

Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek.
Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitised at Gothenburg University Library.
All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text.
This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.





POLHEM

TIDSKRIFT FÖR TEKNIKHISTORIA

1988/3

Innehåll

Årgång 6

Temanummer

INSTRUMENTS AND TECHNOLOGY

| | | |
|--------------|---|-----------------------|
| Uppsatser: | Willem D. Hackmann: Attitudes to Natural Philosophy Instruments at the Time of Halley and Newton | Sida 143 |
| | Robert B. Gordon: Gaging, Measurement and the Control of Artificer's Work in Manufacturing | 159 |
| | Curt Roslund: Tycho Brahe som instrumentmakare | 173 |
| | Per Ragnarson: Instrumentsamlingar i Malmö | 183 |
| | Instrument Collections in Uppsala, Stockholm and Gothenburg | 186 |
| Recensioner: | Bosse Sundin (red): I teknikens backspegel (rec av Gunnar Nerheim) | 187 |
| | Sven Rydberg: Det Stora Kopparberget (rec av Jan-Erik Pettersson) | 191 |
| | Peter Andersson: Telekommunikation förr och nu (rec av Göte Rosell) | 193 |
| | Arne Kaijser, Arne Mogren & Peter Steen: Att ändra riktning. Villkor för en ny energiteknik (rec av Aant Elzinga) | 194 |
| | Olle Ekstedt: Färgen på gamla lantmäterikartor (rec av Jan Hult) | 198 |
| | Ann-Charlotte Backlund (red): Boken om Bergslagen (rec av Jan Hult) | 200 |
| | Notiser: | Nyutkommen litteratur |
| | Nordisk Symposium i Teknologihistorie | 203 |
| | 18th International Congress on the History of Science | 203 |
| | Författare i detta häfte | 204 |

POLHEM

Tidskrift för teknikhistoria

Utgiven av Svenska Nationalkommittén för teknikhistoria (SNT),
Chalmers Tekniska Högskola, Biblioteket, 412 96 GÖTEBORG

med stöd av Humanistisk-samhällsvetenskapliga forskningsrådet
och Statens kulturråd

ISSN 0281-2142

Redaktör och ansvarig utgivare

Jan Hult

Redaktionskommitté

Henrik Björck

Svante Lindqvist

Wilhelm Odelberg

Sven Rydberg

Tryck

Vasastadens Bokbinderi AB, 414 59 GÖTEBORG

Omslag och rubriker: Svensk Typografi, Gudmund Nyström AB,
178 00 EKERÖ

Prenumeration

95 kronor/år (4 häften)

Beställes genom inbetalning på postgirokonto nr 441 65 94 - 2

Willem D. Hackmann

ATTITUDES TO NATURAL PHILOSOPHY INSTRUMENTS AT THE TIME OF HALLEY AND NEWTON

I.

"For this I look upon as one of the tools to be made use of in the Work-house or Laboratory of Nature, without a good Apparatus of which, be the Workman otherwise never so well accomplished, he will never be able to produce any considerable effect; and with them, even a Bungler otherwise, if well furnished, do wonders to such as know not the means by which they are done".¹

The seventeenth-century experimental approach to the study of nature was the culmination of a process that had been slowly gaining momentum. Observing nature with the unaided senses and performing simple experiments that did not violate natural processes had been carried on since antiquity. Crombie has traced the experimental method back to the thirteenth century.² The origins of the mechanical philosophy are as complex as the historiography that has grown up around this subject.³ Both the Hermetic and mathematical-scientific traditions have been cited as sources. Kuhn, too, falls back on the Hermetic tradition as a consequence of his—historically rather sterile—distinction between the mathematical and the empirical sciences.⁴ More recently, Bennett has argued that a way out of this maze is to adopt the definition of the sixteenth and seventeenth century of what comprises the mathematical sciences.⁵ The subject was interpreted very broadly indeed, embracing both theory and utility, practiced by men whom we would categorize as scientists and artisans, or as philosophers and mechanics. A key difference between these two groups was one of class, and con-

¹ R. Hooke, *Lampas or, Description of some Mechanical Improvements of Lamps & Waterpoises. Together with some other Physical and Mechanical Discoveries* (London, 1677), in R. T. Gunther, *Early Science in Oxford*, vol. 8 (1931), pp. 9-10.

² A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and Origins of Experimental Science 1100-1700* (Oxford: Clarendon Press, 1953); his commentary on Lynn White, Jr., 'What Accelerated Technological Progress in the Western Middle Ages' (pp. 272-291) in Crombie (ed.), *Scientific Change* (London: Heinemann, 1963), pp. 316-323; and his 'Quantification: A History of the Meaning of Measurement in the Natural and Social Sciences' (Indianapolis: Bobbs-Merrill, 1961).

³ R. Harré, 'Knowledge', pp. 11-54, and S. Schaffer, 'Natural Philosophy', pp. 55-81, in S. G. Rousseau and Roy Porter (eds.), *The Ferment of Knowledge. Studies in the Historiography of Eighteenth-Century Science* (Cambridge University Press, 1980).

⁴ T. S. Kuhn, 'Mathematical versus Experimental Traditions in the Development of Physical Science', *Journal of Interdisciplinary History*, vol. 7 (1976), pp. 1-31, reprinted in his *The Essential Tension* (Chicago and London: University of Chicago Press, 1977), pp. 31-65, p. 53.

⁵ J. A. Bennett, 'The Mechanic's Philosophy and the Mechanical Philosophy', *History of Science*, vol. 24 (1986), pp. 1-28, p. 6.

This paper was originally delivered at the "Newton and Halley, 1686-1986" conference at UCLA's William Andrewes Clark Memorial Library, 12-14 August 1985.

sequently of training and disposition. Practical mathematics—like astronomy before it—began to flourish in the sixteenth century for economic and social reasons. Mathematical practitioners, skilled in devising and using new instruments, became involved in those subjects vital in the British colonial and economic expansion, such as navigation, surveying, horology, cartography, astronomy, and fortification. They established a powerful corpus of textbooks in the vernacular. This ensured that they became a cohesive group, which was centred on Gresham College in London, founded in 1597.

Kargon in his classic work on seventeenth-century atomism emphasized the importance of matter theory in the mechanical philosophy. At the beginning of the century, Thomas Harriot and his circle relied in their physical explanations of natural phenomena solely upon Epicurean matter in motion which followed the laws of mechanics. This view encouraged the explaining of nature in terms of the action of the machines of the emerging Industrial Revolution. A well-known example is the discovery of the circulation of the blood by comparing the heart with the action of a pump, rumoured to have been suggested by Harriot's pupil, Walter Warner, before Harvey.⁶ It also encouraged experimental interventions, and attempts to measure and standardize natural phenomena.

Thus in the early 1600s we have the confluence of three strands in the new natural philosophy: Greek matter theory as a reaction against Aristotelian qualities, the metaphor of the machine, and the empiricism of the mathematical practitioner or mechanic. Several of the earliest natural philosophical instruments were invented for a purely pragmatic reason: to investigate the behaviour of the earth's magnetic field, which was one of the most pressing problems in navigation. This problem was tackled by the compass maker and practical navigator Robert Norman in his *The Newe Attractive*, published in 1581. In the preface he suggests that even as an "unlearned Mechanician" he has much to contribute to the mathematical sciences.⁷ His dip circle for investigating geomagnetism is based on an ancient traditional astronomical instrument—the astrolabe—and is the product of his mathematical knowledge and mechanical skills [Plate 1].⁸

Norman stressed that his scientific investigation was grounded in his experience as a mechanic—not to accept the authority of books, but to rely upon observations and "experimented truth".⁹ This attitude was shared by the mathematical instrument makers who began to flourish in England—especially in London—and was responsible for improvements in navigational instruments.¹⁰ It was also

⁶ R. H. Kargon, *Atomism in England from Harriot to Newton* (Oxford: Clarendon Press, 1966), pp. 35-50.

⁷ P. Rossi, *Philosophy, Technology, and the Arts in the Early Modern Era* (New York: Harper & Row, 1970), pp. 4-5, trans. by S. Attanasio.

⁸ R. Norman, *The Newe Attractive shewing the Nature, Propertie, and Manifold Vertues of the Loadstone* (London, reprinted 1720), p. 15; original edition *The Newe Attractive Contayning a Short Discourse of the Magnes or Loadstone* (London, 1581). See also Bennett, *op. cit.* (note 5), pp. 13-15.

⁹ *Ibid.*, p. ii.

¹⁰ G. L' E. Turner, 'Mathematical Instrument-making in London in the Sixteenth Century', in S.

echoed by those who applied instrumental investigations to natural philosophy. William Gilbert wrote in the preface of his *De magnete*, published in 1600, that "In the discovery of secret things and in the investigation of hidden causes, stronger reasons are obtained from sure experiments and demonstrated arguments, than from probable conjectures and the opinions of philosophical speculators".¹¹ His 'magnetic philosophy' occupied an intermediate position between Aristotelianism and the mechanical philosophy. Simple experiments with his 'versorium'—a horizontally pivoted iron pointer based on the compass—made it possible for him to formulate the first working definition of electric force in an attempt to distinguish it from magnetism [Plate 2].¹² Thus, he had effectively established the new science of electricity. Another popular early experiment was to determine the configuration of the magnetic field by means of iron fillings, or by iron needles floating on water. From now on experiments and the concomitant instruments were to grow in complexity. At the forefront was Galileo, who was primarily concerned with refuting Aristotle.¹³

In the 1620s Francis Bacon formalized the practices and attitudes of these early experimentalists into a coherent scientific method. His central theme was that nature should be interpreted through the senses, aided by experiments "fit and apposite".¹⁴ He advocated listing the properties of the phenomena under study in 'natural histories'. His inductive method was translated into more realistic laboratory strategies by Robert Boyle, Robert Hooke, and ultimately by Isaac Newton in the second half of the seventeenth century. At that time there was a revival of interest in Bacon's experimentalism as a reaction to Descartes' rationalism.

Atomism was rejected by Bacon because he considered it an *a priori* proposition; it was also tainted with atheism. In the 1650s, however, atomism was again accepted and was at the heart of the mechanical or corpuscular philosophy. Boyle and Hooke used the Baconian experimental method to describe the mechanical operations of material particles. Instruments became essential in this process. Boyle, echoing and extending Bacon, made pertinent observations about the interplay between sense experience and experimentation. In an unpublished

Tyacke (ed.), *English Map-making 100-1650* (London: The British Library, 1983), pp. 93-106. See also E. G. R. Taylor, *The Mathematical Practitioners of Tudor & Stuart England* (Cambridge University Press, 1954), and D. W. Waters, *The Art of Navigation in England in Elizabethan and Early Stuart Times* (London: Hollis & Carter, 1958).

¹¹ W. Gilbert, *De magnete* (London, 1600), trans. by P. Fleury Mottelay (London, 1893; Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952). See also D. H. D. Roller, *The De magnete of William Gilbert* (Amsterdam: Menno Hertzberger, 1959). Kargon, *op. cit.* (note 6), p. 9.

¹² W. D. Hackmann, 'The Relationship Between Concept and Instrument Design in Eighteenth-Century Experimental Science', *Annals of Science*, vol. 36 (1979), p. 7; E. Zilsel, 'The Origins of William Gilbert's Scientific Method', *Journal of the History of Ideas*, vol. 2 (1941), pp. 1-32. See also note 45.

¹³ R. H. Naylor, 'The Rôle of Experiment in Galileo's Early Work on the Law of Fall', *Annals of Science*, vol. 37 (1980), pp. 363-378. See also note 40.

¹⁴ F. Bacon, *Novum organum* (London, 1620); see also Francis Bacon, *Works*, vol. 8, pp. 61, 83, edited by R. Ellis, J. Spedding, and D. Heath (Boston, 1861-4).

paper on scientific method, he listed a series of propositions on 'Sense, Reason, and Authority', including the following:

"That one of the usefulest Employments of Reason in Natural Philosophy is to devise apposite Experiments, and contrive the wayes of making them, and of Examining whether they be well made . . . That the Organs of Sense are but the Instruments of Reason in ye Investigation of Truth . . . That Sense is not lightly to be distrusted in its Positive Informations when the Organ being well qualify'd 'tis conversant about its proper Objects . . . That Informations of Sense assisted and hightned by Instruments are usually preferable to those of Sense alone . . . That Humane Testimony is great and almost necessary use in Natural Philosophy".¹⁵

His erstwhile assistant, Hooke, expressed himself in very similar terms in 'A General Scheme, Or Idea of the Present State of Natural Philosophy, and How its Defects may be Remedied By a Methodical Proceeding in the Making Experiments and collecting Observations. Whereby to Compile a Natural History, as the Solid Basis for the Superstructure of True Philosophy', published posthumously by Waller.¹⁶ The 'Nature of Bodies' can be discovered in three ways:

- I. By the Help of the Naked Senses.
- II. By the Senses assisted with Instruments, and arm'd with Engines.
- III. By Induction, or comparing the collected Observations, by the two preceding Helps, and ratiocinating from them".¹⁷

The more superficial properties such as 'shiningness', opacity, or colour, could be determined by the senses. But according to Hooke, if we wanted to go further, we had to assist the defects of the senses by two 'artificial' means: ". . . first, for the more certain determining and defining the Sensations, and reducing them to a Standard, and next for the Discovery of those sensible Properties in Bodies, which our Senses are not able to reach, and defining them also".¹⁸ Defining standards—such as comparing light to that emitted by a candle at a certain distance, or the degree of heat of a thermometer—were the basis for accurate measurements. The second technique was 'enlarging' the senses by instruments such as the telescope and microscope, which made "the sensible Qualities of the Object more powerful than naturally they are of themselves for affecting the Sense, or more proportionate to the Power and Faculties of them".¹⁹ The third way of discovering nature was by induction.

¹⁵ R. S. Westfall, 'Unpublished Boyle Papers Relating to Scientific Method', *Annals of Science*, vol. 12 (1956), pp. 63-73, 103-117, in particular pp. 113-116.

¹⁶ R. Waller, *The Posthumous Works of Robert Hooke* (London, 1705) (hereafter cited as Waller), pp. 1-70, in particular pp. 35-37. There is also a Johnson reprint (New York, 1969), and another by Frank Cass (London, 1971), with a 'New Introduction' by T. M. Brown.

¹⁷ *Ibid.*, p. 35.

¹⁸ *Ibid.*, p. 36.

¹⁹ *Ibid.*, p. 40. See also T. Birch, *The Work of the Honourable Robert Boyle*, new edn., 6 vols. (London, 1772) (hereafter cited as *Works*), vol. 2, p. 489.

Boyle admitted freely his indebtedness to the experience and practices of 'tradesmen', especially their reliance upon observation and trial. He makes it clear in his voluminous writings that he had no interest in revealing their trade secrets, but that he wanted to assist his readers in becoming philosophers, not tradesmen; to gain knowledge, not money. He pointed out that on the other hand natural philosophers had been responsible for creating new trades, in the manufacture of telescopes, microscopes, quadrants, sectors, globes, and pendulum clocks.²⁰ His contemporary natural philosophers—such as Halley and Hooke—would not dissent from these views. Halley, after all, formed a public company to exploit his diving equipment to his own design, for salvaging wrecks, and Hooke made numerous mechanical inventions for which he reaped meagre financial reward.²¹

The apothecaries were another source of influence. Boyle, especially, was inspired by their practices. His *Some Considerations touching the Usefulness of Natural Experimental Philosophy* (1663) was written mainly from a chemical viewpoint.²² He spent a period in Oxford because of a thriving community of chemists active in the University. This began at about the time that the physic garden was founded in 1621. The local apothecaries shared their chemical knowledge and manipulative skills with members of the University interested in developing chemical medicines. At this time, the growing interest in science was reflected in the founding of the Savilian and Sedleian chairs of astronomy, geometry, and natural philosophy. Some members maintained chemical laboratories, employed 'operators', and gave private courses in chemistry. One of the most prominent of these in the 1650s was John Wilkins, Warden of Wadham College, whose laboratory became the meeting-place of an active circle of chemists and natural philosophers. Before moving to Oxford, he had been part of a London group centred around Samuel Hartlib and Gresham College. Later, he was active in the affairs of the Royal Society, given the Royal Charter in 1662 to promote 'Experimentall Learning'.²³

John Locke, too, for a brief period had a part share in a private laboratory, and Hooke was the 'operator' in a similar establishment at Oxford before joining Boyle. Pressure mounted for the University to establish its own chemical teaching laboratory, which was eventually opened in 1683. Natural philosophy courses were given in the same establishment.²⁴ Lecture-demonstration courses by

²⁰ Boyle, *Works*, vol. 3, pp. 396-399, 415, 442.

²¹ J. A. Bennett, 'Robert Hooke as Mechanic and Natural Philosopher', *Notes and Records Royal Society*, vol. 35 (1980), pp. 33-48.

²² Boyle, *Works*, vol. 2, pp. 1-246. This was written in c. 1650, and a second part in 1671, see vol. 3, pp. 392-457.

²³ B. J. Shapiro, *John Wilkins 1614-1672: An Intellectual Biography* (Berkeley and Los Angeles: University of California Press, 1969); J. J. O'Brien, 'Samuel Hartlib's Influence on Robert Boyle's Scientific Development', *Annals of Science*, vol. 11 (1965), pp. 5-13, 270-274.

²⁴ A. V. Simcock, *The Ashmolean Museum and Oxford Science 1683-1983* (Oxford: Museum of the History of Science, 1984), pp. 7-13; C. Brookes, 'Experimental Chemistry in Oxford 1648-c. 1700. Its Techniques, Theories and Personnel', thesis submitted for Oxford University B. A. Chemistry Pt II 1985, pp. 9-30.

itinerant lecturers began at about the same time, and were tremendously popular in the eighteenth century. They created much interest in the scientific instruments used in experimental philosophy.²⁵

II.

What were the attitudes of natural philosophers such as Halley, Hooke, Boyle, and Newton to their scientific instruments? This question is not at all easy to answer because they wrote little specifically on this subject. Their attitudes and expectations have to be gleaned from their discussions of actual experiments and from what they have to say about their scientific method, on which they were much more forthcoming. As we have seen, these devices had their roots in earlier astronomical and mathematical instruments, and in the traditions of the mathematical practitioners and craftsmen. Simple experimental devices for investigating such natural phenomena as the behaviour of light or the earth's magnetic field existed before 1600, but the first instruments to have a real impact on natural philosophy were the telescope and the microscope.²⁶ They revealed hitherto unsuspected phenomena. However, it was not until the middle of the seventeenth century that they were used as routine research instruments, and that observations with them were no longer regarded with mistrust.²⁷ As Hooke wrote in his *Lectures of Light, Explicating its Nature, Properties, and Effects* (c. 1680), the objections against the use of the microscope and telescope were in error, for it was the eye which could not distinguish objects below a certain angle or size. The fallacy was with the eye, not the instrument, and this observation led him to investigate the physiological mechanism of vision.²⁸ At about this time the notion that more powerful and accurate instruments would lead to scientific advances came into vogue. This expectation was an important force in instrument design. It resulted in the development of ever more intricate, larger, and more powerful devices, such as the airpump and the electrical machine. The latter, especially, by the last quarter of the eighteenth century had reached massive proportions.²⁹

The telescope and microscope were seen as a means of aiding the imperfect senses, as Hooke enthused in his *Micrographia* (1667):

²⁵ M. Rowbottom, 'The Teaching of Experimental Philosophy in England, 1700-1730', *Actes du XIe Congrès internationale d'Histoire des sciences* (Warsaw, 1968), vol. 4, pp. 46-63. See also W. D. Hackmann, 'The Growth of Science in the Netherlands in the Seventeenth and Early Eighteenth Centuries', in M. Crosland (ed.), *The Emergence of Science in Western Europe* (London: Macmillan, 1975), pp. 89-110.

²⁶ G. L. E. Turner, 'Animadversions on the Origins of the Microscope', in J. D. North and J. J. Roche (eds.), *The Light of Nature* (Dordrecht: Martinus Nijhoff, 1985), pp. 193-207.

²⁷ A. Van Helden, 'The Birth of the Modern Scientific Instrument, 1550-1700', in J. G. Burke (ed.), *The Uses of Science in the Age of Newton* (University of California Press, 1983), pp. 49-83, especially pp. 52-53.

²⁸ Waller, *op. cit.* (note 16), p. 98.

²⁹ W. D. Hackmann, *Electricity from Glass: The History of the Frictional Electrical Machine 1600-1850* (Alphen-aan-den Rijn: Sijthoff and Noordhoff, 1978), and *op. cit.* (note 12), p. 218.

"The next care to be taken, in respect to the Senses, is a supplying of their infirmities with Instruments, as it were, the adding of artificial Organs to the natural; this in one of them has been of late accomplished with prodigious benefit to all sorts of useful knowledge, by the invention of Optical glasses. By the means of the Telescope, there is nothing so far distant but may be represented to our view; and by the help of Microscopes, there is nothing so small, as to escape our inquiry; hence there is a new visible World discovered to the understanding. By this means the Heavens are open'd, and a vast number of new Stars, and new Motions, and new Productions appear in them, to which all the ancient Astronomers were utterly Strangers. By this the Earth it self, which lyes so near us, under our feet, shews quite a new thing to us, and in every little particle of its matter we now behold almost as great a variety of Creatures as we were able to reckon up in the whole Universe it self".³⁰

A key difference between these observational and the next generation of philosophical instruments was that the latter not only 'aided' the senses, but allowed for experimentation in a controlled laboratory environment—such as inside the bell jar of an airpump. It was generally accepted that the instruments reproduced 'real' natural processes, although there were debates about the validity of actual observations. Natural philosophers began to stress the importance of controlling the factors that might affect the experimental results. Thus, great care began to be taken in the design of the apparatus and in the carrying-out of the experiments. These had to be standardized, otherwise the results could not be replicated by followers and opponents alike. But the experimenter was immediately confronted by two fundamental problems which influenced replicability: a) mechanical design factors that affected the instrument's behaviour, and b) unknown external influences which upset the results.

Boyle and Hooke set up replicability as a standard or test of knowledge. Their reports were written in such a way that the reader could repeat the experiments without mistakes and with little trouble, yet replication was rarely accomplished.³¹ Controlling the laboratory environment was not at all a simple matter, especially as there was little known about what should be controlled in any particular experiment. Hooke suggested a step-by-step approach:

"As in *Geometry*, the most natural way of beginning is from a Mathematical point; so is the same method in Observations and *Natural history* the most genuine, simple, and instructive. We must first endeavour to make *letters*, and draw *single strokes* true, before we venture to write whole *Sentences*, or to draw large *Pictures*. And in *Physical Enquiries*, we must endeavour to follow Nature in the more *plain* and *easy* ways she treads in the most *simple* and *uncompounded bodies*, to trace her steps . . .".³²

³⁰ R. Hooke, *Micrographia: or some Physiological Descriptions of Minute Bodies Made by Magnifying Glasses* (London, 1667), preface. For his scientific method, see M'Espinasse, *Robert Hooke* (London: Heinemann, 1956), pp. 16-41; F. F. Centore, *Robert Hooke's Contributions to Mechanics* (The Hague: Martinus Nijhoff, 1970), pp. 16-40.

³¹ H. Collins, 'The Seven Sexes: A Study in the Sociology of a Phenomenon, or the Replication of Experiments in Physics', *Sociology*, vol. 9 (1975), pp. 205-224; S. Shapin and Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump* (Princeton University Press, 1985), pp. 225-282; Boyle, 'A Præmial Essay . . . with Some Considerations touching Experimental Essays in General' (1661), in his *Works*, vol. 1, pp. 304-7.

³² Hooke, *op. cit.* (note 30), p. 1.

The natural philosopher could then proceed to the study of more complicated 'bodies', but at all times using Nature as his guide. However, this is hardly the description of an effective laboratory strategy, which is not at all easy to formulate. Even identifying the properties or changes in behaviour of the phenomenon being investigated posed severe difficulties. For instance, what the experimenter expected to see and what he actually observed were influenced by his conceptual framework based on contemporary theory.³³ Gilbert in 1600 recognized electrical attraction, but not repulsion in the fairly ambiguous movement of his versorium. Newton identified seven colours in the continually graded spectrum (most observers see six). Perhaps this was because of his interest in musical theory: the Pythagorean division of the octave into seven intervals. Or perhaps it was based on the distinct pigments of the painter's palette. After all, Newton referred to visual images being 'painted' on the retina of the eye, reflecting his general misunderstanding of the difference between light and pigments.³⁴ The process of selecting or isolating the phenomenon to be studied in the laboratory in the first place, often from a mass of experimental data, introduced an *a priori* conceptual element. Sociological and other non-scientific factors could also be important in influencing whether experimental evidence was accepted or not. To what extent seventeenth-century experimenters were aware of these problems is not known at this stage. They were, however, capable of using experiments and highly sophisticated apparatus as a means of propagandizing a particular viewpoint, or of silencing the opposition.

Although there were debates about the validity of actual observations, it was accepted (as we have seen) that instruments reproduced natural processes. Thus, the rainbow spectrum produced by Newton's prism was real and not an artefact of this device. Underlying this acceptance was the 'principle of the uniformity of nature', formulated in Newton's *third rule of reasoning*, but already expressed by Aristotle.³⁵ Expressed simply, similar effects whether produced in the laboratory or by nature had similar causes. Thus, according to Hooke, "observing and comparing the Natural and Artificial ways of producing the same Effects" was one of the ways of discovering nature.³⁶ Perhaps at the root of the idea of the uniformity and simplicity of natural processes was the powerful ancient concept of symmetry.³⁷ Observing symmetries in nature led to attempts to reproduce them in

³³ Hackmann, *op. cit.* (note 12), p. 211.

³⁴ P. D. Schweizer, 'John Constable, Rainbow Science, and English Colour Theory', *The Art Bulletin*, vol. 64 (1982), pp. 424-445, especially pp. 431-434; G. Biernson, 'Why did Newton see indigo in the Spectrum', *American Journal of Physics*, vol. 40 (1972), pp. 526-533; I. B. Cohen, *The Newtonian Revolution* (Cambridge University Press, 1980), p. 205; J. D. North, 'Science and Analogy', in M. D. Grmek, R. S. Cohen and G. Cimino (eds.), *On Scientific Discovery* (Dordrecht, Boston, London: Reidel, 1981), pp. 118-121.

³⁵ Cohen, *op. cit.* (note 34), pp. 8-30.

³⁶ Waller, *op. cit.* (note 16), p. 58.

³⁷ J. Roche, 'A Critical Study of Symmetry in Physics from Galileo to Newton', in M. G. Doncel, A. Hermann, L. Michel and A. Pais (eds.), *Symmetries in Physics (1600-1980)*, Proceedings of the 1st International Meeting on the History of Scientific Ideas held at Sant Feliu de Guíxols, Catalonia, Spain, 20-26 September, 1983 (Bellaterra (Barcelona): Universitat Autònoma de Bar-

the construction of physical theories about the world, for instance in the idea of fields of action or influence. Thus, Gilbert postulated that his loadstone was surrounded by a sphere of magnetic power or action [Plate 3]; a concept that had important consequences in the history of magnetism. Much later there was a growing realization that instruments, too, had to be symmetrical, otherwise the results were not reproducible.³⁸

These ideas were also expressed in seventeenth-century natural theology. The hallmarks of God's created universe were harmony and economy, so that natural phenomena reproduced in the laboratory had the same causes as in the real world. Uniformity of nature, economy, symmetry, and harmony were at the core of the experimental procedures and of the conservation laws, implicitly accepted by these early investigators, and in the nineteenth century stated explicitly by Faraday and others.³⁹ These laws could not be 'proven' experimentally—the ideal could only be approached with increasing accuracy, depending on the design of the experiments and the apparatus. Thus, in a careful reconstruction of Galileo's 'inclined plane' experiment, R. H. Naylor showed that he could not have formulated his law of fall by experiments alone. This was already the main criticism of Galileo's contemporary, Guidobaldo.⁴⁰ The interaction between theory and instrumental evidence is a fascinating historical and philosophical problem, but this is not the place to explore it further.

The same ideas of harmony, economy, and simplicity were responsible for the use of analogy in scientific argument. In a recent paper John North has analysed the development of the concept of scientific analogy from the seventeenth until the middle of the nineteenth century. A section is devoted to Newton's use of this technique in his exploration of the properties of light, based on analogies with sound.⁴¹ Boyle and Hooke, too, used this form of reasoning, especially when the strict inductive procedures could not be applied, or the observation could not be tested or experimented on directly. Thus, Hooke followed Galileo in arguing that by the appearance of the moon through the telescope, its

celona, 1987), pp. 3-30.

³⁸ W. D. Hackmann, 'Eighteenth Century Electrostatic Measuring Instruments', *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze* (hereafter cited as *Annali*), vol. 3 (1978), pp. 3-58, especially pp. 10-14, 55-56.

³⁹ D. Gooding, 'Metaphysics versus Measurements: the Conversion of Conservation of Force in Faraday's Physics', *Annals of Science*, vol. 37 (1980), pp. 1-29.

⁴⁰ Naylor, *op. cit.* (note 13), p. 368. He was assisted by Tom Settle and results contra to claim made by Stillman Drake that Galileo had discovered the law of fall (1604) by direct experimental evidence, in his papers 'Galileo's Work on Free Fall in 1604', *Physics*, vol. 16 (1974; publ. 1975), pp. 309-322, and 'The Rome of Music to Galileo's Experiments', *Scientific American*, vol. 232 (1975), pp. 98-104. See also note 66, p. 79, in Van Helden, *op. cit.* (note 27) on this point.

⁴¹ North, *op. cit.* (note 34), pp. 116-122. See also on this important subject M. Hesse, *Models and Analogies in Science* (Notre Dame, Ind.: University of Notre Dame Press, 1966); and W. H. Leatherdale, *The Rome of Analogy, Model and Metaphor in Science* (Amsterdam, Oxford: North Holland, New York: American Elsevier, 1974).

crust and surface features were similar to the earth's. Rather amusingly, he took this particular analogy a step further by supposing that the moon

"... may have Vegetables analogous to our Grass, Shrubs, and Trees; and most of these encompassing Hills may be covered with so thin a vegetable Coat, as we may observe the Hills with us to be, such as the short Sheep pasture which covers the Hills of *Salisbury Plains*." ⁴²

The analogy, however, was not only a vital element in constructing physical theories, but also in devising a particular type of experiment in which natural phenomena were reproduced in the laboratory by means of models. Model experiments were considered extremely persuasive by the seventeenth-century natural philosopher.⁴³ They ranged from the naive to the sophisticated: several were very influential in the history of physics. In the early 1300s Theodoric of Freiburg used glass globes to simulate the role of raindrops in the formation of the rainbow.⁴⁴ Two well-known seventeenth-century model experiments were Gilbert's magnetic terrella (1600) and Otto von Guericke's electrical terrella (c. 1660) [Plate 4]. Gilbert fashioned a model earth from a spherical loadstone, with which he was able to show how magnetic dip would vary with latitude. It strengthened his argument that the compass was not attracted by the pole star, but that this was a property of the earth. However, it also led him to the erroneous conclusion that the magnetic axis of the earth was the same as the axis of rotation.

Von Guericke's model replication was to demonstrate that the nature of gravitation was not magnetic but electrical, caused by the friction of the atmosphere on the rotating earth. The sulphur ball represented the earth, which was made up mainly of 'sulphurous particles', and the hand with which it was rubbed while being rotated represented the atmosphere. When electrified in this way, the ball possessed the same 'attractive virtue' as the earth. An anonymous reviewer (probably Boyle or Hooke) wrote in the *Philosophical Transactions* of 1672:

"For a conclusion of this Accompt, I shall take notice of an Experiment, mention'd by our Author . . . ; by which he thinks may be represented the chief Vertues, he enumerates of our Earth, perform'd by a Globe of Sulphur melted and colled again, and then perforated, to traject an Iron *axis* through it for circumvolution; whereby attrition being used withal, he affirms that the Impulsive, Attractive, Expulsive and other vertues of the Earth, as he calls them, may be ocularly exhibited. How far this Globe and its performance may be confided in, the Tryals and Considerations of some Ingenious person here may perhaps inform us hereafter." ⁴⁵

⁴² Waller, *op. cit.* (note 16), p. 243.

⁴³ The interaction between model experiments, conceptual models and analogies needs further development. For eighteenth century, see Hackmann, *op. cit.* (note 12), pp. 220-223.

⁴⁴ For a translation of Freiburg's *De iride*, see trans. by W. A. Wallace, 'Theodoric of Freiberg: On the Rainbow', in E. Grant (ed.), *A Source Book in Medieval Science* (Harvard University Press, 1974), pp. 435-441; and W. A. Wallace, *The Scientific Methodology of Theodoric of Freiburg* (Studia Friburgensia, NS 26 (Fribourg University Press, 1959).

⁴⁵ Hackmann, *op. cit.* (note 29), pp. 20-25; see *Philosophical Transactions R. Soc.*, vol. 7 (1672), pp. 5103-5.

It was only with hindsight that later natural philosophers recognized fully the electrical implications of von Guericke's experiments with his model.

Two types of model were used in the seventeenth century: abstract conceptual models (such as those that illustrated a particular property or the supposed mechanism of natural phenomena), and real laboratory models with which natural philosophers replicated natural phenomena when no direct experimental intervention was possible. Hooke, in particular, used specially designed instruments as mechanical analogues of such phenomena as planetary motion or gravitation. As he wrote in the *Posthumous Work*:

"A most general Help of Discovery in all kinds of Philosophical Inquiry is, to attempt to compare the workings of Nature in that particular that is under Examination, to as many various, mechanical and intelligible ways of Operations as the Mind is furnisht with."⁴⁶

A practical problem of model experiments was that the laboratory results might well be different from the real-world phenomena because of difference in scale. A more fundamental difficulty was that logically there was no reason why the phenomena recreated with models in the laboratory were the same as the natural ones. On the whole there was a lack of distinction between the phenomena produced by small-scale laboratory models and the 'real world' phenomena experienced by the senses. Newton was the first to distinguish carefully between 'mathematical principles' and their application to natural philosophy. His models were usually mathematical (and not mechanical) analogues of simplified and idealized natural phenomena. His *Principia* (1687) and *Opticks* (1704) were the fruits of the two scientific traditions that developed during the seventeenth century: the mathematization of nature in the *Principia*, and experimental natural philosophy in the *Opticks*. But were dependent, however, on instrumental evidence.

III.

By the end of the seventeenth century instruments had become indispensable in the practice of natural philosophy. Discussion was no longer about whether these devices could reproduce nature, but about replicability and standards of accuracy and measurement. Natural philosophers and craftsmen began to work close together to develop scientific instruments, which resulted in a flourishing instrument-making trade. The need for increasingly sophisticated apparatus was an important factor in the institutionalizing of science that began in this period.⁴⁷

Boyle and Hooke made the experimental method popular, but it was Newton who set the future course of mathematical physics when he made the distinction between mathematical analysis and the invention of an underlying mechanism or cause in the *Principia*. His approach to natural philosophy was imperfectly

⁴⁶ Waller, *op. cit.* (note 16), p. 61. Also discussed by Bennett, *op. cit.* (note 21), pp. 44-45.

⁴⁷ W. D. Hackmann, 'Instrumentation in the Theory and Practice of Science: Scientific Instruments as Evidence and as an Aid to Discovery', *Annali*, vol. 10 (1985), pp. 87-115, in particular pp. 88-90.

understood by his contemporaries and eighteenth-century followers alike, who were more influenced by his brilliant experimental techniques displayed in the *Opticks*, with its sequence of experimental 'proofs'. It was in the late eighteenth century that the new generation of mathematical physicists discovered the implications of the *Principia*.⁴⁸

In the seventeenth century a complex link was established between instrumentation, experiment, and theory. Boyle compared the thrill of making experiments to the voyages of exploration that opened up the New World:

"... as the American navigators employed by the European merchants, having been by storms forced from their intended course, have been sometimes thereby driven upon unknown coasts, and have made discovery of new regions much more advantageous to them, than the fairest and constantest winds and weather could have been; so in philosophical trials, those unexpected accidents, that defeat our endeavours, do sometimes cast us upon new discoveries of much greater advantage, than the wonted and expected success of the attempted experiment would have proven to us."⁴⁹

In these journeys of discovery, instruments were a vital tool and a source of inspiration.

⁴⁸ For the most recent discussion on Newtonian Physics as it developed in the early eighteenth century, see J. L. Heilbron, *Physics at the Royal Society during Newton's Presidency* (Los Angeles: UCLA and William Andrews Clark Memorial Library, 1983).

⁴⁹ Boyle, *Works*, vol. 1, p. 353.

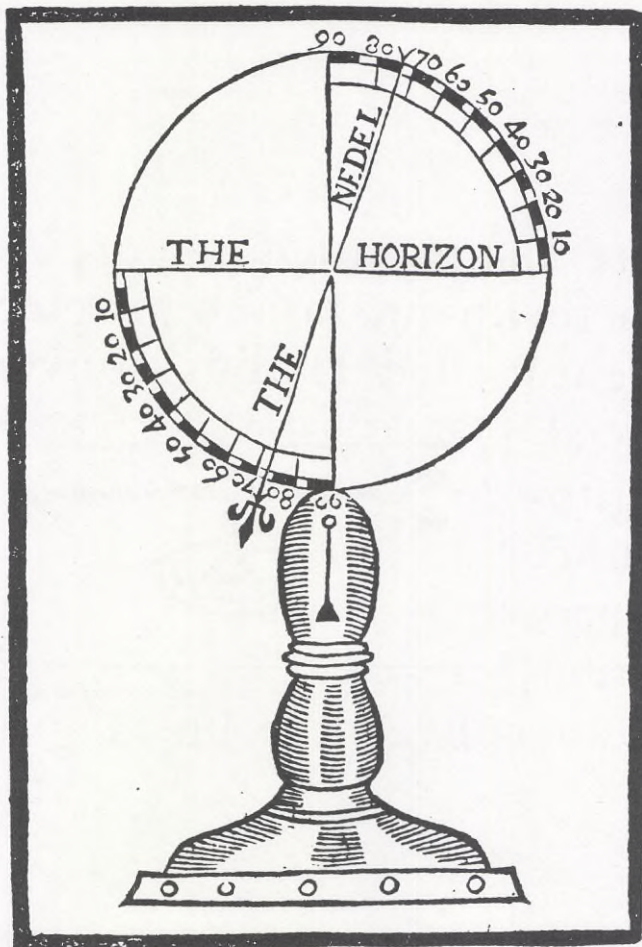


Plate 1. Robert Norman's dip circle, illustrated in his *The Newe Attractive* (1581). This diagram is taken from the 1720 edition, p. 17.

rias, quæ ana ne auctum corpora
 corpora inclinant, tamen propter im-
 illis videntur, sed facilius convertun-
 ovus metal-
 uor digito-
 nam, more
 i fini appo
 er fricatum,
 versorium convertit se. Plura igitur at-
 trahet.

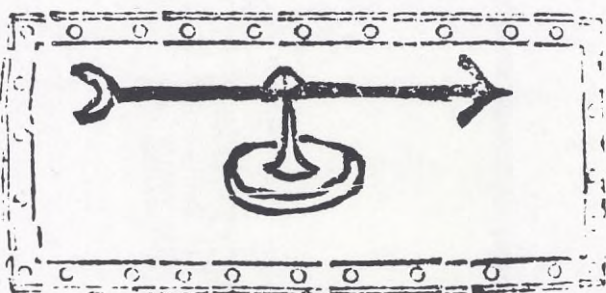
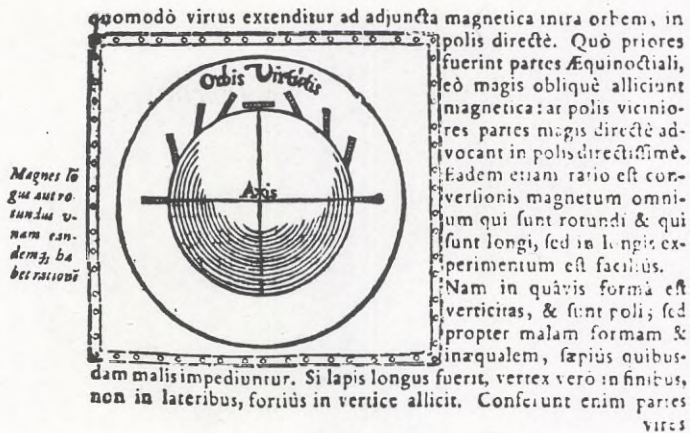


Plate 2. William Gilbert's 'versorium', described as a needle 'ex quouis metallo',
 three or four fingers long, balanced on a sharp point. See his *De mag-
 nete* (1600), p. 49.



NC. XII

Diagramma notatum in orbibus
 magneticis

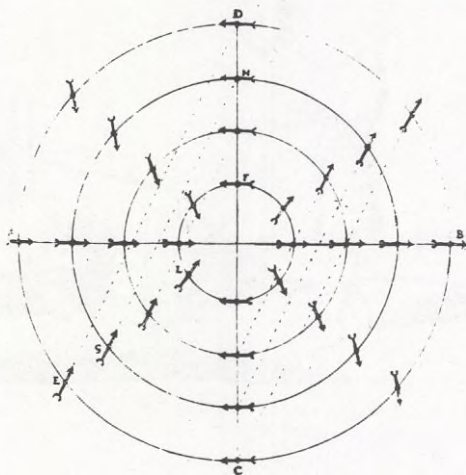


Plate 3. (A) William Gilbert's 'orbis virtutis' or sphere of power about a spherical loadstone or terrella, showing magnetic dip. From *De magnete*, 2nd edn, Stettin (1628), p. 78.

(B) His conception of the structure of a magnetic field. Notice the behaviour of the compass within the sphere of power (influence) at varying distances from the terrella. From *De magnete* (1628), plate xii.

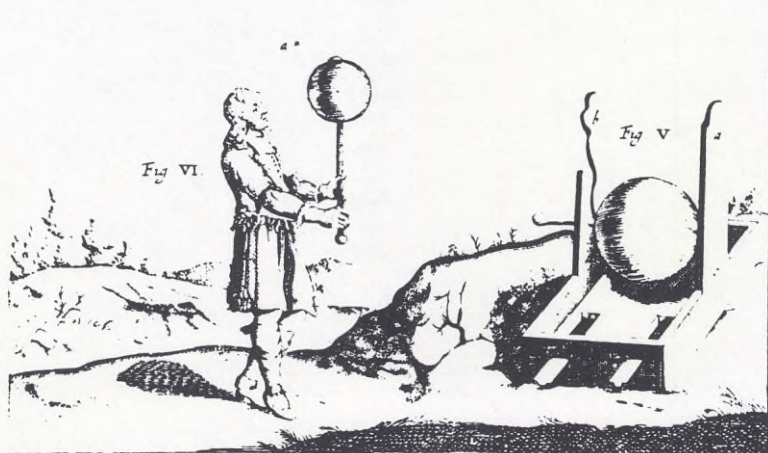
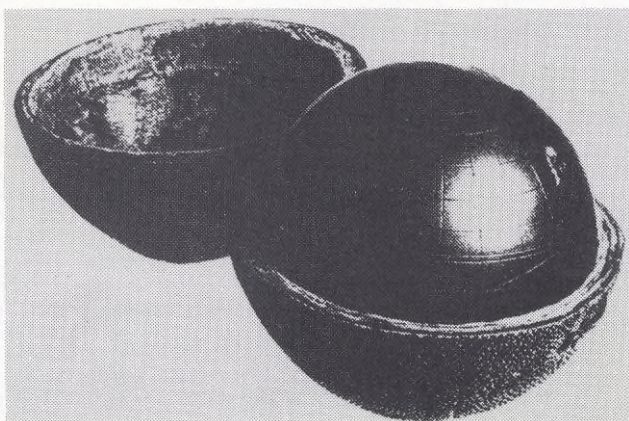


Plate 4. (A) Small eighteenth-century magnetic terrella, unsigned and undated. Engraved with lines corresponding to 'latitude' and 'longitude'. Diameter 58 mm. In velvet-lined fish-skin case. Inv. no. 57-84/271. Museum of the History of Science, Oxford.
 (B) Von Guericke's sulphur ball electrical terrella, 1660. From his *Experimenta nova Magdeburgica* (1672).

GAGING, MEASUREMENT AND THE CONTROL OF ARTIFICER'S WORK IN MANUFACTURING

Robert B. Gordon

Introduction

In craft methods of making mechanisms, decisions about the actual size and shape of each component are left to the artificer, who is free to adjust the parts as they are made and fitted, provided only that the completed mechanism functions. Products made this way are not standardized and the parts are not interchangeable with those in other examples of the same mechanism. The work of making individual parts cannot be easily divided among different artificers. If designers are to exercise close control over the configuration of a mechanism, and managers control over its production, a system of gaging or measurement is needed that can be used by artificers and inspectors in the work place. The development of such systems was one of the essential steps in the attainment of interchangeable manufacture in the 19th century.¹ The production of uniformly-made mechanisms, the introduction of piecework pay for artificers (by establishing objective standards against which to evaluate their work), and the division of labor or use of subcontractors to manufacture components that could subsequently be incorporated in a finished mechanism all became possible with the introduction of effective gaging systems. In this paper I will examine the development of instruments that could be used on the shop floor for the precise determination of size and shape and the attainment of skills in the use of these instruments among artificers.

Armory Gaging

The early development of interchangeable manufacture in the United States is best documented for the small-arms industry but important developments also took place in clock and watch making. The enthusiasm for the use of interchangeable parts arose among French engineers, scientists, and army officers in the late 18th century.² At the St Etienne armory, Honoré Blanc developed methods, described in a report of a committee of the French Academy of Sciences prepared in 1791,³ for making musket locks that were publicly demonstrated to be inter-

¹ Paul Uselding, 'Measuring techniques and manufacturing practice', in *Yankee Enterprise*, Washington, 1981, pp. 103-126.

² David A. Hounshell, *From the American System to Mass Production, 1800-1932*, Baltimore, 1984, pp. 25-28; M. R. Smith, ed., *Military Enterprise and Technological Change*, Cambridge, 1985, p. 46.

³ W. F. Durfee, 'The first systematic attempt at interchangeability in firearms, *Cassier's Maga-*

changeable. French officers serving in the United States Army, of whom Anne Louis de Tousard was the most influential, were strong advocates of uniformity and interchangeability in ordnance. Their influence, and the obvious need to establish some measure of uniformity in the disparate collection of artillery held by the Army, led Secretary of War James McHenry in 1798 to establish uniformity as a goal for new weapons made for the army.⁴ At this time "uniformity" meant dimensional uniformity and, for small arms, was expressed as a requirement for interchangeability of component parts. The ideal desired was that parts taken from any weapon would fit, and function properly, in any other weapon of the same model. (Later the definition of uniformity would be broadened so as to include equivalence of physical properties, such as strength and hardness, in addition to uniformity of dimensions.)

The only method available for achieving uniformity in the early years of the 19th century was to make a pattern arm having the characteristics desired and then duplicate the pattern with the aid of gages. The concept of a mechanical gage was well established in Europe since Christopher Polhem (1661-1751) appears to have made gages for controlling the sizes of mass-produced metal stock and parts of mechanisms in Sweden early in the 18th century.⁵ The gaging system that was developed at the U. S. armories appears to have followed the principles of the gages for the French M1777 musket since all surviving examples of 19th century gages used by Ordnance Department inspectors and the national armories are similar in design to the French gages for this model musket preserved at the Army Museum in Paris. Unlike the French gages, which are highly finished, surviving examples of American armory gages are strictly utilitarian and are intended for daily use.

Eli Whitney was one of the first American entrepreneurs to develop an interest in interchangeable manufacture and he became an effective publicist for this system of making small arms. He used his intention to achieve interchangeability to help win the contract for muskets that allowed him to start the Whitney Armory in 1798. However, the greatest strides toward the attainment of interchangeability in small arms were made at John Hall's rifle works at Harpers Ferry (West Virginia), Simeon North's armory in Middletown (Connecticut), and the Springfield Armory (Massachusetts).

The U. S. rifle M1819 made to Hall's design was found to be interchangeable by the Chief of Ordnance in 1827⁶ and it is reported that Hall used a set of 63 gages to attain this end.⁷ Simeon North began to make M1819 rifles in 1829 and,

zine 5 (1893-94): 475.

⁴ Edward C. Ezell, *The Development of Artillery for the United States Land Service Before 1861*, M.A. thesis, University of Delaware, 1963.

⁵ Anon. *Christopher Polhem, 1661-1751, the Swedish Daedalus*, Stockholm: Swedish Technical Museum, 1985, p. 27; Torsten K. W. Althin, *C. E. Johansson 1864-1943, the Master of Measurement*, Stockholm, 1948, pp. 47-51.

⁶ Letter to the Secretary of War, 31 January 1827 quoted by Thales L. Ames, Captain John H. Hall: His contribution to the art of arms, *Army Ordnance* 3 (1923): 346-349.

⁷ Smith 1985 (note 2 above) p. 63.

with the aid of gages of his own making, satisfied Hall that his rifles were interchangeable with those made at the Harpers Ferry Rifle Works.⁸ Claims of the attainment of interchangeability before 1828 made by 19th century writers have sometimes been found, as in the case of the Whitney Armory,⁹ to be inaccurate but recent tests made at the Springfield Armory Museum have shown that the breech blocks of rifles made at Harpers Ferry and Middletown do interchange without significant loss of functioning capability.¹⁰ No trace of the design of the gages used by North and Hall has been found, but the evolution of gaging at the Springfield Armory can be traced with more confidence.

In response to instructions from the Ordnance Department in 1817, Superintendent Roswell Lee and Master Armorer Adonijah Foot began to develop gages at Springfield for both inspection of finished muskets and for artificers to use in the course of their work.¹¹ Each gage had to be hand filed and repeatedly compared to the pattern part until the gage maker's sense of touch or visual judgement showed that a satisfactory fit was attained. If too much metal were cut away between trials, the job would have to be started afresh. Making these gages was a slow and difficult task,¹² but a sufficient number of gages were made so that the *Regulation for the Inspection of Small Arms* of 1823 could call for the use of eleven gages in the inspection of contract arms.¹³ Of these, only the bore gage was of the go/no-go type; for all other gaged dimensions, the acceptable degree of fit of the part to the gage was left to the judgement of the inspector.

The practical gaging system subsequently used at Springfield was put in place in the decade of the 1830's. Both the documentary and material evidence of this development is sparse but a "List of one set of Verifying Instruments for the Model Musket of 1835" gives short descriptions of the 53 gages used for testing this musket.¹⁴ The following types of gages are listed:

⁸ S. D. N. North & R. H. North, *Simeon North, First Official Pistol Maker of the United States*, Concord (New Hampshire), 1913; M. R. Smith, *Harpers Ferry and the New Technology*, Ithaca, 1977, p. 211.

⁹ Robert S. Woodbury, 'The legend of Eli Whitney and interchangeable parts', *Technology and Culture* 1 (1960): 235-253, see p. 247.

¹⁰ R. B. Gordon, 'Simeon North, John Hall and Mechanized Manufacturing', *Technology and Culture*, in press, 1989.

¹¹ Smith 1977 (note 8 above), p. 109; 1985 (note 2 above), p. 60.

¹² Springfield Armory Museum Library, letter file, Lee to Bomford, 31 August 1822.

¹³ *Regulation for the Proof and Inspection of Small Arms Made under Contract with the United States*, Washington, 1823; copy in the Eli Whitney papers, Yale University Library.

¹⁴ Manuscript, Springfield Armory Museum Library.

| | | | |
|----|----------------------------|---|--|
| 27 | groove gages | 1 | gage for the stock |
| 17 | receiving gages | 1 | tap and size die, for the breech screw |
| 7 | patterns | 1 | screw wrench gage |
| 3 | gage mandrils | 1 | screw plate for gaging screws |
| 3 | tapped gages | 1 | barrel vent gage |
| 2 | bore (plug) gages | 1 | apparatus for testing the stiffness of main springs |
| | 1 length gage (for barrel) | | |

Some of the gages used at Springfield before 1860 have been illustrated by Dixie.¹⁵ They are quite similar to the corresponding items in the complete set of gages for the M1841 rifle now at the National Museum of American History. This set of gages includes several location gages (which show the relative positions of different parts of the weapon, such as the location of the cone relative to the breech), patterns, receiving gages, thread gages, and groove, hole and plug gages. A *pattern* is a model of an individual part made so as to facilitate comparison with an artificer's work; the pattern for the tumbler in the M1841 lock mechanism is shown in figure 1. A *receiving gage* is cut to the outline of a part, which is tested by finding how well it fits into the gage. A receiving gage for the lock plate of the M1841 rifle is shown in figure 2. A *groove or hole gage* is a slot or a hole cut in a metal plate to specify one dimension; the part is tested by inserting it into the groove or hole. A groove gage used for testing the sear of the M1841 rifle lock is illustrated in figure 3. *Limit or go/no-go* gages specify upper and lower limits for a dimension. The only limit gages in the set for the M1841 rifle are the "go" and a "no-go" plugs for testing the bore diameter of the barrel. A *thread gage* consists of a short section of standard screw thread intended to show the thread form, pitch and diameter; the gage for the breech plug thread is illustrated in figure 4.

Examination of the gages for the M1841 rifle shows that they were all made by hand filing.¹⁶ Although the gages supposed to have been used at Springfield in 1819 are described by Dalliba¹⁷ as made of hardened steel, and Roswell Lee proposed that gages be case hardened, the gages in the 1841 set appear not to have been hardened (except for the barrel plug gages) and so would be subject to loss of accuracy through wear. Designing and subsequently making a set of gages that would assure the interchangeability of all the parts in a musket was a difficult task to complete without machine tools. It, as well as preparation of duplicate gages and their intercomparison, required a substantial investment that could only be justified by a large production run of a standardized product.

¹⁵ E. A. Dixie, 'Some old gages and filing jigs', *American Machinist* 31-2 (1908): 381-3.

¹⁶ R. B. Gordon, 'Material evidence of the manufacturing methods used in "armory practice"', *IA, Journal of the Society of Industrial Archaeology* 14 (1988): 23-35.

¹⁷ James Dalliba, 'Armory at Springfield', *American State Papers, Class V, Military Affairs, II* 543-554, Document 246, 1819.

Clock Gaging

In the early decades of the 19th century, the practical requirements of production led to the introduction of a gaging system in another U. S. industry, the manufacture of clocks with wooden works. Eli Terry made 3000 clocks in 1809 by assembling parts made by contractors and checked by gages. Additional gages were used by artificers to control the dimensions of parts they were making.¹⁸ Clock mechanisms did not require as close tolerances as musket locks, but the principle of the gaging system used for clocks was applicable to small arms. According to Hoke¹⁹ some of the clock gages were of the go/no-go type, which would make them a more advanced type than those generally used by armories in the 19th century. The degree of uniformity achieved with these gages is shown by Hoke's data on unused parts now in the collection of the Connecticut Historical Society. Hoke measured dimensions of 29 examples of a Hopkins and Alfred eight-leaf pinion probably made sometimes before 1838 and found that the average of the extreme variation of eight dimensions on 29 parts was 0.020 inch.²⁰

Use of Gages

The armory and clock gages developed in the first half of the 19th century define the size and shape of parts to be made by artificers but do not (with a few exceptions) set limits on the amount of variation between parts that is acceptable. For example, the receiving gage illustrated in figure 2 will reject a lock plate that is oversize at any point but will accept a plate that is undersize by any amount. How closely the finished part is to fit into the cavity of the gage is left to the judgement of the user of the gage. The same is true of the groove and hole gages. Since an experienced artificer can detect by the sense of feel how well a part fits a gage to better than 0.01 mm, such gages can be used to achieve very close tolerances, as was done at the Springfield Armory in the last decades of the 19th century.²¹ However, the use of these gages in the shop depends on artificers, inspectors, and managers reaching a mutual understanding as to what tolerances they will accept and on the judgement skills of inspectors and artificers in actually using the gage. Introduction of these gages, considered to be an essential part of "armory practice", neither established complete control of the production process in the hands of managers nor eliminated the exercise of individual judgement on the part of the artificers.

¹⁸ Donald Hoke, *Ingenious Yankees, the Rise of the American System of Manufactures in the Private Sector*, Ph.D. dissertation, University of Wisconsin, Madison, 1984, pp. 59-89.

¹⁹ Hoke 1984 (note 18 above) p. 885.

²⁰ Hoke 1984 (note 18 above) p. 102.

²¹ R. B. Gordon, 'Who turned the mechanical ideal into mechanical reality?', *Technology and Culture* 29 (1988), in press.

Development of Armory Gaging

Once the basic system of gaging was in place, subsequent changes in gage design and gaging practice at the armories were gradual and evolutionary. The total number of gages as listed in the Springfield Armory inventories during the years leading up to the attainment of full interchangeability are,

| | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|
| Year | 1834 | 1835 | 1838 | 1839 | 1842 | 1844 |
| Number | 382 | 482 | 566 | 666 | 754 | 754 |

During this decade the number of artificers at the Armory was fairly steady at about 250 and only one basic model of arm was being made. The large number of gages on hand implies that they were widely used by artificers throughout the armory. In 1848 Springfield finally attained practical interchangeability in its muskets through the use of this gaging system.

The years 1834 to 1842 were a period of remarkable technological change at the Springfield Armory. A system of interchangeable manufacturing was developed based on the use of metal cutting tools to bring forged parts to approximate shape followed by hand filing to dimensions closely controlled by comparison with an extensive set of gages.²² Specification of dimensions by measurement was not used and quality standards rested with the interpretations of goodness of fit by artificers and inspectors. Once this system proved satisfactory for the production of uniform arms, it was not changed. Instead of evaluating gaging needs against product performance, the principle of uniformity was extended and refined in ways that may have been aesthetically satisfying but which had no economic basis. The gages used in the early decades of the 20th century were a direct outgrowth of those developed sixty years before; the gaging used for the M1903 Springfield rifle was an outgrowth of that for the M1892 (Krag), which was in turn developed from the gages used for the M1884 and the M1873 rifles.²³ As an economy measure, old gages were often modified for the new rifle designs. Some of the gages used for the '03 in 1916 are of the same design as those made for the M1841 rifle.

By 1854 the manufacture of the gages developed at the armories had become a routine part of the business of commercial firms. The British commissioners sent to the U. S. in 1854 to obtain tooling for the Enfield Armory bought a complete set of gages from the Ames Manufacturing Company of Chicopee, Massachusetts, for the new Enfield rifle. There were 51 gages for metal parts and 15 for the stock. Also included were 37 jigs and fixtures to be used in both hand and machine work. This order was executed in one year at a cost of \$ 5600. These tools were evidently made to fit one of the pattern Enfield rifles that the commissioners brought to the U. S. The tender for the order was drawn up during the

²² Gordon 1988 (note 21 above).

²³ Earle McFarland, 'Gaging the Springfield rifle', *Army Ordnance* 4 (1924): 367-371.

relatively short time the commissioners were visiting the Springfield area in the late summer of 1854,²⁴ from which we may infer that it was routine business for Ames. Thus, the manufacture of gages, jigs, and fixtures became an important part of the business of American toolmaking firms and undoubtedly contributed to their growing technological maturity. Commercial makers of small arms, however, used gaging and interchangeability only to the extent that it was economic for them to do so and did not use the elaborate gaging systems found in the federal armories.²⁵

Measurement Technology

Throughout the 19th century, the inventories of tools at the Springfield Armory include very few measuring instruments. The earliest description of measuring equipment used at the Armory is for a device used in 1848 to graduate steel scales by transfer of divisions constructed on paper with dividers.²⁶ A vernier caliper measuring to 0.001 inch is illustrated by Wade in an Ordnance Department report,²⁷ figure 5, but this was used for measuring mechanical test specimens in research rather than in production work. It anticipates the form of the micrometer caliper developed 17 years later by Brown & Sharpe.

Since the Armory artificers had no measuring instruments, dimensions placed on drawings could not be used in manufacturing operations to determine the sizes of parts. Drawings of both machinery and small arms parts were usually made either full size or to scale without any dimensions shown. For example, drawings of lock mechanisms, probably made by James Burton about 1850 and now preserved at the Harpers Ferry National Historic Site, are full-scale layouts of the mechanism with no dimensions specified; his machinery drawings are similar in style although on a reduced scale. There is a long history of the development of measuring technology for mechanical engineering in Europe beginning with James Watt's screw micrometer of 1772, Maudsley's "Lord Chancellor" measuring engine, and continuing with Whitworth's "millionth machine".²⁸ These machines were one-of-a-kind instruments not intended for the use of artificers. Whitworth developed a system for precisely subdividing the yard, foot, and inch to make standard gages but his methods did not lend themselves to manufacture of gages on a large enough scale to permit their widespread use on the shop floor.²⁹ Whitworth's gages were not intended for testing work pieces directly but were to be used to take the place of scales for setting calipers.³⁰ By mid-century,

²⁴ Nathan Rosenberg, ed., *The American System of Manufactures*, Edinburgh, 1969, pp. 187-190.

²⁵ Robert A. Howard, 'Interchangeable parts reexamined: The private sector of the American arms industry on the eve of the Civil War', *Technology and Culture* 19 (1978): 633-659.

²⁶ Ambrose Webster, 'Early American steel rules', *American Machinist*, April 12, 1894, p. 7.

²⁷ W. Wade, *Reports on Experiments on the Strength and Other Properties of Metals for Cannon*, Philadelphia, 1856.

²⁸ K. J. Hume, *History of Engineering Metrology*, London, 1980, pp. 2-11.

²⁹ George Bond, *Standards of Length and their Practical Application*, Hartford, 1887, p. 142.

³⁰ Uselding 1981 (note 1 above) p. 113.

measuring technology was not yet used directly in shop work in either Europe or America.

One of the earliest steps toward the introduction of measuring technology in American industry took place at the Waltham Watch Company in the 1860's. Watch parts are too small to be gaged successfully by armory methods and Hoke³¹ has shown how Waltham developed a set of gages based on the pivot indicator (also known as the douzième gage, first described by Berthoud in 1763). Some time in the 1860's Waltham also began to use an early form of the dial gage. These gages were calibrated to show dimensions in metric units and were in general use throughout the Waltham factory by 1863. Their use made interchangeable manufacture of watches possible. As Hoke points out, leadership in gaging technology had passed from the armories to other industries by 1860.

Important developments in measuring technology for general shop use in manufacturing began in the United States in 1851, when the Brown & Sharpe Company made their first vernier caliper for use by mechanical artificers. Shortly thereafter Brown & Sharpe began to manufacture engine-divided graduated steel scales³² but the most important development was the commencement of commercial manufacture of the micrometer caliper in 1867. The modern form of the screw caliper was devised by Jean L. Palmer of Paris in 1848. The original Palmer caliper was of limited use for precise measurement because it had a coarse thread and could only be read to 0.1 mm.³³ I have no evidence on how widely the Palmer instrument was used in European manufacturing but it was used in research. For example, Styffe³⁴ used a Palmer sheet metal micrometer having a one millimeter pitch and reading to 0.01 mm to measure the reduction in area of tensile test specimens in his research on the strength of iron and steel for the Swedish railways. Independently of Palmer, S. Wilmot of the Bridgeport Brass Company designed a screw caliper gage for measuring the thickness of brass sheet but this instrument was difficult to read because it was graduated with continuous spiral lines. J. R. Brown and L. Sharpe bought a Palmer micrometer in Paris in 1867 and then put together the Palmer system of graduation and the Wilmot caliper design to make their first commercial instrument.³⁵

Over the next twenty years the micrometer caliper then went through a series of design changes at the hands of different mechanics that made it into a

³¹ Hoke 1984 (note 18 above) p. 336. Drawings of a number of the Waltham gages survive in the collections of the National Museum of American History and are reproduced in Hoke's dissertation.

³² Luther Burlingame, 'Pioneer steps toward the achievement of accuracy', *American Machinist* 41 (1914): 237-243.

³³ Luther Burlingame, 'How we came to have the micrometer caliper', *Machinery* 21 (1914-15): 777-783; see also the photograph in Althin 1948 (note 5 above) p. 59.

³⁴ Knut Styffe, *The Elasticity, Extensibility and Tensile Strength of Iron and Steel*, C. P. Sandberg, trans., London 1869, p. 12.

³⁵ L. Sharpe and others, 'The development of the micrometer caliper', *American Machinist* 15 (1892) 15 December pp. 9-10; Burlingame 1915 (note 33 above).

supremely practical, precision instrument for shop use. The one-inch screw caliper appeared in the Brown & Sharpe catalog in 1877, where it was first called a "micrometer". George M. Pratt of the Victor Sewing Machine Co, an early competitor of Brown & Sharpe, patented the "U"-shaped frame with inserted, hardened measuring points and developed superior manufacturing methods for micrometer screws, which Brown & Sharpe bought in 1883. The protected screw design was patented by A. J. Wilson of Boston in 1883 and in the same year George W. Church patented the ratchet stop.³⁶ The instruments manufactured by Brown & Sharpe were of very high quality. For example, a 25 mm Brown & Sharpe micrometer made in about 1877 was tested at the National Physical Laboratory in 1978 and found to be in error by less than 0.005 mm.³⁷ Other firms began to manufacture micrometers in this period and the L. S. Starrett Co developed into a major competitor to Brown & Sharpe after 1876. As late as 1924, Starrett and Brown & Sharpe were considered to have a monopoly of the market for micrometers in Britain.³⁸ Joshua Slocomb began making micrometers in 1893 with the intention of supplying them at a low enough cost that every machinist could afford to own one.³⁹ One of his instruments, used for many years in a machine shop, is shown in figure 6; the finish and lettering are not as elegant as on the Starrett and Brown & Sharpe instruments but its accuracy and durability are as good and it was within the means of any mechanic to purchase one.

Adoption of Measurement in Manufacturing

How quickly the micrometer caliper came into general use in manufacturing has not yet been established. The Springfield Armory did not yet own a micrometer caliper in 1872 and dimensional measurement apparently still had little place on the work floor of the armory since there were only 15 graduated steel scales listed in the Armory inventory for that year. Slocomb claimed that micrometers were not generally used in the Brown & Sharpe factory when he was an employee there in the late 1880's but Burlingame disputed this, saying that Brown & Sharpe were making micrometers in lots of 100 before 1880.⁴⁰ One way of testing the extent to which micrometers were used is by the frequency with which they were mentioned in the *American Machinist*, a journal that reported developments in manufacturing method and published comments from practical mechanics. On the subjects of gages, micrometers, calipers, and scales, there was one article in

³⁶ Burlingame 1915 (note 33 above).

³⁷ Hume 1980 (note 28 above) p. 146.

³⁸ Hume 1980 (note 28 above) p. 149.

³⁹ J. T. Slocomb, 'The micrometer caliper as a machine shop gage', *Machinery* 21 (1914): 309.

⁴⁰ Slocomb 1914 (note 39 above); J. T. Slocomb, 'How we came to have the Slocomb shop micrometer', *Machinery* 21 (1914-15): 999-1000; Luther D. Burlingame, 'History of the micrometer again', *Machinery* 22 (1915): 58-59.

1888 (on micrometers, describing new models introduced by Brown & Sharpe) and, among the advertisements, three for standard dimension gages of the Whitworth pattern. The 1888 edition of the principal machine shop text in the United States contains an illustration of a micrometer but has little to say about its use.⁴¹ In the year 1898, however, there were 24 articles on gages and measurement including five on micrometers in the *American Machinist*; this level of publication continued in succeeding years. Thus, it appears that micrometers and interest in measuring techniques became much more general in the United States shortly after 1888. There seems to have been a parallel development in Sweden, since there were some 40 Brown & Sharpe micrometer calipers in use at the Eskilstuna rifle factory by about 1895.⁴²

The introduction and wide acceptance of the micrometer made it possible for artificers to work to dimensions specified to within 0.001 inch or better by the 1890's and eliminated the need for the manufacture of large numbers of gages when a new product was introduced; it was only necessary to specify the correct micrometer setting for each dimension to be checked. With accurate measuring instruments that could be used by artificers available, dimensioned drawings could be used in place of pattern arms (or other products) to specify what was wanted by a designer. The possibility of using dimensioned drawings in place of models had been discussed as early as 1852 by F. Redtenbacher,⁴³ but such drawings did not come into use until the last decades of the 19th century, when the necessary measuring instruments that could be used to check dimensions in the shop became available.

The introduction of the micrometer also made it possible to use machine tools more efficiently since an artificer could measure the size of a piece being machined, calculate how much material remained to be removed, and set the machine accordingly (provided the feed screws were graduated).⁴⁴ Once this technique was in place, the specification of tolerances to which work was to be held became possible. Sweden appears to have been in the forefront of this development since maximum and minimum gages for specifying tolerances were in use at the Eskilstuna rifle factory as early as the 1890's.⁴⁵ That gaging and measurement technology at the Springfield Armory had fallen behind the best practice by the 1920's is shown by McFarland's observation that, "It can almost be said that the first set of gages used for the '03 allowed no tolerance whatever" and, in consequence, each inspector carried the real tolerances "under his hat" shows that.⁴⁶

⁴¹ Joshua Rose, *Modern Machine Shop Practice*, New York, 1888, plate 15.

⁴² Althin 1948 (note 5 above) p. 73.

⁴³ Peter J. Booker, *A History of Engineering Drawing*, London, 1963, p. 188.

⁴⁴ Slocumb 1914 (note 39 above).

⁴⁵ Althin 1948 (note 5 above) p. 42.

⁴⁶ McFarland 1924 (note 23 above).

Implications and Conclusions

Theoretically, a fully effective set of manufacturing gages should establish complete control over the work done in the shop and eliminate all discretion by artificers in judging the size of the parts they make. To ensure economical production, the gaging system must be efficient in the sense that each dimension that must be controlled is gaged to the greatest acceptable tolerance and no unnecessary dimensions are gaged. Although they have not yet been analyzed in detail, the gaging systems developed at the American armories in the 19th century do not appear to have been very efficient. They did not provide for limits on the dimensions gaged and appear to have specified many dimensions to closer limits than were necessary for the effective functioning of the mechanism. The subsequent development of armory gaging in the United States was towards an increase in the number of dimensions gaged rather than towards new principles of gaging, such as the use of limit gages. Gaging systems developed in other industries have not yet been studied by historians of technology in sufficient detail to permit comparisons with armory practice.

Although in principle gaging systems eliminated artificers' exercise of judgement skills, in fact they continued the dependence on the judgement of both the artificers and inspectors that had been needed before gages came into use. The skill called for was similar to that needed in fitting parts of mechanisms together, i.e., judgement of the niceness of fit of a part into a gage. However, the number of different dimensions that any one artificer or inspector had to deal with was reduced by the gaging system. As expectations on the closeness of fit of parts in mechanisms increased, the skill demanded of the users of the gages also increased. This type of gaging system did not eliminate the need for mechanical skills although it did alter the way in which these skills were deployed in the course of the work.

The principal change made in the armory system of gaging after the middle of the 19th century was the introduction of numerical indicators. In the United States, these were first used at the Waltham Watch Company and were gradually introduced into other industries as the appropriate measuring equipment became available. To use micrometers and other measuring instruments, artificers needed numerical skills that were not a part of the earlier work experience, which was largely geometrical rather than numerical. While no detailed study of the demands placed on artificers by the introduction of numerical methods has been done yet, it seems likely that the rate of adoption of micrometers was limited by the learning rate of artificers rather than by the capacity to produce adequate tools. (We have seen, for example, that Brown & Sharpe had the capacity to produce micrometers in large batches before 1880.) The adoption of numerical methods in the shop seems to have been much faster in the United States than in Britain. This may have been a consequence of the relatively low investment made in the education of artificers in Britain compared to the more widely available educational opportunities in the United States. It would be of interest to explore these comparisons for other countries.

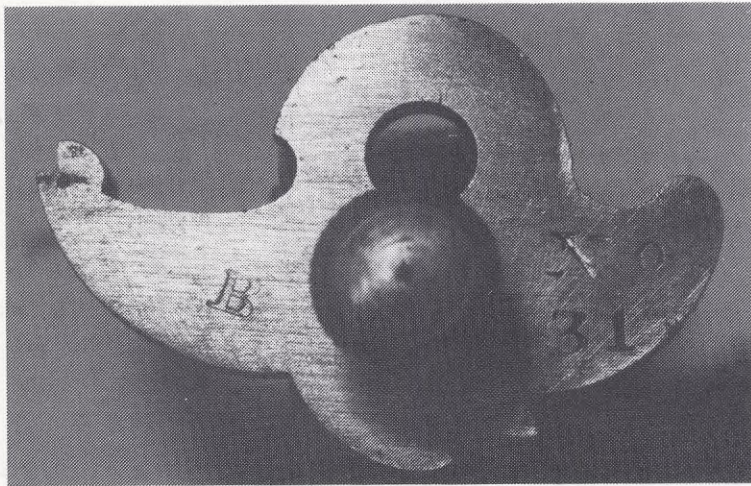


FIGURE 1. Pattern for the lock tumbler of the M1841 rifle. A small handle, slightly out of focus in the photograph, is provided for picking up the pattern. Photographed at the National Museum of American History.

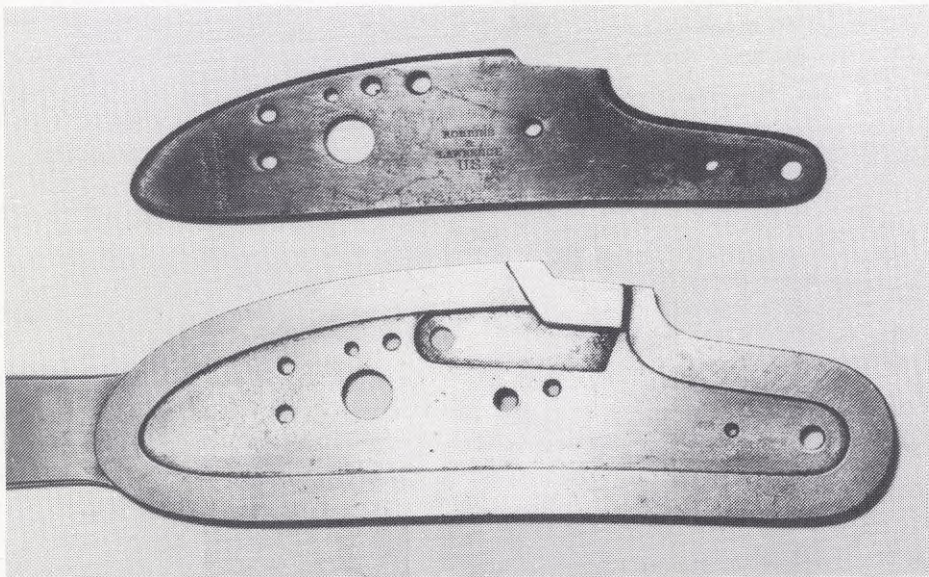


FIGURE 2. Receiving gage for the lock plate of the M1841 rifle. A finished lock plate is shown above the gage; it is tested by placing it into the cavity in the gage. Photographed at the National Museum of American History.

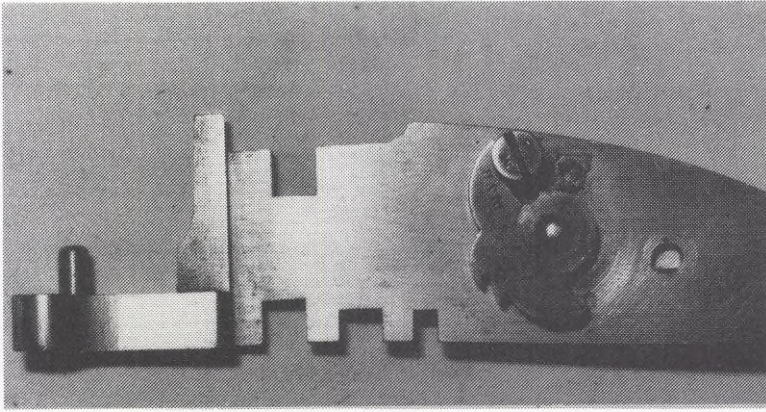


FIGURE 3. Gage for testing the sear of the lock mechanism of the M1841 rifle. A pattern of the sear is on the left hand side of the gage, the slots are for testing the thicknesses of different sections of the sear, and the hole on the right is for testing the engagement of the sear with the tumbler. Photographed at the National Museum of American History.

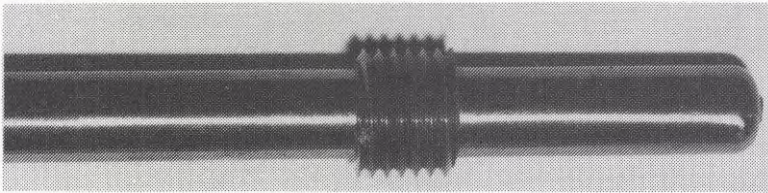


FIGURE 4. Thread gage for the M1841 rifle consisting of a short section of standard thread. Photographed at the National Museum of American History.

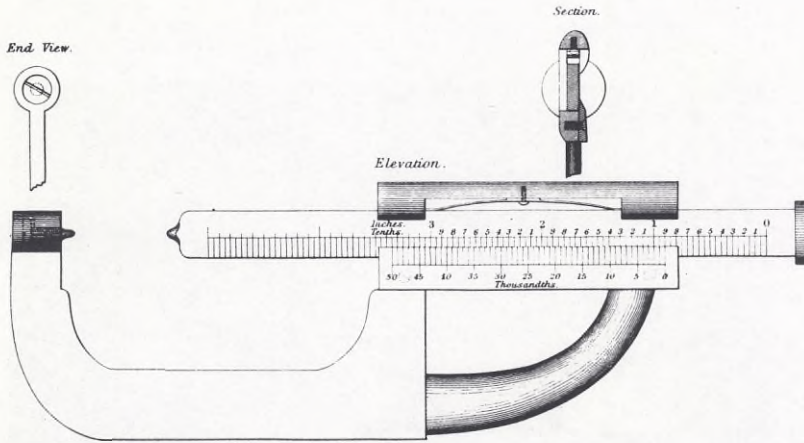


FIGURE 5. Vernier micrometer caliper used by William Wade in his tests on the strength of materials for the Ordnance Department in the 1850's. The instrument reads to thousandths of an inch.

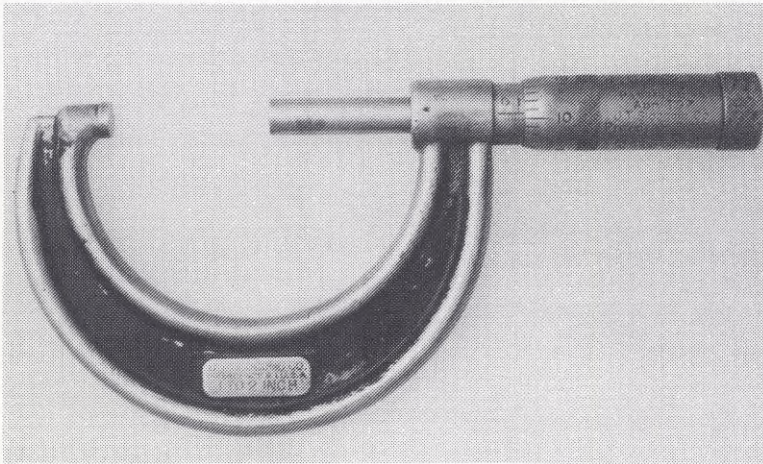


FIGURE 6. Micrometer caliper made by the J. T. Slocomb Company of Providence, Rhode Island, in the early 20th century and used for many years in a machine shop. Slocomb micrometers were made without frills so that any mechanic could afford to own one.

Curt Roslund

TYCHO BRAHE SOM INSTRUMENTMAKARE

Europas första egentliga observatorium låg på ön Ven i Öresund. Här på Uraniborg och Stjärneborg utförde Tycho Brahe åren mellan 1577 och 1597 de noggranna observationer som skulle leda Kepler till den banbrytande upptäckten om planeternas rörelse som finns formulerad i hans tre berömda lagar. Här tillkom också den stjärnkatalog som skulle framstå som oöverträffad i fråga om exakthet i mer än hundra år. Med sinnrikt konstruerade instrument och en förbättrad observationsteknik lyckades Tycho Brahe på några få år driva upp mätnoggrannheten till gränsen för det obeväpnade ögats förmåga. Sammanlagt förfärdigades ett tjugotal större precisionsinstrument under Tycho Brahes ledning, och han framstår därför som en av den tidens främste instrumentmakare. Instrumenten har alla gått förlorade men vi känner ändå ganska väl till dem tack vare Tycho Brahes egen beskrivning och avbildningar i sin bok *Astronomiæ Instauratæ Mechanica*¹ eller Den mekaniska delen av den förbättrade astronomin.

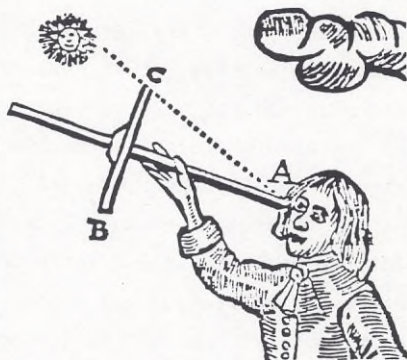
Instrumentinnovatör

Tycho Brahes skicklighet som instrumentkonstruktör framstår klart redan då han 1569 som blott 22-årig i Augsburg i södra Tyskland lät tillverka ett helt nytt slag av instrument för mätning av vinkelavstånd mellan stjärnor. Det fanns redan ett instrument, jakobsstav eller korsstav, för sådana mätningar, men det var behäftat med en rad svagheter som Tycho Brahe mycket väl kände till. Han hade observerat med en jakobsstav sex år tidigare under sin studietid i Leipzig.

En jakobsstav består i princip av en graderad trästav utefter vilken man kan skjuta en tvärsål fram och tillbaka. När man skulle mäta avståndet mellan två stjärnor, syftade man längs staven mot stjärnorna och förde tvärsålen till ett läge där de båda stjärnorna precis syntes i var sin kant på tvärsålen. Tvärsålens längd och avstånd från ögat gav då den vinkel under vilken man såg stjärnorna.

Jakobsstavens största svaghet låg i att man vid fininställningar nästan alltid måste korrigera såväl stavens riktning som tvärsålens läge, och det

var mycket svårt att exakt samordna dessa båda ändringar. Därtill kom nackdelen med en olikformig avläsningsskala, om graderingen skulle ange vinkelmått. Konstruktionen var klen och rankig vilket uppenbart minskade dess tillförlitlighet.



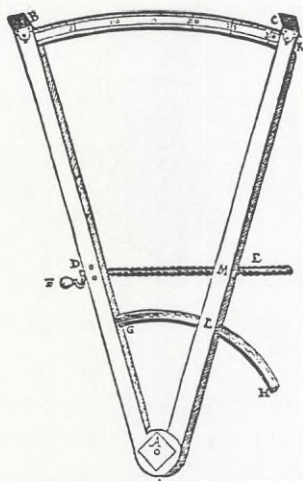
Figur 1. Jakobsstav för uppmätning av vinkeldistanser på himlen².

Tycho Brahes konstruktion tog hänsyn till alla dessa svagheter. Den bestod av en bastant passare med kraftiga träben som kunde öppnas 30° . Den kallades sextant trots att den beteckningen egentligen avser ett instrument med en mätskala på 60° . Konstruktionen var enkel och funktionell och lätt att använda. Man lade den på höger armbåge då man skulle mäta och fattade sextantens vänstra ben i ett fast grepp med höger hands fingrar. Observatören pressade kindbenet mot passarens centrum, riktade in sextanten i linje med stjärnorna och siktade med vänster bens insida mot en av stjärnorna. Därefter vred han sakta och försiktigt med vänster hand en skruv som reglerade öppningen mellan passarens ben till dess att höger bens insida vidrörde den andra stjärnan. Denna fininställning kunde göras med stor precision. Avläsningsskalan var en cirkelbåge med likformig gradering som tillät avläsningar på en bågminut. Med ett liknande instrument kunde Tycho Brahe på Herrevadskloster i Skåne visa, att den nya stjärnan eller novan som uppenbarade sig 1572 var en fixstjärna och inte blott dunster i jordens närhet.

Sextanten representerade ett stort framsteg jämfört med jakobsstaven, men den var inte helt utan fel. Eftersom ögat befann sig några centimeter bakom passarens och avläsningsskalans mittpunkt måste mätningarna korrigeras för parallax. Men parallaxen kunde teoretiskt beräknas. Den fanns tabellerad på instrumentets baksida. Tycho Brahe var förmodligen den förste att undersöka

och korrigera för instrumentfel.

Sextanten saknade inställningssikte för ögat. Men för vinkelmätningar spelar det faktiskt mycket liten roll var exakt i sidled som ögat placeras bakom passaren. Annorlunda förhåller det sig om man i stället vill fastställa positioner på himlen. Då behövs ett sikte vid ögat för att definiera riktningen.



Figur 2. Tycho Brahes första sextant från 1569¹.

Instrumentsikten

Sedan gammalt brukade man som sikten använda ett runt hål i två små metallplattor ställda vinkelrätt mot en siktstav. När en stjärna sågs mitt i hålen, definierade de stjärnans position. Små hål gav hög inställningsnoggrannhet, men i gengäld försvårades inställningen eftersom man inte kunde se stjärnan utanför hålen och därför inte visste hur man skulle pejla in den. Vanligtvis hade hålen en öppning på flera bågminuter för att det över huvudtaget skulle finnas en chans att hitta stjärnan.

På Herrevadskloster använde Tycho Brahe också sin sextant för att mäta stjärnors höjder över horisonten genom att ställa den på högkant i meridianen. I norr och söder visste han att stjärnorna rörde sig parallellt med horisonten och därför hade han inga problem att fånga in dem i siktena. I stället för runda hål använde han vågräta smala springor och kanter. Han kunde då

följa stjärnorna när de vandrade genom siktena och hinna göra sina mätningar med extra stor omsorg.



Figur 3. Tycho Brahes konstruktion av sikten¹.

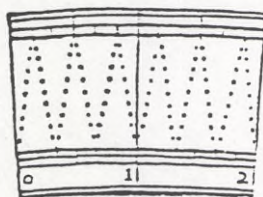
Det var säkert under dessa observationer som Tycho Brahe kom på idén till en ny revolutionerande konstruktion av sikten. I stället för bara en springa försågs ögonsiktet med två parallella springor några centimeter från varandra, medan objektivsiktet fick formen av en kvadratisk platta eller cylinder med samma tjocklek som avståndet mellan springorna. Genom att först titta genom den ena springan kunde observatören obehindrat se att ställa in en stjärna i motsvarande kant på objektivsiktet. Samma stjärna kom då också automatiskt att stå i den motsatta kanten sedd genom den andra springan. Fördes sedan ögat snabbt fram och tillbaka mellan springorna, uppstod en kinematisk effekt som gjorde att stjärnan syntes lysa med obrutet sken då inställningen var korrekt men blinka så fort som stjärnan stod snett. Metoden var lätt att tillämpa och den var extremt känslig. I ett slag blev det möjligt att ställa in på bråkdelar av en bågminut när man tidigare måst nöja sig med en inställningsnoggrannhet på flera bågminuter. Endast en instrumentmakare som samtidigt var en observerande astronom kunde komma på en så genial metod. Redan ett av de första instrumenten som lämnade instrumentverkstaden på Ven, en mässingskvadrant, var försett med detta sikte.

Instrumentskalor

En förbättrad inställningsteknik måste matchas av en tillsvarende avläsnings-

noggrannhet. Ett sätt att höja precisionen i avläsningarna var att göra instrumenten stora med långa skalor med plats för många skalstreck. Under sin ungdomsvistelse i Augsburg hade Tycho Brahe själv varit med om att bygga ett mastodontinstrument, en träkvadrant, med en radie på 5,5 meter och skalstreck för varje bågminut. Men den noggrannheten var närmast en chimär. Bortsett från att kvadranten bara var försedd med hålsikten, uppvägdes fördelen av den stora skalan mer än väl av svårigheten att hantera det flera hundra kilo tunga instrumentet som till yttermera visso inte var upphängt i tyngdpunkten utan i kvadrantens spets.

Nu fanns det redan på Tycho Brahes tid olika sätt att öka avläsningsnoggrannheten även för små skalor. När inte alla skalstrecken fick plats på längden försökte man utnyttja skalans bredd. Man kunde tex lägga flera skalor med något olika delning under varandra. Tycho Brahe använde denna metod på sin första kvadrant 1573. Den hade 45 graderade bågar på en skala som sträckte sig från periferin mer än halvvägs mot centrum. Men metoden var opraktisk. Skalorna gav inte mätvärdena direkt i grader och minuter utan de fick räknas om eller tas ur tabeller. Han utnyttjade metoden i en förenklad form också på en mässingskvadrant 1577, men efter den försågs inga fler instrument med en sådan skaldelning.



Figur 4. Tycho Brahes transversaldelning av två grader i bågminuter¹.

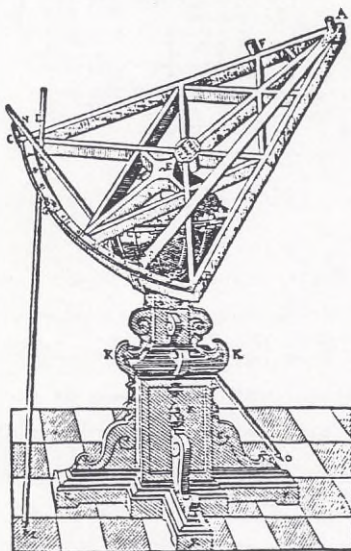
I stället begagnade sig Tycho Brahe av en metod som kallas transversaldelning. Jakobsstaven som han observerade med under sin studietid i Leipzig hade en sådan gradering. Även här använde man sig av flera skalor under varandra. Men eftersom alla skalorna hade samma delning och låg systematiskt förskjutna i förhållande till varandra, återfanns samma skalstreck på en rät linje (transversal) som snett korsade skalorna. Metoden var inte ny men Tycho Brahe var först om att tillämpa den på cirkelbågar. Han förenklade den också genom att enbart markera skalstrecken som punkter utan att sätta ut tillhörande cirkelbågar. Det gjorde att graderingen blev lättare att över-

blicka och avläsa. Även mindre instrument kunde nu graderas i bågminuter och avläsas på delar av en bågminut.

Instrumentutveckling

Nya instrument tillkom i en stadig ström på Ven i förbättrade versioner. Den första handhållna robusta träsextanten ersattes av en gracil stålsextant monterad på ett höj- och sänkbart stativ. Den hade något mindre dimensioner för att hålla nere vikten av stålkonstruktionen. Instrumentets stabilitet i förening med transversaldelningen garanterade ändå exakta mätvärden.

Utan ögonsikte var denna sextant liksom sin föregångare behäftad med parallaxfel. Så länge som bara en observatör gjorde inställningarna, kunde inte heller det nya siktets unika egenskaper fullt utnyttjas. Den kinematiska effekten uteblir nämligen i stort sett då man samtidigt försöker iaktta två objekt i olika riktningar. För att kunna använda sina sikten tvingades Tycho Brahe ta ett radikalt steg. Han vände nästa sextant bakfram och lät två observatörer sikta på var sitt objekt över ett sikte i sextantens centrum från två skjutbara ögonsikten på periferin. Det är en inte ovanlig missuppfattning att tro att mer än en observatör var till förfång för observationerna³. Det är i stället tvärtom så att två observatörer är oundgängliga för att den grad av noggrannhet som Tycho Brahe eftersträvade skulle kunna uppnås.



Figur 5. Tycho Brahes stora sextant från 1582¹.

Sextanten var gjord i trä och hade en radie på 155 cm. Om ett så stort och massivt instrument skall kunna hanteras utan besvär av två observatörer, krävs att den har maximal rörlighet och manövrerbarhet. Därför uppfann Tycho Brahe en ny typ av stöd; ett träklot fäst i sextantens tyngdpunkt. Härigenom kunde instrumentet lätt riktas mot alla håll och kanter under bibehållande av sin jämvikt. Denna sextant är ett utomordentligt fint exempel på Tycho Brahes förmåga till djärva okonventionella tekniska lösningar. Varje detalj är väl genomtänkt och har sin bestämda funktion.

Instrumentmångfald

Sextanten var speciellt framtagen för uppmätning av vinkeldistanser. Andra arbetsuppgifter krävde tillgång till andra slag av observationsinstrument. För bestämning av positioner på himlavalvet som höjd och azimut var en kvadrant uppställd vertikalt och vridbar kring en lodlinje mer ändamålsenlig. Även här experimenterade Tycho Brahe med olika utföranden, storlek och material. När han inte kom tillräta med friktionen hos en stor stålkvadrant, vände han den helt enkelt upp och ned och fick så till slut ändå ett funktionsdugligt arbetsredskap.

Hans mest berömda kvadrant var den sk murkvadranten som var installerad i ett av rummen på bottenvåningen i Uraniborg. Den hade bara en enda rörlig del, ögonsiktet, som kunde föras längs en 8 cm bred väggfast mässingsskala med radien nära två meter. Skalan var exakt orienterad i meridianen. Objektivsiktet utgjordes av en fast cylindertapp i skalans centrum placerad i en öppning i väggen mot söder. Längre i instrumentförenkling kan man knappast komma. Murkvadranten är ett praktexempel på Tycho Brahes förmåga att ta fram och renodla ett instruments väsentligaste egenskaper och skapa ett lätthanterligt men på samma gång robust verktyg för noggranna observationer.

Murkvadrantens betydelse var främst att observationer i meridianen lätt kunde omräknas till himmelskoordinater som rektascension och deklination. Utanför meridianen måste motsvarande räkningar göras trigonometriskt, och innan man fick tillgång till logaritmer var dessa räkningar oerhört tidskrävande och arbetsamma. Man försökte därför redan under antiken skapa ett instrument bestående av en serie rörliga ringar, armillor, som kunde ställas in så att de direkt möjliggjorde avläsning av de önskade storheterna. För positionsbestämningar i ett system förbundet med ekliptikan använde man vanligen fem eller sex ringar, men Tycho Brahe lyckades konstruera ett instrument som

bara behövde fyra ringar. Denna zodiakal-armillarsfär blev dock en misräkning. Instrumentet var inte symmetriskt uppbyggt vilket ledde till att ringarna lätt deformerades med nedsatt noggrannhet som följd.

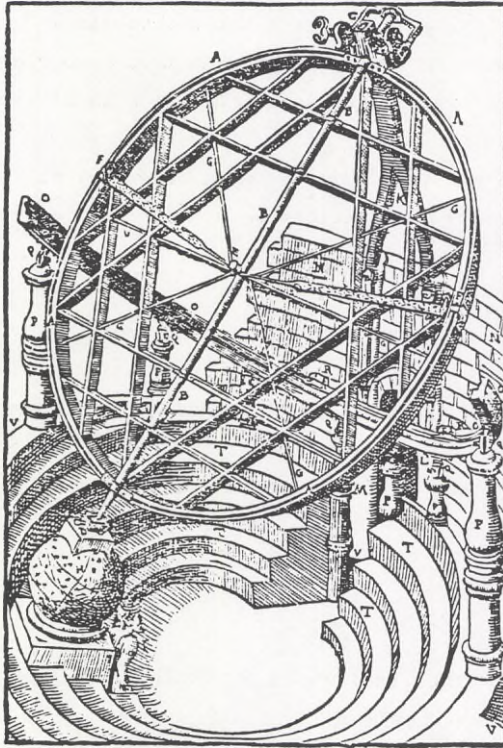


Figur 6. Murkvadranten på Uraniborg¹.

Tycho Brahe nöjde sig därför i fortsättningen med armillar-instrument som bara var ekvatoriskt uppställda och som alltid behöll tyngdpunkten i centrum hur de än orienterades. Hans förmåga till förenkling kom igen till bra uttryck i den stora armillan. Den bestod av en enda rörlig ring med radien 135 cm vridbar kring polaxeln för bestämning av deklinationer och av en fast halvcirkel med radien 175 cm parallell med himmelsekvatorn för bestämning av rektascensioner.

Den stora armillan tillsammans med murkvadranten och den stora sextanten är var och en för sig mästarprouv på Tycho Brahes enastående instrumentbyggerkonst. De är alla resultat av en målmedveten strävan att fullända den astronomiska mättekniken. Men det har funnits kritiker. Johann Repsold, en av de stora tillverkarna av avancerade astronomiska precisionsinstrument i början

på 1900-talet ansåg bestämt att många av instrumenten inte haft något nämnvärt astronomiskt berättigande utan mest tillkommit för att förse verkstaden på Ven med arbete⁴.



Figur 7. Den stora armillan på Stjärneborg¹.

Visst finns det något enstaka instrument som det är svårt att förstå skälen till. Ett sådant är azimut-halvcirkeln⁵. Belastad med konstnärlig utsmyckning och med en excentriskt placerad siktarm bryter den så fullständigt mot Tycho Brahes annars så funktionella formgivning. Han lyckades inte heller göra de sk parallelltiska linjalerna till arbetsdugliga instrument, men det berodde främst på att deras konstruktion byggde på en föråldrad teknik som inte nämnvärt gick att utveckla.

Instrumentprecision

Tycho Brahes skicklighet som instrumentmakare avspeglar sig bäst i den precision i mätningarna som hans instrument gav upphov till. John Dreyer fann i slutet av 1800-talet att Tycho Brahes positioner för nio fundamentalstjär-

nor i hans stjärnkatalog bara uppvisade en medelavvikelse på 49 bågsekunder från korrekta värden⁶. Nyligen har Walter Wesley studerat individuella mätningar i Tycho Brahes efterlämnade observationsjournaler och funnit betydande systematiska fel på upp mot två bågminuter i mätningarna av deklinationer även med ett tillförlitligt instrument som murkvadranten⁷. Men kring medelavläsningen för en stjärna visar mätningarna bara en spridning på 15 bågsekunder. Det är en fantastisk prestation när man betänker att stjärnor till följd av ljusets böjningsfenomen och avbildningsofullkomligheter i ögat uppfattas ha en storlek på två bågminuter eller mer. Det talar mycket för den omsorg varmed man bedrev observationerna och för den omtanke man ägnade instrumenten.

Av allt att döma var Tycho Brahe vad vi med ett modernt ord skulle kalla teknikfrälst. Han fann säkert stor tillfredsställelse i sina innovationer och instrumentskapelser. De betraktades också av hans samtid som tekniska underverk och framstod som viktiga förebilder. Men hans största betydelse låg i att hans verksamhet på Ven ledde till en ny insikt om instrumentens roll för astronomins framåtskridande.

Noter

1. Tycho Brahe, *Astronomiæ Instauratæ Mechanica* (Wandsbeck, 1598). En engelsk översättning av Hans Ræder, Elis Strömgren och Bengt Strömgren utgavs i Köpenhamn 1946 under titeln *Tycho Brahe's Description of his Instruments and Scientific Work*.
2. John Seller, *Practical Navigation* (London, 1669).
3. Wilhelm Norlind, *Tycho Brahe, Skånsk Senmedeltid och Renässans* 8 (Lund, 1970), 281.
4. Johann A Repsold, *Zur Geschichte der Astronomischen Messwerkzeuge* (Leipzig, 1908), 29.
5. Victor E Thoren, "New Light on Tycho's Instruments", *Journal for the History of Astronomy* 4 (1973), 41.
6. John L E Dreyer, *Tycho Brahe* (Edinburgh, 1890), 387-88.
7. Walter G Wesley, "The Accuracy of Tycho Brahe's Instruments", *Journal for the History of Astronomy* 9 (1978), 44.

Per Ragnarson

Instrumentksamlingar i Malmö

Tekniska Museet i Malmö visar i sin science center-inspirerade avdelning "Kunskapstivoli" en större del av vad som återstår av Märten Triewalds instrument- och apparatsamling från 1700-talets början (Polhem 1983/2, sid 133-140). Samlingen representerar dåtidens, enkannerligen Isaac Newtons fysik och mekanik med speciellt intressanta inslag av optik. Samlingen ägs nu, som sedan 1732, av Fysiska Institutionen vid Lunds Universitet, med vilket museet haft ett nära samarbete i tillkomsten och vidareutvecklingen av den populärvetenskapliga verksamhet, som är "Kunskapstivoli".

Samlingens olika föremål - ett drygt 70-tal finns nu kvar - har restaurerats och konserverats hos museet, som gentemot Fysiska Institutionen åtagit sig fortsatt vård mot att samlingen kan visas som en av de vetenskapshistoriska utgångspunkterna för "Kunskapstivolit". Samlingens idé- och vetenskapshistoriska bakgrund behandlas nu för museet i skrift av docent Jan Larsson, Lund.

Den första utgångspunkten för "Kunskapstivoli" är astronomen och teknikern Tycho Brahe, som nu visas i form av en porträttlik vaxfigur med fullskalig rekonstruktion av en ekvatorialarmillarsfär (se sid 185).

Triewald-samlingen representerar alltså främst utvecklingen under 1600-talet och början av 1700-talet. Efter 100 år i Lund kan man anta dels att ett antal instrument försvunnit eller förslitits, dels att den naturvetenskapliga forskningen gjort en del av dem inaktuella. Några av de förkomna rekonstrueras av museet på basis av Triewalds egna teckningar.

I mitten av 1800-talet beställdes till Universitetet i Lund från Paris en uppsättning modernare instrument, som skulle bilda grund för undervisningen under flera decennier. Dessa finns nu också i Tekniska Museet i Malmö. De är mycket vackra, utförda i ädelträ och mässing.

Instrumenten i denna samling är grupperade inom mekanik, värmelära, akustik, optik, elektricitet och magnetism. Accessionerna är inte helt dokumenterade, varför man kan anta att denna samling byggts på under senare delen av 1800-talet.

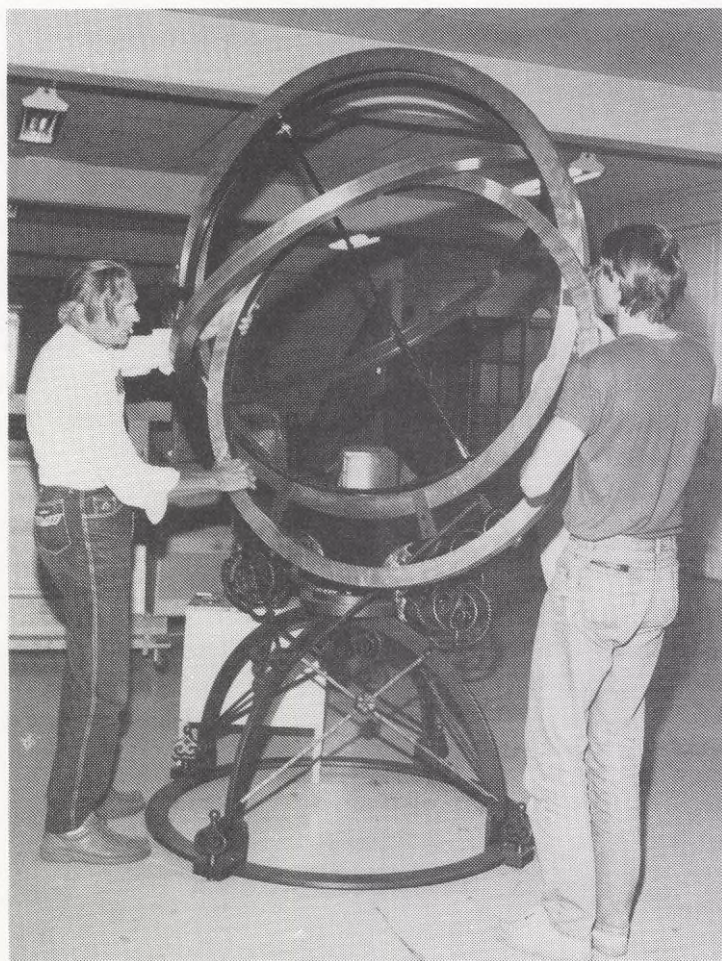
Museet har en kopia av en odaterad förteckning över "Äldre aparater, transporterade till Malmö". Dessa fick en första anhalt på Latinskolans vind, varifrån de i början av 1960-talet kom till Tekniska Museet och då registrerades mycket kortfattat. Ett försök till identifiering 1980 misslyckades. Museet saknar för närvarande tid och kompetens för denna bearbetning. Samlingen innefattar inalles ca 300 föremål

År 1853 grundades Tekniska Elementarskolan i Malmö, vid vilken sedermera flygpionjären och ångteknikern Johan Erik Cederblom var rektor under några år på 1860-talet, innan han blev professor på Kungl. Tekniska Högskolan i Stockholm. Cederblom lade grunden till en utökning av den tekniska undervisningen, och från 1870-talet daterar sig ett antal elevarbeten i mekanik, av vilka en del är utställda. År 1896 inrättades Högre Tekniska Läroverket. Även där tillkom en apparatsamling, som är bevarad men dåligt katalogiserad och tydligen blandad med de från Lund komna instrumenten. Museet står också här inför betydande identifierings- och dokumentationsproblem.

Till Malmö kom i början av 1980-talet World Maritime University, som fick överta lokaler efter den nedlagda Sjöbefälsskolan. Fränden senare har, utöver ett förnämligt bibliotek av navigationshistoriskt slag, till Tekniska Museets syskonmuseum Sjöfartsmuseet överförts äldre material som använts i fysikundervisningen. Där finns läroinstrument från Navigationsskolans äldsta tid, dvs 1800-talet, men de flesta apparaterna och instrumenten är från 1930-talet och senare. Även här är museet i behov av specialkompetens för att kunna genomföra registrering och dokumentation.

Tekniska Museet disponerar alltså tillsammans med Sjöfartsmuseet (bägge samordnade i samma byggnader) över instrument-samlingar från 16-, 17-, 18- och 1900-talen. Det vore ytterst

angeläget att kunna sammanställa detta till en gedigen studiesamling över utvecklingen av undervisningsmaterial inom naturvetenskap och teknik och att dokumentera denna samling i text och bild. För detta ändamål söker museet kontakt med personer, som har sådan ämnesbakgrund och sådant intresse att ett projekt skulle kunna läggas upp. Intresserade kan kontakta Per Ragnarson eller Anna Bieber, tel 040-34 44 53, 34 44 52.



Tekniker Edgard Eriksson, till vänster, har detaljplanerat rekonstruktionen av Tycho Brahes ekvatorialarmillarsfär för Tekniska Museet i Malmö, assisterad av tekniker Johnny Strand. Foto: Viveca Olsson, Malmö Museer.

Instrument Collections in Uppsala, Stockholm and Gothenburg

a) University of Uppsala

"The Uppsala Cabinet of Physics" was presented by Arne Eld Sandström in the Annual Report of Kungl. Vetenskapssamhället i Uppsala, Vol. 25, 1983-1984, 42 pages, 36 illustrations. The oldest instruments in this collection date from early 18th Century.

b) Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm

The Instruments in the History of Sciences Collections of the Royal Swedish Academy of Sciences were presented by Gunnar Pipping in "The Chamber of Physics", published by Almqvist & Wiksell, Stockholm 1977, 250 pages, 43 plates.

The inventory covers 381 items and gives a brief description each instrument. In addition the book has chapters on Instrument-making in Sweden (13 pages) and Biographical Notes on Instrument-makers (30 pages).

c) Royal Institute of Technology, Stockholm

"The Borelius Collection", ca 300 items of physics instruments, now on display at the main library, was presented by Ulf H Andersson in the report "Från spannmålsprovare till röntgenrör" (in Swedish), 202 pages, 145 illustrations, published 1987 by the Department of the History of Science and Technology.

d) Chalmers University of Technology, Gothenburg

Physics instruments, mainly early 20th Century, are on display at the Department of Physics. A small collection of electrical instruments belongs to the Institute of the History of Electricity. An inventory was made in 1985 by the Center for the History of Technology (unpublished).

Recensjoner

Bosse Sundin (red.), *I teknikens backspegel. Antologi i teknikhistoria*. Carlsson Bokförlag, Stockholm 1987. 400 sidor.

Oppsvinget i interessen for teknikkhistorie i de nordiske land har vært markert de siste fem år. Sverige ligger et godt hestehode foran nabolandene med hensyn til fagets institusjonalisering. Allerede fra tiårets begynnelse ble det gjennomført systematiske kampanjer med henblikk på å gjøre teknologihistorie til akademisk disiplin på linje med økonomihistorie og vitenskapshistorie. "Flygende symposiet" dro fra det ene svenske lærested til det andre. Amerikanske "fagkanoner" har en rekke ganger vært hentet til Sverige for å legitimere og garantere det faglige innhold. Tekniska Museet har med jevne mellomrom arrangert teknikkhistoriske symposier med såvel svensk som utenlandsk deltagelse. Gjennom flere år har det vært gitt undervisning i faget ved KTH i Stockholm og Chalmers i Göteborg. Sist men ikke minst har svensk teknologihistorie fått sitt eget tidsskrift, *Polhem*, og sin egen organisasjon, Svenska Nationalkommittén för teknikhistoria. Sverige blir også det første land i Norden til å få et eget professorat i teknologihistorie.

Med hensyn til institusjonaliseringsgrad kan ikke noe land i Norden måle seg med Sverige. Men hvor står svensk forskning på feltet i internasjonalt perspektiv og i nordisk sammenheng? Når det svenske fagmiljøet nå utgir en egen antologi i teknikkhistorie, *I teknikens backspegel*, med Bosse Sundin som redaktør, vil det for en utenlandsk anmelder være naturlig å anta at en her har samlet noe av det beste det svenske fagmiljøet kan prestere. Det synes også berettiget ut fra forordet, hvor Sundin skriver at de fleste bidragene i boken "bygger på avhandlingsarbeiden eller andra större studier".

I tid spanner boken over flere tusen år. Arkeologen Tomas Johansson gir oss eksempler på hverdagsteknologi i forntiden. Anna Hult og Bosse Sundin skriver om henholdsvis mekaniske ur og kornmaling i middelalder, renessanse og nyere tid. Svante Lindqvist gir oss en innføring i energidebatten i Sverige på 1700-tallet.

De fleste artiklene behandler imidlertid temaer fra det 19. og 20. århundre. Arne Kaijser har skrevet en interessant artikkel om kampen mellom gass og elektrisitet og ulike eksterne faktorer som influerte på valget av system. En av bokens perler er ført i pennen av litteratursosiologen Lars Furuland. Han skriver om hvordan den nye elektriske teknologien, og framfor alt hvordan det elektriske lyset, ble oppfattet og reflektert i skjønnlitteraturen. Teknologihistorien trenger flere slike bidrag! Kanskje like stor glede hadde jeg av å lese Sverker Sörlins artikkel om anvendelsen av spelflotten og dens plass i Norrlands økonomiske og sosiale utvikling.

Jan Hult, Michael Lindgren og Boel Berner skriver hver på sitt vis om hvordan ingeniørarbeidet selv endrer seg som en følge av ingeniørers produkter. Selv om Georg og Edward Scheutz mislyktes i sine anstrengelser for å få observatorier, akademier og andre institusjoner med store regneoppgaver til å kjøpe deres differensmaskin, har kompliserte regnemaskiner i vårt århundre ført til grunnleggende endringer i vitenskapelig og teknologisk arbeid. Jan Hult viser oss hvordan ingeniørens beregningsregnskaper har endret seg i løpet av det siste hundreåret, fra bruken av tabeller og regnestav til våre dagers "Computer Aided

Engineering", og hvordan endringer i arbeidsredskaper også er med på å prege ingeniørens forestillinger og holdninger til sitt arbeid og formålet med det. Boel Berner tar oss med inn på konstruksjonskontoret i svenske verkstedbedrifter og viser oss hvordan tegne- og konstruksjonsarbeidet har endret seg siden det industrielle gjennombrudd. Hun er på sitt beste når hun forteller oss om prosessen som førte til at stadig større deler av produksjonsplanleggingen ble overført fra gulvet til konstruksjonskontoret, dvs. de deler av artikkelen som går fra århundreskiftet og fram til 2. verdenskrig. Den delen som omhandler etterkrigstiden verket på meg mer skjematisk og overfladisk.

Det er med glede jeg konstaterer at den idehistoriske tilnærming til teknologisk endring kan bidra aktivt med ny kunnskap. Jeg tenker her i første rekke på Nils Runebys artikkel om forestillingsverdenen til professor ved maskinlære ved KTH i Stockholm, Johan Erik Cederblom, og Runebys plasering av denne i forhold til forestillingene blant ingeniører rent generelt i perioden. Til den idehistoriske tilnærmingen vil jeg også regne Martin Kylhammars interessante, avsluttende artikkel om "Teknikdebattens grammatik".

I en bred forstand kan det hevdes at hele boken er preget av en idehistorisk eller vitenskapshistorisk tilnærming til problemene. Det kan også sies å gjelde Claus Wohlers artikkel om samspillet mellom vitenskap, teknikk og fagkunnskap ved introduksjonen av Bessemer-prosessen i Sverige, og Jan-Erik Hagbergs artikkel om den rasjonelle husmor og innføring av taylorismen på området "heimkunnskap" i mellomkrigstiden. Såvidt jeg kan se er Louise Waldén, som skriver om symaskinen som oppfinnelse og innovasjon, og prosessen som førte til at den ble spredd over hele verden, den eneste som bringer inn markedsføring og økonomi i nevneverdig grad.

De fleste artiklene behandler emner innen svensk teknikkhistorie. Enkelte er imidlertid ambivalente på dette punkt. Under lesningen av Bosse Sundins artikkel om kverner i historien er en til tider i tvil om det han skriver gjelder utviklingen i Sverige eller rent generelt.

Ambivalens er i det hele tatt et typisk trekk ved antologien. Den introduseres allerede i forordet, hvor Sundin skriver: "Uppsatssamlingen skall läsas som en provkarta på teknikhistoriska studier. Det är vår förhoppning att den skall bidra till att öka insikten om *värdet* (anm. understrekning) av teknikhistoria." (s. 8) Ifølge redaktøren er bokens formål først og fremst legitimerende. Fagmiljøet mangler åpenbart den selvsikkerhet som skal til for rett og slett å si at artiklene er et bidrag til ny og økt kunnskap i teknologihistorie. De presenteres i stedet som vareprøver på verdien av teknikkhistorie. Denne ambivalensen stikker jevnlig hodet fram i flere av artiklene. Flere forfattere har åpenbart problemer med å tro at produksjon av ny teknologihistorisk kunnskap er et mål i seg selv. Faget markedsføres i stedet som et nyttig redskap i andre sammenhenger, kanskje først og fremst i den dagsaktuelle teknologipolitiske debatt. "Genom att lära om den 'gamla tekniken' och dess villkor kan vi också få perspektiv på vår tids förhållande till 'ny teknik'." Jeg har forståelse for synspunktet. Men blir det for fram-tredende i fagmiljøet, kan en knapt vente at ungdommer i sin beste alder skal satse livet sitt på teknologihistorie som yrke.

Ambivalens kommer også til uttrykk i måten artiklene er skrevet på. Hvem er boken skrevet for? Skal både den lesende almenhet og jeg som fagkollega kunne lære noe av boken? Spørsmålet meldte seg med stor tyngde allerede under lesningen av Svante Lindqvists innledende artikkel, "Vad är teknik". Her henter han på en eksemplarisk måte eksempler fra den internasjonale historiografiske debatt innen faget de siste tiår. For å si det med Newton så står han "on the shoulders of giants", men finner ingen grunn til å introdusere dem. Artikkelen er helt uten fotnoter eller referanser. Ikke så rent få ganger under lesningen var jeg fristet til å sette fotnoter, hvor Lindqvist unnlater å gjøre det.

Det var da jeg begynte å lure på om dette var bevisst fra redaktørens side. Svaret synes å være ja. Forfatterne unnlater å følge vanlig standard for dokumentasjon i empiriske, historiske studier. For mange av artiklenes vedkommende henvises leseren til "utførlige käll- och litteraturreferenser" andre steder. Gjennom lesningen får en et klart inntrykk av at det er resultatene av forskning som formidles. For andre artiklers vedkommende er det oppgitt sekundærlitteratur.

I noen tilfeller har den foreliggende litteratur vært empirien. Artiklene prøver rett og slett å lese litteraturen på en ny måte, ut fra nye problemstillinger. Dette er en anerkjent forskningsmetode innen såvel idehistorie som litteraturvitenskap. Noen av bokens beste artikler er eksempler på det – Lars Furuland, "Ljus över landet – elektriferingen och litteraturen", Nils Runeby, "Större fart. Framåt – Kring en ingenjör's föreställningsvärld", Louise Waldén, "Den lilla apparatens stora betydelse. Symaskinens roll i den tidiga industrialismen", Martin Kylhammar, "Teknikdebattens grammatik".

Ut fra min vurdering er det svært uheldig at redaksjonen har ment at det ville være umulig å skulle kombinere kravet om å skrive populært for den lesende offentlighet med kravet til skikkelig dokumentasjon. Boken vil lett komme til å bli oversett som et seriøst bidrag til nordisk teknologihistorisk forskning.

I sin tilnærming til problemområdet, hvordan kan boken plasseres i forhold til den pågående internasjonale debatt? Amerikansk teknologihistorie er uten tvil det store forbilde for svensk teknologihistorie. Ingen andre i Norden har til de grader pleiet forbindelsen med amerikanske fagkolleger. De fleste med ambisjoner i faget er blitt vel fortrolig med debatten om internalistisk, kontekstualistisk og eksternalistisk historieskriving. I øyeblikket domineres amerikansk forskning av den kontekstuelle tilnærming. Bøker som Merritt Roe Smith, *Harpers Ferry Armory and the New Technology* (1977), Thomas P. Hughes, *Networks of Power. Electrification in Western Society, 1880–1930* (1983), Ruth Schwartz Cowan, *More Work for Mother* (1983), David A. Hounshell, *From the American System to Mass Production* (1984), og David F. Noble, *Forces of Production. A Social History of Industrial Automation* (1984) er hver på sitt vis gode eksempler på kontekstuell teknologihistorie. De kan plasseres ulike steder på en skala hvor forfatterne er seg klart bevisst at den interne teknologiske utforming av gjenstander eller løsninger står i et dynamisk forhold til et kompleks av økonomiske, politiske og kulturelle faktorer. Plasserer jeg Hughes og Hounshell nærmest den internalistiske enden, er det naturlig å plassere Cowan og Noble nærmest den eksternalistiske enden.

Hvor vil jeg plassere *I teknikens backspegel* i denne sammenhengen? Den har en klar målsetting om å være kontekstualistisk, men den heller klart i internalistisk retning. Hovedinntrykket er at den internalistiske forskningstradisjon fortsatt står meget sterkt i Sverige. Både vitenskapshistorie og økonomihistorie er veletablerte disipliner i Sverige. Det er mitt hovedinntrykk at svensk teknologihistorie først og fremst har søkt samarbeid med vitenskapshistorie. Dette influerer naturlig nok såvel valg av forskningsproblemer som tilnærming. I Sverige har en hatt en viss forkjærlighet for Layton-tradisjonen med å se på teknologi som en spesiell form for kunnskap. Teknologihistorie blir da lett en annen form for vitenskapshistorie, og empirisk forskning med denne posisjonen som utgangspunkt vil lett ende i internalisme. Sist men ikke minst kan det være verdt å nevne at Tekniska Museet-tradisjonen med samling og utstilling av gjenstander nærmest for deres egen skyld, åpenbart står atskillig sterkere i Sverige enn i andre nordiske land. Sammenlignet med teknologihistorien i Danmark og Norge vil jeg hevde at svenske teknologihistorikere i altfor sterk grad neglisjerer økonomiske faktorerens innvirkning på teknologisk utvikling.

Fem av bidragene til boken er skrevet av personer med nåværende eller tidligere tilknytning til Tema T ved Universitetet i Linköping – Michael Lindgren, Arne Kaijser, Louise Waldén, Jan-Erik Hagberg og Martin Kylhammar. På mange måter står disse bidragene som de klareste eksemplene på den kontekstualistiske tilnærming, med Michael Lindgren i den internalistiske og Martin Kylhammar i den eksternalistiske enden. For ledelsen av instituttet må det være en tilfredsstillende å kunne registrere at satsingen etterhvert bærer frukter.

Til tross for ambisjonen om å skrive populærvitenskapelig er dette ingen lettest bok. Det kostet meg atskillig viljestyrke og tid å lese artiklene fra A til Å. Mange av forfatterne har mye å lære av sine amerikanske forbilder med hensyn til å fortelle en god "story". Godt skrevet teknologihistorie er også morsom lesning. For mange av forfatterne tenker i skjemaer (en svensk uvane?). Jeg kan være enig med Martin Kylhammar i at: "Tekniken har förändrats men inte vår diskussion av den". Men hvorfor han insisterer på at det bare finns åtte, ikke fire, sju eller tolv "inställningar till teknisk förändring" (s. 382) går langt over min forstand. Hadde flere av artiklene vært bygd opp som Jan-Erik Hagbergs om "Den rationella husmodern – huslig taylorism under mellankrigstiden" ville dette vært både en veldokumentert og lettest bok.

Som tidligere antydte, fant jeg mange av artiklene både interessante og spennende. Skal jeg imidlertid vurdere boken som helhet, vil jeg hevde at det spirende svenske fagmiljøet kanskje har vært vel raske med å gi ut denne antologien. Boken ville ha tjent på å vente til noe mer av pågående svensk teknologihistorisk forskning var nærmere sin avslutning.

Teknologihistorien i Norge og Danmark er uten tvil kommet atskillig kortere med hensyn til institusjonalisering. Når det gjelder teknologihistorisk forskning ser jeg ingen grunn til at vi skal stille med "mössan" i hånden i forhold til Sverige. Kanskje snarere tvertimot?

Gunnar Nerheim

Sven Rydberg, Det Stora Kopparberget. En tidsresa. Gidlunds Bokförlag, Hedemora 1988. 254 sidor. Ill. Fibben Hald.

STORA firar i år 700-årsjubileum, men i själva verket sträcker sig företagets rötter betydligt längre tillbaka i tiden. Nya undersökningar av driftens ålder vid Falu gruva pekar mot 700-talet och i alla händelser mot tiden omkring år 1000. Inför jubiléet vill man dock ha fast mark under fötterna och utgår därför från det äldsta bevarade skriftliga belägget, ett bytesbrev från år 1288. Man litar alltså inte riktigt på sådana relativt osäkra metoder som pollenundersökningar, C14-beräkningar, sedimentanalyser och spektralanalys av kopparföremål från vikingatid och äldre medeltid.

Av bytesbrevet framgår att gruvan i Tiskasjöberg, som kopparberget då hette, bröts gemensamt av ett antal andelsägare, dvs i bolagsform. STORA är därmed det äldsta bestående bolaget i världen, ehuru det blev aktiebolag först 1888. Gruvan är med god marginal också Sveriges äldsta industriella arbetsplats. Bytesbrevet visar visserligen inte vilken metall man bröt vid denna tid, koppar, silver eller bådadera. Det torde i huvudsak ha rört sig om koppar, som sedan förädlades i bergsmännens många närliggande hyttor.

Detta och mycket annat framkommer i Sven Rydbergs populärt utformade tidsresa genom sju sekler med nedslag i åren 1288, 1540, 1650, 1775, 1897, 1977 och 1988. I rapsodisk form försöker han här "sätta in Stora Kopparberg i den allmänna - politiska, ekonomiska och tekniska - miljö där driften pågått och som i väsentlig grad varit dess förutsättning". Rydberg lyckas också med detta, och det är måhända endast en smakfråga huruvida denna miljöskildring blivit alltför bred och yvig på bekostnad av skeendet vid själva berget. Betydligt stramare blir hur som helst framställningen mot slutet av boken, där företagets sentida engagemang inom främst järn- och skogsindustrin behandlas.

Boken kan karakteriseras som ett lärt, synnerligen välskrivet och underhållande, kåseri baserat på den omfattande vetenskapliga litteraturen kring bl.a. Stora Kopparberg, till vilken Rydberg själv för övrigt har bidragit vid sidan om sitt populärvetenskapliga författarskap. Underlaget sviktar därför sällan, men då det någon gång gör det för Rydberg pennan över kunskapsluckorna med säker hand. I ett avsnitt om Lapphyttan förbigås dock den i debatten bekanta teorin om styckeugnar (jfr Erik Tholander, Polhem 1988/2, sid 116-118) och det fastslås förbehållslöst att "masugnar fanns i Sverige före år 1200".

Under 1800-talet övergick Stora Kopparberg i huvudsak från koppar- till järnhantering, och under 1900-talet alltmera till skogshantering. Efter förvärv av Bergvik & Ala 1976, Billerud 1984, Papyrus 1986 och Swedish Match 1988 är STORA i dag landets största skogsindustriföretag och ett av världens tio främsta. Järnhanteringen avvecklades definitivt under krisåren på 1970-talet. Vid Falu gruva fortgår kopparhanteringen i begränsad form. Svavelkis bryts för framställning av svavelsyra i en vid gruvan belägen fabrik, och i ett anrikningsverk anrikas malm till zink-, bly- och kopparsliger. Sedan 1984 smälts emellertid inte koppar i metallisk form av sligen, utan denna säljs vidare till andra företag. Ett rödfärgsverk finns vid gruvan alltsedan 1600-talet.

Som skogsbolag med dotterbolag i bl.a. Kanada har STORA dragits in i 1980-talets miljödiskussioner. Rydberg tar följaktligen upp miljöfrågorna i ett avslutande avsnitt och förklarar här att STORA:s grundläggande inställning är att "verksamheten skall bedrivas på ett sådant sätt att miljön inte försämras eller äventyras för kommande generationer". På sikt är naturligtvis detta en förutsättning för STORA:s fortbestånd, och det vore egendomligt om ett så gammalt företag hyste någon annan uppfattning.

Jan-Erik Pettersson

Peter Andersson, Telekommunikation förr och nu. Tema T Rapport 14, 1987.
125 sidor. ISBN 91-7870-240-2.

Om vi vore tvingade att välja bort några av de tekniska uppfinningar som våra hem är så rikt utrustade med är det ganska troligt att telefonen skulle hamna långt ner på listan.

Telefonens utveckling i Sverige och i Östergötland i synnerhet skildras som ett delprojekt inom projektet "Teknik som lokal verklighet". Arbetet har utförts vid Tema Teknik och social förändring vid universitetet i Linköping.

Ett stort teknikhistoriskt material har använts, alltifrån de klassiska minnesskrifterna till riksdagstryck, kommunala protokoll samt tidskrifter och dagstidningar. Etnologiskt material från folkminnesarkiven blir ett komplement till de kvantitativa sammanställningarna och ger liv och färg från tiden då "vanligt folk" fick telefon.

Upptäckterna, uppfinningarna och de tekniska förbättringar som varit avgörande för telefonteknikens utveckling redovisas utförligt. Att inte telefonen är en mans verk framgår i inledningen även om Bell gått till historien som segraren.

Innan man hade möjlighet att förstärka telesignalerna fick man förlita sig på trådarean och den dyra kopparn. I Aftonbladet skildras den 13 februari 1888 att man nu lyckats klara 1000 kilometers förbindelse. Det är linjen New York - Boston, och man redovisar att för att samtalet skall höras tydligt måste tråden vara utförd av koppar.

Telegrafins och telefonins tidiga historia har en sak gemensam i Sverige: ledningsstolparna ruttnade, livslängden var 10 år. Impregnering och jordkablar fick lösa detta problem.

Att Sverige redan från början blev ett telefonland beror förstås på krafter som Pleijel, Betulander, Cedergren och Ericsson. Större och större stationer byggdes och ett rekord var Ericssons anläggning med 60 000 linjer i Moskva 1916. Vid världsutställningen i Paris år 1900 belönades Betulander och Persson med guldmedalj för sin automatiska växel. Betulander berättade i en tidningsintervju att han erbjudit franska staten patentet, men man tackade nej med motiveringen att man ville ha möjlighet att avlyssna samtalen.

För en tekniker är det en fascinerande läsning att få ta del av dessa skildringar från 1900-talets början när man förvånades över att det gick att prata genom en tråd som tillika saknade håll. Eller familjen som fick telegrafisk förfrågan från sonen som

låg i Lund angående ett par nya stövlar. Stövlarna inköptes och hängdes upp på telegraftråden. Nästa morgon hängde ett par trasiga på samma ställe.

I slutraderna konstateras: Telefonen var mer oväntad samt väckte mer uppståndelse och intresse när den kom än vad exempelvis hemdatorerna och kabel-TV har gjort.

Telefonen har sällan råkat ut för teknikkritisk debatt. Peter Anderssons bok beskriver telefonens historia med bilder och text på ett utmärkt och positivt sätt. Läs den - teknikhistoria om en tingest vi inte vill vara utan.

Göte Rosell

Arne Kaijser, Arne Mogren & Peter Steen, Att ändra riktning. Villkor för en ny energiteknik. Allmänna förlaget, Stockholm 1988. 224 sidor.

Förordet i denna bok placerar in den i en genre framtidsstudier som började för tio år sedan med Sol eller uran - att välja en energiframtid. Den väckte mycket uppmärksamhet med en detaljering av ett småskaligt alternativ till kärnkraften. Författarna var dock mycket fast i det sektoriserade samhälle som de ville kritisera. Pedagogiskt upplagd och tämligen lättläst, framställdes tanken om en framtid baserad på förnyelsebara energikällor som en möjlighet, åtminstone tekniskt sett. Det fanns många intressanta iakttagelser beträffande sambanden mellan teknik, ekonomi och värderingar eller intressen i samhället.

Men när dessa skulle summeras i ett mer allmänt resonemang haltade analysen. Det gav en teorilös historieskrivning, utan drivkrafter, utan förklaringsstruktur, utan politisk kamp eller människor. Det blev en historia om teknik och institutionella förändringar, och alternativet beskrevs som ett framtida landskap med 3700 jättelika vindkraftverk, vart

och ett med ett torn dubbelt så högt som det i Tvind i Danmark och som centraliserat tillvaratar vindenergin, bilismen upprätthålls med metanol, energiskogar odlas i landsomfattning. Solalternativet framställdes som en teknisk utopi, en annan slags sektorisering av framtiden. Det som saknades var ett dynamiskt perspektiv på omvärlden.

Jag nämner detta för att vi ska uppskatta föreliggande rapport, Att ändra inriktning, som gör precis det som saknades i Sol eller uran. Här används en del av de teoretiska landvinningar som åstadkommit internationellt i det spännande fält som kallas "vetenskaps- och teknikstudier" (Science, Technology and Society, eller ibland bara "science studies"). En huvudpoäng i denna litteratur är att teknik inte bara är "teknisk" - den är också social och politisk; det handlar om sociotekniska system. Tesen har ibland drivits så långt att all teknikutveckling framställs som ett resultat av antingen sociala strukturers förändringar eller av voluntarism hos starka aktörer. Författarna till denna skrift går inte så långt; de undviker denna relativisering genom att stanna vid analysen av institutionella förhållanden och maktrelationer. Detta är både en styrka och en svaghet.

Styrkan ligger i det att man bibehåller ett politiskt perspektiv och kan använda historiska fallstudier i teknikpolitiska resonemang. Nackdelen är att det empiriska stoffet utesluter viktiga kontextuella faktorer, såsom tradition, kultur och annat som inte ligger på den institutionella nivån men ändå inverkar på den linje i teknikutveckling som tar form. Men det är klart, man kan inte göra allt, och fokusering på den institutionella nivån och samspelet mellan sociala drivkrafter och tekniska system är mycket fruktbar.

För den historiskt intresserade är det framför allt kapitlen om det svenska elsystemets framväxt jämfört med telefon-systemets som ger prov på det fruktbara i författarnas perspektiv och angreppssätt.

Det svenska elsystemet växte från ca 50 små isolerade elverk kring sekelskiftet till ett landsomfattande integrerat nät. På den sociala nivån var det en utveckling från ett stadium där elkraft i hemmen var en lyx, till att det var något vanligt. Integrering på den tekniska nivån påverkades hela tiden av sociala, juridiska och institutionella förhållanden, liksom frågan om människors livsstil.

Så t.ex. var växelströmsteknikens utbredning inget som skedde av egen kraft; den gick i motvind, mot agrarintressen och fick understöd av institutionella innovationer som kraftbolagen med blandat kommunalt och privat ägande samt tillkomsten av den statliga Vattenfallsstyrelsen, enheter som fick stor makt med tiden.

Detta medförde också motsättningar och kontroverser som kunde pågå under många år, bl.a. i frågan om att bygga ett stamlinjenät norrifrån ned till Nässjö. Författarna påpekar hur i tekniskt avseende det svenska kraftsystemet blev ett enda system före andra världskriget, men att integrationen på den organisatoriska nivån kom långt senare. I riksdagsdebatten 1946 om ett förstatligande gick motsättningarna mellan stad och landsbygd mer än mellan höger- och vänsterpolitik. Agrarintressen kom nu att förespråka förstatligande, då de privata kraftbolagen inte tog hänsyn till de mindre enheternas intressen. Storstäderna däremot hade en egen maktposition och önskade fortsatt icke-statlig regi, som gav större svängrum för de kommunala intressena.

Efterdyningarna fortsatte in på 60-talet när den s.k. kraftbörsen skapades efter förslag från den halvstatliga samkörningsdelegationen som tillkom hösten 1960. Kraftbörsen blev det organ som kunde reglera enligt vinstdelningsprincipen.

Fallstudiet om det svenska elsystemets framväxt kunde givetvis fördjupas på många punkter, men i detta sammanhang räcker det för att visa innebörden av tesen att tekniken är social, och

att dess historia endast med en viss förflackning kan studeras som ensidigt teknisk.

Det svenska telefonsystemets framväxt gick också från små enheter i isolerade nät till ett integrerat nationellt (och sedan internationellt) system. Denna historia skiljer sig dock väsentligen från elnätets, beroende på funktionens karaktär. I elsystemet är det fråga om energiöverföring, i telefon är det information eller kommunikation som står i centrum. I det senare fallet kom man in på ett existerande statligt bolags territorium, nämligen Telegrafverkets. Detta bolag mötte utmaningen genom att självt börja bygga upp ett stamlinjenät mellan storstäderna och sedan tvinga de lokala telefonbolagen att antingen sälja ut eller lägga sig. Den tekniska hävstången blev kravet på standardisering: införande av dubbeltrådiga system även i lokala nät, där det tekniskt sett egentligen inte var nödvändigt. Tekniken användes här som ett medel i en maktkamp och i förhandlingar.

Författarna jämför el- och telenätens systemintegrering och pekar på hur bl.a. legala hinder var större i det senare fallet beroende på funktionens karaktär. Elektriska ledningar är farliga och fler ägarintressen var inblandade.

Dessa är några exempel på hur konkurrens inom ett socio-tekniskt system fungerar och hur systemegenskaper medför avgörande skillnader. I ett annat kapitel tas upp exempel på konkurrens mellan system som fyller samma slags funktion, men som bygger på olika principer. Här gäller det belysning, med olja, gas eller elektricitet. Detta utgör återigen ett väl genomfört fallstudium i boken. Lärdomarna används sedan i de senare kapitlen för att föra en argumentation i en energi- och teknikpolitisk fråga inför framtiden.

Budskapet blir att det är viktigt att satsa på pluralism och motverka de stora bolagens dominans över elsektorn och naturgassektorn (det gäller framför allt Vattenfall och Sydkraft).

Författarna menar också att vi är inne på ett perspektivskifte. I framtiden är det mindre tillförselsidan och mera effektiviseringen av energiflödet och konsumtionen som gäller. Förnyelse och pluralism, menar de, kan inte uppnås på den tekniska nivån om de inte understöds med en medveten upphandlingspolitik. Fallstudierna understryker deras poäng.

Boken är mycket läsvärd, både för den historiskt intresserade och för den som vill ha en rationell grund för ett alternativ i energipolitiskt hänseende. Ett sakregister gör den också användbar i bibliotekets referenshylla. Notapparaten ger dessutom en bra inkörsport till en omfattande litteratur på området, både teoretiskt och teknikhistoriskt liksom energipolitiskt.

Aant Elzinga

Olle Ekstedt, Färgerna på gamla lantmäterikartor. Nordiska museet, Stockholm 1987. 96 sidor.

Fyrfärgsproblemet hade gäckat matematikers ansträngningar i över 100 år när det löstes 1976 av Kenneth Appel och Wolfgang Haken. Prestationen skiljer sig på två sätt från tidigare framsteg i den rena matematiken: den genomfördes av två personer, och beviset baserades till en del på omfattande datorberäkningar. New York Times meddelade på nyhetsplats att fyrfärgsproblemet lösts, en unik uppmärksamhet för att gälla ett matematiskt bevis.

Problemet var att bevisa att fyra olika färger räcker för att skilja olika länder på en karta. Enda bivillkoret är att varje land består av ett geografiskt sammanhängande område. Kartografer hade länge anat att fyra färger var tillräckligt, när Francis Guthrie 1852 framkastade hypotesen att det alltid var så. En engelsk amatörmatematiker Arthur Bray Kempe trodde sig

1879 ha löst problemet, men sedan ett fel i hans bevisföring blivit upptäckt 1890 blev problemet en utmaning som skulle komma att sysselsätta matematiker ända till 1976.

När Olle Ekstedt, hovrättslagman i Malmö, skriver om färger på gamla svenska lantmäterikartor handlar det inte om detta klassiska matematiska problem. Hans intresse riktas i stället mot färgerna själva, hur de framställts och använts i såväl kartografi som bokmåleri alltsedan medeltiden. Med de stora skiftesreformerna i Sverige från sena 1700-talet fick lantmäteriet enorma uppgifter, och noggranna instruktioner och anvisningar utfärdades för kartframställningen. I en modellkarta över en fingerad Nybo by visas t.ex. hur man med två färger på en åker kan ange att den används växelvis av olika markägare. Flera generationer av svenska lantmätare fick efter 1867 lära känna Krontorps by som aldrig existerat i sinnevärlden, men som med alla sina olika hus och ägoslag i olika färger kom att bli en förebild för deras eget kartarbete.

Dagsljus kan vara förödande för dessa gamla kartor, vilket inte hindrade länsstyrelsen i Jönköpings län att 1984 låta rama in en länskarta från 1690 och överlämna den som väggprydnad till 350-årsjubilerande Göta hovrätt.

Boken är rikt illustrerad med kartbilder i utsökt fint färgtryck, som är en ren njutning att betrakta. Man kan förstå att författaren, i sitt dagliga arbete med tvister om mark och vatten och fastighetsgränser, kommit att fascineras av dessa uttrycksfulla bilder. Så har han letts in på ett djupare studium av tekniken och hantverket och historien bakom dem. Boken blir härigenom inte bara en skrift om kartfärger utan ett stycke kulturhistoria, väl dokumenterad genom en utförlig litteraturförteckning till hjälp för den som sedan själv vill söka sig vidare bland gamla kartor och medeltida bokmåleri.

Jan Hult

Ann-Charlotte Backlund (red), Boken om Bergslagen.
Förlaget Rubicon, Stockholm 1988. 224 sidor.

I boken "De mellansvenska järnmalmegruvorna 1930-1980" (se recension i Polhem 1987/4, sid 325) kan man läsa om den dramatiska utveckling som på ett årtionde nästan helt eliminerade en urgammal näring i Bergslagen. Genom långt gående mekanisering, rationalisering och till slut automatisering kunde produktiviteten i underjordsarbete i Grängesbergsgruvan höjas från ca 3270 ton malm per manår före andra världskriget till följande värden:

1946-49 - 3795 ton
1955-59 - 5300 ton
1965-69 - 11900 ton.

Men så, plötsligt, kom slutet. Under 1970-talet nedlades driften vid 22 gruvfält i Bergslagen. I dag bryts malm bara i Grängesberg och Dannemora, och även där är ju framtiden ytterst oviss. Många svenskar har ännu inte hunnit ta till sig vad som hänt i det traditionsrika Bergslagen, liksom det för många göteborgare är svårt att riktigt inse att inga fartyg längre byggs vid Götaverken, Lindholmen eller Eriksberg.

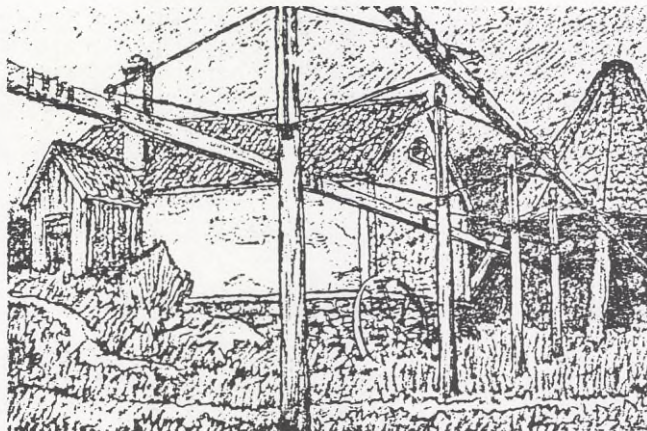
Bland alla idéer som nu provas för att minska en befarad stark utflyttning från de gamla bruksorterna och gruvsamhällena finns Bergslagsdelegationens projekt Turism i Bergslagen. Här samverkar 25 kommuner med nära anknytning till de gamla näringarna. Ett vitalt uttryck för denna satsning är "Boken om Bergslagen, resa i en levande historia".

Tre författare skriver först om området, om berget självt (Benny Kullinger), om dess ekonomiska betydelse i gången tid (Staffan Högberg) och om namnets ursprung (Karin Calissendorff). Sedan avhandlas järnet och stålet i förhistorisk tid (Viking Wedberg) och de ädla metallerna koppar, bly och silver (Ola Nilsson). Bergsbruk och järnhantering under 300 år skildras sakkunnigt (Marie Nisser)

liksom den nya tekniken i stålindustrin och vägarna och transporterna (Erik Sundström). Därefter Bergslagen i våra hjärtan: människor och miljöer (Lennart Edlund, Mats Persson, Ulf Sörensson).

Med denna gedigna bakgrund kan man med stor behållning ge sig ut till allt sevärt i Bergslagen, beskrivet i bokens senare del, som är en ypperlig teknikhistorisk turistguide. Man vill hoppas att också framtida turister skall möta en levande bygd och inte bara se ett jättelikt Skansen.

Jan Hult



Konstgång och klensmedja vid Kärrgruvan i Norberg. Ur Svensk Hembygd av Ferdinand Boberg, Stockholm 1936.

Kopia ur Boken om Bergslagen, sid 29.

Notiser

Nyutkommen litteratur

Peter Andersson, Telekommunikation förr och nu - Med exempel från Östergötland. Tema T Rapport 14, Linköping 1987. 125 sidor.

Henrik Björck (red), Teknikhistoria i Sverige 1987. Svenska Nationalkommittén för teknikhistoria, Göteborg 1988. 68 sidor.

Robert Lacey, Ford. En bildynasti. Legenda, Stockholm 1988. 710 sidor.

Robert Lund, Svensk elhistoria. Sveriges Tekniska Museum, Stockholm 1988. 151 sidor.

Bo Rosén, Den glömda miljödebatten. Naturvårdsverket, Solna 1987. 241 sidor

Boris Serning, Karl-Axel Björkstedt & Curt Westlund, De mellansvenska järnmalmgruvorna 1930-1980. IVA-rapport 322, Stockholm 1987. 156 sidor.

David Biggins et al, Keeping science straight. A critical look at the assessment of science and technology. Department of Theory of Science, University of Gothenburg, Report no 156, 1988, 183 pages.

Joseph J. Corn (ed), Imagining Tomorrow. MIT Press, Cambridge, MA 1988.

Susan Danly & Leo Marx (eds), The Railroad in American Art. MIT Press, Cambridge, MA 1988.

James J. Flink, The Automobile Age. MIT Press, Cambridge, MA 1988.

Rachel Laudan, From Mineralogy to Geology. The Foundations of a Science. University of Chicago Press 1988. 290 pages.

Robert Maddin (ed), The Beginnings of the Use of Metals. MIT Press, Cambridge, MA 1988.

Conrad Matschoss, Die Entwicklung der Dampfmaschine. Reprint of the 1908 edition, published by Julius Springer. VDI Verlag, Dusseldorf 1987.

Volker Plagemann (ed), Übersee. Seefahrt und Seemacht im Deutschen Kaiserreich. C.H. Beck, München 1988. ca 400 Seiten.

Hans Queisser, The Conquest of the Microchip. Harvard University Press 1988.

Cyril Stanley Smith, A History of Metallography. MIT Press, Cambridge, MA 1988. Paperback.

TEKNOLOGIÖVERFÖRING I HISTORISK PERSPEKTIV Nordisk Symposium i teknologihistorie

Under 14-16 juni 1988 avhölls den första nordiska konferensen i teknologihistoria vid Högskolecentret i Rogaland strax utanför Stavanger. Denna konferens ingick som en mindre del i arrangemanget "Teknologidagene i Rogaland" med nästan 1 000 deltagare.

Den på norskt initiativ sammankallade nordiska historiekonferensen med temat teknologiöverföring i historiskt perspektiv hade samlat drygt 50 deltagare. Inte mindre än 19 papers (de flesta utskickade i förväg) presenterades under de tre dagarna, sex från Norge, fem från Danmark, tre från vardera Finland och Sverige, samt ett från vardera Storbritannien, Västtyskland och USA. Under diskussionerna poängterades framför allt de komparativa aspekterna och möjligheterna till fortsatta komparativa studier bedömdes som goda. Viktiga synpunkter på skandinaviska förhållanden framfördes också av deltagande icke-nordiska gäster, bland dem Peter Mathias, Cambridge.

God tid fanns även för informella samtal. De sociala kringarrangemangen var föredömliga.

Martin Fritz

18th International Congress on the History of Science "Science and Political Order / Wissenschaft und Staat"

The Second Circular for the XVIIIth International Congress on the History of Science, which will take place in Hamburg and Munich from 1 to 9 August 1989, is now being distributed. It will be mailed directly to all colleagues who by returning the reply card have expressed interest in further information. Additional copies will be available from the National Commissions and Societies for the History of Science and Technology. Both registration form and abstract form are included in the Second Circular.

Prof. C.J. Scriba
Institut für Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik
und Technik
Universität Hamburg
Bundesstrasse 55
D-2000 Hamburg 13
Federal Republic of Germany.

Författare i detta häfte

Aant Elzinga, fil.dr.

Professor, Institutionen för vetenskapsteori, Göteborgs
Universitet, 412 98 GÖTEBORG

Willem D. Hackmann, M.A., D.Phil.

Assistant Curator, Museum of the History of Science,
University of Oxford, Old Ashmolean Building, Broad Street,
OXFORD OX1 3AZ, England

Jan Hult, tekn.dr.

Centrum för teknikhistoria, Chalmers Tekniska Högskola,
412 96 GÖTEBORG

Robert B. Gordon, Ph.D.

Department of Geology and Geophysics, Yale University,
Kline Geological Laboratory, P.O. Box 6666, NEW HAVEN,
CT 06511, USA

Gunnar Nerheim, Cand.mag.

Gamle Harestadvejen 2A, N-4070 RANDABERG, Norge

Jan-Erik Pettersson, fil.dr.

Förste intendent och chef för dokumentationsavdelningen,
Sveriges Tekniska Museum, 115 27 STOCKHOLM

Per Ragnarson

Chef för Malmö Tekniska Museum, 211 20 MALMÖ

Göte Rosell

Forskningsingenjör, Institutionen för tillämpad elektronik,
Chalmers Tekniska Högskola, 412 96 GÖTEBORG

Curt Roslund, fil.dr.

Docent, Astronomiska avdelningen, Chalmers Tekniska Högskola,
412 96 GÖTEBORG



Redaktionen

Polhem publicerar uppsatser, recensioner, notiser och andra inlägg i teknikhistoriska ämnen.

Bidrag mottas på svenska, norska, danska eller engelska. I undantagsfall kan bidrag på tyska eller franska accepteras.

Maximalt omfång för uppsatser är 35 sidor. Debattartiklar mottas med intresse. Skriv kort, en å två sidor. Korta presentationer av teknikhistoriska kurser, konferenser, utställningar m.m. är också välkomna.

Författaranvisningar

Manuskript insänds i ett exemplar. Manuskriptblad för direkt offsettryck kan beställas från redaktionen (Centrum för teknikhistoria, CTHB, 412 96 GÖTEBORG).

Noter numreras löpande: 1, 2, 3, ... Text för sig och noter för sig.

Litteraturreferenser uppställs enligt Historisk Tidskrift.

Illustrationer är välkomna, dock helst ej fotografier. Alla illustrationer och tabeller skall förses med förklarande text. Måttenheter bör anges i SI-systemet.

Manuskript kan sändas till endera av följande medlemmar av redaktionen:

Jan Hult, Centrum för teknikhistoria, CTHB, 412 96 GÖTEBORG

Svante Lindqvist, Avdelningen för teknik- och vetenskaps-
historia, KTHB, 100 44 STOCKHOLM

