

Harald Kleinberger-Pierer

Die Schatten der Perspektive:

Maschinenzeichnungen und die geometrische Kunst
am Übergang zum 19. Jahrhundert

Das technische Bild der Maschine in der Renaissance folgte in seiner Konzeption und Darstellungsweise der Malerei und der artistischen Zeichenkunst seiner Zeit: Die Verwendung der Zentralperspektive und das Streben nach der realistischen Wiedergabe eines natürlichen Ausdrucks sind dafür charakteristisch. Die Bilder der Renaissance – seien es die Maschinentheater des 16. Jahrhunderts oder die Werke von Dürer, Caravaggio, Alberti, Brunelleschi, und so weiter – versuchten die Räumlichkeit der abgebildeten Objekte auf der Leinwand und dem Papier zu konstruieren, mit dem Einsatz von Farbe, Perspektive sowie auch Schatten und Licht. Licht und Schatten prägten in der Malerei die Stimmung des Bildes und dienten der besseren Modellierung von Körper und Form.¹ Letzteres war auch für die Maschinenzeichnungen der Frühen Neuzeit von Bedeutung.

Um 1700 veränderte sich allerdings die technische Zeichnung im Bereich des Maschinenbaus in (europäischer) gedruckter technischer Literatur entscheidend und anhaltend. Während vor 1700 die auch in der Kunst- und Architekturzeichnung verwendete Linearperspektive in der Form einer Zentralperspektive dominant gewesen war, so wandte man sich nach dieser Zäsur verstärkt der orthogonalen Projektion und maßstabgetreuen Wiedergabe zu und eine frühe Form der heute üblichen Mehrtafelprojektion etablierte sich. Hinzu kommt, dass die kunstvoll gezeichneten Landschaften und Personen zunehmend aus der technischen Zeichnung verschwanden.² Stattdessen wurden die Maschine und deren Einzelteile in den Fokus gerückt – mit dem Effekt einer vermeintlich nüchternen Form der technischen Dokumentation. Am Ende der Frühen Neuzeit am Übergang zum 19. Jahrhundert bildete sich ein eigenständiges technisches Zeichnen heraus: In Traktaten wurde nun auf die darstellende Geometrie für die technische Dokumentation referenziert. Das Maschinenzeichen um 1800 wurde nicht nur als Anwendung der darstellenden Geometrie gesehen, sondern als eine der „schwierigste[n] Gattungen“³ des technischen gewerblichen Zeichnens. Zusätzlich wurden vermehrt eigenständige Institutionen, technische Schulen, Akademien, polytechnische Institute und schließlich technische Hochschulen gegründet.⁴

Wenngleich ab dem 18. Jahrhundert viele Elemente wie Landschaft und Personen aus der technischen Maschinenzzeichnung zunehmend verschwanden, so blieb der Schatten auch in der orthogonalen Projektion erhalten und wurde sogar in die Theorie und Praxis der darstellenden Geometrie aufgenommen. In der Lesart der Zeichenlehren um 1800 konnte der Schatten dazu dienen, die vermeintlich verlorene Anschaulichkeit und Räumlichkeit durch die orthogonale Projektion in die technische Zeichnung zurückzuholen. Doch es finden sich auch andere Motive zur Nutzung des Schattens in dieser Periode. Unter anderem wurde der Schatten als Werkzeug gesehen, um die Präzision der Darstellung, also die Vermessung des abgebildeten Objektes, zu unterstützen.

In diesem Artikel sollen zwei der Schulen der geometrischen Schattentheorie und deren Lehrbücher um 1800 exemplarisch betrachtet werden. Die französische Lesart der darstellenden Geometrie nach Gaspard Monge verstand das technische Zeichnen und die Schattenkonstruktion als Wissenschaft. Im

Gegensatz dazu betonten darauf aufbauende andere Schriften (etwa von Guido Schreiber, Joseph Arbeser) die variable Praxis des technischen Zeichnens und Maschinenzichnens, eine gewisse Freiheit und die Möglichkeit, die Schattenkonstruktion zu adaptieren oder auch gänzlich abzulehnen. Diese zwei Schulen (‚Schule der Präzision‘ und ‚Schule der Praxis‘) lassen sich auch durch ihr Verhältnis zum und die Abgrenzung vom künstlerischen Zeichnen und der Ästhetik näher bestimmen.

Die Kunstgeschichte und teils auch die Bildwissenschaft haben eine gewisse historische Dichotomie bei Bildern je nach Kontext und Verwendung im Bereich der Technik auf der einen und der Kunst auf der anderen Seite postuliert.⁵ Prominent hat diese Unterscheidung insbesondere Gottfried Böhm⁶ getroffen. Wissenschaftliche Bilder wurden dabei als „schwache Bilder“, als möglichst exaktes Abbild des Objektes, kategorisiert. Im Gegensatz dazu stehen die starken Bilder, die Kunstbilder, die gemäß Karen Joisten „Dinge, Gefühle und Vorstellungen“ evozieren und darauf abzielen, die „Wirklichkeit in einer neuen Weise zu sehen.“⁷ Diese wertende Klassifizierung als „schwach“ und „stark“ führte teilweise zu einer Hierarchisierung der zentralen Forschungsobjekte der Kunstgeschichte und Bildwissenschaft. Vielleicht standen deswegen „starke“ Bilder lange Zeit mehr im Fokus der Forschung als die „schwachen“ wissenschaftlich-technischen Bilder⁸. Martina Heßler hat diese Vermeidung, sich mit wissenschaftlich-technischen Bildern zu beschäftigen, auch daran pointiert festgehalten, dass wissenschaftliche Bilder ebenfalls „mit ästhetischen Mitteln Sinn“⁹ produzieren. Auch wissenschaftlich-technischen Bilder beruhen „per definitionem auf ästhetischen Verfahren“¹⁰, wie „Form, Farbe, Linienführung, Kontraste etc.“¹¹ was folglich eine strenge Klassifizierung von künstlerischen versus wissenschaftlich-technischen Bildern in der Praxis erschwert.

Maschinenbilder, wie auch andere Formen der technischen Zeichnung in der Frühen Neuzeit und im 19. Jahrhundert (und darüber hinaus), sind polyfunktional und können nicht eindeutig entweder als künstlerisches oder als wissenschaftlich-technisches Bild klassifiziert werden.¹² Eine Trennung oder gar Dichotomie zwischen Kunst und Technik, zwischen Ästhetik und Rationalität, lässt sich kaum aufrechterhalten. Das gilt insbesondere für Maschinenbilder und die Schattentheorie in der darstellenden Geometrie sowie die Verwendungen von Schattenkonstruktionen bei orthogonal projizierten Perspektiven.

Eine Neubewertung von starken und schwachen Bildern zwischen Kunst und Technik bietet der Aufsatz von Steffen Bogen „Schattenrisse und Sonnenuhr“¹³. Dabei zeigt Bogen, dass bei „visuelle[n] Artefakte[n]“ die „Überlagerungen des Bildlichen und des Diagrammatischen“¹⁴ schon immer eine Bedeutung hatten. Das „Emotionale mit dem Kognitiven, [...] das Schauen und Imaginieren mit Handeln und Entscheiden“¹⁵ finden sich gleichermaßen wieder. In Bezug zur geometrischen Linearperspektive bedeutet dies, dass ein nach den „Regeln der Zentralperspektive aufgebautes ‚Bild‘ [...] hinsichtlich seiner Konstruktionsprinzipien immer auch als Diagramm angeschaut werden [kann].“¹⁶ Unter anderen Vorzeichen können auch die technischen Zeichnungen und bis zu einem gewissen Grad auch (frühneuzeitliche) Maschinenbilder, die einem Regelwerk, Bezugssystemen und Erwartungshaltungen der Betrachter unterworfen sind, nicht nur diagrammatisch, sondern auch bildlich gelesen werden.

Zum Schatten in Malerei und Literatur existieren einige Arbeiten, aber wenige beschäftigen sich mit Schatten in Technik und Wissenschaftsbildern. Michael Baxandall nimmt eine Schlüsselrolle bei der Betrachtung des Schattens in der Frühen Neuzeit ein. Dabei betrachtet er neben der Malerei auch die unterschiedlichen theoretisch orientierten Arbeiten der Aufklärung im Zusammenspiel von Wahrnehmung und Schatten. Grundsätzlich stellt Baxandall die Bedeutung des Schattens fest, ohne auf Bilder der Technik allzu ausführlich einzugehen: „The conviction common to all Enlightenment par-

ties – nativist, empiricist, sensationalist, materialist, associationist – that shadow must somehow be quite central to our perception of the world, whatever the means and basis of our interpreting it, is so firm and compelling that effort is needed to disengage.“¹⁷ Vielleicht ist diese Allgegenwärtigkeit des Schattens in Malerei, Zeichenkunst, Theorie zur Wahrnehmung, Metaphorik, Literatur, aber auch Optik und Mechanik Grund dafür, dass die sich um 1800 entwickelnde Schattentheorie in Technik und darstellender Geometrie als nur eine von vielen leicht übersehen wurde. Fokussierte sich Baxandall auf die Aufklärung und deren Schatten, so bietet Victor I. Stouchita eine weit breitere, wenn auch dadurch verkürzte, Geschichte des Schattens in der Kunst und Darstellungen an. Beginnend mit dem bekannten Mythos von Plinius (der Ältere), der den Ursprung der Malerei in den Schattenportraits sah, zeigt Stouchita, wie sich in der Renaissance die Schattenkonstruktion von einer Praxis in eine Wissenschaft transformierte und sich an Kunstschulen und Akademien verfestigte.¹⁸

Die bisherige hier genannte Forschung zum Schatten und dessen Theorie nimmt entweder nur Bezug auf die Malerei oder in extensiver Weise auf Plinius (und der Interpretation der Geschichte der „Dibutade“ in der Renaissance) oder die Entwickler und Anwender der geometrischen Perspektive in der Renaissance¹⁹ – Dürer, Alberti, Bruneschelli. Zur sich neu etablierenden darstellenden Geometrie im Bereich der Technik und des Maschinenbaus um 1800 werden jedoch keine Verknüpfungen hergestellt. Die Transformationsperiode um 1800 ist jedoch von besonderem Interesse sowohl für die Entwicklung eines eigenständigen technischen Zeichnens wie auch für die Wissenschaft des Maschinenbaus an sich. Es entwickelte sich nicht nur eine eigene Literatur zum technischen Zeichnen sowie darauf aufbauend Maschinenzeichnen, sondern gleichermaßen zur wissenschaftlichen Maschinenkunde beziehungsweise Maschinenlehre.²⁰

In diesem Artikel stehen daher wichtige Spielarten der darstellenden Geometrie um 1800 im Fokus, die Anschaulichkeit und Genauigkeit der Zeichnung in sich vereinigten. Dabei wird nicht nur die Rolle des Schattens beim geometrischen und technischen Zeichnen beleuchtet, sondern auch das Verhältnis des geometrischen Zeichnens freien künstlerischen Zeichnen betrachtet. Die Herausbildung einer darstellenden Geometrie als Wissenschaft und der damit geänderten Schattenkonstruktion Ende des 18. Jahrhunderts ist eng mit einer Veränderung der Praxis des technischen Zeichnens seit dem Anfang des 17. Jahrhunderts verbunden. Im ersten Abschnitt des Artikels wird die Veränderung der Zielsetzung und Ausprägung des technischen Zeichnens anhand des Maschinenzeichnens und der Maschinenkunde des 18. Jahrhunderts exemplarisch betrachtet. Gerade in diesem Bereich, wo technische Zeichnungen bis heute eine zentrale Bedeutung besitzen, waren die Veränderungen gravierend. Als eine der komplexeren Aufgaben in Lehre und Praxis des technischen Zeichnens hatte die Maschinenzeichnung auch zeitgenössisch in der Frühen Neuzeit und im 19. Jahrhundert einen herausragenden Stellenwert. Darauf folgt die Analyse von Spielarten der Schattentheorie der darstellenden Geometrie, unter anderem die französische Schule um Gaspard Monge, die den Schatten der exakten Konstruktion unterwarf, sowie die Pragmatiker, die Anschaulichkeit und Einfachheit gegenüber der exakten Konstruktion von Schattenlinien und Schattenwürfen bevorzugten.

Die Kunst der Technik: Das Maschinenbild im 18. Jahrhundert

„Harmonie, Uebereinstimmung hat eine Zeichnung, wenn die Farben, der Schatten, und das Licht so gut miteinander übereinkommen, und verbunden sind, daß alles angenehm in die Augen fällt.“²¹

Spätestens seit dem Artikel von Panofsky zur *Perspektive als „symbolische Form“* von 1927 war die geometrische Perspektive Gegenstand vieler moderner Untersuchungen in Kunstgeschichte, Bildwissenschaft, Philosophie, und anderen Wissenschaftsfeldern.²² Die Perspektive, in Panofsky Abhandlung

die Zentralperspektive, „beruht auf dem Willen den Bildraum [...] grundsätzlich aus den Elementen und nach dem Schema des empiristischen Sehraums aufzubauen: sie mathematisiert diesen Sehraum [...]“²³. Kritisch merkte dazu Frank Büttner an, dass zwar Raum und Perspektive ursprünglich verknüpft waren, jedoch der Raumbegriff für die Theorie(n) der Perspektive des Spätmittelalters beziehungsweise der Renaissance zu modern erscheint. Denn laut Büttner spielt der Begriff des Raumes „in der frühen Perspektivtheorie keine Rolle“²⁴. Stattdessen betont Büttner, dass es bei den frühen Perspektivtheorien darum gehe, „Körper so, wie sie nach Form, Lage und Distanz dem Auge erscheinen, ‚richtig‘ darzustellen.“²⁵

Parallel dazu ist auch die (moderne) technische Zeichnung darauf spezialisiert „Körper“, in diesem Fall technische Artefakte und Objekte, nach ihrer Form, Maße, Lage, und so weiter näher zu bestimmen. Dazu ist aber zu unterscheiden, dass die Maßgenauigkeit und Proportionalität als Mittel der technischen Dokumentation eine entscheidende Rolle spielen und deswegen die Zentralperspektive wenig relevant ist. In einer modernen Form dient die technische Zeichnung zur „Verständigung zwischen Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Instandhaltung [...] und dem Kunden. Aus ihren Darstellungen sind [...] alle erforderlichen Angaben [...] zu entnehmen. Dies betrifft sowohl Formen und Maße des Werkstücks [...]. Die Aussage einer technischen Zeichnung muss dem Zweck entsprechend vollständig, eindeutig und für jeden Techniker verständlich sein.“²⁶ Die Zentralperspektive verzerrt die Maße der Objekte und setzt den subjektiven Eindruck über das objektivierbare Maßnehmen und Kopieren. Auch Panofsky referenziert dabei bereits auf frühe Kritiker der Zentralperspektive, wie Platon, der diese „verdammte“, weil sie „die ‚wahren Maße‘ der Dinge verzerre“²⁷.

Die Maschinentheater ab dem 16. Jahrhundert²⁸, die umfangreichsten Sammlungen von Maschinenzeichnungen in gedruckter Form, strebten nicht an, die Maschinen wie eine technische Zeichnung proportional wiederzugeben, sondern setzten ganz auf die „sehnahe“ Zentralperspektive, wie sie in der Malerei dieser Zeit zu finden ist. Dementsprechend war das Maschinenbild nur wenig hilfreich für die Verständigung zwischen „Entwicklung, Konstruktion, Fertigung, Instandhaltung“²⁹, wie es das moderne Verständnis von technischer Zeichnung nahelegt. Allerdings diente es sehr wohl der Kommunikation mit den „Kunden“, wie Marcus Popplow argumentiert. Die technische Maschinenliteratur des 16. und 17. Jahrhunderts, so Popplow³⁰, stand in Zusammenhang mit der Bekanntmachung von beziehungsweise Werbemaßnahmen für Technologien und Anwendungen sowie der Kommunikation zwischen Ingenieur (oder Mechaniker, Instrumentenbauer, Maschinenbauer, ...) und einem potenziellen Auftraggeber. Statt auf eine maßgerechte Dokumentation zielte das Maschinenbild in den Maschinentheatern der Zeit wie die Malerei darauf ab, die „Augen und die Herzen der Betrachter zu fesseln und zu rühren“³¹ – unter anderem jene von potenziellen Auftraggebern.

Die Praxis des technischen Zeichnens, unter anderem im Maschinenbau, veränderte sich im 18. Jahrhundert nachhaltig.³² Dazu kam eine neue Art von wissenschaftlicher Literatur, die stark von der technischen Praxis geprägt war und sich anstatt des künstlerischem Zeichnens nun intensiver dem technisch-handwerklichen Zeichnen widmete³³. Die geometrischen Grundlagen der Darstellungsweise blieben jedoch für das künstlerische wie auch das technische Zeichnen dieselben, wobei sich beide in unterschiedliche Richtungen entwickelten und entsprechend optimiert und angepasst wurden.

Die Linearperspektive verlor zunehmend an Bedeutung und wurde im 18. Jahrhundert im Maschinenbau durch die orthogonale Perspektive erweitert beziehungsweise ersetzt. Ab dem frühen 19. Jahrhundert kamen auch verstärkt isometrische und dimetrische Ansichten hinzu.³⁴ Ein Element aus der Linearperspektive blieb dabei jedoch stets erhalten: Der Schatten der Perspektive.

Der Schatten, sowohl Eigenschatten als auch Schlagschatten der abgebildeten Objekte, dient auch in einer modernen Interpretation der Anschaulichkeit des Bildes. Eine „Wiedergabe der Dinge durch Licht und Schatten wirkt plastischer und anschaulicher als eine bloß lineare Zeichnung“³⁵, wie Willy A. Bärtschi, Zeichenlehrer an der Kunstgewerbeschule Zürich, auch noch im 20. Jahrhundert in einem sehr umfangreichen Lehrbuch zur Schattenperspektive feststellte. Der Schatten, so Bärtschi weiter, ist ein „künstlerisches Gestaltungsmittel“ zur Erzeugung von Darstellungen, die „ästhetisch-künstlerischen Ansprüchen genügen.“³⁶

Die orthogonale Darstellung im Maschinenzeichnen des 18. Jahrhunderts war in erster Linie ein zweckmäßiges wissenschaftlich-technisches Bild³⁷, in unterschiedlichen Ausführungen in Bezug auf die Qualität und praktische Anwendbarkeit. Ästhetisch-künstlerische Ansprüche spielten dabei nur eine untergeordnete Rolle. Bereits im frühen 18. Jahrhundert betonte der Autor Leonard Sturm in einem der ersten deutschsprachigen Werke zum Maschinenbau, das auf orthogonale Projektion setzte, diese Zweckmäßigkeit und forderte sie vehement ein. Sturm kritisierte vor allem die Autoren der Maschinenbücher aus dem 16. und 17. Jahrhundert. Diese hätten durch die Anwendung der Linearperspektive zur Verschleierung des umfangreichen Wissens über die abgebildeten Maschinen beigetragen. Diese Verschleierung, so Sturm, sei gezielt erfolgt: „mit Fleiß so verstecken / daß es andere / die nicht schon Bescheid davon wüßten / nicht sollten nachmachen können“. Gerade deshalb seien „Risse alle persepectivisch / und solches dazu nicht aus geometrischem Grunde“ ausgeführt worden. Aus diesen Maschinenbildern konnte unmöglich weder „Maaß noch Proportion“³⁸ abgelesen oder abgenommen werden. Auch die wohl bekannteste Reihe der gedruckten deutschsprachigen Maschinenliteratur (*Theatrum machinarum*, begonnen von Jacob Leupold³⁹) kritisierte ausführlich die Maschinenliteratur des 16. und 17. Jahrhunderts. Leupold stellte fest, dass diese frühen Werke „bey vielen Maschinen kein Maaßstab weder auf dem Riß noch schriftlich“ beinhalten. Er sah in den Darstellungen deswegen „meist Exempel die nur zur Erklärung“ dienen sollen, aber sich in der Praxis nicht „zur Imitation“⁴⁰ eignen würden. Als Konsequenz erweiterten Sturm, Leupold und andere Autoren der Maschinenbücher im 18. Jahrhundert die Darstellung von Maschinen und Technik nicht nur mit Ansichten in orthogonaler Projektion und Detailzeichnungen, sondern verwendeten im Vergleich zu früheren Werken vermehrt eine maßstabgetreue Wiedergabe und entsprechende Maßstäbe.

Aus dieser Zielsetzung könnte man schlussfolgern, dass der Schatten als „künstlerisches Gestaltungsmittel“⁴¹ wenig Berechtigung in Technik und Maschinenbau des 18. beziehungsweise frühen 19. Jahrhunderts hatte. Dennoch blieb der Schatten erhalten, wie die Darstellungen des 18. Jahrhunderts im Maschinenbau zeigen. Als sich um 1800 eine eigenständige Literatur zum technischen Zeichnen herausbildete,⁴² war das gleichermaßen sogar der Beginn der Entwicklung einer eigenen Schattenlehre für technisch-wissenschaftliche Bilder. Die Autoren von Anleitungen und zur Theorie der darstellenden Geometrie der Schatten hatten dabei sehr unterschiedliche Motive – oder interpretierten die Verwendung des Schattens sehr unterschiedlich. Die Bandbreite der Argumente umfasste den Anspruch, dem „Auge zu gefallen“, die Erhöhung der Anschaulichkeit (wie zuvor die Zentralprojektion), das bessere Verständnis des Verhältnisses der verschiedenen Ansichten bis hin zur exakteren Wiedergabe des Gegenstandes.

Letzteres wurde insbesondere von den französischen Autoren der darstellenden Geometrie vertreten, in erster Linie eng verbunden mit den Arbeiten von Gaspard Monge (sowie Jean Nicolas Pierre Hachette und anderen). Ziel der darstellenden Geometrie im Sinne von Monge war es, von Anwendungsbeispielen oder gelernter Praxis zu einer Wissenschaft der Darstellungskunst zu gelangen.

Die Schule der Präzision: Die Schattenlehre nach Monge / Brisson

Die geometrische Schattenlehre als Teil der Wissenschaft der darstellenden Geometrie, wie diese von den französischen Autoren um 1800 benannt wurde, war bereits fixer Bestandteil der Lehre an der *École polytechnique* in Paris. Jedoch ist diese in einer ausführlichen Form nicht in der ersten Auflage von *Geometrie descriptive* von 1798⁴³ enthalten. Erst 1820 erfolgte die Drucklegung der vierten Auflage inklusive des Kapitels zur geometrischen Schattenkonstruktion. Die Veröffentlichung erfolgt durch Barnabé Brisson, Schüler von Monge, Ingenieur und Professor für Stereometrie und Konstruktionslehre an der *École des Ponts et Chaussées*, auf Basis der Aufzeichnungen von Monge.⁴⁴

Charakteristisch bei Brisson und Monge war die Bezeichnung der darstellenden Geometrie und des technischen Zeichnens als Wissenschaft, aus der die Schattentheorie entsprang. Im Gegensatz dazu orientierte sich die deutsche Terminologie stärker am Begriff der „Kunst“, wie „Zeichenkunst“, aber auch der Zusatz „Kunst“ zur Maschine⁴⁵. Brisson beziehungsweise Monge verwendeten den Begriff „Wissenschaft“ konsequent auch bei der Schattentheorie, die sie als eine Art Anwendungsgegenstand und Ergänzung und gleichermaßen Teil der Wissenschaft der darstellenden Geometrie sahen.⁴⁶ Die darstellende Geometrie war in der Sichtweise von Monge und Brisson eine Möglichkeit, Objekte zeichnerisch zu repräsentieren. Die Schattenkonstruktion als Element einer geometrischen Wiedergabe war dabei hilfreich, geht es nach diesen Autoren.⁴⁷

Die Schattentheorie und das Schattenzeichnen wurden von Brisson beziehungsweise Monge weniger der Ästhetik des Objektes zugeordnet, sondern ganz im Gegenteil als Mittel zur besseren Darstellung und Messbarkeit der Objekte gesehen. Brisson beginnt sein Kapitel der Schattentheorie mit einer Herausforderung, die besonders in der orthogonalen Projektion in der Praxis auftaucht: Die Darstellung mit der Methode der orthogonalen Projektion zielt darauf ab, ein Objekt möglichst zweifelsfrei zu definieren – und dazu sind der Regel zwei oder mehr Ansichten des selben Objektes notwendig. Maschinenbilder vor dem 17. Jahrhundert, vor allem in Linearperspektive ausgeführt, kamen in der Regel mit einer Abbildung aus.⁴⁸

Auch für Monge und Brisson war klar, dass ein Objekt nicht durch eine einzige Ansicht (also eine Projektion) definiert und imitiert werden kann. Stattdessen müssen mehrere Ansichten zur Verfügung stehen. Meist, so Brisson und Monge, werde mit zwei Projektionen (eine 2-Tafel Projektion mit Auf- und Grundriss) das abzubildende Objekt in allen drei Dimension für den Betrachter ausreichend definiert. Insbesondere für unerfahrene beziehungsweise ungeübte Betrachter kann es schwierig sein, ständig zwei Projektionen miteinander zu vergleichen und sich daraus das Objekt in allen drei Dimensionen vorzustellen beziehungsweise nachvollziehen. Der Schatten unterstützt den Betrachter dabei, die Verbindung zwischen den einzelnen Ansichten herzustellen. Dies erfolgt durch die Integration einer weiteren Perspektive mit Hilfe einer Schattenkonstruktion in eine ansonsten orthogonale Ansicht. Der Schatten öffnet die Darstellung in einer orthogonalen Projektion und erweitert sie mit einer Perspektive, die die orthogonale Projektion ansonsten gerade durch Präzision und Methode verhindern will. Denn obwohl eine Darstellung in der orthogonalen Projektion leicht auf dem Papier herzustellen ist, ist die Deutung dieser Darstellung mitunter komplex.⁴⁹

Dies gilt insbesondere für Maschinendarstellungen, ging es nach Joseph Arbesser. Arbesser war Assistent für Maschinenlehre und Maschinenzeichnung am kaiserlichen königlichen polytechnischen Institut in Wien und einer der ersten, der bereits 1824 nicht nur in Deutsch eine „Vorbereitung“ oder Zusammenfassung zur darstellenden Geometrie von Monge verfasste, sondern sich auch intensiv mit der „Schatten=Construction“ sowie der Maschinenzeichnung auseinandersetzte. Dabei hielt er sich bei der Beschreibung von Schattenkonstruktionen sehr strikt an die Vorgaben der darstellenden Geo-

metrie von Monge. Arbesser ist in seinem Werk sehr darauf bedacht, die Ausführung der Maschinenzeichnung als die „schwierigste Gattungen“⁵⁰ der Zeichnungen darzustellen. Dabei sprach er die Problematik vieler Maschinenzeichnungen an, die vor allem dann auftritt, wenn die Maschinen aus Teilen unterschiedlicher Größe zusammengesetzt sind und einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen. Neben der Wiedergabe in verschiedenen Ansichten ist auch die Darstellung von Details und spezifischen Teilen einer zusammengesetzten Maschine notwendig. Dabei folgte Arbesser einem seiner aufgestellten Prinzipien „Zweckmäßigkeit als Schönheit“⁵¹ für die Betrachtung von Maschinen. Ausführlich behandelte er die Schattenkonstruktion anhand von Beispielen in verschiedenen Konstellationen, Anwendungen und Ansichten. Obwohl Arbesser sich eng an die darstellende Geometrie hielt und diese möglichst genau auf das Maschinenzeichnen anwenden wollte, so wurde in der Praxis immer einen gewissen Kompromiss benötigt, angesichts der Komplexität und Vielseitigkeit von Maschinen und deren Darstellung mit Hilfe einer oder mehrerer Ansichten in orthogonaler Projektion. Der Schatten verbessert dabei die Lesbarkeit des Verhältnisses zwischen den Ansichten und hebt Einzelteile in einer komplex zusammengesetzten Maschine voneinander ab.

Zur Komplexität von Maschinenzeichnungen und Darstellungen mit mehreren Ansichten (beziehungsweise Projektionen) muss gesagt werden, dass technische Zeichnungen auf die Erwartungen des Zielpublikums⁵² ausgerichtet sind. Technische Bilder, moderne genauso wie solche aus der Frühen Neuzeit, können eine „gruppenspezifische Evidenz“⁵³ besitzen, eine „sanktionierte objektivierte Auskunft über die Verhältnisse bzw. über einen Gegenstand / Sache“⁵⁴ wiedergeben. Dabei geben moderne technischen Zeichnungen in der Regel nicht explizit an, wie sie zu verstehen sind. Es wird erwartet, dass die geschulte Betrachterin solcher modernen technischen Pläne die für das Verständnis notwendigen Hintergründe, verwendete Darstellungsmethoden, Konzeptionen, Normen, et cetera kennt.⁵⁵ Für frühneuzeitliche technische Zeichnungen gilt dies im Grunde ebenso – die Rahmenbedingungen sind aber nicht in Form von Normen universell kodifiziert. Maßstäbe und Maßstabstreue und andere Elemente des technischen Zeichnens wie zum Beispiel Schraffuren, Farbgebung für bestimmte Materialien, Risse, Hilfslinien zur Darstellung und zur Anzeichnung von Symmetrien und vielem mehr sind alles Teil auch der frühneuzeitlichen Zeichnung, müssen den Erwartungen des Betrachters gerecht oder entsprechend erklärt werden.

Damit wird auch verständlich, wie der Schatten in der Wissenschaft der darstellenden Geometrie bei Brisson (und Monge sowie Arbesser) zu verstehen ist.⁵⁶ Der Schatten diene einerseits zur Präzisierung der Zeichnung und andererseits durch die indirekte Aufnahme von anderen Ansichten in eine Ansicht dazu, das Objekt leichter begreifbar zu machen. Somit kann die Vergleichbarkeit der einzelnen Ansichten erhöht und gleichzeitig das Objekt beschrieben werden. Die Linearperspektive erfüllte diesen Anspruch bereits mit nur einer Ansicht, verunmöglicht aber die exakte Wiedergabe. Die orthogonale Perspektive hingegen erlaubte eine exakte Wiedergabe. Diese muss aber erlernt werden, die Verbindung zwischen den Ansichten muss verstanden werden, um damit von den Zeichnungen zur Imitation – zum Nachbau – des abgebildeten Objektes zu gelangen. Der geometrisch konstruierte Schatten in dieser Spielart der französischen Geometrie war dabei Mittel zum Zweck der Erweiterung der „flachen“ orthogonalen Ansicht und vermittelte mit Präzision die Tiefe in einer ansonsten flachen Zeichnung. Dieses sehr an der „nützlichen“ Erweiterung der orthogonalen Ansicht angelehnte Verständnis einer Schattentheorie und dessen Anwendung wurde teils von anderen, auch deutschsprachigen Autoren übernommen, jedoch stärker in den Bereich der Ästhetik als in die Praxis der exakten Wiedergabe des Gegenstandes.

Die Schule der Praxis: Schattenlehre und Pragmatismus

Die exakte Umsetzung einer geometrischen Konstruktion als Prinzip der darstellenden Geometrie ist auch heute noch die Grundlage jeglicher genormten technischen Dokumentation. Kathryn M. Olesko hat dazu in ihrem Artikel *Aesthetic Precision* geschrieben, dass ab 1820 Künstler, Ingenieure und Wissenschaftler im deutschsprachigen Raum „obsessed with the precise representation and reproduction of material reality“ waren und dabei eine eigene „visual culture“⁵⁷ einsetzten und entwickelten, insbesondere in Bezug auf Maschinenkonstruktion und Waffenbau und deren technische Zeichnungen.

Im Gegensatz dazu hält der Mathematiker und Professor für Geometrie an der Universität der angewandten Kunst Wien, Georg Glaeser, ganz allgemein fest, dass die „klassische darstellende Geometrie und das Maschinenzeichnen“ sich vieler „gemeinsamer Methoden“ bedienen. Allerdings: „Maschinenzeichner sind recht pragmatisch. Regeln sind nur ‚Empfehlungen‘, die man, wenn es geht, einhalten sollte.“⁵⁸ Virtuelle Schnitte, spezielle Ansichten, Hervorhebungen, Symbole und Kürzel, Bemäßung, et cetera sind alles Mittel zum Zweck, aber spiegeln nur indirekt die abgebildeten „Objekte wirklich“ wider und verlangen „vom Betrachter der Zeichnung [...] gewisse Vorkenntnisse“⁵⁹.

Solche gewisse Freiheit des Zeichnens verortet man eher im künstlerischen als im technischen Zeichnen. Doch Autoren zur Schattenperspektive in der technischen Zeichnung und Maschinenzeichnung verfolgten nicht unbedingt wie die darstellende Geometrie das Ziel, möglichst exakt zu arbeiten. Ihre Herangehensweise war vielmehr an die Praxis angelehnt, gepaart mit einer möglichst einfachen, aber für den jeweiligen Anwendungszweck ausreichenden Darstellungsform. Auch die Kunst und das Bedürfnis nach Ästhetik finden ihren Niederschlag in der Schattentheorie dieser Zeit – zwischen einer Präzision, wie von Olesko beschrieben, und einer Freiheit, wie von den Autoren der Schattentheorien im 19. Jahrhundert vertreten.

Ein Vertreter dieser an die Praxis angelehnten, aber auch an Ästhetik interessierten Schattentheorie war Guido Schreiber. Schreiber, einer der ersten Autoren im deutschsprachigen Raum, der die geometrische Schattenlehre in Druckwerken behandelte, sah im Zeichnen Kunst und Technik verwandt. Er war einer der ersten Autoren, der die darstellende Geometrie nach Monge und Hachette überhaupt in Deutsch veröffentlicht hat,⁶⁰ aber sich in Folge im zweiten Band an eine freie Interpretation des Schattens in der technischen Zeichnung heranwagte. Im Gegensatz zu Monge und Brisson sah er den Schatten in der technischen Zeichnung nicht nur im Zusammenhang mit der Nützlichkeit zur Präzisierung der Darstellung.

Wie Monge war Schreiber Mathematiker. Ab 1827, neun Jahre nach Monges Tod, erhielt er die Lehrerstelle für darstellende Geometrie und 1829 die Professur für Geometrie am kurz davor gegründeten Karlsruher Polytechnikum, einer der Vorgängerorganisationen des heutigen Karlsruher Instituts für Technologie. Als Polytechniker war Schreiber nicht nur im militärischen Genie- und Artilleriewesen geschult, sondern war eine der zentralen Personen, die zu dieser Zeit den Aufbau und die Organisation der Gewerbeschulen vorantrieben.⁶¹

Schreibers Verständnis des geometrischen Zeichnens sowohl als Kunst als auch als Technik wird auf mehrere Arten sichtbar: Seine zahlreichen Veröffentlichungen zum geometrischen Zeichnen betreffen sowohl das technische wie auch das künstlerische Zeichnen. Einen Fokus auf das technische Zeichnen legte er beispielsweise in dem Werk *Lehrbuch der darstellenden Geometrie* von 1828 sowie in einer Reihe zum technischen Zeichnen inklusive eines Teils zur Schattenlehre⁶² und einer Farbenlehre⁶³. Das künstlerische Zeichnen stand beispielsweise in einem Werk zur Malerei von 1854 im Mit-

telpunkt.⁶⁴ Zusätzlich verband Schreiber das artistische mit dem technischen Zeichnen auch innerhalb der einzelnen Werke.

Für Schreiber werden Kunst und Technik zwar unterschiedlich angewandt, basieren jedoch beide auf der darstellenden Geometrie. Zeichnungen dieser unterschiedlichen Anwendungen sind jeweils in „perspektivischer Einheit entwickelt“⁶⁵ und sind in der Regel mit einem Maßstab an die Wirklichkeit angelehnt – jedoch natürlich nur in einer sinnbildlichen Darstellung, einer Nachahmung.⁶⁶ Vergleichbar dazu ist die Betrachtung von Veit Hans Friedrich Schnorr von Carolsfeld, Lehrer an der Sächsischen Akademie der bildenden Künste, in seinem Werk *Unterricht in der Zeichenkunst* von 1810, dass zwischen „[...] dieser Kunst [der Graphik] und der eigentlichen Malerei steht mitten inne diejenige Zeichenkunst welche auch Schatten und Licht darstellt. Denn Schatten und Licht als die allgemeinsten Töne der Farbe überhaupt fügen zu der Zeichenkunst noch einen Theil der Farbenkunst hinzu. Daher ist die Zeichnung mit Schatten und Licht schon eine zusammengesetzte Kunst.“⁶⁷

Schreiber sah sogar das technische Zeichnen selbst als Kunst an: Wenn der „Jünger des technischen Zeichnens eine gewisse Höhe erstiegen so befindet er sich auch auf dem Boden der Kunst und seine Studien sind auf weite Strecken dieselben wie die des eigentlichen Kunstschülers“. Doch war er sich auch der Unterschiede zwischen Kunst und Technik bewusst. Sein „Lehrgang“ der geometrischen Schattenlehre verfolgte das „Wiederzusammengehen von Kunst und Technik“, und so „liegt darin vielleicht das unterscheidende Merkmal unseres ganzen Lehrganges von dem des gewöhnlichen technischen Zeichnens“. Diese Verbindung tritt laut Schreiber vor allem dort auf, „wo Naturanschauung und Naturbeobachtung das Komplement der wissenschaftlichen Arbeit des Schülers bilden“ und der Schüler „in der Lage ist dabei künstlerische Momente wo sie hervortreten auch erfassen“ zu können.⁶⁸

Das Zeichnen in Kunst und Technik mussten laut Schreiber gleichermaßen erlernt werden, wie das Beobachten und das Erkennen von Möglichkeiten einer besseren Darstellung. In seinem Werk *Malerische Perspektive* argumentierte er, dass die Kunst mehr ist als eine Wiedergabe mit Hilfe konstruktiver Zeichenkunst. So sah Schreiber die Kunst sich an die „perspektivische Einheit“ gebunden, aber „nicht mehr absolut“. Abweichungen waren erlaubt, wenn es die Schönheit oder eine „künstlerische Absicht wesentlich“ förderte.⁶⁹

Diese künstlerische Freiheit gestand Schreiber auch dem technischen Zeichner zu, vor allem dann, wenn es um die Konstruktion des Schattens in der Zeichnung geht. Während die genannten französischen Autoren die Schattenlehre als Hilfsmittel der darstellenden Geometrie zur Präzision und vollständigen Darstellung sahen, ist Schreiber viel pragmatischer. In Bezug auf die Bedeutung und die Ausführung des Schattens meint er: „Sagen wir es nur unumwunden: der Zeichner, der technische Zeichner studirt Schattenlehre um von ihren Sätzen den mäßigsten Gebrauch zu machen.“⁷⁰ Schreiber lehrte zwar die Konstruktion des Schattens auf Basis von Sehstrahlen und geometrischer Konstruktion, sah den Einsatz des Schattens in der Praxis aber nur in begrenztem Ausmaß vorteilhaft. So schafften „richtige und verständig angebrachte Schatten vieles zur Deutlichkeit und zur guten Wirkung eines Gemäldes wie einer technischen Zeichnung [...] so ist doch hierin weises Maß zu halten weil zu viele oder übel angebrachte Schatten schnell die entgegengesetzte Wirkung herbeiführen.“⁷¹

Guido Schreiber erkannte also die Bedeutung des „Schattens“ für die zeichnerische Wiedergabe einer gewissen „Naturwirklichkeit“⁷². Gleichzeitig betonte er aber, dass die Ausführung des Schattens sich auf das „Wesentliche“, die maßstabgetreue Wiedergabe, beschränken sollte, um nicht dem Zweck, nämlich das Objekt entsprechend zu dokumentieren und wiederzugeben, zuwiderzulaufen.⁷³ Mit dieser Sichtweise ist er in seiner Zeit und Zunft nicht alleine. Auch Johann N. Probst, Lehrer für

Darstellende Geometrie an der Augsburger polytechnischen Schule, stellte in seinem Lehrbuch zum technischen Zeichnen fest, dass der Schatten in der Zeichnung „weder die Genauigkeit der Projectionen befördert noch zum Abnehmen der Maße dienlich ist.“⁷⁴ Wie Probst festhielt, der Zweck des „Schattierens der technischen Zeichnungen ist kein anderer, als den Überblick über dieselben zu erleichtern.“⁷⁵ Auch Meno Burg (Major der Artillerie Preußen und Lehrer an der Artillerie- und Ingenieurschule Berlin) sah den Schatten, oder wie er es nennt, die „Beleuchtung der Zeichnungen“, als ein wesentliches Element „den bildlichen Darstellungen eine größere Deutlichkeit und zugleich vermehrte Aehnlichkeit mit dem vorzustellenden Gegenstände zu geben.“⁷⁶

Abschließend darf als Vertreter einer Schattentheorie, die sich teils an der Praxis orientiert und andererseits eine erhöhte Deutlichkeit der Darstellung anstrebt, V. Le Blanc nicht fehlen. Auch Guido Schreiber beruft sich in seinen Ausführungen⁷⁷ zu einer wesentlichen Schattentheorie auf die Arbeiten von Le Blanc zum Maschinzeichnen. Die Sichtweise von Le Blanc sowohl in Bezug auf die Konstruktion als auch das Zeichnen von Maschinen lässt sich mit folgendem kurzen Absatz am besten zusammenfassen: „Man muß jedoch nicht glauben, daß den Formen, welche Theorie und Erfahrung erheischen, die wahre Schönheit abgehe, welche der gute Geschmack in Anspruch nimmt. Letzterer ist sogar der sichere Führer, der in ähnlichen Fällen alle unnöthigen Zusätze verwirft. Wenn alle Theile einer Maschine, obgleich einfach, doch so angeordnet sind, daß sie zum allgemeinen Zwecke beitragen, und sich auch unter einander gegenseitig unterstützen, so entsteht daraus in der That ein gewisses Ebenmaß und eine Uebereinstimmung aller Theile, wodurch dem Kenner weit mehr genügt wird, als durch alle unnöthigen und deshalb schädlichen Verzierungen.“⁷⁸

Grundsätzlich wurde der Schatten in der technischen Zeichnung inklusive Maschinzeichnung in der Frühen Neuzeit und dem 19. Jahrhundert akzeptiert und angewandt, wenn auch aus unterschiedlichen Beweggründen. Selbst moderne Interpretationen sehen sinnvolle Verwendungsmöglichkeiten des Schattens in Teilbereichen technischer Darstellungen⁷⁹ (Architektur, Rendering, und so weiter). Die Neubewertung der darstellenden Geometrie als Wissenschaft sowie die sich immer feiner etablierende visuelle Fachsprache auch im Maschinzeichnen führte dazu, dass die Notwendigkeit des Schattens in der technischen Zeichnung hinterfragt wurde. Bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts waren Autoren wie Schreiber, Le Blanc, Burg oder Probst darauf bedacht, den Schatten auf das Wesentliche zu reduzieren – auf die Unterstützung der Darstellung. Im 19. Jahrhundert änderte sich auch die Praxis im Maschinzeichnen zusehends nachteilig für den Schatten (und das Licht). Einen sehr pragmatischen und stark ablehnenden Zugang zum Schatten legte Ferdinand Redtenbacher (Professor für Maschinenbau an der technischen Hochschule Karlsruhe ab 1841 und einer der Begründer des wissenschaftlichen-akademischen Maschinenbaus⁸⁰ in Zentraleuropa) in einem seiner Standardwerke von 1852 dar: „In den Schulen wird gewöhnlich mit dem Zeichnen unendlich viel gespielt. Es werden oftmals schön schattirte und iluminirte oder gar perspektivische Bildchen gemacht, auf denen Alles, nur nicht das, was man zur Ausführung braucht, enthalten ist, [...]. Wer einmal erfahren hat, welcher Aufwand von Zeit und Mühe erforderlich ist, um die Zeichnungen so auszuarbeiten, dass man darnach ausführen kann, dem vergeht die Lust zu derlei kindischen Beschäftigungen, Verständige Zeichnungen sollen nicht mehr und nicht weniger enthalten, als zur Ausführung nach denselben nothwendig, ist.“⁸¹

Nicht nur die Perspektive – hier Zentral- und Linearperspektive – ist für die Verwendung in der Maschinzeichnung nicht mehr passend, auch der Schatten selbst bleibt außen vor, wenn Redtenbacher schreibt: „Schraffirungen und Schattenlinien soll man nicht anwenden [...]. Die Schattenlinien haben bei Zeichnungen in grösserem Maasse gar keinen Sinn und beeinträchtigen die Genauigkeit der

Maase.⁴⁸² Die Praxis des Maschinenzeichnens hatte sich bei Ferdinand Redtenbacher vom Schatten, vor allem dem konstruierten vollständigen Schatten der darstellenden Geometrie gelöst. Im Gegensatz zu Schreiber ordnete er den Schatten nicht mehr der technischen Zeichnung zu und sah ihn sogar als Störfaktor für das eigentliche Ziel, die Maßgenauigkeit. Aber auch Schreiber, Le Blanc und die anderen Autoren sahen den Schatten nicht mehr in der Tradition der reinen darstellenden Geometrie, sondern als Element, das bei Bedarf verwendet werden kann und deren Verwendung mit einer gewissen Freiheit in der Ausführung einherging. Die Mühen und der Aufwand von Schattenkonstruktionen wurden dabei in Verhältnis zum Nutzen, nämlich der besseren Darstellung, gestellt.

Der Schatten verschwand jedoch nie ganz aus der Maschinenzeichnung oder der technischen Zeichnung generell. In der Übergangsphase des geometrischen Zeichnens um 1800 wurde der Schatten einerseits als pragmatisches Mittel der sehnahen Abbildung zur besseren Nachvollziehbarkeit verwendet und wurde andererseits auch der vollkommenen Exaktheit der Ausführungen der darstellenden Geometrie unterworfen. Eine Reduktion des Schattens in der technischen Zeichnung kann hingegen mit der Einführung der Blaupause im 19. Jahrhundert festgestellt werden, die aufgrund ihrer Ausprägung Schatten und Farbe sowie durchgängig ausgemalte Flächen in dieser Breite nicht mehr zuließ. In der Moderne wiederum haben computergestützte Designsysteme und digitale 3D-Modellierungen zu einem gewissen Comeback des Schattens in der technischen Zeichnung beigetragen – denn die umfangreichen Arbeiten, eine Schattenkonstruktionen anzulegen, entfielen oder reduzierten sich auf einen einfachen computergestützten Prozess.

Anmerkungen

- 1 Die Literatur zu Licht und Schatten in der Malerei ist umfangreich und ein zentrales Thema in der Malerei insbesondere der Renaissance, siehe dazu (Auswahl): Andreas Prater, *Licht und Farbe bei Caravaggio: Studien zur Ästhetik und Ikonologie des Hell-dunkels*, Stuttgart 1992. George Bauer, „Experimental Shadow Casting and the Early History of Perspective“, in: *The Art Bulletin* 69.2 (1987), S. 211–219; Im Vergleich dazu eine Analyse von Schatten und Licht in modernen Medien und Kunst mit Bezügen zur Renaissance und früheren Epochen: Piotr Sadowski, *The Semiotics of Light and Shadows: Modern Visual Arts and Weimar Cinema*, London/New York 2019.
- 2 Siehe zu Maschinenzeichnungen und den Maschinentheatern des 16. und 17. Jahrhunderts: Alexander Gustav Keller, *A Theatre of machines*, London 1964. Sabine Friedrich, „Die theatrale Ausstellung wundersamer Maschinenteknik: Ambivalente Konfiguration von Technik und Theater im Siglo de Oro“, in: *Zwischen Literatur und Naturwissenschaft. Debatten, Probleme, Visionen 1680–1820*, hrsg. von Rudolf Freiburg, Christine Lubkoll und Harald Neumeyer, Berlin/Boston 2017, S. 3–32. Nikola Roßbach, *Poiesis der Maschine. Barocke Konfigurationen von Technik, Literatur und Theater*, Berlin 2013. Helmut Hiltz, *Theatrum Machinarum. Das technische Schaubuch der frühen Neuzeit*, München 2008. Nicht nur für die Maschinenzeichnung der Frühen Neuzeit von Interesse ist der Sammelband *Picturing machines 1400 – 1700*, hrsg. von Wolfgang Lefèvre, Cambridge 2004.
- 3 Joseph Arbesser, *Constructions-Lehre mit ihren Anwendungen auf Schatten-Construction, Perspectiv und Maschinenzeichnung*, Wien 1824, S. 104.
- 4 Zur Entwicklung der darstellenden Geometrie siehe Peter J. Booker, „Gaspard Monge (1746–1818) and his effect on Engineering Drawing and Technical Education“, in: *Transactions of the Newcomen Society* 340 (1961), S. 15–36. Peter J. Booker, *A history of engineering drawing*, London 1963. Alois Nedoluha, *Kulturgeschichte des technischen Zeichnens*, Wien 1960. Klaus Hentschel, *Visual Cultures in Science and Technology: A Comparative History*, Oxford, bes. Kapitel 8, S. 264f. Kirsti Andersen, *The geometry of an art. The history of the mathematical theory of perspective from Alberti to Monge*, New York 2007, bes. S. 707–711. Eine Perspektive vor Monge dazu: Filippo Camerota, „Renaissance Descriptive Geometry. The Codification of Drawing Methods“, in: *Picturing machines 1400 – 1700*, hrsg. von Wolfgang Lefèvre, Cambridge 2004, S. 175–208. Ergänzend dazu auch Ken Alder, der sich unter anderem mit der Bedeutung von Gaspard Monge und den politischen Umbrüchen in Frankreich des ausgehenden 18. Jahrhundert auseinandersetzt: Ken Alder, *Engineering the Revolution. Arms and enlightenment in France, 1763 – 1815*, Princeton 2010, bes. S. 139ff.

- 5 Siehe dazu Bettina Heintz und Jörg Huber, „Der verführerische Blick: Formen und Folgen wissenschaftlicher Visualisierungsstrategien“, in: *Mit dem Auge denken. Strategien der Sichtbarmachung in wissenschaftlichen und virtuellen Wellen*, hrsg. von Bettina Heintz und Jörg Huber, Zürich/Wien/New York 2001, S. 9–40, hier S. 20; Ergänzend dazu auch Martina Heßler, „Einleitung. Annäherungen an Wissenschaftsbilder“, in: *Konstruierte Sichtbarkeiten. Wissenschafts- und Technikbilder seit der Frühen Neuzeit*, hrsg. von Martina Heßler, München 2006, S. 11–37, hier bes. S. 20; Martina Heßler: „Bilder zwischen Kunst und Wissenschaft“, in: *Geschichte und Gesellschaft* (2005), S. 266–292. Die Produkte der Annäherung zwischen Kunstgeschichte / Bildwissenschaft und historischer Forschung finden sich unter anderem in dem Sammelband: *Das technische Bild. Kompendium zu einer Stilgeschichte wissenschaftlicher Bilder*, hrsg. von Horst Bredekamp, Birgit Schneider und Vera Düinkel, Berlin 2008.
- 6 Diese Kategorisierung in „starke“ und „schwache“ Bilder findet sich insbesondere bei Gottfried Boehm, „Zuwachs an Sein. Hermeneutische Reflexion und bildende Kunst“, in: *Wie Bilder Sinn erzeugen. Die Macht des Zeigens*, hrsg. von Gottfried Boehm, Darmstadt 2007, S. 243–267. Siehe dazu auch Christiane Kruse, „Starke‘ und ‚schwache‘ Bilder zwischen Wissenschaft und Kunst. Überlegungen im Anschluss an Gottfried Boehm“, in: *Kritische Berichte. Zeitschrift für Kunst- und Kulturwissenschaften* 37.4 (2009), S. 5–14.
- 7 Zitate siehe: Karen Joisten, *Philosophische Hermeneutik*, Berlin 2009, S. 205.
- 8 Siehe dazu auch Steffen Bogen, „Schattenriss und Sonnenuhr. Überlegungen zu einer kunsthistorischen Diagrammatik“, in: *Zeitschrift für Kunstgeschichte* 68.2 (2005), S. 153–178.
- 9 Heßler 2006 (wie Anm. 5), S. 22.
- 10 Heßler 2005 (wie Anm. 5), S. 279.
- 11 Ebd.
- 12 Zu Technik und den Techniken in Wissenschaftsbildern siehe Martin Kemp, *The science of art. Optical themes in western art from Brunelleschi to Seurat*, New Haven/London 1990. Ken Baynes und Francis Pugh, *The art of the engineer*, Guildford/Surrey 1981.
- 13 Bogen 2005 (wie Anm. 8).
- 14 Ebd., S. 168.
- 15 Ebd.
- 16 Ebd., S. 171.
- 17 Michael Baxandall, *Shadows and Enlightenment*, New Haven/London 1995, S. 32.
- 18 Victor I. Stoichita, *A Short History of the Shadow*, London 1999, bes. Kapitel 2, S. 42ff: Zu den frühen Experimenten mit dem Schatten und zur Entwicklung der Perspektive: Bauer 1987 (wie Anm. 1).
- 19 Siehe dazu auch neben den bereits genannten Werken zu Schatten in der Malerei und im Druck: Ernst H. Gombrich, *Shadows. The Depiction of Cast Shadows in Western Art*, New Haven/London 2014.
- 20 Programmatische Werke dazu zum Beispiel Johann Friedrich Lempe, *Lehrbegriff der Maschinenlehre, mit Rücksicht auf den Bergbau*, 2 Bände, Leipzig 1795–1797. Karl Christian von Langsdorf, *Handbuch der Maschinenlehre für Praktiker und akademische Lehrer*, 2 Bände, Altenburg 1797–1799. Erich Nordwall und Johann Georg Ludolph Blumhof, *Maschinenlehre, oder theoretisch-praktische Darstellung des Maschinenwesens bey Eisenberg- Hütten- und Hammerwerken*, Berlin 1804. Johann Heinrich Moritz von Poppe, *Encyclopädie des gesammten Maschinenwesens, oder vollständiger Unterricht in der praktischen Mechanik und Maschinenlehre*, 5 Bände, Leipzig 1803–1810.
- 21 Definition des Begriffes „Harmonie“ in der Zeichenlehre für Ingenieure in Ferdinand Landerer, *Gründliche Anleitung Situations-Pläne zu zeichnen. Zum Gebrauche der k.k. der Ingenieur Akademie*, Wien 1783, S. 12. Das Anlegen von Plänen und Karten in diesem Werk und als Teil des Ingenieurswesens in der Frühen Neuzeit dient neben dem militärischen Zweck insbesondere dem Vermessungswesen im Wasserbau, Architektur, Gartenbau, etc. und wird auch für die statistische Betrachtung von Regionen und deren Wirtschaftsstrukturen verwendet (zum Beispiel Karten mit allen Mühlen oder Bergwerken einer Region). Ferdinand Landerer war als Zeichenlehrer an der k.k. Ingenieur Akademie Wien tätig (spätestens 1778). Er war ein ausgebildeter Kupferstecher der Akademie der bildenden Künste und deren Mitglied. Neben seiner Tätigkeit als Zeichenlehrer ist auch eine Anzahl an großen künstlerischen Werken von ihm (namentlich) überliefert. Zu Landerer und seinen Werken siehe Ignatz de Luca, *Das gelehrte Oesterreich. Ein Versuch*, Wien 1778, I. Bandes 2. Stück, S. 324f. Eintrag, „Landerer, Ferdinand“, in: *Biographisches Lexikon des Kaiserthums Oesterreich*, Band 14, hrsg. von Constant von Wurzbach, Wien 1865, S. 71f.
- 22 Erwin Panofsky, „Die Perspektive als ‚symbolische Form‘“, in: *Aufsätze zu Grundfragen der Kunstwissenschaft*, hrsg. von Erwin Panofsky und Hariolf Oberer, Berlin 1980, S. 99–167. Zur Perspektive in der Renaissance und darüber hinaus siehe auch: Samuel Y. Edgerton, *The Renaissance rediscovery of linear perspective*, New York u.a. 1976. Heike Schlie, „The Invention of Innovation. ‚Zentralperspektive‘ und ‚Ars Nova‘ als Positionierungen des Neuen“, in: *Das Ursprüngliche und das Neue. Zur Dynamik ritueller Prozesse in Geschichte und Gegenwart*, hrsg. von Burkhard Dücker, Berlin/Münster 2008, S. 227–256.
- 23 Panofsky 1980 (wie Anm. 22), S. 126.
- 24 Frank Büttner, „Perspektive als rhetorische Form. Kommunikative Funktionen der Perspektive in der Renaissance“, in: *Bildrhetorik*, hrsg. von Joachim Knappe, Baden-Baden 2007, S. 201–231, hier S. 205.
- 25 Ebd., S. 205.
- 26 Paul Böttcher, Richard Forberg, Ulrich Kurz und Herbert Wittel, Böttcher/Forberg: *Technisches Zeichnen. Grundlagen, Normung, Übungen und Projektaufgaben*, 26. überarb. und vermehrte Aufl., Wiesbaden 2014, S. 1.

- 27 Panofsky 1980 (wie Anm. 22), S. 125.
- 28 Zu den frühneuzeitlichen Maschinentheatern siehe die umfangreiche Forschungsliteratur in Anm. 2. Zum „Theater“-Begriff in den Wissenskulturen der Frühen Neuzeit: Jan Lazardzig, *Theatermaschine und Festungsbau. Paradoxien der Wissensproduktion im 17. Jahrhundert*, Berlin 2007. Markus Friedrich, „Frühneuzeitliche Wissenstheater. Textcorpus und Wissensbegriff“, in: *Wissenspeicher der Frühen Neuzeit. Formen und Funktionen*, hrsg. von Frank Grunert und Anette Syndikus, Berlin/Boston 2015, S. 297–327.
- 29 Böttcher u.a. 2014 (wie Anm. 26), S. 9.
- 30 Marcus Popplow, *Neu, nützlich und erfindungsreich. Die Idealisierung von Technik in der frühen Neuzeit*, Münster u.a. 1998. Marcus Popplow, „Why draw pictures of machines? The social contexts of early modern machine drawings“, in: *Picturing machines 1400 – 1700*, hrsg. von Wolfgang Lefèvre, Cambridge 2004, S. 17–48. Siehe dazu auch Susanne Thürigen, „Giudizio e disegno – Maschinenzzeichnungen zwischen Bild und Plan, 1580 – 1620“, in: *Lernt Zeichnen! Techniken zwischen Kunst und Wissenschaft. 1525 – 1925*, hrsg. von Maria Heilmann, Nino Nanobashvili, Ulrich Pfisterer und Tobias Teutenberg, Passau 2015, S. 59–71.
- 31 Dieses bekannte Zitat von Leon Battista Alberti verweist auf das „höchste Ziel“ der Malerei. Alberti, einer der wichtigsten Vertreter der Perspektivkunst und der Theorie der Renaissance, schrieb neben Werken zur Malerei unter anderem Werke zu bildender Kunst, Architektur, Prosa, Landwirtschaft und Viehzucht, etc. Zitat: Leon Battista Alberti, Oskar Bätschmann und Christoph Schäublin, *Das Standbild. Die Malkunst. Grundlagen der Malerei*, Darmstadt 2000, S. 293.
- 32 Harald Kleinberger-Pierer, „Minting the picture – Machines and coinage in transition from the sixteenth to the eighteenth century“, in: *Mining, Money and Markets in the Early Modern Atlantic – Digital Approaches and New Perspectives*, hrsg. von Renate Pieper, Claudia Jeffries und Markus Denzel, Cham 2019, S. 257–283. Siehe dazu auch Mária Celková, „Der Zeichenunterricht und die Zeichnungen der Studenten der Berg- und Forstakademie in Banská Štiavnica in der Sammlung des Staatlichen zentralen Bergarchivs“, in: *Bergbau und Kunst, Teil I: Bildende Künste. Architektur, Grafik, Malerei, Glasmalerei, etc. 9. Internationaler Montanhistorischer Kongress, Sterzling Schwaz*, hrsg. von Johann Bair und Wolfgang Ingenhaeff, Hall in Tirol, 2010, Hall in Tirol 2011, S. 45–66 – Celková konnte zeigen, wie sich die Lehre über das Zeichnen von Grubenkarten an der Bergakademie Schemnitz am Übergang zum 18. Jahrhundert veränderte. Ende des 18. Jahrhunderts war verstärkt ein „universales polytechnischen Charakter“ (ebd., S. 56) etabliert. Am Anfang des 19. Jahrhunderts verschwand auch der technisch-künstlerische Charakter zugunsten eines reinen technischen Zeichnens immer stärker.
- 33 Neben den hier erwähnten und besprochenen Werken fallen darunter besonders (Auswahl): Johann Maria v. Quaglio, *Praktische Anleitung zur Perspektiv mit Anwendungen auf die Baukunst*, München 1811. Clement Paulus, *Gründliche Anweisung zur geometrischen Zeichnungslehre, nach mathematischen Grundsätzen*, Prag 1817. Friedrich C. F. Herdegen, *Praktische Zeichnungslehre zur Selbstübung für Militär- und Civil-Personen: in drey Theilen nach Grundsätzen bearb. u. hrsg. Fortifications-, Architectur-, Perspektiv-, Artillerie- und Maschinen-Zeichnungslehre*, München 1819. Wilhelm Günther Bleichrodt, *Handbuch für den architektonischen Zeichnungs-Unterricht und für die Verfertigung der Baurisse und Bauanschlüge*, Ilmenau 1823. Gernot Schaffnit, *Geometrische Constructionslehre oder darstellende Geometrie*, Darmstadt 1828. Meno Burg, *Das architektonische Zeichnen*, Berlin 1830. Wachsmann, *Geometrie für Handwerker*, Magdeburg/Rubach 1831. Albrecht von Sydow, *Das Planzeichnen, die Anwendung der Meßinstrumente und das militairische Aufnehmen und Croquieren. Bearbeitet als praktischer Leitfaden*, Berlin 1838. V. Le Blanc, *Die Lehre vom Maschinenzichnen*, Wien 1839. Sebastian Haindl, *Maschinenkunde und Maschinenzichnen*, München 1852. Siehe zur Entwicklung des Zeichnens im Unterricht im 18. Jahrhundert, insbesondere künstlerisches aber auch gewerbliches Zeichnen: Angelika Plank, *Akademischer und schulischer Elementarzeichnenunterricht im 18. Jahrhundert*, Frankfurt am Main u.a. 1999.
- 34 Eine der ersten ausführlichen Arbeiten zur isometrischen Projektion stammt von William Farish, „On Isometrical Perspective“, in: *Cambridge Philosophical Transactions* 1 (1822), S. 1–19. Siehe dazu auch Snezana Lawrence, „History of Descriptive Geometry in England“, in: *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, hrsg. von Santiago Huerta, Madrid 2003, S. 1269–1281, hier S. 1273f. Auch im deutschsprachigen Raum finden sich gerade am Anfang des 19. Jahrhunderts weitere Arbeiten dazu – unter anderem Joseph Jopling, *Die Anwendung der isometrischen Perspective*, Wien 1840. Die Beschreibung der ersten gedruckten Werke sowohl in englischer wie auch in deutscher Sprache zur isometrischen Projektion findet sich bei C. Th. Meyer, M. H. Meyer, *Lehrbuch der Axonometrie oder gesammten isometrischen, monodimetrischen und anisometrischen Projektionslehre*, Leipzig 1852, S. 10f.
- 35 Willy A. Bärtschi, *Schattenspektive: Perspektive II*, Wiesbaden 1978, S. 9.
- 36 Ebd., S. 10.
- 37 Zur Definition von Bildern in der Wissenschaft und deren Applikation: *Kompetenzen der Bilder: Funktionen und Grenzen des Bildes in den Wissenschaften*, hrsg. von Ulrich Ratsch, Ion-Olimpiu Stamatescu und Philipp Stoellger, Tübingen 2009. Bernd Hüppauf und Peter Weingart, „Wissenschaftsbilder – Bilder der Wissenschaft“, in: *Frosch und Frankenstein – Bilder als Medium der Popularisierung von Wissenschaft*, hrsg. von Bernd Hüppauf und Peter Weingart, Bielefeld 2009, S. 11–43.
- 38 Alle Zitate von Leonhard Christoph Sturm, *Vollständige Mühlen Baukunst*, Augspurg 1718, Vorrede o.S. [S. 1–2].
- 39 Die Arbeiten erschienen mehrbändig – nach seinem Tod durch andere Autoren und in mehreren Auflagen fortgeführt – Jacob Leupold, Johann Matthias Beyer, Johann Karl Weinhold u.a., *Theatrum machinarum. Mehrbändig*, Leipzig 1724ff.

- 40 Jacob Leupold, *Theatrum Machinarum Generale. Schau-Platz Des Grundes Mechanischer Wissenschaften*, Leipzig 1724, Vorrede, o.S. [S. 5].
- 41 Wie Anm. 36.
- 42 Dabei darf nicht unerwähnt bleiben, dass das künstlerische und das technische Zeichnen in der Frühen Neuzeit die gleiche Basis aufwiesen – was sich auch in entsprechenden Trakten der Zeichenkunst niederschlug. Das bekannteste dazu ist wohl das Werk von Albrecht Dürer, *Hierinn sind begriffen vier bücher von menschlicher Proportion*, Nürnberg 1528, das Vorlagen und Übungen zu unterschiedlichen Projektionsarten beinhaltet. Dieses Werk in unterschiedlichen Ausgaben bzw. andere Werke von Dürer finden sich deswegen auch noch im 18. Jahrhundert in den Katalogen der Bibliotheken wieder – so auch im Bestand der Bibliothek der Prager Ingenieurschule (ca. 1718–1800): Marie L. ČernáŠlapáková, *Vzácné staré knihy ve Státní technické Knihovně v Praze. [Výběr připravila, úvodem a výkladem gatřila]*, Praha 1971, S. 151f. Ergänzend dazu auch Jeanne Pfeifer, „Projections embodied in technical drawings: Dürer and his followers“, in: *Picturing machines 1400 – 1700*, hrsg. von Wolfgang Lefèvre, Cambridge Mass. 2004, S. 245–275.
- 43 Gaspard Monge, *Géométrie descriptive*, Paris 1798. Zu Monge und der darstellenden Geometrie siehe Anm. 4.
- 44 Siehe dazu Gaspard Monge und Barnabé Brisson, *Géométrie descriptive. Quatrième Edition*, Paris 1820, S. VI–VII; Siehe dazu auch Gaspard Monge und Robert Haussner (Übers.), *Darstellende Geometrie*, Leipzig 1900, S. 187f.
- 45 Zu den Begriffen „Kunst“, „künstlich“ und „Maschine“ siehe Karlheinz Jakob, *Maschine, mentales Modell, Metapher. Studien zur Semantik und Geschichte der Techniksprache*, Tübingen 1991, bes. S. 134ff.
- 46 Siehe dazu exemplarisch die Stelle bei Monge/Brisson 1820 (wie Anm. 44), S. 137: „Mais dans un cours spécialement consacrée à la Géométrie descriptive proprement dite, il est naturel de prendre pour premier objet d'application, la Théorie des Ombres, qui doit être regardée comme le complément de cette science.“
- 47 Original bei Monge/Brisson 1820 (wie Anm. 44), S. 137: „On a dit que la Géométrie descriptive doit être envisagée sous deux points de vue. Sous le premier, on la considère comme un moyen de recherches pour arriver, avec précision, à des résultats dont on a besoin; et c'est ainsi que l'emploi de la coupe des pierres et la charpente. Sous le second, elle est simplement un moyen de représenter les objets; et dans ce cas, la détermination des ombres est pour elle un auxiliaire avantageux.“
- 48 Gerade die frühen Werke der Maschinentheater des 16. und 17. Jahrhunderts (siehe Literatur dazu in Anm. 2) setzten auf die Darstellung einer Maschine in einer Ansicht (meist Zentralperspektive). Besonders ausgeprägt kann dies beispielsweise bei Georg Andreas Böckler, *Theatrum machinarum novum*, Nürnberg 1661 gesehen werden, der fast ausschließlich auf die Linearperspektive setzte. Den scharfen Kontrast dazu setzt Pieter Lindberg, *Architectura mechanica*, Amsterdam 1727 – Dabei wird konsequent die orthogonale Projektion verwendet und die Mühle sowie ihre Einzelteile in mehreren Ansichten auf mehreren Bögen maßstabsgetreu dargestellt.
- 49 Original bei Monge/Brisson 1820 (wie Anm. 44), S. 137: „Les personnes qui sont au courant des méthodes de cette science, savent qu'une projection seule ne suffit pas pour définir un objet; qu'il faut nécessairement deux projections, parce qu'il y a toujours sur un plan, une des dimensions qui manque, mais qu'au moyen de deux projections, les trois dimensions se trouvent déterminées. Lors donc que l'on considère la description d'un objet faite complètement au moyen de ses deux projections, on doit comparer la projection horizontale avec la projection verticale; et c'est de cette perpétuelle comparaison que l'on déduit la connaissance de la forme de l'objet proposé. Quoique la méthode des projections soit facile, et qu'elle ne soit pas dépourvue d'un genre particulier d'élégance, cependant, cette obligation de comparer sans cesse deux projections l'une à l'autre, est une fatigue qu'on peut diminuer considérablement par l'indication des ombres.“
- 50 Arbesser 1824 (wie Anm. 3), S. 104.
- 51 Ebd., S. 106.
- 52 Durch die Anwendung von verschiedenen Visualisierungsstrategien können unterschiedliche Publikumsgruppen oder auch „neues“ Zielpublikum angesprochen werden; Siehe beispielsweise für Varianten der Visualisierungsstrategien in der Renaissance: Sven Dupré, „Visualization in Renaissance Optics: The Function of Geometrical Diagrams and Pictures in the Transmission of Practical Knowledge“, in: *Transmitting knowledge. Words, images, and instruments in early modern Europe*, hrsg. von Sachiko Kusukawa und Ian Maclean, Oxford/New York 2006, S. 11–39.
- 53 David Gugerli und Barbara Orland, „Einleitung“, in: *Ganz normale Bilder. Historische Beiträge zur visuellen Herstellung von Selbstverständlichkeit*, hrsg. von David Gugerli und Barbara Orland, Zürich 2002, S. 9–16, hier S. 11.
- 54 Ebd., S. 9.
- 55 Gugerli/Orland 2002 (wie Anm. 53) verweisen dabei auf das „Disjunktionsprinzip der naturwissenschaftlichen Darstellung“ (S. 9): Je natürlicher ein Gegenstand in der bildlichen Wiedergabe erscheint, desto mehr kann man bei wissenschaftlichen Bildern davon sprechen, dass sie stärker konstruiert sind. Zur Normung und Definition der technischen Zeichnung siehe Böttcher u.a. 2014 (wie Anm. 26).
- 56 Siehe dazu das Kapitel *Théorie des Ombres et de la Perspective* bei Monge/Brisson 1820 (wie Anm. 44), S. 136ff.
- 57 Kathryn M. Olesko, „Aesthetic Precision“, in: *Tensions and Convergences: Technological And Aesthetic Transformations of Society*, hrsg. von Reinhard Heil, Andreas Kaminski, Marcus Stippak, Alexander Unger und Marc Ziegler, Bielefeld 2007, S. 37–46, Zitate, S. 39.
- 58 Georg Glaeser, *Geometrie und ihre Anwendungen in Kunst, Natur und Technik*, Berlin/Heidelberg 2014, Zitate S. 70.

- 59 Zitate ebd., S. 70
- 60 Guido Schreiber, *Lehrbuch der darstellenden Geometrie nach Monge's Géométrie descriptive*, Karlsruhe 1828; Im gleichen Jahr erschien auch vom Mathematiker und Lehrer an der Militärschule Darmstadt Georg Schaffnit (1795–1849) ein Werk (Georg Schaffnit, *Geometrische Constructionslehre oder darstellende Geometrie: (Géométrie descriptive)*, Darmstadt 1828). Dieses Werk hielt sich strikter an die ersten Ausgaben von Gaspard Monge's *Géométrie descriptive* und beinhaltet deswegen wenig Inhalt zum Schatten selbst.
- 61 Zur Biografie siehe Moritz Cantor, „Schreiber, Guido“, in: *Allgemeine Deutsche Biographie* 54 (1908), S. 185f.
- 62 Guido Schreiber, *Das technische Zeichnen. Praktische Anleitung für Architekten, Techniker, Mechaniker und Bauhandwerker. Band 2, Vierte Abtheilung: Schattenlehre*, Leipzig 1868.
- 63 Guido Schreiber, *Das technische Zeichnen. Die Farbenlehre: für Architekten, Maler, Techniker u. Bauhandwerker*, Leipzig 1868.
- 64 Guido Schreiber, *Malerische Perspektive*, Karlsruhe 1854.
- 65 Ebd., bes. §32–33.
- 66 Ebd., bes. §1–2.
- 67 Veit Hans Friedrich Schnorr von Carolsfeld, *Unterricht in der Zeichenkunst*, Leipzig 1810, S. 28.
- 68 Alle Zitate Schreiber 1868 (wie Anm. 62), S. V.
- 69 Alle Zitate Schreiber 1854 (wie Anm. 64), §34.
- 70 Schreiber 1868 (wie Anm. 62), S. 150.
- 71 Ebd.
- 72 Schreiber 1868 (wie Anm. 63), S. 128.
- 73 Eine ähnliche Sichtweise vertritt auch Sebastian Haindl, Professor für Maschinenkunde und Maschinenzeichnung an der polytechnischen Schule in München, in seinem Werk von 1843 über die oben genannten Fächer. Dabei stellt Haindl fest, dass bei „Zeichnungen in ganzer Haltung“ (u.a. volle Ansicht und herausragend sowie detailreiche und präzise ausgeführte Zeichnung) der Schatten oft mehr störend und wenig vorteilhaft erscheint: „Zeichnungen dieser Art nennt man Prachtzeichnungen und sie sind es auch in der That, wenn sie mit gehöriger Präcision ausgeführt werden; aber sie setzen die größte Fertigkeit im Construiren der Schatten und im Tuschen voraus, sie sind sehr mühsam und erfordern daher auch viel Zeit, weßwegen man diese Manier, [...], jetzt nur mehr selten und bei größern zusammengesetzten [...] Maschinen gar nicht mehr gebraucht; indem hiebei oft die wichtigsten Theile durch ungeheure Schattenmassen verdeckt.“ Sebastian Haindl, *Maschinenkunde und Maschinenzeichnen*, München 1843, S. 358. Passend dazu werden Schatten auch im begleitenden Bildband zu diesem Werk nur sehr sparsam eingesetzt, siehe die 2. Auflage von Sebastian Haindl, *Maschinenkunde und Maschinenzeichnen: Tafeln zu Maschinen-Kunde und Maschinen Zeichnen*, 2. Aufl., München 1852.
- 74 Johann N. Probst, *Ueber den Linearzeichnungs-Unterricht an technischen Schulen*, Augsburg 1839, S. VI.
- 75 Ebd., S. VI.
- 76 Meno Burg, *Die geometrische Zeichenkunst oder vollständige Anweisung zum Linearzeichnen, zur Construction der Schatten und zum Tuschen für Künstler und Technologen, und zum Selbstunterricht*, Berlin 1845, S. X. Burg war ein Verfechter einer präzisen Übermittlung von Informationen mit Hilfe von präziser visueller Kommunikation und Vermessung. Eine Schlüsselfunktion nahm dabei die geometrische Zeichnung, die orthogonale Projektion ein. Nichtsdestotrotz verzichtete Burg nicht auf den Schatten, der weniger mit der exakten Vermessung eines technischen Artefakts, sondern vielmehr mit Deutlichkeit und Nachvollziehbarkeit zu tun hat. Zur Präzision und Ästhetik bei Burg siehe Olesko 2007 (wie Anm. 57), bes. S. 39.
- 77 Siehe dazu die Angaben bei Schreiber 1868 (wie Anm. 62), S. 150.
- 78 Zitiert nach der deutschen Version V. Le Blanc, Ferdinand Jodl (Bearb.), *Die Lehre vom Maschinenzeichnen dargestellt in einer Reihe von Vorlegeblättern mit erläuterndem Texte*, Wien 1839, S. VII–VIII.
- 79 Siehe dazu die Arbeiten zum Schatten und deren Anwendung in Anm. 17, 18, 19 und 35.
- 80 Siehe dazu Klaus Mauersberger, „Jacob Ferdinand Redtenbacher (1809 bis 1863). Ein entscheidender Beitrag zur Verwissenschaftlichung des Maschinenbaus“, in: *Lebensbilder von Ingenieurwissenschaftlern. Eine Sammlung von Biographien aus zwei Jahrhunderten*, hrsg. von Gisela Buchheim und Rolf Sonnemann, Basel 1989, S. 43–59.
- 81 Ferdinand Redtenbacher, *Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues*, Mannheim 1852, S. 298. Auf Redtenbachers Einschätzung zur Verwendung des Schattens und der einfachen Einführung wird in der Folge mehrfach referenziert. Unter anderem Alois Riedler, *Das Maschinen-Zeichnen. Begründung und Veranschaulichung der sachlich notwendigen zeichnerischen Darstellungen und ihres Zusammenhanges mit der praktischen Ausführung*, Heidelberg 1896, S. 5f.
- 82 Redtenbacher 1852 (wie Anm. 81), S. 299.

Dieser Beitrag ist auch unter folgender Internetadresse abrufbar:
<https://www.kunstgeschichte-ejournal.net/599/>