

Es könnte der 40. Jahrestag sein

Hommage à Dr. Hartmut Lucht

Ich habe ihn über 30 Jahre nicht mehr gesehen oder gesprochen, nur seine Erfolgsstory, die schon aus Werbezwecken zu verbreiten ist, kann man dem Internet entnehmen, dass er nämlich mit seinem Erfinderreichtum das Laserlabor Adlershof gegründet hat, das auch, nachdem er sich in den Ruhestand begeben, prosperiert. Seine Erfindungen hatte er nie einem anderen als sich selbst zu verdanken und mir ist eine Eigenheit erinnerlich, dass er sich nie über Pläne oder Ideen geäußert hat, sondern immer nach einiger Zeit ein meist schon patentiertes Prinzip als funktionierende Lösung präsentierte.

Als die Westgoten nach der Wende unsere Einrichtung evaluierten, wovon wir gar nichts weiter gemerkt hatten, lautete die Entscheidung eine gerätebauende Einrichtung an der Akademie der Wissenschaften abzuwickeln und diese Akademie dann ebenfalls für überflüssig zu halten. Das alles hatte keine wesentlich negativen Konsequenzen und von der Lebenskraft unserer nur etwa 20 Mitarbeiter zählenden Entwicklungsabteilung zeugte, dass daraus dann mehrere prosperierende Firmen entstanden.

Nur zwei Dinge blieben wirklich auf der Strecke: Der sonst immer lebendig bleibende Austausch zwischen den Mitarbeitern des ZWG (Zentrum für

wissenschaftlichen Gerätebau unter Leitung von Prof. Langhoff) und das Wegbrechen von Technologien, die nicht immer perfekt beherrscht waren, aber die man bis zum Ende verstanden hat, was mich zu der These veranlasste, dass die DDR, hätte sie weiter bestanden, so etwas wie das China Europas hätte werden können. China, über mehrere Jahrzehnte als verlängerte Werkbank angesehen und als kommunistisch verschrien, kaum studiert oder verstanden, macht uns heute in vielen Bereichen etwas vor. Aus den bloßen Nachahmern sind Macher geworden, und wir, geblendet von politischen Vorurteilen, verstehen davon nicht die Hälfte. Freilich gibt es kaum aktuelle kulturelle Zeugnisse aus diesem Land, aber dass ein kommunistisches per se die Ökonomie nicht in den Griff bekäme, kann man von China sicher nicht behaupten.

Wir kennen aus der eigenen Vergangenheit, und selbst das scheint hinterfragenswert, die politischen Methoden der Schlagworte, des Totschweigens und mehr oder weniger rigiden Methoden der Erziehung, wähen uns nun im Besitz einer höheren Warte und hantieren aber doch auch nur mit Schlagworten, wie Nachhaltigkeit oder jüngst Vernetzung, die entweder nichts weiter besagen oder den Blick verengen auf das nur unmittelbar einem Zweck entsprechende, den man aber in dieser Verengung nicht erreichen kann. Das einzige „Ziel“, was mir noch bekannt ist, ist das Klimaziel und man begegnet den absurdesten Einsparungsideen,

wobei die Fernseher mit ihrem Ökostrom das Volk verdummen.

Dieser Aufsatz sei aber einem Erfinder gewidmet, der trotz dieser Eigenart sich kaum geäußert zu haben, einer der Krankheiten unseres Bildungssystems abhelfen könnte, dass die Schüler das Ohmsche Gesetz nach dem entsprechenden Test gleich wieder vergessen haben, es sogar als chic gilt, das Gesetz des freien Falls nicht mehr zu wissen oder nicht mehr Rechnen gelernt zu haben, weil man das ja alles auch gar nicht braucht, um auf dem Handy irgendwelche Männchen ballern und hüpfen zu lassen. Ich erlebe immer wieder von dieser Obsession erschöpfte Schüler, die zudem noch passable Zensuren mit nach Hause bringen müssen und bis auf sehr wenige Ausnahmen, sich nicht mehr sinnvoll zu beschäftigen wissen.

As wir uns noch nicht auf dem Wege in die Steinzeit befanden, man sich bei einem fröhlichen Lagerfeuer noch keine Sorgen um das ausgestoßene CO₂ machte und man noch nicht auf Handy- und Fernseherimporte angewiesen war, hat wohl Dr. Lucht etwas erfunden, womit man den zeitlichen Verlauf von Laserimpulsen messen konnte, die aufgrund anderer Erfindungen so kurz geworden waren, dass deren Messung ein Problem geworden war. Die Weltcommunity hatte Hochgeschwindigkeitskameras entwickelt, die sich an bildgebende Verfahren (Framingkameras) anschlossen, die man vor allem auch militärisch praktisch verwenden

konnte, um zum Beispiel ein Projektil im Flug oder Auftreffen zu fotografieren oder auch eine Atomexplosion in ihrem Verlauf zu verfolgen. In dem Bestreben, auch Prozesse aufzunehmen, die nur durch ihren zeitlichen Verlauf oder die dabei auftretenden Wellenlängen interessant sind, zu verfolgen, wurden daraus sog. Streikkameras gemacht. Das kann man sich so vorstellen, dass das Bild eines Spaltes quer zu seiner schmalen Seite oder ein Punktbild schnell über einen Leuchtschirm gezogen wird. Wenn man die Ablenkgeschwindigkeit kennt, die man zum Beispiel ermitteln kann, wenn man zwei zeitlich verzögerte Impulse auffallen lässt, ergibt sich die zeitliche (also wenn man so will, die longitudinale) als laterale Struktur, also einer Spur, dessen eine Achse die Zeit ist.

Wie kann man aber ein Spalt- oder Punktbild so schnell über einen Schirm ziehen? Man denkt da vielleicht an einen Drehspiegel und wir wollen ein bisschen darüber nachdenken. Die schnellste Drehung, in die man ein Spiegelchen versetzen kann, und was bestimmt im Vakuum erfolgen müsste wegen des Luftwiderstands, mag bei 500 000 Umdrehungen pro Minute liegen. Denkt man sich den Schirm in 20 cm Abstand, so würde das Bild mit einer Geschwindigkeit von 150 μ s auf den Umfang gezogen, der dann etwa einviertel Meter beträgt. Würde man eine räumliche Auflösung von einem Millimeter erreichen, langte man trotzdem erst bei ca. 150 ns an. Dazu braucht man keine Turbine, das schafft

ein schneller Halbleiterdetektor spielend, der bis zu 100 ps und etwas darunter Zeitauflösung erreichen kann. Trotzdem sei eine mechanische Lösung hier angeführt, wie doch Mitte des 19. Jahrhunderts Fizeau mit einer mechanischen Lichtgeschwindigkeitsmessung gezeigt hatte

(<https://www.leifiphysik.de/optik/lichtausbreitung/geschichte/messung-der-lichtgeschwindigkeit-nach-fizeau>), wobei er ein Zahnrad mit immerhin 720 Zähnen verwendet hatte, das sich aber nur mit etwa 720 U/min drehte.

Gerade in dem Zeitbereich bis zu einer Pikosekunde kamen nun Streakkameras zu Ehren, bei denen man das Streifen nicht dem Licht überlässt, sondern den Lichtimpuls in einen Impuls von Elektronen umwandelt, was mittels des Photoeffektes möglich ist. Der im *annus mirabilis* von Einstein publizierte Artikel: "Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt", brachte ihm dann 16 Jahre später den Nobelpreis ein, was ja wohl eine Verlegenheitslösung des Nobelkomitees war, weil man seinen anderen, noch bedeutenderen Entdeckungen noch nicht traute. Dieser äußere Photoeffekt war inzwischen gut bekannt, wir werden auch dem inneren noch begegnen. Bei diesem treten nämlich die Elektronen aus einer Photokathode direkt ins Vakuum aus, das erforderlich ist, dass sie sich über längere Strecken bewegen können. Und wie das Vakuum erst die

Gesetze des freien Falls zur reinen Wirkung bringt, ist es auch das Vakuum, in dem die Elektronen wie kleine Kügelchen gleichmäßig beschleunigt werden können, was sich auch bei Dr. Luchts Ziel, eine hohe Zeitauflösung zu erreichen, als notwendig erwies.

In dem durch den äußeren Photoeffekt erzeugten Elektronenimpuls führen die Elektronen ein gewisses Eigenleben. Sie können entweder eine nicht vorhersehbare Anfangsgeschwindigkeit haben und besitzen ja auch die Eigenschaft, sich gegenseitig abzustößen. Das ist alles eine Zeitfrage, wie stark sich das auf das Elektronenpaket auswirkt und eine Frage der Dichte von diesem. Im Vorgriff auf spätere Rechnungen sei hier angeführt, dass die Elektronen in der Streakröhre etwa auf ein Drittel Lichtgeschwindigkeit gebracht werden und die zur Ablenkung und Abbildung notwendige Strecke von etwa 10 cm in einer Nanosekunde zurücklegen, während es beim Licht eben 30 cm in dieser Zeit wären. Die longitudinale Ausdehnung dieses Paketes wäre bei einem Pikosekundenimpuls etwa 0,1 mm.

Die als Coulombwechselwirkung bezeichnete Abstößung kann man abschätzen: Zwei Elektronen in 0,1 mm Abstand stoßen sich mit $52 \cdot 10^{-21}$ N ab und werden daher mit immerhin mit $50 \cdot 10^9$ m/s² beschleunigt und verdoppeln ihren Abstand in 55 Nanosekunden, das scheint also unkritisch. Wenn man aber annimmt,

dass das Elektronenpaket aus etwa 10 000 Elektronen besteht und sich diese im Mittel im halben Abstand von 0,1 mm befinden, führt die Abstoßung zu einer Verlängerung auf das Doppelte innerhalb 0,2 Nanosekunden, ist also merklich.

Den zweiten Effekt, den man abschätzen muss, ist die Störung, die durch eine Anfangsgeschwindigkeit der Elektronen entsteht, wenn die Photonenenergie deutlich über der Ablösearbeit für die Elektronen aus der Photokathode liegt, d.h. die Kamera etwa mit UV Licht betrieben wird. Wenn das zum Beispiel 0,5 Elektronenvolt sind, kann man aus der kinetischen Energie die Geschwindigkeit berechnen. Mit dieser Energie versehene Elektronen bewegen sich von sich aus mit einer Geschwindigkeit von $6 \cdot 10^5$ m/s, also in einer Nanosekunde 0,6 mm. Man muss für die maximale Zeitauflösung mit der Photonenergie sich möglichst an der Grenze befinden, wo sie gerade ausreicht, die Photoelektronen herauszulösen, sich also am roten Ende der Empfindlichkeit befinden.

Das Vorhandensein dieser Grenze war ja das, was Einstein dann interpretiert hat. Man kann von zu langwelligen Photonen so viel einstrahlen, wie man will, es würde nicht dazu führen, dass auch nur ein Photoelektron entsteht.

Wir wollen jetzt aber weiter voranschreiten im Aufbau einer Streakröhre.

Zunächst wäre da die Beschleunigung der Photoelektronen zu untersuchen, die sozusagen aus dem Stand ein Drittel Lichtgeschwindigkeit erreichen müssen und man ja nach den Obengesagten die Zeit dazu minimieren muss. Dazu bringt man ein Anodenblech möglichst nah gegenüber der Photokathode an, das man mit einer Spannung von 10 Kilovolt versieht. Das ist etwa die Spannung, mit der auch unsere Eisenbahnen fahren, wobei diese wesentlich höhere Ströme ziehen. Aus den Gesetzen der gleichmäßig beschleunigten Bewegung kann man errechnen, dass, wenn sich diese Anode in 8 mm Abstand von der Photokathode befindet, eine Beschleunigung von $2 \cdot 10^{15}$ m/s² zu verzeichnen ist. Trotz dieser phantastisch hohen Beschleunigung, braucht das Photoelektron demzufolge etwa 3 Nanosekunden, um die Anode zu erreichen. Das Anodenblech nun hat einen schmalen Schlitz von etwa einem halben mm Breite, der das Feld nur geringfügig modifiziert, sodass der Anteil der Elektronen, der in diesen Bereich fallen würde, einfach hindurchtritt. Dabei ist die Linsenwirkung dieses Schlitzes in Betracht zu ziehen.

Die restlichen 10 cm des Weges durchlaufen die Elektronen in nur einer Nanosekunde. Wegen des großen Anteils der Beschleunigungsphase, ist auf diesen größten Wert zu legen. Man kann diese Spannung, die auf 8 mm Abstand in unserem Fall anliegt, aber nicht einfach erhöhen, weil sonst

Atome aus der Photokathode gerissen würden und sich das Ganze in einem Lichtbogen zerstörte. Um das bei 10 Kilovolt zu vermeiden, muss die Anode auch schon als eine Art Topf mit möglichst Rundungen statt scharfer Kanten ausgeführt sein, dessen Boden der Photokathode zugewandt ist und den besagten Schlitz enthält.

Diese enge Anordnung bedeutete für Dr. Lucht einen gewaltigen technologischen Schritt. Photokathoden bestehen aus mindestens zwei empfindlichen Materialien, wie Cesium und Antimon. Bei der Herstellung von sog.

Sekundärelektronenvervielfachern, die auch eine Photokathode haben, die teilweise lichtdurchlässig sein muss, weil sie ja durch das Trägerglas beleuchtet wird, ist diese von innen frei zugänglich und kann in der fast fertigen Röhre durch innen angebrachte Tiegelchen, die man dann bestromt, aufgedampft werden. Bei der Streakröhre ist aber der nahe davorliegende Anodentopf ein Hindernis, sodass man die Photokathode separat herstellen muss und dann auf die offene Röhre im Vakuum bringen und mit dieser, einen Deckel bildend, die Röhre im Vakuum verschließen. Das ist die sog. Transfertechnologie, die zunächst, wie die ersten Streakröhren überhaupt, im Werk für Fernsehelektronik (WF) Schöneweide gefertigt wurden. Erst nach diesen erfolgreichen Versuchen, die eine Quanteneffizienz von etwa 10 % aufwiesen, was denen in den

abgeschlossenen Röhren schon nahekam, wurde diese Technologie dann bei uns eingeführt. Der Verschluss erfolgt mittels zweier Fassungsringe, von denen der eine eine Schneide hat und der andere eine Ringsicke, in das ein leicht schmelzender Metallfaden aus Indium gelegt wird und beide Ringe im Vakuum durch Induktionswirkung verschmolzen werden.

Der Anodenschlitz nun ist auf den Detektor abzubilden und dessen Bild über den Detektor zu ziehen, senkrecht zu seiner langen Ausdehnung. Ersteres erfolgte mit einer Magnetlinse – eine in einem Hohlzylinder Weicheisenmantel befindliche Spule, deren Achse zur Flugrichtung der Elektronen ausgerichtet ist. Ein recht schmaler Ring aus Messing im Innern dieses Hohlzylinders sorgt dafür, dass durch diesen Ringspalt die Magnetfeldlinien austreten und so eine Linsenwirkung entsteht. Diese Abbildung kann man mit einem statischen Bild des Schlitzes optimieren, das man auf den Anfang des Streakbildes justiert.

Das Ablenken erfolgt über zwei Kondensatorplatten, die längs zur Flugrichtung symmetrisch angeordnet sind, die einen Abstand von etwa einem cm haben und eine Länge von etwa 20 mm. Wieder stellt sich hier eine einfache Physikaufgabe, die dem geraden Wurf einer Kugel unter dem Einfluss der Schwere entspricht. Wir errechnen für die Aufenthaltsdauer der 10 Kilovolt Elektronen in diesem

Kondensator, die ja mit einem Drittel Lichtgeschwindigkeit fliegen, zu 200 Pikosekunden. In dieser Zeit müssen sie eine seitliche Geschwindigkeit erreicht haben, sodass sie in einer weiteren Nanosekunde des Freiflugs etwa 2 cm seitlich zurückgelegt haben, also $2 \cdot 10^7$ m/s, was schon wieder $2/30$ der Lichtgeschwindigkeit sind. Die seitliche Beschleunigung, die dafür nötig ist, dass diese seitliche Geschwindigkeit erreicht wird, errechnet sich zu 10^{17} m/s².

Ich kann mich erinnern, dass wir an den Ablenkkondensator eine Rampe von bis zu 100 V angelegt haben. Bei den oben angeführten Maßen und Zeiten würde das einer seitlichen Beschleunigung von $1,6 \cdot 10^{15}$ m/s² entsprechen. Oops, da fehlen also zwei Größenordnungen. Auch wenn man annimmt, dass ich mich in den Maßen jeweils um einen Faktor zwei geirrt habe und die Elektronen vielleicht etwas langsamer waren, bekommt man höchstens eine Größenordnung zusammen, aber nicht zwei. Wir wollen hier aber nicht alles altklug vorsetzen, sondern die Ideen von Dr. Lucht weiter durchgehen.

Die besagte Rampe wird nämlich auch wieder optisch erzeugt mit einer Lawinendurchbruchdiode (Avalanche-Diode), die einen Teil des zu messenden Lichtes abbekommt. Diese hält in Sperrrichtung eine Spannung von 100 V aus, die dann optisch getriggert zusammenbricht und eine schnelle Rampe erzeugt.

Als ich 1987 das Thema übernahm, hatten wir die Aufgabe, neben diesem einfachen Ablenkgenerator auch noch langsamere zu entwickeln, was uns aber nicht in der geforderten Qualität gelungen ist.

Diese Dinge, vielleicht außer der erstaunlich niedrigen Ablenkspannung, waren weitgehend bekannt und die eigentliche Erfindung von Dr. Lucht bestand darin, einen sehr speziellen Detektor zu verwenden, den man sich zunächst als sehr dünnes Siliziumplättchen vorstellen kann. Wer schon mal einen Wafer gesehen hat oder einen Silizium Einkristall, der weiß, dass dieser silbrig glänzend ist. Dieses etwa ein Zoll im Durchmesser betragende Plättchen ist im aktiven Bereich so dünn geätzt, dass es rötlich braun durchschimmert. Auf dieses Siliziumplättchen fallen nun die hochenergetischen Elektronen und jedes von ihnen erzeugt eine große Anzahl von Elektronen-Loch-Paaren. Die Elektronen fließen schnell ab und die Löcher machen sich als Strom bemerkbar, wenn das Siliziumplättchen von der dem Streaksystem abgewandten Seite mit einem gesteuerten Elektronenstrahl abgetastet wird. Dieses System nennt sich Vidikon und war die elektronische Bildaufnahmetechnik vor dem Aufkommen der CCD Matrizen. Normalerweise wird damit Licht detektiert, aber in unserem eben hochenergetische Elektronen.

Diese Vidikons wurden auch als fertige Kameras am WF produziert und wir

konnten da auf das komplette System zurückgreifen. Am Ausgang hatten wir ein Videosignal, das wir mit einer von Klaus Dieter Kramp entwickelten Elektronik in Form eines Expansionboards auswerten konnten. Dieses System nach einer Idee von mir, hieß Video Window Integrator, den man auch für andere spektroskopische Aufgaben verwenden konnte.

Diese Streakkamera war eine patentierte und bis zu Ende (man sehe mir den kleinen Lapsus oben nach) verstandene Lösung, die einmalig in der Welt war. Leider war die Empfindlichkeit nicht hoch genug, um auch Fluoreszenzen aufzunehmen, was eines der erklärten Ziele der Ultrakurzzeitspektroskopie ist.

Das Funktionsprinzip hatte sich der große Schweiger Dr. Lucht ganz allein ausgedacht und alle dazu notwendigen Schritte in die Wege geleitet, und stand eines Tages mit so einer fertigen Streakröhre da.

Wir verkauften auch ein Exemplar nach Südkorea und das Patent wurde dann in leicht abgewandelter Form in Japan unterlaufen, und gehört ja heute auch schon der Geschichte an.

Dr. Lucht hat seinen Erfindergeist nach der Wende weiter schweifen lassen und gründete das Laserlabor Adlershof, ohne dass wir uns in den aufregenden Nachwendejahren und bis jetzt je wiedergesehen hätten. Das war dann wohl die Idee, Kunststoffe mittels ihrer spektralen Eigenheiten zu

sortieren, was bahnbrechende Lösungen im Recycling ermöglichte.

Vor zwei Jahren nun ist er in den Ruhestand gegangen und hat die Firma an zwei jüngere Leute übergeben. Er sucht nicht gerade den Kontakt zu seinen früheren Kollegen und es entzieht völlig meiner Kenntnis, was er darüber denkt.

Auf jeden Fall stützt diese Story die These, dass man zu DDR Zeiten über viele Technologien verfügte, die nicht immer an der Spitze waren, aber mit denen man handfeste Erfahrungen hatte und die man bis zum Ende verstand. Das WF, das auf vielen Gebieten Schritt halten konnte, hat man dann noch eine Weile Farbbildröhren produzieren lassen, bis die wirklich keiner mehr haben wollte. Nur Silicon Sensor setzte die Halbleiterentwicklungen fort. Ein China in Mitteleuropa wäre eine Option gewesen, hätte man den Wert, seine Sache bis zu Ende zu verstehen und leidlich zu beherrschen, aufrecht erhalten wollen, aber auch so hat der freie Zugang zu allen Komponenten des Weltmarkts, von dem wir damals immer geträumt hatten, zu blühenden Firmen geführt, an denen man sich freuen kann.

C. R. 10.4.2023