte Atom in *Figur 1B* Licht absorbiert und die Gesamtausgangsleistung reduziert. Die «Anregung» erfolgt durch eine äussere Energiequelle. Der Vorgang wird analog wie beim Maser mit «Pumpen» bezeichnet. Er ist in *Figur 1C* nach einer Versuchsschaltung von *Schawlow* und *Townes*, im sogenannten optischen *Fabry-Perot-Hohlraum* ausgeführt. Nur jenes Licht, welches entlang der Achse zwischen den beiden parallelen Spiegeln hin- und herpendelt, wird verstärkt. Alles Licht, das andere Richtungen einschlägt, verlässt sehr bald den Spiegel und geht verloren. Einer der Spiegel ist halbdurchlässig, so dass das

¹ Kohärentes Licht sind zusammenhängende Lichtwellen gleicher Wellenlänge, die zueinander in einer bestimmten, zeitlich unabhängigen Phasenbeziehung stehen.

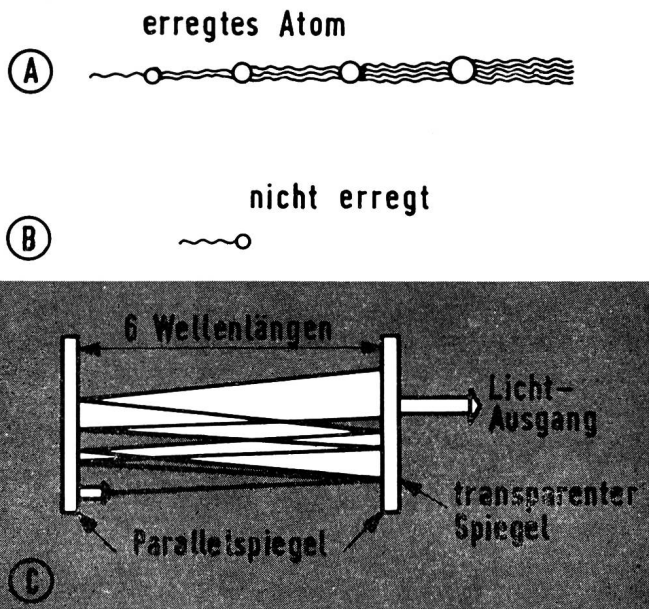


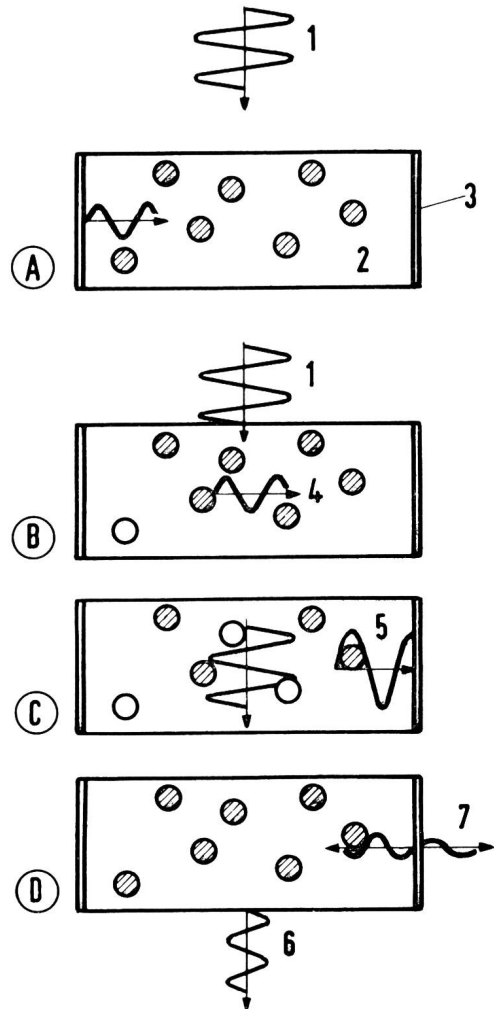
Fig. 1. A Induzierte Strahlungsemission eines Atoms im erregten Energiezustand. Die induzierte Welle wird proportional der Zahl der angeregten Atome verstärkt
 B Eine Lichtwelle, die auf ein nichterregtes Atom fällt, wird lediglich absorbiert
 C Fabry-Perot-Spiegelhohlraum zur Erzeugung von Mehrfachreflexion und dadurch höherer Verstärkung

parallele kohärente Licht als scharfgebündelte, verstärkte Welle austreten kann.

In den Figuren 2 und 3 ist der Vorgang näher erklärt:

- A) Bei Bestrahlung mit grünem Pump-Licht wird dieses von den Chromatomen (schraffiert) absorbiert; sie werden dadurch in einen Zustand höheren Energieniveaus versetzt (c in Figur 3). Die so erregten Atome emittieren spontan ein Lichtquant der Frequenz Rot und fallen dabei auf ein Zwischen-niveau (b in Figur 3) zurück. Dieses Phänomen ist die Ursache des bekannten Fluoreszierens des Rubins.
- B) Das auf das angeregte Chromatom fallende, von einem anderen Atom emittierte Rotlicht veranlasst dieses, seine noch vorhandene Energie in Form verstärkter Rotstrahlung abzugeben, welche in Phase mit dem induzierten Rotlicht ist, weshalb eine Verstärkung entsteht.
- C) Die Atome, welche so ihre Energie abgegeben haben, fallen auf das niedrigste Energieniveau (a) zurück (weisse Kreise) und müssen erst wieder durch das Pumplicht neu angeregt werden.
- D) Durch mehrmalige Reflexion zwischen den beiden Spiegeln wird eine höhere Verstärkung erreicht. Das aus dem Transparentspiegel austretende Rotlicht stellt dann die nutzbare Ausgangsleistung dar.

Leider haftet dieser verhältnismässig einfachen Ausführung der Nachteil an, dass das grüne Pumplicht äusserst lichtstark sein muss, um überhaupt eine



○ nicht erregtes Atom
 ● erregtes Atom

Fig. 2. Prinzip des optischen Masers (Erklärung im Text)

- 1 = helles Grünlicht
- 2 = Rubin
- 3 = versilberte Oberfläche
- 4 = Rotlichtwelle
- 5 = verstärkte Rotwelle
- 6 = austretendes restliches Grünlicht
- 7 = Ausgang Rotlicht

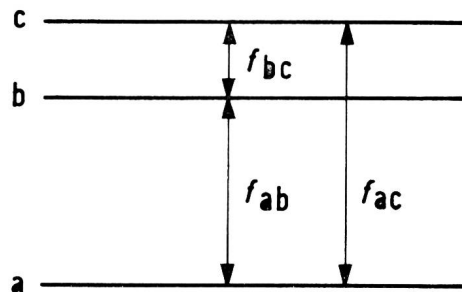


Fig. 3. Energieniveaudiagramm mit den 3 verschiedenen Energiezuständen a, b, c. Unter Einwirkung einer äusseren Pumpfrequenz f_{ac} wird das Atom aus dem unerregten Zustand a in den erregten c angehoben; beim Zurückfallen nach b wird Rotlicht emittiert usw.

Anregung zu erzielen, was sich nur impulsförmig (zum Beispiel durch Blitzlicht) erreichen lässt. Das bedeutet, dass vorderhand eine kontinuierliche Nachrichtenübermittlung noch nicht möglich ist.

Weitere Laser-Entwicklungen

Amerikanische Firmen, voran die Bell Telephone Laboratories, Hughes und *International Business Machines* (IBM), sind eifrig bemüht, noch wirksamere Laser zu finden, die auch einen kontinuierlichen Lichtstrahl zu erzeugen vermögen. Man untersuchte Kristalle aus verschiedenen seltenen Erden und Transuranen. So gelang es beispielsweise Dr. *Sorokin* und Dr. *Stevenson* mit einem Uran-III-Kristall bei $2,5 \mu$ im infraroten Wellenbereich und mit einem Samarium-Kristall bei $0,708 \mu$, bei Anregung mit einer Xenonlampe, einen ausserordentlich scharf gebündelten kontinuierlichen Lichtstrahl mit nur $\frac{1}{500}$ der für Rubin-Laser nötigen Pumpleistung zu erzeugen. In beiden Fällen sind die Kristallionen in Kalziumfluoride eingelagert, in denen sie mit etwa 0,01% die Kalziumionen ersetzen.

Javan und *Benett jr.* glückte vor kurzem ein Experiment mit einem von ihnen entwickelten sogenannten Gas-Laser, einer Gasentladungsröhre mit einer Mischung aus Helium- und Neongasen (*Figur 4*), durch die eine elektrische Ladung fliesst. Von Vorteil ist dabei, dass die Energie der inneren Entladung ausreicht, und damit äussere Pumpquellen entbehrlich macht, um die Heliumatome (ähnlich den Chrom-

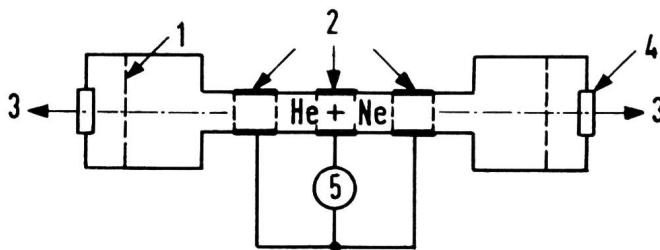


Fig. 4. Prinzip des Bell-Gas-Lasers

- 1 = durchlässige reflektierende Endplatte; beide im Abstand von 1 m
 - 2 = Elektroden
 - 3 = austretender Lichtstrahl
 - 4 = Fenster
 - 5 = HF-Generator
- Die das Gasgemisch enthaltende 1 m lange Glasröhre hat 1,5 cm Durchmesser

atomen beim Rubin) auf eine hohe Energieebene zu heben. Durch Kollision mit den Neonatomen werden diese veranlasst, ihre Energie in Form von Infrarotlicht abzustrahlen. Auch hier kommt die Lichtverstärkung durch mehrmalige Reflexion zwischen den beiden reflektierenden, durchlässigen Endplatten zustande. Da die Atome ihre Energie in verschiedenen Energieebenen ausstrahlen können, lassen sich (theoretisch) 30 verschiedene Frequenzen im Bereich von $0,9-1,7 \mu$ erzeugen.

Die Schwierigkeiten einer Modulation

So erfolgreich und vielversprechend Versuche mit unmoduliertem Licht bisher verliefen, so schwierig erweist es sich, den Lichtstrahl zu modulieren, da bisher noch keine genügend breitbandigen Detektoren und Modulationssysteme zur Verfügung stehen, die eine Trägerfrequenz von 500 Millionen MHz verarbeiten können. Die heutigen Photovervielfacher mit Bandbreiten von einigen 100 MHz genügen nicht. Gegenwärtig ist man dabei, spezielle Travelling-Wave-Systeme und Photoemissionsdetektoren wie auch Halbleiterphotodioden breitbandig zu entwickeln.

Man versucht auch, mit dem Gas-Laser amplitudenmoduliertes Licht durch Modulation der Pumpleistung für die Gasentladung zu erhalten. Auch die Anwendung eines elektrischen Feldes zur Modulation durch Ausnützung des *Stark*-Effektes² kann ein gutes Resultat ergeben. Andere Vorschläge gehen dahin, die natürliche Frequenz des Hohlraumes mit Hilfe eines piezoelektrischen Kristalls und eines lageveränderlichen Spiegels zu modulieren. *Kamirow* von den Bell Laboratories wiederum benutzte in einem Experiment transparente Kristalle aus Kaliumdiwasserstoffphosphat in einem Hohlraumresonator mit der Frequenz 9,25 GHz. Das Resultat war polarisiert moduliertes Licht, das aber noch auf das enge Band von 60 MHz beschränkt blieb. Als Empfänger wurde dabei eine Kerrzelle verwendet. Bereits bei der ersten Konstruktion konnte damit im vergangenen Jahr ein einwandfreies Telefongespräch über mehrere Kilometer geführt werden.

Praktische Anwendungen und Zukunftsaussichten

Schon die ersten Versuche mit dem Laser brachten die Erkenntnis, dass er geeignet erscheint, einen ausserordentlich breiten Informationsträger abzugeben und eine Möglichkeit bietet, mit Trägerfrequenzen im infraroten Teil des Wellenspektrums zu arbeiten, welche, wie eingangs erwähnt, Millionen von Nachrichtenkanälen zu übertragen gestatten. Interessante Möglichkeiten eröffnen sich auch für Laser-Navigationssysteme zur Erforschung des Weltraumes, beispielsweise als Leitstrahlführung einer Rakete bis zum Bestimmungsort, bei gleichzeitiger Übermittlung von Nachrichten.

Eine nicht minder aussichtsreiche Anwendung bietet das von Hughes Aircraft entwickelte optische Laser-Weitstrecken-Radar, genannt *Colidar* (*Coherent light detecting and ranging*), bei dem ein Rubinmaser verwendet wird, der einen stark gebündelten Lichtstrahl von nur etwa 1' Streuung erzeugt, der auf der Empfangsseite von einem Teleskop mit rottemperdlicher Fernsehkamera aufgenommen wird (Reichweite 3 km). Ebenso wie beim klassischen Radar benutzt man hier die Verzögerung zwischen Signal und Echo zur Entfernungsbestimmung; die Richtwirkung

² Nach J. Stark: Ein elektrisches Feld führt zur Aufspaltung der Terme (= Energiezustandszahl eines Elementes) und damit der Spektrallinien.

ist aber dabei bedeutend stärker. Durch optische Filter am Empfänger kann man störendes Sonnenlicht eliminieren, so dass Radarmessungen auch am Tage möglich sind.

Grosse Bedeutung in der Abwehr von Weitstreckenraketen dürften die unsichtbaren «Todesstrahlen», die Laser Antimissile Kill Systeme, erlangen, an denen in den USA emsig gearbeitet wird. Sie sollen entweder in Antiraketenkörper oder Satelliten eingebaut werden und sind geeignet, die feindlichen Raketen dadurch zum Abtrudeln zu bringen, dass sie in ihre Stahlwände Löcher zu brennen vermögen.

Um einen Begriff der ungefähren Kosten einer Laseranlage zu geben, sei der impulsmodulierte Rubinlaser der *Raytheon* erwähnt, der durch eine in einem elliptischen Reflektor eingebaute Blitzlichtröhre erregt wird. Der Laserkopf ist 20 cm lang und hat einen Durchmesser von 7,5 cm. Die Stromversorgung erfolgt über einen 400- μ F-Kondensator mit 2000 V (Richtpreis ungefähr 5500 Dollar).

Die Entwicklung ist noch im Fluss. Neue Elemente und Methoden müssen noch gefunden werden, um befriedigende Lösungen zu erreichen. Ohne Zweifel werden sich aber nicht nur auf dem Sektor des Nachrichtenwesens, sondern auch auf anderen Gebieten neue Möglichkeiten eröffnen, wobei die besonderen Vorzüge des Lasers zur Geltung kommen:

1. Starke Bündelungsfähigkeit

2. Absolut einwellige Lichtemission (die Spektrallinienbreite des austretenden Strahles ist 10^5 mal schmaler als die anderer Lichtquellen)
3. Daher hohe Leistungsdichte des Strahles bis zu kW-Grösse
4. Dank der hohen Trägerfrequenz, Möglichkeit sehr breitbandiger Kanalübertragungen.

Literatur

- [1] *Dacey, C.G.* Light a new communication medium. Control Eng. Sept. 8 (1961), S. 147 ff.
- [2] *Scovil, D., Feher, G., Seidel, H.* Cristal maser. Phys. Review **105** (1957), S. 762 ff.
- [3] *Malthaner, W. A.* A new concept in telephone communication. Bell Labor. Record, **39** (1961), S. 43 ff.
- [4] *Stitch, L., Woodburg, J., Morse, H.* Optical ranging system uses Laser transmitter. Electronics **34** (1961), S. 51 ff.
- [5] *Kamirow, P.* Microwave modulation of the electro-optic effect in KH_2PO_4 Physical Review Letters **6** (1961), S. 528 ff.
- [6] *Javan, A., R. Benett, Dr. Ilerriot.* Population inversion and continous optical maser oscillation in a gas discharge containing a HeNe mixture. Physical Review Letters **6** (1961), S. 112 ff.

Adresse des Autors: Dipl.-Ing. Roland Hübner, Antoniusstr. 10, Wettingen/AG.

621.352.6

Brennstoffzellen – Energiewandler von Morgen?

Le pile a combustibile – Generatori d'energia di domani?

1. Einleitung

Der Weltbedarf an elektrischer Energie steigt ständig. Entwicklung und Bau von Atomkraftwerken sind ein Beitrag zur künftigen Bedarfsdeckung. Solche Projekte sind jedoch noch keineswegs wettbewerbsfähig. Deshalb wird auch die Weiterentwicklung der konventionellen Energieerzeugung vorangetrieben. Konventionelle Energieerzeugung heisst, eine Energieform in eine andere umwandeln. Atomkraftwerke dagegen erzeugen neue Energie durch Vernichtung von Materie. Elektrische Energie wird heute z. B. in Wärmekraftwerken gewonnen. Dabei wird die chemische Energie der fossilen Brennstoffe auf dem Umweg über die Wärmeenergie in elektrische umgewandelt. Wegen des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik (Erfahrungssatz der Wärmelehre) ist diese Energieumwandlung nur unvollständig möglich. Bei Brennstoffzellen gilt eine solche Einschränkung nicht. Hochwertige chemische Energie wird hier, ohne die Zwischenstufe Wärme, unmittelbar in elektrische Energie überführt («kalte Verbrennung»).

1. Introduzione

Il consumo mondiale d'energia elettrica non cessa d'aumentare. Le centrali nucleari contribuiranno in una certa misura a coprire i bisogni futuri. Tuttavia, l'energia nucleare non può ancora essere fornita a prezzi di concorrenza. Si cerca pertanto di sviluppare i sistemi convenzionali di produzione d'energia. Generazione convenzionale d'energia significa trasformazione d'una forma d'energia in un'altra. Le centrali atomiche producono invece nuova energia distruggendo materia. L'energia elettrica è attualmente prodotta quasi esclusivamente da centrali idriche e termiche. In quest'ultimo caso, l'energia chimica dei combustibili fossili è convertita in energia elettrica tramite il calore. Il secondo principio della termodinamica dice che è impossibile trasformare tutto il calore in lavoro. Per le pile a combustibile, tale limitazione non è però applicabile. L'energia chimica di valore elevato viene in questo caso convertita direttamente in energia elettrica («combustione fredda»), senza ricorrere al ciclo intermedio del calore.