

Aus: Wissenschaftliche Arbeiten von James Clerk Maxwell, Band II

(Seiten 311 bis 315)¹⁾

[Aus den Veröffentlichungen der Königlichen Institution Großbritanniens, Band VII]²⁾

Übersetzung aus dem Englischen (2014):

Dr. Manfred Pohl, Deutschland

E-Mail: unipohl@aol.com

Netz: www.unipohl.de

LIV. Über die Fernwirkung

Ich habe Ihnen heute Abend keine neue Entdeckung vorzutragen. Ich muß Sie bitten, über sehr alten Boden zu gehen, und Ihre Aufmerksamkeit auf eine Frage zu richten, die immer und immer wieder gestellt wurde, seit die Menschen zu denken begannen.

Die Frage besteht in der Übertragung einer Kraft. Wir sehen, daß zwei Körper in einem Abstand voneinander eine gegenseitige Beeinflussung auf die Bewegung ausüben. Hat diese Wechselwirkung eine Abhängigkeit von der Existenz einer dritten Sache, einem Medium der Kommunikation, das den Raum zwischen den Körpern besetzt, oder wirken die Körper aufeinander sofort, ohne das Eingreifen von irgend etwas anderem?

Der Modus, an den Faraday³⁾ gewöhnt war, Phänomene dieser Art zu betrachten, unterscheidet sich von den Annahmen vieler anderer moderner Fragensteller, und mein besonderes Ziel ist es, Ihnen zu ermöglichen, sich der Faraday-Sicht zu stellen und den wissenschaftlichen Wert der Konzeption der Kraftlinien zu erkennen, die in seiner Hand zum Schlüssel für die Wissenschaft der Elektrizität wurde.

Als wir beobachteten, wie ein Körper auf einen anderen auf Distanz wirkt, bevor wir davon ausgingen, daß diese Wirkung direkt und unmittelbar erfolgt, fragten wir in der Regel, ob es eine materielle Verbindung zwischen den beiden Körpern gibt; und obgleich wir keine Bänder oder Stäbe oder Mechanismen jeglicher Art feststellen konnten, die in der Lage wären, eine Erklärung für die beobachtete Wirkung zwischen den Körpern zu geben, bevorzugten wir, die Wirkung mit Hilfe dieser Zwischenverbindungen zu erklären, anstatt den Begriff der direkten Fernwirkung zuzugeben.

Wenn wir zum Beispiel eine Glocke mittels eines Bandes läuten, so sind die angereichten Teile des Bandes zuerst gespannt und dann bewegt, bis schließlich die Glocke klingt in einem Abstand, in dem alle dazwischen befindlichen Teilchen des Bandes einen nach dem anderen Anteil haben. Wir können auch eine Glocke in einem Abstand auf andere Art läuten, indem wir Luft in eine lange Röhre pressen, an deren anderem Ende ein Zylinder mit einem Kolben ist, der herausgedrückt wird und auf die Glocke schlägt. Wir können auch einen Draht verwenden, aber anstatt an ihm zu ziehen, können wir an einem Ende eine galvanische Batterie anschließen und am anderen Ende einen Elektromagneten, und damit können wir die Glocke durch elektrischen Strom läuten.

Das sind drei verschiedene Möglichkeiten, eine Glocke zu läuten. Alle sind gleich in dem Umstand, daß zwischen dem Läutenden und der Glocke eine nichtunterbrochene Kommunikationsleitung besteht, und daß an jedem Punkt dieser Leitung einige physikalische Prozesse ablaufen, mit denen die Wirkung von einem Ende zum anderen übertragen wird. Der Prozeß der Übertragung wirkt nicht sofort, sondern schrittweise, so daß es ein Zeitintervall gibt, bis der Impuls von einem zum anderen Ende der Kommunikationsleitung gelangt. Wenn der Impuls auf den Weg gegeben wurde, hat er das andere Ende noch nicht erreicht.

Es ist daher klar, daß in vielen Fällen die Wirkung zwischen den Körpern, die sich in einem Abstand befinden, durch eine Reihe von Vorgängen zwischen jedem der aneinandergereihten Paare aus einer Reihe von Objekten erfolgen kann, die den Zwischenraum einnehmen; und es wird von den Befürwortern der mittelbaren Wirkung gefragt, ob es in den Fällen, in denen wir in dem Zwischenraum kein Medium wahrnehmen, philosophisch zu vertreten ist, von der Existenz eines Mediums auszugehen, das wir derzeit nicht erkennen, als anzunehmen, daß ein Körper an einem Ort wirkt, an dem er nicht ist.

Für eine Person, die nichts von den Eigenschaften der Luft weiß, wird eine Kraftübertragung mittels dieses unsichtbaren Mediums in eine Entfernung als unerklärlich erscheinen wie jedes andere Fernwirkungsbeispiel, und dennoch können wir in diesem Fall den gesamten Prozeß erklären und die Geschwindigkeit bestimmen, mit der die Wirkung von einem Abschnitt zum anderen des Mediums weitergeleitet wird.

Warum sollten wir nicht zugeben, daß die bekannte Art der Bewegungskommunikation durch Schie-

ben und Ziehen mit unseren Händen eine Variante der Veranschaulichung aller Wirkungen zwischen Körpern ist, auch in Fällen, in denen wir nichts zwischen den Körpern vorfinden, die an der beobachteten Wirkung teilnehmen?

Es gibt zum Beispiel eine Art Anziehungskraft, mit der Professor Guthrie ⁴⁾ uns vertraut gemacht hat. Eine Platte ist in Schwingungen versetzt worden und wird dann in der Nähe eines beleuchteten Körpers gebracht, der sofort beginnt, sich in Richtung der Platte zu bewegen, als ob er in diese Richtung von einer unsichtbaren Schnur gezogen würde. Was ist das für eine Schnur? Sir W. Thomson ⁵⁾ hat darauf hingewiesen, daß in einer sich bewegenden Flüssigkeit der Druck am kleinsten ist, wo die Geschwindigkeit am größten ist. Die Geschwindigkeit der Schwingungsbewegung der Luft ist in der Nähe der Scheibe am größten. Daher wird der Druck der Luft auf dem beleuchteten Körper auf der Seite der Scheibe kleiner sein als auf der gegenüberliegenden Seite, der Körper weicht dem höheren Druck aus und bewegt sich in Richtung der Scheibe.

Die Scheibe wirkt daher nicht, wo sie nicht ist. Sie setzt die Luft neben ihr durch Druck in Bewegung, Diese Bewegung wird in immer weiter entfernte Abschnitte der Umgebung übertragen und erzeugt somit zur gegenüberliegenden Seite des Körpers eine Druckdifferenz, wodurch sich der Körper in Richtung der Scheibe bewegt. Die Kraft ist daher eine Kraft der alten Schule – ein Fall von vis a tergo – eines Stoßes von hinten.

Die Anhänger der Lehre der Fernwirkung konnten aber durch solche Argumente nicht zum Schweigen gebracht werden. Mit welchem Recht, sagen sie, können wir behaupten, daß ein Körper nicht dort wirken kann, wo er nicht ist? Sehen wir etwa keinen Abstand bei der Fernwirkung im Falle eines Magneten, der auf einen anderen Magneten nicht nur in einem Abstand wirkt? Und ist es dabei nicht sogar völlig gleichgültig, welche Natur das Medium hat, das den Zwischenraum einnimmt? Wenn der Vorgang von etwas abhängt, das den Raum zwischen den beiden Magneten einnimmt, kann es mit Sicherheit nicht gleichgültig sein, ob dieser Raum mit Luft gefüllt ist oder nicht, oder ob Holz, Glas oder Kupfer zwischen die Magneten gesetzt wurde.

Nebenbei bemerkt, Newtons ⁶⁾ Gravitationsgesetz, mit dem jede astronomische Beobachtung stets nur sicherer dargestellt wird, behauptet nicht nur, daß die Himmelskörper auf einander über immense Abstände im Raum wirken, sondern daß zwei Materieteilchen, die tausend Meilen tief im Inneren der Erde, und andere einhunderttausend Meilen tief im Körper der Sonne verborgen sind, genau mit der gleichen Kraft aufeinander einwirken, als wenn die Schichten, unter denen sich jedes verbirgt, nicht vorhanden wären. Wenn ein Medium an diesem Übertragungsvorgang teilnähme, müßte es sicherlich ein Unterschied sein, ob der Raum zwischen den Körpern nichts anderes als dieses Medium enthält, oder ob er mit der dichten Materie der Erde oder der Sonne besetzt ist.

Doch die Befürworter der direkten Fernwirkung sind nicht zufrieden mit Fällen dieser Art, in denen die Phänomene auf den ersten Blick ihre Lehre zu stützen scheinen. Sie befördern ihre Ergebnisse in das gegnerische Lager und versichern, daß, selbst wenn die Wirkung offenbar der Druck der angrenzenden Materieteilchen ist, die Berührung nur scheinbar ist – daß immer ein Raum zwischen den Körpern ist, die aufeinander wirken. Sie behaupten, kurz gesagt, daß sie weit weg davon sind, die Fernwirkung als unmöglich anzusehen, daß es die einzige Art von Wirkung ist, die überhaupt stattfindet, und daß die beliebten alten vis-a-tergo-Vorstellungen der Schulen in der Natur keinen Bestand haben und nur in der Phantasie der Scholastiker existieren.

Der beste Weg zu beweisen, daß ein Körper, der gegen einen anderen drückt, diesen nicht berührt, ist, den Abstand zwischen ihnen zu messen. Nehmen wir zwei Glaslinsen, von denen eine mittels eines Gewichts gegen die andere gedrückt wird. Mit Hilfe einer elektrischen Beleuchtung erhält man auf einem Schirm ein Bild der Stelle, an der die eine Linse gegen die andere gedrückt wird. Auf dem Schirm wird eine Reihe von Farbringen abgebildet. Diese Ringe wurden zum ersten Mal von Newton ⁶⁾ beobachtet und erklärt. Die spezielle Farbe jedes Rings ist abhängig von der Entfernung zwischen den Oberflächen der Glasstücke. Newton schrieb eine Tabelle mit den entsprechenden Farben in verschiedenen Abständen, so daß wir durch Vergleichen der Farbe jedes Ringes mit Newtons Tabelle den Abstand zwischen den Oberflächen an diesem Ring feststellen können. Die Farben sind in Ringen angeordnet, weil die Oberflächen sphärisch sind, und somit ist der Abstand zwischen den Oberflächen abhängig vom Abstand von der Linie, die die Mittelpunkte der Sphären verbindet. Der zentrale Fleck der Ringe zeigt den Ort, an dem die Linsen am nächsten zueinander sind, und jeder nachfolgende Ring entspricht einer Vergrößerung von etwa einem 4000stel Millimeter der Entfernung der Oberflächen.

Die Linsen werden nun mit einer Kraft, die dem Gewicht einer Unze entspricht, zusammengedrückt; aber es gibt noch einen meßbaren Abstand zwischen ihnen, auch an der Stelle, an der sie am nächsten zusammen sind. Sie sind nicht in optischem Kontakt. Um dies zu beweisen, verwende ich ein größeres Gewicht. Eine neue Farbe entsteht am zentralen Fleck, und die Durchmesser aller Ringe

nehmen zu. Dies zeigt, daß die Oberflächen jetzt näher als vorher sind, aber sie sind noch immer nicht in optischem Kontakt, denn wenn sie es wären, würde der zentrale Fleck schwarz sein. Ich erhöhe nun das Gewicht, um die Linsen in optischen Kontakt zu drücken.

Aber was wir optischen Kontakt nennen, ist kein realer Kontakt. Optischer Kontakt bedeutet nur, daß der Abstand zwischen den Oberflächen viel kleiner ist als die Wellenlänge des Lichts. Um zu zeigen, daß die Oberflächen nicht in wirklichen Kontakt sind, entfernen ich das Gewicht. Die Ringe ziehen sich zusammen, und mehrere von ihnen verschwinden in der Mitte. Nun ist es auch möglich, zwei Glasscheiben so fest miteinander zu verbinden, so nahe beieinander, daß man sie gar nicht mehr trennen kann, sondern sie so aneinander haften, daß sie beim Auseinanderreißen zerbrechen würden, aber nicht an der Kontaktstelle, sondern abseits davon. Die Gläser müssen dann viele Grade näher zueinander sein, als in bloßem optischen Kontakt.

Damit ist gezeigt, daß Körper, die wir gegeneinander zu pressen beginnen, dennoch einen meßbaren Abstand zueinander haben, und selbst wenn sie mit großer Kraft zusammengedrückt werden, treten sie nicht in absoluten Kontakt, sondern sie können noch um viele Grade näher zueinander gebracht werden.

Warum also, sagen wir den Befürwortern der direkten Kontaktwirkung, sollten wir weiterhin an der Lehre festhalten, die nur auf groben Erfahrungen eines pro-wissenschaftlichen Zeitalters gegründet ist, daß Materie nicht dort wirken kann, wo sie nicht ist, statt zuzugeben, daß alle Tatsachen, aus denen unsere Vorfahren schlußfolgerten, daß Kontakt erforderlich ist, in Wirklichkeit Fälle von Fernwirkung waren, jedoch der Abstand zu klein war, um ihn mit ihren unvollkommenen Beobachtungsmitteln messen zu können?

Wann immer wir die Gesetze der Natur entdecken wollen, müssen wir dies durch Herausfinden möglichst genauer Kenntnisse der Tatsachen der Natur tun, um damit mehr Licht in diese Gesetze zu bringen, und nicht mit aufpolierter philosophischer Sprache der unbegründeten Meinungen von Männern, die keine Kenntnis von den Tatsachen hatten, argumentieren. Und von denjenigen, die ätherische oder andere Medien einführen, um ihre Meinungen zu begründen, ohne direkte Beweise für die Existenz solcher Medien oder andere verständliche Erklärungen zu haben, wie diese Medien funktionieren, und die den ganzen Raum drei- bis viermal mit Äthern der verschiedensten Sorten füllen, sprechen die wenigsten über ihre philosophischen Zweifel und geben nicht zu, daß die Fernwirkung eine bessere Erklärung ist.

Wenn der Fortschritt der Wissenschaft mit Newtons erstem Bewegungsgesetz geregelt wäre, so wäre es doch leicht, die Meinungen mit fortschreitender Zeit zu kultivieren. Wir müßten nur noch die Wissenschaft von heute mit der von vor fünfzig Jahren vergleichen, und durch Erstellen einer geometrischen Linie des Fortschritts könnten wir den Stand der Wissenschaft nach fünfzig Jahren vorhersagen.

Der Fortschritt der Wissenschaft in Newtons Zeit bestand in der Abschaffung eines Himmelsaufbaus, mit dem Generationen von Astronomen den Himmel belastet hatten, um mit ihm „Spinnweben aus dem Himmel zu fegen“. Obwohl die Planeten schon von ihren Kristallkugeln befreit waren, schwimmen sie noch immer in den Wirbeln Descartes'. Magneten waren umgeben mit Wolkengebilden, elektrisch geladene Körper waren umgeben von Atmosphären, deren Eigenschaften in keiner Weise den ordentlichen Wolken und Atmosphären ähnelten.

Als Newton gezeigt hatte, daß die Kraft, die auf jeden Himmelskörper wirkt, von seiner relativen Position in bezug auf die anderen Körper abhängt, traf die neue Theorie auf heftigen Widerstand der fortgeschrittenen Philosophen dieser Tage, die die Gravitationslehre als eine Rückkehr zu längst überholten Methoden betrachteten, welche alles mit okkulten Ursachen, einleuchtenden Darlegungen und dergleichen zu erklären versuchten.

Newton selbst antwortete mit einer klugen Mäßigung, die charakteristisch für alle seine Vermutungen ist, daß er keinen Anspruch auf die Erklärung des Mechanismus erhebt, durch den die Himmelskörper aufeinander wirken. Die Feststellung der Tatsache, daß die gegenseitige Wirkung der Körper aufeinander von ihrer relativen Position zueinander abhängt, war ein großer Schritt in der Wissenschaft, und Newton sagte, er habe diesen Schritt getan. Den Prozeß zu erklären, wie diese Wirkung erfolgt, wäre ein weiterer Schritt, und diesen Schritt hat Newton in seiner *Principia* nicht zu erklären versucht.

(Fußnoten vom Übersetzer eingefügt)

¹⁾ **James Clerk Maxwell** (geb. 13. Juni 1831 in Edinburgh; gest. 5. November 1879 in Cambridge) war ein schottischer Physiker. Er entwickelte einen Satz von Gleichungen (die Maxwellschen Gleichungen), welche die Grundlagen der Elektrizitätslehre und des Magnetismus bilden. Sie sind eine der

wichtigsten Leistungen der Physik und Mathematik des 19. Jahrhunderts. 1866 entwickelte er die kinetische Gastheorie und gilt damit als einer der Begründer der Statistischen Mechanik neben dem später wirkenden Ludwig Boltzmann. Die klassische Geschwindigkeitsverteilung von Gasmolekülen (Maxwell-Boltzmann-Verteilung) ist nach beiden benannt. Er veröffentlichte im Jahre 1861 die erste Farbfotografie als Nachweis für die Theorie der additiven Farbmischung.

²⁾ Die **Royal Institution of Great Britain** (Königliche Anstalt von Großbritannien, im englischen Sprachraum oft verkürzt: Royal Institution) ist eine Organisation, die sich wissenschaftlicher Ausbildung und der Forschung widmet. Am 7. März 1799 wurde im *Soho Square House* des Präsidenten der Royal Society Joseph Banks in London nach einem Entwurf von Sir Benjamin Thompson, genannt Graf Rumford, die Royal Institution gegründet. Anwesend waren führende britische Wissenschaftler der Zeit, unter anderen Benjamin Thompson, Sir Joseph Banks, Henry Cavendish und ihr erster Präsident George Finch. Hauptaufgaben der Royal Institution war erstens die rasche und wirkungsvolle Verbreitung nützlicher Erfindungen und Verbesserungen und zweitens eine breitgefächerte pädagogisch-publizistische Vermittlung technischen Wissens und der Anwendung neuer und verbesserter Methoden, Geräte und Maschinen für Ackerbau, Handwerk und Industrie, durch Vorträge, Publikationen, Führungen und ständige Ausstellungen.

³⁾ **Michael Faraday** (geb. 22. September 1791 in Newington, Surrey; gest. 25. August 1867 in Hampton Court Green, Middlesex) war ein englischer Naturforscher, der als einer der bedeutendsten Experimentalphysiker gilt. Faradays Entdeckungen der „elektromagnetischen Rotation“ und der elektromagnetischen Induktion legten den Grundstein zur Herausbildung der Elektroindustrie. Seine anschaulichen Deutungen des magneto-optischen Effekts und des Diamagnetismus mittels Kraftlinien und Feldern führten zur Entwicklung der Theorie des Elektromagnetismus. Bereits um 1820 galt Faraday als führender chemischer Analytiker Großbritanniens. Er entdeckte eine Reihe von neuen Kohlenwasserstoffen, darunter Benzol und Buten, und formulierte die Grundgesetze der Elektrolyse.

⁴⁾ **Frederick Guthrie** (geb. 15. Oktober 1833 in London; gest. 21. Oktober 1886 ebenda), englischer Physiker und Chemiker. Er war der Bruder des Mathematikers und Botanikers Francis Guthrie. Guthrie studierte am University College London sowie in Heidelberg und Marburg. Zwischen 1858 und 1860 arbeitete er als Assistent bei Professor Playfair in Edinburgh und übernahm 1860 eine Professur am Royal College auf Mauritius, wo er bis 1866 tätig war.

⁵⁾ **William Thomson**, 1. Baron Kelvin, meist als Lord Kelvin auch Kelvin of Largs bezeichnet, (geb. 26. Juni 1824 in Belfast, Nordirland; gest. 17. Dezember 1907 in Netherhall bei Largs, Schottland) war ein in Irland geborener britischer Physiker. Er war von 1846 bis 1899 Professor für theoretische Physik in Glasgow und forschte hierbei hauptsächlich auf den Gebieten der Elektrizitätslehre und der Thermodynamik. Ein Ergebnis war bereits 1848 eine Arbeit zur Thermodynamik auf Basis der Carnotschen Wärmetheorie, in der er unter anderem die nach ihm benannte absolute Kelvin-Skala einführte. Deren Einheit „Kelvin“ ist in ihrer heutigen Form die seit 1968 gesetzlich festgelegte SI-Einheit der Temperatur.

⁶⁾ **Isaac Newton** (geb. 25. Dezember 1642 ^{julian. Kal.} / 4. Januar 1643 ^{greg. Kal.} in Woolsthorpe-by-Colsterworth in Lincolnshire; gest. 20. März 1726 ^{julian. Kal.} / 31. März 1727 ^{greg. Kal.} in Kensington) war ein englischer Naturforscher und Verwaltungsbeamter. In der Sprache seiner Zeit, die zwischen natürlicher Theologie, Naturwissenschaften und Philosophie noch nicht scharf trennte, wurde Newton als Philosoph bezeichnet. Isaac Newton ist der Verfasser der *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, in denen er mit seinem Gravitationsgesetz die universelle Gravitation und die Bewegungsgesetze beschrieb und damit den Grundstein für die klassische Mechanik legte. Fast gleichzeitig mit Gottfried Wilhelm Leibniz entwickelte Newton die Infinitesimalrechnung. Er verallgemeinerte das binomische Theorem mittels unendlicher Reihen auf beliebige reelle Exponenten. Bekannt ist er auch für seine Leistungen auf dem Gebiet der Optik: Die von ihm verfochtene Teilchentheorie des Lichtes und die Erklärung des Spektrums.

Quellen:

https://books.google.com.br/books?id=RaghlhxqLiwC&pg=PA311&lpg=PA311&dq=maxwell+on+action+at+a+distance+proceedings+of+the+royal+institution+of+great+britain&source=bl&ots=CWL4D86o7Q&sig=b9G8u_Yh-NQu1EDD-VEI8erUwRc&hl=pt-BR&sa=X&ei=9dWJVNbaHPMSmQTxzIKYBQ&ved=0CCoQ6AEwAQ#v=onepage&q=maxwell%20on%20action%20at%20a%20distance%20proceedings%20of%20the%20royal%20institution%20of%20great%20britain&f=false

<http://de.Wikipedia.org>