

From carrots to flat display screens ...

... Horst Stegemeyer has thus briefly and succinctly summarised the winding, obstacle-laden path of liquid crystals between the starting point, namely the careful observations of the botanist Friedrich Reinitzer, and the current state of electronic display technology.

Friedrich Reinitzer had identified two melting points of cholesteryl benzoate, a derivative of cholesterol that he had discovered in carrots, and observed its temperature-dependent colour phenomena in polarised light. In order to clarify this finding in more detail, he contacted Otto Lehmann, then still a private lecturer in Aachen, in March 1888 with the request to "kindly examine the substance samples sent to him in more detail using his crystallisation microscopes"[1].

Otto Lehmann was already familiarised with microscopy by his father as a schoolboy and had received in-depth training in the field of crystallography, including at the University of Strasbourg under the mineralogist Paul Heinrich von Groth. As early as 1872, Lehmann described in his dissertation how he was able to adapt his microscope to his observations of crystallisation phenomena by adding a gas burner for heating and a directed air stream for cooling the specimen. As can be seen from his numerous publications, in 1888 Lehmann was a recognised expert in the field of microscopic crystallography, had the necessary experience and, above all, the required instruments.

After moving from Aachen to Dresden and from there, following his appointment as Heinrich Hertz's successor, to Karlsruhe, Lehmann published the results of his investigations on Reinitzer's samples in August 1889. He confirmed Reinitzer's observations and was convinced that cholesteryl benzoate combined the properties of a liquid with those of a crystal. Despite being at a loss for an explanation, he labelled this state "flowing crystals". After Lehmann had proven that the observed phenomena (multiple melting points, optical anisotropies in the liquid state) were not due to impurities in the substances under investigation, but that they were special states of matter (according to Georges Friedel: *mesophases*), he vigorously and eloquently defended this finding for many years against doubters and mockers.

From 1908 onwards, Lehmann endeavoured to disseminate his research results on liquid crystals beyond Germany. In 1909, he accepted an invitation to the Sorbonne in Paris to give a long seminar accompanied by experiments. This visit was a great success and founded the French school of liquid crystal science with Charles Mauguin, Georges Friedel and François Grandjean as pioneers. To support scientific research, the company Merck offered substances with liquid crystalline phases in its sales programme from 1904 on.

Due to a lack of possible applications, interest in liquid crystals waned in the 1930s until Richard Williams and George Heilmeyer were able to realise the first electrically controlled displays in the USA in the 1960s. In 1962, Williams discovered an electro-optical scattering effect in liquid crystals in the laboratories of the Radio Corporation of America (RCA) in Princeton, which aroused the hopes of his colleague Heilmeyer and, from 1967, the company's expectations for its commercial use in large-scale displays and even as a replacement for the cathode ray tube used in televisions. With similar enthusiasm, a German chemical manufacturer announced in 1969, following the development of a liquid crystal material at room temperature, that 'flat television screens can soon be hung up on the nail'[3].

As we know today, in both cases the wish was the father of the idea. However, the laws of nature were to present the engineers concerned with a wide variety of challenges for at least another 30 years. During this time, many ideas were realised as prototypes, patented and tested, but only few practical solutions remained. The next important step on the road to liquid crystal displays (LCDs) with low power consumption and high contrast was taken in Switzerland in the research department of Hoffmann-LaRoche in Basel. Here, Wolfgang Helfrich, inspired by a publication by Charles Mauguin from 1911, together with Martin Schadt, realised the twisted nematic LCD (TN-LCD). Both applied for a patent for the TN-LCD on 4 December 1970. In the period that followed, Schadt systematically developed new liquid crystalline substances with suitable properties, in particular with the required purity, and thus substantially improved the performance of their development.

The low power consumption of TN cells and their good contrast quickly attracted the interest of some manufacturers of pocket calculators and wristwatches from Japan, and the first licences for the TN cell

were granted by Hoffmann-LaRoche as early as 1974. In 1985, Terry Scheffer and Jürgen Nehring presented the *supertwisted birefringence effect* at Brown-Boveri in Switzerland, which made it possible to achieve higher multiplex rates and thus to control screens with a pixel matrix of 640×480 pixels. This meant that lightweight portable computers could be realised for the first time. The state of development of digital electronics at this time was finally complemented by the corresponding visual output units.

At the beginning of the 1990s, the first liquid crystal displays with colour display and control by thin-film transistors made of amorphous silicon were available, and at the end of the 1990s they began to be used in offices and other workplaces. In 2008, for the first time, as many televisions with liquid crystal screens were sold worldwide as TV-sets with cathode ray tubes. Since then, large-format flat TV screens have actually found their place hanging on the wall.

In 2022, the sales volume for all electro-optical displays worldwide was around 160 billion US dollars, of which liquid crystal displays accounted for more than 90 per cent. The use of liquid crystals in windows with controllable light transmission, in electrically controllable optical lenses, in elements for optical data processing and in controllable components for the microwave range means that several more achievements can be expected from liquid crystals in the future.

Michael E. Becker, Henning Wöhler

Sources – References

Horst Stegemeyer: „Von der Karotte zum Flachbildschirm“, Bunsen-Magazin, 9.Jahrgang, 4/2007

Friedrich Reinitzer: "Beiträge zur Kenntniss des Cholesterins", Monatshefte für Chemie 9, 421–441, 1888

Otto Lehmann: "Das Kristallisationsmikroskop und die damit gemachten Entdeckungen -insbesondere die der flüssigen Kristalle", Braunschweig, Vieweg, 1910

Otto Lehmann: "Molekularphysik - mit besonderer Berücksichtigung mikroskopischer Untersuchungen und Anleitung zu solchen sowie einem Anhang über mikroskopische Analyse", 1888, W. Engelmann, Leipzig

Peter M. Knoll, Hans Kelker: "Otto Lehmann, Researcher of Liquid Crystals", ISBN 978-3-8391-7439-5, 2010, Books on Demand GmbH, Norderstedt

Tim Sluckin, David Dunmur, Horst Stegemeyer (Editors): "Crystals That Flow - Classic Papers from the History of Liquid Crystals", 2004, CRC Press, DOI: 10.1201/9780203022658

David Dunmur, Tim Sluckin: "Soap, Science, and Flat-Screen TVs: A History of Liquid Crystals", Oxford University Press, Oxford, 2010, ISBN 9780199549405

Tim Sluckin: "Über die Natur der kristallinen Flüssigkeiten und flüssigen Kristalle", Bunsen-Magazin, 7. Jahrgang, 5/2005

- [1] Friedrich Reinitzer to Otto Lehmann, 14.03.1888, see Peter M. Knoll, Hans Kelker: "Otto Lehmann, Researcher of Liquid Crystals", ISBN 978-3-8391-7439-5, 2010, Books on Demand GmbH, Norderstedt
- [2] Otto Lehmann: Über fließende Krystalle, in: Zeitschrift für physikalische Chemie, IV/4 (1889), S. 462-472.
- [3] Siehe die Wiedergabe einer Werbeanzeige der Firma Hoechst im Beitrag von Stegemeyer, Horst u. Pohl, Ludwig: Die Flüssigkristall-Ausstellung im Bunsen-Archiv Gießen „Vom Cholesterin zum Flachbildschirm“. Eröffnung am 13. Oktober 2007, in: Bunsen-Magazin 10/1 (2008), S. 24-26, hier S. 26.

Von der Karotte zum Flachbildschirm ...

... so kurz und knapp hat Horst Stegemeyer den verschlungenen, hindernisreichen Weg der flüssigen Kristalle zwischen dem Ausgangspunkt, nämlich den sorgfältigen Beobachtungen des Botanikers Friedrich Reinitzer, und dem aktuellen Stand der Bildschirmtechnik zusammengefasst.

Friedrich Reinitzer hatte zwei Schmelzpunkte des Cholesterylbenzoats festgestellt, einem Derivat des Cholesterins, das er in der Karotte entdeckt hatte, und dessen temperaturabhängige Farberscheinungen im polarisierten Licht beobachtet. Um diesen Befund eingehender zu klären, wandte er sich im März 1888 an Otto Lehmann, damals noch Privatdozent in Aachen, mit der Bitte, die ihm zugesandten Substanzproben mithilfe seiner Kristallisationsmikroskope „gütigst etwas näher untersuchen zu wollen“.[1]

Otto Lehmann wurde schon als Schüler von seinem Vater mit der Mikroskopie vertraut gemacht und hatte eine vertiefte Ausbildung im Bereich der Kristallografie erhalten, unter anderem an der Universität Straßburg bei dem Mineralogen Paul Heinrich von Groth. Schon 1872 beschreibt Lehmann in seiner Dissertation, wie er sein Mikroskop an die von ihm durchgeführten Beobachtungen von Kristallisationsphänomenen anpassen konnte, indem er einen Gasbrenner zum Erhitzen und einen gerichteten Luftstrom zum Kühlen des Präparats hinzufügte. Wie aus seinen zahlreichen Publikationen zu entnehmen ist, war Lehmann im Jahr 1888 ausgewiesener Experte auf dem Gebiet der mikroskopischen Kristallografie, hatte die notwendige Erfahrung und vor allem auch das erforderliche Instrumentarium.

Nach seinem Umzug von Aachen nach Dresden und von dort, der Berufung als Nachfolger von Heinrich Hertz nachkommend, nach Karlsruhe veröffentlichte Lehmann im August 1889 die Ergebnisse seiner Untersuchungen an den Proben von Reinitzer. Er bestätigte dessen Beobachtungen und war überzeugt, im Cholesterylbenzoat die Eigenschaften einer Flüssigkeit mit der eines Kristalls verbunden zu sehen. Trotz aller Ratlosigkeit hinsichtlich einer Erklärung bezeichnete er diesen Zustand als „fließende Krystalle“. Nachdem Lehmann nachgewiesen hatte, dass die beobachteten Phänomene (mehrere Schmelzpunkte, optische Anisotropien im flüssigen Zustand) nicht auf Verunreinigungen der untersuchten Substanzen beruhen, sondern dass es sich um besondere Zustände der Materie handelt (nach Georges Friedel: *Mesophasen*), verteidigte er diese Erkenntnis energisch und eloquent über viele Jahre gegen Zweifler und Spötter.

Ab 1908 bemühte sich Lehmann, seine Untersuchungsergebnisse zu flüssigen Kristallen über Deutschland hinaus zu verbreiten. Im Jahr 1909 folgte er einer Einladung an die Sorbonne in Paris, um dort ein langes, von Experimenten begleitetes Seminar zu halten. Dieser Besuch war ein großer Erfolg und begründete die französische Schule der Wissenschaft der flüssigen Kristalle mit Charles Mauguin, Georges Friedel und François Grandjean als Pionieren. Zur Unterstützung der wissenschaftlichen Forschung bot die Firma Merck ab 1904 in ihrem Verkaufsprogramm Substanzen mit flüssigkristallinen Phasen an.

In Ermangelung von Anwendungsmöglichkeiten erlosch in den 1930er Jahren das Interesse an Flüssigkristallen, bis Richard Williams und George Heilmeyer in den 1960er Jahren in den USA erste elektrisch gesteuerte Anzeigen realisieren konnten. 1962 wurde von Williams in den Laboren der Radio Corporation of America (RCA) in Princeton ein elektro-optischer Streueffekt in Flüssigkristallen entdeckt, der bei seinem Kollegen Heilmeyer und ab 1967 im Unternehmen Hoffnungen auf seine kommerzielle Nutzung als Anzeigeelement im großen Maßstab und sogar auf den Ersatz der in Fernsehgeräten verwendeten Kathodenstrahlröhre weckte. Mit ähnlicher Begeisterung verkündete ein deutscher Hersteller von Chemikalien im Jahr 1969 nach der Entwicklung eines bei Raumtemperatur flüssigkristallinen Materials, dass „flache Fernsehbildschirme bald an den Nagel gehängt werden können“.[3]

Wie wir heute wissen, war in beiden Fällen der Wunsch der Vater des Gedankens. Jedoch sollten die Naturgesetze den betroffenen Ingenieurinnen und Ingenieuren für mindestens weitere 30 Jahre unterschiedlichste Herausforderungen bescheren. In dieser Zeit wurden viele Ideen in Prototypen umgesetzt, patentiert und erprobt, es blieben jedoch wenige für die Praxis taugliche Lösungen übrig. Der nächste wichtige Schritt auf den Weg zur Flüssigkristallanzeige (*liquid crystal display*, LCD) mit geringer Leistungsaufnahme und hohem Kontrast gelang in der Schweiz in der Forschungsabteilung von Hoffmann-LaRoche in Basel. Hier realisierte Wolfgang Helfrich, durch eine Veröffentlichung von

Charles Maugin aus dem Jahr 1911 inspiriert, zusammen mit Martin Schadt die nematische Drehzelle (*twisted nematic LCD*, TN-LCD). Beide meldeten die TN-LCD am 4. Dezember 1970 zum Patent an. In der Folgezeit entwickelte Schadt systematisch neue flüssigkristalline Substanzen mit geeigneten Eigenschaften, insbesondere mit der erforderlichen Reinheit, und verbesserte damit die Leistungsfähigkeit seiner Entwicklung.

Die geringe Leistungsaufnahme von TN-Zellen und deren guter Kontrast erregten schnell das Interesse einiger Hersteller von Taschenrechnern und Armbanduhr aus Japan, und die ersten Lizenzen für die TN-Zelle wurden von Hoffmann-LaRoche bereits im Jahr 1974 vergeben. 1985 stellten Terry Scheffer und Jürgen Nehring bei Brown-Boveri in der Schweiz den *supertwisted birefringence effect* vor, mit dem sich höhere Multiplexraten erreichen ließen und somit auch Bildschirme mit einer Pixelmatrix von 640 × 480 Bildpunkten angesteuert werden konnten. Damit ließen sich erstmalig leichte tragbare Rechner realisieren. Dem Entwicklungsstand der Digitalelektronik zu dieser Zeit standen damit endlich die entsprechenden visuellen Ausgabeeinheiten zur Seite.

Anfang der 1990er Jahre waren die ersten Flüssigkristallbildschirme mit Farbdarstellung und Ansteuerung durch Dünnfilmtransistoren aus amorphem Silizium verfügbar, und Ende der 1990er Jahre begann ihr Einzug in Büros und an sonstigen Arbeitsplätzen. Im Jahr 2008 wurden weltweit erstmals so viele Fernsehgeräte mit Flüssigkristallbildschirmen verkauft wie solche mit Kathodenstrahl-Bildröhren. Seitdem haben großformatige flache Fernsehbildschirme tatsächlich ihren Platz an der Wand gefunden. 2022 lag das Umsatzvolumen für alle elektro-optischen Anzeigen weltweit bei etwa 160 Milliarden US-Dollar, wovon Flüssigkristallanzeigen mehr als 90 Prozent ausmachten. Die Verwendungen von Flüssigkristallen in Fenstern mit steuerbarer Lichtdurchlässigkeit, in elektrisch steuerbaren optischen Linsen, in Elementen zur optischen Datenverarbeitung und in steuerbaren Bauelementen für den Mikrowellenbereich lassen auch in Zukunft noch einige Errungenschaften erwarten.

Michael E. Becker, Henning Wöhler

Quellen

Horst Stegemeyer: „Von der Karotte zum Flachbildschirm“, Bunsen-Magazin, 9. Jahrgang, 4/2007

Friedrich Reinitzer: "Beiträge zur Kenntniss des Cholesterins", Monatshefte für Chemie 9, 421–441, 1888

Otto Lehmann: "Das Kristallisationsmikroskop und die damit gemachten Entdeckungen -insbesondere die der flüssigen Kristalle", Braunschweig, Vieweg, 1910

Otto Lehmann: "Molekularphysik - mit besonderer Berücksichtigung mikroskopischer Untersuchungen und Anleitung zu solchen sowie einem Anhang über mikroskopische Analyse", 1888, W. Engelmann, Leipzig

Peter M. Knoll, Hans Kelker: "Otto Lehmann, Researcher of Liquid Crystals", ISBN 978-3-8391-7439-5, 2010, Books on Demand GmbH, Norderstedt

Tim Sluckin, David Dunmur, Horst Stegemeyer (Editors): "Crystals That Flow - Classic Papers from the History of Liquid Crystals", 2004, CRC Press, DOI: 10.1201/9780203022658

David Dunmur, Tim Sluckin: "Soap, Science, and Flat-Screen TVs: A History of Liquid Crystals", Oxford University Press, Oxford, 2010, ISBN 9780199549405

Tim Sluckin: "Über die Natur der kristallinen Flüssigkeiten und flüssigen Kristalle", Bunsen-Magazin, 7. Jahrgang, 5/2005

[1] Friedrich Reinitzer an Otto Lehmann, 14.03.1888

[2] Otto Lehmann: Über fließende Krystalle, in: Zeitschrift für physikalische Chemie, IV/4 (1889), S. 462-472.

[3] Siehe die Wiedergabe einer Werbeanzeige der Firma Hoechst im Beitrag von Stegemeyer, Horst u. Pohl, Ludwig: Die Flüssigkristall-Ausstellung im Bunsen-Archiv Gießen „Vom Cholesterin zum Flachbildschirm“. Eröffnung am 13. Oktober 2007, in: Bunsen-Magazin 10/1 (2008), S. 24-26, hier S. 26.