

“A Co-operation of Observers”

Citation for published version (APA):

Beiermann, L. (2023). “A Co-operation of Observers”: Crafting knowledge infrastructures for microscopy. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20230215lb>

Document status and date:

Published: 01/01/2023

DOI:

[10.26481/dis.20230215lb](https://doi.org/10.26481/dis.20230215lb)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the “Taverne” license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

providing details and we will investigate your claim.

Summary

In 1887, the president of the British Postal Microscopical Society, J.W. Measures, declared that “the beginner is unable to learn from the books on the microscope all the minutiae of so fine an art as mounting [microscope specimens].”¹ The preparation of microscope slides, the observation of specimens, as well as the use (and production) of a compound microscope and its many accessories indeed required a high level of practical skill, or craft knowledge, which could only be gained through innumerable hours of training and was often difficult to translate into written instructions. Since skills require some manual dexterity and seem difficult, if not impossible, to codify in text, historians have so far tended to assume that learning skills from other scientific practitioners requires some form of on-site interaction. As the historian Myles Jackson explains in an article reviewing the scholarship on skill in the history of science, skills “are acquired through direct contact and personal observation of experimental technique.”² Only more recently have historians, mostly early modernists, begun to question the assumption that acquiring skills requires historical actors to be co-present, a discussion that this dissertation extends to the history of microscopy in the late nineteenth century.

I argue that late-nineteenth-century microscopists developed ways of sharing even craft knowledge of microscopy remotely. The question of how that was possible lies at the heart of this dissertation. It asks how microscopists who hardly ever met in person managed to pass on their skills in microscopy, ranging from the making of observations and microscope preparations to the production of scientific instruments. I show that in order to learn microscopy at a distance, microscopists relied on trade and communication infrastructures that allowed for the sharing of skills. Skills may be difficult to translate into writing, but when we consider late-nineteenth-century infrastructures in all their diversity, drawing on a broad array of historical sources, we see that they made it possible to share not only texts but also images and objects, or replicate practical demonstrations in different places. This dissertation, therefore, challenges the common assumption that craft knowledge is primarily acquired from others on-site. At the same time, it invites us to explore the kinds of infrastructure that can accommodate craft knowledge and reconsider the role of infrastructure in sharing scientific skills within a community of practitioners.

So far, the literature on the history of microscopy has mainly been concerned with microscopy in the early modern age and the first half of the nineteenth

¹ Osborn, "Editorial – Postal Microscopical Clubs," 33.

² Jackson, "Labor, Skills, and Practices in the Scientific Enterprise," 902.

century, a time when the use of the microscope for scientific research was still controversial, and truth claims established with the help of the instrument much more contested than towards the end of the nineteenth century. I argue that if we want to understand how skills in microscopy were shared widely and across great distances, the second half of the nineteenth century deserves more attention. During that period, most microscopy societies were established, microscopy periodicals founded, and it was a time when the businesses of natural history and instrument dealers flourished due to an increased demand for microscopes at industrial and governmental laboratories, as well as educational institutions. Geographically, this dissertation first focuses on Great Britain and the United States, where a wealth of microscopy societies and periodicals helped diverse groups of learners to acquire skills in microscopy, before turning to the German lands and the rise of the Zeiss company in the 1870s and 1880s, which reconfigured, but also profited from, the knowledge infrastructures established by British and American microscopists.

Scholars working in the field of infrastructure studies, Susan Leigh Star, Karin Ruhleder and Geoffrey Bowker, among others, have shown that infrastructure, as long as it functions smoothly, is often barely noticeable, which poses a challenge to scholars who want to study it. However, we can analyse infrastructure by effecting an “infrastructural inversion,” consciously foregrounding infrastructures that would otherwise remain in the background.³ This dissertation argues that infrastructural inversion can also help us understand how microscopists exchanged craft knowledge at a distance. The historical actors in this dissertation depended on infrastructures to exchange a host of diverse objects, ranging from notebooks to microscope slides, instruments, and living microscopic animals. In trying to circulate such a diverse range of artefacts across long distances, microscopists had to make sure that both their skills in microscopy and infrastructures were perfectly attuned to the task. I show that a microscopist’s skill in making observations, preparations or instruments was inseparable from their skill in building and using knowledge infrastructures. Consequently, infrastructural inversion allows us to examine not only infrastructures, but also the craft knowledge they helped microscopists to share.

Drawing on Helena Karasti and Jeanette Blomberg’s work on infrastructure, the chapters in this dissertation achieve infrastructural inversion by “investigating moments of breakdown, following how members themselves engage in activities of infrastructural inversion, and following infrastructural traces in the material and technical environments.”⁴ The first strategy, investigating moments of controversy or breakdown, is probably the most widely known, building on Bowker and Star’s observation that infrastructure becomes more noticeable when it stops

³ Bowker and Star, *Sorting Things Out*, 34.

⁴ Karasti and Blomberg, “Studying Infrastructuring Ethnographically,” 251.

functioning. The second, looking at the actors' attempts at infrastructural inversion, is based on the premise that an infrastructure remains visible to at least some of its users: its maintainers, people whose task it is to build and maintain infrastructure. The third strategy, following infrastructural traces, means reconstructing the movement of objects through infrastructure, preferably objects that document or bear traces of collaborative practices. Together, Karasti and Blomberg's three ways of infrastructural inversion organise the historical chapters of this dissertation.

Chapter Two adopts Karasti and Blomberg's approach of following artefacts as they move through infrastructure. Beginning in the 1850s, the chapter follows a set of microscopy artefacts: illustrations of a phylum of microscopic animals called rotifers, or wheel animals. The chapter draws on historical data collected through the *Worlds of Wonder* citizen science project, which I organised as part of my PhD research. The project invited citizen scientists to help analyse historical microscopy illustrations, making it possible to follow rotifer illustrations and their makers, and identify reproductions of the same illustration in different publications. The chapter looks at how novel printing technologies and print distribution infrastructures enabled microscopists to share their observations of rotifers, and at the same time develop their observational skills. At a time when the reproduction of scientific publications was hardly restricted by international copyright law, scissors-and-paste printing abounded, with publishers reusing both texts and illustrations that had been published elsewhere. Scissors-and-paste printing made it possible for microscopists to adapt microscopy illustrations as part of their observational practice, for example by recombining illustrations with new texts and images. In that sense, rotifer illustrations were never quite stabilised through print. They continued to be used in (and were changed by) a researchers' observational practice, much like the messy, private sketches the historian Omar Nasim calls "working images," allowing observers to probe with the hand what is seen with the eye.⁵ The chapter shows that observation was a craft that depended on the hand as much as the eye, making craftspeople, such as illustrators and natural history dealers, vital in sharing microscopy observations. Natural history dealers, for example, provided science educators with living microscope specimens to be observed in the classroom, and with illustrations and written descriptions of those specimens. This gave craftspeople an opportunity not only to shape what students of the life sciences saw through the microscope, but also to help them interpret their observations.

Chapter Three turns to a group of historical actors whose task it was to maintain the infrastructures microscopists relied on to produce and exchange microscope slides. The chapter looks at the British Postal Microscopical Society and

⁵ See Nasim, *Observing by Hand*.

the American Postal Microscopical Club, whose officers and secretaries built postal networks that enabled their members to pass on slides and notebooks following a chain-letter system. Educating their members on how to make microscope slides was the primary purpose of the two postal microscopy organisations. The officers of the postal society and club articulated the work it took to establish their chain-letter networks in their notebooks, publications, lists of members, and in maps of postal circuits. Both organisations frequently addressed the infrastructures organising their work, which, according to Karasti and Blomberg's work on infrastructure, makes it easier for historians to study them. There was a sense among the members of the two postal organisations that their craft knowledge of how to make permanent slides was difficult to share without physical meetings. In response, they conceived of alternative ways to share their skills, which included the making of sketches in addition to texts, as well as attempts at reverse-engineering slides. Yet the society and club's postal networks remained fragile, depending on the reliability of their members to forward packages and keep the exchange going, while making sure that the slides forwarded would not break in transit. In order to deal with these vulnerabilities, regular reports on the activities of the postal society and club were published in microscopy periodicals. This helped to institutionalise the two organisations, centralise the postal exchanges, discipline unreliable or careless members, and share recommendations for the preparation of microscope specimens. The postal society and club managed to connect their members for at least several decades – the British Postal Microscopical Society exists to this day – and over time, the ability of a slide to travel postal networks without breaking became proof of its durability and helped to set the benchmark for other permanent preparations.

Chapter Four investigates a moment of controversy or breakdown, focusing on two stages of a fierce transatlantic debate in the 1870s, the “battle of the glasses.” The battle was fought over the ultimate limit of resolution in a light microscope, which American immersion lenses had pushed further than many British microscopists deemed possible. The controversy not only exposed but directly affected microscopists' knowledge infrastructures, asking them to reconsider and adapt established communication mechanisms. At the same time, the controversy gave the German physicist Ernst Abbe an opportunity to become involved in the British microscopy community, share his research through the knowledge infrastructures that emerged during the controversy, and profit from innovations conceived of by his British correspondents. The chapter builds on the premise that the process of “amateurisation,” a term used by Sam Alberti and others to describe British amateurs fashioning an identity for themselves in the 1860s and 1870s, went hand in hand with the establishment of infrastructures that served as a testbed for innovation in scientific instrument making: Ernst Abbe, working for the Zeiss com-

pany, profited from the infrastructures established by members of the Royal Microscopical Society.⁶ Moreover, drawing on work in controversy studies and innovation studies, I argue that historians of science have studied controversy and innovation in some depth, but they have been less concerned with controversy *in* innovation. The history of the “battle of the glasses” shows that innovation can be deeply controversial, and that controversies shape the infrastructures that facilitate user innovation.

In order to provide answers to the research question of how geographically dispersed microscopists acquired skills in microscopy, **Chapter Five** draws together the main findings of the previous chapters. It argues that to share their craft knowledge of microscopy, microscopists began to use late-nineteenth-century infrastructures to their advantage, circulating slides, texts and illustrations, as well as living specimens, and conceiving of various ways of long-distance collaboration. In the process, microscopists themselves helped to build infrastructures which facilitated the exchange of craft knowledge. Around 1900, however, microscopists became less influential in the scientific community, and the chapter identifies some of the reasons of their decline. Finally, the chapter turns to the performative dimension of studying infrastructure. As researchers, we decide which infrastructures are worth following in our analyses, always foregrounding only some while others remain in the background. Wolfgang Kaltenbrunner has further developed this notion of performativity, describing infrastructural inversion as a “generative resource.”⁷ In his view, infrastructural inversion can be a creative tool, a way of reimagining and reconfiguring existing infrastructures. Applying Kaltenbrunner’s concept of infrastructural inversion as a generative resource to this dissertation means to reflect on the generative potential of the infrastructures I built in my research, especially the ones I developed as part of the *Worlds of Wonder* citizen science project. The final chapter therefore examines how my research into late-nineteenth-century infrastructures shaped *Worlds of Wonder*, and vice versa, concluding this dissertation with a reflection on the past and present of participatory science and imagining its possible futures.

⁶ See Alberti, “Amateurs and Professionals in One County.”

⁷ See Kaltenbrunner, “Infrastructural Inversion.”

Samenvatting

In 1887 verklaarde de voorzitter van de British Postal Microscopical Society, J.W. Measures, dat "de beginner niet in staat is om alle details over de fijne kunst van het prepareren [van microscopische preparaten] uit boeken over de microscoop te leren".¹ Het prepareren van objectglasjes, het observeren van preparaten, evenals het gebruik (en de productie) van een samengestelde microscoop en zijn vele toebehoren vereisten inderdaad een hoog niveau van praktische vaardigheid of ambachtelijke kennis, die alleen kon worden verworven door ontelbare uren opleiding en die vaak moeilijk te vatten was in geschreven instructies. Aangezien vaardigheden een zekere handigheid vereisen en moeilijk, zo niet onmogelijk, in tekst te codificeren lijken, zijn historici tot op heden geneigd aan te nemen dat het aanleren van vaardigheden van andere wetenschapsbeoefenaren een vorm van plaatselijke interactie vereist. Zoals de historicus Myles Jackson uitlegt in een artikel waarin hij een overzicht geeft van de wetenschappelijke kennis over vaardigheden in de geschiedenis van de wetenschap, worden vaardigheden "verworven door direct contact en persoonlijke observatie van experimentele technieken".² Pas recentelijk zijn historici, meestal vroegmodernisten, begonnen met vraagtekens te plaatsen bij de aanname dat het verwerven van vaardigheden de gezamenlijke aanwezigheid van historische actoren vereist. Dit proefschrift breidt de discussie uit naar de casus van de geschiedenis van de microscopie aan het eind van de negentiende eeuw.

In dit proefschrift stel ik dat laat-negentiende-eeuwse microscopisten manieren ontwikkelden om zelfs ambachtelijke kennis van microscopie op afstand te delen. De vraag hoe dat mogelijk was, vormt de kern van dit proefschrift. Hoe slaagden microscopisten, die elkaar nauwelijks persoonlijk ontmoetten, erin om hun vaardigheden in microscopie door te geven, zowel wat betreft het doen van observaties, als het maken van microscoppreparaten en het produceren van wetenschappelijke instrumenten? Om microscopie op afstand te leren, waren microscopisten afhankelijk van handels- en communicatie-infrastructuren die het delen van vaardigheden mogelijk maakten. Vaardigheden zijn misschien moeilijk naar het schrift te vertalen, maar als we de laat-negentiende-eeuwse infrastructuur in al hun diversiteit bekijken, op basis van een breed scala aan historische bronnen, zien we dat de infrastructuur het mogelijk maakte om niet alleen teksten, maar ook beelden en objecten uit te wisselen, of praktische demonstraties op verschillende plaatsen na te bootsen. Deze dissertatie stelt daarom de gangbare veronderstelling ter discussie dat ambachtelijke kennis in de

¹ Osborn, "Editorial – Postal Microscopical Clubs," 33.

² Jackson, "Labor, Skills, and Practices in the Scientific Enterprise," 902.

eerste plaats van anderen ter plaatse werd geleerd. Tegelijkertijd nodigt dit onderzoek ons uit om de soorten infrastructuur te onderzoeken die gebruikt konden worden voor het delen van ambachtelijke kennis en om de rol van infrastructuur bij het delen van wetenschappelijke vaardigheden binnen een gemeenschap van beoefenaars te heroverwegen.

Tot nu toe heeft de historiografie van de microscopie zich voornamelijk beziggehouden met microscopie in de vroegmoderne tijd en de eerste helft van de negentiende eeuw. In deze periode was het gebruik van de microscoop voor wetenschappelijk onderzoek nog controversieel en waarheidsclaims die met behulp van het instrument tot stand kwamen waren veel meer omstreden dan ze dat op het einde van de negentiende eeuw zouden zijn. Als we willen begrijpen hoe vaardigheden in microscopie op grote schaal en over grote afstanden werden gedeeld, verdient de tweede helft van de negentiende eeuw echter meer aandacht. In die periode werden de meeste microscopieverenigingen en microscopietijdschriften opgericht. Bovendien was het een tijd waarin de bedrijven van natuurhistorische objecten en wetenschappelijke instrumenten floreerden als gevolg van een toegenomen vraag naar microscopen bij industriële en overheidslaboratoria en onderwijsinstellingen. Geografisch gezien concentreert dit proefschrift zich eerst op Groot-Brittannië en de Verenigde Staten, waar een overvloed aan microscopieverenigingen en tijdschriften diverse groepen leerlingen hielpen om zich te bekwamen in de microscopie. Vervolgens verschuift de aandacht naar de Duitse landen en de opkomst van de firma Zeiss in de jaren 1870 en 1880, die de kennisinfrastructuren die door Britse en Amerikaanse microscopisten waren opgezet opnieuw vorm gaf, maar er ook van profiteerde.

Wetenschappers op het gebied van infrastructuurstudies, onder wie Susan Leigh Star, Karin Ruhleder en Geoffrey Bowker, hebben aangetoond dat infrastructuur vaak nauwelijks waarneembaar is zolang zij goed functioneert. Dat vormt een uitdaging voor wetenschappers die haar willen bestuderen. We kunnen infrastructuur echter analyseren door een "*infrastructural inversion*" (en infrastructurale omkering) te bewerkstelligen, waarbij infrastructuren die anders op de achtergrond zouden blijven, bewust op de voorgrond worden geplaatst.³ Deze dissertatie stelt dat *infrastructural inversion* ook kan helpen te begrijpen hoe microscopisten ambachtelijke kennis uitwisselden op afstand. De historische actoren in dit proefschrift waren afhankelijk van infrastructuren om een groot aantal uiteenlopende objecten uit te wisselen, variërend van notitieboekjes tot microscoopglasjes, instrumenten en levende microscopische organismen. Bij hun pogingen om zo'n grote verscheidenheid aan artefacten over grote afstanden te laten circuleren, moesten microscopisten ervoor zorgen dat zowel hun vaardigheden in microscopie als hun infrastructuren perfect op het delen van

³ Bowker and Star, *Sorting Things Out*, 34.

kennis over grote afstanden waren afgestemd. Het blijkt dat de vaardigheid van een microscopist in het maken van waarnemingen, preparaten of instrumenten onlosmakelijk verbonden was met diens vaardigheid in het bouwen en gebruiken van kennisinfrastructuren. Bijgevolg stelt *infrastructural inversion* ons in staat om niet alleen de infrastructuren van microscopisten te onderzoeken, maar ook de ambachtelijke kennis die hand in hand ging met het gebruik van deze infrastructuren.

Puttend uit het werk van Helena Karasti en Jeanette Blomberg over infrastructuur, passen de hoofdstukken in dit proefschrift infrastructurele inversie toe door "momenten van ineensstorting te onderzoeken, te volgen hoe actoren zelf activiteiten van *infrastructural inversion* ontplooiën, en infrastructurele sporen in de materiële en technische omgevingen te volgen".⁴ De eerste strategie, het onderzoeken van momenten van controversie of ineensstorting, is waarschijnlijk de meest bekende, voortbouwend op de observatie van Bowker en Star dat infrastructuur meer opvalt wanneer zij niet meer functioneert. De tweede strategie, waarbij wordt gekeken naar de pogingen van de actoren tot infrastructurele inversie, is gebaseerd op de vooronderstelling dat een infrastructuur zichtbaar blijft voor ten minste een deel van haar gebruikers: haar beheerders, mensen met de taak de infrastructuur te bouwen en te onderhouden. De derde strategie, het volgen van infrastructurele sporen, houdt in dat de beweging van objecten door de infrastructuur wordt gereconstrueerd, bij voorkeur objecten die de sporen van samenwerkingspraktijken vertonen. De historische hoofdstukken in deze dissertatie volgen de drie manieren van infrastructurele inversie van Karasti en Blomberg.

In lijn met Karasti en Blombergs benadering volgt **hoofdstuk twee** artefacten die zich in de infrastructuur bewegen. Het hoofdstuk begint in de jaren 1850 en volgt een reeks microscopische artefacten: illustraties van een fylum van microscopische organismen, rotiferen genaamd, of wieldiertjes. Het hoofdstuk is gebaseerd op historische data die zijn verzameld via het *Worlds of Wonder* citizen science project, dat ik organiseerde als onderdeel van mijn promotieonderzoek. Het project nodigde burgerwetenschappers uit om historische microscopie-illustraties te helpen analyseren, waardoor het mogelijk werd om rotiferenillustraties en hun makers te volgen, en reproducties van dezelfde illustratie in verschillende publicaties te identificeren. In dit hoofdstuk wordt nagegaan hoe nieuwe druktechnieken en drukwerkdistributie-infrastructuren microscopisten in staat stelden hun waarnemingen van rotiferen te delen, en tegelijk hun observatievaardigheden te ontwikkelen. In een tijd waarin de reproductie van wetenschappelijke publicaties nauwelijks werd beperkt door de internationale wetgeving op het gebied van auteursrechten, was letterlijk knip-en-

⁴ Karasti and Blomberg, "Studying Infrastructuring Ethnographically," 251.

plakwerk een wijdverbreid verschijnsel, waarbij uitgevers zowel teksten als illustraties hergebruikten die elders waren gepubliceerd. Knip- en plakwerk maakte het voor microscopisten mogelijk om microscopie-illustraties aan te passen als onderdeel van hun observatiepraktijk, bijvoorbeeld door illustraties opnieuw te combineren met nieuwe teksten en afbeeldingen. In die zin werden rotiferenillustraties nooit helemaal onveranderlijk door druk. Ze bleven gebruikt worden in (en werden veranderd door) de observatiepraktijk van een onderzoeker, net zoals de losse, persoonlijke schetsen die de historicus Omar Nasim "*working images*" noemt, waarmee waarnemers met de hand kunnen aftasten wat met het oog wordt gezien.⁵ Het hoofdstuk laat zien dat waarnemen een ambacht was dat evenzeer afhankelijk was van de hand als van het oog, waardoor ambachtslieden, zoals illustratoren en natuurhistorische handelaren, van vitaal belang waren bij het delen van microscopie-observaties. Natuurhistorische handelaren voorzagen leraren in de natuurwetenschappen bijvoorbeeld van levende microscopische preparaten om in de klas te bekijken, en van illustraties en schriftelijke beschrijvingen van die preparaten. Dit gaf ambachtslieden de kans om niet alleen vorm te geven aan wat leerlingen van de biologische wetenschappen door de microscoop zagen, maar ook om hen te helpen hun waarnemingen te interpreteren.

Hoofdstuk drie richt zich op een groep historische actoren die tot taak hadden de infrastructuur in stand te houden waarop microscopisten vertrouwden om microscoopglasjes te produceren en uit te wisselen. Het hoofdstuk behandelt de British Postal Microscopical Society en de American Postal Microscopical Club, waarvan de bestuursleden postnetwerken opbouwden die hun leden in staat stelden draagglasjes en notitieboekjes door te geven volgens een systeem van kettingbrieven. Het hoofddoel van de twee postmicroscopie organisaties was hun leden te leren hoe ze microscoopglasjes moesten maken. De functionarissen van de postvereniging en de club beschreven het werk dat nodig was om hun kettingbrief-netwerken op te zetten in hun notitieboekjes, publicaties, ledenlijsten, en in kaarten van postcircuits. Beide organisaties gingen vaak in op de infrastructuren die hun werk mogelijk maakte, wat het voor historici, volgens het werk van Karasti en Blomberg over infrastructuur, gemakkelijker maakt om ze te bestuderen. Onder de leden van de twee postorganisaties heerste het gevoel dat hun ambachtelijke kennis van het maken van permanente objectglasjes moeilijk te delen was zonder fysieke bijeenkomsten. Als reactie daarop bedachten zij alternatieven om hun vaardigheden te delen, zoals naast teksten ook schetsen te maken. Ook onderzochten ze objectglasjes via *reverse-engineering*. Toch bleven de postnetwerken van de vereniging en de club kwetsbaar, omdat ze afhankelijk waren van de betrouwbaarheid van hun leden om pakjes door te sturen en de

⁵ See Nasim, *Observing by Hand*.

uitwisseling gaande te houden, en omdat de leden ervoor moesten zorgen dat de doorgestuurde objectglasjes niet zouden breken tijdens het vervoer. Om deze kwetsbaarheden te ondervangen werden regelmatig verslagen over de activiteiten van de postvereniging en de club gepubliceerd in microscopietijdschriften. Dit hielp om de twee organisaties te institutionaliseren, de postwisselingen te centraliseren, onbetrouwbare of onzorgvuldige leden te disciplineren, en aanbevelingen uit te wisselen voor het prepareren van microscopische preparaten. De postvereniging en de club slaagden erin hun leden gedurende minstens enkele decennia met elkaar in contact te brengen – de Britse Postal Microscopical Society bestaat nog steeds – en na verloop van tijd werd het feit dat objectglasjes postale netwerken konden doorkruisen zonder te breken gezien als een bewijs van hun duurzaamheid. Op die manier werden ze een maatstaf voor andere permanente preparaten.

Hoofdstuk vier onderzoekt een moment van controverse, waarbij de aandacht uitgaat naar twee stadia van een hevig transatlantisch debat in de jaren 1870, de "*battle of the glasses*". De strijd werd uitgevochten over de uiterste grens van resolutie in een lichtmicroscop, die door Amerikaanse immersielenzen verder was opgeschoven dan veel Britse microscopisten voor mogelijk hielden. De controverse legde niet alleen de kennisinfrastructuur van de microscopisten bloot, maar had ook een directe invloed op hen en dwong hen de gevestigde communicatiemechanismen te heroverwegen en aan te passen. Tegelijkertijd bood de controverse de Duitse natuurkundige Ernst Abbe de kans om betrokken te raken bij de Britse microscopiegemeenschap, zijn onderzoek te delen via de kennisinfrastructuren die tijdens de controverse ontstonden, en te profiteren van innovaties die door zijn Britse correspondenten werden bedacht. Het hoofdstuk gaat uit van de premisse dat het proces van "*amateurisation*", een term gebruikt door Sam Alberti en anderen wetenschapshistorici om te beschrijven hoe Britse amateurs in de jaren 1860 en 1870 een identiteit voor zichzelf ontwikkelden, hand in hand ging met de oprichting van infrastructuur die dienden als proeftuin voor innovatie in de wetenschappelijke instrumentenbouw: Ernst Abbe, werkzaam voor de firma Zeiss, profiteerde van de infrastructuur die door leden van de Royal Microscopical Society waren opgezet.⁶ Voortbouwend op het werk van controversestudies en innovatiestudies, stel ik bovendien dat wetenschapshistorici controverses en innovatie tot op zekere hoogte hebben bestudeerd, maar dat zij zich minder hebben beziggehouden met controverses *in* het innovatieproces. De geschiedenis van de "*battle of the glasses*" laat zien dat innovatie zeer controversieel kan zijn, en dat controverses vorm geven aan de infrastructuur die gebruikersinnovatie mogelijk maken.

⁶ See Alberti, "Amateurs and Professionals in One County."

Om een antwoord te geven op de onderzoeksvraag hoe geografisch verspreide microscopisten vaardigheden in microscopie verwierven, worden in **hoofdstuk vijf** de belangrijkste bevindingen uit de vorige hoofdstukken samengebracht. Het stelt dat microscopisten, om hun ambachtelijke kennis van microscopie te delen, de laat-negentiende-eeuwse infrastructuren in hun voordeel gingen gebruiken, door microscoopglasjes, teksten en illustraties, evenals levende organismen, te laten circuleren en verschillende manieren van samenwerking over lange afstand te bedenken. In dit proces hielpen de microscopisten zelf mee aan de opbouw van infrastructuren die de uitwisseling van ambachtelijke kennis vergemakkelijkten. Rond 1900 werden de microscopisten echter minder invloedrijk in de wetenschappelijke gemeenschap, en het hoofdstuk identificeert enkele redenen van hun terugval. Ten slotte gaat het hoofdstuk in op de performatieve dimensie van het bestuderen van infrastructuur. Als onderzoekers beslissen we welke infrastructuren het waard zijn om in onze analyses te volgen, waarbij we altijd slechts enkele op de voorgrond plaatsen terwijl andere op de achtergrond blijven. Wolfgang Kaltenbrunner heeft deze notie van performativiteit verder ontwikkeld en omschrijft infrastructurele inversie als een "*generative resource*".⁷ Volgens hem kan *infrastructural inversion* een creatief instrument zijn, een manier om bestaande infrastructuren opnieuw te bedenken en te configureren. Het toepassen van Kaltenbrunners concept van infrastructurele omkering als *generative resource* op dit proefschrift betekent ook nadenken over het generatieve potentieel van de infrastructuren die ik in mijn onderzoek heb gebouwd, in het bijzonder de infrastructuren die ik heb ontwikkeld als onderdeel van het *Worlds of Wonder* burgerwetenschapsproject. Het laatste hoofdstuk onderzoekt daarom hoe mijn onderzoek naar laat-negentiende-eeuwse infrastructuren *Worlds of Wonder* heeft gevormd, en vice versa. Het sluit dit proefschrift af met een reflectie over het verleden en heden van participatieve wetenschap en een schets van de mogelijke toekomst ervan.

⁷ See Kaltenbrunner, "Infrastructural Inversion."