

Der Energietransport durch elektromagnetische Wellen

von Arno Weidemann, DL9AH - DL9AH@gmx.de

Der Verfasser hat im Heft 2/2014 des Funktelegramms einen Artikel mit der Überschrift: „Antennentechnik, einmal anders betrachtet“ veröffentlicht. In diesem Artikel, den man im Internet unter diesem Titel herunterladen kann, hat der Autor einige einfache Experimente beschrieben, die zu einigen zwangsläufigen Schlussfolgerungen geführt haben. Leider weichen diese von der gängigen Lehrmeinung zum Teil erheblich ab.

Weiter hinten im genannten Artikel hat er sowohl die Erzeugung von elektromagnetischen Wellen bei Sendeantennen, als auch die Abstrahlung der Sendeenergie aus seiner Sicht beschrieben. Dabei war gleichzeitig heraus gekommen, dass die Lichtgeschwindigkeit eine endliche Größe ($3 \text{ mal } 10 \text{ hoch } 8 \text{ m/sec}$) sein muss! Alles abgeleitet von realistische Gegebenheiten und unter Verwendung menschlicher Logik und unter Berücksichtigung gesicherter elektronischer Abläufe. Dieser Teil war in der Tat etwas kurz gekommen, so dass es sich lohnt, darüber tiefer gehende Überlegungen anzustellen. Auch dieses Mal hat er sich bemüht, gänzlich ohne Mathematik aus zu kommen und lediglich die elektronischen Abläufe im Prinzip zu beschreiben.

Beginnen wir mit der Sonne. Dass die Sonne mit ihren Lichtstrahlen die Erde erwärmt, ist allgemein bekannt. Dass die Lichtstrahlen nichts anderes sind als elektromagnetische Wellen, - ebenfalls. Dieser Teil des sichtbaren elektromagnetischen Frequenzspektrums liegt zwischen ca. $8,5 \text{ mal } 10 \text{ hoch } 14 \text{ Hertz}$, und ca. $3,5 \text{ mal } 10 \text{ hoch } 14 \text{ Hertz}$. Bei den tieferen Frequenzen dieses Spektrums wird für uns Menschen mehr Wärme übertragen und bei den höheren Frequenzen empfinden wir die eingestrahlte Energie eher als weniger warm. Oberhalb und unterhalb dieses sichtbaren Bereiches strahlt die Sonne auf der Basis ihrer atomaren Kernfusion aber ebenfalls elektromagnetische Wellen ab, die wir allerdings mit unseren Augen nicht empfangen und somit

nicht sehen können. Messtechnisch strahlt die Sonne bei einem absolut klaren Himmel und bei senkrechten Einfall gut ein Kilowatt elektrische Leistung pro einem Quadratmeter auf die Erde ein. Diese Energiemenge wurde als Maßeinheit „Sun“ festgeschrieben. Auf diese Maßeinheit beziehen sich z. B. die Wirkungsgrade von Solarzellen. So kann man bei z. B. bei einem Wirkungsgrad von 17% von einem Solargenerator mit einer wirksamen Fläche von einem Quadratmeter und einem „Sun“ eine elektrische Leistung von 170 Watt erwarten.

Die Frage ist nun, wie ist es möglich, mit Hilfe von elektromagnetischen Wellen sowohl elektrische Energie als auch Wärme zu übertragen? Dazu müssen wir zuerst klären, ob für die Weiterleitung von elektromagnetischen Wellen ein Medium notwendig ist, oder nicht. Bei einer Ausstellung wurde in der Vergangenheit ein großer, weich gelagerter Lautsprecher mitten in einem mittel großen Glasbehälter der Öffentlichkeit zur Schau gestellt. Die dem Lautsprecher zugeführte Musikleistung war erheblich. Man konnte durch das Glas sehen wie vor allem bei den Bässen die Membran des Lautsprechers deutliche Bewegungen machte. Danach wurde mit einer Vakuumpumpe die Luft aus dem Glasbehälter abgesaugt. Interessant war zu beobachten, dass die Lautstärke mit fortschreitender Reduzierung des Luftdruckes in dem Behälter immer geringer wurde, sodass am Ende die Musik kaum noch zu hören war, obwohl man sehen konnte, dass die Membran des Lautsprechers eher noch größere Bewegungen machte als vorher. Durch diesen Versuch wurde bewiesen, dass eine Weiterleitung von Schallwellen mit der darin steckenden akustischen Energie nur möglich ist, wenn das Medium Luft vorhanden ist. Bei Wasserwellen ist es nicht anders. Man stelle sich vor, jemand würde behaupten, es gäbe auf dem Meer Wasserwellen, aber ohne Wasser! Genau so wenig ist es vorstellbar, man könne elektromagnetische Wellen durch ein absolutes Nichts schicken. Da das Licht von sehr weit entfernten Planeten auf der Erde aber zu sehen ist, muss es auch im Kosmos ein Medium gegeben. Die Frage ist nur, welches?

Das Thema „Äther“ hat seit Hunderten von Jahren die Wissenschaft immer wieder beschäftigt, aber einer Klärung bisher nicht zuführen können. Auch der Verfasser nimmt für sich nicht in Anspruch der einzig Wissende zu sein und die einzig wahre Lösung gefunden zu haben. Aber als Realist meint er doch eine Darstellung gefunden zu haben, die einiges für sich hat und die zumindest in die elektronische Logik passt. Genau wie in dem oben aufgeführten Artikel leitet er sein Überlegungen von auf der Erde existierenden Gegebenheiten ab. Das umso mehr als man heute gesichert weiß, dass die auf der Erde existierenden Naturgesetze auch im

gesamten Kosmos Gültigkeit haben. Er benutzt dazu zunächst das im Bild 1 zu sehende „Kugelstoßpendel“. Dieses käuflich zu erwerbende Kugelstoßpendel besteht aus ca. 6 bis 10 in einer Reihe aufgehängten Stahlkugeln, die sich gerade eben berühren. Hebt man nun an einer Seite eine Kugel an und lässt sie dann auf die erste Kugel in dieser Reihe aufprallen, dann wird die Aufschlagenergie (kinetische Energie) in der Kugelreihe von einer Kugel an die nächste Kugel weiter gegeben. Dabei bewegen sich die einzelnen Kugeln nur ganz wenig. Erst die letzte Kugel, die die aufgenommene Energie deshalb nicht weiter geben kann, weil sich dahinter keine Kugel mehr befindet, wird nach oben geschleudert. Und zwar nahezu auf die gleiche Höhe wie die erste Kugel angehoben wurde.

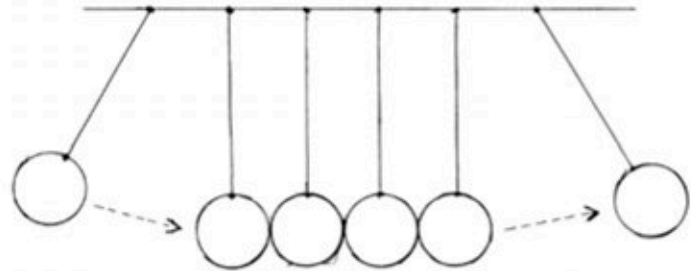


Bild 1: Schematische Darstellung eines Kugelstoß-Pendels

Diese Verhältnisse sind sinngemäß auf die Fortleitung der Strahlungsenergie durch elektromagnetische Wellen zu übertragen, fällt schon deshalb nicht schwer, weil wir wissen, dass der gesamte Kosmos aus den Atomen der verschiedenen Elemente besteht. Bei den verschiedenen Stoffen finden sich die verschiedenen Elemente zu Molekülen zusammen, bei den reinen Metallen hängen die Atome kettenweise in einem Raumgitter zusammen. Hatte das Goldblechexperiment bereits Hinweise darauf gegeben, dass viel dafür spricht, dass das „Borsche Atommodell“ tatsächlich existiert, so kann man heute mit Hilfe des Rastertunnel-Mikroskopes in der Tat die Atomstruktur einer planpolierten Metalloberfläche sichtbar machen. Durch ein spezielles Ätzverfahren wird eine extrem kleine Spitze hergestellt. Diese Metallspitze, die vorne nur noch ein einziges Atom hat, wird sehr langsam hautnah über die Oberfläche einer Metallfläche geführt. Zwischen der Spitze und der Metallfläche wird eine Spannung angelegt. Stehen sich gleiche Ladungen gegenüber, dann fließt wenig oder kein Feldemissionsstrom, stehen sich ungleiche Ladungen gegenüber, dann ist dieser Tunnelstrom größer. Die unterschiedlichen Ströme werden gesammelt und dann zu einem Bild verarbeitet. Auf diese Weise entsteht ein Bild, auf dem man die Atome, und die gleichmäßigen Abstände dieser Atome zu einander, sehen kann (vergl. Wikipedia). Bei Gasatomen, wie z.B. bei der Luft, ist eine Bindung der einzelnen Atome untereinander

grundsätzlich nicht gegeben. Im Gegenteil. Da die um den Atomkern rotierenden Elektronen alle eine gleiche negative Ladung tragen, stoßen sich die einzelnen Atome gegenseitig ab. Das wird noch dadurch unterstützt, weil jedes Atom auch noch ein Magnetfeld hat. Es entsteht durch die Rotationsbewegung der kreisenden Elektronen.

Obwohl Gasatome im Allgemeinen sehr leicht sind, haben sie dennoch eine Masse. Der größte Teil wird von dem Atomkern bestimmt. Aber auch die um den Atomkern herum rotierenden, extrem leichten Elektronen haben eine Masse. Dabei muss man noch festhalten, dass die Elektronen trotz der verschiedenen Elemente alle gleich sind. Alle Gas- oder Luftatome, einschließlich der um den Kern rotierenden Elektronen, unterliegen somit der Anziehungskraft der Erde. Das bedeutet, dass bei der großen Zahl der in der Lufthülle der Erde vorhandenen Atome sich zwangsläufig ein gewisser Luftdruck ergibt. Entfernt man sich von der Erde, so werden alle Gewichte deshalb kleiner, weil die Anziehungskraft (Gravitation) der Erde immer geringer wird. Das bedeutet gleichzeitig, dass die Luftatome sich gegenseitig weiter abstoßen können. Damit wird die Luft immer dünner oder die Gasatome rücken immer weiter auseinander. Die elektrischen Abstoßungskräfte vor allem der negativ geladenen Elektronen bleiben allerdings erhalten. Dies im Besonderen, weil die Masse der Elektronen extrem klein ist (nach neuesten Messungen = $9,1 \cdot 10^{-28}$ Gramm). Insofern gibt es nach der Auffassung des Autors auch keinen luftleeren Raum und damit auch kein absolutes Vakuum.

Die nächste Frage ist: Was ist Energie? Unter Energie versteht man etwas, was in der Lage ist, Arbeit zu verrichten. Um zunächst die von der Sonne eingestrahlte Wärmeenergie zu verstehen, muss man zuerst klären, was Wärme überhaupt ist. Beim absoluten Nullpunkt, also bei minus 273 Grad Celsius, oder 0 Kelvin, stehen alle Atome in ihrer jeweiligen Position still. Die Elektronen kreisen allerdings weiter um ihren Kern. Führt man diesen Atomen nun Wärmeenergie zu, so beginnen sie unregelmäßig hin und her zu schwingen. Je mehr Wärmeenergie man den Atomen zu führt, also mit immer weiter steigender Temperatur, um so mehr schwingen die Atome unregelmäßig hin und her. Das heißt, die eingespeiste Wärmeenergie, die von anderen unregelmäßig schwingenden Atomen kommt, stößt die betrachteten Atome an.

Ein Dozent des Verfassers hat das einmal auf folgende Art leicht vorstellbar veranschaulicht: Man stelle sich vor, in einer Ecke einer Boxhalle hätte jemand 50 Punching-Bälle an Gummibändern in unterschiedliche Höhen,

aber so dicht aufgehängt, dass sich ein Raumgitter ergibt. Punching-Bälle sind Fußball große Leder- oder Plastikbälle, die beweglich aufgehängt werden damit die Boxer ihre Reflexe trainieren können. Dann stelle man sich weiter vor, jemand würde mit einer schweren Latte einmal quer durch diesen Pulk von 50 Bällen schlagen. Die Folge wäre, dass sich alle Punching Bälle wild hin und her, aber unregelmäßig zu einander bewegen würden. Im übertragenden Sinne ist es bei den erwärmten Atomen nicht anders. Da alle verschiedenen Energieformen letztlich nahezu auf die von der Sonne mit Hilfe der elektromagnetischen Wellen eingestrahlte Wärmeenergie zurück gehen, bedeutet das zwangsläufig, dass durch die elektromagnetischen Wellen eine Anstoßenergie übertragen wird. Das ist in der Praxis tatsächlich leicht dadurch zu erkennen, weil z.B. schwarze Autos in der Sonne eine Innentemperatur von über 90 Grad Celsius entwickeln, obwohl die Lufttemperatur z.B. nur 20 Grad warm ist. Konsequenz zu Ende gedacht bedeutet das wiederum, dass die in der Frontseite der elektromagnetischen Wellen enthaltenen elektrischen Energiepakete die Atome in der schwarzen Autofarbe anstoßen, sodass diese dann unregelmäßig hin und her schwingen.

Um die Sichtweise des Verfassers in Bezug auf die Erzeugung von elektromagnetischen Wellen z.B. auf den UKW-Frequenzen besser zu verdeutlichen, zunächst ein kleiner Umweg. Man stelle sich vor, man würde einen Fahrradschlauch gegenüber dem Ventil durchschneiden und die beiden Enden wieder luftdicht verkleben. Dann wird dieser Schlauch horizontal aufgehängt und mittelmäßig aufgepumpt. In der Mitte wird nun eine Pumpe angebracht, die in der Lage ist, wechselweise die Luft von der einen Schlauchseite in die andere zu pumpen. Betrachten wir einmal diesen gedachten Vorgang in Zeitlupe, so wird immer dann, wenn die Luft von z.B. von der rechten Seite in die linke Seite gepumpt wird, die rechte Seite schlapper und die linke Seite dicker. Dreht sich die Pumpe weiter in eine durchlässige Position, so gleicht sich der unterschiedliche Druck wieder aus. Dreht sie sich noch weiter und schaufelt sie die Luft von der linken Seite in die rechte Seite, dann wird die rechte Seite dicker und die linke dünner.

Hängen wir nun einen Dipol mit vergleichbarer Länge der Anschauung wegen darunter, so sind jetzt die elektronischen Verhältnisse nicht anders (Bild 2). Die bei einem Dipol in der Mitte eingespeiste Sendeenergie ist vergleichbar mit einer Elektronenpumpe. Die im Antennendraht um die Metallatome kreisenden Elektronen entsprechen den Luftatomen. Sind die elektrischen Polungen so, dass Elektronen von der rechten Seite in die

linke Seite „gepumpt“ werden, dann wird dort der Elektronendruck größer, fällt im Zuge der Wechsellspannung die Amplitude bis zum Nulldurchgang ab, so gleicht sich - auch im Zuge der Resonanz - die Ladung wieder aus. Steigt die Amplitude in der Gegenrichtung an, so werden von der linken Seite die Elektronen in die rechte Seite „gepumpt“. Die freien Leitungselektronen haben zwar selbst eine langsame Geschwindigkeit, aber wenn z.B. bei 3 Ampere (= 3 mal $6,28 \cdot 10^{18}$ Elektronen) von der rechten Seite in die linke fließen, so erhöht sich in der linken Seite zwangsläufig der Elektronendruck. Die einfließenden negativ geladenen Elektronen verdrängen die ersten im Metall vorhandenen auf der äußeren „Schale“ leicht von den Atomen zu lösenden Valenzelektronen, so dass diese sich weiter nach links bewegen. Da sich damit die verschobenen Elektronen jetzt den nächsten Umlaufbahnen nähern, werden auch hier die Valenzelektronen vom Atomkern getrennt und auch verdrängt u. s. w. Dieser Verdrängungsprozess durchläuft die ganze Länge des Drahtes bis zum Ende und zwar grundsätzlich mit Lichtgeschwindigkeit, der sogenannten Anstoßgeschwindigkeit. Durch den Einfluss der Umgebungstemperatur von immerhin beinahe 300 Kelvin auf der Erde, und durch das damit verbundene unregelmäßige hin und her Schwingen der Atome im Draht, beträgt die Signal- oder Anstoß-Geschwindigkeit in Drähten messtechnisch in der Länge allerdings nur c.a. 80% von c. Durch die einfließenden negativ geladenen Elektronen wird die negative Ladung auf der linken Seite insgesamt deshalb immer größer, weil die Gesamtladung nichts anderes ist als eine Addition der Einzelladungen. Die negative Spannungs-Überhöhung wird auf der linken Seite also immer größer. Das im Besonderen im Resonanzfall und am Ende des Drahtes, weil sich hier die Elektronen zu einem größeren Teil zwangsläufig sammeln müssen, denn dahinter sind keine Drahtatome mehr. Auf der rechten Seite, von der ja die Elektronen abgesaugt worden sind, entsteht zwangsläufig ein Elektronenmangel, was hier zu einem positiven Potential führt.

Alle Atome haben umlaufende Elektronen. Überall wo sich Elektronen bewegen, also wo ein elektrischer Strom fließt, entsteht ein magnetisches Feld. Alle Elektronen haben also nicht nur elektrische an- und abstoßende Kräfte, sondern auch magnetische. Diese vor allem magnetischen Verhältnisse führen dazu, dass der Strom durch den Draht, vor allen Dingen bei schnell wechselnden Richtungen - also bei Hochfrequenzströmen - nach außen auf die Oberfläche verdrängt wird (Skinneffekt).

Bei den auf der Außenhaut befindlichen Atomen führt der hoch auflaufende Elektronendruck allerdings dazu, dass sich die verbleibenden Elektronenumläufe um die Atomkerne nach außen ausbeulen. Also sich ellipsenförmig gegenüber dem Atomkern verschieben. Das ist verständlich, denn nach außen befindet sich ja kein fest gebundenes Nachbaratom mehr. Dort befinden sich lediglich nur durch die Gravitation auf der Oberfläche der Erde gehaltenen, aber untereinander nicht gebundenen, Luft- oder Gasatome. Bei denen kommt es nun ebenfalls zu einem verdrängenden Verschiebestrom zwischen dem Atomkern und den Elektronen-Orbits, der sich dann im 90-Gradwinkel zur Spannrichtung von der Antenne weg bewegt (Bild 2).

Bild 2: Schemat. Darstellung der Elektronen- Umlaufverschiebung um den Atomkern (Verschiebestrom)



Die Atomkerne mit ihrer positiven Ladung werden hingegen von dem negativen Potential auf der Antenne angezogen. Dieser atomare, ellipsenförmige Verschiebestrom pflanzt sich nun von der Antenne mit Lichtgeschwindigkeit ins All fort, auch wenn die Abstände der Gasatome untereinander immer größer werden. Selbst in großen Entfernungen kommen die ellipsenförmig verschobenen Ketten der Elektronenbewegungen noch an. Da auch Elektronen eine Masse haben, haben sie auch eine kinetische Energie. Diese trifft irgendwo auf und versetzt z.B. die dort vorhandenen Atome ins Schwingen. Wärmeenergie kann so übertragen werden. Gleichmaßen können diese wellenförmigen Energieanteile aber auch in einer Empfangsantenne Elektronenbewegungen hervorrufen, sodass eine Empfangsantenne einen Teil der Sendeenergie aufnimmt. Wieviel hängt natürlich von der Entfernung und einer Reihe von anderen Faktoren ab.

Bleibt noch die Frage: Warum sind hohe Frequenzen „härter“ als niedrige und warum wird bei gleicher Fläche immer mehr Energie übertragen? Kehren wir noch einmal zu unserem Kugelstoßpendel zurück. Würde man alle 10 Sekunden einmal die erste Kugel anheben und auf die Kugelreihe aufprallen lassen, und würde man hinten die hoch fliegende Kugel eine Arbeit verrichten lassen - z.B. in dem man sie als Klöppel auf eine Glocke aufschlagen lässt - so hätte man pro Zeiteinheit nur eine geringe Energie übertragen. Würde man nun alle 2 Sekunden die erste Kugel aufprallen lassen, also die 5-fache Energie einspeisen, so würde am Ende der Kette auch 5 mal so viel Arbeit verrichtet. Die Schallenergie der Glocke würde auf den 5-fachen Wert steigen. Die Frequenz, also die Häufigkeit pro Sekunde, ist also eine wichtige Größe für die Übertragung von Energie. Bei

hohen Frequenzen, bei denen immer mehr Periodenabläufe mit den positiven und negativen Halbwellen zwangsläufig gegeben sind, wird die Flankensteilheit zudem immer steiler. Das heißt, mit der steiler werdenden Flanke z.B. wird das ellipsenförmige Verschieben der Umlaufbahnen nach außen immer schneller. Außerdem geschieht das bei gleich bleibender Fläche immer häufiger pro Sekunde. Die elektromagnetischen Wellen werden immer „härter“, und können dadurch z.B. auch immer festere Materialien durchdringen. Die höheren Frequenzanteile des Lichtes im Bereich von blau bis ultraviolett (Wellenlänge kleiner als 350 nm) können z. B. sehr deutliche Verbrennungen der Haut erzeugen. Gehen wir mit der Frequenz noch weiter nach oben, etwa oberhalb von $3 \cdot 10^{15}$ Hz, dann kommen wir in den Bereich der ionisierenden Strahlen. Hier sind die elektromagnetischen Wellen bereits so hart und so energiereich, dass sie bereits Ionen zerschlagen und damit verändern können, wie z.B. bei den Röntgen- oder nuklearen Strahlen.

Und nun ein letzter Punkt. Wie kann man sich die endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen und damit des Lichtes, vorstellen. Nachdem wir nun auch alle anderen Vorgänge von atomaren und elektronischen Bewegungen abgeleitet haben, erhebt sich nun die Frage: wie kann man die höchste Geschwindigkeit erreichen. Dazu wieder ein kleiner Umweg. Wenn man Dominosteine in einer Reihe aufstellt und den ersten Stein umkippt, dann pflanzt sich dieser Kippvorgang mit einer Geschwindigkeit in der Reihe fort, die man noch mit dem Auge verfolgen kann. Würde man die Dominosteine aus großen, schweren Betonklötzen herstellen, und würde man damit den Vorgang wiederholen, dann wäre die Fortpflanzungsgeschwindigkeit erheblich kleiner. Würde man andererseits die Masse und das Gewicht der Dominosteine wesentlich verkleinern, so wäre die Fortpflanzungsgeschwindigkeit wesentlich größer. Da nun Elektronen die kleinste uns bekannte Masse haben, erscheint es logisch, dass man diese kleine Masse auch besonders schnell beschleunigen kann. Und das auch noch angenehmerweise mit Hilfe von Elektrizität. Wenn also das Massegewicht letztendlich die Geschwindigkeit bestimmt, dann erscheint es wiederum logisch, dass es nur eine endliche Geschwindigkeit geben kann, also ca. $3 \cdot 10^8$ m/sec. Nach dieser Betrachtungsweise wäre eine höhere Anstoßgeschwindigkeit nicht möglich (vergl. Einstein). Sehr wohl aber eine kleinere, wie praktisch in Drähten oder den Lichtstrahlen im Wasser.

Der Verfasser hat auf einfache Art und Weise versucht, schematisch seine Sicht der Dinge dar zu legen. Dass seine Darstellungen nicht vollkommen sein können, liegt auf der Hand. Ihm ist klar, dass vor allem Physiker zunächst Vorbehalte vorbringen werden. Dies um so mehr, als einige Sichtweisen von der bestehenden Lehrmeinung abweichen. Betrachtet man diese ganzen Vorgänge allerdings einmal mit etwas Abstand, so muss man feststellen, dass viele Dinge bereits als wissenschaftlich gesichert gelten, andere als rein hypothetisch an zu sehen sind, wie vieles andere in solchen Bereichen auch. Trotzdem kann man auf der Basis dieser Art der Betrachtung insgesamt in der Praxis zu erstaunlichen Ergebnissen kommen. Sicher ist es im Allgemeinen richtig, sich an die geltende Lehrmeinung zu halten. Mindestens in Einzelfällen ist es aber manchmal ratsam, eigene Überlegungen an zu stellen und die Angaben zu überprüfen. Hätte z.B. Lee de Forest nicht die erste Triode erfunden, so würde man heute immer noch glauben, der elektrische Strom würde im äußeren Teil eines Stromkreises von Plus nach Minus fließen!!!...?... (HI).

Arno Weidemann, DL9AH, Radio- und Fernsehtechnikermeister, Blücherstr. 69, 44866 Bochum,
Tel./Fax: 02327/10454