

Mitteilungen der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V.

28. Jg. 2023, Heft 1

ISSN 1433-3910

Inhalt

Zur 76. Ausgabe der „Mitteilungen“	3
Energiequellen der Zukunft <i>Wilhelm Ostwald</i>	4
Quantenrechner: Idee, Möglichkeiten, Stand <i>Holger Perl</i>	7
Mensch - Klima - Energie: Vorabdruck eines von sieben Aufsätzen aus dem gleichnamigen Buch <i>Friedrich Reinhard Schmidt</i>	35
Zur Kritik Wilhelm Ostwalds an der zeitgenössischen Geschichtswissenschaft <i>Jan-Peter Domschke</i>	49
Die Enkel von Helene und Wilhelm Ostwald <i>Ulf Messow und Anna-Elisabeth Hansel</i>	58
Andere über Ostwald <i>Wladimir und Karin Reschetilowski</i>	68
Ein seltener Briefmarkenfund <i>Wladimir Reschetilowski</i>	73
Rezension zum Buch von Christoffer Leber: Transatlantische Brieffreunde: Die Korrespondenz zwischen Jaques Loeb und Wilhelm Ostwald um 1902 <i>Jan-Peter Domschke</i>	78
Gesellschaftsnachrichten	80
Ergebnisse der ordentlichen Mitgliederversammlung der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V. 2023	81
Autorenhinweise.....	83

© Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V. 2023, 28. Jg.

Herausgeber der „Mitteilungen“ ist der Vorstand der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V., verantwortlich:

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Schmelzer/Ulrike Köckritz

Grimmaer Str. 25, 04668 Grimma, OT Großbothen

Postanschrift: Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V., Linnéstr. 2, 04103 Leipzig

Tel. 0341-39293714

IBAN: DE49 8606 5483 0308 0005 67; BIC: GENODEF1GMR

E-Mail-Adresse: info@wilhelm-ostwald.de

Internet-Adresse: www.wilhelm-ostwald.de

Der Nachdruck ist nur mit Genehmigung der Redaktion gestattet.

Namentlich gezeichnete Beiträge stimmen nicht in jedem Fall mit dem Standpunkt der Redaktion überein, sie werden von den Autoren selbst verantwortet.

Wir erbitten die Autorenhinweise auf der letzten Seite zu beachten.

Der Einzelpreis pro Heft beträgt 6,- €. Dieser Beitrag trägt den Charakter einer Spende und enthält keine Mehrwertsteuer.

Für die Mitglieder der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft ist das Heft kostenfrei.

Zur 76. Ausgabe der „Mitteilungen“

Liebe Leserinnen und Leser der „Mitteilungen der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V.“,

in diesem Heft setzen wir mit dem Nachdruck des Artikels „Energiequellen der Zukunft“ von 1930 Ostwalds Überlegungen zur Energiegewinnung fort. Besonders die Rolle der elektrischen Energie wird wegen ihrer verlustarmen Übertragung und der leichten Umwandelbarkeit in andere Energieformen hervorgehoben, aber auch die Erschöpfung ihrer damaligen Quelle, Kohle, wird benannt. Ostwald bezeichnet die strahlende Energie der Sonne als Urquelle aller Energie und obwohl thermoelektrische und photoelektrische Stromerzeugung viel zu geringe Ausbeuten lieferten, resümiert er optimistisch „solange die Sonne scheint, wird es ihnen (gemeint sind Kinder und Kindeskindern) nicht an Energie fehlen“.

H. Perlts befasst sich in seinem Beitrag „Quantenrechner - Idee, Möglichkeiten, Stand“ mit einem hochaktuellen Thema der modernen Rechentechnik über das er im 144. Ostwald-Gespräch in Leipzig berichtet hatte. Dabei lernen wir, dass der Aufwand bei Quantenrechnern nur logarithmisch mit der Größe der Zahl und nicht exponentiell wächst. Der Autor gibt eine grundlegende Einführung, beschreibt zwei Realisierungsmöglichkeiten (Supraleitende Schwingkreise und Defektzentren in Kristallen) etwas ausführlicher.

Mit dem Vorabdruck eines Aufsatzes „Mensch-Klima-Energie. Wilhelm Ostwald, ein Vordenker in der Klimadebatte“ aus dem gleichnamigen Buch von R. Schmidt, das bei Frank & Timme erscheinen wird, berichten wir auch über das 145. Ostwald-Gespräch in Großbothen. Der Autor geht im vorliegenden Aufsatz auf Ostwalds Soziale Energetik ein und hebt die Fähigkeit der Menschen hervor außerhalb ihres Körpers Energie von einer Form in eine andere zu verwandeln, was zu der Forderung führt, dass eine dauerhafte Wirtschaft ausschließlich auf die Benutzung der jährlich von der Sonne herkommenen Strahlungsenergie begründet werden muss. Wenn die Menschheit überleben will, muss sie „die Einheit zwischen Erwerbs- und Erlebniswelt wieder herstellen“.

In seinem Beitrag „Zur Kritik Ostwalds an der zeitgenössischen Geschichtswissenschaft“ hebt J.-P. Domschke hervor, dass Ostwald fehlende Objektivität und das Aufzwingen eigener Überzeugungen bemängelt. Auf der anderen Seite ist es Ostwalds Verdienst, die stärkere Berücksichtigung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik eingefordert zu haben.

U. Messow und A.-E. Hansel zeigen in ihrem Beitrag „Die Enkel von Helene und Wilhelm Ostwald“, dass auch die nächste Generation der Ostwaldkinder, die neun Enkel, naturwissenschaftlich und technisch interessiert waren und entsprechende Fächer studiert haben. Erwähnt sei auch, dass zwei Enkelsöhne im zweiten Weltkrieg gefallen sind.

W. und K. Reschetilowski bemerken in „Andere über Ostwald“, dass obwohl Beilstein einen ausgeprägten Kreis von Briefpartnern besaß, Ostwald nicht dazugehörte. Sein Name taucht aber in Briefen Beilsteins an seine engsten deutschen Kollegen und Freunde auf, in denen er aus verschiedenen Anlässen über Ostwald lästerte. Offensichtlich empfand er gegenüber Ostwald keine besondere Sympathie.

W. Reschetilowski kann seinen Beitrag aus dem vorigen Heft durch einen seltenen Briefmarkenfund, nämlich um eine Sondermarke, die anlässlich der 100-Jahrfeier der Republik Lettland 2017 herausgegeben wurde, ergänzen. Auf den Briefmarkensätzen sind berühmte Persönlichkeiten Lettlands im Bereich Sport, Kultur und Wissenschaft abgebildet. Die Chemie-Sondermarke enthält die Bilder der Physikochemiker Paul Walden, Jānis Stradins und Wilhelm Ostwald. Das Heft beschließen die Gesellschaftsnachrichten.

Jürgen Schmelzer

Energiequellen der Zukunft¹

Wilhelm Ostwald

Ein Jahrhundert Zähmung und Lenkung der anorganischen Energie – Wasser und Wind stellen anorganische Energie zuerst in den Dienst der Menschheit – Die Rolle der Dampfmaschine und ihre begrenzte Leistung – Die Elektrizität, das „technische Mädchen für alles“ – Rückkehr zur Wasserkraft – Chemische Energie – Sonne als idealste Energiequelle

Die Menschheit ist noch sehr jung. Dies bezeugt nicht nur ihr auffallender Mangel an Weisheit, der u.a. in den gegenseitigen Beziehungen der Völker zutage tritt, sondern auch die Tatsache, dass der entscheidende Schritt zur Beherrschung und Gestaltung unserer Umwelt, nämlich die Zähmung und Lenkung der anorganischen Energien, nicht viel länger zurückliegt als ein Jahrhundert.

Gewöhnlich bezeichnet man die Dampfmaschine als das Wahrzeichen dieses wichtigsten aller bisherigen geschichtlichen Geschehnisse. Man muss sich indessen vergegenwärtigen, dass die Maschine als solche nicht Energie liefern kann, sondern dass sie nur das Mittel ist, die chemische Energie der Kohle über die Zwischenform der Wärme in mechanische Energie zu verwandeln. Die fossile Kohle ist also der eigentliche Energiespender, und es ist eine nachdenkliche Tatsache, dass die ersten praktisch arbeitenden Dampfmaschinen erbaut wurden, um die Kohlenbergwerke wasserfrei zu halten.

Fossile Kohle und Dampfmaschinen sind allerdings nicht die ersten Formen, in denen anorganische Energie in den Dienst der Menschen gestellt wurde, denn Wasser- und Windmühlen reichen bis ins frühe Mittelalter zurück, vielleicht noch weiter. Aber die Energiemengen, welche sie erfassen liessen, waren verhältnismässig klein. Sie übertrafen zwar die noch älteren Energiequellen der tierischen und menschlichen Muskelarbeit, aber doch nur in mässigem Verhältnis. Die Dampfmaschine ermöglichte dagegen eine gedanklich unbegrenzte Steigerung des Energiebetriebes.

Begrenzt waren ihre Leistungen dagegen nach der Seite der Energieumwandlung. Sie gab nur mechanische Energie aus, und diese lässt nur Umwandlungen in andere mechanische Leistungen zu, dagegen keine in Licht oder chemische Energie. Man kann sie zwar leicht in Wärme verwandeln, aber die wirtschaftlichen Verhältnisse machen dies zwecklos, ausser in einzelnen Sonderfällen. Da die mechanische Energie sich nur über kurze Strecken, etwa durch Riemen, befördern lässt, so war damit die Notwendigkeit gegeben, die Arbeitsstellen räumlich mit der Energiequelle zu verbinden.

Nur um zwei oder drei Menschenalter von jener entscheidenden Wendung getrennt, entstand die zweite, ebenso wichtige, nämlich die Einschaltung der elektrischen Energie in den Betrieb.

¹ Abschrift von: OSTWALD, W.: Energiequellen der Zukunft. Technische Rundschau (1930) 3, S. 226.

Der entscheidende Gewinn hierbei lag erstens darin, dass im Gegensatz zur mechanischen Energie die elektrische sich leicht über grosse, ja ungeheure Strecken befördern lässt, ohne erhebliche Leitungsverluste zu erfahren. Das bedeutet eine Befreiung von den Schranken des Raumes. Zweitens ist die elektrische Energie viel wandelbarer als die mechanische. Man kann sie leicht in chemische, mechanische, thermische, optische überführen; sie ist das technische Mädchen für alles!

Diese Vorteile sind so gross, dass man sich gern die lange Kette von Umwandlungen gefallen lässt, die hier ausgeführt werden müssen.

Ein schweres Bedenken macht sich hier geltend. Die fossilen Kohlen sind ein einmaliges Erbe, das uns zugefallen ist, und sind der Erschöpfung ausgesetzt. Deshalb hat man in jüngster Zeit mit solchem Eifer die Wasserkräfte ausgebaut. Erstens ist hier die Kette kürzer; die durch Wasserdruck betriebene Turbine kann unmittelbar mit der Dynamo gekoppelt werden.

Zweitens ist diese Energiequelle praktisch unerschöpflich, da die Sonne in jedem Jahr wieder den Schnee ‚auf die Berge befördert‘, welcher dann die Wasserwerke speist.

Bekanntlich führen alle Energiequellen zuletzt auf die strahlende Energie der Sonne zurück, welche für uns der Urquell ist. Ist sie als Anfang und die elektrische Energie als Ende gegeben, so muss man angesichts der allgemeinen Umwandelbarkeit der Energie fragen, ob man dann nicht die Sonnenstrahlen unmittelbar in elektrische Energie verwandeln kann? Das wäre der Zielpunkt aller Energiewirtschaft, denn dadurch könnte der Menschheit die benötigte Energie überall zugänglich gemacht werden, wie Luft und Wasser es sind. Eine ganz unmittelbare Umwandlung strahlender Energie (die wir mit Recht als elektromagnetische Schwingungen auffassen dürfen) in elektrische ist noch nicht bekannt. Wohl aber kennt man noch thermoelektrische und photoelektrische Erscheinungen.

Thermoelektrische Säulen bestehen aus Ketten von zwei Metallen, die sich abwechselnd berühren, geschweisst oder gelötet. Erwärmt man jede zweite Verbindung, etwa wo das Metall *A* in *B* übergeht, und hält die Verbindungen *BA* kalt, so entsteht ein elektrischer Strom. Eine gewöhnliche Thermosäule also, die man in die Sonne stellt, verwirklicht diesen Gedanken. Technisch ist er noch nicht brauchbar, weil die Ausbeute zu gering ist.

Ein zweiter Weg führt über die chemische Energie. Steckt man zwei oberflächlich oxydierte Kupferplatten in gewisse Lösungen und verbindet sie durch einen Draht, so geht durch diesen ein Strom, wenn man eine von beiden Platten belichtet. Man nennt ihn einen photoelektrischen Strom; genauer müsste er ein photochemoelektrischer heissen. Auch viel zu klein für technische Anwendung.

Man braucht aber nur an die Anfänge der strömenden Elektrizität zu denken, um alle Scheu vor den Möglichkeiten der Zukunft zu verlieren. Zwei Drähte aus verschiedenen Metallen und das Schenkelpaar eines Frosches kennzeichnen diesen Anfang.

Die damals entstandenen Ströme waren nicht stärker als die eben beschriebenen, und ein kurzes Jahrhundert hat genügt, die heutige Elektrotechnik zu entwi-

ckeln. So dürfen wir auch in die energetische Zukunft unserer Kinder und Kindes-
kinder mit ruhiger Heiterkeit blicken: solange die Sonne scheint, wird es ihnen
nicht an Energie fehlen.

Quantenrechner

Idee, Möglichkeiten, Stand

Holger Perlt¹⁾

0. Einleitung

In den letzten Jahrzehnten haben die Rechentechnik und die mit ihr verknüpften Algorithmen eine rasante Entwicklung genommen. Es gibt wohl kaum noch einen Bereich in Wissenschaft, Technik, Ökonomie aber auch im alltäglichen Leben, der nicht von der Informatik durchdrungen ist. Trotzdem gibt es Problemstellungen, die sich anscheinend beharrlich ihrer (exakten) Lösung widersetzen. Und diese sind teils schon recht alt:

Das Problem des Handlungsreisenden

Im Buch „Der Handlungsreisende wie er sein soll“ aus dem Jahr 1832 [1] gibt ein „alter Commis-Voyageur“ Regeln vor, wie man eine optimale Rundreise durch eine vorgegebene Zahl von Orten anhand von Beispielen gestalten kann. Es gilt heute als sicher, dass die exakte allgemeine Lösung dieser Aufgabe von der Komplexitätsklasse **NP** ist: es gibt keinen bekannten deterministischen Algorithmus, welcher dieses Problem in polynomieller Zeit (als Funktion der Zahl der Orte) lösen kann. Schon eine moderate Zahl von Städten lässt die Rechenzeit in unpraktikable Sphären entschwinden. Die Ursache ist im Grunde genommen der faktorielle Anstieg der Möglichkeiten, eine solche Reise zu gestalten.

Die RSA Verschlüsselung

Kryptografische Algorithmen gehören seit Beginn der Übermittlung sensibler Daten zu den Schwerpunkten der Forschung. Mit der Einführung der elektronischen Rechentechnik wurden die Anforderungen allerdings auf eine neue Stufe gehoben. Im Jahr 1978 gelangten Rivest, Shamir und Adleman zu einem Durchbruch [2]. Ihr Verfahren beruht auf der Verwendung zweier Primzahlen für die Ver- und Entschlüsselung von Daten. Diese erhält man durch die Faktorisierung einer großen, jedem zugänglichen ungeraden Zahl. Alle bisher bekannten klassischen Algorithmen lösen das Problem der Faktorisierung nur mit exponentiellem Aufwand als Funktion der Stellenanzahl. Deshalb gilt dieses Verfahren derzeit als sicher.

Beide Probleme sind Beispiele umfangreicherer Klassen von Aufgabenstellungen: der „Handlungsreisende“ gehört zur globalen Optimierung, die RSA Verschlüsse-

¹⁾ Erweiterter Vortrag vor der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft, 6. Oktober 2022.

lung eben zur allgemeinen Kryptografie. Nach allem was man weiß, lassen diese sich nicht mit den klassischen Rechnerarchitekturen für große Datenmengen exakt lösen: jede Verbesserung der Leistung der Prozessoren wird durch eine geringfügige Vergrößerung des Problems spielend übertroffen.

Im Jahr 1982 stellte der Physiknobelpreisträger Richard P. FEYNMAN in einem Vortrag seine Überlegungen vor, wie man auf neuartige Weise rechnen kann [3]. Dieser gilt im Allgemeinen als Startschuss für die intensive experimentelle und theoretische Beschäftigung mit Algorithmen des Quantenrechnens und deren praktischer Umsetzung. FEYNMAN hatte jedoch mehr die Simulation physikalischer Systeme im Blick, insbesondere die Lösung quantenphysikalischer Probleme. Es schien ihm sinnvoller, dass man diese effektiver mit Systemen erreichen kann, die selber auf den Prinzipien der Quantenphysik beruhen. Der Umweg über klassische Algorithmen erfordert einen äußerst hohen Aufwand an Rechenzeit und Speicherplatz. Ein Durchbruch für einen breiteren Interessentenkreis gelang Peter SHOR dann schon 1994 [4]. Allerdings nicht für die Anwendung auf quantenmechanische Systeme, sondern für einen Algorithmus zur oben erwähnten Faktorisierung einer Zahl in zwei Primzahlen. Er konnte zeigen, dass mit Hilfe eines Quantenrechners der Aufwand nur logarithmisch mit der Größe der Zahl anwächst.

Die folgenden Abschnitte versuchen, eine möglichst grundlegende, kurze Einführung zu geben. Am Ende eines jeden Kapitels werden unter **Schlussfolgerungen** noch einmal die wesentlichen Aussagen in verknappter Form stichpunktartig zusammengefasst.

1. Quantenbits

Alle kommerziellen Rechnerarchitekturen basieren auf dem binären Zahlensystem: eine Zahl wird als Kombination von Potenzen der Zahl 2 dargestellt. Zum Beispiel gilt für eine beliebige natürliche Zahl Z die Zerlegung

$$Z = \sum_{i=0}^n a_i 2^i, a_i \in \{0,1\} \quad (1)$$

Dies kann physisch in einem Rechner durch die Realisierung zweier physikalischen Zustände (Bits) erreicht werden, welche technisch sehr gut manipulierbar sind. Auf dieser Darstellung und deren Umsetzung basieren praktisch die klassische Rechentechnik und die zugehörigen Algorithmen.

Im Quantenrechnen arbeitet man dagegen mit Quantenbits (QBits) [5]. Die Dynamik dieser QBits wird durch die Quantentheorie modelliert [6]. Es sind Objekte, die zwei Zustände einnehmen können. In der Realität können es sein

- Objekte, die wirklich nur zwei Zustände belegen können. Das sind zum Beispiel Photonen mit ihren beiden Polarisationsarten oder Elektronen,

deren Projektion des Eigendrehimpulses auf eine ausgewählte Achse die Werte $\pm 1/2$ annehmen kann.

- Objekte mit mehreren Zuständen, wobei aber genau zwei gezielt angesprochen und manipuliert werden können. Beispiele sind der Grundzustand und der erste angeregte Zustand von Ionen oder der Grundzustand und der erste angeregte Zustand eines anharmonischen elektrischen Schwingkreises.

Formal werden diese beiden Zustände mit $|0\rangle$ und $|1\rangle$ bezeichnet. Damit besitzt ein QBit die folgende Darstellung

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \text{ mit } |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1 \text{ und } \alpha, \beta \in \mathbb{C} \quad (2)$$

Dies ist die **vollständige Beschreibung** eines Quantenbits. Man sagt, bei einer Messung findet man das Objekt mit einer Wahrscheinlichkeit $|\alpha|^2$ im Zustand $|0\rangle$ oder mit der Wahrscheinlichkeit $|\beta|^2$ im Zustand $|1\rangle$. Ist es im Zustand $|0\rangle$ (oder $|1\rangle$) gemessen worden, dann wird eine nachfolgende Messung daran nichts mehr ändern: der Zustand vor der ersten Messung wurde irreversibel verändert. Während der experimentelle Befund eindeutig ist, gab oder gibt es bei der theoretischen Begründung durchaus Diskrepanzen. Die obige Aussage ist Teil der **Kopenhagener Interpretation der Quantenphysik** [6]. Diese hat sich in den letzten Jahrzehnten praktisch durchgesetzt. In diesem Sinne sind auch alle folgenden Betrachtungen zu verstehen.

Als Quantenteilchen sind die QBits bestimmten Restriktionen unterworfen. Eine wesentliche Einschränkung ist die, dass sie nur mit Hilfe **unitärer Operationen** verändert werden können. Das ist mit der grundlegenden Annahme verknüpft, dass Teilchen bei Änderung ihres Ausgangszustandes durch physikalische Prozesse **auf jeden Fall** in einen der möglichen Endzustände übergehen.

Man kann die formale Beschreibung der beiden Zustände $|0\rangle$ und $|1\rangle$ in eine anschauliche mathematische Form bringen. Wenn man diese sogenannten Basiszustände als Einheitsvektoren im zweidimensionalen Raum ansieht, dann gelangt man leicht zur Abbildung

$$|0\rangle \rightarrow \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |1\rangle \rightarrow \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Das QBit hat dann die Form eines auf Eins normierten 2er Vektors

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle = \alpha \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}, |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1. \quad (3)$$

Damit befinden wir uns im zweidimensionalen Vektorraum mit wohldefinierten einfachen Operationen. Die Operatoren sind entsprechend unitäre 2x2 Matrizen. Änderungen von QBits sind dann gegeben durch einfache algebraische Relationen, wie

$$\begin{pmatrix} \alpha' \\ \beta' \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} \text{ und } a_{ij} \in \mathbb{C} \quad (4)$$

mit der Einschränkung der Unitarität:

$$A^\dagger = A^{-1} \rightarrow A^\dagger A = I \text{ mit } A^\dagger = \begin{pmatrix} a_{11}^* & a_{21}^* \\ a_{12}^* & a_{22}^* \end{pmatrix} \text{ und } I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Einige einfache, aber oft verwendete unitäre Operatoren, welche nur auf ein QBit wirken, sind (in Matrixform)

- Einheitsoperator $I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ $I \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$
- Hadamardoperator $H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix}$ $H \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} \alpha + \beta \\ \alpha - \beta \end{pmatrix}$
- Flipoperator $X = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$ $X \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta \\ \alpha \end{pmatrix}$
- Operator $Y = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix}$ $Y \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = i \begin{pmatrix} -\beta \\ \alpha \end{pmatrix}$
- Operator $Z = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$ $Z \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha \\ -\beta \end{pmatrix}$

Der Hadamardoperator H erzeugt also aus einem reinen Basiszustand eine gleichverteilte Mischung aus den beiden möglichen Basiszuständen. Die Operatoren X , Y und Z sind die Paulimatrizen, welche in der Quantenmechanik eine große Rolle spielen.

Nun kann man mit einem einzelnen QBit keine Rechnungen durchführen (was natürlich auch für klassische Bits gilt). Es muss also eine konsistente Erweiterung auf n QBits möglich sein. Man spricht dann von einem **Quantenregister**. Die formelle Erweiterung wird durch das Tensorprodukt \otimes definiert. Damit erweitert sich die Dimension des Raumes von 2 auf 2^n . Die Operatoren sind dann notwendig $2^n \times 2^n$ Matrizen.

Beispiel

Wir betrachten die einfachste Erweiterung auf ein 2-QBit-Register. Damit erwarten wir Vektoren im $2^2 = 4$ dimensionalen Raum und 4×4 Matrizen. In der Tat: es gibt vier Möglichkeiten, die beiden einzelnen QBits (q_1, q_2) (und zwar jeweils die Basiszustände) zu kombinieren

$$\begin{aligned}
 |0\rangle &= |00\rangle = |0\rangle|0\rangle = |0\rangle \otimes |0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, |1\rangle = |01\rangle = |0\rangle|1\rangle = |0\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 |2\rangle &= |10\rangle = |1\rangle|0\rangle = |1\rangle \otimes |0\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, |3\rangle = |11\rangle = |1\rangle|1\rangle = |1\rangle \otimes |1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Hier wurden mehrere Notationen verwendet: die durchnummerierte Notation $|i\rangle$, die aufgeschlüsselte Notation $|q_i q_j\rangle$ und die Darstellung als Vierervektor. Zu beachten ist, dass die Reihenfolge der QBits in der Notation $|q_1 q_2\rangle$ nicht vertauscht werden darf.

Analog werden die Matrizen erweitert. Zum Beispiel ist die Hadamardmatrix für dieses $n=2$ Register

$$H_{n=2} = H \otimes H = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}$$

Es liegt auf der Hand, dass bei größeren Registern die naive Vektor- und Matrixschreibweise nicht mehr handhabbar wird.

Die Erweiterung auf Quantenregister offenbart schon eine der grundlegend neuartigen Funktionsweisen eines Quantencomputers, welche klassisch nicht ihresgleichen findet. Nehmen wir an, wir hätten ein $n=3$ Quantenregister, wobei jedes QBit im Zustand $|0\rangle$ sei: $R_0 = |000\rangle$. Nun wenden wir gleichzeitig auf jedes QBit den H Operator an. Mit der Wirkung $H|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$ auf jedes einzelne QBit erhalten wir ein neues Register R_1

$$\begin{aligned}
 R_1 &= (H \otimes H \otimes H) R_0 = H|0\rangle H|0\rangle H|0\rangle \\
 &= \frac{1}{2^{3/2}} (|000\rangle + |001\rangle + |010\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |101\rangle + |110\rangle + |111\rangle) \\
 &= \frac{1}{2^{3/2}} \sum_{i=0}^7 |i\rangle
 \end{aligned} \tag{6}$$

Diese Beziehung zeigt, dass man mit nur drei QBits acht unterschiedliche Zustände quasi gleichzeitig manipulieren kann. Mit der Zahl der QBits exponentiert sich

dieses Verhältnis zu Gunsten der Quantenbits. Algorithmen, welche diese Darstellung und die Operationen auf ihnen ausnutzen, haben das Potential, den klassischen Rechner extrem zu überflügeln: der klassische Rechner muss im Allgemeinen alle 2^n Zustände vorhalten, der Quantencomputer benötigt nur n Elemente.

Wenn es um Rechnungen im Quantenregister geht, dann ist klar, dass es Operationen gibt, welche mindestens zwei QBits miteinander in Verbindung bringen. Eine einfache Operation ist der sogenannte CNOT (oder controlled not) Operator. Dieser verknüpft zwei QBits (x, y) auf folgende Weise

$$\text{CNOT}|x, y\rangle = |x, y \oplus x\rangle \text{ mit } x \oplus y = (x + y) \bmod 2. \quad (7)$$

Es verändert also das zweite Bit in Abhängigkeit des Zustandes des ersten. Ist das QBit x im Zustand 0, dann bleibt das QBit y unverändert. Ist es jedoch im Zustand 1, dann wird y geflippt. (Das Komma wurde zur besseren Übersichtlichkeit eingefügt).

Matrixdarstellung von CNOT

Es ist klar, dass der formale Operator CNOT auch eine Matrixdarstellung besitzen muss. Sie ist von der Form

$$\text{CNOT} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Diese Matrix ist unitär. Wir wollen als Beispiel zeigen, dass $\text{CNOT}|10\rangle = |11\rangle$ ist, so wie die Definition es vorgibt. Dazu erinnern wir uns an die Relationen von oben

$$|10\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ und } |11\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

und damit

$$\text{CNOT}|10\rangle = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = |11\rangle$$

Schlussfolgerungen

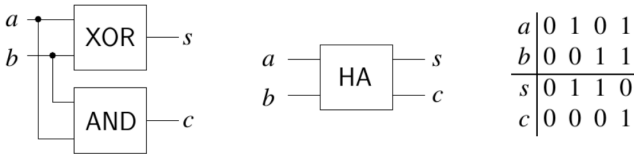
- Klassische und Quantencomputer basieren auf diskreten Veränderungen der Werte ihrer kleinsten Einheiten – der Bits bzw. der QBits.
- Im klassischen Rechner besitzen die Bits entweder den Wert 0 oder den Wert 1.
- Ein QBit ist eine **Superposition** der beiden Zustände, und zwar mit einer **Wahrscheinlichkeit**, welche durch die aufeinanderfolgenden Schritte der Veränderungen (das Programm) genau vorgegeben wird.
- Die Messung ist also der Schnittpunkt zwischen Quanten- und klassischer Welt.
- Damit ergeben Quantenprogramme im Allgemeinen eine **Wahrscheinlichkeitsverteilung** von Messergebnissen, während klassische Programme definierte deterministische Resultate liefern (wenn sie nicht mit Zufallszahlen rechnen).
- Im Quantenrechner dürfen Veränderungen der QBits nur mit **unitären Operationen** vorgenommen werden.
- Rechnungen werden in miteinander wechselwirkenden Gruppen von QBits (den **Quantenregistern**) durchgeführt.
- Ein Quantenregister von n QBits kann eine Superposition von bis zu 2^n Basiszuständen darstellen. Damit kann es (vereinfacht ausgedrückt) extrem viel Informationen repräsentieren.

2. Quantenprobleme: Algorithmen und Programmierung

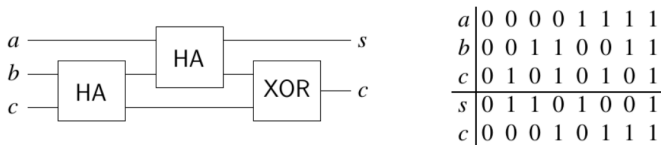
Die Programmierung in der klassischen Informatik ist im Prinzip recht komfortabel. Der Algorithmus wird durch eine klar strukturierte Syntax, die sich an unsere gewohnte mathematische Ausdrucksweise anlehnt, in eine leicht lesbare und verständliche Form gebracht. Die Umsetzung in Anweisungen, welche letztlich die Bits verändern, wird durch Compiler oder Interpreter vorgenommen. Dieser Maschinencode ist dann nicht mehr so ohne weiteres lesbar. Im Quantenrechnen gibt es derzeit noch eine durchaus etwas unterschiedliche Strategie. Man programmiert quasi die Aktionen der einzelnen Operatoren (s. oben) auf die QBits direkt. Das ist an sich nichts wirklich Neues: auch in der Digitaltechnik werden die Bits direkt durch Logikgatter manipuliert – auch hier sind die Bits direkte Adressaten der Manipulationen.

Beispiel: Addition von Bits

Die Addition von zwei bzw. drei klassischen Bits wird durch die beiden Schaltkreise mit den entsprechenden Logikgattern realisiert (mit Logiktablelle). Für zwei Bits haben wir den Halbaddierer



Für drei Bits dann den Volladdierer



In einer ähnlichen Art werden auch die unmittelbar quantentheoretischen Algorithmen programmiert. Die Logikbausteine werden als Gatter oder Gates bezeichnet und stehen für die verwendeten unitären Operatoren. Allerdings ist die Funktionsweise im Vergleich zur klassischen Realisierung eine völlig andere (s. unten). Es gibt noch einen fundamentalen Unterschied zur klassischen Informatik. Ein „klassisches“ Programm verändert durch die Anweisungen eine Ausgangsfolge von Bits. Diese werden ausgemessen und dann ausgegeben. Diese neue Bitfolge ist eindeutig (wenn man nicht falsch programmiert hat oder der Algorithmus nicht von vornherein auf Zufallszahlen aufbaut, z.B. bei Simulationen). Quantenalgorithmen arbeiten mit QBits, also mit Quantenobjekten. Diese sind im Allgemeinen Superpositionen von Basiszuständen, so auch das Ergebnis der Rechnung. Wenn diese dann ausgemessen werden, erhält man keine „scharfen“ Ergebnisse, sondern diese variieren proportional zu ihrer Messwahrscheinlichkeit. D.h. eine Quantenrechnung muss oftmals ausgeführt werden, damit die relativen Messwertzahlen sich den theoretisch erwarteten Wahrscheinlichkeiten angleichen. Wenn die erwartete QBit-Reihenfolge (also das Ergebnis) eine Wahrscheinlichkeit sehr nahe der 1 besitzt, kann man sich auf einen Durchlauf beschränken. Was man allerdings vorher testen muss.

2.1. Die Verschränkung zweier QBits

An dieser Stelle sei der einfachste nichttriviale Quantenalgorithmus vorgestellt. Es geht um die Verschränkung zweier QBits. Folgende Schritte werden dazu ausgeführt

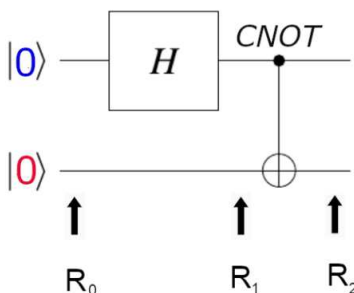
Ein Register R mit zwei QBits im Zustand 0 wird erzeugt:

1. $R_0 = |00\rangle$
2. Auf das erste QBit wird der Hadamardoperator H angewendet, das zweite bleibt unverändert

$$R_1 = (H \otimes I) R_0 = (H \otimes I) |00\rangle = H|0\rangle I|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |10\rangle)$$
3. Beide werden mit einem CNOT Gate verknüpft

$$R_2 = CNOT R_1 = CNOT \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |10\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(CNOT|00\rangle + CNOT|10\rangle) = \frac{1}{\sqrt{2}}(|00\rangle + |11\rangle)$$
4. Beide QBits werden gemessen

Der zugehörige Schaltkreis hat folgendes Aussehen



Man bezeichnet die beiden QBits als **verschränkt**. Ihre Zustände sind nicht unabhängig voneinander. Wenn wir uns das finale Register R_2 anschauen, dann hat der Messprozess folgende Besonderheiten

1. Zwei Personen messen **unabhängig** jeweils ihre QBits. Es sind dies die generischen Alice (sie misst das erste (blaue) QBit) und Bob (er misst das zweite rote).
2. Nehmen wir an, Alice misst zuerst ihr QBit. Sie erhält mit einer Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{2}$ den Wert 0 oder 1.
3. Wenn sie den Wert 0 misst, dann war das Register notwendigerweise im Zustand $|00\rangle$..

Somit misst Bob mit Sicherheit sein QBit mit dem Wert 0 aus.

4. Wenn sie den Wert 1 misst, dann war das Register notwendigerweise im Zustand $|11\rangle$.

Somit misst Bob mit Sicherheit sein QBit mit dem Wert 1 aus.

5. Dasselbe gilt für den Fall, dass Bob sein QBit zuerst ausmisst.

Das bedeutet, dass Alices unabhängige Messung das Messergebnis von Bob determiniert (und umgekehrt). Das ist klassisch nicht zu verstehen.

Einstein, Bell und der Physiknobelpreis 2022

Albert EINSTEIN konnte sich nicht mit der prinzipiellen Wahrscheinlichkeitsformulierung der Quantenphysik anfreunden. Für ihn waren die „unscharfen“ Messergebnisse nur Ausdruck der Tatsache, dass es noch verborgene Eigenschaften gab – die Quantenphysik war für ihn quasi unvollständig. Auch die Beeinflussung des Messergebnisses einer Größe durch eine unabhängige Messung der anderen war für ihn nicht akzeptabel. Auch hier vermutete er eine verborgene Variable, welche das Messergebnis von vornherein festlegt. In einer Veröffentlichung mit PODOLSKY und ROSEN [7] versuchte er, dieses Defizit anhand von Gedankenexperimenten nachzuweisen.

Seine Argumentation wurde von Nils BOHR kritisch hinterfragt und aus Sicht vieler Physiker widerlegt. Aber erst James S. BELL konnte 1964 auf der Grundlage einer tiefgehenden Analyse der Einsteinschen Argumentation Ungleichungen aufstellen [8]. Sie sind immer gültig, wenn EINSTEINS Modell der Realität entsprechen würde. Ausgangspunkt der BELL'schen Ableitung ist ein Paar verschränkter Quantenteilchen. Das Besondere ist, dass diese Relationen auch tatsächlich im Versuch gemessen werden können. Und genau derartige Experimente wurden von CLAUSER, ASPECT und ZEILINGER mit ihren jeweiligen Gruppen in den 1970er und 1980er Jahren mit hoher Präzision durchgeführt. Sie verwendeten Paare bezüglich ihrer Polarisation verschränkter Photonen. Diese wurden getrennt und jeweils durch einen Polarisationsfilter gesendet. Danach wurden sie in einer Koinzidenzmessapparatur ausgezählt. Für bestimmte Richtungen der Polarisationsachsen der Filter widersprach das Messergebnis der Bell'schen Ungleichung, stimmte aber mit hoher Genauigkeit mit den Erwartungen der Quantentheorie überein. Dafür erhielten sie 2022 den Nobelpreis für Physik.

2.2. Die Suche in ungeordneten Datenstrukturen

Suchalgorithmen gehören zu den Bestandteilen vieler Problemstellungen. Deshalb gab und gibt es zur effektiven Lösung eine große Anzahl von Überlegungen. Ziel ist es, den Aufwand als Funktion der Größe der Datenmenge zu minimieren. Die größte Chance, den Aufwand in Grenzen zu halten, besteht darin, die Daten vorher

zu sortieren. Wenn das nicht geht, also die Suchmenge völlig ungeordnet ist, dann weiß man, dass der Aufwand T zum Finden eines Elementes im Mittel linear mit der Zahl N der Elemente wächst

$$\langle T \rangle = O(N)$$

(T kann man entweder als realen zeitlichen Aufwand oder als die Zahl der elementaren Operationen ansehen).

Lov K. GROVER veröffentlichte 1996 einen Quantenalgorithmus [9], der diesen Aufwand stark reduziert

$$\langle T \rangle_{\text{quant}} = O(\sqrt{N}),$$

was für große N eine beträchtliche Beschleunigung bedeutet.

Anhand eines überschaubaren Beispiels soll das Prinzip erläutert werden. Wir werden den Fall mit $n = 3$ QBits betrachten.

1. Die zu suchenden Datensätze werden mit konkreten Kombinationen der QBits codiert. Also ein spezifischer Satz wird mit $|q_i q_j q_k\rangle$ modelliert.
2. Gesucht sei der Datensatz $|010\rangle$
3. Wir beginnen mit dem Register $R_0 = |000\rangle$
4. Wir wenden auf jedes QBit den H Operator an und erhalten
$$R_1 = \frac{1}{\sqrt{8}}(|000\rangle + |001\rangle + |010\rangle + |011\rangle + |100\rangle + |101\rangle + |110\rangle + |111\rangle)$$
5. Dies ist eine gleichmäßige Verteilung der Datensätze. Der klassischen Suche entspricht die Messung des Registers. Diese ergibt mit einer Wahrscheinlichkeit $\frac{1}{8}$ einen der acht Datensätze, also auch $|010\rangle$. Das ist natürlich inakzeptabel gering.
6. Nun werden auf das Register R_1 unitäre Operationen angewendet, so dass dieses danach folgende Gestalt hat
$$R_2 = a_0|000\rangle + a_1|001\rangle + a_2|010\rangle + a_3|011\rangle + a_4|100\rangle + a_5|101\rangle + a_6|110\rangle + a_7|111\rangle$$
 natürlich mit $\sum_{i=0}^7 |a_i|^2 = 1$.
7. Findet man derartige Operationen, so dass danach gilt $|a_2|^2 \sim 1$, dann würde eine Messung mit sehr großer Wahrscheinlichkeit (~ 1) eben das gesuchte Element ergeben.

GROVER fand, dass man nur zwei Typen von Operationen anwenden muss

- Eine Funktion, welche auf alle Elemente angewendet wird und die Amplitude des gesuchten Zustandes mit (-1) multipliziert. Alle anderen Amplituden bleiben unverändert: O_F
- Eine Funktion, welche alle Amplituden an deren neuem Mittelwert spiegelt: O_S

Beide Arten sind durch unitäre Operatoren realisierbar – es sind verallgemeinerte Drehungen. Nun genügt es nicht, dass man diese Operatoren einmal anwendet. Man muss die Kombination $O_{SF} = O_S O_F$ wiederholt anwenden. Es konnte gezeigt werden, dass eine $O(\sqrt{N})$ -malige Wiederholung genügt ($N = 2^n$). Dann besitzt die Amplitude des gesuchten Elementes ein Betragsquadrat sehr nahe der 1 – und somit auch die Messwahrscheinlichkeit. Man sieht, dass hier der Aufwand T als Anzahl der unitären Operationen bestimmt wird.

Auch hier ist ersichtlich, dass man für einen Datensatz von N Elementen nur $\log_2 N$ QBits benötigt!

2.3. Weitere Anwendungen

Beide obigen Beispiele sind nicht direkt das ultimative Ziel des Quantenrechnens, sondern nur Voraussetzungen dafür. Eine Anwendung, welche tatsächlich einen qualitativen Sprung darstellt, ist die Faktorisierung einer natürlichen ungeraden Zahl in zwei Primzahlen. Klassische Algorithmen erfordern einen exponentiellen Aufwand mit der Zahl der Ziffern. SHOR [4] entwickelte ein Verfahren, welches nur logarithmisch anwächst – ein immenser Zeitgewinn. Sein Verfahren ist eine Mischung aus klassischen und einem Quantenalgorithmus. Letzterer ist die sogenannte Quantenfouriertransformation. Diese benötigt allerdings eine relativ große Zahl von QBits. So braucht man für die Faktorisierung der Zahl 21 neun (!) QBits. Das erscheint erst einmal nicht so viel. Für eine 2048-Bit Zahl können aber schon mal $O(10^{3^{104}})$ QBits zusammenkommen. Das ist derzeit technologisch noch eine große Herausforderung - was nicht allein die bloße Zahl betrifft (s. unten).

Praktische Aufgaben in Wissenschaft, Technik und Ökonomie liegen vor allem in der Bearbeitung sehr großer Datensätze, dort zum Beispiel in der Bestimmung globaler Minima. Dazu zählen das Problem des Handlungsreisenden (mit seinen Abwandlungen) oder die Lösung quantenchemischer bzw. quantenphysikalischer Probleme mit einer Vielzahl von Variablen und Einflussgrößen. Praktisch überall da, wo man die Zielfunktion in Variablen $x_i \in (0,1)$ ausdrücken kann, ist eine quantenrechnerische Modellierung zumindest naheliegend.

Eine detaillierte Darstellung dieser Algorithmen würde den Rahmen dieser Ausführungen natürlich bei weitem sprengen.

Schlussfolgerungen

- Quantenalgorithmen machen von der Tatsache Gebrauch, dass eine Veränderung des Zustandes eines QBits oder eines Quantenregisters sofort eine Änderung der Anteile aller Basiszustände in der Superposition bewirken kann.
- Dies und die Tatsache, dass ein Quantenregister eine (im Vergleich zur Zahl der QBits) riesige Menge von Basiszuständen darstellen kann, sind wesentliche Voraussetzungen für die potentielle Überlegenheit des Quantenrechners gegenüber dem klassischen Rechner.
- Programme zum Lösen komplexer Aufgabenstellungen sind meist eine Mischung aus klassischen und Quantenalgorithmen.
- **Klassische Programme** benötigen im Allgemeinen **einen Durchlauf**, um das gewünschte Resultat zu erzielen. Bekannte Ausnahmen sind Simulationen komplexer Systeme.
- **Quantenprogramme** besitzen als Resultat eine **Wahrscheinlichkeitsverteilung** von Resultaten. Ziel eines Algorithmus ist dann oft, die Wahrscheinlichkeit des gewünschten Messwertes nahe der 1 zu bekommen.
- Zur Lösung größere realer Probleme, welche nicht durch klassische Rechner behandelt werden können, sind etwa $\approx 10^4$ QBits nötig. (Das ist allerdings nur eine sehr grobe Abschätzung und ist natürlich fallabhängig.)
- Eine Schlüsseleigenschaft ist die **Verschränkung**: wenn (mindestens zwei) QBits einen gemeinsamen Zustand bilden, dann sind die individuellen Eigenschaften der einzelnen QBits nicht mehr unabhängig.
- **Vor der Messung** gibt es eine klar definierte Wahrscheinlichkeitsverteilung der Messresultate für jedes einzelne QBit. **Nach der Messung** eines beliebigen QBits verändert sich diese Verteilung.
- Diese Veränderung geschieht (in der Theorie) über eine **beliebig große räumliche Entfernung** der QBits voneinander und **sofort**.
- Das ist aber **keine Informationsübertragung!** Um eine Information – also zum Beispiel den Zustand eines QBits zu einem anderen - zu übertragen, werden Informationen zum Ausgang der Messung des „Original-QBits“ benötigt, die über einen klassischen Kanal erfolgen – also mit maximal Lichtgeschwindigkeit. Diese sogenannte **Quantenteleportation** ist einerseits klassisch nicht erklärbar, liefert aber andererseits keinen Hinweis auf eine Informationsübertragung mit Überlichtgeschwindigkeit!
- Die Verschränkung und deren messbare Konsequenzen wurden im Sinne der Quantentheorie durch Hochpräzisionsmessungen in den 70er und 80er Jahren vollauf bestätigt!

2.4. Fehler und ihre Behandlungen

Schon in der klassischen Informatik, insbesondere bei der Konstruktion von Computern, spielt die Frage der Fehlerbehandlung eine zentrale Rolle. Dabei geht es nicht so sehr um fehlerhafte Programme oder Compiler. Ändert sich durch nicht gewollte äußere oder innere Einflüsse die Bitverteilung, ist die gesamte Rechnung hinfällig. Es wurde eine ganze Reihe von Verfahren entwickelt, um die Rechnung **fehler-tolerant** zu gestalten: einfache oder mehrfache zufällige Bitflips sollen die Gesamtrechnung nicht quasi zum Absturz bringen.

Im praktischen Quantenrechnen gibt es noch eine zusätzliche Vergrößerung des Problems. Alle bisher erläuterten Algorithmen gehen davon, dass die Zustände zeitlich unbegrenzt stabil sind, was auch für die Superpositionen zutrifft. Nun ist bekannt, dass Quantensysteme spontan von einem angeregten Zustand (sagen wir $|1\rangle$) in den Grundzustand ($|0\rangle$) übergehen. Auch können zufällige äußere Einflüsse wie Temperatur, Strahlung oder Magnetfelder den Zustand irregulär verändern.

Man unterscheidet zwei Hauptfehlerquellen

1. **Bitflip:** ungesteuerter (spontaner) Übergang vom Zustand $|1\rangle$ in den Zustand $|0\rangle$. Den zugehörigen Zeitparameter bezeichnet man mit T_1 .
2. **Dephasing:** Verlust der definierten Superposition $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle)$ oder $\frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle)$. Der dazugehörige Zeitparameter ist T_2 .

Daraus folgt, dass in Zeitbereichen $t \leq T_{1,2}$ die reale Quantenrechnung mit hoher Wahrscheinlichkeit der theoretisch erwarteten entspricht. Man nennt diese Zeiten auch **Kohärenzzeiten**. Dieser Situation kann mit folgenden Strategien begegnet werden:

- Man kümmert sich nicht direkt darum, sondern versucht dies am Ende der Rechnung durch aufwändige Simulationen in den Griff zu bekommen. Das war zum Beispiel der Fall in der Demonstration der „Quantenüberlegenheit“ von Google [10]. Dabei ging es darum, durch eine zufällige Auswahl und Anwendung einer sehr großen Zahl von Gattern auf einer Menge von 53 QBits das gemessene Ergebnis zu verifizieren und es mit der Simulation mit Hilfe klassischer Rechner zu vergleichen.
- Jede Operation auf den QBits dauert eine endliche Zeit. Man versucht durch technologische Entwicklungen, die Zeiten $T_{1,2}$ so groß zu machen, dass genügend Operationen innerhalb der „sicheren“ Zeitspanne durchgeführt werden können.
- Der obige Punkt ist definitiv immer aktuell. Aber solange für die realen Problemstellungen dies nicht gewährleistet werden kann, müssen effektive Fehlerkorrekturen eingebunden werden.

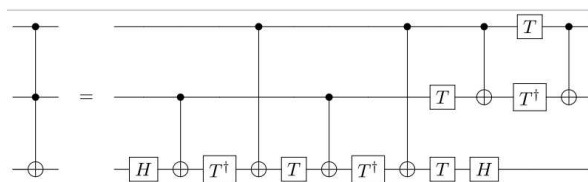
Diese sogenannte **Fehlertoleranz** ist Schwerpunkt einer großen Zahl von Forschergruppen. Ohne eine befriedigende Lösung sind umfangreiche Algorithmen, welche auf frei programmierbaren QBits beruhen, nicht umsetzbar. Das wird völlig

offensichtlich, wenn man in Betracht zieht, dass komplexe Algorithmen durchaus Operationen beinhalten, die mehr als zwei QBits miteinander verbinden. Technisch sind aber Gates, die auf nur zwei QBits arbeiten, die weitaus stabilsten. Deshalb werden die Mehr-QBit-Operationen sehr oft in (universelle) Ein- oder Zwei-QBit-Gates zerlegt, was meist eine signifikante Erhöhung der Gatezahlen mit sich bringt.

So kann man das sogenannte **Toffoli-Gate** (CCNOT)

$$CCNOT|a,b,c\rangle = |a,b,c \oplus ab\rangle$$

welches drei QBits miteinander verbindet, durch folgende Ein- und Zwei-QBit-Gates realisieren



Das entspricht einer Erhöhung der Gatezahl von 1 auf 15!

Zu allem Überfluss sind diese Fehlerkorrekturalgorithmen sehr stark von der konkreten Form des Quantenrechners abhängig.

Nun ist die Besonderheit der Manipulationen von QBits, dass man diese im Verlaufe einer Rechnung nicht messen darf: jede Messung verändert den Zustand irreversibel – eine durch den Algorithmus festgelegte Superposition wird zerstört und die Rechnung damit obsolet. Das war aber schon gleich zu Beginn des Quantenrechnens klar. Man musste also Möglichkeiten suchen, dies in den Griff zu bekommen. Im Jahr 1995 schlug Peter SHOR einen Algorithmus vor, der es ermöglichte, **einen** Bitflip zu erkennen und zu korrigieren [11]. Dabei wurden die wesentlichen, allgemeinen Elemente derartiger Algorithmen deutlich

1. Kombination mehrerer physischer QBits zu einem logischen QBit. Dieses QBit ist dann dasjenige, welches im Algorithmus manipuliert wird.
2. Einführung von Hilfsbits. Die sind mit den Bestandteilen des logischen QBits verknüpft und verändern sich bei deren Veränderung. Ihre Ausmessung ergeben Werte, welche das QBit identifizieren, das geflippt ist. Dies kann durch eine unitäre Operation korrigiert werden.

Dies umgeht die Notwendigkeit, die am Algorithmus beteiligten QBits ausmessen zu müssen. Gemessen werden nur die Hilfsbits, die aber für den Algorithmus keine Rolle spielen. Allerdings erhöht das die Redundanz der QBits um ein Vielfaches. Für **ein** logisches QBit und dessen möglicher Korrektur benötigt man leicht

$O(10 \dots 20)^{2)}$ physische QBits. Auch das trägt zur Effizienzminderung und zum hohen Kapazitätsbedarf von Quantenrechnern bei!

In der Originalarbeit kombinierte SHOR **neun physische** zu jeweils **einem logischen** QBit

$$\begin{aligned} |0\rangle_L &= \frac{1}{\sqrt{8}}(|000\rangle + |111\rangle)(|000\rangle + |111\rangle)(|000\rangle + |111\rangle) \\ |1\rangle_L &= \frac{1}{\sqrt{8}}(|000\rangle - |111\rangle)(|000\rangle - |111\rangle)(|000\rangle - |111\rangle) \end{aligned} \quad (8)$$

Die Hilfsbits werden entsprechend mit diesen neun physischen QBits verbunden.

Eine aktuelle Entwicklung in der Fehlerkorrektur ist in der Veröffentlichung der Gruppe um A. WALLRAFF an der ETH Zürich aus dem Jahr 2022 beschrieben [12]. Sie verwendeten als QBits supraleitende Schwingkreise (s.u.). Sie benutzten 17 physische Qbits, um 1 logisches QBit (9 physische QBits) und 4+4 Hilfs-QBits zu realisieren. Die Anordnung ist planar und in der folgenden topologischen Form angeordnet, welche in Abb. 1 gegeben ist.

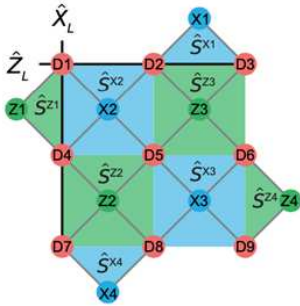


Abb. 1. Anordnung der 17 QBits, welche für die Fehlerkorrektur in [12] gewählt wurde.

Dabei bilden die roten Punkte das logische Qbit, die grünen und blauen Punkte sind die Hilfs-QBits, welche mit den roten direkt in Verbindung stehen und sich dann definiert verändern, wenn sich die roten QBits verändern. Dabei sind die grünen Z_i für Bitflips und die blauen X_i für das Dephasing quasi zuständig. Ihre Ausmessung signalisiert dann den jeweiligen Fehler. Mit dieser Anordnung kann ein Fehler gemessen werden. Es ist klar, dass solch eine Fehlererkennung oftmals während des eigentlichen Quantenalgorithmus zwischengeschaltet werden muss. Ein Durchlauf dauert mit dieser Anordnung etwa 1 μ s, d.h. die Fehlerkorrektur verlängert den eigentlichen Algorithmus durchaus messbar – neben der Tatsache, dass für ein logisches (algorithmisches) QBit 17 physische QBits verbraucht werden. Wenn zwei Fehler gleichzeitig korrigiert werden sollen, dann sind mit dieser Methode 25 physische QBits zu einem

²⁾ In gewisser Abweichung von der Notation in der Komplexitätstheorie (Landau-Symbole) wird hier das Symbol $O(x)$ im Sinne von „in der Größenordnung von x “ verwendet. So wären etwa 85 oder 120 beide $O(100)$. Die Größe der Schwankung um x ist durchaus problemabhängig.

logischen QBit zu kombinieren, mit der entsprechenden Zahl der Hilfsbits!

In der Veröffentlichung wurde hervorgehoben, dass vor allem das Auslesen der Hilfsbits extrem schnell realisiert werden konnte!

Es sollte noch hinzugefügt werden, dass bei einer anderen Anordnung der QBits auf den Quantenchips andere Fehlerkorrekturalgorithmen notwendig sind.

Zu diesen genannten Fehlern gesellen sich natürlich noch andere hinzu

- Auslesefehler: die gemessenen Werte der QBits stimmen nicht mit den „realen“ überein.
- Gate-Fehler: die Operationen, welche die Veränderungen der QBits bewirken, sind nicht korrekt umgesetzt.

Diese sind mehr technologischer Art, beeinflussen aber nichtsdestotrotz die Leistungsfähigkeit von Quantencomputern wesentlich. An dieser Stelle können wir aber nicht darauf eingehen.

Schlussfolgerungen

- Jede Rechnung mittels eines Computers besitzt Fehler, die Folge einer Fehlfunktion der physischen Bauteile des Rechners sind.
- Für klassische Rechner wurden ausgefeilte Prozeduren entwickelt, um derartige Fehler zu korrigieren.
- Quantencomputer besitzen noch eine weitere Fehlerquelle, die so bei klassischen Rechnern nicht auftreten: Quantensysteme haben die inhärente Eigenschaft, ihren Zustand spontan zu ändern, ohne dass dies durch den Algorithmus bewirkt wird.
- Wenn eine derartige Änderung auftritt, dann ist natürlich die gesamte Rechnung obsolet – der Algorithmus wird auf Zustände angewendet, die so nicht vorgesehen sind.
- Die Schwierigkeit besteht nun darin, dass die QBits während der Rechnung nicht ausgemessen werden dürfen, um diesen Fehler festzustellen. Denn nach einer Messung verlieren diese ihre Superposition und somit ihren vorgesehenen Zustand.
- Abhilfe schaffen **Hilfs-QBits**, die an die „Rechen-QBits“ angekoppelt werden. Sie verändern sich bei Änderung dieser logischen Bits. Die Hilfs-QBits können problemlos ausgemessen werden (denn sie sind ja nicht Teil der Rechnung) und die „Rechen-QBits“ werden entsprechend korrigiert.
- Dies benötigt aber Zeit (die „Rechen-QBits“ müssen in bestimmten Abständen immer wieder gescannt werden) und Ressourcen (die Zahl der physischen QBits vervielfacht sich dadurch).
- Die spontanen irregulären Übergänge besitzen eine bestimmte Zeitskala – die sogenannte **Kohärenzzeit**. Innerhalb dieser Zeitspanne kann man davon ausgehen, dass die Wahrscheinlichkeit einer derartigen ungewollten Zustandsänderung sehr gering ist.

- Man versucht nun, durch technologische Maßnahmen diese Kohärenzzeit so zu verlängern, dass möglichst viele Operationen auf den QBits innerhalb dieser Zeitspanne konsistent ausgeführt werden können.

3. Realisierungen von Quantencomputern

Im letzten Abschnitt sind wir quasi gleitend in die praktische Umsetzung der theoretischen Überlegungen übergegangen – den Bau und den Betrieb realer Quantenrechner. Erst mit der zufriedenstellenden Lösung aller Probleme kann man von einer echt qualitativ neuen Phase der Informatik sprechen.

Welche Anforderungen sind an reale Quantenrechner zu stellen? Es gibt eine Reihe von anerkannten Kriterien, welche von DIVINCENZO [13] aufgestellt wurden und als Richtlinien zur Bewertung von potentiellen Kandidaten gelten

1. Ein skalierbares physikalisches System mit klar definierten QBits
2. Die Möglichkeit, einen Anfangszustand zu initialisieren
3. Lange Kohärenzzeiten – viel länger als die Zeiten, welche zur Operation der Gates benötigt werden
4. Ein universeller Satz von Gates
5. Die QBits müssen effektiv und möglichst fehlerfrei messbar sein.

Wenn man den Punkt 1. nimmt, dann gibt es zwar eine Reihe von Kandidaten, welche klar definierte QBits sein können. Aber schon die Skalierbarkeit schränkt den Kreis ein.

Jedoch auch die Punkte untereinander sind selber durchaus widersprüchlich. So sind die Anforderungen 3. und 5. nicht wirklich optimal verträglich. Die Liste der potentiellen Ansätze ist sehr lang, eine ausführliche Beurteilung und Beschreibung würde den Rahmen sprengen. Der interessierte Leser sei zum Beispiel auf die öffentlich zugängliche Studie des Bundesamtes für Sicherheit in der Informationstechnik vom Jahr 2020 verwiesen [14]. Allerdings sind mit großer Sicherheit einige Schlussfolgerungen und Beurteilungen durch das Tempo der Entwicklung schon heute überholt.

An dieser Stelle sind einige Bemerkungen zum Computer der kanadischen Firma D-Wave Systems Inc. [15] angebracht. Er wird vom Unternehmen als bisher einziger leistungsfähiger kommerzieller Quantencomputer mit mehr als 5000 QBits beworben und in zahlreichen populärwissenschaftlichen Artikeln zum Quantenrechnen als Durchbruch gefeiert. Der Rechner ist allerdings ein one-purpose-computer zur Lösung von Aufgaben der diskreten globalen Optimierung. Verwendet wird dabei der Algorithmus des sogenannten Quanten-Annealing. Er ist nicht frei programmierbar. Außerdem gibt es noch Diskussionen, ob er wirklich schneller ist als Rechner mit klassischer Architektur und sehr effizienten heuristischen Algorithmen. Der D-Wave Computer erfüllt nicht die Kriterien DIVINCENZOS. Deshalb wird er an dieser Stelle nicht weiter besprochen.

Im Rahmen dieses Beitrages sei auf zwei Ansätze zur Konstruktion von Quantenrechnern doch näher eingegangen.

3.1. Supraleitende Schwingkreise

Diese Technologie ist derzeit eine der am weitesten verbreiteten Umsetzungen des Konzeptes des Quantenrechnens. Insbesondere die Konzerne IBM und Google favorisieren diese Lösung und stecken eine Menge man-power und Geld in die Forschung und Entwicklung. Der große Vorteil besteht darin, dass elektrische Schwingkreise an sich zum Standardrepertoire der Hochfrequenztechnik gehören und man auf ausgefeilte, hochpräzise Techniken zurückgreifen kann.

Ausgangspunkt ist der einfache Schwingkreis, der mit einem externen Signal $V(t)$ verbunden ist [16] (s. Abb. 2).

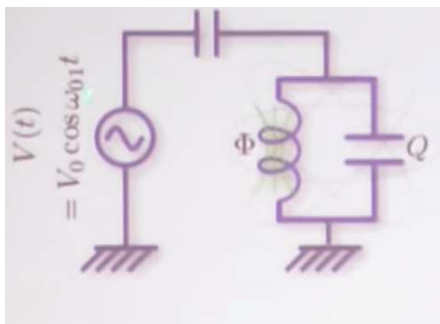


Abb. 2. Elektrischer Schwingkreis [16].

Die Energie als Funktion des magnetischen Flusses Φ und der Ladung Q ist gegeben durch

$$E = \frac{\Phi^2}{2L} + \frac{Q^2}{2C} \quad (9)$$

und wird durch die Induktivität L und Kapazität C bestimmt. Dies ist die funktionale Form der Energie eines harmonischen Oszillators. Wenn die Objekte den Gesetzen der Quantenmechanik folgen, dann werden aus Φ und Q Operatoren und somit auch die Energie E : der Hamiltonoperator H . Die Quantentheorie sagt nun, dass die Eigenwerte von H (also die gemessenen Energien) äquidistant als Funktion der Schwingungsfrequenz ω gegeben sind

$$E_{n\phi} = \left(n + \frac{1}{2}\right) \hbar \omega \text{ mit } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ und } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (10)$$

(\hbar ist die Plancksche Konstante). Das bedeutet, dass sich die Energie des Grundzustandes von der des nächsten angeregten Zustandes um

$$\Delta E = \hbar \omega_{01} \quad (11)$$

unterscheidet. Die Schwingungsfrequenz liegt im Bereich von $\omega_{01} = 0(10) \text{ GHz}$. Aus der Relation

$$\Delta E = \hbar \omega_{01} = k_B T_\Delta \quad (12)$$

kommt man auf eine Temperatur von $T_\Delta \approx 0.5 \text{ K}$. D.h., um den Schwingkreis unbeeinflusst von äußeren Störeinflüssen auf dem Grundzustand zu halten, muss das System in einer Umgebung mit einer Temperatur $T \ll T_\Delta$ operieren. Das ist auch der Bereich, in dem supraleitende Schwingkreise arbeiten. Dies wiederum ist der Grund, warum Quantenrechner dieses Typs recht groß sind: ein signifikanter Teil des Volumens geht auf das Konto der Kühlung.

Das ist aber nicht das Hauptproblem. Die Abstände der Energieniveaus des harmonischen Schwingkreises sind alle gleich. Damit sind durch eine gezielte Ansteuerung mit einer definierten Energie $\hbar \omega$ von außen keine zwei ausgesuchten Zustände ansprechbar. Es werden alle möglichen Übergänge angeregt.

Die Lösung ist eine Verzerrung der Energie-Abstände der Schwingungszustände. Realisiert wird dies durch die Ersetzung der „gewöhnlichen“ Induktivität L durch eine **Josephson-Brücke** [17].

Das ist eine wenige Nanometer dicke isolierende Oxydationsschicht, durch welche die Ladungen (also die Cooper-Paare) dissipationsfrei tunneln können. Das obige Schema ist dann wie in Abb. 3 gegeben.

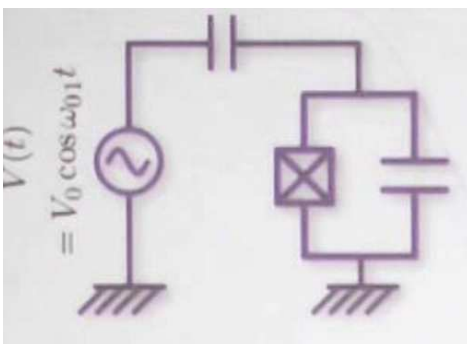


Abb. 3. Elektrischer Schwingkreis mit Josephson-Brücke [16].

Die Energie dieses Systems ist für kleine Flüsse $E = \frac{2\pi\Phi}{\Phi_n}$

$$E = -E_J \cos \Phi + \frac{Q^2}{2C} \approx \frac{Q^2}{2C} + \frac{E_J}{2} \Phi^2 - \frac{E_J}{24} \Phi^4 \quad (13)$$

(C , E_J und Φ_0 sind technologische Parameter, die durch die Konstruktion des Schwingkreises festgelegt werden.)

Das ist aber die Energie eines anharmonischen Schwingkreises und damit sind die Energiezustände nicht mehr gleichmäßig verteilt – die Frequenzen der Stufen sind unterschiedlich. Nun können zwei Zustände durch eine geeignete Wahl des externen Signals $V(t)$ gezielt angesprochen und erzeugt werden.

Störungen kann man als irregulär eingeführte Cooper-Paare darstellen. Deren Einfluss sind durch Tuning von E_J und C zu minimieren. Durch technologische und Material-Verbesserungen konnte die Kohärenzzeit (also quasi die Zeit der operativen Stabilität) von supraleitenden Schwingkreisen in den letzten ca. 20 Jahren um einen Faktor von 10^6 verlängert werden [18] – sie dürfte derzeit bei etwa 100 μ s liegen. Das ist zu vergleichen mit einer Zeit von ca. 10 ... 50 ns, welches ein Gate für eine typische Operation benötigt. Man kommt so mit einer naiven Abschätzung auf durchschnittlich 2000 ... 10000 Operationen im Modus der operativen Stabilität.

Wie wird nun ein Gate im Falle eines supraleitenden Schwingkreises realisiert? Als Beispiel eines elementaren Ein-QBit-Gates sei das X Gate (das Flip Gate) vorgestellt (s. Kap. 2). Es hat ja die Wirkung

$$X|0\rangle = |1\rangle, X|1\rangle = |0\rangle \quad (14)$$

Die Matrixschreibweise ist (s. oben)

$$X = \sigma_x = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (15)$$

mit der Pauli Matrix σ_x . Nun wird dem Schwingkreis ein Signal $V(t)$ der Form

$$V(t, \omega_s) = V_x(t) \sin(\omega_s t) + V_y(t) \cos(\omega_s t) \quad (16)$$

eingespeist. Der Hamiltonoperator des gekoppelten Systems Schwingkreis-Signal hat in der sogenannten *rotating-wave-Näherung* die Form

$$\frac{H(t)}{\hbar} = (\omega_0 - \omega_s) |1\rangle\langle 1| + \frac{V_x(t)}{2} \sigma_x + \frac{V_y(t)}{2} \sigma_y, \quad (17)$$

dabei ist ω_0 die Übergangsfrequenz vom Zustand $|0\rangle \rightarrow |1\rangle$ des Schwingkreises. Ein spezielles Signal $V(t, \omega_s)$ (16) habe nun nur eine Amplitude in x-Richtung ($V_y = 0$) und seine Frequenz ω_s stimme mit ω_0 überein. Damit hat $H(t)$ (17) die einfache Form

$$\frac{H_X(t)}{\hbar} = \frac{V_X(t)}{2} \sigma_X. \quad (18)$$

$$|\psi_0\rangle \Rightarrow |\psi_1\rangle = U|\psi_0\rangle \equiv \exp\left(\frac{-i}{\hbar} \int_0^{t_s} H(t) dt\right) |\psi_0\rangle. \quad (19)$$

In unserem speziellen Fall hat U die einfache Form (s. (18))

$$U_X = \exp\left(\frac{-i}{\hbar} \int_0^{t_s} H_X(t) dt\right) = \exp\left(\frac{-i}{2} \sigma_X \int_0^{t_s} V_X(t) dt\right). \quad (20)$$

Wenn nun das Signal $V(t)$ und seine Einwirkungsdauer t_s so gewählt werden, dass gilt $\int_0^{t_s} V_X(t) dt = \pi$, dann ist der Entwicklungsoperator U_X

$$U_X = \exp\left(\frac{-i\pi \sigma_X}{2}\right) = (-i)\sigma_X. \quad (21)$$

Das ist (bis auf eine irrelevante globale Phase $(-i)$) genau der oben beschriebene Flip-Operator X, z.B.

$$U_X|0\rangle = (-i)\sigma_X|0\rangle \equiv (-i)X|0\rangle = (-i)|1\rangle \quad (22)$$

Man kann verallgemeinern: **Gates werden durch eine geeignete Wahl der eingespeisten Signale und deren Dauer realisiert!**

Wie sehen nun reale Quantenrechner aus?

Als Beispiel ist in Abb. 4 ein 5 QBit-Chip von IBM gezeigt [19].

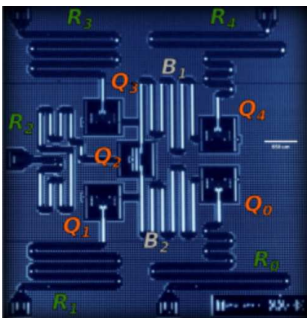


Abb. 4. Abbildung eines 5 QBit-Chips von IBM [19].

Die fünf QBits Q_i (also die supraleitenden Schwingkreise) werden über die Resonatoren R_i angesteuert bzw. ausgelesen. Gekoppelt sind sie untereinander mittels der beiden Hohlleiter-Resonatoren B_i . Die Kantenlänge eines solchen Chips liegt bei $O(5)$ cm. Der gesamte Quantenrechner mit Steuerungs- und Kühlungstechnik besitzt eine Zylinderform mit einem Durchmesser von $O(0.5)$ m und einer Höhe von $O(1)$ m.

3.2. Defektzentren in Kristallen³⁾

An dieser Stelle möchte ich einen interessanten Zugang kurz beschreiben, der sich noch in einer relativ frühen Phase der Entwicklung befindet – wenn man ihn mit den Ionenfallen oder den supraleitenden Schwingkreisen vergleicht.

Es handelt sich um Defektzentren in kristallinen Festkörpern. Dieser Ansatz wird auch von Physikern und Chemikern der Universität Leipzig in Verbund mit anderen Forschungseinrichtungen verfolgt (s. zum Beispiel [20] und Referenzen darin). Das Grundmaterial ist der Diamant. Dieser besitzt im Allgemeinen Verunreinigungen. Von diesen sind für das Quantenrechnen von besonderer Bedeutung

1. die Besetzung von Stellen im Gitter mit Stickstoff- statt mit Kohlenstoffatomen
2. Leerstellen, d.h., Plätze im Gitter, die normalerweise mit Kohlenstoffatomen besetzt sein müssten, sind leer (Vakanzen).

Die Vakanzen (V) können sich bei hohen Temperaturen im Diamant bewegen und lagern sich aus energetischen Gründen bevorzugt an die Stickstoff (N) – Defektstelle an. Man spricht dann von einem NV Zentrum. Aufgrund der Änderung der optischen Eigenschaften ist auch von Farbzentren die Rede. Wieso kann man nun diesen Ansatz wählen und was sind die Vorteile? Der entscheidende Punkt sind die Elektronenkonfigurationen um das NV Zentrum. Das N Atom besitzt 5 Außenelektronen. Das NV Zentrum besitzt 3 Elektronen, welche von den umgebenden Kohlenstoffatomen kommen (offene Bindungen) und 2 von der offenen Bindung des Stickstoffs. Ist ein Donator in der Nähe (zum Beispiel Phosphor, Sauerstoff oder Schwefel), wird von dort ein Elektron eingebunden und das NV Zentrum ist negativ geladen: NV^- . Diese Kombination ist von großer Bedeutung für die Nutzung als QBit.

Das NV^- Zentrum besitzt also 6 Elektronen. Diese kombinieren sich zu einem Triplett-Zustand $|S| = 1$ bzw. zu einem Singulett-Zustand $|S| = 0$ bezüglich des Eigendrehimpulses S und zwar sowohl für den Grundzustand als auch für die angeregten Zustände. Für das Triplett des Grundzustandes gilt, dass die Magnetquantenzahl m_S die Werte $\pm 1, 0$ annimmt, wobei sich die Frequenzen der Energiewerte zwischen 0 und ± 1 um ca. 3 GHz unterscheiden. Der Zustand mit $m_S = 0$ wird als QBit im Zustand $|0\rangle$, der mit $m_S = -1$ als QBit im Zustand $|1\rangle$ verwendet. Die Anregung der Übergänge zwischen den Zuständen und das Auslesen erfolgen

³⁾ Der Autor bedankt sich bei Peter SCHLUPP für einführende Informationen zu diesem Ansatz.

über optische Technologien.

Die Wechselwirkung zwischen den QBits werden als Spin-Spin-Wechselwirkungen der Elektronen zwischen benachbarten NV^- Zentren realisiert. Der optimale Abstand beträgt etwa 10 nm. Hier liegt eine technologische Herausforderung: diese Abstände sind (wie es eben in einem Festkörper so ist) fixiert und werden während der „Bauphase“ des Quantenrechners festgelegt. Auch muss gewährleistet sein, dass bei einer Skalierung auf $O(10^n)$ QBits dies einigermaßen regelmäßig erzeugt werden kann. Unter anderem beschäftigt sich die Leipziger Gruppe damit. Ein zweiter Wechselwirkungstyp ist der zwischen dem Elektronenspin des NV^- Zentrums und einem Kernspin, z.B. mit dem Kernspin $\frac{1}{2}$ eines benachbarten ^{13}C Isotops.

Ein CNOT Gatter kann zum Beispiel über die magnetische Dipol-Dipol Wechselwirkung der Elektronenspins benachbarter NV Zentren realisiert werden. Wie im Falle der Schwingkreise werden die Gates als Mikrowellenimpulse mit einer bestimmten Frequenz realisiert. Diese sind für die Übergänge in isolierten NV^- bekannt. Mit einem benachbarten NV^- spalten diese Übergangsenergien aufgrund der Spin-Spin-Wechselwirkung auf. Es gibt vier Energien (Frequenzen)

1. ν_1 : Übergang im NV1, wenn NV2 im Zustand \uparrow
2. ν_2 : Übergang im NV1, wenn NV2 im Zustand \downarrow
3. ν_3 : Übergang im NV2, wenn NV1 im Zustand \uparrow
4. ν_4 : Übergang im NV2, wenn NV1 im Zustand \downarrow

Wählt man nun ν_3 so wird NV2 geflippt, nur dann, wenn NV1 im Zustand \uparrow ist. Die Übergänge passieren in einem engen Resonanzbereich. Damit ist ein CNOT Gate konstruiert.

Eine weitere interessante Anwendung ist der Transfer des Spinzustandes des Elektrons auf den Kernspin. Dieser ist aufgrund der geringen Wechselwirkung z.B. mit störenden Phononen sehr stabil und könnte auch als Speicher verwendet werden. Zu den widersprechenden Eigenschaften von Quantenrechnern auf der NV Basis gehören die langen Kohärenzzeiten: sie liegen bei $T = 3.7\text{ K}$ in der Größenordnung von $O(1)\text{ s}$, **bei Raumtemperatur** sind es noch $O(2)\text{ ms}$. Zusammen mit Operationszeiten der Gatter von etwa 10 ns kommt man dann immerhin auf $O(10^5)$ Operationen. Dies und der geringe potentielle Abstand (10 nm) zwischen den QBits machen diesen Typ zu einem vielversprechenden Ansatz. Hinzu kommt, dass die Operationsgenauigkeit der Gates mit 99.99 % (Ein-QBit-Gatter) bzw. 99.2 % (Zwei-QBit-Gatter) recht hoch ist.

Schlussfolgerungen

- Als QBits können Quantensysteme verwendet werden, die entweder nur zwei Zustände besitzen oder – bei mehr als zwei – bei denen zwei Zustände gezielt angesprochen werden können.
- Wesentliche Parameter für eine sinnvolle Auswahl sind
 - lange Kohärenzzeiten
 - möglichst fehlerfreie Arbeit der Gates
 - kurze Operationszeiten für die Realisierung von Gates (also die Zustandsänderungen)
 - gute Auslesbarkeit (Messung) der Signale
- Einige Kandidaten sind
 - Energiezustände supraleitender Schwingkreise
 - Anregungszustände von Ionen
 - Spinzustände von Elektronen oder Atomkernen
 - Polarisationszustände von Photonen
- Für den Bau von Quantencomputern ist wichtig
 - stabile technologische Beherrschbarkeit
 - nachweisbare Möglichkeit der Skalierung auf 10^4 ($n > 3$) QBits
- Die technologisch derzeit fortgeschrittensten Quantencomputer basieren auf
 - Schwingkreisen
 - Ionenfallen

4. Stand und Perspektiven

Das Gebiet des Quantenrechnens gehört aktuell zu den äußerst dynamischen Forschungsrichtungen. Deshalb sind die Einschätzungen zum Stand und vor allem zu den nächsten Perspektiven sehr unsicher und mit großer Wahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt des Lesens teilweise überholt.

Alle nachfolgenden Ausführungen sind unter dem Gesichtspunkt der praktischen Anforderung in Wissenschaft, Technik und Ökonomie zu sehen. Und es sind vor allem die ökonomischen Interessen, welche die großen Ressourcen an Wissenschaftlern und Geld erfordern und zugleich ermöglichen. Es muss also gewährleistet sein, dass ein stabiles und „komfortables“ Rechnen auf einer Zahl von $O(10^6)$ QBits zumindest in greifbarer Nähe sein sollte.

Im Folgenden gebe ich Einschätzungen zum Stand und Perspektiven zu drei Entwicklungsrichtungen

1. Supraleitende Schwingkreise
2. Ionenfallen
3. NV Zentren im Diamant

Die ersten beiden Technologien gehören zu den gegenwärtig am weitest fortgeschrittenen Richtungen, hinter denen große und mittlere Unternehmen stehen. Die dritte steht technologisch relativ am Anfang, die Perspektiven sind vielversprechend aber durchaus unsicher. Zur weiteren Entwicklung wurde in Leipzig die Firma SaxonQ gegründet [21]. Eine Zusammenfassung ist in Tabelle 1 zu sehen.

Tabelle 1. Stand und Vergleich ausgewählter Technologien für Quantenrechner. Die Zeiten und die Genauigkeit sind als Richtwerte zu verstehen. Die Angaben wurden wissenschaftlichen Veröffentlichungen und aktuellen Berichten der jeweiligen Firmen (Stand 2022) entnommen. Die Zahlen zu den NV Zentren stammen aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen.

	Supraleitende Schwingkreise	Ionenfallen	NV Zentren
Unternehmen	IBM, Google, Rigetti	IonQ, Honeywell	SaxonQ
Zahl der QBits gegenwärtig	19: Rigetti 72: Google 433: IBM	32: IonQ	0(5)
Zahl der QBits geplant	0(10^6): Google (2029) 0(10^3): IBM (2023)	0(10^3): IonQ (2028)	?
Kohärenzzeit	100 μ s	50 s	2 ms
Operationszeit für ein Gate	50 ns	50 μ s	10 ns
Genauigkeit für eine Gateoperation	99.4 %	99.9 %	99.4 %
Skalierbarkeit	unklar	unklar	unklar
Arbeitstemperatur	mK	Raumtemp.	Raumtemp.

Die Angaben sind natürlich mit einer gewissen Vorsicht zu genießen. Wie schon im Abschnitt über Fehlerrechnung bemerkt, ist die Zahl der QBits nicht gleichzusetzen mit der für die Rechnung direkt verfügbaren physischen QBits. Was die Unklarheit der Skalierbarkeit anbetrifft, so gilt (bisher!)

- **Supraleitende Schwingkreise:** es ist noch unklar, wie die Ansteuerungs- und Kühlungstechnik für eine sehr große Zahl von QBits gewährleistet werden kann.
- **Ionenfallen:** die bisherige Technologie der Ansteuerung der Ionen versagt ab etwa 60 QBits. Für eine signifikante Skalierung benötigt man neue Ideen.
- **NV Zentren:** es steht noch der Nachweis aus, dass eine stabile, nachvollziehbare und kontrollierte Erzeugung sehr langer Reihen von NV Zentren technologisch machbar ist. Ansonsten sind die geringen Abstände der QBits (10 nm) eine sehr gute Voraussetzung für eine optimale Skalierung.

Die ersten beiden Technologien gelten unter diesen Bedingungen als (Zwischen-) Lösungen, mit denen prinzipielle Probleme intensiv studiert werden können.

Literatur

- [1] Der Handlungsreisende wie er sein soll. Ilmenau: Voigt, 1832.
- [2] RIVEST, R. L.; SHAMIR, L. M.; ADLEMAN, L.: A method for obtaining digital signatures and Public-Key Cryptosystems. Communications of the ACM 21 (1978), 2, S. 120.
- [3] FEYNMAN, R. P.: Simulating physics with computers. Int. J. Theoretical Physics 21 (1982), Nos. 6/7, S. 467.
- [4] SHOR, P. W.: Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. Proc. of the 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Santa Fe, NM, Nov. 20–22, IEEE Computer Society Press (1994), S. 124.
- [5] NIELSEN, M. A.; CHUANG, I. L.: Quantum computation and quantum information. Cambridge University Press, 2010; HOMEISTER, M.: Quantum Computing verstehen. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2018.
- [6] MESSIAH, A.: Quantum mechanics. Dover Publications, 2003.
- [7] EINSTEIN, E.; PODOLSKY, B.; ROSEN, N.: Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? Phys. Rev. 47 (1935), S. 777.
- [8] BELL, J. S.: On the Einstein Podolsky Rosen paradox. Physics (1964), S. 195.
- [9] GROVER, L. K.: A fast quantum mechanical algorithm for database search. Proceedings, STOC, Philadelphia PA USA, 1996, S. 212.
- [10] ARUTE, F. u.a.: Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. Nature 574 (2019), S. 505.
- [11] SHOR, P. W.: Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory. Phys. Rev. A 52 (1995), S. R2493.
- [12] KRINNER, S. u.a.: Realizing repeated quantum error correction in a distance-three surface code. Nature 605 (2022), S. 669.
- [13] DIVINCENZO, D. P.: The physical implementation of quantum computation. <http://arXiv.org/abs/quant-ph/0002077v3> (2000).

- [14] Studie: Entwicklungsstand Quantencomputer, V 1.2,
https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Studien/Quantencomputer/P283_QC_Studie-V_1_2.html (2020).
- [15] <https://www.dwavesys.com>.
- [16] BLAIS, A.: Vortrag auf der „12th Canadian Summer School on Quantum Information“. University of Waterloo, 2012.
- [17] JOSEPHSON, B. D.: Possible new effects in superconductive tunnelling. *Physics Letters* 7 (1962), S. 251.
- [18] OLIVER, W.; WELANDER, P.: Materials in superconducting quantum bits. *MRS Bulletin* 38 (2013), 10, S. 816.
- [19] BEHERA, B. B. u.a.: Designing quantum router in IBM quantum computer. *Quantum Information Processing* 18 (2019), S. 328.
- [20] PEZZAGNA, S.; MEIJER, J.: Quantum computer based on color centers in diamond. *Applied Physics Review* 8 (2021), S. 011308.
- [21] <https://www.saxonq.com>.

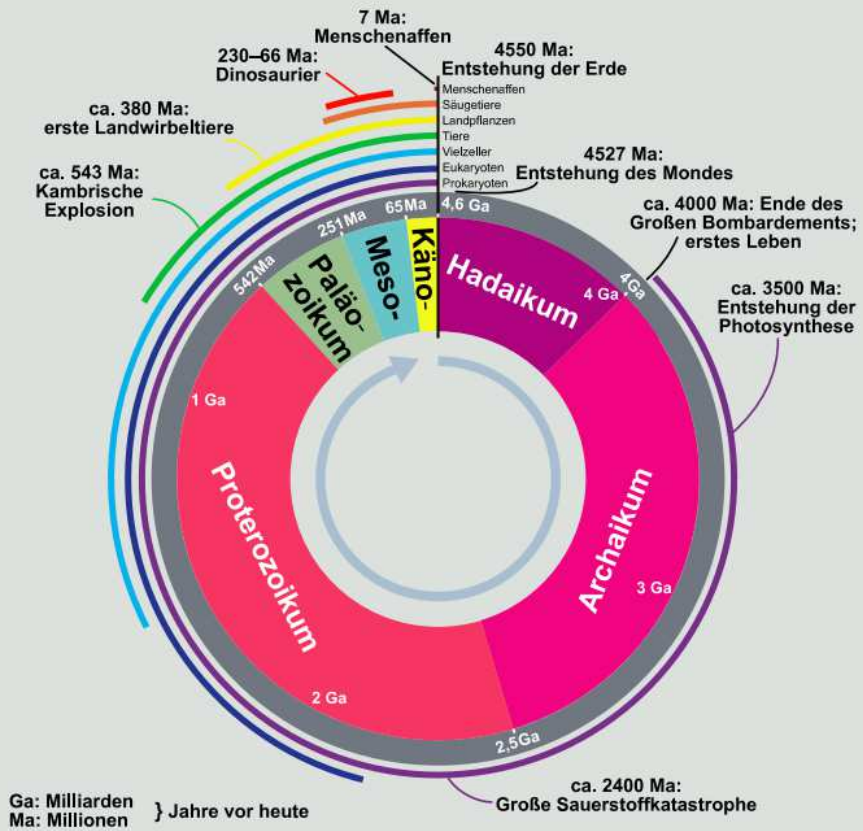
Mensch-Klima-Energie: Wilhelm Ostwald, ein Vordenker in der Klimadebatte

Vorabdruck eines von sieben Aufsätzen aus dem gleichnamigen Buch (ISBN 978-3-7329-0973-5), Verlag Frank & Timme, Berlin

Friedrich Reinhard Schmidt



**Mensch – Klima – Energie
Wilhelm Ostwald, ein Vordenker
in der Klimadebatte**



Die Erdgeschichte als geologische Uhr: übersetzt in die Einteilung eines Ziffernblattes, tritt der Mensch erst in der letzten Sekunde auf den Plan.

Grafik: Wikipedia, unter der Creative-Commons-Lizenz publiziert

Wilhelm Ostwald betrachtete den Zusammenhang zwischen Mensch und Energie als die Industrielle Revolution aufblühte. Schon in dieser Zeit warnte er vor einem unbedachten Energiewandel und seinen Folgen. Doch wer wollte angesichts der damals erzielten Erfolge in Naturwissenschaft und Technik auf ihn hören? Deutschland hatte ein dichtes Eisenbahnnetz errichtet. Der Kraftverkehr begann die Straßen zu dominieren. Die ersten Flugzeuge stiegen in die Luft. Damals hätte auch der Arzt und Kabarettist Eckart von Hirschhausen für seine Fabel kein offenes Ohr gefunden: „Treffen sich zwei Planeten. Fragt der eine: ‚Du siehst ja übel aus, was ist mit dir los?‘ ‚Ach, ich hab den Homo sapiens.‘ ‚Ach so, keine Sorge, das geht vorüber.‘“ Dieser Witz wäre nicht verstanden worden. Aber in der mit der Erdgeschichte eng verbundenen Biosphäre gab es mehrere Aufstiege und Niedergänge von Lebewesengemeinschaften, die bezogen auf das Erdalter nur als Episoden zu betrachten sind.

Der Gletschergarten von Luzern zeigt seinen Besucherinnen und Besuchern eine sehr anschauliche Uhr der Erdgeschichte. Diese rafft 4,6 Milliarden Jahre auf zwölf Stunden zusammen. Auf dieser Uhr entspricht eine Stunde 380 Millionen Jahren Erdgeschichte. Die ersten Tierspuren sind zwei Stunden vor zwölf und die ersten Reptilien und Nadelhölzer eine Stunde vor zwölf zu finden. Die Säugetiere traten in der Biosphäre noch viel später auf. Der Homo sapiens erscheint auf der Uhr der Erdgeschichte erst 0,4 Sekunden vor zwölf. Das Leben eines einzelnen Menschen dauert weniger als eine Tausendstel Sekunde.

In den zwei Stunden bis zwölf auf der Uhr der Erdgeschichte vom Auftritt der ersten tierähnliche Lebewesen bis zum Homo sapiens verlief die Evolution im Tierreich keinesfalls kontinuierlich. Ein Vulkanausbruch an der Grenze zwischen Perm und Trias vor 252 Millionen Jahren sowie später der Einschlag eines großen Meteoriten an der Grenze zwischen Kreide und Paläogen führten zu Massensterben in der Biosphäre. Nicht jeder Niedergang einer Biosphäre ist jedoch mit einem derartigen Ereignis zu erklären. Im Ruhrgebiet sind zum Beispiel bis in einer Tiefe von 3000 Metern etwa einhundert übereinander liegende Kohleflöze zu finden, voneinander getrennt durch Mergel und Sandsteinschichten. All diese Flöze zeugen von Kohlewäldern: Sie fingen einst in hohem Grad Sonnenenergie ein und gingen nach einer Blütezeit wieder ein, ohne dass erdgeschichtliche Ereignisse vorliegen. Auf die komplizierten Prozesse zwischen dem Niedergang und der Bildung von Steinkohle soll hier nicht eingegangen werden. Das würde an dieser Stelle vom Thema Mensch – Klima – Energie zu weit wegführen.



Wäre die Erde so groß wie eine Billardkugel, wäre sie genauso glatt. Selbst das Himalaja-Gebirge wäre nicht zu spüren.

Fotografie: Vecteezy

Ein zweites Beispiel für die Unabhängigkeit der Biosphärenuntergänge von Vulkanausbrüchen und Meteoriteneinschlägen sind die erst spät von der Fachwelt anerkannten **Milankovićzyklen**. Der serbische Mathematiker Milutin Milanković (1879–1958) wies darauf hin, dass Abweichungen der Erdbahn im Orbit, Veränderungen der Erdachsenneigung zur Erdbahnebene sowie Pendelbewegungen der Erdachse zu Aufstiegen und Niedergängen von Fauna und Flora in der Biosphäre führen. Auf die Milankovićzyklen wird an späterer Stelle noch einmal zurückzukommen sein.

Wäre es möglich, dass die eine Biosphäre ausfüllenden Lebewesen ihren territorialen oder gar globalen Biosphärenniedergang naturgesetzlich selbst verschulden, weil sie durch ihre Lebensweise gegen ihr Dasein gerichtete Klimaveränderungen bewirken?

Biosphären sind aus geologischer Sicht in der Erdgeschichte keinesfalls nur durch Vulkanausbrüche, Meteoriteneinschläge oder Milankovićzyklen getrieben. Sie beeinflussen die Erdgeschichte. Zwei mächtige Energieströme kämpfen auf der Erde ständig gegeneinander. Der erste kommt vom Erdkern, der zweite von der Sonne her. Ihr Kampffeld ist der Erdmantel, die Lithosphäre. Dessen Schichtstärke zwischen 100 bis 200 Kilometern gleicht bezogen auf den Radius der Erde mit 6371 Kilometern einer 0,1 bis 0,2 mm starken Hühnerschale. Und wie zerbrechlich ist diese – und wie zerbrechlich ist die Lithosphäre? Ein aus dem Erdinneren aufsteigender Energiestrom nimmt der Lithosphäre ständig die Ruhe. Er schiebt die Kontinente vor sich her, lässt hohe Berge, weite Becken und tiefe Gräben in der Erdrinde entstehen. Die Lithosphäre erscheint uns Menschen in der Folge davon sehr rau. Nach kosmischen Maßstäben ist sie jedoch glatt. Die folgende Überlegung soll das verdeutlichen: Lügen die Achttausender des Himalaja auf dem Äquator und würde dessen Band am Fuße des Gebirges durchtrennt und in der Ebene ausgebreitet, läge das Gebirge für einen an der anderen Seite der Schnittstelle stehenden Beobachter 40 000 Kilometer entfernt. Würden jetzt die Gebirgshöhe und die Entfernung durch Tausend dividiert, so wäre es, als hätte der Beobachter in der Ebene ein in vierzig Kilometern entfernt stehendes Haus zu erkennen. Nach weiterer Division durch Tausend müsste der Beobachter einen von ihm vier Kilometer weit entfernt stehenden Tisch erkennen können. Nochmals durch Tausend dividiert müsste ein vier Meter entfernt liegendes Senfkorn erkannt werden. Diese Glättung der Erdrinde ist ein Arbeitsergebnis der Strahlungsenergie: Sie geht von der Sonne aus und trifft die Erde. Sie treibt die Winde und die

Kreisläufe des Wassers an und zermahlt die Gebirge. Das Mahlgut dieser Erosion lagert sich in den Ebenen, Becken und Senken als Sediment ab. Dieser Prozess verläuft sehr, sehr langsam und nicht ohne Einschnitte, die hinzukommen durch Vulkanausbrüche, Meteoriteneinschläge oder sogenannte Milankovićzyklen. Auch die Biosphäre trägt territorial und global dazu bei. Alle Strahlungsenergie, die nicht die Erdrinde glättet oder in den Weltraum mittels Albedo zurückgestrahlt wird, geht in die Biosphäre ein und wird darin in chemische Bindungsenergie verwandelt. Jedes in einer Biosphäre vorkommende Lebewesen ist schließlich ein Energiewandler. Die das Festland bedeckende, von Pflanzen als biologische Energiewandler gebildete Flora wirkt dabei als Teil der Biosphäre nicht unwesentlich auf die Gestalt der Erdrinde als der obersten Schicht der Lithosphäre ein. Sie behindert in einem hoch entwickelten Stadium Erosion, Sedimentation und Albedo. Besonders die Albedobehinderung führt zu einer gegen alle Lebewesen innerhalb der Biosphäre gerichteten Klimaerwärmung. Hier zum Vergleich: Es ist, als stünde ein schwarzer PKW in der Sonne: Wer die Hand darauf legt, spürt die Hitze. Kühl dagegen fühlte sich das Verdeck des weißen PKW daneben an.

Eine starke Klimaerwärmung kann den Niedergang der Biosphäre auslösen. Im Zuge des Niederganges nehmen die Erosion, die Sedimentation und die Albedo wieder zu und große, nicht mehr überlebensfähige Teile der Biosphäre werden mit ihrer chemischen, als Kohleflöze, Erdöl oder Erdgas gebundenen Energie innerhalb einer aus Sedimenten gebildeten Decke begraben. Die Energieträgerlagerstätten sind Ruhelagerstätten früher eingestrahelter Sonnenenergie. Jede Rückverwandlung dieses energetischen Ruhepotentials in innerhalb der Atmosphäre zirkulierende Energien führt zwangsweise zu einer Klimaerwärmung. Die zur Zeit mit dieser Rückführung verbundenen Industriellen und Digitalen Revolutionen führten bereits zu einer eindeutig nachzuweisenden Klimaerwärmung. Was jetzt die Thermometer anzeigen, ist das erste Wetterleuchten vor einem kommenden großen Gewitter, das zum Niedergang der gegenwärtigen Biosphäre führen könnte. Der auf der Uhr der Erdgeschichte erst 0,4 Sekunden vor zwölf erschienene Mensch muss sich fragen, wie er sich angesichts der von ihm ausgelösten Klimaveränderungen zu verhalten hat, um noch 0,4 Sekunden nach zwölf Uhr auf der Erde zu leben. Vor über einhundert Jahren, als die Industrielle Revolution erst in Fahrt gekommen war, als an eine Digitale Revolution noch nicht gedacht wurde, als es keine Grünen gab und keine Klimakonferenzen stattfanden, begründete der Naturforscher und Naturphilosoph Wilhelm Ostwald eine bis zum heutigen Tage zu unrecht wenig beachte-

te, das Verhältnis zwischen Mensch und Energie betrachtende Soziale Energetik. Im Folgenden soll auf eine in seiner Sozialen Energetik enthaltenen These und zwei darin von ihm erhobenen Forderungen eingegangen werden:

– Der Mensch kann für seine Zwecke auf mannigfaltige Art und außerhalb seines Körpers Energie von einer Form in eine andere verwandeln. Er kann zum Beispiel von der Sonne herkommende Strahlungsenergie in Elektroenergie und weiter in Wärme oder mittels Motoren in mechanische Arbeit verwandeln. Den Tieren fehlt diese Fähigkeit. Sie sind, um sich in der Natur zu behaupten, aus ihr Nahrung zu gewinnen und in ihr Lebensraum zu sichern, allein auf einem im Körper stattfindenden Energiewechsel angewiesen: Sie wandeln die mit der Nahrung aufgenommene chemische Bindungsenergie in Muskelarbeit und wirken damit auf ihren Lebensraum.

– Eine dauerhafte Wirtschaft muss ausschließlich auf die Benutzung der jährlich von der Sonne herkommenden Strahlungsenergie begründet werden.

– Vergeude keine Energie, nutze sie!

Die zuerst genannte These ist als Mensch-Tier-Unterschied nach Wilhelm Ostwald zu bezeichnen. Viele Unterschiede zwischen Tier und Mensch wurden schon vor und nach Ostwald diskutiert: die feingliedrige Hand, der aufrechte Gang, das hochentwickelte Gehirn und – von der Philosophie besonders beachtet – die mit dem Denken verbundene Befähigung zur Vernunft. Dass aber der Homo sapiens wie alle anderen Lebewesen auch zuallererst ein Energiewandler ist, und dass nur er außerhalb seines Körpers Energie von einer Form in eine andere verwandeln kann und mit diesen Prozessen die Welt physikalisch verändert, das ist eine der wichtigsten, bisher von den Gesellschaftswissenschaften kaum beachteten Erkenntnisse von Wilhelm Ostwald.

Egal ob Tiere oder Menschen, sie müssen erstens für den Aufbau körpereigener Substanz und zweitens auf die Umwelt einwirkende Arbeit Energiewandel betreiben, um für sich Lebensraum und Nährstoffe zu gewinnen. Die Humanmedizin nennt das bezogen auf den Menschen Grund- und Leistungsumsatz. Für Tier und Mensch gilt dabei, dass der in Hirn und Körper getätigte Leistungsumsatz auf eine Bioenergetische Waage gelegt werden muss. Auf dieser wird er mit einem von der Natur vorgegebenen Soll verglichen. Es besteht keine Freiheit, diese Waage zu umgehen. Der vom Menschen und für den Menschen geschaffene Fortschritt bewirkt jedoch, dass der Homo sapiens immer größere



Portal des Hauses Energie im Wilhelm-Ostwald-Park in Grimma
Fotografie: Gerda und Klaus Tschira Stiftung, 2023

Teile des für ihn notwendigen Leistungsumsatzes nicht mehr wie einst von der Natur in einer Erwerbswelt, sondern in einer von ihm selbstgeschaffenen, mit beträchtlichem Energiewandel verbundenen Erlebniswelt auf seine Bioenergetische Waage legt, ja legen muss! Zu diesem Zweck entstand eine große, durch Rückgriff auf fossile Energieträger das Klima verändernde Industrie. Sie bietet Millionen Arbeitsplätze in der Erwerbswelt, dient aber letzten Endes nur dem Aufbau und der Erweiterung der Erlebniswelt zu Lasten des Klimas. Ein Beispiel dafür sind die Werften für Kreuzfahrtschiffe und diese Schiffe selbst. Ist ein Kreuzfahrtschiff auf Fahrt, bietet es den Passagierinnen und Passagieren mit Fitnessstudios, Kletterwänden, Joggingstrecken und Theatersälen vielfältige Möglichkeiten ihren Leistungsumsatz auf ihre Bioenergetischen Waagen zu legen, so als wäre das nicht auch an Land möglich.

Der Ostwaldsche Mensch-Tier-Unterschied hilft bei der Beantwortung der Frage, wie sich der Mensch zu verhalten hat, um eine Klimaerwärmung zu vermeiden. Das betrifft vor allem dessen Wirtschaftsführung.

Wilhelm Ostwald war mit seiner vor über einhundert Jahren erhobenen Forderung, **dass eine dauerhafte Wirtschaft ausschließlich auf der Benutzung der jährlich von der Sonne herkommenden Strahlungsenergie basieren muss**, seiner Zeit zu weit voraus, um dafür Anerkennung zu finden. Ihm ging es damals noch nicht so sehr um eine Klimaerwärmung. Er befürchtete vielmehr die Dissipation der Energie als Verlust brauchbarer Energiewandelmöglichkeiten in Folge deren Zerstreuung. Jahrzehnte später forderte der 1968 gegründete Club of Rome eine Entkopplung von Wohlstand und Ressourcen, insbesondere von fossilen Energieträgern. 1978 wurde auf einer Klimakonferenz erstmals über den Zusammenhang zwischen Klimaerwärmung und Einsatz fossiler Energieträger für die Gewinnung von Energiewandelmöglichkeiten und dessen Folgen diskutiert. Dennoch klingt die von Wilhelm Ostwald vor über einhundert Jahren erhobene Forderung, als stamme sie aus dem Programm einer jungen Ökobewegung. Warum aber ist diese Forderung so schwer zu befolgen? Das an fossile Energieträger gebundene Energiekonzentrat entstand in Hochphasen von Biosphären. Dessen in der Erwerbs- und Erlebniswelt zirkulierende Energie gleicht dem Einsatz von Brühwürfeln in der Küche. Sollte zukünftig der Energiewandelbedarf ausschließlich durch Solarenergie gedeckt werden, müssten riesige Flächen mit Solarzellen zur Stromerzeugung bedeckt werden. Diese gingen für die Lebensmittelproduktion verloren. Nicht weniger bedenklich wäre die Bedeckung der Wüsten mit Solarzellen. Das wäre als stünde dann



Grönlands weiße Oberfläche reflektiert viel Sonnenstrahlung. Fällt dies durch Klimaerwärmung weg, heizt sich die Erde nur umso schneller auf.

Fotografie: Screenshot der Nasa-Software „World Wind“, auf Wikipedia publiziert


dort ein Hochwald mit einer gegenüber den Wüsten viel schwächeren Albedo. Könnte die von Wissenschaft und Technik in Aussicht gestellte friedliche Nutzung der Kernfusion zu ausreichenden und zugleich klimaneutralen Energiewandelmöglichkeiten führen? Nein das kann sie nicht! Sie würde für die Erde wie eine zweite Sonne wirken und ergänzte den Zustrom von Strahlungsenergie. Wenn nach Milutin Milanković selbst geringe Erdbahnamabweichungen oder Neigungsdifferenzen der Erdbachse Klimaveränderungen herbeiführen, wirkt der Einsatz von Fusionsreaktoren gleich dem Verkürzen der Erdbahn und dem Heranrücken der Erde an die Sonne. Was aber dann? Es kommt darauf an, den Ökologischen Fußabdruck eines jeden Menschen zu verkleinern, in Industrieländern mehr als in Entwicklungsländern. Mathis Wackernagel und William Rees entwickelten dazu 1994 eine Berechnungsmethode. Dazu nur so viel: Leben erfordert stets Energiewandel. Kein noch so grün eingestellter Mensch kann über eine Wiese gehen ohne Gras zu zertreten. Es würde jedoch nicht angehen, einem jeden Menschen die Größe seines Ökologischen Fußabdrucks vorzuschreiben und den sich daraus für die Bevölkerung ergebenden Energiewandel der jährlich eingestrahnten Sonnenenergie gegenüberzustellen. Das bedingte eine Planwirtschaft. Für diese ist der Mensch nicht geeignet. Das hat die jüngste Geschichte gezeigt. Was aber dann?

Wilhelm Ostwald dachte mit dem von ihm aufgestellten Energetischen Imperativ

Vergeude keine Energie, nutze sie!

seiner Zeit weit voraus. Doch nichts scheint für den Menschen schwerer, als den Energetischen Imperativ zu befolgen. Weil er nach seinem Willen außerhalb seines Körpers Energie von einer Form in eine andere zu verwandeln mag, kann er sich für sich von der Natur für ihn nicht vorgegebene Ziele setzen. Dazu ein Beispiel aus vielen anderen. Dem Menschen bereitet es erhebliche, mit Leistungsumsatz verbundene Mühe, an einem Tag vierzig Kilometer zu Fuß zu bewältigen. Mit dem als Energiewandler zu betrachtenden Flugzeug überquert er als Passagier den Atlantik. Der Mensch erweitert mit seinem nur für ihn möglichen, außerhalb seines Körpers betriebenen Energiewandel seine Ziele. Er kann zugleich auf diese Weise seinen mit Hand und Hirn für den Lebensunterhalt notwendigen Leistungsumsatz minimieren. Doch die Natur ist unerbittlich. Der Mensch hat, ohne an Leib und Seele Schaden zu nehmen, tagein und tagaus einen vorgegebenen Leistungsumsatz auf seine bioenergetische Waage zu legen. Was er dabei nicht in der Erwerbswelt auf die Waage legt, das hat er in einer Erlebniswelt

mit Kultur, Sport und Tourismus darauf zu legen. Das derzeitige Ausufern der Erlebniswelt verstößt jedoch besonders in den hochentwickelten Industriestaaten gegen den Energetischen Imperativ. Noch weit bis in die Zeit der Industriellen Revolution bestand für die unteren und oft auch die mittleren Gesellschaftsschichten eine Einheit zwischen Erwerbs- und Erlebniswelt. Das gelungene Werkstück führte für den Mann an der Werkbank nicht nur zu Lohn. Es bereitere ihm zugleich ein Erfolgserlebnis. Die Mehrzahl der Bevölkerung eines Landes besaß zu jener Zeit jedoch einen geschundenen Körper und eine geringe Lebenserwartung. Wer will schon in jene Zeit zurück? Wenn aber der Homo sapiens nach der Uhr der Erdgeschichte noch eine Sekunde nach zwölf auf der Erde siedeln möchte, so hat er – soweit wie für ihn möglich – die Einheit zwischen Erwerbs- und Erlebniswelt wieder herzustellen. Diese Aufgabe ist weit schwieriger als der Flug zum Mars oder der Bau von Fusionsreaktoren. Unbedachte energetische Askese würde auf der Stelle die Wirtschaft in ein Chaos mit unübersehbaren Folgen stürzen. Dazu muss der Mensch seine triebhafte Neigung, Energie außerhalb seines Körpers von einer Form in eine andere zu verwandeln, dämpfen. Warum ist das so schwer?



In Vergnügungsparks spiegelt sich wieder, wie sehr der Mensch sich in der modernen Bürogesellschaft von der körperlichen Arbeit entfremdet hat. Er muss sich in der Freizeit mit enormem energetischen Aufwand die körperlichen und mentalen Reize verschaffen, die ihm an seinem Arbeitsplatz tagein tagaus fehlen.

Dazu sei an den Sinnspruch Friedrich von Logaus (1605–1655) erinnert

**Sich selbst besiegen ist der schwerste Krieg.
Sich selbst besiegen ist der schönste Sieg.**

Was aber, wenn erst nachfolgende Generationen und nicht der Jetztmensch den Siegeslohn genießen können? So mancher Mensch wird sich daher fragen, warum er angesichts der vielen Angebote zum Energiewandel Verzicht üben soll.

In den zwanziger Jahren entstand in der Philosophie eine neue, Philosophische Anthropologie genannte Denkrichtung. Zu ihren Gründern und bis heute wichtigsten Vertretern gehören Max Scheler (1874–1928), Helmuth Plessner (1892–1985) und Arnold Gehlen (1904–1976). Keiner der Genannten nahm einen Bezug auf Wilhelm Ostwald und dessen Soziale Energetik. Eine die Menschheit bedrohende Klimaerwärmung war zu ihrer Zeit, aber auch jetzt noch für viele Philosophen kein Thema. Die Soziale Energetik von Wilhelm Ostwald enthält viele absonderliche Gedanken. Würde sie durch ein Sieb geschüttelt, bliebe noch viel Überlegenswertes als nur sein Mensch-Tier-Unterschied, eine ausschließlich auf Strahlungsenergie basierende Wirtschaft und der Energetische Imperativ darin. Es wäre wünschenswert, dass sich junge Denkerinnen und Denker dieser Aufgabe annehmen. Dem Wilhelm-Ostwald-Park ist zu wünschen, dass er sich zu einem Mekka umweltbewusster Menschen entwickelt.





Über den Autor

Friedrich Reinhard Schmidt, geboren 1937. Zunächst Lehre als Orgelbauer. Studium Maschinenbau und Ökonomie 1961–1967 an der Technischen Universität Dresden. Bis 1970 Arbeit in verschiedenen Bereichen der Luftfahrtindustrie, des Maschinenbaus und der Elektronik in Dresden. 1970 Beginn der wissenschaftlichen Assistenz an der Ingenieurhochschule Mittweida. 1975 Berufung zum Hochschuldozenten für Montage-technologie. 1974 Promotion an der Technischen Universität Dresden auf dem Gebiet der Prozesstechnologie, Habilitation 1985 an der Technischen Universität Dresden, 1990 Ruf zum Professor.

1990–2000 Wirken als Rektor und Gründungsrektor an der Ingenieurhochschule Mittweida, der heutigen Hochschule Mittweida. Außerordentliche Verdienste um Erhalt und Ausbau der Hochschule Mittweida. Seit dem Beginn seiner Amtszeit beschäftigt er sich zunehmend mit naturphilosophischen Fragen in Anlehnung an die Energetik von Wilhelm Ostwald.

Auszeichnungen

2000: Sächsischer Verdienstorden

2000: Ehrenbürger der Stadt Mittweida

2010: Goldene Ehrennadel der Hochschule Mittweida

Werke

Wettbewerb – wer gewinnt und wer verliert? Erfolg im Beruf und anderswo.
R. G. Fischer Verlag, Frankfurt/M. 2009 ISBN 978-3-8301-1235-8.

Der sanfte Menschheitsuntergang oder Der Trieb, der Karl Marx stürzte.
Kölner Universitätsverlag, Köln 1994, ISBN 978-3874270540.

Zurück zur Arbeit oder der Mensch im Hamsterlaufrad. Georg Olms Verlag
Hildesheim, Zürich, New York 1998, ISBN 978-3-487-10661-8.

Das ist der Mensch. Frank & Timme GmbH, Verlag für wissenschaftliche
Literatur, Berlin 2019 (Reihe: Philosophie, Naturwissenschaft und Technik,
Band 8), ISBN 978-3-7329-0556-0.

Zur Kritik Ostwalds an der zeitgenössischen Geschichtswissenschaft

Jan-Peter Domschke

Abstract

Wilhelm OSTWALD oft polemische Äußerungen über die Geschichte als Wissenschaft, deren Aufgaben und ihrem Nutzen wurden, wie auch jene über die Philologie, den Religionsunterricht und dem Bildungskanon des „*humanistischen Gymnasiums*“, oft dazu benutzt, um von dem Gelehrten ein überwiegend negatives Charakterbild zu zeichnen. In diesem Schrifttum wird übersehen, dass Wilhelm OSTWALD nicht selten zwar widersprüchlich und streitbar auftrat, aber kein dummlicher Ignorant war. Die Untersuchung der historisch konkreten politischen Verhältnisse und der in ihnen aufkommenden gesellschaftlichen Bedürfnisse und Zielsetzungen bildeten für Wilhelm OSTWALD den Rahmen für die Realisierung oder die Ablehnung von Theorien, Aussagen oder Urteilen. Sowohl der Stand der Verwertungsmöglichkeiten und -bedingungen, die Gesamtheit der politischen und weltanschaulichen Faktoren, das Weltbild und das allgemeine geistige und kulturelle Bildungsniveau der Menschen waren für ihn Determinanten des Geschehens. Eine Gesamtwürdigung der vielschichtigen Anregungen, Vorschläge und Kritiken Wilhelm OSTWALD zur Geschichtswissenschaft lässt sich allerdings im Rahmen dieses Beitrages nicht leisten.

Die Geschichtswissenschaft gliedert sich in eine Vielzahl von Disziplinen, die nach unterschiedlichen Prinzipien oder Strukturelementen geordnet werden können. Das Bemühen um die Zusammenhänge von Weltanschauung, Ideologie, Wissenschaft und Technik nutzt die materiellen und ideellen Hinterlassenschaften und Erkenntnisse von Geistes- und Naturwissenschaften sowie der sozialen Beziehungen. Die Erforschung des Verlaufs und der Hintergründe von historischen Ereignissen dient der Beantwortung gesellschaftspolitischer Fragen. Solche Fragen sind zum Beispiel:

Gibt es Beweise für den historischen „Fortschritt“?

Haben vergleichbare Situationen zu vergleichbaren Lösungen geführt?

Was bestimmt den Prozess der wissenschaftlichen und technischen Entwicklung?

Welche Bedeutung kommt der Geschichtswissenschaft in der politischen Auseinandersetzung zu?

Welche Bedeutung haben kulturelle, religiöse und moralische Prinzipien für den Geschichtsverlauf?

Welche Bedeutung hat das Handeln von Persönlichkeiten, das von Gemeinschaften oder das des sozialen Umfeldes?

Welche Bedeutung kommt den ökonomischen Verhältnissen zu?

Welchen Einfluss haben Klima, Boden, energetische Situation und Naturkatastrophen?

Der schwerwiegendste Vorwurf gegen die Geschichtswissenschaft ist der einer fehlenden wissenschaftlichen Objektivität. Die Einwendungen werden meist damit begründet, dass sich in der Geschichtswissenschaft nicht nur ihr Inhalt und ihre Aufgaben widerspiegeln, sondern auch die Absichten derer, die sie betrieben. Die Behauptung, dass Historiker den historischen Quellen ihre eigenen Überzeugungen und „Vor-Urteile“ aufzwingen, stößt auf die entgegengesetzte Vorstellung, dass es eine „wert- und weltanschauungsfreie Geschichtswissenschaft“ gäbe. Eine voraussetzungslose Geschichtswissenschaft ohne Selektionskriterien und Erkenntnisinteressen ist aber, wie jede andere Wissenschaft, nicht möglich. Nicht selten bezweifeln die Kritiker auch die Authentizität der Quellen und die monokausalen Geschichtsdarstellungen von Religionsgemeinschaften, Dynastien oder Nationalstaaten. Der Versuch, Geschehnisse in einem systematischen Zusammenhang zu denken, unterstellt dagegen, dass in der Geschichte langfristig Kräfte wirkten, die eine Erklärungsstruktur für den geschichtlichen Ablauf ermöglichen. Nur so kann entschieden werden, welche Interpretationen und Wertungen der Realität näher sind als andere, selbst wenn eine völlige Gewissheit nicht erreichbar ist. Voraussetzung dafür ist, dass die Fakten, ohne Plausibilität, Glaubwürdigkeit oder Sinnhaftigkeit zu verletzen, in einem erklärenden Zusammenhang vorgetragen werden, ohne eine „Totalität“ der Erkenntnisse oder einen „Kulminationspunkt“ in der Geschichte zu behaupten. Obwohl man sich jederzeit Manipulationen und Spekulationen über Außerirdisches und Zukünftiges hingeben kann, so gilt in der Geschichtswissenschaft nur, was als glaubwürdige Überlieferung weitgehend beweisbar ist. Grenzen ergeben sich aus dem Fehlen von Erinnerungsträgern, sie können aber auch der Komplexität von Vorgängen geschuldet sein. Häufig ist es zum Beispiel unmöglich, Einzelereignisse zu rekonstruieren, weil die vorhandenen Motivationen zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht mehr herauszufinden sind. Neue Sichtweisen können sich dann herausbilden, wenn neue Quellen aufgefunden werden oder veränderte Fragestellungen sie erzwingen. Letztlich kann eine Bewertung der oft mehr oder weniger unvollständig überlieferten Daten erst in der Theorie hergestellt werden. „Geschichte“ ist in diesem Sinne bereits Konstruktion, der mehr oder weniger theoretisch begründete Weltanschauungen zugrunde liegen. Das Ergebnis sind unterschiedliche Interpretationen geschichtlicher Ereignisse und Verläufe.

Wilhelm OSTWALD leitete seine Auffassungen zu historischen Vorgängen aus seinen energetischen Überzeugungen ab. Für ihn war die Einhaltung des „energetischen Imperativs“ „Vergeude keine Energie - verwerte sie!“ zwingend. Er formulierte in der Begrifflichkeit der „Energetik“ „... dass auch ... das Recht, die Staats- und Wirtschaftsordnung und sogar die Wissenschaft selbst, ... in ihrem Entstehen und in ihrer Durchführung den gleichen energetischen Gesetzen unterliegt, wie etwa die Konstruktion einer Eisenbrücke oder die Herstellung einer Dynamomaschine“ [1]. Der Gelehrte forderte, dass ausnahmslos jede Tätigkeit, auch Kultur, Wissenschaft und Politik, dem „energetischen Imperativ“ genügen müssten, denn nur mit ihm ließen sich „... die Richtlinien alles sachgemäßen oder vernünftigen Tuns, vom Nadeleinfädeln bis zur Regierung eines Staates ...“ [2]

darstellen. Wilhelm OSTWALD räumte aber ein, dass der Mensch „... *nicht passiv dem Schicksal unterworfen, (sei), dass ihm die Außenwelt bereitet, sondern kann diese selbst ändern, um ihr eine solche Gestalt zu geben, die ihm nach bester Einsicht die zweckmäßigste erscheint*“ [3]. Der zu erwartende „Wärmetod“ müsse so weit wie möglich hinausgeschoben werden, denn es gelte auch hier das sogenannte „Dissipationsgesetz“.

Eine wissenschaftliche Grundlegung für die Analyse und die Interpretation historischer Vorgänge wollte Wilhelm OSTWALD nur dann akzeptieren, wenn sie mit verifizierbaren Aussagen verbunden waren, denn ein von der Ursache-Folge-Beziehung bestimmter Verlauf sei nur aus empirisch gewonnenen Fakten oder aus einer nachprüfbaren Deduktion anzugeben. Weil der naturwissenschaftlich begründete Beweis einer Kausalität aber oft nicht möglich sei, müsse dort auf das „Erklären“ und damit auf das „Voraussagen“ verzichtet werden. Die Beurteilung von historischen Ereignissen und Verläufen ginge über die bloße Feststellung von Phänomenen durch „benennen“, „beschreiben“ oder „erläutern“ hinaus [4].

Wilhelm OSTWALD bemerkt darüber hinaus zur wissenschaftlichen Arbeit, dass jede Theorie den Erkenntnisstand ihrer Zeit mehr oder weniger vollkommen ausdrücke. Früher oder später passten jedoch die Theorien nicht mehr zu den Tatsachen: „*Tatsachen sind aber auf die Dauer widerstandsfähiger als alle Theorien oder vielmehr ihre konservativen Vertreter, und so entsteht die Notwendigkeit, die alte Theorie entweder passend zu erweitern oder durch eine neue, angemessenere zu ersetzen*“ [5].

Die Hinwendung von Wilhelm OSTWALD zur Geschichtswissenschaft resultierte nicht nur aus seinen „energetischen“ und weltanschaulichen Überlegungen, sondern ist in nicht unerheblichem Maße seiner Unzufriedenheit mit den an der Universität Leipzig praktizierten „Geisteswissenschaften“ geschuldet. Er schrieb: „*Zur Zeit meines Eintritts amte als Rektor der Althilologe Otto Ribbeck Nach Art solcher Priesterschaften, deren Gewalt nicht auf der Natur der Sache beruht, sondern auf Usurpation und Tradition, war es ihm nicht Frage einer größeren oder geringeren Zweckmäßigkeit, über welche man in guten Glauben verschieden urteilen kann, je nach den Erfahrungen, die man persönlich gemacht oder von anderen überkommen hat, sondern Frage der „Überzeugung“, d. h. einer gefühlsmäßigen Einstellung, an der festzuhalten „Pflicht“ war* [6]. An anderer Stelle heißt es: „*Von großem Einfluss war hierbei, dass gerade die menschlichen Eigenschaften der Vertreter des Humanismus, die ich in Dorpat und später in Leipzig kennen lernte, durchaus keine Belege für die Hebung ihrer seelischen Werte durch die Beschäftigung mit der Antike erkennen ließen, ... Ich fand im Gegenteil diese Männer vielfach beschränkt, unfähig die wichtigsten Vorgänge ihrer Zeit zu verstehen ... Als ich während eines Jahres in Leipzig die Fakultätsgeschäfte als Dekan zu führen hatte, kam u.a. die Neubesetzung eines freigewordenen althilologischen Lehrstuhls in Frage. Wir Naturforscher waren gewöhnt, in solchen Fällen den besten Mann zu wählen, der erreichbar war, in dem Vertrauen, dass je wirksamer er sich als Lehrer und Forscher erwies, die Universität umso höher*

dastehen und umso mehr Schüler heranziehen würde. Bei den Philologen aber war der erste Gesichtspunkt, einen Mann zu finden, der den vorhandenen Fachgenossen durch sein Arbeitsgebiet am wenigsten Konkurrenz machen würde. Das wurde bei den Besprechungen als selbstverständliche Forderung, offenbar behufs Wahrung der „Kollegialität“ offen geltend gemacht und darnach wurde auch verfahren“ [7].

Großen Raum nahmen auch Wilhelm OSTWALDs zahlreiche Stellungnahmen und Polemiken zum „antiken Ideal“ ein. In den Ansprüchen der akademischen Philologie und der zeitgenössischen Geschichtswissenschaft an den Universitäten und den „humanistischen Gymnasien“ vermutete Wilhelm OSTWALD eine Missachtung der Natur- und Technikwissenschaften, die im Gegensatz zu den Geisteswissenschaften die praktischen Bedürfnisse der Menschen befriedigten. Er war davon überzeugt, dass sich die meisten Geisteswissenschaftler einer ernsthaften Beschäftigung mit den weltanschaulichen und wissenschaftlichen Problemen der Naturwissenschaftler und Ingenieure verweigerten. *„Sodann machte sich die Beschränktheit des üblichen historischen Standpunktes geltend, für den nur die ‚geistigen‘ Bestandteile des Lebens in Betracht kamen und die allgemeinen oder biologischen Bedingungen als Nebensachen nur eben erwähnt wurden. Kurz, die Enge und Einseitigkeit, zu der sich die Vertreter der ‚Geisteswissenschaften‘ selbst verurteilen, wenn sie die Denkmittel der Naturwissenschaften außeracht lassen, pflegte auch dieses Feld unfruchtbar zu machen“* [8], schrieb Wilhelm OSTWALD. Zu ihrer oft elitären und „staatsnahen“ Weltsicht trugen aus seiner Sicht zum Teil auch die Verbindung von Klerus und Staatsbeamtentum, *„Herzensüberzeugungen“*, *„Weltbilder“*, politische Programmatiken und auch die gewährten Privilegien bei. Sie behinderte die Fortentwicklung der Wissenschaft, weil sie sich der empirischen Nachweisbarkeit entzogen. *„Mit besonderer Schärfe wendete ich mich gegen den Anspruch, der philologische Unterricht sei auf die Ideale gerichtet, im Gegensatz zum ‚banausischen Nützlichkeitsstandpunkt‘ der Naturwissenschaft. Ein Ideal ist ein an sich unerreichbares Ziel, dem man sich schrittweise annähert. Die Antike kann schon deshalb kein Ideal sein, weil wir uns ihr überhaupt nicht nähern können, sondern uns mit naturgesetzlicher Notwendigkeit von ihr entfernen. Von jenem Gegensatz bleibt nur der Umstand wahr, dass sie tatsächlich nicht nützlich ist, sondern unnütz und schon deshalb schädlich“*. Weiter heißt es: *„Damit hat sich diese Denkweise grundsätzlich selbst zur Unfruchtbarkeit verurteilt, und die Beschaffenheit der Mehrzahl ihrer Träger liefert den experimentellen Nachweis für die geisttötende Wirkung einer solchen Einstellung“* [9].

Wilhelm OSTWALD stieß mit seinen kritischen Positionen zu den Verhältnissen an der philosophischen Fakultät im sogenannten „Positivistenkranzchen“, das neben ihm den Historiker Karl LAMPRECHT, den Psychologen Wilhelm WUNDT, den Nationalökonom Karl BÜCHER und den Geographen Friedrich RATZEL zusammenführte, auf Zustimmung. Diese Wissenschaftler trafen sich regelmäßig zu wissenschaftlichen Gesprächen, sie einte weltanschauliche Nähe und Interdisziplinari-

tät. Vor allem der streitbare Historiker Karl LAMPRECHT hatte Einfluss auf Wilhelm OSTWALDs Geschichtsauffassung. Karl LAMPRECHT betonte die Bedeutung der Kulturgeschichte, der wirtschaftlichen und anderer materieller Faktoren und von Gruppen in der Geschichte. Sein Ziel war eine Geschichtsschreibung, in der Kunst, Kultur, Politik und materielle Zustände analysiert und alle Schlussfolgerungen in ihrer Komplexität begründet wurden. Er postulierte, dass die Geschichtswissenschaft nach Regeln und Gesetzmäßigkeiten in der Geschichte suche, obwohl sich das sinnvolle Zusammenführen zwischen den oft mehr oder weniger unvollständig überlieferten Daten oft nicht herstellen ließe. Wiederholt kritisierte er, dass historische Situationen und Prozesse nicht in ihrer Gesamtheit Berücksichtigung fänden, Geschichtsdarstellungen von Religionsgemeinschaften, Dynastien oder Nationalstaaten als „Geschichte“ gälten und dass Historiker den historischen Quellen ihre eigenen Überzeugungen und „Vor-Urteile“ aufzwängen. Wie sehr diese Auffassungen an den Grundlagen bisheriger Geschichtsdarstellungen rüttelten, zeigte sich an den Reaktionen seiner Gegner, die ihn des „Materialismus“ und „Positivismus“ bezichtigten. Die Kontroverse trug nicht selten den Charakter offener Feindseligkeit, hinter der die eigentliche Diskussion zurücktrat. Die Auseinandersetzungen in diesem Streit waren in ihrem Kern eine Debatte um einheitliche und besser begründete Erkenntnisprinzipien für die Geschichtswissenschaft. Über Karl LAMPRECHT schrieb Wilhelm OSTWALD später: *„Da er im Gegensatz zur klassischen Schule seiner Kollegen auf die Entdeckung von Entwicklungsgesetzen in der Geschichte aus war, so fühlte ich mich von vornherein zu ihm hingezogen, zumal auch er bald genug in eine gegensätzliche Stellung zu einigen Leipziger Kollegen geriet, deren Art und Betätigung auch mir nicht gefallen hatte“* [10]. Im Grundsätzlichen stimmten Wilhelm OSTWALD und Karl LAMPRECHT in den meisten Auffassungen überein. Beide Wissenschaftler versuchten, Geschehnisse in einem systematischen Zusammenhang zu denken, sie gingen davon aus, dass in der Geschichte langfristig Kräfte wirkten, die eine Erklärungsstruktur für den geschichtlichen Ablauf ermöglichen. Nur so könne entschieden werden, welche Interpretationen und Wertungen der Realität näher sind als andere, selbst wenn eine völlige Gewissheit nicht erreichbar ist. Dennoch kritisierte Wilhelm OSTWALD auch Karl LAMPRECHT, indem er der Geschichtswissenschaft ihre Wissenschaftlichkeit absprach: *„So willkommen mir seine Einstellung gegenüber dem reaktionären Flügel seiner Fachgenossen war, ich konnte nicht verschweigen, dass ich eine Geschichtswissenschaft als inhaltliche Wissenschaft nicht anerkennen kann. Ich wies ihn auf sein eigenes Werk hin, dessen Inhalt sachlich so ganz verschieden war von dem anderer Werke über deutsche Geschichte und kam zu dem Ergebnis, dass die Geschichte nur die Technik ist, wie man irgendwelche vergangene Verhältnisse, die man wissen möchte, aus den Überresten erschließt. Um den Inhalt dieser Verhältnisse zu beurteilen, sind aber Sonderkenntnisse des betreffenden Faches erforderlich, die der Historiker nicht hat und nicht haben kann. ... Lamprecht pflegte dagegen geltend zu machen, dass der Historiker unentbehrlich sei, um die vielen Einzelgeschichten zu einer allgemeinen zusammenzufassen“* [11].

Einen großen Anteil an Wilhelm OSTWALDS geschichtswissenschaftlichen Überlegungen haben seine Untersuchungen von wissenschafts- und technikgeschichtlichen Entwicklungen in der Vergangenheit. Sie waren für ihn nicht nur ein untrennbarer Teil der Geschichte, sondern auch in weitaus höherem Maße der Wissenschaft verpflichtet als die vorherrschende. *„Sodann machte sich die Beschränktheit des üblichen historischen Standpunktes geltend, für den nur die ‚geistigen‘ Bestandteile des Lebens in Betracht kamen und die allgemeinen oder biologischen Bedingungen als Nebensachen nur eben erwähnt wurden. Kurz, die Enge und Einseitigkeit, zu der sich die Vertreter der ‚Geisteswissenschaften‘ selbst verurteilen, wenn sie die Denkmittel der Naturwissenschaften außeracht lassen, pfl egte auch dieses Feld unfruchtbar zu machen“* [12]. Wilhelm OSTWALD beanspruchte auch hier die „Energetik“, die er der Wissenschaft zuordnete, als eine neue weltanschauliche Grundlage für eine wissenschaftliche Geschichtsschreibung: *„Die angezüchtete Gewohnheit, wissenschaftlich zu verallgemeinern, begann sich alsbald auch hier, zunächst instinktiv, zu betätigen, so dass ich mir bald die Frage vorlegte: handelt es sich hier um einen persönlichen Sonderfall, oder lassen sich Allgemeinheiten über die inneren Schicksale der Wissenschaftler angeben? ... Wie immer in den exakten Wissenschaften, gibt es keine andere Unterlage für solche verallgemeinernden Schlüsse als die unvollständige Induktion vermöge einfacher Aufzählung; diese Schlüsse sind daher der Verschiebung, Verbesserung, Verdeutlichung, wenn auch nicht der völligen Vernichtung durch spätere Forschungen unterworfen“* [13]. *„Ferner hatte ich keineswegs meine geschichtlichen Untersuchungen darauf beschränkt, nach der Vorschrift des Hauptes der Historiker Ranke, nur festzustellen, ‘wie es eigentlich gewesen war’. Dies betrachtete ich allerdings als eine notwendige Vorarbeit, aber nur als eine Vorarbeit. ... Und zwar hatte ich ja ... in der Energetik einen neuen Gesichtspunkt gewonnen, der mannigfaltige und tiefgreifende Anwendungen ermöglichte“* [14].

Mit der „Energetik“ übersah Wilhelm OSTWALD allerdings, dass für die Ordnung und Erfassung von wesentlichen Aspekten der sozialen Realität zwar begrifflich und sachlich eine einseitige Steigerung eines oder einiger Gesichtspunkte erfolgen kann, aber keine abschließende Beschreibung sozialen Geschehens möglich ist. Er verblieb zumeist im Denken der traditionellen Geschichtsschreibung der Natur- und Ingenieurwissenschaften und berücksichtigte die politische Dimension nur am Rande, denn die möglichen Folgen der Anwendung wissenschaftlich-technischer Erkenntnisse können durchaus außerhalb der ursprünglichen Interessen und verfolgten Ziele liegen und sich sowohl räumlich und zeitlich als auch in systemübergreifender Weise der eindeutigen Beurteilung entziehen. Auch die Gewinninteressen können anderen zuwiderlaufen.

Einen größeren Anteil an Wilhelm OSTWALDS Publikationen zur Wissenschafts- und Technikgeschichte hatten seine Studien über bedeutende Naturwissenschaftler. Weitere Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte leistete Wilhelm OSTWALD mit seiner Darstellung der Genese der physikalischen Chemie und angrenzender Gebiete, zu technischen Innovationen, wissenschaftlichen Ausbil-

dungsordnungen und Abschlüssen, die Entwicklung wissenschaftlicher Zeitschriften, Verlage, Sammlungen und von Organisationsformen. Über Darstellungen mit biographischem Hintergrund gehen bis heute die Meinungen in der Geschichtswissenschaft weit auseinander. Oft entsprechen wissenschaftliche Leistung, moralische Integrität und politische Überzeugungen der Persönlichkeiten nicht dem häufig bemühten „Idealbild“. Der deutsche Chemiker Fritz HABER erhielt zum Beispiel 1919 den Nobelpreis für Chemie für die katalytische Synthese von Ammoniak aus dessen Elementen Stickstoff und Wasserstoff. Das Verfahren ist bis heute eine der Grundlagen für die Produktion in der Nahrungsgüterwirtschaft. Versuche mit Phosgen und Chlorgas machten ihn aber gleichzeitig zum „Vater des Gaskrieges“ und begünstigten den Einsatz der Giftgase als Kriegswaffen im Ersten Weltkrieg. *„Nur zu oft ist der Erfinder der faustische Idealist, der die Welt verbessern möchte, aber an den harten Realitäten scheitert. Will er seine Ideen durchsetzen, muss er sich mit Mächten einlassen, deren Realitätssinn schärfer und ausgeprägter ist. In der heutigen Zeit sind solche Mächte, ohne dass ich damit ein Werturteil aussprechen möchte, vornehmlich Militärs und Manager. ... Nach meiner Erfahrung sind die Chancen des Einzelnen, sich gegen solches Paktieren zu wehren, gering“* [15], heißt es in einer Publikation von Konrad ZUSE.

Eine Besonderheit der Wissenschafts- und Technikgeschichte ist ihre Abweichung von der vornehmlich von der politischen Geschichte geprägten Periodisierung, denn in ihr gilt die in der allgemeinen Geschichte gebräuchliche Einteilung von Epochen nur zum Teil. Ereignisse, die in der allgemeinen Geschichtswissenschaft als Kulminations- und Wendepunkte bezeichnet werden, müssen es hier nicht in der gleichen Weise sein. Lesley WHITE folgt zum Beispiel in seiner Periodisierung den Formen der *„Nutzbarmachung und Kontrolle von Energie“* nicht der üblichen Periodisierung. Er unterscheidet fünf Stufen menschlicher Entwicklung: Die erste ist von der Nutzung der menschlichen Muskelenergie bestimmt, die zweite von der Verwendung der Energie domestizierter Tiere, die dritte von der Nutzung pflanzlicher Energie, die vierte Stufe bildet die Nutzung von Öl, Gas und Kohle, die fünfte die Nutzung atomarer Energie. Andere Forscher gehen von den Fortschritten der Kommunikationstechnik und ihren Wirkungen auf das ökonomische und politische System, die Güterverteilung, die soziale Differenzierung oder andere Sphären der Gesellschaft aus.

Mit der Verabsolutierung der *„Energetik“* und seiner Konzentration auf die naturwissenschaftlichen Beweisverfahren konnte Wilhelm OSTWALD dem Reduktionismus nicht völlig ausweichen, denn sie bedeuteten eine Reduktion der Determinanten im Geschichtsprozess. Allerdings ist *„Reduktionismus“* die unzulässig vereinfachende und willkürliche Rückführung von Zusammenhängen auf Schlagworte, Begriffe, Prinzipien und Methoden, die als elementar gelten. Welche Aspekte in einer Analyse des Geschichtsverlaufes berücksichtigt werden und wo die Grenzen liegen, ist allerdings nicht immer eindeutig zu beantworten. Ideologien deuten zum Beispiel die Geschichte von einem selbst erfundenen oder auch durch abstrakte Deduktionen propagierten zentralen Gesichtspunkt oder Prinzip aus. Sie sind nur begrenzt als wissenschaftliche Deutungsmuster zu nutzen, denn die Beur-

teilung der Handlungen in bestimmten historischen Epochen kann durch Abwertung, Neuinterpretation und das Verschweigen von Leistungen manipuliert werden, um das politische Bewusstsein im gewünschten Sinne zu beeinflussen.

Wilhelm OSTWALDS Beitrag zur Geschichtswissenschaft beschränkte sich nicht nur auf Publikationen und Vorträge, denn Geschichtskenntnisse könnten uns nur dann bereichern, wenn man aus ihnen etwas lernen könnte. Die Geschichtswissenschaft sollte zum Beispiel Antworten auf Fragen aus der Vergangenheit geben, zum Beispiel:

Welche Bedeutung haben kulturelle, religiöse und moralische Prinzipien für den Geschichtsverlauf?

Welche Bedeutung hat die Erfindung des Buchdrucks?

Ist es gerechtfertigt zu sagen, dass um 1500 „eine neue Zeit“ anbrach?

Welche technischen Mittel nutzten die Menschen im Mittelalter?

Welche Waren dominierten den überregionalen Handel im Mittelalter?

Worin unterscheidet sich der absolutistische Staat von dem des Mittelalters?

Wilhelm OSTWALDS Beitrag zur Geschichtswissenschaft erstreckt sich auch auf die Forderung nach historischer Bildung. Ein herausragendes Beispiel für sein Engagement war sein Einsatz für das „*Deutsche Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik*“ (meist nur Deutsches Museum genannt) in München, das am 7. Mai 1925 eröffnet werden konnte. Erklärtes Ziel war es, dem interessierten Laien naturwissenschaftliche und technische Erkenntnisse in verständlicher Weise nahezubringen. Dazu zeigte es die geschichtliche Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik sowie deren Bedeutung für die technische und die gesellschaftliche Entwicklung. Initiator und Gründer des Museums war Oskar VON MILLER. Der Aufbau und die Gestaltung des Museums gingen maßgeblich auf sein Organisationstalent zurück. Er verstand es Geldgeber und einflussreiche Persönlichkeiten aus Wissenschaft und Wirtschaft zu gewinnen. MILLER propagierte ein bildungsorientiertes Mitmachen, die Exponate luden zu Experimenten ein. Wilhelm OSTWALD schrieb über die erste Begegnung mit ihm: „*Oskar hatte, als ich ihn kennen lernte, bereits eine glänzende Laufbahn als Elektrotechniker und Organisator hinter sich und fühlte, wie er mir später erzählte, ein wachsendes Bedürfnis, über den wesentlich von wirtschaftlichen Faktoren bestimmten technischen Beruf hinaus zu einem höheren Lebensinhalt zu gelangen. ... Mir war der Plan, auf solche Weise das noch vielfach mangelnde technische Denken im Deutschen Volke, vor allem in der Deutschen Jugend zu entwickeln und zu stärken, überaus willkommen. Denn die Leipziger Verhältnisse hatten mich schon erkennen lassen, welch unerwartet großen Anteil die Scholastik, das Wissen um des Wissens willen, ohne Rücksicht auf seinen Wert, an unseren höchsten Lehranstalten einnimmt, ... So nahm ich mit Freude und Hingabe teil an der Entstehung dieser Unternehmung, von der außer dem Urheber wohl niemand vorausgesehen hat, zu welchen riesenhaften Abmessungen es sich ausgestalten würde*“ [16]. An anderer Stelle würdigte Wilhelm OSTWALD die Verdienste von Oskar VON MILLER: „*Mit ungewöhnlich großem organisatorischem Geschick verstand Miller in wenigen Jahren, alles,*

was es in Deutschland an schöpferisch tätigen Köpfen gab, in den Dienst des Museums zu stellen“ [17].

Wilhelm OSTWALDs Geschichtsverständnis ist sicher unzulänglich, ihm bleibt aber das Verdienst, die stärkere Berücksichtigung der Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik als Teil der Geschichtswissenschaft zu fordern und aus der Sicht der Naturwissenschaften zu ihrem besseren Verständnis beizutragen. Nicht weniger verdienstvoll ist seine Absage an eine Geschichtsschreibung, die lediglich der Beweihräucherung der herrschenden politischen Eliten diene.

- [1] OSTWALD, W.: Der energetische Imperativ. Erste Reihe. Leipzig: Akad. Verlagsges., 1912, S. 120.
- [2] ebenda, S. 346
- [3] OSTWALD, W.: Die Forderung des Tages. Leipzig: Akad. Verlagsges., 1910, S. 422.
- [4] OSTWALD, W.: Vorlesungen über Naturphilosophie, gehalten im Sommer 1901 an der Universität Leipzig: Leipzig: Veit 1902, S. 10.
- [5] OSTWALD, W.: Leitlinien der Chemie: sieben gemeinverständliche Vorträge aus der Geschichte der Chemie. Leipzig: Akad. Verlagsges., 1906, S. 153.
- [6] OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Bd. 2. Berlin: Klasing, 1927, S. 108.
- [7] OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Bd. 3. Berlin: Klasing, 1927, S. 131f.
- [8] ebenda, S. 119f.
- [9] ebenda, S. 132.
- [10] OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Bd. 2. Berlin: Klasing, 1927, S. 102f.
- [11] ebenda, S. 103f.
- [12] OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Bd. 3. Berlin: Klasing, 1927, S. 119f.
- [13] ebenda, S. 116f.
- [14] OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Bd. 2. Berlin: Klasing, 1927, S. 120.
- [15] ZUSE, K.: Der Computer: mein Lebenswerk. 3. Aufl. Berlin: Springer, 1993, S. X.
- [16] OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Bd. 3. Berlin: Klasing, 1927, S. 200.
- [17] ebenda, S. 202.

Die Enkel von Helene und Wilhelm Ostwald

Ulf Messow und Anna-Elisabeth Hansel

Von den fünf Kindern des Ehepaars Wilhelm (1853-1932) und Helene OSTWALD, geb. VON REYHER (1854-1946) blieben die älteste Tochter Grete (1882-1960) und die beiden Söhne Wolfgang (1883-1943) und Carl Otto (1890-1958) kinderlos. 1907 heiratete Elisabeth OSTWALD (1884-1968) den Chemiker Eberhard BRAUER (1875-1958). Aus dieser Ehe gingen die Kinder Georg *1908, Peter *1911, Hellmut *1913 und Margarete (Gretel) *1918 hervor. 1909 war das junge Ehepaar BRAUER von Bochum nach Leipzig gezogen und direkte Kontakte nach Großbothen zu den Großeltern waren gegeben. Dies traf erst recht auf die Kinder des Ehepaars Walter (1886-1958) und Dorothea OSTWALD, geb. SCHLIEPER (1886-1949) zu, deren fünf Kinder, Karl Wilhelm *1909, Fritz *1913, Helene (Hella) *1914, Max *1916 und Dieter *1917 in Großbothen geboren wurden. Die Familie Walter OSTWALD lebte von 1912 bis 1922 in Großbothen. Grete OSTWALD erwähnt dazu in ihrem Buch über ihren Vater:

„Alle seine fünf Kinder wurden auf der „Energie“ geboren. Ihretwegen wurde ein Kuhstall gebaut und bevölkert und meine Mutter lernte wohl oder übel noch die Milchwirtschaft. Es lohnte sich, denn auch meine Schwester mit Mann und Kindern war häufig im Elternhaus. Sie lebten in Leipzig, später in Miltitz bei Leipzig, und hatten auch einen kleinen Stoewer, in den die ganze Kinderwirtschaft verstaute wurde, drei Jungen und schließlich ein Mädchen.“ [1, S. 148.]



Abb. 1

Familie Eberhard BRAUER gemeinsam mit vier Kindern von Walter OSTWALD im „Stoewer“ 1924 in Miltitz. Im Auto von links: Eberhard Brauer und Tochter Gretel, Max und Hella OSTWALD, Elisabeth BRAUER, Dieter OSTWALD. Auf den Fahrrädern von links: Peter, Georg (auf Zündapp) und Hellmut BRAUER.

Der 70. Geburtstag von Wilhelm OSTWALD in Großbothen 1923 vereinte die neun Enkelkinder, die zur Feier spielerisch die vielseitigen Aktivitäten ihres Großvaters verkörperten.



Abb. 2

Von links: Max OSTWALD (Musik), Hella OSTWALD (Farbentheorie), Karl OSTWALD (Philosophie), Wilhelm OSTWALD, Georg BRAUER (Chemie), Peter BRAUER (Reisen), Fritz OSTWALD (Monismus), vor Wilhelm OSTWALD von links: Dieter OSTWALD (Malerei), Gretel BRAUER, Hellmut BRAUER (Die Brücke).

In Erinnerung an seinen 70. Geburtstag heißt es in den Lebenslinien:

„Meine fünf Kinder nebst Ehegatten waren sämtlich gekommen, ebenso die auf neun vermehrten Enkelkinder, darunter zwei Mädels. Wir, die Großeltern, wurden in die Mitte gesetzt, an den Wänden ordnete sich die zweite Generation und die neun Enkelkinder, in die acht Hauptfarben plus Weiß gekleidet, zogen nacheinander auf, ein Steckendpferd reitend, das durch Aussehen und Ausstattung eines von meinen Arbeitsgebieten darzustellen hatte. Nach einem gemeinsamen Chor führte jedes einzelne sein Steckendpferd vor und sang einen zugehörigen Vers mit klarer Stimme und richtig; sie sind wirklich alle genügend musikalisch. Nur das letzte, das kleine fünfjährige Gretelein, musste erbärmlich weinen. Der Dichter hatte ihr zufolge der gesetzmäßigen Anordnung seines Werks kein Steckendpferd zugeteilt und sie empfand dies als eine ganz unverdiente Zurücksetzung und ließ sich nur langsam trösten“ [2, S. 477].



Abb. 3

Auch zum 75. Geburtstag 1928 kamen alle Enkelkinder zusammen. Das jüngste Enkelkind, Gretel, sitzt vor ihrer Oma und rechts im Rollstuhl die Tochter Grete OSTWALD.

„Zum Vorabend des Geburtstages gab es wieder ein Ständchen unter Mitwirkung der Enkel inmitten des Schülerorchesters ihrer Leipziger Schule. Die Sänger vom 70. Geburtstag waren inzwischen Instrumentalisten geworden und machten ihre Sache vorzüglich“ [1, S. 241].

Im Folgenden sollen die Kurzbiografien der größer und älter gewordenen Enkel eine Antwort darauf geben, inwiefern auch die zweite Generation der Ostwaldkinder naturwissenschaftlich geprägt war und den vielseitigen Interessen ihres Großvaters folgte. Hilfreich dabei war die in Großbothen vorhandene Dokumentation von Gretel BRAUER über ihre Geschwister und Cousins bzw. Cousins [3].

Die Kinder von Elisabeth und Eberhard Brauer

Abb. 4

Georg BRAUER (1908-2001), Chemiker und Universitätsprofessor.



Georg BRAUER besuchte ab 1916 die Volksschule und das Progymnasium in Markranstädt und von 1920 bis zur Obersekundarreife 1923 die Oberrealschule Nord in Leipzig (späteres Leibniz-Gymnasium). 1923/24 folgte eine schulische Unterbrechung. Georg BRAUER bezeichnete sie als „... *Assistententätigkeit im Privatlaboratorium (meines Großvaters W. Ostwald in Großbothen bei Leipzig)*“ [3, Lebenslauf Georg BRAUER]. In dieser Zeit verlegte der 16-jährige Enkel u.a. auf Putz elektrische Leitungen von 60 Volt, die außerhalb des Wohnhauses durch 30 Akkus zu je 2 Volt erzeugt wurden [4, S. 55]. Er unterstützte aber auch seinen Großvater beim Experimentieren zur Farbenlehre und „...baute er an einer großen Pulverorgel ...“ [1, S. 216].



Abb. 5
Pulverorgel.

Nach dem Wiedereintritt 1924 in die Oberrealschule-Nord und dem ohne Zeitverlust bestandenem Abitur studierte er ab 1926 Naturwissenschaften an der Universität Leipzig. Zwischen den Fächern Biologie und Chemie schwankend entschied er sich für Chemie, auch durch die Persönlichkeit von Wilhelm BÖTTGER (1871-1949) beeinflusst, der das Anfängerpraktikum für Chemiker leitete. 1928 legte er das 1. Verbandsexamen im Fach Chemie ab. 1898 war

das chemische Verbandsexamen vom Verband der Laboratoriums-Vorstände eingeführt worden und diente als Voraussetzung für die Diplomprüfung bzw. Promotion (2. Verbandsexamen). Diese Vorprüfungen galten in der Regel bis 1939. Nach fünf Semestern setzte Georg BRAUER 1928/29 das Studium der Chemie an der Universität Freiburg fort und bestand 1930 das 2. Verbandsexamen. Er wurde Assistent bei Eduard ZINTL (1898-1941) und wurde bei ihm 1932 „Über kubisch-raumzentrierte Legierungsphasen und die Atomradien unedler Metalle in Legierungen“ promoviert. ZINTL erhielt 1933 einen Ruf als o. Prof. an der TH Darmstadt. Bei ihm erhielt BRAUER im anorganischen Institut eine Assistentenstelle. Als Oberassistent 1937 und beamteter Oberingenieur 1939 habilitierte er sich 1941 „Über Oxyde, Nitride und Carbide des Niobs“. Mit der Verleihung der Dozentur 1942 begann Georg BRAUERs Hochschullaufbahn. 1944 wechselte er an die Universität Freiburg. 1946 wurde er hier außerordentlicher Professor und nahm seit 1959 bis zu seiner Emeritierung 1976 den Lehrstuhl für Anorganische Chemie an der Universität Freiburg wahr. Georg BRAUER forschte auf dem Gebiet der anorganischen Chemie, speziell der Festkörper- und Metallchemie und verfasste ca. 150 Publikationen. Intensiv beschäftigte er sich mit den Seltenerdmetallen [5]. 1954 erschien von ihm als Herausgeber unter Mitwirkung namhafter Anorganiker das umfangreiche Werk „*Handbuch der präparativen anorganischen Chemie*“. Dieses wichtige Handbuch wurde auch kurz der „Brauer“ genannt. 1935 heiratete Georg BRAUER Babette, geb. MEß (1912-2002). Aus dieser Ehe stammen drei Kinder, aus der zweiten Ehe mit Doris, geb. HAGNER (1936-1992) zwei. Zu BRAUERs Hobbys zählten u.a. die Aufzucht bunter Schmetterlinge und die Suche nach einheimischen Orchideen.

Abb. 6

Peter BRAUER (1911-1995), Physiker und Universitätsprofessor.

Wie sein Bruder legte Peter BRAUER an der Oberrealschule-Nord in Leipzig das Abitur ab. 1929 arbeitete er bei der Orgelbaufirma Hupfeld in Leipzig als Volontär. In Dresden studierte er ab 1930 Physik und promovierte 1935 bei dem Experimentalphysiker Rudolf TOMASCHEK (1895-1966), Direktor des Physikalischen Instituts der TH Dresden, mit der Arbeit „Zum elektrischen Verhalten von Cupritkristallen“ zum Dr.-Ing. Als wiss. Assistent arbeitete er zunächst weiter in Dresden und wechselte 1939 gemeinsam mit seinem Lehrer an die Technische Universität München. Hier habilitierte er sich im gleichen Jahr und wurde 1940 Privatdozent. Im Oktober 1939 heiratete er die Physikerin Dipl.-Ing. Elfriede, geb. MEHNERT (1907-2009). Sie bekamen zwei Kinder. Beide hatten sich 1933 als Studenten in Dresden kennenge-



lernt. Gemeinsam veröffentlichte das Ehepaar BRAUER in den Kriegsjahren die Beiträge „Über unvollständige Anger-Webersche Funktionen“ in: Z. f. angewandte Math. und Mech. 21 (1941), S. 177-182 und „Zur Frage der Straßenkrümmung bei veränderlicher Fahrgeschwindigkeit“. Ingenieur Archiv Bd. XV, (Feldpostausgabe der Schriftenreihe „Die Strasse“ 1944). Während des Zweiten Weltkrieges diente Peter BRAUER als Soldat beim physikalischen Wetterdienst. Nach dem Krieg arbeitete er ab 1946 zunächst als wiss. Mitarbeiter im Münchener Familienunternehmen C. A. Steinheil & Söhne, das optische Geräte herstellte. 1948 wurde er wiss. Mitarbeiter der OSRAM-Studiengesellschaft für elektrische Beleuchtung und 1951 Privatdozent für Strahlenumwandlung in festen und flüssigen Körpern an der TH Karlsruhe. 1955 folgte die Ernennung zum apl. Professor und 1957 die Berufung an die Universität Freiburg. Peter BRAUER forschte auf dem Gebiet der Festkörperspektroskopie, über Lumineszenz in Kristallen und Flüssigkeiten und beschäftigte sich mit Phasenumwandlungen von Ionenkristallen. Von seinen 80 Veröffentlichungen erschienen allein 34 in der Zeitschr. für Naturforschung A. 1976 wurde der Experimentalphysiker Peter BRAUER emeritiert [6]. Er war der musikalischste Enkel und spielte bis ins hohe Alter auf dem vom Großvater geerbten Bechstein Flügel.

Abb. 7

Hellmut BRAUER (1913-1940), Dipl.-Ing.

Nach dem Besuch der Leipziger Oberrealschule Nord von 1923 bis 1932 studierte Hellmut BRAUER ab dem WS 1933/34 an der Technischen Hochschule Dresden Maschinenbau. Im August 1939 wurde er zur Wehrmacht eingezogen. Er starb am 13. Januar 1940 auf einem Erkundungsflug über Schottlands Küste. Im 37. Heft der Mitteilungen des Wöhler-Instituts Braunschweig bedauerte der Professor für Mechanik Otto FÖPPL (1885-1963) im Beitrag „Unter allseitigem Druck kalt geflossener Stahl“ 1940, dass sein Mitarbeiter Hellmut BRAUER seine Untersuchungen nicht beenden konnte. Auf FÖPPLs Betreiben hatte 1925 das Laboratorium für Festigkeitsuntersuchungen den Namen von August WÖHLER (1819-1914) erhalten. Zu den wenigen eigenen Veröffentlichungen des nur 27 Jahre alt gewordenen BRAUERS gehörten „Zur Messung und Dämpfung von Kurbelwellenschwingungen“ in: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 15 (1939), S. 434-437 und „Die Dämpfung von Drähten“ in: Metall-Wirtschaft Wissenschaft Technik 24 (1939), S. 503-505 – siehe auch [3].

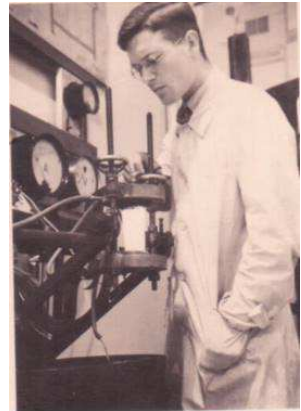




Abb. 8
Margarete (Gretel) BRAUER (1918-2008), Ing. für chemischen Apparatebau.

Gretel BRAUER war das jüngste OSTWALD'sche Enkelkind. Sie wurde in Miltitz geboren. Nach dem Besuch der Volksschule und der Serviéreschen höheren Mädchenschule in der Leipziger Sebastian Bach Straße legte sie 16jährig die Prüfung der „Mittleren Reife“ ab. Anschließend besuchte sie das Sozialpädagogische Frauenseminar mit dem Abschluss 1937 als Kindergärtnerin und Hortnerin. Seit 1938 wohnte die Familie BRAUER in Großbothen. Gretel BRAUER arbeitete in ihrem Beruf als Leiterin von Kindergärten und Erzieherin in Kinderheimen. Sie besuchte von 1942-1944 eine Werkschule. Auf dieser erlernte sie verschiedene Fertigkeiten wie Spinnen, Weben, Buchbinden und Tischlern. Diese Kenntnisse konnte sie nach Beendigung des Krieges als Kunstgewerblerin gut anwenden. Ab 1950 arbeitete Gretel BRAUER im VEB Maschinen- und Apparatebau Grimma. Sie überprüfte Schweißnähte mit Hilfe eines Röntgengerätes. Nach fünf Jahren Abendstudium qualifizierte sie sich 1966 zum Ing. für Chemischen Apparatebau. Nach der Pflege ihrer Mutter wurde sie 1968 wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Farbforschungsstätte des Instituts für Lacke und Farben in Großbothen. Seit 1972 führte sie ehrenamtlich Besucher durch die Archiv- und Arbeitsräume des ehemaligen Wohnsitzes der Familie OSTWALD, die 1974 zur Wilhelm-Ostwald-Gedächtnisstätte erklärt und später in Wilhelm-Ostwald-Gedenkstätte umbenannt wurde. Offiziell war sie von 1984 bis 1991 die Leiterin der Wilhelm-Ostwald-Gedenkstätte. Sie wurde von ihrer einzigen Tochter Anna-Elisabeth, verh. Hansel, abgelöst.

Die Kinder von Dorothea und Walter Ostwald

Die Namen von Walter OSTWALD und seiner Söhne Karl und Fritz sind unmittelbar mit der Entwicklung der Automobiltechnik verbunden. Zu den Forschungsthemen seines Vaters listete Fritz OSTWALD auf: „*Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses, Klopffestigkeit des Kraftstoffes, Leistungserhöhung der Motore und Kraftstoffersparnis*“ [7]. Die Söhne Karl und Fritz OSTWALD wandten sich vor allem der Verkehrssicherheit der Autos zu. Die Liebe zum Motorsport vereinte die gesamte Familie.



Abb. 9

Karl Wilhelm OSTWALD (1909-1973), Dipl.-Ing.

Nach seinem Abitur in Heppenheim und der Tätigkeit bei der Autofirma Röhr in Oberramstadt studierte Karl OSTWALD Maschinenbau in Stuttgart. 1939 heiratete er Marion, geb. BODENSTEIN (1917-1993). Sie bekamen zwei Kinder.

Die von der Cousine Gretel BRAUER bewahrten Publikationen in Großbothen veranschaulichen u.a. das Betätigungsfeld des in Heppenheim lebenden Spezialisten für Straßen-Testfahrten - siehe [3]:

- *Leichtbau und Leistungsgewicht*, in: Motor-Kritik (1936), Nr. 15, S. 562-565.
- *Hat der Dampfkraftwagen eine Zukunft?*, in: Neue Kraftfahrer-Zeitung B (1936), Nr. 27, S. 660-662.
- *Der Einfluß der Reichsautobahn auf die Entwicklung der Kraftfahrzeuge*, in: Die Strasse 7 (1938), S. 212-213.
- *Fahrbahnprüfschreiber nach Angaben des Generalinspektors für das deutsche Straßenwesen*, in: Die Strasse 23/24 (1941), S. 376-380.

Vereinzelte publizierten die Söhne Karl und Fritz gemeinsam mit ihrem Vater in der von 1934 bis 1942 herausgegebenen Zeitschrift „Die Strasse“. Über 40 Beiträge gehen in ihr auf Walter OSTWALD zurück.

Fritz OSTWALD verweist in seinem in Heppenheim gehaltenen Vortrag auch darauf, dass sein Bruder Karl einen „Strassen-Meßwagen“ entwickelt hätte, mit dem auf der Autobahn Unebenheitsmessungen durchgeführt werden konnten [7].

Abb. 10

Friedrich (Fritz) OSTWALD (1913-1999), Dipl.-Physiker.

Fritz OSTWALD befasste sich sein Leben lang mit der Verbesserung der Verkehrssicherheit im Rahmen der Automobiltechnik. Ca. 200 Patente und viele Schutzrechte meldete er an. Während der Schulzeit baute er sich schon ein kleines Fahrzeug mit einer Hinterradlenkung und seine Mitschüler in Heppenheim beneideten ihn um sein Fahrrad mit Hilfsmo-



tor [7]. 16jährig baute er sich ein Dreiradauto mit einem gelenkten Hinterrad und fuhr nach dem Abitur 1932 mit diesem zum Studium nach München. Mit seinem Vater Walter OSTWALD, Max RAUCK (1907-1996) und Hellmut BRAUER stellten sie 1936 in Berlin zur „Internationalen Automobil- und Motorradausstellung“ 19 historische Kraftfahrzeuge zusammen, die den Grundstock der Kfz-Sammlung im Deutschen Museum München bilden. In München studierte Fritz OSTWALD zunächst Maschinenbau, wechselte aber zum Lehrstuhl für Technische Physik über. Das von ihm gebaute Dreiradauto gab ihm „nach einem lebensgefährlichen Abenteuer“ auch die Anregung über Sicherheitsfaktoren nachzudenken [8]. So stellte er in seiner Diplomarbeit 1940 einen elektropneumatischen Bremsregler vor, der Jahre später als Antiblockiersystem bekannt wurde, veröffentlicht in „Bremsregler für Fahrzeuge“ in: VDI-Zeitschrift 85 (1941), S. 542-543. 1943 meldete er eine verbesserte Variante zum Patent an. Bis zum Kriegsende war Fritz OSTWALD in München und Kiel auf dem Gebiet der „Torpedotechnik“ für die Kriegsforschung tätig. 1945 eröffnete er in Heppenheim ein Ingenieurbüro. 1948 wurde er Entwicklungsingenieur bei der Vergaserfabrik Bing in Nürnberg. Von 1950 bis 1978 war er Forschungsleiter im Alfred Teves Werk Frankfurt/Main, einem Großunternehmen für die Autobranche. 1958 erhielt er für Fahrzeuge mit negativem Lenkrollradius ein Patent. 1982 wurde ihm vom Verband der Motorjournalisten der „Goldene Diesel-Ring“ verliehen. Als geistiger Vater des „ABS“, gehörten zu seinen Erfindungen weiter die Fünflenker-Vorderachse und die „mitdenkende“ Radaufhängung. Nach seiner Pensionierung war er weiter Berater im Hydraulik-Bereich des Teves Werkes. Zu seinen Hobbys zählten Motorradfahren, Lesen und Orgelspielen [3].

1939 hatte Fritz OSTWALD Edeltraud „Trautl“, geb. BRZOSKA (1915-1997) geheiratet. Aus der Ehe stammen 3 Kinder.

Helene (Hella) SCHWALENSTÖCKER, geb. OSTWALD (1914-1996), Dipl.-Chemikerin

1931/32 weilte Hella OSTWALD für ein Jahr bei ihren Großeltern in Großbothen, um ihren Großvater bei der Laborarbeit zu unterstützen sowie „... als Lehrling Farblehre praktisch zu lernen, ...“ [1, S. 260]. Bezüglich der neuen „Kollontechnik“ (Durchsichtmalerei auf Folien mit Hilfe von Gelatinefarben, s. Abb. 11) schreibt Grete OSTWALD in ihrem Buch:

„Damals überboten sich Großvater und Enkelin an heiterem Fleiß, die Technik durch zahlreiche Versuche und Erfindungen zu vervollkommen und zu beherrschen und meine Mutter befürsorgte beide nur zu gern“ [1, S. 262].

Noch während des Krieges diplomierte Hella. Sie heiratete in 2. Ehe Dr. H. SCHWALENSTÖCKER. Ihren Beruf übte sie nicht aus. Die Familie hatte zwei Töchter.



Abb. 11. Colon Bilder, hergestellt auf einem von OSTWALD selbst angefertigten Gestell [9].

Max Ostwald (1916-1942)

Der Berufssoldat Max OSTWALD starb 1942 als Oberleutnant und Kraftfahrer einer motorisierten Aufklärungsabteilung in Russland während des Zweiten Weltkrieges [7].

Abb. 12

1941 trafen sich die Geschwister noch vereint im Haus „Dora“ ihrer Eltern in Heppenheim. Von links: Hella, Dieter, Ehefrau Marion und Karl, Max und Fritz OSTWALD, im Vordergrund sitzen die Eltern Dorothea und Walter OSTWALD.



Dieter Ostwald (1917-1987), Dipl.-Geologe

Dieter OSTWALD besuchte von 1928 bis 1937 die Oberrealschule in Heppenheim und wurde nach dem Abitur sofort zum Militär eingezogen. Im Urlaub während des Krieges heiratete er Ursula, geb. KRÜGER (1923- ?). Das Ehepaar bekam vier Kinder. Nach seiner Entlassung aus der amerikanischen Kriegsgefangenschaft

studierte Dieter OSTWALD in Heidelberg Geologie. Er wurde Betriebsleiter in einer Zementfabrik in Heidelberg – siehe auch Sonderdruck: *Über die Gipslager bei Neckarzimmern/Obrigheim*, in: Tonindustrie-Zeitung und keramische Rundschau 78 (1954), Heft 9/10, S. 137-142 und Heft 11/12, S. 173-177. Dieter OSTWALD beschäftigte sich u.a. auch mit der Malerei [3].

Literatur

- [1] OSTWALD, G.: Wilhelm Ostwald: mein Vater. Stuttgart: Berliner Union, 1953.
- [2] OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Nach der Ausgabe von 1926/27 überarb. u. kommentiert von K. Hansel. Leipzig: Hirzel, 2003.
- [3] Dokumentation von Gretel Brauer, Großbothen.
- [4] BRAUER, G.: Zur Geschichte des Landsitzes Energie. Teil 2. Mitt. Wilhelm-Ostwald-Ges. 27 (2022), 2. S. 53-59.
- [5] https://de.wikipedia.org/wiki/Georg_Brauer
- [6] https://de.wikipedia.org/wiki/Peter_Sven_Brauer
- [7] OSTWALD, F.: Von den Ostwalds in Heppenheim aufgeschrieben 1991, Manuskript in: [3].
- [8] ECKERMANN, E.: Zum Tod von Fritz Ostwald. Oldtimer-Markt 3 (1999), S. 256 in: [3].
- [9] 48 Colon Bilder existieren noch im Wilhelm Ostwald Museum der Gerda und Klaus Tschira Stiftung.

Bildnachweis

Abb. 1-4, 6, 7, 9, 10, 12: persönlicher Besitz der Urenkelin Anna-Elisabeth HANSEL, Abb. 5, 11: Wilhelm Ostwald Museum der Gerda und Klaus Tschira Stiftung Großbothen,
Abb. 8: Ulf MESSOW.

Danksagung

Für Hinweise und Hilfe danken wir Frau Katy REIMELT vom Wilhelm Ostwald Museum der Gerda und Klaus Tschira Stiftung Großbothen und Frau Inge MAUER (langjährige Mitarbeiterin der Farbforschungsstätte Großbothen).

Andere über Ostwald

Wladimir und Karin Reschetilowski

Während der Arbeit am Forschungsvorhaben „Wissenschaftsbeziehungen im 19. Jahrhundert zwischen Deutschland und Russland auf den Gebieten Chemie, Pharmazie und Medizin“ der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig beleuchtete Elena ROUSSANOVA in einer Reihe von beachtlichen Publikationen und Vorträgen das Leben und Wirken des deutsch-russischen Chemikers Friedrich Konrad BEILSTEIN¹ (der russische Name Фёдор Фёдорович Бейльштейн/Fjodor Fjodorowitsch Beilstein) im Spiegel seines brieflichen Nachlasses [1]-[3]. In wissenschaftlichen Kreisen ist BEILSTEIN als Begründer und erster Herausgeber des „Handbuches der Organischen Chemie“ (1. Auflage 1881) weltweit bekannt geworden. Heute gehört „Der Beilstein“, eine der größten elektronischen Datenbanken für organische Chemie (CrossFire Beilstein), zum Standardwerk der chemischen Literatur.

Von seinen Kollegen wurde BEILSTEIN nicht nur durch das in kürzester Zeit nach dem Erscheinen unentbehrlich gewordene Handbuch, sondern ebenso durch seine interessanten, auch privat sehr ins Einzelne gehenden und offenerherzigen Briefe sehr geschätzt. Sie ermöglichen einen Blick in das menschliche Miteinander unter den beteiligten Zeitgenossen und lassen die damalige Wissenschaftsgeschichte lebendig erscheinen. So schreibt Emil ERLÉNMEYER² in einem Brief vom 19. Mai 1872 (München) an BEILSTEIN: *„Ich würde Ihnen schon längst nicht mehr geschrieben haben, wenn ich nicht eine so große Freude an Ihren Briefen hätte, und für Volhard sind sie auch jedesmal ein großer Genuß“* [4].

Zum Kreis von Briefpartnern BEILSTEINS, der ein fleißiger Briefeschreiber war, gehörten neben ERLÉNMEYER weitere namhafte Chemiker seiner Zeit wie z.B. Friedrich WÖHLER (1800-1882), Justus VON LIEBIG (1803-1873), Stanislaw CANNIZZARO (1826-1910), Aleksandr BUTLEROW (1828-1886), August KEKULÉ (1829-1896), Lothar MEYER (1830-1895), Dmitrij MENDELEJEV (1834-1907), Jacob VOLHARD (1834-1910), Rudolph FITTIG (1835-1910), Karl SEUBERT (1851-1942), Emil FISCHER (1852-1919) und viele andere.

Umso erstaunlicher ist es, dass Wilhelm OSTWALD (1853-1932) als Mitbegründer der Physikalischen Chemie, Farbenforscher, Maler, Wissenschaftsorganisator und Naturphilosoph nicht unter den Briefpartnern BEILSTEINS zu finden ist. Wohl aber taucht der Name OSTWALDS in fünf Briefen BEILSTEINS an seine engsten deutschen Kollegen und Freunde auf, in denen er aus verschiedenen Anlässen über Wilhelm OSTWALD im wahrsten Sinne des Wortes lästerte. Das deutet darauf hin, dass er gegenüber OSTWALD wahrscheinlich keine besondere Sympathie empfand.

¹ Friedrich Konrad BEILSTEIN (1838-1906), seit 1886 Professor am Technologischen Institut in St. Petersburg als Nachfolger von Dmitrij I. MENDELEJEV (1834-1907).

² Emil ERLÉNMEYER (1825-1909), von 1863 bis 1868 a.o. Professor in Heidelberg, danach Professor für Chemie an der Polytechnischen Schule bzw. Kgl. Bayerischen Technischen Hochschule München.

So schreibt BEILSTEIN am 21. März^{jul.}/2. April^{greg.} 1896 aus St. Petersburg³ an Karl SEUBERT⁴ [5]: „*Haben Sie den Aufsatz von Boltzmann⁵ im letzten Poggendorffheft gegen Ostwald gelesen?⁶ Da bekommt der bidere Ostwald eine empfindliche Tracht Prügel und zwar von dem allerberufensten Kritiker.⁷ Wie schade, dass Lothar [Meyer] dies nicht mehr hat lesen können!⁸ Der würde, wie ich, eine mordsmässige Freude gehabt haben! Uebrigens soll es besagtem Ostwald körperlich schlecht gehen und seine hochgradige Nervosität soll ihn gezwungen haben das Docieren vorläufig zu unterbrechen.⁹ Lothar's Nachfolger in Tübingen¹⁰ soll weit davon entfernt sein seinen Vorgänger vergessen zu machen und bis jetzt keine grossen Sympathien erweckt haben.*“

An seinen Freund und Kollegen Jacob VOLHARD¹¹ in Halle/Saale schreibt BEILSTEIN am 16. Juli 1902 aus Baden-Baden nicht ganz ohne Häme [6]: „*Thiele¹² erzählte mir: nach dem Fiasko mit der NH₃-Darstellung aus Luft habe sich nun Ostwald auf die Fabrikation von HNO₃ aus Luft geworfen! Auch Einer, dem sein Institut nur ein Mittel ist sich die Taschen zu füllen.*“¹³

³ In Russland blieb der julianische Kalender infolge des Einflusses der orthodoxen Kirche auf das öffentliche Leben noch lange gültig. Die Umstellung erfolgte erst am 1. Februar^{jul.}/14. Februar 1918^{greg.}

⁴ Karl SEUBERT (1851-1942), seit 1895 Professor für anorganische und analytische Chemie an der Kgl. Technischen Hochschule Hannover.

⁵ Ludwig BOLTZMANN (1844-1906), seit 1894 Professor für theoretische Physik in Wien, wechselte 1900 an die Universität Leipzig und übernahm 1902 sein zweites Ordinariat in Wien.

⁶ BEILSTEIN verweist auf BOLTZMANNs Aufsatz „Ein Wort der Mathematik an die Energetik“ (Ann. Phys. Chem. N.F. 57 (1896), S. 39-71), in dem dieser als überzeugter Anhänger der kinetischen Wärmelehre die OSTWALD'sche Energetik ablehnt und OSTWALD einen mathematischen Fehler nachweist.

⁷ Zu dem wissenschaftlichen Streit zwischen OSTWALD und BOLTZMANN siehe: OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie. Nach der Ausgabe von 1926/1927 überarb. u. kommentiert von Karl HANSEL. Verl. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig – in Kommission bei S. Hirzel, Stuttgart/Leipzig, 2003, S. 234-236.

⁸ Lothar Julius MEYER (1830-1895), seit 1876 Professor für Chemie an der Universität Tübingen, verstarb am 11.04.1895 an einem Gehirnschlag.

⁹ Wilhelm OSTWALD hielt auf der 67. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Lübeck, 16.-20. September 1895, als letzter Redner den Vortrag „Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus“, in dem er seine Lehre der „Energetik“ der Lehre der „Atomistik“ entgegenstellte. Daraufhin wurde OSTWALD vor allem durch BOLTZMANN förmlich vorgeführt und zeigte sich wegen einer „Abschlachtung“, wie sie an ihm vorgenommen worden war, bitter enttäuscht. Nach diesen Lübecker Diskussionen erlitt OSTWALD einen Zusammenbruch und musste sich für ein halbes Jahr beurlauben lassen.

¹⁰ Nachfolger von Lothar MEYER in Tübingen war Hans FREIHERR VON PECHMANN (1850-1902), seit 1895 Professor für allgemeine Chemie an der Universität Tübingen.

¹¹ Jacob VOLHARD (1834-1910), seit 1882 Professor für Chemie an der Universität Halle/Saale, wurde 1900 zum Präsidenten der Deutschen Chemischen Gesellschaft gewählt.

¹² Johannes THIELE (1865-1919), Schüler von VOLHARD, seit 1893 a.o. Professor für organische Chemie an der Universität München, wurde 1902 Ordinarius an der Kaiser-Wilhelm-Universität Straßburg als Nachfolger von Rudolph FITTIG (1835-1910).

¹³ Im Herbst 1901 begann OSTWALD mit experimentellen Arbeiten zur Umwandlung von Ammoniak zu Salpetersäure, die zu dem Patent GB190200698 „Improvements in the Manufacture of Nitric Acid and Nitrogen Oxides“ vom 20. März 1902 führten. Die Realisierung der Herstellung von Salpetersäure durch katalytische Oxidation von Ammoniak im technischen Maßstab (Ostwald-Verfahren) erfolgte ab 1906 von den Chemischen Werken der Zeche Lothringen in Gerthe/Westfalen unter Aufsicht des engsten Mitarbeiters OSTWALDs und seines künftigen Schwiegersohnes Eberhard BRAUER (1875-1958), die für die Familie OSTWALD sichere Einnahmen brachte.

Auch in einem Brief vom 18. März^{jul.}/31. März^{greg.} 1903 an Jacob VOLHARD stichelt BEILSTEIN [7]: „*An Stelle unseres liebenswürdigen Wislicenus¹⁴ haben Sie nun den weniger angenehmen Hantzsch¹⁵ im nahen Leipzig, als Kollegen. Offenbar hat ihn Ostwald dahin haben wollen. Dieser Ostwald fängt an unheimlich zu werden. Erst macht er Salpetersäure aus Ammoniak, dann Ammoniak aus Luft¹⁶ und jetzt photographirt er ohne Licht!*¹⁷ *Er beschäftigt sich mit Wissenschaft jetzt nicht mehr ernstlich, sondern nur noch – nernstlich.*¹⁸“

In dem Brief vom 26. Juni^{jul.}/9. Juli^{greg.} 1905 an Jacob VOLHARD macht sich BEILSTEIN über OSTWALD sogar lustig [8]: „*Ostwald ist auch unter die Maler gegangen. Er demonstriert seine Bilder und entwickelt, an ihnen, seine Ionentheorie. Haben Sie sein „Malhör“-Buch gelesen?*¹⁹ *Weiss Gott was Der noch Alles austüfteln will.*“

In einem weiteren Brief vom 12. Mai^{jul.}/25. Mai^{greg.} 1906 an VOLHARD schreibt BEILSTEIN [9]: „*In der chemischen Welt gehen Veränderungen vor. [...] In Leipzig grosser Krakehl: der erhabene Ostwald will nicht mehr mitspielen! Haben ihn die Kollegen geärgert?*²⁰ *Er ist ja jetzt wesentlich Maler geworden auf breiter ioni-*

¹⁴ Johannes WISLICENUS (1835-1902), seit 1885 Professor für Chemie an der Universität Leipzig als Nachfolger von Hermann KOLBE (1818-1884), verstarb am 05.12.1902 in Leipzig.

¹⁵ Arthur HANTZSCH (1857-1935), von 1893 bis 1903 Professor für Chemie an der Universität Würzburg in der Nachfolge von Emil FISCHER (1852-1919). Durch den Tod von WISLICENUS und Befürwortung von OSTWALD übernahm er 1903 den Lehrstuhl für Chemie an der Universität Leipzig.

¹⁶ Bereits 1900 reichte OSTWALD ein Patentgesuch für die Gewinnung von Ammoniak durch Vereinigung von freiem Stickstoff und Wasserstoff mittels Kontaktsubstanzen ein. Das Patentamt sah die von OSTWALD angegebenen optimalen Reaktionsbedingungen jedoch nicht als ausreichende Begründung einer Patentfähigkeit an.

¹⁷ Im Jahre 1903 entwickelte OSTWALD gemeinsam mit seinem Assistenten Oscar GROS (1877-1947) ein Verfahren zur Vervielfältigung fotografischer Abzüge (D.R.-Patent-Nr. 157411 vom 23. August 1908). Sie nannten es Katatypie, die anstelle von Licht die katalytische Wirkung von Platin oder Silber bei der Zersetzung von Wasserstoffperoxid nutzbar machte und sprachen auch von einem Verfahren der „Vervielfältigung photographischer Aufnahmen ohne Licht“ oder „Photographie ohne Licht“.

¹⁸ Mit „nernstlich“ meinte Beilstein vermutlich die sich an der Schwelle des 20. Jahrhunderts herausgebildeten Einsichten der sog. „Ionier“ über die Existenz freier Ionen in Lösungen, zu denen auch Walther Nernst (1864-1941; Nobelpreis 1920) gehörte. Seine am 23. Oktober 1889 in Leipzig am Physikalisch-Chemischen Institut abgeschlossene Habilitationsschrift über „Die elektromotorische Wirksamkeit der Ionen“ bestätigte die ursprünglich von Svante Arrhenius (1858-1927; Nobelpreis 1903) aufgestellten und später von Wilhelm Ostwald im engen wissenschaftlichen Schulterschluss mit Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911; Nobelpreis 1901) weiterentwickelten Modellvorstellungen über Ionen.

¹⁹ Gemeint ist wahrscheinlich die Schrift von OSTWALD „Malerbriefe: Beiträge zur Theorie und Praxis der Malerei“, S. Hirzel-Verlag, Leipzig, 1904 (Die Schrift erschien zuerst als Fortsetzungsreihe unter dem Titel „Physikalisch-Chemisches über Malerei“ in 12 Teilen in der Beilage zur Allgemeinen Zeitung München).

²⁰ Am 5. Januar 1905 reichte OSTWALD ein Gesuch an den sächsischen Kulturminister Paul VON SEYDEWITZ (1843-1910) ein, ihn aufgrund der immer häufiger auftretenden Erschöpfungszustände für das bestehende Sommersemester von der Verpflichtung zur Abhaltung der Hauptvorlesung zu entbinden. Das führte zu einer maßlosen Flut von Vorwürfen und Anklagen gegen ihn in der Fakultät, sodass sich OSTWALD entschloss, bei der vorgesetzten Behörde sein Entlassungsgesuch am 26. Februar 1905 einzureichen. Zu den Kontroversen innerhalb der Fakultät in dieser Frage siehe: OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie, S. 363-364.

scher Grundlage! Und dann hat er noch andere gewinnbringende Nebengeschäfte.“

BEILSTEIN beurteilte die Leistungen OSTWALDS in der Chemie offenbar nur aus der Sicht eines eingefleischten Organikers. OSTWALD gibt in seinen Lebenslinien unumwunden zu, dass auch später nicht selten die Behauptung ausgesprochen wurde, er sei überhaupt kein Chemiker, weil er nie einen neuen Stoff synthetisiert habe. Er schrieb dazu: *„In solchem Sinne bin ich sogar ein negativer Chemiker zu nennen, denn ich habe die Liste der organischen Verbindungen nicht nur nicht vermehrt, sondern vermindert, allerdings leider nur um ein Glied.“*²¹ Es ging dabei um den Nachweis der Konstitution einer angeblich neuen organischen Säure durch OSTWALD, die aber nichts als Zitronensäure war.

Umso erfreuter war OSTWALD, als er im November 1909 aus Stockholm die Nachricht erhielt, ihm sei der Chemienobelpreis für seine Forschungen über Katalyse erteilt worden, deren begriffliche Erfassung er als seine *„selbständigste und folgenreichste Leistung“* bezeichnete.²² Die Festtage anlässlich der feierlichen Überreichung der Urkunden und Denkmünzen in Stockholm aus den Händen des Königs zählte OSTWALD zu den angenehmsten und heitersten, die er je erlebt hatte. Sowohl die Festversammlung, in der über jeden Preisträger eine Rede in schwedischer Sprache gehalten wurde und *„der Gepriesene gleichsam vor dem vollen Glase sitzt und nicht daraus trinken kann“* als auch das festliche Abendessen, *„auf welchem wieder jeder Erwählte einzeln gepriesen wird, doch in mehr heiterer Form, worauf er sein Danksprüchlein sagen darf“* blieben OSTWALD in freudiger Erinnerung.

Kürzlich beschrieb Charlotte VON FEYERABEND in ihrem Roman *„Selma Lagerlöf“* das bewegte Leben von Selma LAGERLÖF (1848-1940), die im gleichen Jahr wie OSTWALD als erste Frau den Literaturnobelpreis verliehen bekam, und beleuchtete ebenfalls recht amüsant die Geschehnisse um LAGERLÖF und OSTWALD während des Dinners wie folgt: *„Nachdem das Stimmengemurmel weniger geworden war, die Kellner die Gäste mit Gläsern voll perlendem Champagner versorgt hatten, wurden die einzelnen Nobelpreisträger nochmals vorgestellt, aber diesmal unfestlicher, eher heiter. Wilhelm Ostwald, der im Bereich Chemie für seine Forschungen über Katalyse den Nobelpreis erhalten hatte, wurde als Maler vorgestellt, der neben der Farbenlehre von Goethe noch nebenbei Zeit gefunden hatte, sich philosophischen Themen zu widmen, und dann noch, sozusagen kurz vor dem Schlafengehen, die Katalyse entwickelt hatte. Ostwald, ein gestandener Mann mit langem dunklem Bart, hob in seiner Dankesrede seine Überraschung über den Erhalt des*

Zur selben Zeit ging die Nachricht durch die deutsche Tagespresse, dass Wilhelm OSTWALD zum ersten deutschen Gelehrten gewählt wurde, der einen Professorenaustausch zwischen Deutschland und den Vereinigten Staaten von Nordamerika einleitete. Am 6. Mai 1905 stellte Karl WAENTIG (1843-1917), Hochschulreferent im Sächsischen Kultusministerium OSTWALD anheim, sein Ruhestandsgesuch vorläufig zurückzuziehen und erst nach dem Amerikaaufenthalt darauf zurückzukommen. Nach seiner Rückkehr wurde am 11. Mai 1906 sein Entlassungsgesuch zum 1. Oktober bewilligt.

²¹ Mehr dazu siehe: OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie, S. 164-165.

²² Mehr dazu siehe: OSTWALD, W.: Lebenslinien: eine Selbstbiographie, S. 464-467.

Preises heraus, und wie er sich gefreut habe, dass die von ihm entwickelten Methoden zu diesem Ergebnis geführt hätten“ [10].

Literatur

- [1] ROUSSANOVA, E.: Aspekte der deutsch-russischen Wissenschaftsbeziehungen in der Chemie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Briefen des Chemikers Friedrich Konrad Beilstein. In: Deutsche im Zarenreich und Russen in Deutschland: Naturforscher, Gelehrte, Ärzte und Wissenschaftler im 18. und 19. Jahrhundert (Hgg. Ingrid KÄSTNER, Regina PFREPPER). Aachen: Shaker, 2005, S. 227-272.
- [2] ROUSSANOVA, E.: Friedrich Konrad Beilstein: Chemiker zweier Nationen. Bd. 2. Briefe und Dokumente. Norderstedt: Books on Demand, 2007.
- [3] ROUSSANOVA, E.: Deutsch-russische Beziehungen in der Chemie des 19. Jahrhunderts. Erster Teil: Biobibliographien. Aachen: Shaker, 2018.
- [4] siehe [1], S. 249.
- [5] BEILSTEIN, F. K.: Brief an Karl Seubert vom 21. März/2. April 1896 (St. Petersburg). Berlin, ABBAdW, Chemikerbriefe Nr. 7. Zit. nach [2], S. 454.
- [6] BEILSTEIN, F. K.: Brief an Jacob Volhard vom 16. Juli 1902 (Baden-Baden) Privatbesitz der Familie Prof. Dr. Heusler. Zit. nach [2], S. 536.
- [7] BEILSTEIN, F. K.: Brief an Jacob Volhard vom 18./31. März 1903 (St. Petersburg), Privatbesitz der Familie Prof. Dr. Heusler. Zit. nach [2], S. 549.
- [8] BEILSTEIN, F. K.: Brief an Jacob Volhard vom 26. Juni/9. Juli 1905 (St. Petersburg), Privatbesitz der Familie Prof. Dr. Heusler. Zit. nach [2], S. 582.
- [9] BEILSTEIN, F. K.: Brief an Jacob Volhard vom 12. Mai/25. Mai 1906 (St. Petersburg), Privatbesitz der Familie Prof. Dr. Heusler. Zit. nach [2], S. 594.
- [10] FEYERABEND VON, Ch.: Selma Lagerlöf. München: Droemer, 2021, S. 281.

Danksagung

Frau Dr. Elena ROUSSANOVA und Herrn Prof. Lothar BEYER sei für die großzügige Überlassung des Quellenmaterials und wertvolle Hinweise sehr herzlich gedankt.

Ein seltener Briefmarkenfund

Wladimir Reschetilowski

Der Beitrag „Wilhelm Ostwald in der Briefmarkenwelt“ in den Mitteilungen der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft 2/2022 fand eine sehr gute Resonanz. Besonders erfreulich war die Zuschrift von Ralf DYCK (ralf-dyck@t-online.de) aus Friesenheim, der sich bereits seit vielen Jahren einer Sammelleidenschaft für Wilhelm OSTWALD hingibt, und heute, als pensionierter Studiendirektor der Badischen Malfachschule, mehr denn je [1]. Auch wenn der überwiegende Teil seiner Sammlung durch Schenkung 2016 in den Besitz der Gerda und Klaus Tschira Stiftung (GKTS) übergegangen ist, wächst die Sammlung weiter. Dabei ist er auch auf das Thema OSTWALDs Farbenlehre und Philatelie gestoßen als er beim Aufschlagen der Zeitschrift der Österreichischen Philatelisten – Neue Sammlerschau bereits im Vorwort mit der Frage konfrontiert wurde, „[...] was der Chemiker, Physiker und Denker Wilhelm Ostwald mit der Philatelie zu tun hat, da er doch weder als Sammler bekannt ist noch auf einer Briefmarke abgebildet wurde [...]“ [2]. Die Antwort darauf an gleicher Stelle lautete, dass allein die Farbenbestimmung nach OSTWALD und sein Ordnungssystem in die „*Philatelie aller Länder Eingang finden wird*“. Für die wissenschaftliche Briefmarkenkunde ist die zweifelsfreie Farbenbezeichnung einer Marke bis heute noch Gegenstand heißer Diskussionen [3]; für den Briefmarkensammler ist dies jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Als Sammler der OSTWALD'schen Werke und Fachmann für Licht, Lack und Farbe interessiert sich Ralf DYCK für beides. Und so gelangte er zu einem seltenen Briefmarkenfund von einer Sondermarkenserie, die anlässlich der 100-Jahrfeier der Republik Lettland (lettisch *Latvija*) von Latvijas Pasts im Jahr 2017 herausgegeben wurde. Es handelt sich dabei um Briefmarkensätze, bestehend aus jeweils drei Sondermarken, auf denen berühmte Persönlichkeiten Lettlands im Bereich Sport, Kultur und Wissenschaft abgebildet sind. Als Ausgabemotive für den Bereich Wissenschaft wurden Astrophysik, Medizin und Chemie gewählt. Die Chemie-Sondermarke, geschmückt mit einem Band in Landesfarben sowie Eichenzweigen, enthält die Bilder der Physikochemiker und Wissenschaftshistoriker Paul WALDEN (lettisch *Pauls Valdēns*, 1863-1957), Jānis STRADIŅŠ (1933-2019) und Wilhelm OSTWALD (lettisch *Vilhelms Ostvalds*, 1853-1932) (Abb. 1). Im oberen Teil mittig sind die damals gängigen Glasgeräte im chemischen Laboratorium abgebildet, ein Erlenmeyerkolben und eine Retorte. Als Vorlage für die Darstellung von WALDEN und OSTWALD diente ein Gemälde des lettischen Malers Auseklis BAUŠĒNIĒKS (1910-2007), das er vermutlich im Sterbejahr WALDENS 1957 geschaffen hatte.

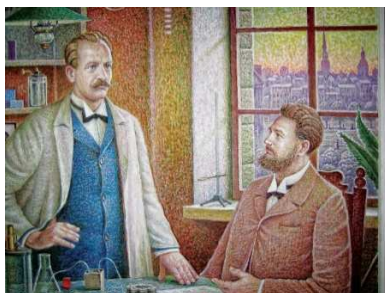


Abb. 1. Links: Sondermarke aus Lettland (Ausgabejahr 2017; Farbe: mehrfarbig mit hellblauem Untergrund, Druck: Offsetdruck, Auflage: unbekannt, Postwert: 1,42 €). Rechts oben: Paul WALDEN und Wilhelm OSTWALD in Riga 1887 bei der Diskussion einer elektrochemischen Messanordnung. Als Fensterblick-Motiv sind die Rigaer St. Petri Kirche und der Rigaer Dom zu erkennen.

Quelle: <https://cen.acs.org/articles/91/i29/Latvia-Celebrates-Paul-Walden.html>.

Rechts unten: Fotografien von WALDEN (um 1910) und OSTWALD (1887), die als Vorlage für das Gemälde und die Sondermarke dienten.

Quellen: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paul_Walden.jpg und <https://www.leipzig-lese.de/persoennlichkeiten/o/ostwald-wilhelm/ein-geistiger-revolutionaer-wilhelm-ostwald-zum-wunderjahr-der-chemie/>

Über die persönlichen und wissenschaftlichen Beziehungen zwischen Wilhelm OSTWALD und Paul WALDEN, der zu den ersten Studenten OSTWALDs am Polytechnikum Riga gehörte und 1891 bei seinem „größten chemischen Lehrmeister“, wie er oft zu sagen pflegte, in Leipzig mit der Arbeit „Über die Affinitätsgrößen einiger organischer Säuren und ihre Beziehung zur Konstitution derselben“ zum Dr. phil. promovierte, ist verschiedentlich berichtet worden. Eine Auswahl der Beiträge über WALDENS Leben und Wirken ist in [4] zu finden. Berühmtheit erlangte er durch bahnbrechende Arbeiten in der organischen Stereochemie und Elektrochemie in nichtwässrigen Lösungen, die er in Lettland, Deutschland und Russland durchführte.

Unter anderem konnte er 1896 bei der Synthese von L-Äpfelsäure und D-Äpfelsäure die Chiralität und Konfigurationsumkehr am Kohlenstoffatom bewei-

sen [5], die Emil FISCHER (1852-1919) 1906 als WALDEN'sche Umkehr bezeichnete. Diese von WALDEN beobachtete Umkehr der optischen Drehung bei der Umwandlung der D-(+)-Äpfelsäure in die L-(-)-Äpfelsäure durch aufeinanderfolgende Einwirkung von Phosphorpentachlorid in Ether und feuchtem Silberoxid verwendete der Designer der Sondermarke als Motiv hinter dem stehenden WALDEN. Dieses Thema bildete die Grundlage seiner Doktorarbeit, die er im März 1899 an der Universität in St. Petersburg als Voraussetzung für eine akademische Laufbahn in Russland verteidigte. Mit dem Glaszylinder in WALDENS Hand, das an ein Kugelfall-Viskosimeter erinnert, sollte offenbar auf seine Untersuchungen der Viskosität und spezifischen Leitfähigkeit elektrolytischer Lösungen hingewiesen werden, die schließlich in der Formulierung der WALDEN'schen Viskositätsregel mündeten. Der rechts von ihm stehende OSTWALD, der als begnadeter Redner auf verschiedenen wissenschaftlichen Podien glänzte, erklärt gerade, mit einem Zeigestock ausgestattet, den hinter ihm erkennbaren mathematischen Ausdruck des später nach ihm benannten OSTWALD'schen Verdünnungsgesetzes, das die Abhängigkeit der Äquivalentleitfähigkeit einer verdünnten Lösung eines binären schwachen Elektrolyten von der Konzentration der Lösung ausdrückt [6].

Dem Dritten im Bunde, Jānis STRADIŅŠ, wurde durch die bereits zu seinen Lebzeiten erfolgte Aufnahme in die Sondermarkenserie eine hohe Ehre zuteil. Er entwickelte die Theorie des Elektronen- und Protonentransfers in der Polarografie von organischen Verbindungen in wässrigen und gemischten Lösungen sowie die Interpretation der Multielektronenwelle [7]. Von 1996 bis 1998 war STRADIŅŠ Vizepräsident der Lettischen Akademie der Wissenschaften und von 1998 bis 2004 deren Präsident. Einen hohen Bekanntheitsgrad erreichte er durch seine wissenschaftshistorischen Beiträge und insbesondere als großer Kenner und Protagonist des Ostwald'schen Wirkens und Schaffens [8]. Seine diesbezüglichen Verdienste würdigte die Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft zu Großbothen 1990 mit der Verleihung der Ehrenmitgliedschaft, und 2004 wurde er mit der Wilhelm-Ostwald-Medaille der Sächsischen Akademie der Wissenschaften ausgezeichnet. Jānis STRADIŅŠ war der geistige Vater der Idee zur Errichtung von Denkmälern für Wilhelm OSTWALD (2001) und Paul WALDEN (2003) an deren früheren Wirkungsstätten in Riga.

Vollständigkeitshalber soll hier ein weiterer postalischer Fund von Ralf DYCK erwähnt werden, und zwar der Sonderstempel der DDR-Post, 7243 Großbothen, aus dem Jahr 1982 (Abb. 2), gewidmet den beiden großen Persönlichkeiten in der einstigen Gemeinde Großbothen, Wilhelm OSTWALD (1853-1932) und Wilhelm WUNDT (1832-1920) aus verschiedenen Anlässen. Im Jahr 1982 jährte sich zum 50. Mal der Todestag OSTWALDS, zugleich wurde der 150. Geburtstag von WUNDT begangen. Die unmittelbare Nachbarschaft in der Gemeinde war nicht das einzige verbindende Element zwischen dem Chemiker und Nobelpreisträger OSTWALD sowie dem 21 Jahre älteren Begründer der Psychologie als eigenständige Wissenschaft WUNDT. Wie der Briefwechsel zwischen den beiden und deren Lebenserinnerungen belegen, verfügt ihr Wissenschafts- und Philosophieverständnis jenseits

ihrer wissenschaftlichen Disziplinen sehr viel mehr Gemeinsamkeiten [9]. Vielmehr war OSTWALD glücklich, nach dem Beziehen des Landsitzes „Energie“ in Großbothen noch einen regen persönlichen Verkehr mit WUNDT bis zu seinem Ableben gehabt zu haben. Diese Verbundenheit zwischen beiden Gelehrten wird auch auf dem Sonderstempel zum Ausdruck gebracht.

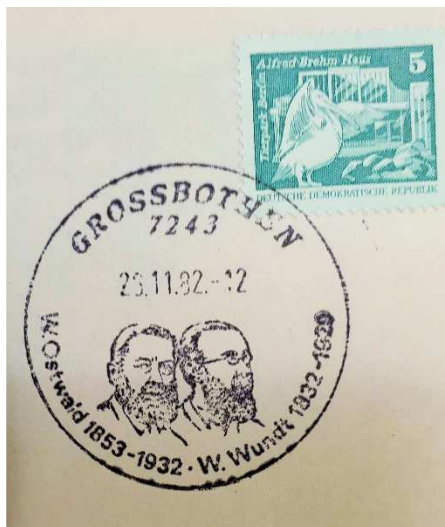


Abb. 2. Sonderstempel für Postamt Großbothen 7243 (DDR); Gerät: Handstempel, Form: Kreisstempel 40 mm, Schriftart: Grotesk/Antiqua gemischt, Stempelfarbe: schwarz auf Ölbasis, Verwendung als Gelegenheitsstempel, Verwendungszeit: 28.11.1982. Quelle: Ralf Dyck.

Literatur

- [1] ZELAYA, H. F.: Wilhelm Ostwald hat´s ihm angetan. Badische Ztg., 24. März 2016 (siehe auch: <https://www.badische-zeitung.de/wilhelm-ostwald-hat-s-ihm-angetan--119897747.html>).
- [2] OEHLINGER, S.: Vorwort für „Das Farbenproblem“. Neue Sammlerschau: unabh. Internat. Fachzeitschr. für Philatelie, Leoben (Österr.) (1946), Dez., Sondernr. 25.
- [3] <https://www.danzig.org/3034-Oswalds-Farbenlehre-und-die-Philatelie/>.
- [4] MESSOW, U.: Paul Walden: Schüler und erster Biograf von Wilhelm Ostwald. Mitt. Wilhelm-Ostwald-Ges. 24 (2019), H. 2, S. 43-57.
- [5] WALDEN, P.: Ueber die gegenseitige Umwandlung optischer Antipoden. Ber. dtsh. chem. Ges. 29 (1896), S. 133-138.
- [6] OSTWALD, W.: Über die Dissociationstheorie der Elektrolyte. Zeitschr. f. physik. Chem. 2 (1888) S. 270-283.

- [7] DUBURS, G.: Zum 80. Geburtstag von Professor Jānis Stradiņš. Chem. Heterocycl. Comp. (russ.) 11 (2013), S. 1665-1668,
(siehe auch <file:///C:/Users/resche/Downloads/1272-5897-1-PB.pdf>).
- [8] STRADIŅŠ, J.: Wilhelm Ostwalds Rigaer Jahre und die Entstehung der klassischen physikalischen Chemie. Acta medico-historica Rigensia. N.F. 3 (1997), S. 55-70.
- [9] DOMSCHKE, J.-P.: Zum 100. Todestag von Wilhelm Maximilian Wundt (1832-1920). Mitt. Wilhelm-Ostwald-Ges. 24 (2019), H. 2, S. 58-67.

Buchvorstellung

„Transatlantische Brieffreunde: Die Korrespondenz zwischen Jacques Loeb und Wilhelm Ostwald um 1902“

Jan-Peter Domschke

Im Franz Steiner Verlag Wiesbaden GmbH erschien kürzlich das 156 Seiten umfassende Buch von Christoffer LEBER „Transatlantische Brieffreunde: Die Korrespondenz zwischen Jacques Loeb und Wilhelm Ostwald um 1902“. Der Autor erzählt erstmals die Geschichte einer Brieffreundschaft zweier Wissenschaftler. Der Biologe Jacques LOEB (1859-1924) und Wilhelm OSTWALD (1853-1932) pflegten um 1900 eine intensive Brieffreundschaft - zwischen Berkeley und Leipzig, zwischen New York und Grossbothen. In ihren Briefen berichteten LOEB und OSTWALD über ihre wissenschaftliche Arbeit, über kulturelle Unterschiede dies- und jenseits des Atlantiks und ihren Kampf für eine naturwissenschaftlich begründbare wissenschaftliche Weltanschauung. Die weltanschaulichen Differenzen am Beginn des Ersten Weltkrieges führten zum Erliegen des Briefwechsels. Wer sich mit der Geschichte der Lebenswissenschaften und den transatlantischen Beziehungen um 1900 beschäftigt, findet in dieser Edition reiches Quellenmaterial. In den USA galt Jaques LOEB als der Prototyp eines modernen Biologen. Er wurde zwischen 1901 und 1924 achtundsiebzigmal für den Nobelpreis für Medizin oder Physiologie vorgeschlagen, erhielt diese Auszeichnung aber nie. Wilhelm OSTWALD lernte Jaques LOEB 1903 kennen. Sein ältester Sohn Wolfgang studierte zeitweise bei LOEB. Das Buch „Vorlesungen über die Dynamik der Lebenserscheinungen“ (Leipzig 1906) ist Wilhelm OSTWALD gewidmet. Jaques LOEB hielt die experimentelle Erforschung der die Lebewesen beeinflussenden Faktoren wie Licht, Sauerstoff und elektrischen Wellen für die wichtigste Aufgabe der Biologie. Als einer der ersten wandte Jaques LOEB die Dissoziationstheorie von Svante ARRHENIUS auf die Biologie an und erforschte die Rolle der Ionen im Lebensgeschehen. Eingehend beschäftigte er sich mit der „künstlichen Befruchtung“. Er fand Substanzen, die anstelle von Spermien Seeigeleier befruchteten. Jaques LOEB hielt 1911 einen Plenarvortrag zum 1. Internationalen Monistenkongress in Hamburg.

Autorenverzeichnis

Prof. Dr. Holger Perlt
04159 Leipzig
perlt5@t-online.de

Prof. Dr. Friedrich Reinhard Schmidt
01723 Kesselsdorf
reinhard.schmidt@arbeitstrieb.de

Prof. Dr. Jan-Peter Domschke
09603 Großschirma
domschke@htwm.de

Prof. Dr. Ulf Messow
04668 Grimma, OT Waldbardau
ulf.messow@freenet.de

Anna-Elisabeth Hansel
04668 Grimma, OT Großbothen
hansel817@gmx.de

Prof. Dr. Wladimir Reschetilowski
Dipl.-Chem. Karin Reschetilowski
01445 Radebeul
wladimir.reschetilowski@tu-dresden.de

Gesellschaftsnachrichten

Wir gratulieren

zum 85. Geburtstag

Herrn Prof. Dr. Heiner Kaden, 20.09.2023

Herrn Prof. Dr. Hans-Peter Schramm, 14.08.2023

zum 70. Geburtstag

Herrn Dr. Rainer Löwe, 15.10.2023

Spenden

Wir bedanken uns recht herzlich für die Spenden (Stand: 31.05.2023) von Klaus-Georg und Corinna Adams, Dr.-Ing. Bernhard Gutsche, Prof. Dr. Bernd Kirstein, Prof. Dr. Herbert Klenk, Dr. Mark Henning Ostwald, Raiffeisenbank Grimma eG, Prof. Dr. Michael Ruck, Dr. Carl Gerhard Spilcke-Liss, Gerda Tschira.

Die Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V.
trauert um ihr langjähriges Mitglied

Prof. Dr. Helga Dunken
Sie verstarb am 18.12.2022

Wir werden ihr stets ein ehrendes Andenken bewahren

Frau Prof. Dr. Helga Dunken war seit September 1992 Mitglied in unserer Gesellschaft. Mit großzügigen finanziellen Spenden hat sie über viele Jahre die Arbeit der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft sehr unterstützt. Dies wird der Vorstand der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft in großer Dankbarkeit in Erinnerung behalten.

Die Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V.
trauert um ihr langjähriges Mitglied

Prof. Dr. Viktor Katsnelson
Er verstarb am 10.03.2023

Wir werden ihm stets ein ehrendes Andenken bewahren.

Ergebnisse der ordentlichen Mitgliederversammlung der Wilhelm-Ostwald-Gesellschaft e.V. 2023

Zusammenfassung

Am 18. März 2023 fand im Wilhelm Ostwald Park Großbothen, Haus Werk, die jährliche ordentliche Mitgliederversammlung statt.

Nach Abarbeitung der Formalia (Begrüßung, Feststellung der Beschlussfähigkeit, Beschluss zur Tagesordnung) wurde die Tagesordnung abgearbeitet.

Zunächst legte der Vorstand Rechenschaft über die Arbeit der Gesellschaft im Jahr 2022. Im Arbeitsbericht wurde über die aktuelle Mitgliederstatistik, die Gremienzusammensetzung, die im Jahr 2022 durchgeführten Veranstaltungen einschließlich der Teilnahmestatistik, die erschienenen Publikationen (turnusmäßige Mitteilungshefte, Sonderheft), die Aktualisierung der Webseite der Gesellschaft und die Bereitstellung von Online-Texten der Sonderhefte informiert. Im Finanzbericht wurde die Einnahmen-/Ausgaben-Situation mit Stichtag 31.12.2022, die Vermögenslage der Gesellschaft und die Finanzstatistik von 2018 bis 2022 dargelegt.

Die Mitgliederversammlung nahm den Bericht des Kassenprüfers, der dem Vorstand die ordnungs- und satzungsgemäße Führung der Finanzen im Prüfungszeitraum 2022 bestätigte, zur Kenntnis.

Nach den von der Versammlung ausführlich diskutierten Berichten des Vorstandes beschloss die Versammlung, dem Vorstand für das Jahr 2022 Entlastung zu erteilen. Die Versammlung dankte den Mitgliedern des Vorstandes und des Beirates für ihre engagierte, ehrenamtliche Arbeit.

Die Mitgliederversammlung wählte Herrn Dr. Matthias Friese, der zum 30. März 2022 als Mitglied in den Vorstand kooptiert wurde (s. Bericht über die Ergebnisse der Mitgliederversammlung vom 19. März 2022 im Mitteilungsheft 1/2022) einstimmig als weiteres, satzungsgemäßes Mitglied in den Vorstand. Damit besteht der Vorstand bis zur nächsten Wahl 2024 aus Prof. Dr. Bernd Abel (Vorsitzender),

Dr. Michael Handschuh (stellv. Vorsitzender) und Dr. Matthias Friese (stellv. Vorsitzender).

Der Vorstand stellte im Weiteren die inhaltlichen Schwerpunkte des Arbeitsplanes (geplante Ostwald-Gespräche, Experimentalvorlesung, Veranstaltung im Wilhelm Ostwald Park Großbothen „Science meets art“, Vorbereitung des Wilhelm-Ostwald-Nachwuchspreises, Herausgabe von Mitteilungs- und Sonderheften, Kooperationen mit anderen Einrichtungen und Gesellschaften) und die Finanzplanung für das laufende Jahr 2023 vor. Die Planungen wurden von der Mitgliederversammlung zustimmend zur Kenntnis genommen.

Autorenhinweise

Manuskripte sollten im A5-Format (Breite 14,8 cm und Höhe 21 cm) mit 1,5 cm breiten Rändern in einer DOC-Datei via E-Mail oder als CD-ROM eingereicht werden. Als Schriftform wählen Sie Times New Roman, 10 pt und einfacher Zeilenabstand. Schreiben Sie linksbündig, formatieren Sie keinen Text und keine Überschriften, fügen Sie Sonderzeichen via „Einfügen“ ein.

Graphische Elemente und Abbildungen bitte als jeweils eigene Dateien liefern.

Bei **Vortragsveröffentlichungen** ist die Veranstaltung mit Datum und Ortsangabe in einer Fußnote anzugeben.

Alle **mathematischen Gleichungen** mit nachgestellten arabischen Zahlen in runden Klammern fortlaufend nummerieren.

Tabellen fortlaufend nummerieren und auf jede Tabelle im Text hinweisen. Tabellen nicht in den Text einfügen, sondern mit Überschriften am Ende der Textdatei aufführen.

Abbildungen fortlaufend nummerieren, jede Abbildung muss im Text verankert sein, z.B. „(s. Abb. 2)“. Die Abbildungslegenden fortlaufend am Ende der Textdatei (nach den Tabellen) aufführen. Farbabbildungen sind möglich, sollten aber auf das unbedingt notwendige Maß (Kosten) beschränkt sein. Die Schriftgröße ist so zu wählen, dass sie nach Verkleinerung auf die zum Druck erforderliche Größe noch 1,5 bis 2 mm beträgt.

Wörtliche Zitate müssen formal und inhaltlich völlig mit dem Original übereinstimmen.

Literaturzitate in der Reihenfolge nummerieren, in der im Text auf sie verwiesen wird. Zur Nummerierung im Text arabische Zahlen in eckigen Klammern und im Verzeichnis der **Literatur** am Ende des Textes ebenfalls auf Zeile gestellte arabische Zahlen in eckigen Klammern.

1. Bei Monografien sind anzugeben: Nachnamen und Initialen der Autoren: Titel des Buches. Aufl. (bei mehrb. Werken folgt Bandangabe. Titel.) Verlagsort: Verlag, Jahr, Seite.
2. Bei Zeitschriftenartikeln sind anzugeben: Nachnamen der Autoren und Initialen (max. 3, danach - u.a.- getrennt durch Semikolon): Sachtitel. Gekürzter Zeitschriftentitel Jahrgang oder Bandnummer (Erscheinungsjahr), evtl. Heftnummer, Seitenangaben.
3. Bei Kapiteln eines Sammelwerkes oder eines Herausgeberwerkes sind anzugeben: Nachnamen und Initialen der Autoren: Sachtitel. In: Verfasser d. Monografie, abgek. Vorname (oder Herausgebername, abgek. Vorname (Hrsg.): Sachtitel des Hauptwerkes. Verlagsort: Verlag, Jahr, Seitenangaben.

Es folgen einige Beispiele:

Literatur

- [1] Ostwald, W.: Lehrbuch der allgemeinen Chemie. 2. Aufl. Bd. 1. Stöchiometrie. Leipzig: Engelmann, 1891, S. 551.
- [2] Fritzsche, B.; Ebert, D.: Wilhelm Ostwald als Farbwissenschaftler und Psychophysiker. Chem. Technik 49 (1997), 2, S. 91-92.
- [3] Franke, H. W.: Sachliteratur zur Technik. In: Radler, R. (Hrsg.): Die deutschsprachige Sachliteratur. München: Kindler, 1978, S. 654-676.

Folgendes Informationsmaterial können Sie bei uns erwerben:

Ansichtskarten vom Landsitz „Energie“ (vor 2009)	0,50 €
Domschke, J.-P.; Lewandrowski, P.: Wilhelm OSTWALD. Urania-Verl., 1982	5,00 €
Domschke, J.-P.; Hofmann, H.: Der Physikochemiker und Nobelpreisträger Wilhelm OSTWALD: Ein Lebensbild. Bearb. u. aktual. Fassung. Sonderheft 23 der Mitt. Wilhelm-OSTWALD-Ges., 2022	10,00 €
Bendin, E.: Zur Farbenlehre. Studien, Modelle, Texte Dresden 2010	34,00 €
Zu Bedeutung und Wirkung der Farbenlehre W. OSTWALDS Sonderheft zum 150. Geburtstag Wilhelm OSTWALDS Phänomen Farbe 23 (2003), September	5,00 €
Guth, P.: Eine gelebte Idee: Wilhelm OSTWALD und sein Haus „Energie“ in Großbothen. Hypo-Vereinsbank Kultur u. Ges. München. Wemding: Appl. (Druck), 1999	5,00 €
Edition OSTWALD 1: Nöthlich, R.; Weber, H.; Hoßfeld, U. u.a.: „Substanzmonismus“ und/oder „Energetik“: Der Briefwechsel von Ernst Haeckel und Wilhelm OSTWALD (1910-1918). Berlin: VWB, 2006 (Preis f. Mitgl. d. WOG: 15,00 €)	25,00 € 15,00 €
Edition OSTWALD 2: „On Catalysis“ /hrsg. v. W. Reschetilowski; W. Höhle. Berlin: VWB, 2010 (Preis f. Mitgl. d. WOG: 15,00 €)	25,00 € 15,00 €
Mitteilungen der Wilhelm-OSTWALD-Gesellschaft: Heft 1/1996-1/2008 je ab Heft 2/2008 je	5,00 € 6,00 €
Mitteilungen der Wilhelm-OSTWALD-Gesellschaft (Sonderhefte 1-25), Themen der Hefte u. Preise finden Sie auf unserer Homepage	div.
Beyer, Lothar: Wege zum Nobelpreis. Nobelpreisträger für Chemie an der Universität Leipzig: Wilhelm OSTWALD, Walther Nernst, Carl Bosch, Friedrich Bergius, Peter Debye. Universität Leipzig, 1999.	2,00 €