

La manufacture des objectifs
optiques de Zeiss

Industrial Lens
Production at Zeiss

La verrerie comme artisanat (avant 1886)

The Craft of Glassmaking (Pre-1886)

Allain Daigle

Éditorialisation/content curation
Allain Daigle

Traduction/translation
Hélène Buzelin

Référence bibliographique/bibliographic reference
Daigle, Allain. *La manufacture des objectifs optiques de Zeiss / Industrial Lens Production at Zeiss*. Montréal : CinéMédias, 2023, collection « Encyclopédie raisonnée des techniques du cinéma », sous la direction d'André Gaudreault, Laurent Le Forestier et Gilles Mouëllic.

Dépôt légal/legal deposit
Bibliothèque et Archives nationales du Québec,
Bibliothèque et Archives Canada/Library and Archives Canada, 2023
ISBN 978-2-925376-07-1 (PDF)

Appui financier du CRSH/SSHRC support
Ce projet s'appuie sur des recherches financées par le
Conseil de recherches en sciences humaines du Canada.

This project draws on research supported by the
Social Sciences and Humanities Research Council of Canada.

Mention de droits pour les textes/copyright for texts
© CinéMédias, 2023. Certains droits réservés/some rights reserved.
Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International



Image d'accroche/header image

Photographie de l'usine Carl Zeiss à Iéna (Allemagne), vers 1890.
[Voir la fiche.](#)

Photograph of the Carl Zeiss factory in Jena (Germany), circa 1890.
[See database entry.](#)

Base de données TECHNÈS/TECHNÈS database

Une base de données documentaire recensant tous les contenus
de l'*Encyclopédie* est en [libre accès](#). Des renvois vers la base sont
également indiqués pour chaque image intégrée à ce parcours.

A documentary database listing all the contents of the *Encyclopedia*
is in [open access](#). References to the database are also provided for
each image included in this parcours.

Version web/web version

Cet ouvrage a été initialement publié en 2022 sous la forme
d'un [parcours thématique](#) de l'*Encyclopédie raisonnée des
techniques du cinéma*.

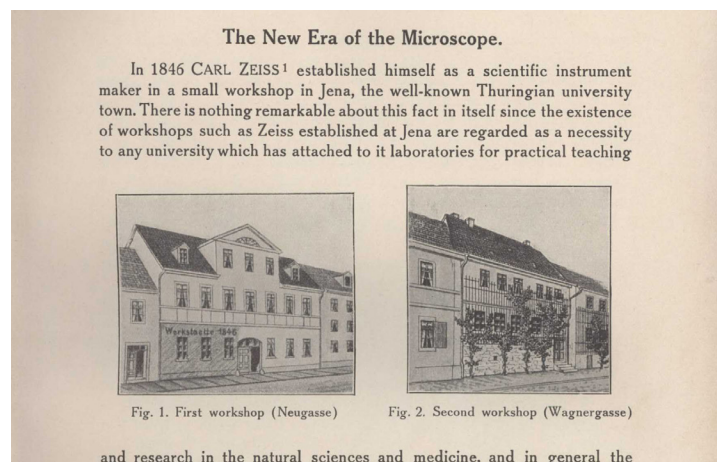
This work was initially published in 2022 as a [thematic parcours](#)
of the *Encyclopedia of Film Techniques and Technologies*.

La verrerie comme artisanat (avant 1886)

par Allain Daigle

Traduction : Hélène Buzelin

Fils d'un propriétaire de magasin de jouets, Carl Zeiss ouvre un petit atelier dans la ville d'Iéna, en Allemagne, en 1846 dans le but d'y fabriquer des instruments philosophiques et optiques. Les contacts tissés avec des chercheurs de l'Institut de physiologie, où Zeiss avait effectué des études, expliquent les démarches entreprises en vue de créer cet atelier^[1]. L'entreprise se consacre alors pour l'essentiel à la vente de lunettes, à des réparations mineures et, à l'occasion, à la vente de télescopes et de microscopes^[2].



L'essor de la compagnie Zeiss, à l'origine un petit atelier devenu un vaste complexe industriel, est emblématique des changements survenus dans l'industrie des instruments d'optique de précision. [Voir la fiche.](#)

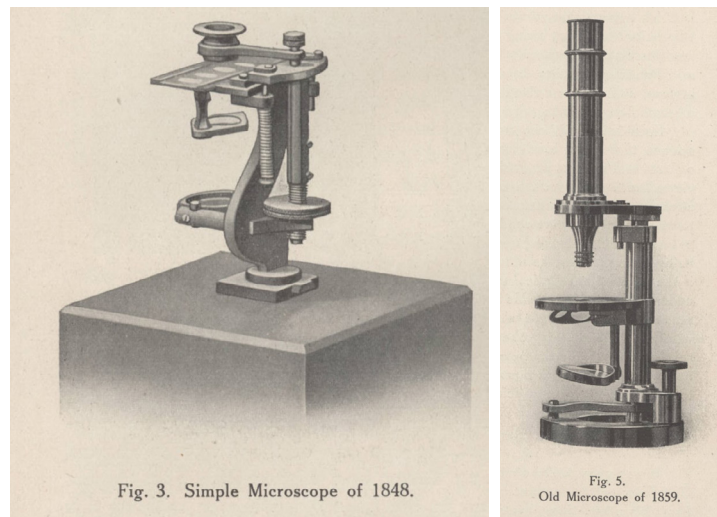
Cinquante ans plus tard, en 1886, les instruments de Zeiss et leur rôle dans la mise au point d'un nouveau type de verre seront à l'origine de changements profonds dans la recherche sur les objectifs ainsi que dans leur production et leur commercialisation. Pour saisir ce qui distingue les produits de marque Zeiss, il faut bien garder à l'esprit qu'à l'époque, l'idée qu'un objectif pût représenter le monde physique de façon fiable et précise était tout à fait inconcevable.

L'histoire de la verrerie écrite par les opticiens européens est, sans surprise, eurocentrée. Une bonne part de cette historicisation de l'optique s'est faite dans les années suivant la Grande Guerre, à la suite de l'impulsion considérable que l'économie de guerre a donnée à cette industrie en Amérique, en France, en Allemagne et en Grande-Bretagne. Pourtant, cette histoire et plus généralement celle des inventions optiques sont beaucoup plus anciennes. Elles remontent aux écrits de Hasan Ibn al-Haytham, dont les traductions ont influencé les expérimentations visuelles de Giambattista della Porta et de Christiaan Huygens.

Ce livre retrace l'histoire de Zeiss non pas pour prétendre que cette firme ait été la première à innover en matière d'optique, mais plutôt pour expliquer comment, grâce à ses infrastructures, ce fabricant né au XIX^e siècle a cherché à instaurer une relation stable entre les technologies d'optique et la vision, relation que le cinéma a régulièrement défiée, subvertie et dont il s'est joué.

L'optique comme artisanat

Avant les années 1880, la production des objectifs de précision en Europe était dans une large mesure artisanale. Pratiquement toutes les personnes œuvrant dans ce domaine, au début et jusqu'au milieu du XIX^e siècle, étaient des « négociants formés au travail des métaux et à la mise au point de petits appareils, dont le savoir-faire avait été acquis au sein d'ateliers spécialisés dans la construction ou la vente d'instruments optiques^[3] ». Même les meilleurs microscopes « n'étaient pas des réalisations scientifiques, mais le résultat de centaines de tentatives sur le mode essai-erreur^[4] ».



Les recherches de Zeiss sur les microscopes ont contribué à faire de la production d'instruments optiques une entreprise basée sur des principes scientifiques plutôt que sur l'intuition et le savoir-faire individuels.

[Voir la fiche.](#)

Au XIX^e siècle, la production d'objectifs était donc une pratique approximative. Comme le décrit le directeur photo Karl Brown dans un article de 1922, « l'opticien, guidé par son expérience, son savoir-faire et son intuition (laquelle était plus ou moins fiable), fabriquait des objectifs selon un principe d'essai-erreur. Il agençait les lentilles, puis leur donnait différentes courbures jusqu'à l'obtention, plus ou moins complète, du résultat désiré^[5] ». La fabrication d'instruments d'optique était assimilée à « une forme d'artisanat hautement spécialisé ». Ceux qui concevaient ces instruments en Allemagne, en France et en Angleterre trouvaient d'ailleurs que « les machines-outils étaient plus appropriées à la production en série qu'à un travail de précision^[6] ». Si l'artisan pouvait construire un bon objectif à la main, le processus était long, incertain et donc peu compatible avec une distribution ou une pratique industrielles.

Après 1850, des machines-outils actionnées par de petits moteurs à vapeur commencèrent à être couramment intégrées à la production. Souvent considérées de moindre qualité que les variétés fabriquées à la main, les lentilles produites avec ces machines servaient surtout à des instruments fabriqués en série comme les lunettes, les jumelles de théâtre ou des télescopes bon marché^[7]. La croyance de l'époque voulait que l'on associât l'optique de haute précision au travail d'un seul verrier qui parvenait à corriger, par sa seule intuition, les distorsions de l'objectif. Autrement dit, la qualité était étroitement liée à la réputation de l'artisan – logique en opposition directe avec la standardisation et l'objectivité caractéristiques de la production contemporaine. Dans ce contexte, la confiance accordée à un opticien, dont la valeur reposait sur son savoir-faire plutôt que sur l'application de principes fondamentaux de physique optique, déterminait la confiance accordée à la vision.

La suspicion que suscitaient les instruments optiques de l'époque reflétait un malaise plus général, d'ordre culturel, quant à la relation entre la connaissance et la vision. En effet, les expériences optiques du XIX^e siècle ébranlèrent toute certitude quant à l'objectivité de la vision humaine. Comme le rappelle Laurent Mannoni,

[l]'étude scientifique des impressions lumineuses et de la persistance rétinienne donne naissance, dans les années 1820-1830, à une série de «disques» expérimentaux: ce sont les «roues» de Faraday, le «phénakistiscope» [...] de Joseph Plateau, le disque «stromboscopique» de Simon Stampfer. Ces deux derniers disques (inventés à la fin de l'année 1832) donnent à l'œil une parfaite illusion du mouvement, ce que les chercheurs des siècles précédents étaient parfois arrivés à obtenir (avec les plaquettes animées, par exemple), mais sans cette si grande simplicité et exactitude, et sans avoir étudié d'une manière si approfondie le phénomène de la durée des impressions lumineuses sur l'œil^[8].

Les expérimentations sur la couleur, le mouvement, la vue et la lumière suggéraient que «tous les modes de représentation issus de la perspective depuis la Renaissance cess[ai]ent d'être légitimés par l'optique^[9]». Dès lors, la vision n'apparaissait plus comme une forme privilégiée de production du savoir. Loin d'offrir un accès direct au monde et à son étude, les instruments d'optique interrogeaient plutôt la possibilité même d'un savoir objectif.

Les questions et les problèmes liés à la distorsion étaient particulièrement aigus dans le domaine de la microscopie. Jusqu'au milieu des années 1830, on considérait que les microscopes n'avaient pas leur place dans un travail scientifique sérieux. Dans une recension publiée en 1872, la revue *Popular Science* affirmait que, jusqu'en 1839, d'éminents physiologistes rejetaient l'idée que le microscope pût être d'une quelconque pertinence pour la science^[10]. Cette méfiance à l'égard du microscope s'atténua dans les années 1830, quand des biologistes d'Allemagne et d'Europe de l'Est commencèrent à utiliser les tout nouveaux microscopes achromatiques. Malgré tout, les premiers modes d'emploi de ces microscopes rappelaient systématiquement l'importance de développer de «bonnes techniques d'observation^[11]». Il n'existait alors aucune explication fiable ni aucune démonstration reproductible des raisons pour lesquelles «les billes, les gouttes, les anneaux, les halos et un flou généralisé pouvaient exister sans miner pour autant les prémisses de la microscopie, soit le fait qu'à condition d'interpréter l'image correctement, le microscopiste pouvait se fier à ses observations^[12]».

Pendant la majeure partie du XIX^e siècle, le microscope était «une technologie que des artisans savaient produire et que des microscopistes savaient utiliser, mais que les physiciens ne parvenaient pas à comprendre^[13]». La confiance dans la qualité des quelques instruments d'optique de précision vendus chez Zeiss dans les décennies 1840 et 1850 reposait dans une large mesure sur celle accordée à August Lober, l'un des artisans de Zeiss qui savait faire la différence entre une optique de qualité et un «flou indescriptible^[14]». Les fabricants d'objectifs photographiques entretenaient les mêmes croyances. Si des entreprises telles que Dallmeyer, Ross ou Voigtländer vendaient des objectifs photo comme des objets de haute précision, la qualité associée à leurs produits reposait beaucoup plus sur la réputation de ces fabricants que sur la scientificité de leurs procédés de production.

Ernst Abbe

Ernst Abbe joua un rôle clé dans les efforts entrepris par Zeiss pour corriger la distorsion et pour rehausser le statut de la science optique. Il rejoignit l'Université d'Iéna en 1863 avec une thèse sur le calcul des erreurs dans les observations scientifiques^[15]. Il fut à la fois directeur de recherche chez Zeiss et un réformateur social du monde du travail.

On ne saurait surestimer l'influence qu'Abbe a exercée sur l'histoire et la culture de l'optique au XIX^e siècle. Sa vie et son travail ont d'ailleurs fait l'objet de nombreux travaux. Une de ses réalisations les plus importantes, au regard du sujet de cet ouvrage, est d'avoir su montrer à la communauté scientifique allemande les bénéfices et les progrès que pourraient apporter les théories scientifiques optiques. Selon lui, les instruments capables d'expliquer le monde à partir de principes de mécanique étaient source d'avancées sur le plan tant scientifique que social.

Mais la fiabilité de certains objectifs soulevait encore des doutes parmi les professionnels. Jusque dans les années 1870 et 1880, on croyait encore que les microscopes et les objectifs photographiques étaient «trop complexes pour se satisfaire de principes [purement] théoriques^[16]». Dès les années 1860, la fabrication de certains objectifs photographiques comme le Petzval Portrait et le Steinheil Aplanat se fit sur la base de modèles théoriques. Toutefois, ces réussites «ne suffirent pas à convaincre les spécialistes de la pertinence de s'en remettre à des fondements théoriques solides^[17]». Selon Rudolph Kingslake, les opticiens du XIX^e siècle étaient «plutôt enclins à procéder de manière empirique, sur la base d'essais, en assemblant différents éléments optiques jusqu'à ce que, par miracle, le système en résultant finît par surpasser les modèles concurrents^[18]». Grâce au travail d'Abbe, Zeiss allait cultiver au contraire cette idée que la science était essentielle à la construction d'instruments d'optique de haute précision. Ce changement de paradigme en faveur d'une approche plus scientifique était soutenu par la promotion que Zeiss faisait de la théorie optique ainsi que par sa collaboration avec des universités et des instituts de recherche, lesquels légitimaient les instruments développés par cet opticien en les intégrant à leurs pratiques professionnelles.

Mais faire de l'optique une science systématique supposait de relever un défi: pour que les systèmes optiques corrigent toutes les distorsions, il ne suffisait pas de trouver de nouvelles

façons d'agencer ensemble plusieurs variétés existantes de verres optiques. Pour améliorer ses objectifs, Zeiss dut inventer de nouveaux types de verres.

- [1] Guido Buenstorf et Johann Peter Murmann, «Ernst Abbe's Scientific Management: Theoretical Insights from a Nineteenth-Century Dynamic Capabilities Approach», *Industrial and Corporate Change* 14, n° 4 (2005) : 550.
- [2] Stuart Feffer, «Ernst Abbe, Carl Zeiss, and the Transformation of Microscopical Optics», dans *Scientific Credibility and Technical Standards in Nineteenth and Early Twentieth Century Germany and Britain*, dir. Jed Z. Buchwald (Dordrecht : Kluwer Academic, 1996), 26.
- [3] «tradesmen with training in metalwork and the construction of small machines who had picked up their optical skills after gaining employment in a shop engaged in building and selling optical instruments». Feffer, «Ernst Abbe, Carl Zeiss», 25.
- [4] «not scientific achievements but the results of hundred-fold trials». Felix Auerbach et R. Kanthack, *The Zeiss Works and the Carl Zeiss Foundation in Jena; Their Scientific, Technical and Sociological Development and Importance Popularly Described* (London: W. & G. Foyle, 1927), 8.
- [5] «the optician, guided by experience and a more or less trustworthy intuition, would grind lenses by way of a trial, combine them, and then proceed to vary the curvature of the lenses and their combinations until the desired result was attained in a more or less complete manner». Karl Brown, «Modern Lenses: First Section», *American Cinematographer*, 1^{er} mai 1922, 5.
- [6] «a form of highly-skilled handicraft», «the use of machines tools was more appropriate for industrial manufacturing than for small precision industry». Paolo Brenni, «From Workshop to Factory: The Evolution of the Instrument-Making Industry, 1850-1930», dans *The Oxford Handbook of the History of Physics*, dir. Jed Z. Buchwald et Robert Fox (Oxford: Oxford University Press, 2013), 600.
- [7] *Ibid.*, 604.
- [8] Laurent Mannoni, *Le Grand Art de la lumière et de l'ombre: archéologie du cinéma* (Paris: Nathan Université, 1994), 191.
- [9] Jonathan Crary, *Techniques de l'observateur. Vision et modernité au XIX^e siècle*, trad. Frédéric Maurin (Bellevaux: Éditions Dehors, 2016), 137. Édition originale américaine publiée en 1990 (Cambridge, Massachusetts: MIT Press).
- [10] «Review: The Lens: A Quarterly Journal of Microscopy and The Allied Natural Sciences», *Popular Science*, septembre 1872, 629.
- [11] «proper observational technique». Feffer, «Ernst Abbe, Carl Zeiss», 31.
- [12] «the balls, blobs, rings, halos and general fuzziness could exist and still not threaten the basic premise of microscopy: that, properly interpreted, the microscopist could believe what he saw». *Ibid.*, 31.
- [13] «a piece of technology that artisans could build, microscopists could use, but physicists could not understand». *Ibid.*, 23.
- [14] «blurry junk». *Ibid.*, 27.
- [15] T. G. Spates, «Industrial Relations in the Zeiss Works», *International Labor Review* 177, n° 198 (1930) : 179.
- [16] «too difficult to be constructed in accordance with [purely] theoretical requirements». En fait, les fabricants d'instruments d'optique recommandaient leurs microscopes en précisant que «ceux-ci étaient différents de ceux produits à Iéna [they were not like those made at Jena]». Felix Auerbach, *The Zeiss Works and the Carl Zeiss Stiftung in Jena; Their Scientific, Technical and Sociological Development and Importance Popularly Described*, trad. Siegfried F. Paul et Frederic J. Cheshire (Londres: W. & G. Foyle, 1904), 14.
- [17] «did not convince the optical world of the need for a good theoretical background». Kingslake, *A History of the Photographic Lens*, 3.
- [18] «far too willing to make empirical trials and put together a series of lens elements, hoping that a miracle would happen and that their system would turn out to be better than those currently available». *Ibid.*

The Craft of Glassmaking (Pre-1886)

by Allain Daigle

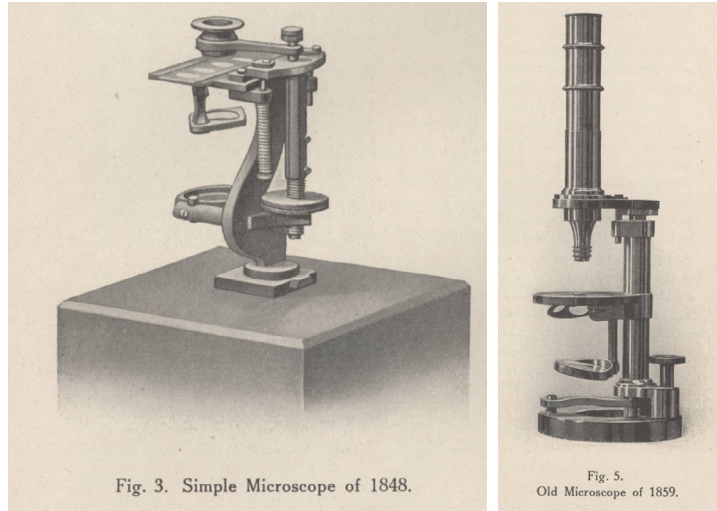
Carl Zeiss, the son of a toy-shop proprietor, opened a small workshop at Jena, Germany for the manufacture of optical and philosophical instruments in 1846. Based on the contacts he had made with university scientists as an intern at the university's institute of physiology, Carl Zeiss justified his application to open a workshop in Jena.^[1] The bulk of Zeiss' business was in selling eyeglasses and doing small repairs, and only occasionally did the workshop sell telescopes and microscopes in its early years.^[2]



and research in the natural sciences and medicine, and in general the
Zeiss' growth from a small workshop to a large industrial complex is
emblematic of the changes it drove in the precision optical industry.
[See database entry.](#)

Fifty years later, in 1886, Zeiss' instruments and their role in developing new types of optical glass resulted in profound changes to the scientific and commercial field of lens production. In order to understand why Zeiss' lenses were so significant, though, it is necessary to understand how impossible of an idea it was that lenses could depict the physical world consistently and reliably in the first place.

The history of glassmaking written by European opticians is, perhaps unsurprisingly, European in its lineage. A great deal of optical historicization occurred in the years following the First World War, which followed from tremendous wartime growth in glass industries in America, France, Germany, and Great Britain. But the history of glassmaking and optics has a long history of invention in the work of Hasan Ibn al-Haytham, whose translated works would go on to influence the visual experiments of Giambattista della Porta and Christiaan Huygens.



Zeiss' work in microscope development helped lay the foundation for producing optical instruments according to scientific design rather than the intuition of individual craftsmen. [See database entry.](#)

This book traces these particular histories of Zeiss not to assert its “firsts” or origins, but to better understand how Zeiss’ nineteenth century infrastructures sought to manufacture and distribute a stable relationship between optical technologies and vision – a relationship that cinema regularly defied, played with, and subverted.

Lens as Craft

Until the 1880s, the majority of precision lens production in Europe was an artisanal practice. Nearly all workers engaged in the production of optical instruments in the early and middle nineteenth century were “tradesmen with training in metalwork and the construction of small machines who had picked up their optical skills after gaining employment in a shop engaged in building and selling optical instruments.”^[3] Even the best microscopes of the period were “not scientific achievements but the results of hundred-fold trials.”^[4]

Lens craft was a decidedly imprecise practice in the 19th century. As cinematographer Karl Brown describes the process in his 1922 article “Modern Lenses,” in the old days, “the optician, guided by experience and a more or less trustworthy intuition, would grind lenses by way of a trial, combine them, and then proceed to vary the curvature of the lenses and their combinations until the desired result was attained in a more or less complete manner.”^[5] Instrument making was seen as “a form of highly-skilled handicraft” and instrument makers in Germany, France, and England found that “the use of machines tools was more appropriate for industrial manufacturing than for small precision industry.”^[6] While an effective lens could be made by hand, it was often a long and imprecise process that was not suitable to mass distribution or practice.

Machine-tools operated by small steam engines were used routinely in lens production after the 1850s, but the lenses produced by these machines were largely considered to be of inferior quality to the hand-made variety and were generally used for mass-produced instruments like

spectacles, theater binoculars, or cheap telescopes.^[7] Belief in high quality optics was usually attached to a single craftsman who could intuitively manage the distortions of a lens.

A lens' quality was closely tied to the reputation of its artisan (a stark contrast to the standardization and objectivity that characterizes contemporary optics). In these contexts, trust in an optician – a person whose quality rested on their craft, rather than essential principles of optical design – was a means to establish trust in vision.

The lack of faith in lens-based vision was also part of a broader cultural anxiety around the relationship between sight and knowledge. Developments in nineteenth century optical science challenged previously stable beliefs about the objectivity of human vision. Scientists such as d'Arcy, Roget, Brewster, Faraday, Plateau, Stampfer and Babbage carefully observed how “the eye could be tricked into creating visual superimpositions, or even illusions of motion, by viewing rapidly changing images.”^[8] Investigations of color, motion, sight, and light contributed to the idea that models of perspectival representation “no longer had the legitimation of a science of optics.”^[9] Vision increasingly came under scrutiny and lost its stability as a privileged form of knowledge and knowing. Rather than offering a clear way to see the world, lens-based instruments introduced further questions about the possibility of objective knowledge.

These problems and questions about distortion were seen as most crucially an issue when it came to microscopy. Microscopes were seen to have no place in serious scientific work well into the 1830s. As *Popular Science* noted in its 1872 review of *The Lens: A Quarterly Journal of Microscopy and the Allied Natural Sciences*, prominent physiologists denied that microscopes had any use in scientific work as late as 1839.^[10] Professional distrust of the microscope lessened during the 1830s as German and Central European biologists began to use newly available achromatic microscopes. However, early treatises on microscope practice consistently emphasized the importance of “proper observational technique.”^[11] There were no reliable and repeatable explanations about lenses that could prove how “the balls, blobs, rings, halos and general fuzziness could exist and still not threaten the basic premise of microscopy: that, properly interpreted, the microscopist could believe what he saw.”^[12] For most of the nineteenth century, the microscope was “a piece of technology that artisans could build, microscopists could use, but physicists could not understand.”^[13] Of the few precision instruments sold at Zeiss in the 1840s and 1850s, the belief in their quality was largely a belief in Zeiss' journeyman, August Lober, who made the difference between optical quality and “blurry junk.”^[14] Similar kinds of beliefs applied to camera lens makers. While firms like Dallmeyer, Ross, and Voigtlander sold high-quality camera lenses that were precision objects in their own right, the quality of these lenses was based on the reputation of the firm more than from a firm belief in the application of scientific principles of construction.

Ernst Abbe

Ernst Abbe was a key figure in Zeiss' effort to reduce distortion and improve trust in optical science. Abbe came to the University of Jena in 1863 on the basis of his thesis on the calculation

of errors in scientific observations.^[15] He was both a research director at Zeiss, as well as a socially conscious labor reformer.

It is difficult to overstate the influence that Abbe had in the history of both optics and nineteenth century instrument culture, and there are many sources that more closely examine his life and history. For the purposes of this entry, one of his significant contributions was persuading the broader German scientific community of the progressive benefits of theoretical optical science. Instruments, by explaining life in terms of mechanical principles, could give rise to new scientific research and social progress.

But there were professional doubts about the reliability of certain lenses. As late as the 1870s and 1880s, the prevailing belief remained that microscope and photographic lens objectives were “too difficult to be constructed in accordance with [purely] theoretical requirements.”^[16] Photographic lenses like the Petzval Portrait Lens and the Steinheil Aplanat were constructed according to theoretical designs as early as the 1860s. But, by and large, these successes “did not convince the optical world of the need for a good theoretical background.”^[17] Nineteenth century opticians, as Rudolph Kingslake historicizes, were “far too willing to make empirical trials and put together a series of lens elements, hoping that a miracle would happen and that their system would turn out to be better than those currently available.”^[18] Through Abbe’s work, Zeiss cultivated a belief in the progressive benefits of theoretical science for the construction of lens-based instruments. These changes were also supported by Zeiss’ advertising of optical theory as well as Zeiss’ collaboration with universities and research institutions, which legitimated these instrumental tools through their use in professional practice.

By pursuing optics as a systematic science, a problem started to come into focus: if distortions were to be removed from optical systems, the solution was not just to find a new way of arranging existing types of optical glass into a lens. To improve their lenses, Zeiss needed to make new kinds of optical glass.

[1] Guido Buenstorf and Johann Peter Murmann, “Ernst Abbe’s Scientific Management: Theoretical Insights from a Nineteenth-Century Dynamic Capabilities Approach,” *Industrial and Corporate Change* 14, no. 4 (2005): 550.

[2] Stuart Feffer, “Ernst Abbe, Carl Zeiss, and the Transformation of Microscopical Optics,” in *Scientific Credibility and Technical Standards in Nineteenth and Early Twentieth Century Germany and Britain*, ed. Jed Z. Buchwald (Dordrecht: Kluwer Academic, 1996), 26.

[3] Feffer, “Ernst Abbe, Carl Zeiss,” 25.

[4] Felix Auerbach and R. Kanthack, *The Zeiss Works and the Carl Zeiss Foundation in Jena: Their Scientific, Technical and Sociological Development and Importance Popularly Described* (London: W. & G. Foyle, 1927), 8.

[5] Karl Brown, “Modern Lenses: First Section,” *American Cinematographer*, 1 May 1922, 5.

[6] Paolo Brenni, “From Workshop to Factory: The Evolution of the Instrument-Making Industry, 1850-1930,” in *The Oxford Handbook of the History of Physics*, eds. Jed Z. Buchwald and Robert Fox (Oxford: Oxford University Press, 2013), 600.

[7] *Ibid.*, 604.

[8] Tom Gunning, “Introduction,” in *The Great Art of Light and Shadow: Archaeology of the Cinema*, Laurent Mannoni (Exeter: University of Exeter Press, 2000), xxvi.

[9] Jonathan Crary, *Techniques of the Observer: On Vision and Modernity in the Nineteenth Century* (Cambridge: MIT Press, 1992), 86.

- [10] "Review: The Lens: A Quarterly Journal of Microscopy and The Allied Natural Sciences," *Popular Science* (September 1872): 629.
- [11] Feffer, "Ernst Abbe, Carl Zeiss," 31.
- [12] *Ibid.*, 31.
- [13] *Ibid.*, 23.
- [14] *Ibid.*, 27.
- [15] T.G. Spates, "Industrial Relations in the Zeiss Works," *International Labor Review* 177, no. 198 (1930): 179.
- [16] In fact, optical instrument producers used to recommend their microscopes by stating that "they were not like those made at Jena." Felix Auerbach, *The Zeiss Works and the Carl Zeiss Stiftung in Jena; Their Scientific, Technical and Sociological Development and Importance Popularly Described*, trans. Siegfried F. Paul and Frederic J. Cheshire (London: W. & G. Foyle, 1904), 14.
- [17] Kingslake, *A History of the Photographic Lens* (Boston: Academic Press, 1989), 3.
- [18] *Ibid.*