Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Mathématique et physique = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Mathematik und Physik

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 6 (1948)

Artikel: Studie über die dynamische Linse

Autor: Briner, Hermann

Kapitel: I: Einleitung

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-306974

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

I. Einleitung

§ 1. Allgemeines

Im Gegensatz zur gewöhnlichen Glaslinse ist bei der dynamischen Linse nicht ein starrer Körper optisch wirksam, sondern eine Flüssigkeit. Zwei dünne Scheiben aus elastischem Material sind so in eine Fassung eingespannt und abgedichtet, daß man dazwischen die optische Flüssigkeit einfüllen kann. Eine Änderung der Krümmung der die Linse begrenzenden Flächen, die durch äußere Einwirkung, insbesondere durch Druck auf die Füllflüssigkeit erzielt werden kann, ergibt eine Variation der Brennweite der Linse. (Die Brennweiten von Linsen mit sonst gleichen optischen Konstanten sind den Krümmungsradien proportional.) Die dynamische Linse war in unserem Institut schon Gegenstand verschiedener Arbeiten von F. Dessauer und F. Meier [1], [2], [3]. Im folgenden werden diese Arbeiten abgekürzt mit I, II und III bezeichnet.

Arbeit I befaßt sich mit den Grundlagen der dynamischen Linse, mit der Trennung der Linsenelemente in:

1. *Linsenschale*, als Grenzfläche zwischen Linsenkörper und Umgebung.
2. *Linsenform*, die bei unseren Experimenten durch mechanische Druck- und Zugkräfte (aber möglicherweise auch durch andere, etwa magnetische oder elektrische Einflüsse) variiert wird.
3. *Linseninhalt* oder *Linsenfüllung*, die möglichst den ganzen (mindestens aber den überwiegenden) Anteil an den Materialkonstanten (Brechungsindex, Dispersionszahl, Filtration usw.) übernimmt.

Für jeden dieser drei Begriffe sind dort die für die technische Realisierbarkeit notwendigen Forderungen gestellt. Die größten Schwierig-

[1] F. Meier und F. Dessauer: Studie über die dynamische Linse, H. P. A. **14**, 271, 1941.

[2] F. Dessauer: Studien über die dynamische Linse 2, ds. **14**, 574, 1941.

[3] F. J. Meier: Studie über die dynamische Linse, ds. **16**, 277, 1943.

keiten liegen in der Beschaffenheit der Linsenschalen. Für diese sind folgende Bedingungen zu stellen :

1. Die Durchbiegung soll groß gegenüber der Scheibendicke sein, was man eventuell durch eine Vorkrümmung erzielen kann.
2. Das Material soll möglichst « kautschukelastisch » sein, d. h. die Verformung soll mit möglichst kleiner Relaxationszeit reversibel sein.
3. Die Plastizität soll verschwindend sein.
4. Die einmal erzielte Krümmung soll sich mit der Zeit nicht verändern.
5. Die Durchbiegung der Scheiben soll unabhängig von störenden Einflüssen sein.

Die Verwirklichung der dynamischen Linse hängt vor allem davon ab, ob die Voraussetzung 4. erfüllt werden kann. Konstanter Druck auf die Linsenfüllung führt zu keiner Lösung, da keine bleibende Gleichgewichtsform zustande kommt, indem praktisch das Scheiben- oder das Dichtungsmaterial fließt. Aussichtsreicher erweist sich die Arbeitsbedingung, das Volumen konstant zu halten. Ein weiteres Resultat dieser Arbeit ist die Feststellung : « Die Randbedingungen, also Fassung, führen zu Störungen, so daß sich die parabolische Form erst in einer gewissen Entfernung vom Rande aus entwickeln kann. Dem kann durch geeignete technische Maßnahmen (z. B. eine leichte Vorkrümmung der Fassung oder Veränderung der Dicke der Haut am Rande) begegnet werden. »

In Arbeit II werden die Eigenschaften der dynamischen Linse mit Rücksicht auf die einzelnen Anwendungsmöglichkeiten diskutiert, wie Projektionslinse mit unabhängiger Einstellung der Bildgröße und der Bildentfernung, Herstellung relativ billiger Linsen mit großem Durchmesser, auf verschiedene Entfernungen akkomodierbare Brille. Asphärische Linsen lassen sich leichter herstellen als bei geschliffenem, festem Linsenkörper. Das Prinzip der dynamischen Linse stellt die Parameter der früheren Linse : Bruchzahl, Dispersion, Krümmungsart, Krümmung und Linsendicke frei. Dadurch ist die Korrektur der verschiedenen Linsenfehler möglich. Es können auch in verschiedenen Richtungen verschiedene Krümmungen erzeugt werden, was für Brillen für astigmatische Augen Anwendung finden kann.

Zur weiteren Diskussion seien hier zuerst die wesentlichen Unterschiede der Cartesianischen und der sphärischen Flächen zur Erinnerung gegenübergestellt :

Von einer Cartesianischen Fläche wird die Eigenschaft verlangt, alle von einem Gegenstandspunkt ausgehenden Strahlen in einem Bildpunkt zu vereinen. Die tatsächliche Abbildung geschieht bei ihr nur für brennpunktnahe Punkte, dafür mit Strahlenbündeln großer Öffnung.

Bei der sphärischen Fläche hat man eine Abbildung nur für achsennahe Gegenstände und für enge Bündel. Bei schiefem Einfall gibt selbst ein solches schmales Strahlenbündel keine Abbildung.

Bei der dynamischen Linse ist die Krümmung der Linsenschalen im allgemeinen parabolisch, also stellt die dynamische Linse eine Annäherung an Linsen mit Cartesianischen Begrenzungsflächen dar. In der Arbeit II wird dies theoretisch untersucht, mit dem Ergebnis: Die parachsiale Vereinfachung ist für parabelähnliche Rotationsflächen in höherem Grade erlaubt wie für sphärische. Dies ermöglicht unter anderem große Linsen zu konstruieren, bei denen nur die zentrale Zone benützt wird. So wird der Parameter ρ (Krümmungsradius) frei, d. h. die Vergrößerung kann frei gewählt werden. Durch Kombination verschiedener Linsen (Flüssigkeitslinsen oder feste und dynamische Linsen zusammen) besteht die Möglichkeit der rein experimentell durchführbaren Korrektur der Linsenfehler. An einem Beispiel wird die Korrektur der chromatischen Aberration einer dynamischen Bikonvexlinse behandelt.

Arbeit III ist eine Erweiterung der Arbeit I und eine experimentelle Unterstützung derselben. Es werden dann für das Material Forderungen gestellt, wie die der Klarheit, der Lichtbeständigkeit und der geringen Reflexionsverluste. Der experimentelle Teil dieser Arbeit ergab die nachfolgend kurz zusammengefaßten Resultate:

Es gibt leicht biegsame und klar durchsichtige Kunststoffe (darunter das sog. Plexiglas), die als Linsenschalen wirken können. Man muß aber mit elastischen Nachwirkungen rechnen, die sich nicht eliminieren, aber auf physikalischem Wege einschränken lassen. Es ergab sich:

1. Bei p (Druck) = const.: elastisches Verhalten bei kurzzeitigen Belastungen, sonst Nachdehnen und Kaltfluß.

2. Bei Einhalten der Bedingung: Füllvolumen = const., durch Abschließen der Linsenkammer nach Erreichen der gewünschten Durchbiegung: Nur bei strenger Gültigkeit des Hooke'schen Intervalls bewirkt die Volumkonstanz die zeitliche Konstanz der Durchbiegung und der Wölbungsform. In Ermangelung von kautschukartigen Stoffen muß

allgemein mit Fließen gerechnet werden. Bei Beschränkung der Beanspruchung und Inkaufnahme remanenter Verformung kann erreicht werden, daß die Nachwirkungen hinreichend klein bleiben, um genügende Formkonstanz zu ermöglichen.

3. Der Typus der Meridianlinie der Linsenschalen ist im allgemeinen eine Parabel 4. Ordnung. Diese Kurve kann durch Verminderung der Biegungssteifigkeit oder durch Variation der Randbedingungen gesteuert werden. Zur vollkommenen Lösung der Aufgabe ist die Steuerung der aus der Durchbiegung resultierenden Linsenform und die Stabilität des Linsenmaterials anzustreben.

Außerdem wurden in der Arbeit III alle prinzipiellen Fragen für die Konstruktion einer dynamischen Linse erörtert. Es wurden verschiedene Materialien für die Linsenschalen und eine große Menge Füllflüssigkeiten in Hinsicht auf ihre Eignung als Linsenflüssigkeit untersucht.

Die vorliegende Arbeit ist eine Weiterführung der vorangegangenen Arbeiten, insbesondere von III.

Eine sphärische oder durch andere Flächen (2. Grades) begrenzte Linse besitzt gewisse « Fehler ». Der Ausdruck Fehler ist, wie vielfach in der Spezialliteratur bemerkt, nicht korrekt. Es handelt sich eher um Abweichungen von den gewünschten Abbildungseigenschaften. So nennt man sphärische Aberration die Eigenschaft von Linsen mit sphärischen Begrenzungsflächen, die durch die Randzonen gehenden Strahlen stärker zu brechen als die inneren Strahlen. Es handelt sich in diesem Falle also nicht um einen « Fehler » der Linse, sondern etwa um die Abweichung der sphärischen Fläche gegenüber der Cartesianischen. Wegen dieser Abweichung ist die Zuordnung von Gegenstand und Bild nicht ein-eindeutig.

Die chromatische Aberration ist die Erscheinung, daß außerdem die Lage der Bildpunkte noch von der Farbe des Lichtes abhängt, und dies gleichfalls bei exakten Kugelflächen.

Das Ziel der Arbeit war die Untersuchung der Eigenschaften der dynamischen Linse, die der sphärischen Aberration bei einer Kugelfläche entsprechen. Um diesen und andere Fehler zu beheben, stehen bei der dynamischen Linse die Parameter: Brechzahl, Dispersion, Krümmungsart, Krümmungsgrad und Linsendicke zur Verfügung [1].

[1] II. S. 575-576.

Bei der Korrektur eines « Fehlers » sollten aber möglichst viele Parameter noch frei bleiben zur Behebung der verbleibenden Linsenfehler.

Im Gegensatz zur starren Linse besteht bei der dynamischen die Möglichkeit raumgeometrisch solche Formen herzustellen, die der Cartesianischen Fläche näherkommen, also keine oder geringe sphärische Fehler zeigen. Dafür muß aber, was im Wesen der Cartesianischen Fläche liegt, größeres Koma in Kauf genommen werden. Die Mittel dazu sind in den Arbeiten I und II teilweise schon angedeutet. Ihre Tragweite war theoretisch und experimentell zu untersuchen. Die dabei wie erwartet auftretenden technisch-experimentellen Hindernisse konnten wegen kriegsbedingter Materialschwierigkeiten nicht ganz überwunden werden.

§ 2. Material

Den Angaben der Arbeit III gemäß wurde vorerst für die Linsenschalen Plexiglas verwendet. Es wurde dann immer schwieriger, dies aus der einzigen Produktionsstätte (Deutschland) zu erhalten. Gewisse interessante Sorten wurden überhaupt nicht mehr hergestellt, die spärlich noch erhältlichen Mengen waren ungleichmäßig in der Dicke und schienen immer mehr störende unregelmäßige Gleiterscheinungen aufzuweisen. Später wurde Plexiglas durch dünnes Silikatglas ersetzt. Auch bei diesem war es teilweise schwer, genügend genau zugeschliffenes und hinreichend dünnes Material zu erhalten.

Als Füllflüssigkeit diente Paraffinöl und später Glycerin. Dieses besitzt gegenüber Paraffinöl den Vorteil Kautschukdichtungen nicht anzugreifen, so daß diese einen mehrfachen Gebrauch zulassen, während bei Paraffinöl die Kautschukringe bei jedem Zusammenstellen der Linse ersetzt werden mußten.

Es wurden auch Versuche mit Gelatinefüllung durchgeführt.

§ 3. Spezielle Ziele

Hinsichtlich der gestellten Aufgabe — Untersuchung und Behebung der zur sphärischen Aberration analogen Eigenschaften — war zunächst zu bedenken, daß die Korrektur bei Änderung der Brennweite einer dynamischen Linse beibehalten werden soll.

Die Verwirklichung der verschiedenen möglichen Wege stieß dabei auf Schwierigkeiten, hauptsächlich in Bezug auf das Einspannen und

Abdichten der Linsenscheiben. Außerdem kamen die oben schon angedeuteten Schwierigkeiten durch den Krieg dazu, so daß es nicht möglich war, alle prinzipiell möglichen Lösungen zu untersuchen.

Bei Beschränkung auf Sammellinsen wurden, den Zeitumständen Rechnung tragend, folgende Fragen behandelt:

Randbedingungsfragen, speziell Dichten und Einspannen der Scheiben;

Kombination von Linsenschalen;

Zusammenhang zwischen Krümmung und Aberration;

Elastizität von Glas;

Möglichkeiten einer Verkürzung der Brennweiten bei Flüssigkeitslinsen, und endlich die Hauptfrage:

Korrektur der Zonenabweichung (die der sphärischen analoge Aberration):

A) Korrektur der Einzelfläche durch Berücksichtigung der Abhängigkeit der Aberration vom Radius und von der Dicke der einzelnen Scheiben (experimentell), und durch Profilieren der Scheiben (theoretisch).

B) Korrektur mit mehreren Flächen, bei verschiedenen Füllflüssigkeiten oder mit der Kombination von Linsenschalen verschiedener Dicke (experimentell). Zu dieser Art der Korrektur gehört auch die dynamische Meniskuslinse einer noch nicht veröffentlichten Arbeit von F. Dessauer (theoretisch).

Definition. Im folgenden wird eine Linse, deren Brennweite für Randstrahlen kleiner ist als für Strahlen der mittleren Zone, *sphärisch* genannt, denn dieses Verhalten ist dasjenige der ideal sphärisch abgegrenzten Linsen. Im entgegengesetzten Fall, also bei größerer Brennweite der Randstrahlen gegenüber den achsennahen Strahlen, nennen wir die Linse *antisphärisch.*

Festlegung. In allen Abbildungen über die Druckabhängigkeit der Zonenbrennweiten besteht folgende Zuordnung:

–·–	I.	Zone,	0,5 cm	von	der	Achse	(∅ = 1 cm)
–··–	II.	»	1,0 cm	»	»	»	(∅ = 2 cm)
–···–	III.	»	1,5 cm	»	»	»	(∅ = 3 cm)
–····–	IV.	»	2,0 cm	»	»	»	(∅ = 4 cm)

In den prozentualen Darstellungen der Aberration entspricht die ganze eingezeichnete Ordinate der Linsenöffnung von 4 cm.