

Block 3

Inhalt

1.	Einführung.....	1
2.	Zur Kulturgeschichte technischer Darstellungen.....	3
2.1	Zeichenkunst in prähistorischer Zeit und im Altertum.....	3
2.2	Zeichenkunst vom Mittelalter bis zur Neuzeit.....	7
2.2.1	Zeichenkunst und konstruktives Zeichnen.....	7
2.2.2	Konstruktives Zeichnen.....	7
3.	Die Zeichnung in der Technik.....	15
3.1	Bemerkung.....	15
3.2	Großes „Gewerf“ (um 1405).....	21
3.3	Hebekunst mit Göpelantrieb (um 1430).....	23
3.4	Bohrmühle (um 1480).....	25
3.5	Fahrrad mit Tretkurbelantrieb (um 1480).....	27
3.6	Schöpfrad (um 1505).....	29
3.7	Drehbank zum Drechseln elliptischer Teile (um 1565).....	31
3.8	Maschine zum Ziehen sehr schwerer Lasten (um 1620).....	33
3.9	Häcksel-Schneidemaschine (um 1695).....	35
3.10	Dampfmaschine zur Wasserhebung (um 1706).....	37
3.11	Feuermaschine von Schemnitz (1724).....	39
3.12	Dampfwagen von Cugnot (um 1769).....	41
3.13	Handpresse für den Buchdruck (1772).....	43
3.14	Feuermaschine von Resener aus Breslau (1787).....	45
3.15	Zweite deutsche Lokomotive (1817).....	47
3.16	Druckluftlokomotive (1822).....	49
3.17	Konstruktionsbeispiele für Zahnräder und Wellenkupplungen“ (1834).....	53
3.18	Wasserdruckwerk (1834).....	57
3.19	Eisenschere für ein Hüttenwerk (1840).....	59
3.20	Einrichtung zur Regulierung des Kessel-Wasserstandes (1841).....	61
3.21	Dampflokomotive (1846).....	63
3.22	Lokomobile von 10 Pferdekraft (1864).....	69
3.23	Dampfzugmaschine von L. Schwartzkopff, Berlin (1864).....	73
3.24	Presspumpe (1872).....	77
3.25	„Rotierende“ Wasserhaltungsmaschinen (1881).....	79
3.26	Hydraulischer Mechanismus einer Drehbrücke (1882).....	81
3.27	Dampflokomotive, System Abt (1889).....	85
3.28	Übungsaufgaben zum technischen Zeichnen (1897).....	87
3.29	Wasserrohrkessel (1906).....	89
3.30	Angebotszeichnung einer Lokomotive (1908).....	93
3.31	Dampfkran (1921).....	95
3.32	Eimerkettenbagger (um 1926).....	97
4.	Künstler, Kunstmeister, „Mechanici“ und Ingenieure.....	99
4.1	Konstruktive Zeichner.....	99
4.2	Lernen und Ausbildung.....	102
4.3	Technische Lehrbücher und Periodika.....	110
4.4	Formgebung von technischen Objekten und Stil.....	118
4.5	Technisches Denken.....	118

5.	Die geometrischen Grundlagen des konstruktiven Zeichnens.....	119
5.1	Anschaulichkeit und Maßgerechtigkeit.....	119
5.2	Parallelprojektionen.....	121
5.3	Zentralprojektionen.....	123
5.4	Axonometrische Projektionen.....	125
6.	Technische Darstellungen im Entstehungsprozess technischer Objekte.....	127
6.1	Entwicklung technischer Objekte als Problemlösungsprozess.....	127
6.2	Darstellungen im Konstruktionsprozesses.....	129
6.3	Arten von konstruktiven Zeichnungen.....	131
7.	Die technische Skizze.....	133
7.1	Technische Skizzen im konstruktiven Prozess.....	133
7.2	Schematische Skizzen.....	137
7.3	Anschauliche Skizzen.....	141
7.4	Parallelprojektive Skizzen.....	145
8.	Zeichnungen beim Entwerfen.....	147
8.1	Technische Entwurfszeichnungen.....	147
8.2	Grobmaßstäbliche Entwurfszeichnungen.....	179
8.3	Maßstäbliche Gesamtentwurfszeichnungen und Entwurfszeichnungen für Einzelteile.....	153
9.	Ausgearbeitete Gesamtzeichnungen.....	157
9.1	Zeichnungsarten.....	157
9.2	Vollständige und vereinfachte Gesamtzeichnungen.....	161
9.3	Baugruppenzeichnungen.....	191
9.4	Begleitende Informationen.....	199
9.5	Besondere Ausgestaltung technischer Zeichnungen.....	201
10.	Zeichnungen der Einzelteile.....	203
10.1	Zeichnungsarten.....	203
10.2	Integrierte Einzelteilzeichnung.....	204
10.3	Nebengeordnete Einzelteilzeichnung.....	207
10.4	Teilgruppen-Zeichnung.....	209
10.5	Einzelteilzeichnung.....	213
10.6	Einzelteilzeichnungen nach Technologien und für Sonderfälle.....	215
11.	Zeichnerische Verfahren im Maschinenbaus.....	217
11.1	Bemerkung.....	217
11.2	Beispiele zu den zeichnerischen Verfahren.....	218
12.	Nomographie.....	223
12.1	Bemerkung.....	223
12.2	Beispiele für Nomogramme.....	224
13.	Modellanfertigung.....	229

14.	Zeichnungen für Sonderzwecke.....	231
14.1	Zeichnungsarten.....	231
14.2	Proportionalzeichnung.....	232
14.3	Offertenzeichnung.....	235
14.4	Ersatzteilzeichnung.....	239
14.5	Zeichnung für Betriebsanleitung.....	243
14.6	Lineamente.....	246
14.7	Perspektivische Zeichnungen.....	246
14.8	Geometrische Rekonstruktionen.....	246
14.9	Sonstige Zeichnungen.....	247
14.10	Präzisionszeichnungen.....	248
15.	Die Arbeitsmittel beim konstruktiven Zeichnen.....	249
15.1	Bemerkung.....	249
15.2	Zeichenwerkzeuge und Hilfsmittel.....	251
15.2.1	Zirkel.....	251
15.2.2	Lineale und Zeichendreiecke.....	257
15.2.3	Transporteure oder Winkelmesser.....	262
15.2.4	Reiß- oder Ziehfeder.....	263
15.2.5	Pikiernadel.....	265
15.2.6	Punktierädchen und Punktierziehfeder.....	265
15.2.7	Zeichenstifte.....	267
15.2.8	Tuschezeichner und Tuschefüllfeder.....	268
15.2.9	Zeichenbestecke.....	269
15.3	Zeichenwerkzeuge für besondere Anwendungen.....	271
15.4	Zeichengrund und Zeichenpapiere.....	275
15.5	Zeichentinten, Zeichentuschen und Zeichenfarben.....	277
16.	Texte und Beschriftungen.....	279
16.1	Beschreibungsmöglichkeiten bei technischen Objekten.....	279
16.2	Textliche Beschreibung technischer Objekte.....	280
16.3	Ausschließlich zeichnerische Beschreibung technischer Objekte.....	282
16.4	Kombinierte Darstellungen aus Zeichnungen mit ergänzenden Angaben.....	284
16.5	Schriften für konstruktive Zeichnungen.....	288
17.	Zeichentische und Zeichenmaschinen.....	294
17.1	Bemerkung.....	294
17.2	Zeichenbrett und Zeichentische.....	296
17.3	Zeichenmaschinen.....	298
18.	Vervielfältigung konstruktiver Zeichnungen.....	300
18.1	Historische Entwicklung.....	300
18.2	Mechanische Verfahren der Vervielfältigung.....	302
18.3	Optische Verfahren der Vervielfältigung.....	303
18.4	Direkte Verfahren der Vervielfältigung mittels Licht.....	304
18.5	Fotografische Verfahren der Vervielfältigung.....	305
18.6	Umdruckverfahren der Vervielfältigung.....	305

19.	Konstruktive Zeichnungen im Betrieb und in den Werkstätten.....	305
19.1	Bemerkung.....	305
19.2	Handwerk und Manufaktur.....	305
19.3	Industrie.....	305
20.	Die Kunst des Lesens konstruktiver Zeichnungen.....	305
20.1	Bemerkung.....	305
20.2	Differenziertes Lesen konstruktiver Zeichnungen.....	305
21.	Das konstruktive Zeichnen heute.....	306
22.	Quellen und Literaturverzeichnis.....	308
22.1	Allgemeine Hinweise.....	308
22.2	Allgemeine Literaturquellen.....	308
22.3	Spezielle Literaturquellen.....	309
23.	Anhang.....	

4. KÜNSTLER, KUNSTMEISTER, „MECHANICI“ UND INGENIEURE

4.1 Konstruktive Zeichner

Aus der Kulturgeschichte des Zeichnens wird hier nur ein kleiner Ausschnitt behandelt, und zwar die Anfertigung von Abbildungen technischer Objekte. Das Hauptaugenmerk gilt aber den Menschen, die diese „Zeichnungen“ angefertigt haben einschließlich der Frage wann und warum? Dabei muss der Begriff „technisch“ sehr weit gefasst werden. Vereinfacht formuliert fällt alles darunter, was in irgendeiner Weise als Hilfe zur Bewältigung des Lebens genutzt worden war. In Kurzform also: alle Objekte der „nützlichen Künste“.

Wann Menschen in irgendeiner Weise das erste Mal technische Hilfsmittel benutzt haben ist nicht bekannt. Üblich war es lange Zeit, die Gattung „Mensch“ an den zielgerichteten Gebrauch von Werkzeugen, meist einfachen technischen Hilfsmitteln wie steinernen Hämmern und Äxten, Faustkeile, der Nutzung von Hebeln etc. zu koppeln. Eine etwas vorschnelle Abgrenzung. Bei den Primaten und in anderen Gattungen fand man ebenfalls den zielgerichteten Gebrauch von Werkzeugen aller Art. Der nächste Versuch einer Abgrenzung bestand in der Annahme, dass „Menschen“ ihre technischen Objekte durch einen geeigneten „menschlichen“ Eingriff an ihre Aufgabe angepasst haben. Auch das war als Merkmal nicht haltbar. Etwas weiter kam man mit dem Kriterium, dass die Darstellung dieser Objekte wohl eine einzigartige Kulturleistung des Menschen sei. Frühe Darstellungen sind aber deutlich älter als der moderne Mensch. Schon vor etwa 30000 Jahren begannen Vorläufer der heutigen Menschen einfache Gerätschaften zumeist auf Felsen in groben Linearumrissen darzustellen. Stark schematische Darstellungen von technischen Objekten sind aus der Steinzeit bekannt. Im 5. und 4. Jahrtausend v. Chr. tauchten derartige „Zeichnungen“ häufiger auf. Angefertigt wurden sie vermutlich von „Schamanen“ und den Jägern selbst. Die „Zeichenstile“ waren sehr unterschiedlich, von einfachen Linearritzungen bis zu flächig ausgemalten Abbildungen. Erstaunlich ist, dass die Zeichner der Steinzeit offensichtlich geübt haben, über Jahrhunderte. Die in einigen Höhlen gefundenen Vorzeichnungen, abgebrochenen „Entwürfe“ u.a.m. deuten darauf hin. Die Wiederholung gleicher Abbildungen weist sogar auf den frühen Gebrauch von „Zeichenschablonen“ hin. Ab der frühsumeroischen Zeit waren schematische Darstellungen technischer Objekte (Idiogramme) auch Bestandteile der Schrift. Sie wurde in Tontafeln eingeritzt. Die Ausführenden waren in der Gemeinschaft hoch angesehene Personen, die „Schreiber“. Die Verwendung von Schrift setzt einen entsprechenden gesellschaftlichen Entwicklungsstand voraus. Die Schriften und Abbildungen dokumentierten wichtige Ereignisse, sie ordneten die Verwaltung der Gemeinschaft, halfen bei der Erhebung von Steuern u.a.m.

Eigenständige Zeichnungen technischer Objekte findet man aus der gleichen Zeit an unterschiedlichen Orten im Orient, in Afrika und in Europa. Sie sind mit einfachen Mitteln (Asche, Kreide, farbige Erden) oft auf Felswände gezeichnet worden. Die Abbildungen sind stark stilisiert, lassen aber die wesentlichen Formen und Funktionen erkennen. Viele haben eine hohe künstlerische Qualität. Wer sie angefertigt hat und warum kann nur vermutet werden. Wahrscheinlich waren sie zur Überlieferung bedeutender Ereignisse an nachfolgende Generationen gedacht. Als Hilfen oder gar Anleitungen zur Herstellung technischer Objekte waren sie nicht geeignet.

Von den ältesten Ackerbaukulturen in Kleinasien sind einige Darstellungen von technischen Objekten aus dem unmittelbaren Lebensbereich der Menschen überliefert. Sie stammen aus der Epoche der ersten produktiven Nahrungsmittelerzeugung. Dargestellt wurden Handarbeitsmittel und relativ häufig Mittel zum Transport von Gütern. Aus dem 3. Jahrtausend v. Chr. sind einige, zumeist als Felszeichnungen, erhalten geblieben. Technisch aufwendigere Objekte aus jener Zeit waren beispielsweise Schleifen bzw. Schlitten und

Wagen. Die Zeichner dieser technischen Objekte sind nicht bekannt. Vermutlich keine Personen mit besonderer Stellung in der Gemeinschaft, sondern Menschen, die die dargestellten Objekten geschaffen und mit ihnen gearbeitet haben. Die Zeichnungen wurden z.T. mit in der Natur vorkommenden Graphitstücken vorgezeichnet und die Flächen mit farbigen Substanzen aus der Natur ausgefüllt. Eine Zeichentechnik, die an das „Entwerfen“ und „Ausarbeiten“ in der Technik bzw. an die Malerei erinnert.

Einen völlig anderen Charakter hatte die Kunst des „konstruktiven Zeichnens“ in Ägypten ab etwa dem 3. Jahrtausend v. Chr. Die Errichtung der monumentalen Bauwerke war ohne eine detaillierte Planung nicht möglich. Auch die Hilfsmittel zu deren Bau mussten geplant und hergestellt werden. Diese Planungen wurden von Personen durchgeführt die ein spezielles Wissen hatten. Dieses Wissen beruhte auf den Erfahrungen vieler vorangegangener Generationen. Man kann die Methodik aus den Monumenten ableiten, die heute noch erhalten sind. Die geschaffenen Objekte wurden in kleinen Schritten in immer anspruchsvollere Dimensionen entwickelt. Auch die historischen Reste der Fehlversuche sind heute noch erhalten. Die „Zeichner“ und Erbauer waren hoch angesehene Personen. Es waren die Vorläufer unserer Architekten und Ingenieure. In der historischen Literatur bezeichnet man sie kurz gefasst als „Baumeister“ und „Schreiber“. Die Planungen wurden auch schon als Flächenzeichnung auf Papyrus oder Pergament gezeichnet. Die Zeichnungen wurden oft mit Hilfe eines Linien- oder Punktrastrer entworfen. Die Perspektive war in jener Zeit in Ägypten unbekannt.

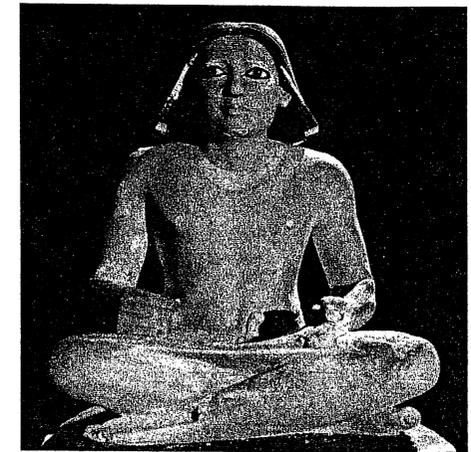


Bild 4.1/1:
Ägyptischer Schreiber
mit Schreibplatte für
den Papyrus und einer
„Rohrfeder“ in der
rechten Hand
(um 2500 v. Chr.)

Im alten Griechenland wurde noch kein Unterschied zwischen Künstlern und Handwerkern gemacht. Bei der Fülle des historischen Materials ist es erstaunlich, dass Objekte der Technik relativ selten dargestellt wurden. Für die Planung von kultischen Monumentalbauten müssen entsprechende Entwürfe von Personen angefertigt worden sein, die entsprechende Erfahrungen besaßen. Es gab schon Regeln für die Auslegung wichtiger Bauteile. In ihnen war das Erfahrungswissen verankert. Diese Regeln muten heute sehr fragwürdig an. Es wurden beispielsweise Auslegungsgrößen ins Verhältnis gesetzt, die, nach heutigem Wissensstand, definitiv nichts miteinander zu tun hatten. Dokumente, die die Zeit überdauert haben, sind sehr selten. Einige Reste von „Rissen“ findet man als Ritzungen in Steinplatten. Von den Planungen technischer Objekte, beispielsweise den verwendeten Transportmaschinen, Hebemechanismen u.a.m., ist so gut wie nichts bekannt. Gebaut wurden sie von Technikern, den „technites“, mit den mechanischen Gesetzen vertraut waren. Aus der römischen Periode ist eine Vielzahl an Abbildungen technischer Objekte vorhanden. Im

römischen Reich fasste man unter dem Begriff „architectura“ alles zusammen, was gebaut wurde, von den Straßen über die Gebäude bis zu den Maschinen. Die Zeichnungen technischer Objekte dienten in dieser Phase eindeutig als Basis für die Anfertigung. Einige Pläne deuten darauf hin, dass sie zur mehrfachen Herstellung des gleichen Objekts an unterschiedlichen Orten gedient haben müssen. Sie waren also die Basis einer frühen Art einer „Serienfertigung“. Die „Ingenieure“ dieser Zeit wurden als „architecti“ bezeichnet. Bei der Planung ihrer Maschinen nutzten sie das Verfahren der „Grund- und Aufrisszeichnung“.

Im frühen Mittelalter wurden „konstruktive Zeichnungen“ häufig von Mönchen in den Skriptorien der Klöster ausgeführt. Allerdings als Nebendarstellungen in zumeist religiösen Werken. Nur wenige Abbildungen beschäftigten sich ausschließlich mit technischen Objekten. Es waren zumeist Einzelblattsammlungen von Skizzen in freiem Stil, gezeichnet ohne feste Regeln. Heute sind die Darstellungen schwer zu „lesen“ und oft unklar in ihren Funktionen. Später wurden „konstruktive Zeichnungen“ auch von versierten Handwerkern mit Kenntnissen der Technik und Erfahrungen im Zeichnen angefertigt. Um 1100 bezeichnete man diese Personen als „maitre engignier“ (etwa „Meister-Ingenieur“), in französischen Quellen werden sie „maistre engingnierre“ genannt. Die Bezeichnung „Meister“ wird heute im Zusammenhang mit handwerklichen Berufen verwendet. Im Zusammenhang mit dem Gebrauch des Wortes im Mittelalter ist das irreführend. Die ursprüngliche Bezeichnung meinte Personen mit umfassender Bildung, deren Verantwortungsbereich vom Entwurf, der Planung einschließlich der Beschaffung von Finanzmitteln, dem Bau, der Inbetriebsetzung und Überwachung eines Projektes alles umfasste. Später bezeichnete man diese hoch angesehenen Personengruppe oft als „Kunstmeister“. Das Wort „Kunst“ wird hier nicht im Sinne von „klassischer Kunst“ verwendet, sondern bezieht sich auf den Wortstamm „künstlich“. Künstlich waren alle mit technischen Mitteln erbauten Mechanismen, die eine nutzbare Funktion erfüllten. Daher stammt auch die Bezeichnung Wasserkunst, Windkunst oder der Begriff „mechanische Künste“. Die Kunstmeister die Kriegsgerät bauten nannte man „antwerckmeister“, von „antwerck“, die alte Bezeichnung für Kriegsgerät. Einige Planungszeichnungen dieser Personengruppe sind erhalten geblieben. Eine andere Personengruppe mit erheblichem Einfluss auf die Darstellung von Objekten in konstruktiven Zeichnungen hatte im 15. und 16. Jahrhundert die „Reisser“. Das Wort stammte von „ritzen“, „einritzen“. Durch Einritzen einer Vorzeichnung in Wachs, auf Holz oder Stein entstanden Vorformen des konstruktiven Zeichnens. Nach ihrer Tätigkeit nannte man sie „Reißer“. Es waren Künstler und Handwerker in einer Person. Sie schufen Zeichnungen von Objekten nach eigenen Ideen oder nach Angaben anderer. Sie schnitten oder stachen in Holz und arbeiteten auch in Kupfer.



Bild 4.1/2:
Holzschnitt eines „Reissers“
mit Arbeitsutensilien
(1568)

Sehr viel mehr an Daten und Namen ist von den Baumeistern der großen Bauhütten des Mittelalters und der Renaissance vorhanden. Aus dieser Phase sind auch die Namen großer Künstler und Ingenieure bekannt, u.a. Donatello, Alberti, Desargues, Leonardo da Vinci, Piero della Francesca, Albrecht Dürer und später Georg Agricola, Jakope de Strada, Agostino Ramelli u.a. Der Bau von Maschinen wurde noch als Anhängsel der Architektur betrachtet. Es gab noch eine sehr enge Beziehung zwischen den Künstlern, Kunstmeistern und Handwerkern. Das wird besonders an den mittelalterlichen Steinmetzen deutlich. Sie besaßen eine Schlüsselstellung zwischen den Ideen des „Baumeisters“ und der Ausführung in Stein. Sie entwarfen die detaillierten Verschneidungen selbst komplizierter Kreuzgewölbe und setzten sie in Stein gehauen um. Aus dieser Zeit stammen auch die Ursprünge der sogenannten „Freien Maurer“. Deren Mitglieder waren meist gelehrte Personen und angesehenen Mitglieder der nicht-feudalen Stände. Sie schlossen sich zu Bruderschaften, den Logen, zusammen und pflegten nicht nur das umfassende Wissen eines Handwerks, sondern bildeten darüber hinaus feste Netzwerke zur Unterstützung und Weiterentwicklung handwerklicher Techniken, gesellschaftliche Vertretungen, sie nahmen Einfluss auf die Politik und entwickelten im Laufe der Zeit ritualisierte gemeinschaftliche Formen. Als „Freimaurer“ gibt es sie heute noch.

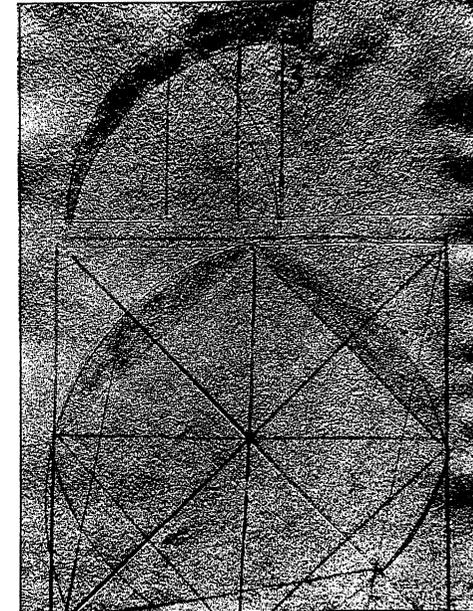


Bild 4.1/3:
Ausschnitt aus dem Entwurf
eines Rippengewölbes
auf Pergament
(um 1600)

Schon im 16. Jahrhundert hatte sich ein Berufszweig etabliert, der bis in das 19. Jahrhundert jenseits aller Zunftfesseln technische Pionierarbeit geleistet hat. Das waren die Instrumentenbauer und deren Nachfolger die „Mechanici“. Sie arbeiteten mit allen Materialien und allen Techniken ihrer Zeit. Sie planten und bauten alle Arten von Mechanismen, von den großen Werken der Turmuhren bis zu den Instrumenten für die Medizin und Astronomie. Sie waren die ersten modernen Ingenieure. Heute sind sie fast vergessen, da man ihre historischen Spuren kaum noch findet. In den reichlich vorhandenen Zunftbüchern der Handwerke findet man keine Spuren von ihnen. In den alten Gewerbeerhebungen, beispielsweise von Preußen, haben noch einige Hinweise zu dieser Berufsgruppe überdauert. Für das Jahr 1822 wurden beispielsweise 294 „Mechanici“

ausgewiesen. In den allgemeinen Gewerbestatistiken Preußens aus dem Jahr 1834 sind fast 500 verzeichnet. Im Jahr 1846 waren 367 und zusätzlich 46 „Maschinenbauer“ in Preußen tätig. Auch Ende des 18. Jahrhunderts stand die Arbeit dieser Berufsgruppe bei den Anfängen der Industrialisierung zur Verfügung.

Im 17. Jahrhundert bezeichnete man mit „Ingenieur“ Personen, die sowohl technische Gerätschaften aller Art als auch Bauwerke schaffen konnten. Gezeichnete Pläne gab es für die Herstellung technischer Objekte nur in Ausnahmen, vornehmlich bei großen Projekten. Es waren meist Handskizzen, oft in freier Manier angelegt, selten ausgearbeitete Zeichnungen. Üblich war es, von fertiggestellten, repräsentativen Objekten im Nachhinein bildliche Dokumentationen anzufertigen, künstlerisch hochwertig, in anschaulicher Perspektive oder in Projektionen, teilweise von Hand koloriert. Geschaffen haben diese wertvollen Zeichnungen Künstler nach Vorgaben der Erbauer. Mitte des 18. Jahrhunderts begannen staatliche Institutionen mit der Neuausrichtung des „beruflichen“ Bildungssystems. Aus den alten in allen Fachrichtungen ausbildenden Lehranstalten wurden fachbezogene, die nur in einer Berufsrichtung vertreten.

In den großen Manufakturen jener Zeit wurde sehr effizient arbeitsteilig gearbeitet. In den einzelnen Arbeitsschritten kamen unterschiedliche Gewerke zum Einsatz, gearbeitet wurde allerdings noch überwiegend mit handwerklichen Mitteln. Aber durch die Aufteilung in kleine Tätigkeitsbereiche war eine umfassende handwerkliche Ausbildung nicht mehr notwendig. Ursprünglich lagen für ein technisches Objekt die Erstellung des Planes, das Anfertigen der Zeichnungen und ggf. das Ausführen selbst in einer Hand. In den Manufakturen konnte nur effektiv gearbeitet werden, wenn die „Konstruktion“ und deren zeichnerische Dokumentation eine bessere Qualität hatten. Sie musste vollständig und eindeutig sein. Diese konstruktiven Zeichnungen mussten auch übergreifend in allen Bereichen von den unterschiedlichen Gewerken „gelesen“ werden können. Die Darstellungen wurden nach und nach vereinheitlicht. Die Zeichnungen wurden komplizierter. Deren Anfertigung erforderte ein spezielles Wissen und handwerkliches Geschick. Die Zeit der Spezialisten für das „konstruktive Zeichnen“ begann. Ihre Zeichnungen waren Lineararstellungen in zumeist senkrechter Parallelprojektion.

In den frühen Betrieben der Industrie kam zur arbeitsteiligen Organisation noch die Verdrängung der handwerklichen Arbeit hinzu. Maschinen übernahmen die manuelle Arbeit. Die alten Gewerke verschwanden, neue Berufsgruppen entstanden. Für die „konstruktiven Zeichner“ hatte das erhebliche Folgen. Ein großer Teil des handwerklichen Wissens musste in die zeichnerische Dokumentation aufgenommen werden, und zwar in einer für die Maschinenarbeit verständlichen Form. Die Anforderungen an die „konstruktiven Zeichner“ stiegen weiter. Der Arbeitsbereich „Entwerfen“ wurde endgültig von den „ausführenden Bereichen“ getrennt. Aus den Spezialisten für das Zeichnen wurden Konstrukteure und Konstruktionsingenieure. Im 19. Jahrhundert wurde in einem weiteren Schritt wurde auch die Erstellung technischer Zeichnungen aufgeteilt. Ein Tätigkeitsbereich umfasste die kreative, problemlösungsorientierte Seite bis zum fertigen Entwurf, die zeichnerische Feinarbeit und das Anlegen der Zeichnungen in Tusche übernahmen Spezialisten mit entsprechendem handwerklichen Geschick. Daraus entwickelte sich die Berufsgruppe der technischen Zeichner.

Bemerkung:

In der Antike wurde zwischen den Künstlern und, falls notwendig, ausführenden Handwerkern kein Unterschied gemacht. Das bedeutet allerdings nicht, dass diese Personengruppe hohes Ansehen besaß. Im Gegenteil. Das gilt auch für die Gruppe der „Ingenieure“, „Mechaniker“ u.a. In einem griechischen Idealstaat war es undenkbar, dass ein Mitglied der Freien und freien Bürger einen praktischen Beruf ausübte. Es war auch unüblich, dass eine praktisch arbeitende Person an der Bildung der oberen Schichten teilhaben konnte. Die Philosophie, die Dichtkunst, die Rhetorik, das Verwalten und Regieren waren die Tätigkeiten der höheren Stände. Praktische Arbeit wurde von Sklaven erledigt. Künstlerische Arbeiten von künstlerisch begabten „Sklaven“. Technische schwierige Arbeiten von technisch begabten „Sklaven“. Es gab nur wenige Ausnahmen bei der Durchmischung dieser strikten gesellschaftlichen Teilung. Die Geringschätzung allen „Praktischen“ findet man heute noch. Die Wurzeln liegen in den Sklavenhaltergesellschaften der Antike.

Bemerkung:

Für das konstruktive Zeichnen einer bestimmten Epoche, und zwar der Renaissance, gibt es unter dem Namen „database machine drawings“ eine umfassende Zeichnungs-Datenbank. Sie ist in digitaler Form unter <http://dmd.mpiwg-berlin.mpg.de> allgemein zugänglich. Die Datenbank umfasst Zeichnungen von Renaissance-Ingenieuren aus der Zeit von etwa 1200 bis 1650. Aktuell sind fast 1900 Zeichnungen aufgenommen worden.

Bemerkung:

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts waren Mechaniker, Maschinenbauer und Techniker, die technische Bildungseinrichtungen ihrer Zeit absolviert hatten, von der Wahl dieser Fachrichtung her keiner bestimmten Branche oder einem Industriezweig zuzurechnen. Es stand ihnen ein sehr breites Betätigungsfeld offen: Metallindustrie, Textilgewerbe, Schiffbau, Hüttenwesen usw. Beuth, der Gründer des Königl. Gewerbe-Instituts in Berlin, betonte immer wieder, dass sich die Absolventen erst nach dem Verlassen des Instituts die spezifischen Kenntnisse einer Branche aneignen sollten. Die aus dem 20. Jahrhundert bekannte frühzeitige Spezialisierung gab es in dieser Form in den Ausbildungsstätten nicht. Der Bezug zur Praxis war weiterhin sehr groß. Welche Qualifikationen von einem Maschinenbauer erwartet wurde, geht beispielsweise aus den Anforderungen der Flachs-Maschinen-Spinnerei Alberti an einen „Aufseher“ aus dem Jahr 1835 hervor:

- geübt im freien Handzeichnen,
- geübt im Reiß-Aufmachen und -Aufnehmen,
- geübt in einem zum Maschinenbau zählenden Handwerk (Tischler, Dreher, Feuer-Arbeiter...),
- geübt im Modell-Anfertigen,
- bekannt mit Eisen- und Metallformerei,
- bekannt mit Eisengießerei,
-

Es wurden für Maschinenmeister und Maschinenbauer nicht nur gründliche theoretische Kenntnisse vom Maschinenwesen erwartet, sondern auch praktische Erfahrungen einschließlich der Ausführung komplizierter Arbeiten. Darüber hinaus sollten beispielsweise „wenigstens so viel architektonische Kenntnisse mitgebracht werden, um Maschinengebäude zu projektieren, zu veranschlagen, auszuführen und abzunehmen“. Diese breiten Anforderungsprofile erforderten auch ein entsprechend umfassendes Wissen und Können zum Anfertigen von konstruktiven Zeichnungen in den verschiedenen Disziplinen.

Bemerkung:

Zur Anfertigung technischer Skizzen im 18. und auch noch 19. Jahrhundert gibt es wenige authentische Informationen. Jeder Maschinenbauer fertigte seine Skizzen nach individuellem Vermögen und seinen Vorstellungen an. Manches mutet heute sehr abenteuerlich an. Conrad Matschoß berichtet beispielsweise von den Entwürfen zu der ersten großen Balancier-Dampfmaschine der „Maschinenfabrik Nürnberg“ aus dem Jahr 1842: „... Von der ersten größeren Maschine, die gebaut wurde, wird uns noch erzählt, wie sie entstanden war. E. hatte sie konstruiert, und zwar im Wirtshaus „Die Glocke“ zu Wörth. Im eifrigen Gespräch über die Maschine hatte er mit Kreide auf dem Wirtshausstisch die konstruktive Anordnung festgelegt. Hiernach wurden nachher mit Kohle auf Holz die Einzelteile aufgezeichnet und diese hölzernen Zeichnungen dann der Schmiede, der Modelltischlerei und Gießerei übergeben. Während diese Stücke schon in Arbeit waren, ging nun E. daran, etwas genauer wie bisher die endgültigen Formen festzulegen, so daß nunmehr der eigentliche Maschinenbauer, der Monteur, die nötigen Unterlagen bekam, um die aus den Werkstätten ihm übergebenen Einzelteile so zusammen zu passen, daß die Maschine arbeitsfähig wurde. ...“. Der sehr unterschiedliche Stand in den „konstruktiven Zeichnungen“ sollte daher nicht überraschen. Für Druckzwecke wurden die Skizzen sorgfältiger gezeichnet. Die Darstellungen waren aber auch sehr unterschiedlich. Sie reichten von in etwa perspektivischen Skizzen, über Explosionszeichnungen bis zu Darstellungen, die den heute verwendeten technischen Zeichnungen schon sehr nahe kommen.

4.2 Lernen und Ausbildung

Das Anfertigen technischer „Darstellungen“ ist eine besondere Kunst. Sie erfordert ein spezielles Wissen und Können. Zur Beherrschung sind Techniken und Mittel erforderlich. Wie jede Kunst, muss sie gelehrt und gelernt werden. Die Unterschiede zur klassischen „Zeichnerkunst“ sind die eingesetzten Techniken und Mittel. Entscheidend aber ist, dass die zeichnerische Darstellung in der Technik erst der Anfang einer Realisierungsphase ist. Die Konstruktion liegt am Anfang nur in abstrakter Form, als Zeichnung vor. Das Dargestellte wird erst danach, in komplizierten technischen Prozessen, in die Wirklichkeit übertragen. Das Objekt der Darstellung wird mit den Mitteln der Technik „geschaffen“. Die Konstruktion, die zeichnerische Darstellung des Objekts, muss die Realisierungsphase „mitdenken“. Die Restriktionen der Realisierungsphase bestimmen in vielen Aspekten die Konstruktion. Das ist eine Erweiterung der Verhältnisse in der üblichen Zeichnerkunst. Deren Funktion ist mit der bildlichen Wiedergabe des Objekts beendet. Reale Restriktionen gibt es nicht. Das Bild ist das Ziel. In der Technik schließt sich der Realisierungsteil an. Das reale Objekt ist das Ziel.

Ausbildungsstätten im heutigen Sinne sind, wenn man von rein mündlichen Überlieferungen absieht, an Verwendung von Schrift und Darstellungen gebunden. Schulen zum Erlernen der Malkunst und des Zeichnens gab es schon sehr früh, und zwar in China im 11. Jahrhundert vor Chr. Die ursprüngliche chinesische Schrift war eine reine Bilderschrift. Idiogramme technischer Objekte, mit Tusche auf Papier gezeichnet, haben selbstverständlich Eingang in die Schrift gefunden. Sie waren aber noch keine selbstständigen „konstruktiven Zeichnungen“.

Ansätze für das Erlernen des „konstruktiven Zeichnens“ findet man im alten Ägypten. Sie waren eingebettet in die priesterliche Erziehung und am Anfang nur Wenigen aus den höheren Ständen vorbehalten. Erst im neuen Reich (ab etwa 1700 v. Chr.) wurden die Bildungseinrichtungen breiteren Kreisen zugänglich gemacht. Diese Schulen wurden von Priestern geleitet. Einige Tempelschulen hatten einen hervorragenden, weit über die Grenzen reichenden Ruf. Ausgebildet wurde u.a. in der Baukunst einschließlich den „mechanischen Künsten“, der Bildhauerei, der Zeichnerkunst und der Schriftkunst. Der Titel eines „Schreibers“ wies auf eine umfassende Bildung hin. Schreiber waren in Ägypten hoch angesehen. Der Titel war eine Voraussetzung für die Übernahme eines öffentlichen Amtes.

Im alten Griechenland war die Zeichenkunst als Lehrinhalt in den Schulen ab dem 4. Jahrhundert v. Chr. allgemein eingeführt worden. Berechtigt waren nur die Kinder der oberen Klasse. Die Inhalte orientierten sich an den griechischen Idealen von Schönheit und Harmonie. Die Ausbildungszeiten waren sehr lang. Sie konnten 7 bis 10 Jahre betragen. Ein Jahrhundert später wurden durch die Aufnahme der Mathematik, Geometrie und der Naturwissenschaften die Grundlagen für eine nach heutigem Verständnis „wissenschaftlichen“ Ausbildung gelegt. Bekannte Gelehrte mit Einfluss auf das „konstruktive Zeichnen“ waren beispielsweise Eukleides (Werke über Geometrie), Apollonius (Werke über Schnittführungen in der Geometrie), Archimedes (Werke über Geometrie und Mathematik) sowie Philon und Heron (Werke über die mechanischen Künste). Die „theoretischen“ Erkenntnisse dieser Zeit waren groß. Von einer Umsetzung in eine technische Anwendung ist weniger bekannt. Die Vielzahl an architektonischen Großbauten jener Zeit kann aber ohne technische Hilfsmittel nicht errichtet worden sein. Diese technischen Anwendungen sind leider nicht dauerhaft dokumentiert worden.

Bei den Römern gab es technische Bildungsanstalten zur Vermittlung des bautechnischen Wissens und der „mechanischen Künste“ ab etwa 200 v. Chr. Für höhere Positionen in der Verwaltung und bei der Leitung von großen Vorhaben war der Abschluss dieser Schulen obligatorisch. Die höher gestellten Personen genossen ein hohes Ansehen. Ihre Bildung war universell. Ein „Ingenieur“ hatte u.a. Kenntnisse in der Philosophie, Geschichte, den Rechtswissenschaften, der Mathematik und Geometrie und der Mechanik. Um 230 n. Chr.

wurden vom Kaiser Alexander Severus besondere Ausbildungsstätten für Mathematik und Mechanik gegründet. Das „konstruktive Zeichnen“ war Bestandteil der Ausbildungen. Die „Ingenieure“ dieser Zeit wurden als „architecti“ bezeichnet. Sie beherrschten bei ihren Planungen von Anlagen und Maschinen das Verfahren der „Grund- und Aufrisszeichnung“.

Im frühen Mittelalter kam den Klöstern eine besondere Bedeutung bei der Verbreitung des Wissens zu. Mit „Verbreitung“ ist hier die kleine Elite derer gemeint, die Lesen und Schreiben konnten. Auch die Anfertigung „konstruktiver Zeichnungen“ und die Entwicklung neuer Techniken fanden weitgehend in den Klöstern statt. In den Skriptorien der Klöster wurden die zeichnerischen Vorlagen von Hand kopiert. Es gab Orden, die über ihre Klöster in ganz Europa vernetzt waren und das Wissen der Zeit in umfassender Weise beherrschten und einsetzten. Die später entstandenen Klosterschulen führten, neben den theologischen Schwerpunkten, diese Tradition fort. Unterrichtet wurde in den sieben freien Künsten, von der Rhetorik bis zur Geometrie und in deren praktischer Umsetzung, im Allgemeinen direkt im eigenen Kloster. Es ist daher nicht verwunderlich, dass die Klöster von den Orden, die die Arbeit als einen Lebensschwerpunkt ansahen, machtvolle (und reiche) Zentren der Umsetzung technischer Neuerungen waren. Sie waren Zentren des Fortschritts auf allen Gebieten, von der Landwirtschaft bis zur großtechnischen Verarbeitung der Ernteergebnisse.

Besondere Zeichenschulen für die Handwerker im Mittelalter gab es nicht. Planungen und Zeichnungen größerer technischer Objekte wurden als Linearzeichnungen in unterschiedlichen Verfahren von versierten Meistern und Handwerkern selbst angefertigt. Es waren einfache Arbeitsunterlagen. Erhalten geblieben ist wenig. Ausnahmen in dieser Zeit waren die Bauhütten. Sie hatten einen „Meisterunterricht“. Der Schüler oder Gehilfe des Meisters lernte durch Übung und Nachahmen. Das betraf auch das Erlernen des „konstruktiven Zeichnens“ und der geometrischen Gesetze. Das, was von den Schülern in der Praxis geleistet worden ist, kann nur als herausragend bezeichnet werden. Als Beispiel können wieder die Planungen und Ausführungen von Steinmetzarbeiten der großen Bauhütten genannt werden. Bei den ersten im 12. Jahrhundert gegründeten Universitäten waren die Studieninhalte an denen der Schulen der klassischen Antike angelehnt. Für die technischen Entwicklungen hatten diese Lehren keine große Bedeutung.

Einige Bedeutung für das Erlernen des konstruktiven Zeichnens hatten im 15. und 16. Jahrhundert die Berufsgruppe der Graveure und die sogenannten „Reisser“. Bei konstruktiven Zeichnungen fertigten sie Vorzeichnungen an und arbeiteten sie dann durch „Einritzen“ oder „Einstechen“ in Holz oder Kupfer ein. Sie waren Künstler, Ingenieure und zugleich Handwerker. In der handwerklichen Ausbildung wurde durch Nachahmen und Üben gelernt. Es herrschte im Handwerk ein allgemeiner Zunftzwang. Die Regulatorien waren z.T. so streng, dass bestimmtes Handwerkswissen als geheim gehütet wurde. Im 16. Jahrhundert hatte sich jenseits aller Zunftfesseln der Berufszweig der Instrumentenbauer (später nannte man sie „Mechanici“) etabliert. Sie waren weder auf bestimmte Verfahren, noch auf bestimmte Materialien, noch auf wenige Produktgruppen festgelegt. Ihre berufliche Basis war handwerklicher Art. Das übergreifende Wissen musste in jahrelanger praktischer Arbeit erworben werden. Sie waren die ersten modernen „Ingenieure“.

In den Lehreinrichtungen des 17. Jahrhunderts wurde, ohne Unterscheidung ob Baukunst, Wasserkunst, mechanische Künste u.a.m., ein einheitliches Wissen vermittelt. Das konstruktive Zeichnen war Bestandteil der Ausbildung. Allgemeine Zeichenregeln wurden aus der Wissenschaft der Geometrie abgeleitet. Darüber hinaus wurden unterschiedlich angelegte Linearzeichnungen verwendet, weitgehend als Parallelprojektionen. Der Einsatz von Farben zur Hervorhebung unterschiedlicher Werkstoffe oder Funktionen war die Ausnahme bei hochwertigen Zeichnungen. In Frankreich kam es unter Jean Baptiste Colbert, einem Minister unter Ludwig XIV, zur Gründung der ersten Gewerbeschulen. Ihr Hauptanliegen war die Verbesserung der Qualität der technischen Ausbildung. In Frankreich wurden erstmals auch die sogenannten „Freimeister“ eingeführt. Sie und ihre Lehrlinge

unterlagen nicht dem Zunftzwang. Denis Diderot, einer der Universalgelehrten seiner Zeit, erklärte um 1760 zur Bedeutung des konstruktiven Zeichnens: „Jeder Gewerbetreibende muss auch zeichnen können“. 1775 entstanden die ersten höheren Schulen, die ausschließlich eine Berufsgruppe ausbildeten. Einige sind über die Grenzen Frankreichs hinaus berühmt geworden, u.a. die höheren Schulen für den Brücken- und Straßenbau.

Mitte des 18. Jahrhunderts findet man in Deutschland erste Ansätze, das berufliche Bildungssystem in eine Vorbildung und eine Fachbildung zu trennen. Dabei hatte die Vorbildung lange Zeit eine untergeordnete Bedeutung. Die Lehreinrichtungen für den Elementarunterricht besuchte nur eine Minderheit. Es herrschte die Meinung vor, dass die Fachbildung auch ohne eine Vorbildung zu erreichen wäre. 1747 gründete Johann Julius Hecker eine „Gesamt-Realschule“ mit horizontal und vertikal durchlässigen Klassen. Die nächste Entwicklungsstufe waren „Fachschoolen“, die sich, wie in Frankreich, von der allgemeinen Ausrichtung trennten und nur in einer Berufsrichtung ausbildeten. Typisches Beispiel sind die Lehranstalten für die „technischen Beamten“. In Preußen wurde schon 1729 in der Armee ein Ingenieurcorps eingerichtet. Eine besondere Ausbildungsstätte für Ingenieuroffiziere (école du génie) gab es ab 1775. Ein anderes Beispiel sind die Mitte des Jahrhunderts gegründeten Bauhandwerksschulen, die im Bereich „Zeichnen“ eng mit den (Provinzial-)Kunstschulen zusammen arbeiteten. 1799 kam es zur Gründung der „Bauakademie“ in Berlin. Aus ihr ging die Technische Hochschule Charlottenburg hervor. Im 18. Jahrhundert taucht als Bezeichnung für die Personen, die Maschinen aller Art entwarfen und bauten, erstmals die Bezeichnung „Maschinist“ auf.

Mit dem Ausbau staatlicher Institutionen bekam die Beamtenschaft eine immer größere Bedeutung. Das Selbstverständnis dieser Gruppe war nicht an der „überkommenden“ handwerklichen Ausbildung orientiert, sondern elitär an der Lateinschule und der „Universität“. Diese Ausrichtung wurde auch von anderen Disziplinen übernommen. Nach dem Zusammenbruch als Folge der Napoleonischen Kriege dominierte insbesondere in Preußen die Beamtenschaft fast uneingeschränkt die Verwaltung des Staates. In dieser schwierigen Situation übernahm die Beamtenschaft die Initiative und begann notwendige Reformen im Staat und den Bildungsstätten einzuleiten.

Der „Maschinenbau“ wurde immer noch als Anhängsel der Mathematik gelehrt. Als Fortsetzung älterer Einrichtungen wurde nach 1800 die „Technischen Deputationen für Gewerbe“ und ähnliche Einrichtungen eingeführt. Sie sollten den neuesten Stand der Technik aus dem Ausland sammeln und an die heimischen Gewerbe vermitteln. Es darf aber nicht übersehen werden, dass der Wissens- und Technologietransfer in erheblichem Umfang über Handwerker, Kunstmeister und andere lief, die sich direkt auf Reisen oder durch Schriftwechsel austauschten. Es war üblich, dass in staatlichem Auftrag technische Fachleute, zum Teil mit Schutzbriefen und diplomatischen Empfehlungen versehen, „Studienreisen“ in die Länder unternahmen, die einen technischen Vorsprung besaßen.

Im deutschsprachigen Raum waren es in erster Linie die Berg- und Bauakademien, die das wissenschaftliche und technische Rüstzeug für die höhere Beamtenschaft vermittelten. Erste Provinzial-Gewerbeschulen wurden in vielen deutschen Städten gegründet. Sie vermittelten eine fundierte theoretische und praktisch-technische Ausbildung. Die Geometrie und das technische Zeichnen gehörten selbstverständlich dazu. Für die besten Absolventen der Provinzial-Gewerbeschulen bestand die Möglichkeit, ihr Wissen in den großen Zentren an den Polytechnischen Instituten, Gewerbeakademien und anderen zentralen Einrichtungen zu vertiefen. Das erste „Polytechnische Institut“ wurde 1806 in Prag durch Josef Gerstner gegründet. Er hatte die Lehrkanzel für technische Wissenschaften an der Prager Universität in dieses Institut überführt. 1815 folgte die Gründung des „Polytechnischen Instituts“ in Wien. In dieser Zeit kamen eine ganze Reihe weiterer höherer Gewerbeschulen hinzu. Es waren die Vorläufer der späteren technischen Hochschulen. Der Begriff „polytechnisch“ wies am Anfang auf die Vermittlung von Grundwissen im Sinne einer „Nationalerziehung“ für viele

wissenschaftliche Gewerbe hin. Diesen Anspruch gab man bald auf. Er war nicht erfüllbar. Was im Bereich der allgemeinen Bildung blieb war ein scharfer Gegensatz im Denken zwischen der vorwärtsgerichteten, rational-naturwissenschaftlichen Betrachtung im Bereich der Technik und den spekulativ-romantischen Vorstellungen, mit ihrer Verklärung des Vergangenen, dem „Natürlichen“ und dem Rückzug in das „Private“. Der Begriff „Biedermeier“ steht für diese Phase. 1821 entstand die „Technische Schule“ in Berlin, das spätere „Königliche Gewerbe-Institut“, 1825 dann die polytechnische Schule in Karlsruhe, 1827 die in München, 1828 die technische Bildungsanstalt in Dresden und 1832 die polytechnische Schule in Stuttgart. Zwischen 1821 und 1835 entstanden in allen Zentren derartige Einrichtungen. Die Geometrie war Basiswissen an diesen Einrichtungen, das konstruktive Zeichnen fester Bestandteil in allen Lehrplänen. Einige Absolventen des Berliner Gewerbeinstituts gründeten 1846 den Verein Deutscher Ingenieure (VDI). Er entwickelte sich zur größten Ingenieurvereinigung der Welt. Die Lehrenden dieser Akademien hatten ihr Wissen aus eigener Praxis, der wenigen Fachliteratur und technischen Periodika. Weit verbreitet waren Studienreisen vornehmlich nach England, aber auch nach Frankreich und Belgien. Im deutschsprachigen Raum entwickelte sich in dieser Zeit eine eigenständige technische Methodologie. In England, lange Zeit technisch führend, dominierte das empirische Wissen. Man kam bei neuartigen Problemen, bei denen keine Erfahrungen vorlagen, schnell an Grenzen. In Frankreich war die genaue mathematisch-physikalische Bearbeitung technischer Probleme vorherrschend. Einige dieser mathematisch-physikalischen Lösungen haben heute noch Modellcharakter. Bei realen Problemen kam man ebenfalls rasch an Grenzen. In Deutschland setzte man von Anfang an auf die praktische Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse. Die Stichworte dazu waren: soviel Theorie wie nötig, Verzicht auf höchste Genauigkeit, Verbindung von Belastung und Beanspruchung durch die Werkstoffwissenschaften.

Für das Erlernen neuer Techniken und den Wissenstransfer waren auch sehr einfache Vorgehensweisen üblich. Beispielsweise über die Begutachtung und Begleitung des Baus einer Maschine beim Hersteller im Ausland, deren Ankauf und Aufbau in Deutschland. Die staatlichen Bildungseinrichtungen wurden durch „Vereine zur Gewerbebeförderung“ und „Centralstellen für Gewerbe und Handel“ unterstützt. Sie übernahmen die praktische Umsetzung der neuesten Entwicklungen in den einheimischen Betrieben. Das ging so weit, dass in diesen Einrichtungen die neuesten (und teuersten) Maschinen aus dem Ausland zum Kennenlernen und Benutzen für jeden interessierten Unternehmer bereitgestellt wurden.

Auch in öffentlichen Ausstellungen von Industrieerzeugnissen konnten sich interessierte Fachleute über neue Entwicklungen informieren. Diese Veranstaltungen, meist in Form von Maschinenmärkten mit praktischen Vorführungen und direkten Vergleichen der Wettbewerber, waren in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts noch relativ klein und meist regional begrenzt. In der zweiten Hälfte gab es schon große Ausstellungen mit internationaler Beteiligung. In Preußen fand die erste „Maschinenausstellung“ 1822 statt. Am Anfang hatte man noch Mühe, Aussteller zu finden. Auf der großen Berliner Ausstellung von 1844 waren schon mehrere hundert Hersteller aus fast alle deutschen Ländern vertreten.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde mit zunehmender Arbeitsteilung in den Betrieben der Industrie auch eine Aufteilung bei der Erstellung konstruktiver Zeichnungen vorgenommen, und zwar in ein nach formal-handwerklichen Gesichtspunkten durchgeführtes technisches Zeichnen oder Maschinenzeichnen und dem Konstruieren. Technisches Zeichnen galt als eine Fertigkeit, die zwar detaillierte Kenntnisse über die Ausführungsbestimmungen (Normen, Richtlinien etc.) und handwerkliches Geschick umfasste, aber nur geringe schöpferische Anteile hatte. Konstruieren galt und gilt als kreativer Prozess, als problemlösende Phase, als Können und auch als Kunst. Technischer Zeichner als Beruf gibt es ab etwa 1890.

Verlag von OTTO SPAMER in Leipzig.

Das technische Zeichnen.

Praktischer Lehrgang
für Architekten, Techniker, Mechaniker und Bauhandwerker,
insbesondere für Bau-, polytechnische und höhere Gewerkschulen.

Bearbeitet von **Euido Schreiber**,
vormaligem öffentlichen Lehrer der Mathematik an der Polytechnischen Schule zu Karlsruhe, Vorstand
der Kommission für das Gewerkschulwesen im Großherzogtum Baden etc.

In vier Theilen oder Klassen.

Mit 1200 in den Text gedruckten Illustrationen, nach Zeichnungen des Verfassers in Holz geschnitten durch die
Königliche Anstalt der Verlagsbuchhandlung von Otto Spamer in Leipzig.

Vollendet sind:

Erster Theil oder erste Klasse:

Das lineare Zeichnen.

Zweite Auflage vermehrte und verbesserte Auflage.

Praktische Anleitung für Architekten, Techniker,
Mechaniker und Bauhandwerker, insbesondere
für Bau- und Gewerkschulen. Mit 525 Text-
Abbildungen, nebst Titelblättern.

Inhalt:

Erste Abtheilung: Freies Handzeichnen. Preis: 1 Zfr.
Zweite Abtheilung: Ornamentzeichnen. Preis: 1 Zfr.
Dritte Abtheilung: Geometrisches Zeichnen. Preis: 1 Zfr.

Zweiter Theil oder zweite Klasse:

Projektivs Zeichnen.

In vier Abtheilungen.

Erste Abtheilung: **Die Projektionslehre.**

Für Techniker, Mechaniker und Bauhandwerker,
insbesondere für Gewerkschulen etc. Mit 84 Text-
Abbildungen. Preis 15 Zfr.

Zweite Abtheilung: **Spezielle darstellende**

Geometrie.

Für Architekten, Techniker, Mechaniker und Bau-
handwerker, insbesondere für Bau-, polytechnische
und höhere Gewerkschulen. Mit 100 Text-Ab-
bildungen sowie einem Titelblatte. Preis 2 1/2 Zfr.

Jeder der vorstehend aufgeführten Theile, von denselben Grundsätzen aus bear-
beitet, bildet ein für sich bestehendes Ganzes und ist auch einzeln zu den
beibehaltenen Preisen zu beziehen.

Von dem preussischen Handelsministerium ist kürzlich an die Regierungen eine Circularverfügung
betreffs Einrichtung des Zeichenunterrichts und Vertiefung entsprechender Zeichen-
schulen für Bildung der Gewerbe erlassen worden. Die Aufgabe dieser zu gründenden Zeichen-
Institute wird als eine dreifache bezeichnet: sie soll sich auf die „Ausübung des Schönbilddienstes im
Allgemeinen, auf die Vertiefung der künstlerischen Wege für die Anwendung von Formen und Farben
und endlich auf die Hervorhebung des so Gewonnenen bei den eigenen Entwürfen gewerblicher Kunst-
gegenstände“ zu richten haben. Dieser unübertrefflichen Bestimmung gegenüber hätten die Werke des Herrn
Professor Schreiber besondere Aufmerksamkeit verdienen. — Bezüglich des „technischen Zeichnens“
sei vor Allen der Umstand betont, daß der Verfasser dieses Lehrganges f. B. von dem großherzoglich
badischen Ministerium des Innern mit der Einrichtung der Gewerkschulen des Landes beauftragt
war, daß der Unterrichtsplan für das Zeichnen, welcher bei seiner Abgrenzung aufgestellt wurde, sich
bereits praktisch bewährt hat und daß auch sehr viele weitere Erfahrungen nur die Nichtigkeit der vor
dieser Seite ausgeprochenen Ansichten wiederholt bekräftigt haben.

Dritte Abtheilung: **Winkelperspektive.**

Für Architekten, Techniker, Mechaniker und Bau-
handwerker, insbesondere für Bau- und polytech-
nische Schulen etc. Mit 130 Text-Abbildungen, einem
Titelblatte etc. Preis 1 Zfr.

Vierte Abtheilung: **Die Schattenlehre.**

Für Architekten, Techniker, Mechaniker und Bau-
handwerker, insbesondere für Bau- und polytech-
nische, höhere Gewerbe- und Real Schulen. Mit
116 Text-Abbildungen und 7 Tafelblättern.
Preis 1 1/2 Zfr.

Dritter Theil oder dritte Klasse:

Die Farbenlehre.

Für Architekten, Maler, Techniker und Bauhand-
werker, insbesondere für Bau- und polytechnische,
höhere Gewerkschulen. Ein Bändchen mit 15
Text-Abbildungen und 8 lithographirten Farb-
tafeln. Preis 1 1/2 Zfr.

In Vorbereitung bleiben:

Dritter Theil oder vierte Klasse:

Radzeichnen.

Erste Abtheilung: **Architektonisches Zeichnen.**
Zweite Abtheilung: **Maschinisches Zeichnen.**
Dritte Abtheilung: **Topographisches Zeichnen.**

In der Phase der Industrialisierung, in der bestimmte Teile der Zeichenarbeit noch nicht separat von Spezialisten (z.B. technischen Zeichnern) durchgeführt wurden, erledigten die Konstrukteure alle anfallenden Zeichenarbeiten selbst. Zu diesen Arbeiten zählten auch die zeichnerischen Arbeiten auf einigen Spezialgebieten. Üblich war es beispielsweise, anstelle aufwendiger Berechnungen, zeichnerische Verfahren zur Lösung diverser Probleme einzusetzen. Heute noch bekannt sind die graphischen Verfahren der Statik und besonders auch die Verfahren der graphischen Kinematik (siehe Kapitel 11). Diese Verfahren haben einen ausgeprägten physikalischen Aspekt und in einem geringeren Umfang einen zeichnerischen. Aber ohne die exakte Ausführung der zugeordneten Konstruktion waren die statischen oder kinematischen Probleme nicht lösbar. Diese graphischen Verfahren waren selbstverständlich Bestandteil der technischen Ausbildung. An den technischen Bildungseinrichtungen, insbesondere den Hochschulen, wurden diese Verfahren noch bis Mitte des 20. Jahrhunderts gelehrt. Im Bild 4.2/2 ist der Plan einer Vorlesung zur Getriebetechnik wiedergegeben. Viele der angesprochenen Themen wurden mit graphischen Verfahren bearbeitet. Das nächste Bild zeigt ein Beispiel zur zeichnerischen Lösung eines kinematischen Problems. Die eingesetzten Verfahren waren anspruchsvoll. Ähnliches gilt für die graphischen Verfahren der Statik und andere Bereiche des Maschinenbaues.

Inhalt der Vorlesung Getriebetechnik I

1. Einführung
2. Einteilung der Getriebe
3. Getriebebeispiele zur Erläuterung der Getriebeeinteilung
 - 3.1 Gleichförmig übersetzende Getriebe
 - 3.2 Ungleichförmig übersetzende Getriebe
4. Getriebetechnische Grundbegriffe
 - 4.1 Elemente und Elementenpaare
 - 4.2 Glieder
5. Kinematische Ketten

Inhalt der Vorlesung Getriebetechnik II

9. Bewegungslehre ebener Getriebe (ebene Getriebekinematik)
 - 9.1 Bewegungslehre in vektorieller Darstellung
 - 9.2 Einige Anwendungen von Vektorgleichungen auf ebene Getriebe
 - 9.3 Rein grafische Ermittlung von Geschwindigkeit und Beschleunigung
 - 9.4 Ermittlung von Drehpolen und Momentanpolen
 - 9.5 Polbahnen (Rastpolbahn, Gangpolbahn)
 - 9.6 Koppelkurven
10. Semigrafische Methoden zur Bestimmung des Bewegungszustandes bei ebener Bewegung
 - 10.1 Semigrafische Ermittlung der Geschwindigkeit an ebenen Getrieben
 - 10.2 Semigrafische Ermittlung der Beschleunigung an ebenen Getrieben

Bild 4.2/1: Eines der ersten deutschsprachigen Bücher über das technische Zeichnen (1871)

In der technischen Ausbildung hatten praktische Übungen im konstruktiven Zeichnen eine dominierende Bedeutung. Am Anfang wurden Übungszeichnungen kopiert, später dann mit dem erlernten Wissen über die Geometrie Aufgaben eigenständig bearbeitet. Die Grundlagen der Darstellenden Geometrie spielten in der Ausbildung eine große Rolle. Ein Beispiel sind die geometrischen Übungen im Aufzeichnen unterschiedlichster Projektionen. Es galt nicht nur die Verfahren zu verstehen, sondern auch eine gewisse Sicherheit in der Anwendung zu erreichen und das Vorstellungsvermögen zu entwickeln. Das intensive Üben war dafür ein probates Mittel. Aus der Vielzahl von Übungsbeispielen der technischen Lehranstalten seien hier nur vier herausgegriffen. Auf der ersten Tafel sind Übungsbeispiele zum Zeichnen von Projektionen unterschiedlicher Körper dargestellt. Die Tafel 4.2/2 zeigt Ermittlung der Verschneidungslinien beim Durchdringen von Körpern. Die folgenden Tafeln zeigen Übungsbeispiele aus dem Bereich der Technik. Die Konstruktion unterschiedlicher Gewinde ist in der Tafel 4.2/3 wiedergegeben. Die letzte Tafel zeigt die genaue technische Zeichnung unterschiedlicher Eck- und Bördelnietungen.

Bild 4.2/2: Beispiel zum Vorlesungsinhalt zur Getriebetechnik (um 1930)

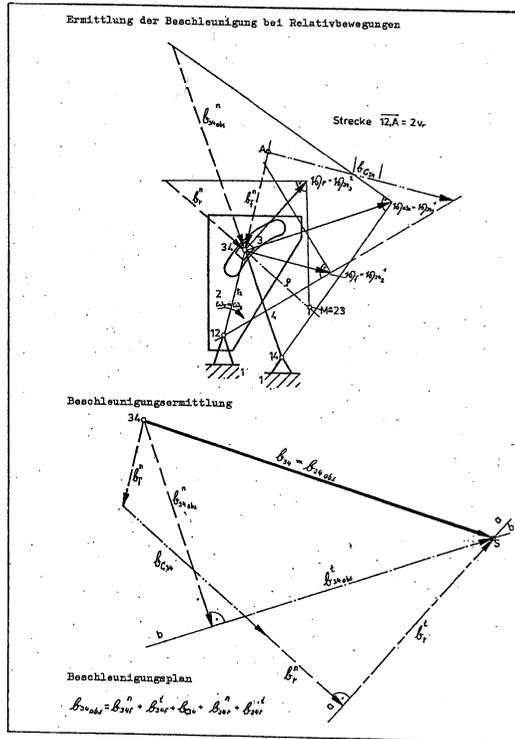


Bild 4.2/3:
Beispiel zur zeichnerischen
Lösung eines
kinematischen Problems
(um 1930)

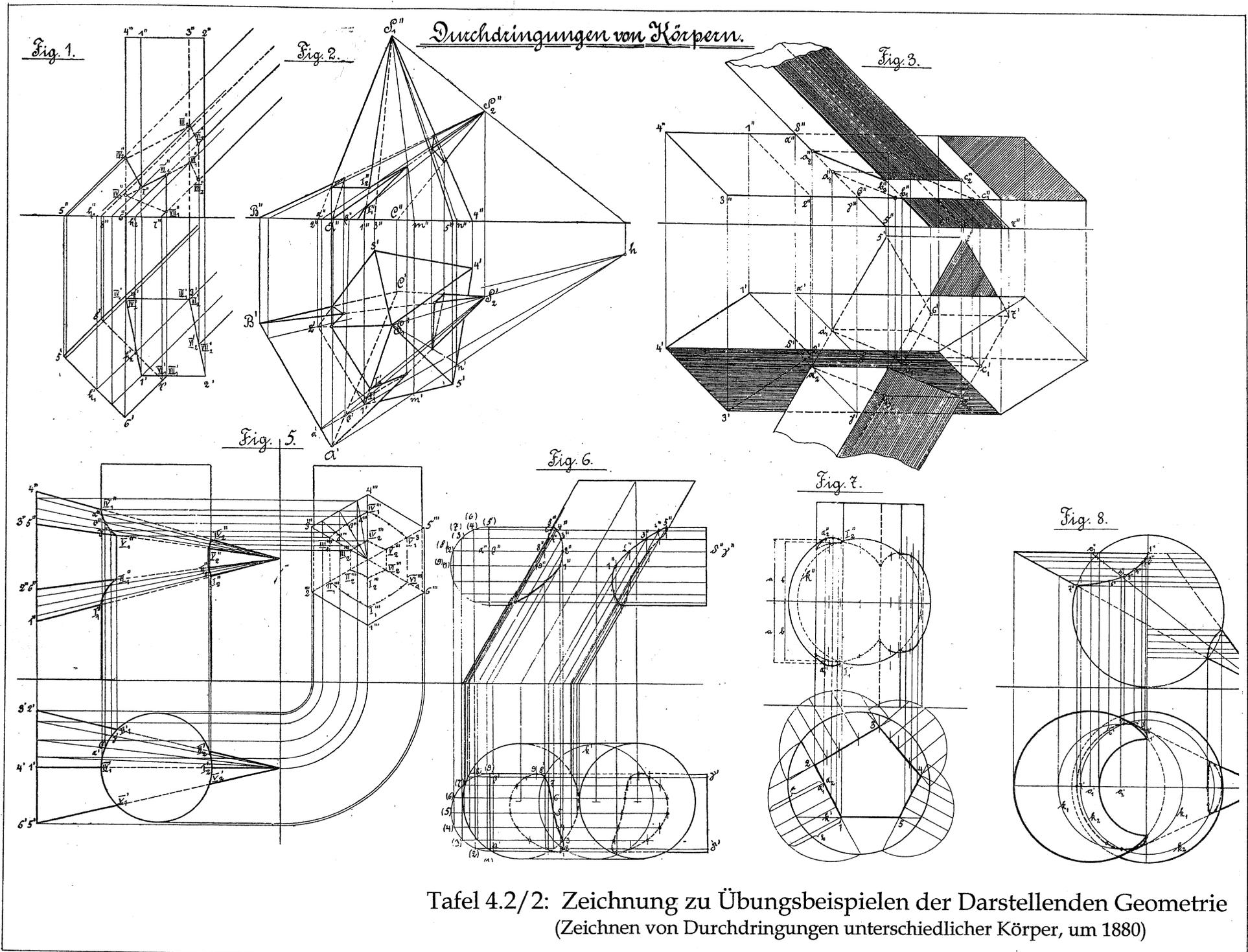
Bemerkung:
Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts war die Darstellende Geometrie und das „Technische Zeichnen“ noch Bestandteil der Ausbildung an den meisten Technischen Hochschulen. Mit der Lehre war auch das Trainieren des Anfertigen und Lesens der technischen Zeichnungen, das Vermitteln eines nichtsprachlichen Wissens, das Einüben von Anschaulichkeit, das Ausbilden eines „inneren Auges“ verbunden. Die Digitalisierung hat diese Prozesse weitgehend überflüssig gemacht. Moderne CAD-Systeme beschleunigen die Konstruktionsprozesse ungemein. Dreidimensionale Ansichten in allen Phasen des Konstruktionsprozesses ersetzen das räumliche Vorstellungsvermögen. Virtuelle Welten erlauben das Betrachten von außen und das Wandeln im inneren der entworfenen Objekte. Entwürfe können automatisch erstellt und bewertet werden. Berechnungen sind integraler Bestandteil der CAD-Systeme. Zeichnungen sind weitgehend überflüssig. Mit vernetzten CAD/CAM-Systemen werden alle produktionstechnischen und logistischen Abläufe gesteuert. Neben dieser Fülle von Vorteilen gibt es aber auch einige Veränderungen, die zu denken geben. Eine Fülle von Wissen, insbesondere im nichtsprachlichen Bereich, ist verloren gegangen und mit ihm die gedankliche Welt des „visuellen Gedächtnisses“. Nur noch der Programmierer weiß, was genau seine Systeme „enthalten“ und was in ihnen abläuft. Der Anwender ist reduziert auf die Bedienung der Programmoberfläche, im Vergleich zu „freier Konstruktion“: gebunden durch die Möglichkeiten und Grenzen des Programms. Die Abläufe sind deterministisch. Die Objekte haben eine fatale Tendenz zum „immer ähnlicher“ werden (siehe Automobilindustrie, Gebrauchsarchitektur u.a.m.). Tieferes Verständnis ist nicht erforderlich, es stört sogar. Ökonomisch ist der Erfolg der neuen Systeme für die Hersteller meist überwältigend. Ob sich bei der gesellschaftlichen Weiterentwicklung ein Fortschritt ergibt, ist noch nicht bewertet worden. Einige Wissenschaftler äußern den Verdacht, dass es sich bei einer Vielzahl der Innovationen um Fälle von „rasendem Stillstand“ handelt. Neues kann mit Hilfe der Digitaltechnik in atemberaubender Geschwindigkeit zur Marktreife gebracht werden, mit immer weniger Nutzen, immer weniger nachhaltig, immer überflüssiger, aber immer schneller. Es gibt in den Medien häufig sensationell aufgemachte Berichte von traditionsreichen Unternehmen, die nach langer Marktpräsenz plötzlich verschwunden sind, weil sie angeblich den „digitalen Zug der neuen Zeit“ verpasst haben. Das mag sein. Wesentlich interessanter wäre allerdings die Zahl der Unternehmen, die auf den „Zug der Zeit“ aufgesprungen sind und ebenfalls verschwunden sind. Wenn man sich die Überlebensbilanzen von innovativen Start-Ups ansieht, dann geben die Zahlen zu denken.

Bemerkung:
Im hier behandelten Zeitraum war die Anfertigung einer technischen Zeichnung Handarbeit. Die wesentliche Information war zeichnerischer Art, und zwar die zeichnerische Darstellung der Objekte. Es wurde schon darauf hingewiesen, dass eine rein zeichnerische Darstellung zur vollständigen Beschreibung technischer Objekte nicht ausreicht. Zur vollständigen technischen Zeichnung gehörten immer mehr oder weniger umfangreiche Texte auf den Zeichnungen. Elemente dieser „Beschriftung“ waren die Maßangaben und schriftliche Hinweise, Erläuterungen, Herstellungangaben, Stücklisten, Änderungshinweise, Bezeichnungen von Teilen u.a.m. Die Beschriftung der Zeichnungen war Handarbeit. Das Erlernen und Ausführen einer Schrift hatte damals eine völlig andere Bedeutung als heute. Eine Schrift war nicht einfach eine Aneinanderreihung mehr oder weniger gut lesbaren Buchstaben mit individuellem Zuschnitt. Schrift war ein System mit definierten Schriftzeichen, die aus verschiedenen geometrischen Elementen bestand und nach festen Regeln ausgeführt wurde. Schriften waren nach unterschiedlichen Prinzipien aufgebaut. Die Stufung von Klein- und Großbuchstaben, die Buchstabenbreiten und Buchstabenabstände, Schriftstärken und Schrifthöhen waren oft nach mathematischen Gesetzen aufgebaut, beispielsweise nach bestimmten geometrischen Reihen, dem „Goldenen Schnitt“ u.a.m. Diese Prinzipien mussten vom Schreibenden verstanden werden und intuitiv umgesetzt werden. Nicht jeder Buchstabe konnte vor dem Schreiben „konstruiert“ werden. Zum Schreiben benötigte man unterschiedliche Hilfsmittel und Schreibfedern. Es gab eine kaum zu überblickende Fülle an unterschiedlichen Schriften, die in Zeichnungen verwendet wurden. Einige findet man in den unterschiedlichen Zeichnungsbeispielen in diesem Buch.

Für das Thema „Lernen und Ausbildung“ muss an dieser Stelle nachgetragen werden, dass das Erlernen von Schriften fester Bestandteil der schulischen Bildung war, und zwar in allen Bildungsstätten und auf allen Ausbildungsebenen. Das Erlernen fand in einem Umfang und einer Intensität statt, die heute unverständlich wirkt. Ein nicht unerheblicher Teil der Ausbildungszeiten wurde zum Erlernen von Schriften aufgewendet. Komplizierte Schriften konnten nur durch jahrelange Übungen beherrscht werden. Eine Zeichnung, oder noch wesentlicher, ein Dokument, in perfekter Schrift ausgeführt, war beispielsweise für die amtliche Genehmigung eines Vorhabens von großer Bedeutung. Nicht nur wegen des guten Eindrucks, sondern auch durch die Tatsache, dass der Ersteller durch seine „Schrift“ klarlegte, dass er die Regeln im Kanzleiverkehr kannte. Das Schreiben war, wie das konstruktive Zeichnen, eine Kunst. Diese Kunst hatte in Europa eine viele Jahrhunderte alte Tradition. Von dieser „Schriftkunst“ ist heute nichts mehr geblieben. In einigen fernöstlichen Kulturkreisen werden die „Schriftkunst“ und die „Kunst des Schreibens“ allerdings auch heute noch intensiv gepflegt. Weitergehende Erläuterungen zu den Aspekten des Beschriftens von Zeichnungen und den unterschiedlichen Schriftarten sind im Kapitel 16 zusammengefasst, insbesondere im Abschnitt 16.5.

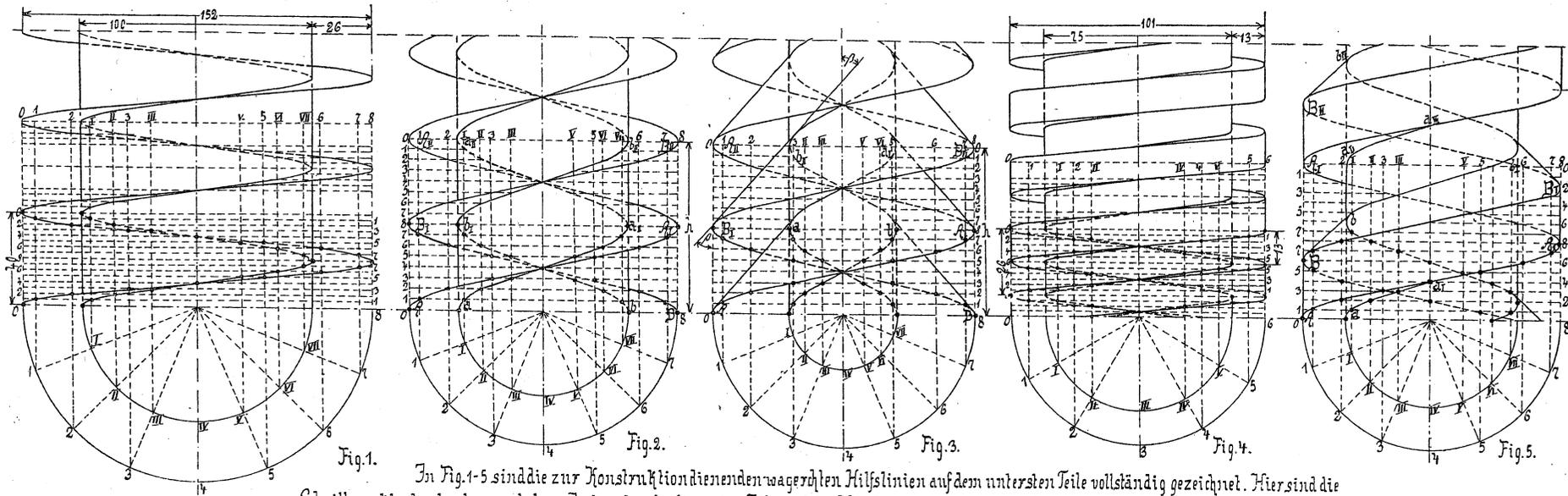


Bild 4.2/4:
Ausschnitt aus einem
Übungsblatt zur
„Deutschen Schrift“
(um 1900)

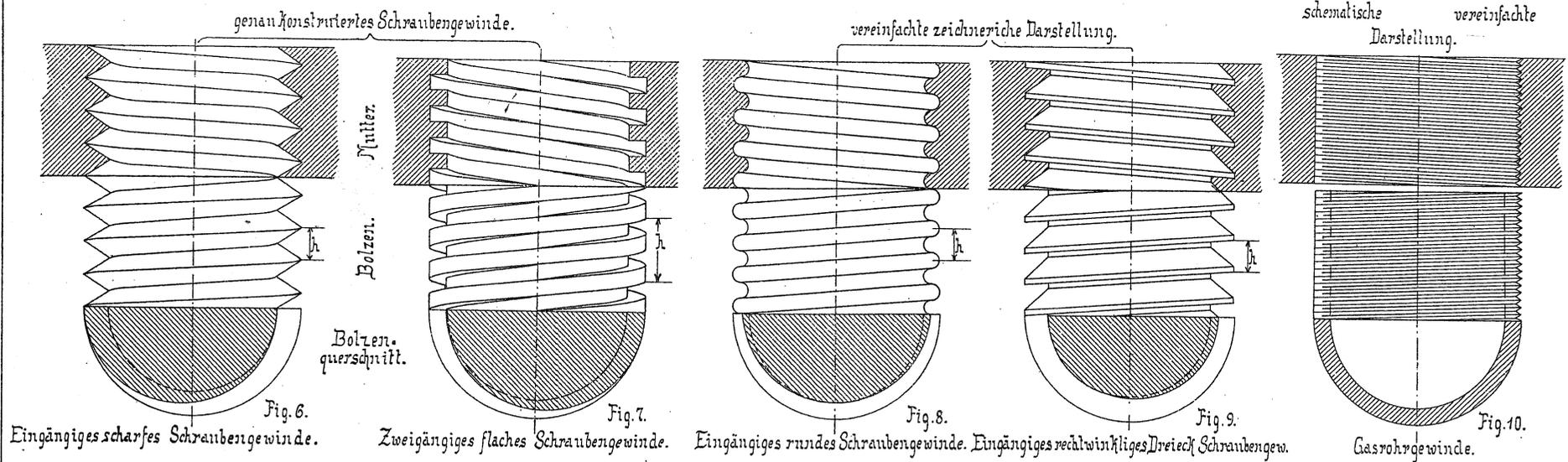


Tafel 4.2/2: Zeichnung zu Übungsbeispielen der Darstellenden Geometrie
(Zeichnen von Durchdringungen unterschiedlicher Körper, um 1880)

Schraubengewinde.



In Fig. 1-5 sind die zur Konstruktion dienenden waagrecht Hilfslinien auf dem untersten Teile vollständig gezeichnet. Hier sind die Schnittpunkte durch • hervorgehoben. In dem darüberliegenden Teile sind die Hilfslinien nur bis zu den Schnittpunkten gezeichnet und im obersten Teile sind sie ganz fortgelassen.



Tafel 4.2/3: Zeichnerische Ermittlung unterschiedlicher Schraubengewinde (Gewindekonstruktion und Gewindedarstellung, um 1890)

4.3 Technische Lehrbücher und Periodika

Die Zeit vor der Renaissance wird hier wieder übergangen. Lehrbücher und Periodika mit größerer Verbreitung sind an den Buchdruck gekoppelt. Einzelne Blätter und Blattsammlungen mit konstruktiven Zeichnungen, in Holz oder Kupfer gestochen und einzeln gedruckt, gab es schon vor Erfindung des Buchdrucks. Der Verbreitungsgrad lässt sich an den erreichbaren Abzügen abschätzen. Von einem historischen Kupferstich konnte höchstens einige Hundert Drucke abgenommen werden, von einem Holzstiche ggf. mehr. Die Stiche mussten zwischenzeitlich nachgearbeitet werden. Die Qualität litt darunter. Die Darstellungen waren teuer und dienten in der Regel nicht als Vorlage zur Herstellung sondern zur Repräsentation und zum Vergnügen am Verstehen von komplizierten Mechanismen.

Anfang des 16. Jahrhunderts wurden die ersten Bücher mit überwiegend technischen Inhalten gedruckt. Es waren die ersten „Fachbücher“. Die Kunst des Buchdrucks führte im Segment der technischen Bücher zu einer Weiterentwicklung der graphischen Formensprache und zu neuen Bild-Text-Beziehungen. Auffällig in einigen Werken ist der Übergang von Zeichnungen mit reichlich verwendeter Ornamentik und allegorischen Elementen zum „Lineament“. Die Zeichnungen wirken sachlicher, eindeutiger, nüchterner und auf das Wesentliche, das Übermitteln von Wissen, konzentriert. Diese Linearzeichnungen entsprachen mehr den dargestellten technischen Objekten und ihren Funktionen. Zeichnungen und beschreibende Texte waren auf getrennten Blättern untergebracht. Großformatige Stiche, bei technischen Publikationen die Regel, wurden in sogenannten „Tafelmappen“ zusammengefasst.

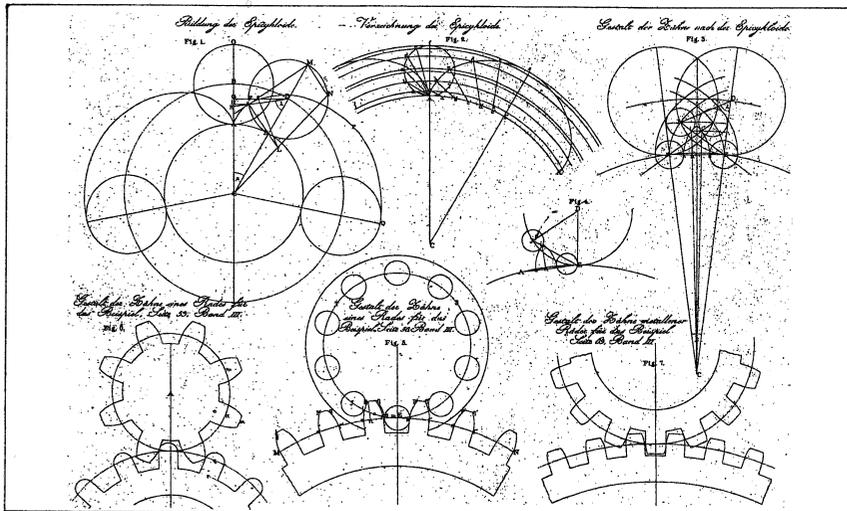


Bild 4.3/1: Darstellung von Zahnradkonstruktionen als „Lineament“ (1834)

Anfang des 16. Jahrhunderts entstanden auch die ersten enzyklopädischen Werke über den Stand der Technik mit einer Vielzahl an konstruktiven Zeichnungen von Maschinen und technischen Großanlagen. 1556 erschienen von Georgius Agricolar (1494 – 1555) die zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen, bekannt unter dem Titel „De Re Metallica Libri XII“. In zwölf Kapitel wird darin das gesamte Wissen jener Zeit über den Bergbau und das Hüttenwesen mit genauen Verfahrensbeschreibungen behandelt. Bekannt wurde es u.a. durch seine Abbildungen der eingesetzten Maschinen und Anlagen. Die hervorragenden Holzstiche

zeigen die eingesetzte Technik anschaulich, oft in perspektiven Ansichten als Gesamtschau, verdeckte Partien wurden durch Teilschnitte freigelegt, ergänzt wurde alles durch Detailzeichnungen einzelner Gerätschaften. Das Werk gilt als wegweisend für die technische Literatur nachfolgender Jahrhunderte.



Bild 4.3/2:
Georgius Agricolar
(1494 – 1555)

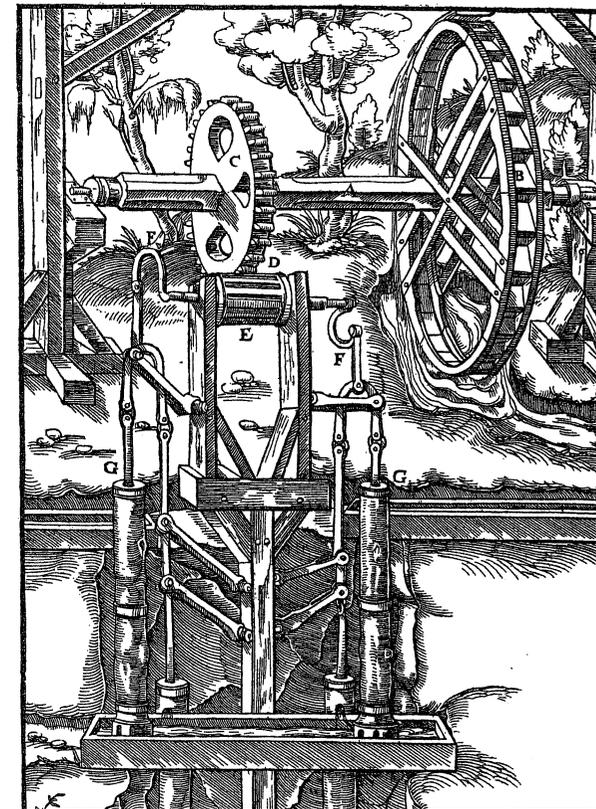


Bild 4.3/3:
Zeichnung (Holzstich)
einer Wasserkunst
zur Hebung
von Grubenwasser
(Auszug aus
„De Re Metallica
Libri XII“, 1556)

In den Jahren 1724 bis 1739 erschien das umfangreiche Hauptwerk über die mechanischen Künste seiner Zeit von Jacob Leupold (1674 – 1727). Leupold übte ursprünglich, wie sein Vater, den Beruf eines Instrumentenbauers aus. Aus gesundheitlichen Gründen wandte er sich zwischenzeitlich dem Studium der Theologie zu. Sein Interesse galt aber der Technik und so wechselte er zu den mechanischen und mathematischen Wissenschaften. Leupold eröffnete 1699 in Leipzig eine Mechanikerwerkstatt. Er war als Instrumentenbauer sehr erfolgreich. Viele Neuerungen gehen auf seine Arbeiten zurück. 1715 nahm ihn die „Kgl. Societät der Wissenschaften“ in Berlin als auswärtiges Mitglied auf. Sein Hauptwerk mit dem Titel „Theatrum machinarum“ hatte einen Umfang von über 1700 Seiten mit 470 großformatigen Kupfertafeln. Die Tafeln sind nach Skizzen und Angaben von Leupold in hoher Qualität meist als perspektivische Darstellungen ausgeführt. Es umfasste acht Bände und einen Schlussband. Geplant waren 20 Bände. Es ist die umfassendste Darstellung des damals bekannten Maschinen- und Instrumentenbaus in deutscher Sprache. Das Werk war lange Zeit das führende Nachschlagewerk für das gesamte Gebiet der Technik. Leupold betonte ausdrücklich, dass sein Werk zur Lehre und Anschauung für Handwerker, Kunstmeister, Beamte, Ingenieure und Künstler gedacht war. Das Werk enthielt auch Abhandlungen und Zeichnungen zu ersten Dampfmaschinen.

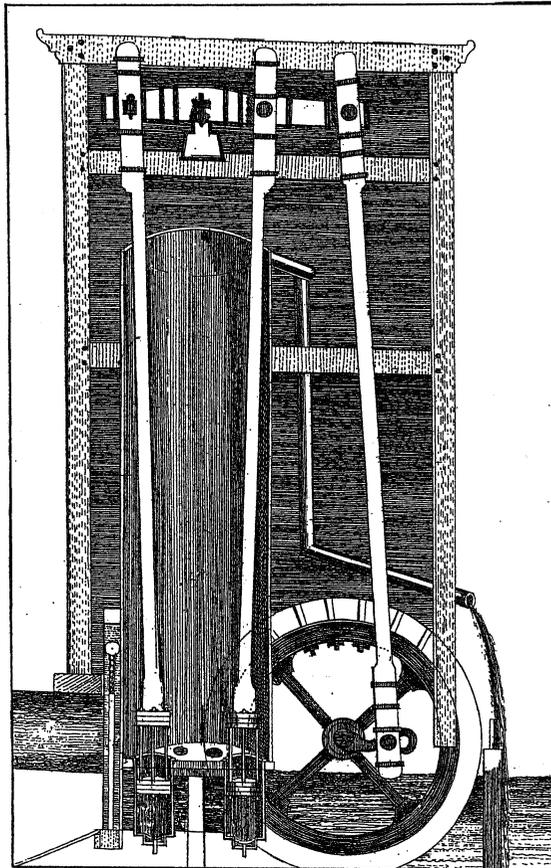


Bild 4.3/4:
Maschine zur Wasserhebung
mit Antrieb
durch ein Wasserrad
(1739)

Aus der Vielzahl an weiteren, umfassenden Werken zur Technik ragt das Werk von Denis Diderot (1713 – 1784) heraus. Es umfasst nicht nur technische Objekte, sondern beschreibt auch den Stand anderer Wissenschaftsgebiete. Begonnen wurde das Werk 1747. Der Titel „Encyclopédie“ charakterisiert treffend den umfassenden Charakter. Der Textteil wurde zwischen 1751 und 1776 publiziert, die Kupferstiche zwischen 1762 und 1777. Die Zeichnungen geben außergewöhnlich detailgetreu die Funktionen der Objekte wieder. Sie sind sowohl anschaulich als exakte Perspektiven, als auch in der Art technischer Zeichnungen ausgeführt. Die technischen Zeichnungen wirken mit ihrer Darstellung unterschiedlicher „Ansichten“ und Schnittführungen in „orthogonaler Parallelprojektion“ schon fast modern. Diderot schrieb im Vorwort zu seinem „Weltwerk“ ausdrücklich, dass ein Gewerbetreibender, Maschinenbauer, Handwerker etc. zwingend die Zeichenkunst beherrschen sollte.

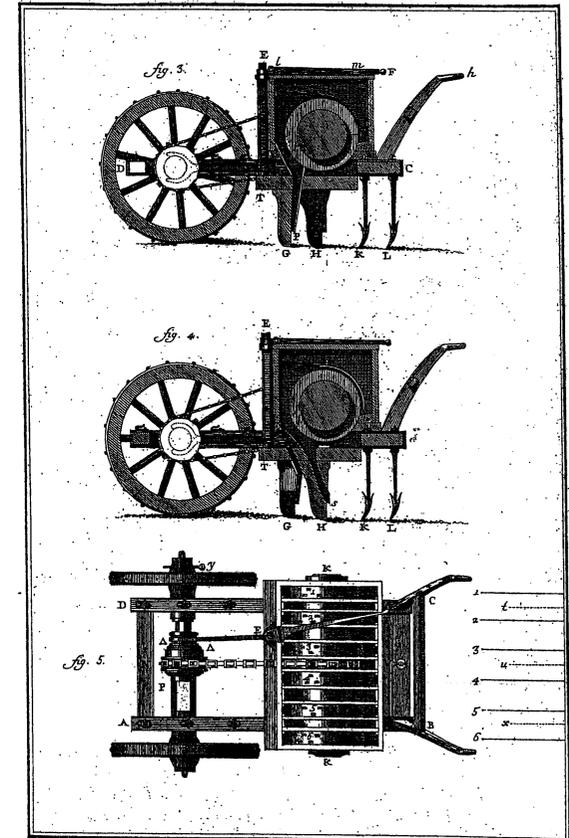


Bild 4.3/5:
Detaillierte Zeichnung
einer
landwirtschaftlichen
Sämaschine
(1762)

Ende des 18. Jahrhunderts entstand eine eigene technisch-wissenschaftliche Literatur, in der die neuesten nationalen und internationalen Erkenntnisse dargestellt wurden. Durch die beginnende industrielle Revolution entwickelte das technische Wissen eine Dynamik und einen Umfang, der durch herkömmliche Publikationen mit universellem Anspruch kaum noch zu bewältigen war. Es wurden weniger enzyklopädische Werke herausgegeben. Es erschienen erste Lehrbücher über einzelne Fachgebiete. Eigenständige Fachbücher über das konstruktive

Zeichnen gab es noch nicht. Dieses Gebiet wurde in den Fachbüchern der Geometrie mit behandelt. Bekannte frühe Autoren technischer Fachbücher waren (Auswahl, Stichworte):

- Joseph Ritter von Baader
Ab 1807 diverse Veröffentlichungen zu Themen des Verkehrswesen.
Bedeutend: „Neues System der fortschaffenden Mechanik...“, erschienen 1822.
(Das Werk enthält im Anhang eine Sammlung hervorragender, kolorierter Kupfertafeln)
- Franz Josef Ritter von Gerstner (1756 – 1832)
Gründete das erste polytechnische Institut in Österreich. 1806 Eröffnung des polytechnischen Instituts in Prag, das erste in Böhmen. Direktor des Instituts und Professor für Mathematik und Mechanik. Sein Sohn Franz Anton veröffentlichte 1831 – 1834 das „Handbuch der Mechanik“. Der Tafelband zu dem Handbuch enthält eine Vielzahl an klaren Linearzeichnungen.
- Johann Josef Ritter von Prechtel (1778 – 1854)
Ab 1815 Leitung des „Polytechnischen Instituts“ in Wien. Herausgeber der „Jahrbücher“ des Instituts. Ab 1830 intensive Arbeit an der „Technologischen Enzyklopädie“. Zahlreiche Veröffentlichungen mit sehr guten technischen Zeichnungen.
- Karl Karmarsch (1803 – 1879)
Ab 1830 erster Direktor der „Höheren Gewerbeschule“ in Hannover. Entwicklung eines neuen Systems der mechanischen Technologie. Mitherausgeber des „Technischen Wörterbuchs“. 1860 Herausgabe der zwanzigbändigen „Technologischen Enzyklopädie“.
- Ferdinand Redtenbacher (1809 – 1863)
Ab 1841 Professor an der „Polytechnischen Schule“ in Karlsruhe. Mitbegründer der Maschinenwissenschaften. Entwicklung einer eigenständigen Methode zur Erkenntnisgewinnung bei technischen Problemen, weg von der mathematisch orientierten Methode französischer Wissenschaftler und weg von der erfahrungsorientierten Erkenntnisgewinnung englischer Ingenieure. Verbindung von Theorie und Praxis.
Bis 1863 Direktor der „Polytechnischen Schule“ (später Technische Hochschule Karlsruhe). Veröffentlichungen „Die Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues“, „Der Maschinenbau“ u.a.
- Chr. Bernoulli
Veröffentlichte 1833 sein „Handbuch der Dampfmaschinenlehre“. Im Anhang findet man eine Vielzahl guter Linearzeichnungen. 1847 erschien schon die dritte Auflage.
- Johann Gottfried Dingler (sen.) und Emil Maximilian Dingler (1806 – 1874)
Herausgeber von „Dingler's Polytechnisches Journal“. Der erste Band erschien 1820 unter der Leitung von J. G. Dingler. Das „Polytechnische Journal“ war eine der führenden technischen Zeitschriften in Deutschland. Seit 1840 wurde das Journal von E. M. Dingler herausgegeben. Der letzte Band erschien 1931.
- Franz Grashof (1826 – 1893)
Ab 1854 Lehrer für Mathematik und Mechanik am „Kgl. Gewerbeinstitut“ in Berlin. Schüler von Redtenbacher in Karlsruhe. 1856 einer der Mitbegründer und erster Direktor des „Vereins deutscher Ingenieure“. Schriftleitung der „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“. Ab 1863 Nachfolger Redtenbachers an der Technischen Hochschule in Karlsruhe. Zahlreiche Veröffentlichungen, große Verdienste im Bereich des technischen Zeichnens.
- Akademischer Verein Hütte e. V.
Fachleute des Vereins veröffentlichten 1857 die erste Ausgabe der „Hütte. Des Ingenieurs Taschenbuch“. Das mehrbändige Werk wird bis heute laufend aktualisiert. Es ist das am meisten bekannte und umfassendste Handbuch der gesamten Technik im deutschsprachigen Raum.
- Franz Reuleaux (1829 – 1905)
Von 1856 bis 1864 Lehrtätigkeit am Polytechnikum in Zürich. 1868 Direktor der „Berliner

- Gewerbeakademie“ (später Technische Hochschule). Entwicklung einer Systematik aller Getriebe und ihrer kinematischen Gesetzmäßigkeiten. 1875 erschien der erste Teil seines grundlegenden Werks „Theoretische Kinematik“, der zweite Teil erschien 1900.
Umfangreiche Veröffentlichungen, umfangreiche Tafelsammlungen.
- Friedrich Carl Glaser (1843 – 1910)
Herausgeber einer der führenden technischen Zeitschrift im deutschsprachigen Raum „Analen für Gewerbe und Bauwesen“, später „Glaser's Annalen“. Das erste Heft erschien 1877.

Das erste Fachbuch, das sich ausschließlich mit dem technischen Zeichnen (Maschinenzeichnen) befasste, erschien 1830 in Frankreich unter dem Titel „Choix de Modèles, Dessin des Machines“. Autor war Le Blanc. In Deutschland erschien das erste Buch, das einen Schwerpunkt beim technischen Zeichnen hatte, 1852. Der Münchener Professor Sebastian Haindl veröffentlichte es unter dem Titel „Maschinenkunde und Maschinenzeichnen“. 1871 erschien das erste Buch, das sich ausschließlich mit dem technischen Zeichnen befasste. Das vierteilige Werk wurde von Guido Schreiber verfasst. Weitere Quellen und neuere Literatur sind im Literaturverzeichnis zu finden.
Eine Besonderheit bei technischen Fachbüchern mit Bezug zum konstruktiven Zeichnen muss noch erwähnt werden. Ende des 19. Jahrhunderts war es üblich, hochwertige und großformatige zeichnerische Darstellungen in einem gesonderten Band zusammenzufassen. Diese „Zeichnungsbände“ zeigten im Detail die Ausführung einer Maschine in einer Vielzahl von Zeichnungen. Für den technisch versierten Leser waren diese komplizierten Darstellungen kein Problem. Es gab in dieser Zeit intensive Bemühungen, die technischen Funktionen und den Aufbau der gezeigten Maschinen einem breiteren Publikum leichter verständlich zu machen. Insbesondere die Darstellungen in Schnitten waren für viele Laien schwer zu verstehen. Die Lösung war ein Rückgriff auf die Darstellungen bei hochwertigen konstruktiven Zeichnungen des 17. und 18. Jahrhunderts mit ihrem Einsatz von Farben zur Hervorhebung unterschiedlicher Werkstoffe oder Funktionen. Das Verständnisproblem bei den komplizierten Schnitten wurde durch „aufklappbare“ Zeichnungsteile gelöst. Basis für diese Art der Darstellung blieb immer die genaue technische Zeichnung. Umgangssprachlich bezeichnete man so einen Tafelband oft als „Modell-Atlas“. Das nachfolgende Beispiel einer stehenden Compound-Dampfmaschine (im Original war es farbig gedruckt) wurde der folgenden Publikation entnommen: „Die moderne Technik“. Dargestellt in zerlegbaren Modellen. Modell-Atlas. Berlin, ohne Datum (vermutlich um 1910).

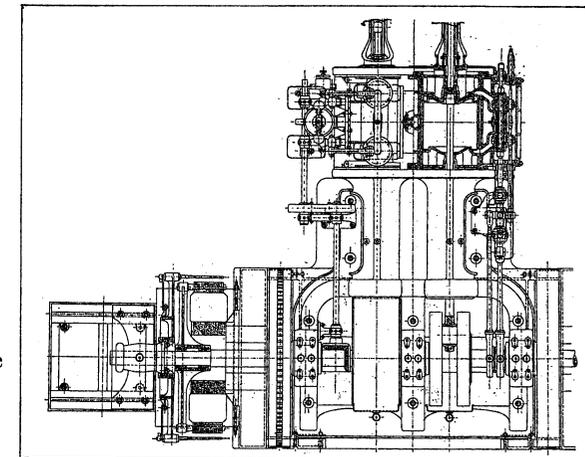
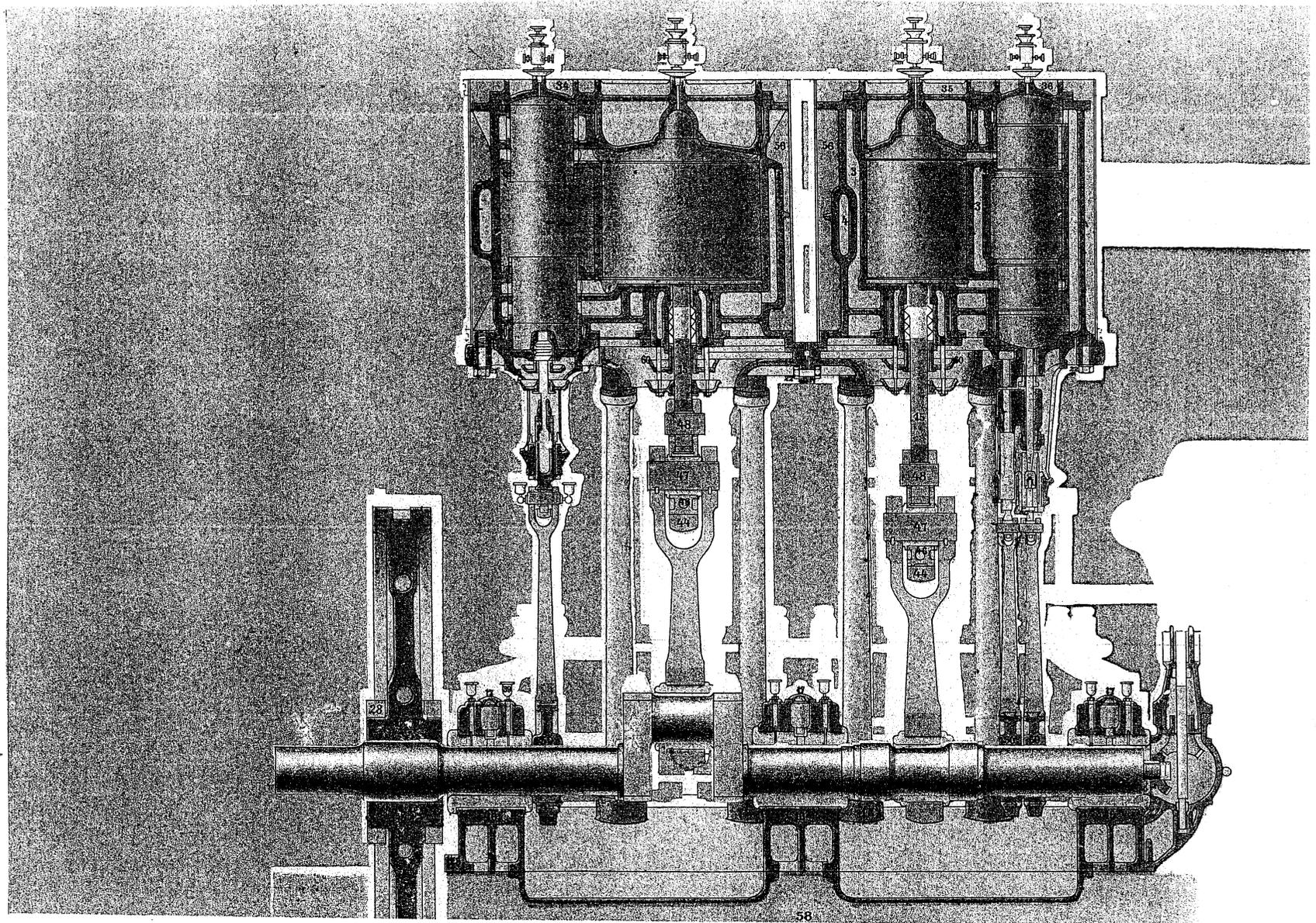


Bild 4.3/6:
Technische Zeichnung
der Hauptansicht
der stehenden
Compound-Dampfmaschine
des Beispiels
(um 1910?)



Tafel 4.3/1: „Zweicylindrige Dampf-Compoundmaschine“
Modellatlas,
erste aufgeklappte Darstellung des inneren Aufbaus, Längsschnitt

Das rasant wachsende Wissen konnte Anfang des 19. Jahrhunderts durch das Fachbuch allein nicht mehr transportiert werden. Die ersten Periodika mit rein technischen Inhalten kamen ab 1810 in den Handel. Sie berichteten zeitnah über die neuesten Entwicklungen in den führenden Industrienationen. Am Anfang wurde noch über das gesamte Gebiet der Technik informiert. Die Offenheit und Genauigkeit, mit der der eigene technische Stand gezeigt wurde, ist aus heutiger Sicht erstaunlich. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurden dann auf einzelne Fachgebiete spezialisierte Zeitschriften herausgegeben. Einige Herausgeber dieser Zeitschriften sind in der oben gezeigten Auflistung erwähnt. Die weitere Differenzierung in Teilgebiete und Untergebiete führte zu einer großen Vielfalt an fachbezogenen Periodika. Die folgenden Tafeln zeigen eine kleine Auswahl an Kopfspiegeln bekannter technischer Zeitschriften im deutschsprachigen Raum.

Bemerkung:

Ein wesentlicher Zweck technischer Literatur ist die Weitergabe von Wissen und Erfahrung. Frühe Formen von technischer Literatur, sicherlich nicht die Anfänge, findet man im deutschsprachigen Raum bei einigen Berufsständen. Seit dem frühen Mittelalter wurden vereinzelt die genutzten Techniken und die gewonnenen Erfahrungen im Umgang mit Materialien und Werkzeugen in schriftlicher Form oder als Skizzen festgehalten. Diese Schriften und Skizzen waren einmalig. Eine Verbreitung über den unmittelbaren handwerklichen Bereich gab es kaum. Eine Vervielfältigung war nur durch Kopieren von Hand möglich. Nur in Ausnahmefällen wurden Druckstöcke der Skizzen angefertigt. Exemplarisch sei hier der Berufsstand der Büchsenmeister betrachtet. Um 1300 kamen die ersten Pulvergeschütze zum Einsatz. Sie veränderten die kriegerischen Auseinandersetzungen grundlegend. Zuerst wurden große Steinkugeln abgefeuert. Die Kanonen selbst waren aus eisernen Dauben, ähnlich wie bei einem Fass, gefertigt. Den Zusammenhalt erhielten sie durch starke eiserne Ringe. Der Rückstoß war so stark, das die Widerlager nach jedem Schuss neu gebaut werden mussten. Alle zwei bis drei Tage konnte ein Schuss abgegeben werden. Die Kanonenrohre wurden später aus Bronze, danach aus Gusseisen hergestellt. Das notwendige Wissen zur Herstellung dieser Kanonen war so groß, dass eine entsprechende Dokumentation notwendig wurde. Die Büchsenmeister haben also angefangen, die Erfahrungen ihrer Kunst niederzuschreiben und in Form von Skizzen zu verdeutlichen. Dieses militärisch nutzbare Wissen war sehr wertvoll und wurde geheim gehalten. Man vererbte es in den Büchsenmeisterfamilien oft vom Vater auf den Sohn. Büchsenmeister waren in einer Gemeinschaft Persönlichkeiten mit herausragender Bedeutung. In den Städten oblag ihnen wesentliche Teile der Verteidigung.

Die Aufgaben gingen weit über den Rahmen des Geschützbaus und die Herstellung des Schießpulvers hinaus. Sie sorgten für die „Festigung der Mauern, Füttern der Gräben, ... den Angriff mit Türmen, Katzen, Schirmen...“ auf Feinde usw.

Neben den Büchsenmeistern begannen manche Städte das Wissen des Berufsstandes der Büchsenmeister niederzuschreiben. Aus diesen Anfängen technischer Literatur entstanden die bekannten „Wunderbücher“, die „Kriegsbücher“ und „Feuerwerksbücher“ jener Zeit, die einem begrenzten Teil der Ingenieure und Militärtechniker zugänglich waren.

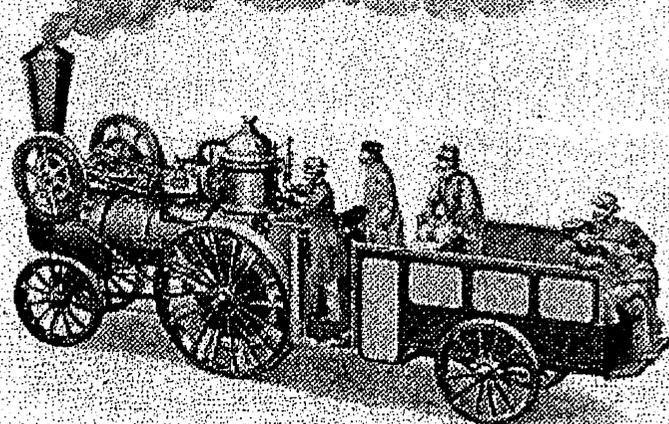


Bild 4.3/7:
Beschießung einer Burg
mit Geschützen und
ursprünglichen Handbüchsen
(15. Jahrhundert)

Nachzutragen bleibt noch, dass in den Skriptorien mittelalterlicher Klöster nicht nur Werke mit religiösen Inhalten verfasst oder kopiert wurden, sondern auch Bücher mit technischen Inhalten. Die Klöster waren Zentren des Wissens und des Fortschritts. In einigen Klöstern nahmen das handwerkliche Wissen und das Wissen über mechanische Effekte einen breiten Raum ein. Ein Beispiel sind die Klöster der Zisterzienser.

Maschinenlehre

(Dampfmaschinen)



Schwarzkopflöcherer Straßen-Locomotive

EISELEBEN

1864

4.4 Formgebung von technischen Objekten und Stil

Bei den Römern wurden Nachrichten und Zeichnungen u.a. auf Wachstafeln festgehalten. Dazu benutzte man einen Silber- oder Bronzegriffel, den „stilus“. Das Wort „Stil“ leitet sich aus dem lateinischen Wort „stilus“ ab. Wenn jemand gut schreiben oder zeichnen konnte, hatte er einen guten „stilus“.

Die äußere Erscheinung von Maschinen wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Die Gewichtung dieser Faktoren hat sich im Laufe der Entwicklung des konstruktiven Zeichnens permanent gewandelt. Im Laufe der Zeit entstanden daraus in den verschiedenen „Epochen“ Formsysteme mit deutlich unterscheidbaren Elementen. Diese besonderen Charakteristika gab es in den „freien Künsten“, der Baukunst usw. und auch in den Maschinenkünsten. Wenn nur die Phase 1000 n. Chr. und später betrachtet wird, so können folgende charakteristische „Stile“ unterschieden werden: Romanik (900 – 1300), Gotik (1300 – 1500), Renaissance (1500 – 1650), Barock und Rokoko (1650 – 1700), Aufklärung (1700 – 1800), Romantik (1800 – 1850), Biedermeier (1820 – 1850), Realismus (1850 – 1900), „Werkstättenstil“ (Bauhaus etc. 1900 - 1920), „technischer Zweckstil“, „Monumentalstil“ bis zur Auflösung abgrenzbarer Charakteristika (Stilmischung) durch die Vielfalt unterschiedliche „Stile“ ab den 50er Jahren. Es gab Phasen, in denen die ästhetischen Richtlinien eines Stils als verbindliche Vorgaben für die Formgebung galten, mehr oder minder stark auch bei technischen Objekten. In erster Näherung kann man zwei große Einflussbereiche mit Auswirkungen auf die Gestalt technischer Objekte unterscheiden:

- den rationalen, naturwissenschaftlichen, technischen Bereich und
- einen durch die aktuellen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmten Bereich.

Beide bestimmen den „Stil“ eines technischen Objekts. Auffassungen, die die Formgebung von Maschinen im reinen Raum des Ratio und der Zweckmäßigkeit anzusiedeln versuchten, so etwas wurde eine Zeit lang mit Vehemenz vertreten, sind offensichtlich durch das widerlegt, was an Produkten aller Art in der Vergangenheit und heute unsere Umwelt prägt. Immer ist der Gestalter dieser Formen der Konstrukteur, in jüngerer Zeit auch der Designer. Heute ist die Formgebung technischer Objekte ein eigener Ausbildungsbereich. Die Wahrnehmung technischer Formen in unserer gesamten Umwelt prägen unser Sehen und Denken.

Die wichtigsten rationalen, naturwissenschaftlichen, technischen Einflussfaktoren auf die Formgebung der Objekte sind:

- Funktion und Zweck, das Material, die Beanspruchungen, die Technologie der Herstellung, die Transportrestriktionen, die Betriebsbedingungen, die Entsorgung des verbrauchten Objekts und nicht zuletzt: die Wirtschaftlichkeit. Im 19. Jahrhundert unterschied man u.a.:
- die Zweckform („Gebrauchsform“),
- die Materialform,
- die Werkzeugform (einschließlich Herstellung),
- die Körperform (Dimension und Struktur in einigen Aspekten) und
- herstellereigentliche Formelemente (als allgemeine Wiedererkennungsmerkmale des Herstellers eines Produkts).

An gesellschaftlichen Einflussfaktoren sind zu nennen:

- die kulturellen Präferenzen der jeweiligen Zeit,
- die historischen Bezüge in der Literatur, Kunst, Architektur etc. und deren Wertung,
- die allgemeine ästhetische Formenwelt einer Epoche,
- die politischen Systeme und deren Vorgaben für die Formschaffenden (Bevorzugung naturalistischer Formen, abstrakter Geometrien, klassische Elemente etc.),
- die soziale Einbindung der Formschaffenden in die gesellschaftlichen Strukturen (Schule, Studium, Arbeitssituation etc.).

Betrachtet man die Begrifflichkeiten am Ende des 19. Jahrhunderts, so wurde damals unterschieden:

- die Körperform,
- die Sozialform und
- die Kunstform.

In der langen Geschichte des konstruktiven Zeichnens haben sich die Formen technischer Objekte in den verschiedenen Epochen sehr stark unterschieden. Ein prägnantes Beispiel ist der Einfluss des zur Verfügung stehenden Materials auf die Gestaltung. In frühen Epochen bestimmte das Holz weitgehend die Formgebung. Die Möglichkeiten waren begrenzt. Die technischen Objekte machten einen massiven Eindruck, etwas grobschlächtig, auf Zierrat und Ornamente etc. wurde verzichtet. Die Grundformen waren funktional und zweckmäßig. Im Kapitel 3 sind einige Beispiele hierzu aufgenommen worden.

Einen außerordentlich großen Einfluss des Materials auf die Gestaltung hatte der Einsatz von Eisen und später Stahl. Die Möglichkeit, Eisen massenhaft preiswert herstellen zu können „revolutionierte“ die Gestaltungsmöglichkeiten bei technischen Objekten. Die Verwendung von Stahl mit seiner vielfach höheren Festigkeit verstärkte den Effekt. Die Konstruktionen wurden filigraner, völlig neuartige Formen konnten gebaut werden, die höhere Belastbarkeit führte zu immensen Steigerungen der funktionalen Geschwindigkeiten bei Maschinen, sie arbeiteten immer schneller und rationeller. Die Anfänge erster Formsysteme fallen in diese Zeit. Die einfachste und stabilste Form eines Stabwerks ist das Dreieck. Diese Grundform findet man heute bei tragenden Komponenten als Selbstverständlichkeit. Räumliche Gitterstrukturen verwenden das gleiche Grundprinzip. Es wurden auch grundlegende Prinzipien der Darstellenden Geometrie bei der Entwicklung von technischen Objekten eingesetzt. In der Renaissance wurde der „goldene Schnitt“ wiederentdeckt. Bei der Festlegung harmonischer Proportionen fand er bis in die Neuzeit Verbreitung. Bei der Staffellung von Größen kamen geometrischen Reihen zum Einsatz. Es gibt eine Vielzahl weiterer Beispiele. Diese rationalen und zweckbezogenen Gestaltungsprinzipien schlossen aber die Verwendung von völlig andersartigen Stilelementen der jeweiligen Epoche nicht aus. Im Gegenteil, sie gestatteten die Maschinenwelten an das Formempfinden der Zeit anzupassen. Die Meinung, dass diese Stilelemente nur Zierrat und überflüssiges Anhängsel an einem technischen Objekt waren und nur durch Nachahmung aus anderen Kultursegmenten eingeflossen sind, ist nicht zutreffend. Es gab im 19. Jahrhundert in den deutschen Ländern Phasen, in denen die Formgebung technischer Objekte keine große Rolle spielte, sehr zum Nachteil der nationalen Wirtschaft. Von der Weltausstellung 1876 in Philadelphia berichtete der bekannte Maschinenwissenschaftler Professor Reuleaux, dass die Exponate der deutschen Hersteller nicht nur schlecht gebaut waren, sondern auch lieblos gestaltet waren sowie geschmacklos und minderwertig wirkten.

Sowohl die Konstrukteure als auch die Abnehmer technischer Objekte waren „Kinder ihrer Zeit“. Ein Konstrukteur konnte beispielsweise um 1850 keine Maschine im „Bauhausstil“ entwickeln. Eine Maschine im „Bauhausstil“ hätte 1850 auch kaum einen Abnehmer gefunden. In den verschiedenen Kapiteln dieses Buches findet der Leser eine Vielzahl an Beispielen, bei denen Stilelemente einer Epoche in Maschinenkonstruktionen verwendet worden sind. Nach der Jahrhundertwende kam der Umbruch. Die üppigen, teilweise verspielten Formen verschwanden. Klar gegliederte, technische Formen mit funktionaler Betonung traten in den Vordergrund. Sie standen für Fortschritt, Modernität, Überlegenheit und Wertigkeit.

Wenig bekannt ist, dass die „Stilkunde“ im 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts in technischen Lehranstalten und beruflichen Bildungseinrichtungen einen festen Platz im Lehrplan der Einrichtungen hatte. Die zeichnerische Seite, die Schulung des Stilempfindens,

das Gefühl für harmonische Formen etc. wurde durch intensives Üben gelernt. Für viele Grundformen und Formelemente gab es umfangreiche Musterbücher, die das Lernen erleichterten. Die Anfertigung der entsprechenden Zeichnungen war aufwendig

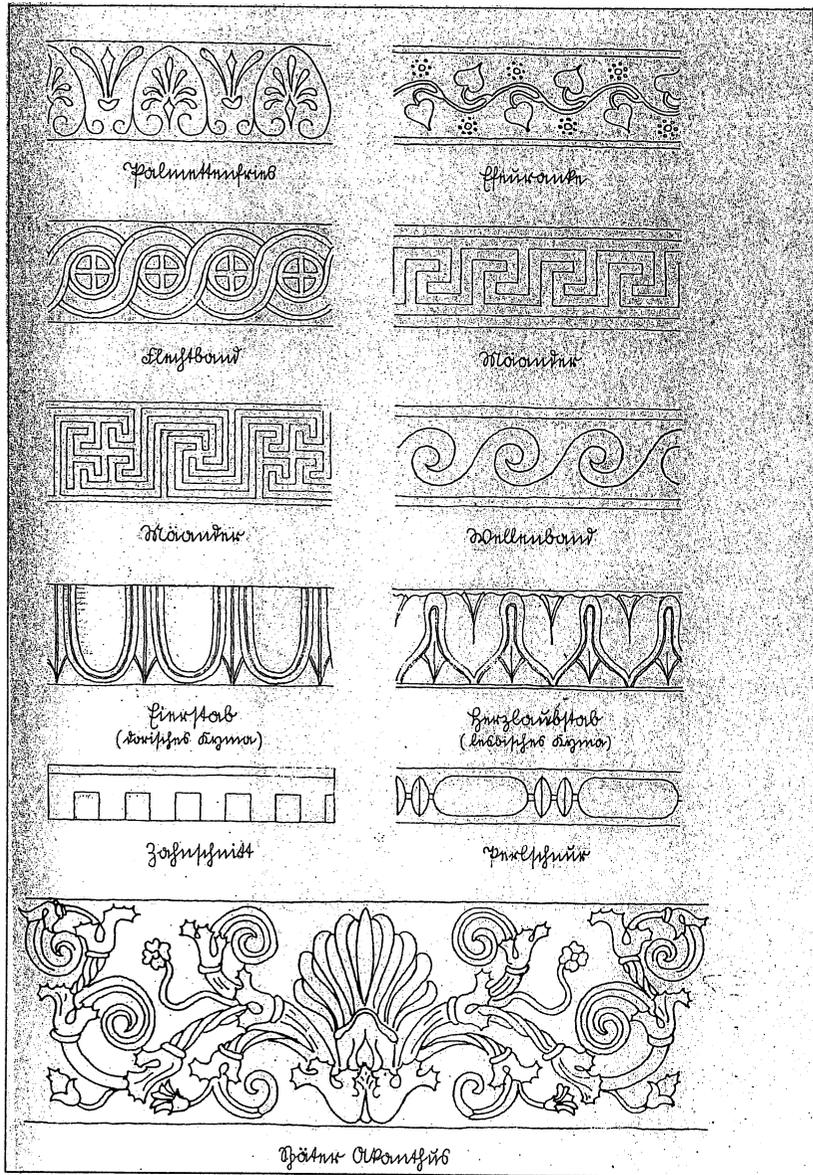


Bild 4.4/1: Original Übungsblatt einer technischen Lehranstalt für klassische Ornamente (1908)

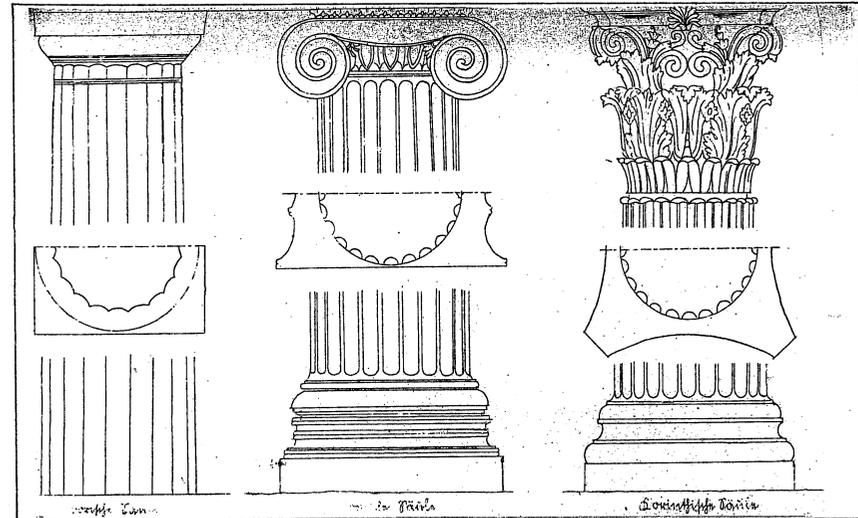


Bild 4.4/2: Original Übungsblatt einer technischen Fachschule für Kapitelle und Säulenbasis gegossener Säulen (1908)

Beim konstruktiven Zeichnen wurde oft große Sorgfalt auf die Darstellung dieser Stilelemente verwendet. Einige Beispiele findet man in den anderen Kapiteln dieses Buchs. Die folgenden Bilder zeigen als Ausschnitte weitere Beispiele für diese Formgebungselemente.

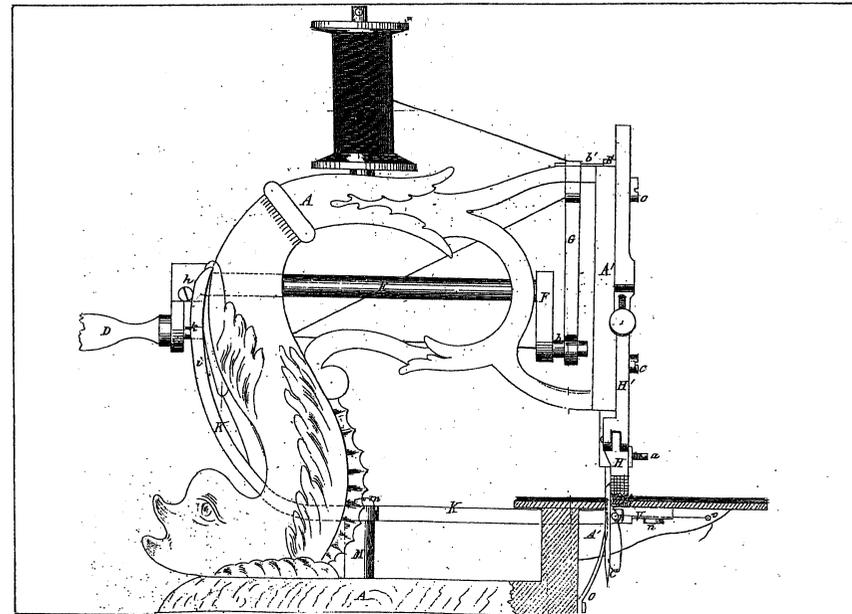


Bild 4.4/3: Formgebung an einer frühen Hand-Nähmaschine (1840)

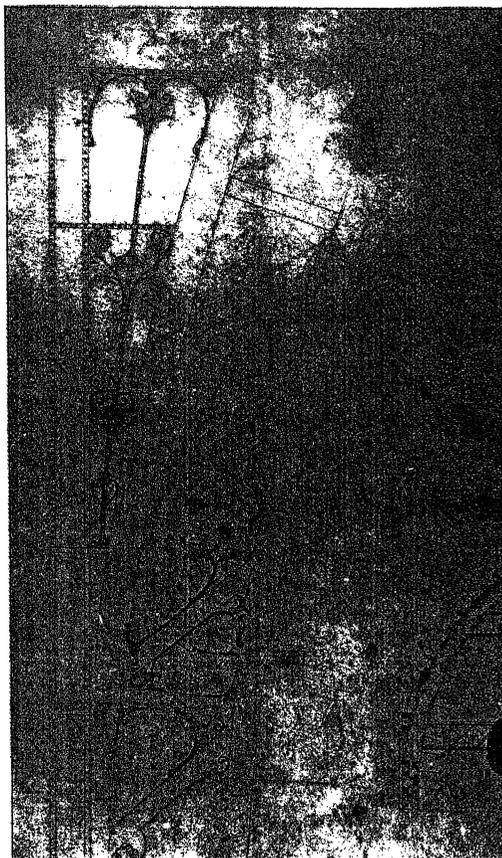


Bild 4.4/4:
Einarbeitung von Formelementen
in die Entwurfsskizze einer
Trägerkonstruktion
(um 1860)

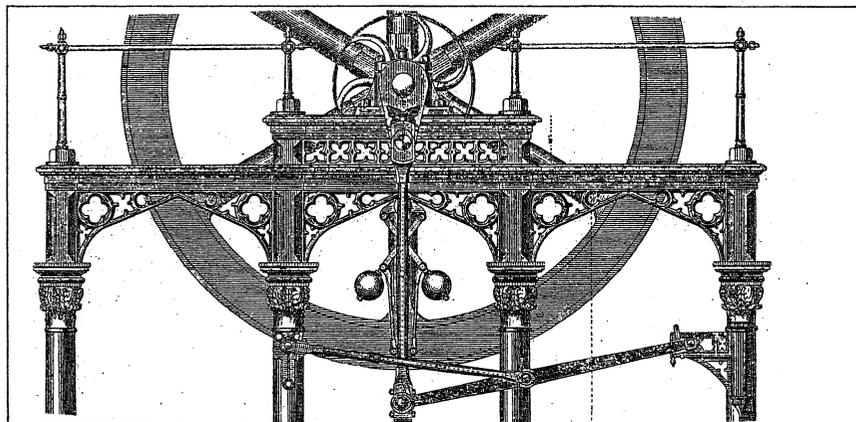


Bild 4.4/5: Formgebung an einem Maschinenständer einer Dampfmaschine (um 1870)

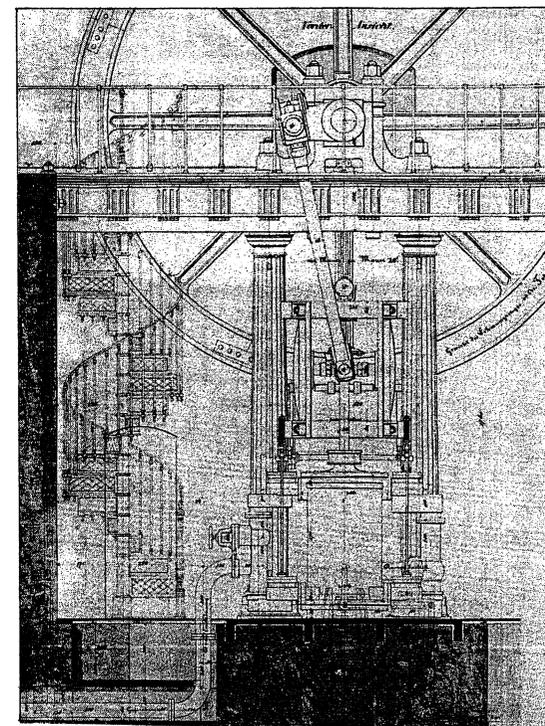


Bild 4.4/6:
Gesamtzeichnung einer
stehenden Dampfmaschine
mit klassizistischem Aufbau
(um 1880)

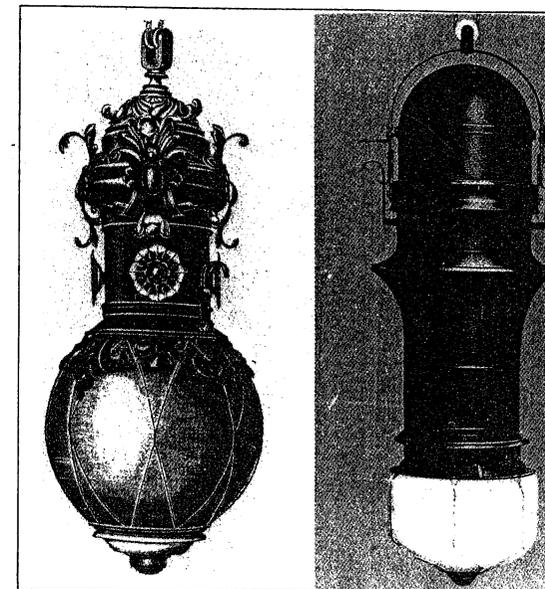


Bild 4.4/7:
Veränderung von Stil und Form
am Beispiel eines
Beleuchtungskörpers
für eine Bogenlampe
(links – um 1860, rechts 1910)

Bei der Erörterung des Verhältnisses von Technik und Design sind insbesondere die Entscheidungsgeschichte und Entwurfsspielräume eines technischen Objekts zu betrachten. Welche Interessen verfolgte der Produzent, wie wurden die Funktionen technisch realisiert und zu welchen Eigenschaften sollte das Design beitragen. Die Abnehmer einer „designierten Technik“ sollten in ihrer Epoche die Formbotschaften „verstehen“. Die Botschaften sollten beispielsweise die zweckbezogenen Wirkungen verstärken, eine Maschine moderner erscheinen lassen, robuster oder kraftvoller. Eine bestimmte Gestaltung konnte auch die Funktion interessanter, ästhetisch ansprechender machen. Ein weiterer, sehr wesentlicher Aspekt kam im 20. Jahrhundert hinzu, viele Unternehmen begannen, eine über mehrere Produktreihen ausgeführte Formgebung als eindeutiges Identifikationsmerkmal ihres Unternehmens zu sehen. Voraussetzung war, dass die gestaltbestimmenden Formen längere Zeit in ähnlicher Ausprägung beibehalten werden mussten. Typische Beispiele für diesen Ansatz sind die Gebrauchsgegenstände der AEG oder die Audiogeräte von BRAUN. In den 20er Jahren hatte die Formensprache des „BAUHÄUS“ einen großen Einfluss auf die Gestaltung von Maschinen. Die harmonischen, geometrisch einfachen, klaren Formen kamen dem Zeitgeschmack der Menschen sehr nahe. Am Beispiel der Formentwicklung bei der Maschinenkategorie „Lokomobilen“ wird das besonders deutlich.

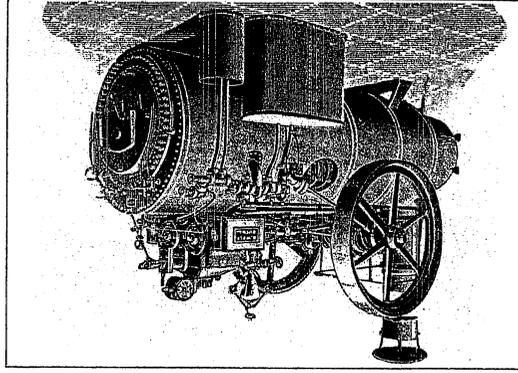


Bild 4/4/8: Halblokomobile der Fa. R. Wolf mit ansprechender, klar gegliedelter Kesselverkleidung; Maschinenanlage freiliegend (um 1918)

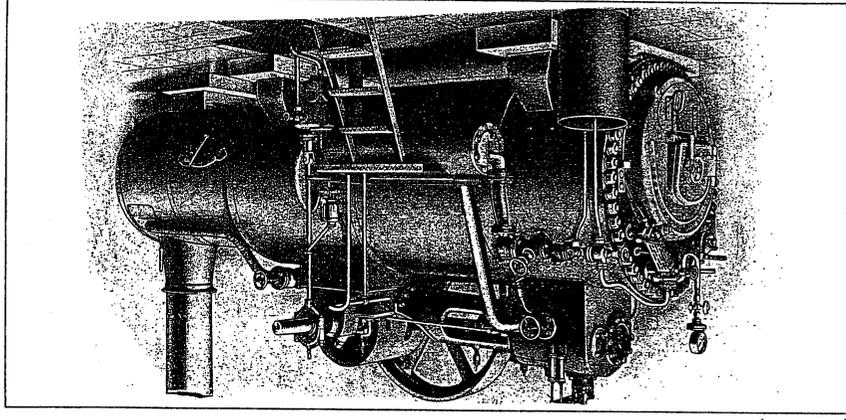


Bild 4/4/9: Halblokomobile der Fa. Henschel mit vollständig verkleideter Formelemente sind geometrisch ähnlich (um 1922)

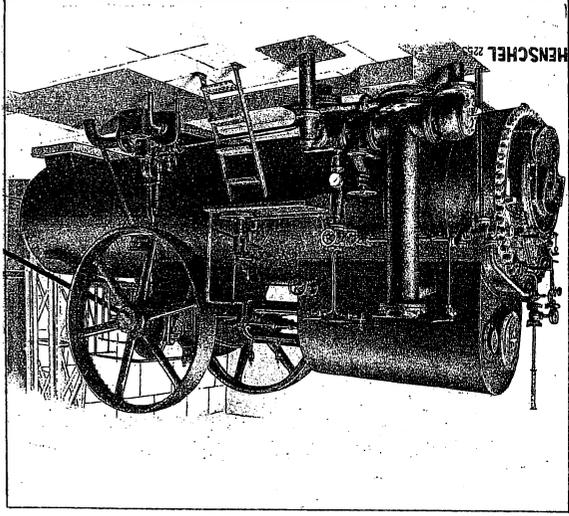


Bild 4/4/10: Halblokomobile von Henschel, vollständig verkleidet, alle geometrischen Grundformen ähnlich (um 1928)

Die stilistische Linie der Maschinenformen setzte sich auch in den begleitenden Unterlagen zu den Maschinen, den Betriebshandbüchern, Ersatzteilkatalogen, Werbematerialien u. a. m. fort. Das ganze System wirkte „wie aus einem Guss“.

HENSCHHEL

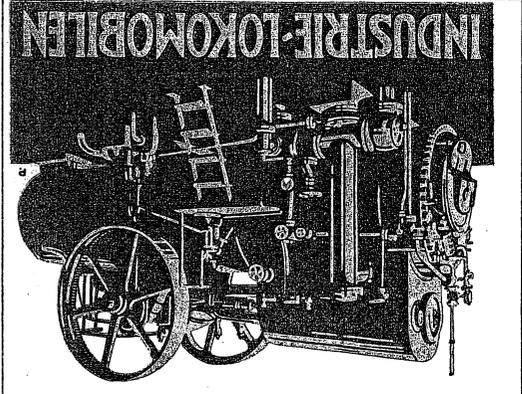


Bild 4/4/11: Deckblatt eines Prospektes für Halblokomobile der Fa. Henschel (um 1928)

Bemerkung:

Zu den Objekten des Handwerks und deren Stil muss eine Besonderheit nachgetragen werden. Die traditionellen Handwerker waren seit Jahrhunderten in Zünften organisiert. Sie hatten das alleinige Ausbildungsprivileg. Zur Ausbildung gehörte nicht nur das Erlernen der handwerklichen Fertigkeiten, sondern auch die Aneignung von zweckmäßigen Formen und Formelementen für die handwerklichen Objekte. Diese Stilmerkmale wichen in einigen Fällen deutlich vom Zeitgeist ab. Bewährte alte Formen wurden in den neuen Stilen integriert oder standen eigenständig neben ihnen. Diese traditionelle Komponente macht sich besonders bei Gegenständen des täglichen Gebrauchs und bei Werkzeugen bemerkbar. Viele sind seit Jahrhunderten fast unverändert geblieben, sie wären kaum zu verbessern.

Bemerkung:

Eine andere Dynamik bei handwerklich gefertigten Objekten findet man bei denen, deren Stil sich innerhalb kurzer Zeit erheblich änderte. Um mit der Veränderungsgeschwindigkeit mithalten zu können, ging man verschiedene Wege. Man tauschte Elemente oder ganze Baugruppen aus und lies die Basis unverändert, man ergänzte bestimmte äußere Stilelemente usw. Ein Beispiel bekanntes Beispiel ist der Automobilbau zu Beginn des 20. Jahrhunderts. Der Bau des Automobils und die Herstellung einer passenden Karosserie wurden in getrennten Werkstätten durchgeführt. Wenn sich der Zeitgeschmack änderte, konnte rasch die gesamte Karosserie (oder Teile) gewechselt werden. Es gab Karosseriebauer, die nur spezielle Stile herstellten.

Bemerkung:

Im 19. und auch noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts war in den polytechnischen Schulen und den technischen Lehranstalten die „Stilkunde“ fester Bestandteil der Lehrpläne. Fragen des Stils technischer Objekte wurden in der breiten Öffentlichkeit diskutiert, oft sehr kontrovers. Diese Auseinandersetzungen fanden ihren Niederschlag auch in den technischen Periodika. Ein Zeitschriftenbeitrag aus dem Jahr 1862 (Deutsche Industrie-Zeitung, 1862, Nr. 44, vom 31. Oktober) wird als Beispiel für den Stand der zeitnahen Diskussion an dieser Stelle wiedergegeben:

(Die Kunst in der Industrie)

Wer wollte es leugnen, daß auch die Kunst ein gewichtiger Factor in dem volkswirtschaftlichen Leben der Völker ist. In Verein mit Religion und Wissenschaft ist sie die Quelle der Harmonie aller Condititionen und die Triebfeder des Fortschrittes zu den höchsten Zielen der Menschheit. Schiller sagt in seiner „Nationalökonomie“: „Je reiner Religion, Wissenschaft, Kunst, Schute, Literatur und Kirche das tugendhafte Leben gehalten und den einen ethischen Zweck alles (auch des öconomischen) Lebens“ aufsetzen werden, um so mehr wird überall auch das nationale Ausschließende, Feindselige und Ausbeutende der internationalen Aufschlüsselung und der Solidarität eines freien gegenseitigen Berufslebens aller Menschen weichen.“ Dies im Voraus, um die Wichtigkeit des zu besprechenden Gegenstandes genügend hervorzuheben.

Es gab in Deutschland eine Zeit, in welcher die nationale Kunst, getragen vom Gemeinwesen und von der Kirche, sich zu hoher Blüthe emporgeschwungen hatte; die schönsten Denkmale aus dieser Zeit sind auf uns gekommen. Jetzt im Untergange zu dieser Vergangenheit, in welcher allerdings Eigenhumliche, nun ausgelebte Verhältnisse obwalteten, jetzt darf man behaupten, daß die Pflege der Kunst in dem vielstapigen Vaterlande nicht in der Weise zu finden ist, als es wünschenswert wäre, besonders nach der einen Richtung hin, in ihrem Zusammenwirken mit der Gewerthätigkeit, mit der Industrie. Der auf Anschauung zu begründende Unterricht in der sogenannten Kunstindustrie eilt bei uns in Deutschland der Pflege, welche man ihm in Frankreich und England angedeihen läßt.

In Frankreich bestehen Kunstschulen, auf welche der Staat große Summen verwendet. Wir erinnern hier hauptsächlich an das bereits unter Colbert in Verbindung mit der Gobelin-Manufactur begründete Kunstinstitut in Paris, dessen Zweck es ist, den Geschmack in Bezug auf die verschiedensten Industriezweige durch erstes Studium antiker Kunstformen zu fördern. Die Ueberlegenheit der Französischen Industrie-producte über die unserigen bezüglich geschmackvoller Formen müssen wir immer noch zugeben. Auf der letzten Industrie-Ausstellung haben nun die Franzosen zu ihrem Schrecken nicht nur beachtenswerthe Aboalen in den als geschmacklos verschrienen Engländern gefunden, ja sie müßten dieselben in mancher Beziehung als ihre Besteger anerkennen.

Die Engländer haben also, befeelt vom germanischen Geiste und unter günstigeren Verhältnissen, als wir Deutsche, sich in der neuesten Zeit von der Suprematie Französischer Geschmacksrichtung theilweise befreit. Ihre Fortschritte in der industriellen Ornamentik oder ornamentalen Industrie begründen sich auf das erste Stadium antiker Formen. Welche Erfolge sie bereits errungen haben, führt das South-Kensington-Museum in London vor Augen. Die Zusammenstellung dieses Museums basiert sich auf Erfahrungen, welche die Früchte der großen Industrie-Ausstellungen sind. Sein Zweck ist, praktisch wie fast Alles beim Engländer, den Gewerbetreibenden die bedeutende und wichtige Stellung der Kunst zur Industrie fort und fort zu predigen und ihm den Einfluß einer engen Verschmelzung zwischen Kunst und Industrie auf dem Weltmarkte zu zeigen. Dieses Museum ist nicht eine todtte Sammlung, wie so viele bei uns in Deutschland es sind, sondern es ist ein lebendiges Lehr- und Bildungsmittel; hier werden Lehrer gebildet, welche sodann als Apostel hinausgehend werden, und so kann es als eine nützbringende Fundgrube für den gesamten Gewerthand des Landes bezeichnet werden. Selbst der Adel Englands, der sich fern hält von den feudalen Bestrebungen des größten Theils unsers Adels, nimmt an der Hebung und Erweiterung dieses nationalen Instituts den regsten Antheil. In Deutschland haben wir in der That keine Anstalt, die sich nach Zweck und Ausdehnung dem South-Kensington-Museum zur Seite stellen ließe. An Sammlungen aller Art fehlt es uns zwar nicht; allein dieselben sind zerstückelt, wie das Deutsche Reich, mehr Gefanhalten, fürstlicher Raune entbroffen und von fürstlicher Raune gepflegt, oft schwer zugänglich, nie aber nur annähernd von einer Reichhaltigkeit und Unverfälschtheit, wie sie das Londoner Museum bietet. Es fehlt eben die vereinte Kraft, weil der vereinte Eifer nicht vorhanden ist und unter unserer Verhältnisse nicht vorhanden sein kann. Ein solches Museum muß ein nationales Unternehmen sein; bevor es jedoch in das Leben treten kann, muß das Streben unserer Regierungen sich mit gesteigerter Kraft auf Volkserziehung und Hebung des nationalen Wohlstandes richten. Allerdings geschieht heut zu Tage Mangelheit für Kunstzwecke; unsere Kunstvereine entwickeln regen Eifer und haben bereits viel Gutes gewirkt; aber die zerstückelten Kräfte sind zu schwach, um unsern Mangel abzuheben. Eine Anstalt, wie wir sie brauchen, müßte ein nationales Werk und von nationaler Begeisterung getragen sein. Eine solche Anstalt soll nicht etwa die Kunst den Zwecken der Industrie dienlich machen, nein, im Gegentheil, sie soll lehren, daß die Kunst ein mächtiger Hebel für die Industrie ist, und in dem Gebrauche dieses Hebels unterrichten. Die Kunst soll eine Begleiterin der Gewerthätigkeit werden, wie sie es vor Zeiten war; sie soll dieselbe auf höhere Bahnen hinführen, als Nothdurft und Zweckmäßigkeit sie vorschreiben; die Gewerthätigkeit soll eben das Ziel der Zweckmäßigkeit höher suchen, als es ihr der alltägliche Gebrauch vorkräft.

Lassen wir uns also von den Franzosen und Engländern nicht überflügeln, sondern bleiben wir uns bewußt, daß die Deutsche Nation dazu berufen ist, auch auf diesem Gebiete mindestens ebenbürtig aufzutreten; steht doch auf dem Boden der absoluten Wissenschaft und der absoluten Kunst keine der realistischen Nationen über ihr; auch mangelt ihr nicht die Eigenschaft der stetigen und geschickten Hand. Unter nationalem Glend, die staatliche Herrschaft, das Volkswesen im Innern, die Schutzlosigkeit nach Außen und die vielfachen Beschränkungen in Handel und Gewerbe sonst, sie haben den industriellen Aufschwung nach jeder Richtung hin aufgehalten und uns zethier die Concurrenz auf dem Weltmarkte verleidet; doch jetzt, wo ganz Deutschland im Begriffe steht, seine Beziehungen zu den benachbarten Industrievölkern freier zu gestalten, wo demzufolge die Beseitigung obwaltender Beschränkungen und Beschränkungen zur Nothwendigkeit wird, da gilt es mit regem Eifer nachzuholen, was bisher veräumt ward; da gilt es neue Organisationen ins Leben zu rufen, hauptsächlich aber die geistigen und künstlerischen Kräfte des Industrieandes zu heben, indem wir den Reformideen des künstlerischen Anschauungsunterrichtes die Bahn brechen.

4.5 Technisches Denken

Im 19. Jahrhundert bestimmte die Entwicklung der Technik zunehmend alle Bereiche des öffentlichen Lebens. Die kulturelle Orientierung weiter Teile der Gesellschaft war traditionell noch in den geistesgeschichtlichen Idealen der griechischen Klassik und der wiederentdeckten Romantik verankert. In wenigen Jahrzehnten veränderte sich ab 1850 die Welt von der „guten alten Zeit“ zum nüchternen Maschinenzeitalter. Das Anfangs des Jahrhunderts gelebte Miteinander von traditioneller Kultur und Industriekultur, die beispielsweise in gemeinsamen Veranstaltungen der Akademien und wissenschaftlichen Institutionen ihren Ausdruck gefunden hatte, löste sich auf. Die Welt der Technik entwickelte sich durch ihre zunehmende Prägnanz und „Nützlichkeit“ parallel zu den herkömmlichen gesellschaftlichen Strukturen. Das schöpferische Denken der Techniker, wir bezeichnen es hier als „technisches Denken“, fand keinen Eingang in den öffentlichen Diskurs. Mit dem Erfolg der Technik wurde aber die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit ihren Entstehungsprozessen und den Folgen immer dringender. Zu dieser Auseinandersetzung kam es nicht. Die Gräben der Entfremdung wurden im Laufe der Zeit durch die Dynamik und Fremdheit der technischen Entwicklung immer tiefer. Das technische Denken und die Prozesse zur Realisierung technischer Objekte blieben weitgehend unverständlich. Verständlicher waren, weil offensichtlich, die Bedeutung wirtschaftlicher und sozialer Macht der großen Industrien bei der Durchsetzung des „technischen Fortschritts“, die Bedeutung des Kapitals und der Einfluss traditioneller Interessensgruppen und ihrer Wertsysteme. Für ein „Verständnis“ wäre eine gemeinsame „Sprache“ erforderlich. Die gab es auf keiner Ebene. Eine Basis des technischen Denkens waren die Naturwissenschaften. In der Öffentlichkeit spielten die Disziplinen der Physik oder Chemie, um nur zwei Beispiele zu nennen, keine Rolle. Geisteswissenschaftliche Disziplinen mit Bezug zum technischen Denken, wie die Mathematik und Geometrie, waren etwas für Spezialisten. Selbst im elementaren Bereich der zeichnerischen Darstellungen geplanter technischer Objekte, hier könnte man einen Einfluss des künstlerischen Zeichnens vermuten, kam es zu einer völligen Entfremdung. Hatten beispielsweise die großen Erfinder der Renaissance, erinnert sei beispielsweise an Leonardo da Vinci, ihre Ideen noch künstlerisch in perspektivischen Darstellungen dokumentiert, so war mit der Einführung der abstrakten orthogonalen Parallelprojektion in den technischen Darstellungen der Weg des unmittelbaren Verstehens verschlossen. Künstlerische Anschaulichkeit und technische Maßgerechtigkeit waren nicht zu integrieren. Die neue Projektionslehre musste man, um sie zu verstehen, „lesen“ können. Das war wörtlich zu nehmen und setzte, wie bei einer Fremdsprache, oft ein jahrelanges Training voraus.

Die prägnanten öffentlichen Objekte der Technik konnten noch leicht „begriffen“ werden. Große Probleme bereitete der „nicht sichtbare Teil“ des technischen Entstehungsprozesses, der methodologische Teil, der naturwissenschaftliche Bereich, der Teil der eigenen Technikwissenschaften, der Teil der spezifischen Vorerfahrungen, in Summe: „der Teil des eigentlichen technischen Denkens“. Die Folgen dieser Entfremdung waren, verstärkt durch die Entwicklungsdynamik bei den Innovationen, dramatisch. Zwischen den „Technischschaffenden“, den Akteuren in den politischen und sozialen Systemen und den „Kulturschaffenden“ herrschte weitgehende „Sprachlosigkeit“. Dieses Phänomen besteht bis in der Gegenwart fort. Seitens der traditionellen Kultur bestand keine Notwendigkeit und kaum Interesse am „Verstehen“, seitens der „Technischschaffenden“ war das Interesse ebenfalls gering und Ideen von außen wurden oft als Verzögerungen, Behinderungen und überflüssige Aktivitäten angesehen. In weiten Teilen der Gesellschaft fanden die frühen, aber entscheidenden Phasen der technischen Entwicklungen ohne Beteiligung der Öffentlichkeit statt. Eine Folgenabschätzung überließ man den Unternehmen und ihren Ingenieuren. Die Entscheidungen zur Produktion trafen die Unternehmer auf der Basis ihres betrieblichen Potentials nach Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten, Marktverhältnissen und nach dem Nutzen

für die Abnehmer. Die Prozesse liefen weitgehend auf einem abstrakten Niveau in den kognitiven Systemen der Beteiligten ab. Da man die Darstellungswelt der Technik in der Öffentlichkeit nicht verstand und die gedanklichen Prozesse nicht durch schriftliche oder verbale Informationen kommunizieren konnte entstand der Eindruck eines sprachlichen Defizits seitens der Technik. Das Gegenteil war der Fall. Aber wie sollte man Laien durch entsprechende Periodika, technische Literatur, Kongresse, Ausstellungen usw. verständlich machen, dass es sich bei dem Geplanten um etwas handelte, dass große gesellschaftliche Auswirkungen haben würde?

Ein zusätzliches Verständnishindernis waren methodologische Barrieren bei den Problemlösungsprozessen. Technisches Denken ist in weiten Strecken problemlösendes, innovatives Denken. Charakteristisch für das Lösen von Problemen ist die sogenannte „Aporie“, ein System von Hindernissen, das mit in einer Gesellschaft bekannten Prozeduren nicht überwunden werden kann, aber zur Lösung des Problems zwingend ist. Existiert keine Aporie, handelt es sich bei dem „Problem“ nur um eine „Aufgabe“. Die individuelle methodologische Kompetenz entscheidet im konkreten Fall, ob ein Individuum das vorliegende Problem lösen kann - wenn ja: wie gut und wie schnell. Jedes Individuum hat ein durch Erfahrung gewonnenes Repertoire an Problemlösungsmethoden in seinem kognitiven System „internalisiert“. Ein Großteil davon sind heuristische Methoden. Also Methoden, mit deren Hilfe man wahrscheinlich ein Problem lösen kann, eine Lösungsgarantie gibt es aber nicht. Erfolgreiche Ingenieure wechseln während eines Problemlösungsprozesses häufig die eingesetzten Methoden und steigern dadurch ihre methodologische Kompetenz. Kommunizierbar sind derartige Abläufe nicht. Ein unbedarfter Beobachter neigt bei Beobachtung einer realen Problemlösungssituation schnell zu der Meinung: „... da geschieht ja nichts“. Das Gegenteil ist richtig, man sieht es nur nicht. Das Verständnis für technisches Denken wird durch diese „nicht sichtbare“ Arbeitsweise nicht gefördert.

Mit zunehmendem Fortschritt wurden die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse immer komplexer und z.T. nur noch für Spezialisten verständlich. Eine Basis des technischen Denkens waren (und sind) die Naturwissenschaften. Ohne detailliertes Wissen der grundlegenden Disziplinen waren technische Objekte nicht realisierbar. Gedacht wurde in den technischen Problemlösungsprozessen oft in grundsätzlichen Axiomen, Prinzipien und Hauptsätzen. Es ist für Laien oft unverständlich, wenn z.B. bei einem System der Energiewandlung die konstruktive Detailgestaltung zentraler Funktionselemente, beispielsweise eines „Turbinenläufers“ für eine Leistungsabschätzung belanglos ist. Es reicht der Satz von der Erhaltung der Energie oder die beiden Hauptsätze der Thermodynamik. Vollends unverständlich werden beispielsweise mechanische Berechnungen in komplexen Tragsystemen, bei denen Veränderungen gar nicht real auftreten brauchen, sondern nur „gedacht“ werden. Das übergeordnete Prinzip ist der Energiesatz und das Prinzip der „virtuellen Arbeit“. Die gedachten Veränderungen mussten nur mit den geometrischen Restriktionen verträglich sein. Die Bereitschaft, sich ein derart tiefgehendes physikalisches Wissen anzueignen, konnte niemand in breiteren Bevölkerungskreisen erwarten. Es gibt eine Vielzahl ähnlicher Beispiele mit speziell an technische Belange angepassten naturwissenschaftlichen Prinzipien.

Bei den traditionellen Wissenschaftsdisziplinen entstand im 19. Jahrhundert als Folge der technischen Entwicklung ein völlig neuer Zweig. Aus dem Wissen der Werkmeister, Mechaniker, Baumeister und Instrumentenbauer entwickelten sich die Technikwissenschaften. Diese Phase wird repräsentiert durch einer Reihe herausragender Ingenieure. Erinnert sei nur an die Namen von Reuleaux, Gerber, Grashof, Wöhler, Karmarsch, Bernoulli, Beuth, Culmann, Gerstner, Fraunhofer, u.a. Die Entwicklung der technischen Wissenschaften besaß, insbesondere im Vergleich mit den traditionellen Disziplinen, eine unglaubliche Dynamik. In kürzester Zeit entstanden Wissenschaftsdisziplinen mit immenser Erkenntnistiefe. Die Technische Mechanik wurde aus

Prinzipien der Physik entwickelt, ähnlich die Lehre von den Getrieben und die Kinematik. Ein eigenes Gebiet belegten die Nomographie und die graphischen Verfahren in den verschiedenen Disziplinen. Eine herausragende Stellung besaßen die Maschinenwissenschaften mit ihrer Gliederungen und speziellen Berechnungsmethoden. Eine Besonderheit im deutschsprachigen Raum war die Entwicklung der „Werkstoffwissenschaften“. Durch eine Strukturierung in Werkstoffgruppen, die Festlegung von Legierungsbestandteilen und deren Grenzen sowie die Erforschung der Gefügearten auf die Werkstoffeigenschaften konnten erstmals mit verlässlichen und reproduzierbaren Werkstoffen gearbeitet werden. Das war eine der grundlegenden Voraussetzungen für eine sichere Beherrschung von „Technik“.

Mit der Ausweitung des Wissens ging der Aufbau entsprechender Lehranstalten einher. Die praktische Anwendung der Erkenntnisse der Technikwissenschaften war außerordentlich erfolgreich. Man war in der Lage, auf der Basis konstruktiver Modelle, völlig neuartige technische Objekte auszulegen, bisher nicht genutzte Funktionen zu realisieren und sogar Aussagen zur „Lebensdauer“ dieser Objekte zu machen, weit vor dem Bau der Objekte und ohne deren praktische Einsatzerfahrungen. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts hatte man in den deutschsprachigen Ländern sehr häufig Maschinen von den führenden Industrienationen durch „kopieren“ übernommen. Die neue, „technisch-wissenschaftliche Vorgehensweise“ bei der Lösung technischer Probleme war ein Grund für die rasche Entwicklung Deutschlands zu einer führenden Industrienation. Die Methode war praxisorientiert und hinreichend genau. In den angelsächsischen Ländern herrschte noch die „erfahrungsbasierte“ Entwicklung vor. Innovationen ohne vorliegende Erfahrungen konnten unter diesen Bedingungen nur in kleinen Schritten umgesetzt werden. In Frankreich bevorzugte man einen stark wissenschaftlich-theoretischen Ansatz. Die Ergebnisse waren exzellent und einige Lösungen sind noch heute beispielhaft. Der Anwendungsbereich bei praktischen Problemen war allerdings gering. Für das technische Denken waren diese neuen Wissenschaftsdisziplinen wesentlich. Diese speziellen Disziplinen förderten allerdings nicht das allgemeine Verständnis für technische Probleme.

Zur Überwindung der Diskrepanzen zwischen dem technischen Denken und dem Denken in anderen Kategorien gab es im 19. Jahrhundert eine Reihe von Ansätzen. Es gab Beschreibungen von Entwicklungsprozesse, Veröffentlichungen zu neuen technischen Entwicklungen, Kongresse, Diskussionsveranstaltungen, Themen wurden in der Presse behandelt u.a.m. Es gab sogar eine spezielle Literatur zu den Innovationen der Zeit. Die Bemühungen hatten nur einen geringen Erfolg. Einige Gründe sind oben dargelegt worden. Das permanente Unbehagen an der gegenseitigen „Verständlichlosigkeit“ blieb. Nach der Wende zum 20. Jahrhundert gab es einige neue Impulse bei den Bemühungen, die gesellschaftliche Auseinandersetzung voranzubringen. Gedanken der Technik fanden Eingang in die Künste, die Literatur, die Geschichts- und Sozialwissenschaften, um nur einige zu nennen. Um ein „Mehr“ an Verständnis zu erreichen, wären Bemühungen von allen betroffenen Disziplinen erforderlich. Von Seiten der Technik gab es einige Ansätze, beispielsweise die Betonung künstlerischer Aspekte in den Maschinenwelten, der Einsatz klassisch-ästhetischer Elemente, der Einsatz von aktuellen Formen, oder auch die Einbindung medizinisch-ergonomischer Aspekte in die Gestaltung von Maschinen, die Berücksichtigung psychologischer Ansätze bei der Entwicklung von Arbeitsinhalten usw. Im Literaturverzeichnis zum Abschnitt 21.3 sind beim Kapitel 4 biographische Arbeiten einiger Techniker aufgeführt. Von Seiten anderer Disziplinen waren diese Ansätze ohne Interesse. Man bewegte sich ausnahmslos in der „Welt“ der eigenen Fachdisziplinen. Man interpretierte das Geschehen „von außen“, aus der eigenen Gedankenwelt heraus. Eine breitere Öffentlichkeit und ein gesteigertes Interesse am „technischen Denken“ konnte so nicht

erreicht werden. Diese Entfremdung ist geblieben – bei neuen Innovationen und besonders bei Themen der digitalen Welt mit steigender Tendenz. Man arbeitet in der Regel an der Oberfläche, versteht aber nicht was man wie tut, glaubt aber fest an die Ergebnisse. Selbst die elementaren Algorithmen werden als „künstliche Intelligenz“ dargestellt.

5. DIE GEOMETRISCHEN GRUNDLAGEN DES KONSTRUKTIVEN ZEICHNENS

5.1 Anschaulichkeit und Maßgerechtheit

Die Darstellungen technischer Objekte haben sich im Verlauf der Jahrhunderte von der individuellen Linearzeichnung bis zu der heute verwendeten formal gebundenen Form stark gewandelt. Einen kurz gefassten Überblick zu den Veränderungen vermitteln die Zeichnungen im Kapitel 3. Von Anfang an wurden die Darstellungen durch einen Widerspruch beherrscht, der sich nicht auflösen ließ, und zwar der zwischen guter Anschaulichkeit und dem gleichzeitigen Anspruch, alle geometrischen Größen maßgerecht wiederzugeben. Je komplexer die technischen Objekte wurden und je arbeitsteiliger ihre Herstellung war, umso wichtiger wurden maßgerechte zeichnerische Dokumentationen. Die technische Zeichnung in ihrer heute verwendeten Form basiert auf den Methoden der Darstellenden Geometrie, einer besondere Disziplin der allgemeinen Geometrie. Sie wird auch als beschreibende oder deskriptive Geometrie bezeichnet. Einige ihrer Verfahren wurden schon im Altertum verwendet. Die Nutzung des Grund- und Aufrissverfahrens im alten Ägypten ist ein Beispiel dafür. Die darstellende Geometrie nahm Ende des 18. Jahrhunderts, ausgelöst durch die Arbeiten von Gaspard Monge (1746 – 1818), einen enormen Aufschwung. Monge begründete 1765 die moderne darstellende Geometrie als Wissenschaft. Am Anfang wurde sie als Staatsgeheimnis gehütet. Erst 1794 konnte Monge seine Erkenntnisse öffentlich machen. Es gab zwei historisch bedingte Ausprägungen in dieser Disziplin: zum einen eine rein mathematische Interpretation, sie führt zur analytischen Geometrie, und zum anderen eine rein grafische. Beim technischen Zeichnen wird eine rein grafische Interpretation der Darstellenden Geometrie als Basis verwendet. Der Unterschied zwischen den Darstellungen von Objekten in der Darstellenden Geometrie und der in der Technik ist, dass das darzustellende Objekt in der Technik real noch nicht existiert, aber abgebildet werden soll. Es ist ein Konstrukt im Kopf des Entwicklers, ein „gedachtes“ dreidimensionales Objekt. Das ist die Umkehrung der Situation in der darstellenden Geometrie. Bei ihr soll üblicherweise das real existierende, dreidimensionale Objekt zweidimensional auf einer Bildebene dargestellt werden. Nachdem die Methoden und Gesetze der darstellenden Geometrie entwickelt worden waren, konnte eine einheitliche und eindeutige Form der zeichnerischen Dokumentation für technische Objekte entwickelt werden. Diese formal gebundene Form wird in allen Phasen des konstruktiven Prozesses eingesetzt, in der Phase der Konzeptfindung, des Entwerfens und der Ausarbeitung. Das Spektrum an Möglichkeiten zur Objektdarstellungen reicht von hoher Anschaulichkeit bis zur exakten Maßgerechtheit. Die Darstellende Geometrie löst das Dilemma zwischen Anschaulichkeit einer Darstellung und Maßgerechtheit nicht. Diese Entscheidung konnten nur die Konstrukteure selbst treffen. Nach den Erfahrungen der Vergangenheit und den absehbaren technischen Entwicklungen fiel die Entscheidung eindeutig zu Gunsten der Maßgerechtheit aus.

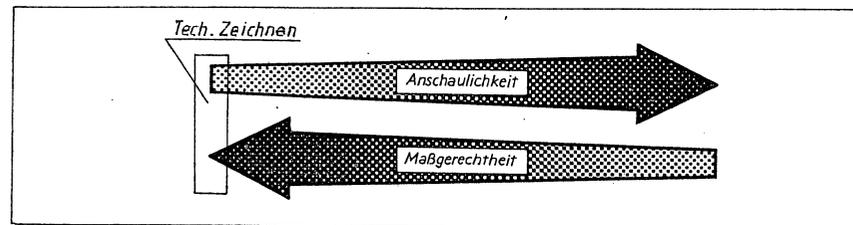


Bild 5.1/1: Anschaulichkeit und Maßgerechtheit

Die Darstellung in der Technik muss besondere Anforderungen erfüllen. Umgangssprachlich sind die Anforderungen einfach, sie soll natürlich „maßhaltig“ sein, aber auch „vollständig“ und „eindeutig“. In der geometrischen Interpretation müssen diese Anforderungen präzisiert werden. Es ist festzulegen, welche geometrischen Eigenschaften des Objekts beim konstruktiven Zeichnen unverändert bleiben sollen. Diese Eigenschaften bezeichnet man als *Invarianten*. Für die Abbildung eines technischen Objekts wird gefordert:

1. Invarianz der Flächen,
2. Invarianz der Winkel,
3. Invarianz der Streckenverhältnisse und
4. Invarianz der Parallelitäten.

Theoretische Grundlage der technischen Zeichnung ist die geometrische Methode der *Projektion*. Analog zum natürlichen Sehvorgang wird beim Projektionsvorgang mit Hilfe von Projektionsstrahlen (Sehstrahlen beim natürlichen Sehen) von einem Zentrum (Augpunkt beim natürlichen Sehen) ausgehend, das abzubildende Objekt auf einer Projektionsebene (Netzhaut beim natürlichen Sehen) dargestellt. Jedem Punkt des Objektes kann ein Punkt auf der Projektionsebene zugeordnet werden. Beim Projektionsvorgang können vier Varianten unterschieden werden:

1. Das Zentrum ist unendlich weit entfernt, die Projektionsstrahlen laufen parallel, die Projektionsebene und Objektebene liegen ebenfalls parallel

Das ist der Fall der Parallelprojektion zwischen Ebenen 1 und 2, die parallel zueinander liegen. Es liegt Flächeninvarianz, Winkelinvarianz, Invarianz der Streckenverhältnisse und Invarianz der Parallelitäten vor. Der Sonderfall, dass die Projektionsstrahlen senkrecht (orthogonal) auf der Bildebene stehen, ist hier eingeschlossen.

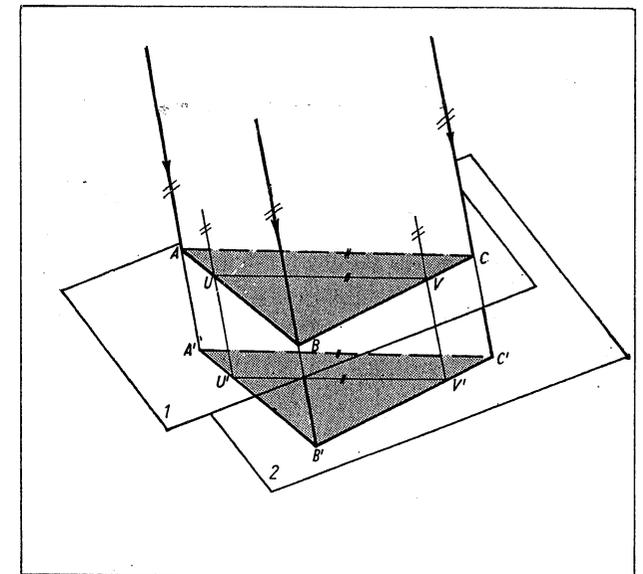


Bild 5.1/2
Parallelprojektion
zwischen parallelen Ebenen

2. Das Zentrum ist unendlich weit entfernt, die Projektionsstrahlen laufen parallel, die Projektionsebene und Objektebene schneiden sich
 Das ist der Fall der allgemeinen Parallelprojektion zwischen Ebenen 1 und 2, die schief zueinander liegen. Es liegt u.a. keine Flächeninvarianz und Winkelinvarianz vor. Das Objekt ist weder kongruent noch seinem Bild ähnlich.

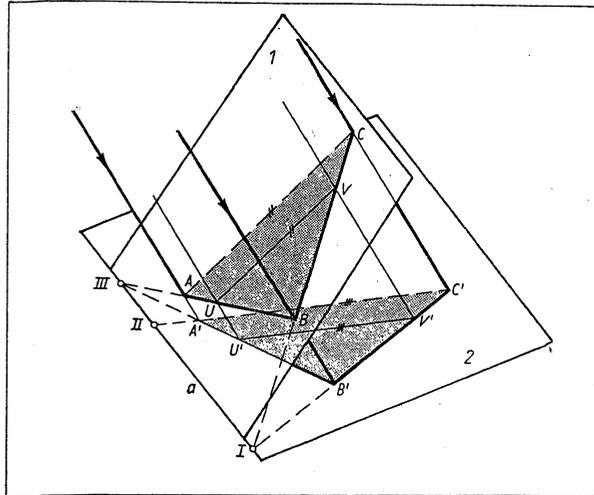


Bild 5.1/3:
 Allgemeine oder
 schiefe Parallelprojektion

3. Das Zentrum ist endlich weit entfernt, die Projektionsstrahlen gehen vom Zentrum aus und sind nicht parallel, die Projektionsebene und Objektebene liegen parallel
 Es liegt der Fall einer Zentralprojektion (Perspektive) zwischen parallelen Ebenen 1 und 2 vor. Winkel, Streckenverhältnisse und Parallelitäten sind invariant. Die Flächen offensichtlich nicht.

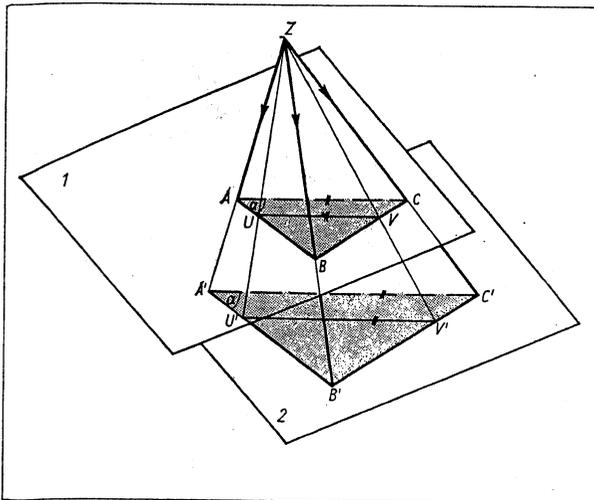


Bild 5.1/4:
 Zentralprojektion
 zwischen parallelen Ebenen

4. Das Zentrum ist endlich weit entfernt, die Projektionsstrahlen gehen vom Zentrum aus und sind nicht parallel, Projektionsebene und Objektebene schneiden sich
 Das ist der Fall der allgemeinen Zentralprojektion (Perspektive). Die Ebenen liegen schief zueinander im Raum und schneiden sich. Das Objekt ist offensichtlich weder kongruent noch seinem Bild ähnlich.

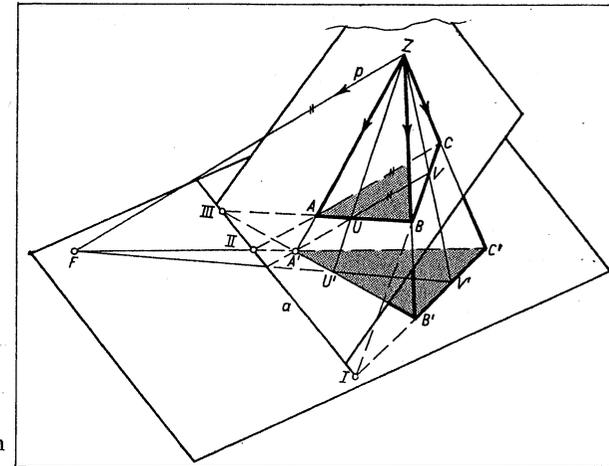


Bild 5.1/5:
 Allgemeine oder
 schiefe Zentralprojektion

Nur der erste Fall erfüllt alle Invarianten. Damit kann die weitere Betrachtung auf diesen Fall begrenzt werden. Nur sie erfüllt die Anforderungen an konstruktive, genauer formuliert, technische Zeichnungen.

Wenn eine anschauliche Darstellung eines technischen Objekts gewünscht wird, bevorzugt man im Allgemeinen die Zentralprojektion zwischen parallelen Ebenen. Bei ihr ist die Ähnlichkeit zwischen Objekt und Darstellung noch gewährleistet.

Bemerkung:

Bei den Darstellungsbeispielen im Kapitel 3 ist auffällig, wie lange es gedauert hat, bis die anschauliche Wirkung einer Zeichnung dem räumlichen Eindruck in der Realität halbwegs nahe kam. Erst in der Renaissance kam der Durchbruch. Trotzdem gab es lange Zeit vorher Darstellungen, die einen beachtlich guten räumlichen Eindruck eines Objekts vermittelten, ohne dass die Gesetze der Perspektive bekannt waren. Das Geheimnis liegt in diesen Fällen im „genauen Sehen“ und der oft jahrzehntelangen Übung. Genauso auffällig ist bei einigen anschaulichen Darstellungen, beispielsweise des Mittelalters, der völlig freie Einsatz von der Perspektive ähnlichen Elementen. Gemeint ist damit die völlig freie und unterschiedliche Wahl von Augpunkten (Zentren) in ein und derselben Darstellung. Die Abbildungen haben offensichtlich nichts mit dem natürlichen Seheindruck zu tun. Ein Grund für diese „Freiheit“ war vermutlich die Idee des Zeichners, alle bemerkenswerten Aspekte eines Objekts in einer Darstellung (Ansicht) unterzubringen, also auch Elemente die seitlich verdeckt lagen u.ä.

Bemerkung:

Die anschauliche Abbildung eines technischen Objekts, beispielsweise durch eine perspektivische Darstellung, hat nichts mit dem Seheindruck bei der Betrachtung der gezeichneten Darstellung durch den Menschen zu tun. Menschen sehen räumlich. Durch den Abstand beider Augen ist es möglich, die Tiefenstaffelung von Objekten oder Objektmerkmalen relativ genau abzuschätzen. Bei der Perspektive (Zentralprojektion) wird nur ein einziger Augpunkt (Zentrum) verwendet. Das Prinzip bei der Abschätzung von Raumlagen durch zwei gleichzeitige „Messungen“ mit auseinanderliegenden „Empfängern“ wird auch bei anderen Sinnesorganen eingesetzt.

5.2 Parallelprojektionen

Bei der Parallelprojektion laufen alle Projektionsstrahlen parallel. Im allgemeinen Fall liegt das abzubildende Objekt beliebig im Raum und die Bildebene besitzt keine ausgezeichnete Lage. Diese Art der Projektion geht auf die unmittelbaren Erfahrungen des Menschen mit Licht und Schatten zurück. Parallelprojektive Bilder sind als natürliche Schattenbilder bekannt. Sonnenstrahlen sind parallel. Umfährt man das Schattenbild mit einem Stift, so hat man den Linearumriss des Objekts in der Parallelprojektion.

Beim konstruktiven Zeichnen ist, wie erwähnt, nur die senkrechte Parallelprojektion von Interesse. Da Flächen- und Winkelinvarianz gefordert wird, muss die Lage der Projektionsebene senkrecht zu den Projektionsstrahlen stehen. Dieser „Spezialfall eines Spezialfalls“ ist die *Orthogonalprojektion* oder senkrechte Parallelprojektion. Sie ist die geometrische Basis aller technischen Zeichnungen. Diese Projektionsart besitzt die größte Maßgerechtigkeit, aber leider nur eine sehr geringe Anschaulichkeit.

Mit den Fachbegriffen der darstellenden Geometrie können die Verfahren der Orthogonalprojektionen nach Anzahl der verwendeten Bildebenen unterschieden werden. Aus historischen Gründen werden die Bildebenen üblicherweise als „Tafeln“ (oder Risse) bezeichnet. Man unterscheidet daher die grundlegenden Verfahren:

- senkrechte Eintafelprojektionen,
- senkrechte Zweitafelprojektionen,
- senkrechte Dreitafelprojektion,
- senkrechte Mehrtafelprojektionen (mit mehr als drei Projektionsebenen).

Bei technischen Darstellungen reicht die Beschränkung auf zwei oder drei „Tafeln“ oft nicht aus. Im Laufe der langen Entwicklung des konstruktiven Zeichnens ist eine Vielzahl an weiteren Verwendungen von „Tafeln“ entstanden (Ansichten in beliebiger Richtung, Teilansichten, Schnittansichten u.a.m.). Die geometrische Basis ist aber immer die Orthogonalprojektion.

Orthogonale Eintafelprojektion

Bei diesem Verfahren wird nur eine Bildebene verwendet. Alle Merkmale des Objekts werden in dieser Ebene abgebildet. Hat das Objekt Merkmale, die in einer gewissen Höhe über der Bildebene liegen, so können beispielsweise die Höhenangaben als Maßzahlen eingetragen werden. Man spricht in der darstellenden Geometrie dann von kotierten Projektionen (von Kote = Maßzahl). Bei technischen Darstellungen wird dieses Verfahren bei flächigen Objekten angewendet. Beispielsweise bei Blechen. Hierbei wird nur die Blechstärke angegeben. Auch wenn bei flächigen Objekten mehrere parallele Höhenebenen vorhanden sind, kann die Darstellung in einer kotierten Eintafelprojektion erfolgen. Die übliche Bezeichnung der orthogonalen Eintafelprojektionen in der Technik ist „Grundrissdarstellung“. In der Architektur und im Straßenbau wird die orthogonale Eintafelprojektion häufiger verwendet.

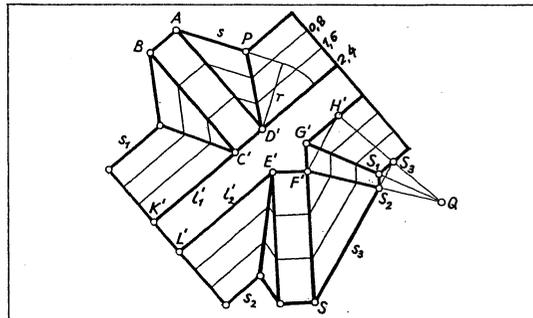


Bild 5.2/1:
Dachkonstruktion als
kotierte Eintafelprojektion

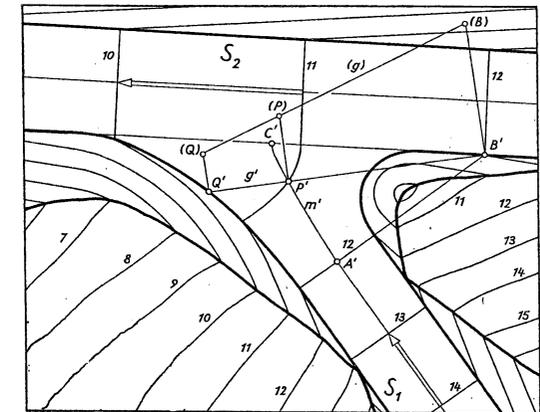


Bild 5.2/2:
Abzweigung einer
Straße als
kotierte Zweitafelprojektion

Orthogonale Zweitafelprojektion

Um von einem dreidimensionalen Objekt einen vollständigen Eindruck zu erhalten, betrachtet man es von mehreren Seiten. Bei der Zweitafelprojektion projiziert man das Objekt auf zwei senkrecht zueinander stehende Tafeln. Das einfache Beispiel zeigt die Zweitafelprojektion eines dreieckigen prismatischen Körpers. Die Ebene der Seitenansicht (Ebene 1) ist die Bildebene, die Ebene der Draufsicht (Ebene 2) wird um die Schnittachse beider Ebenen in die Bildebene gedreht gezeichnet. Das Beispiel zeigt die geometrische Konstruktion des Prismas ABC, DEF in der orthogonalen Zweitafelprojektion.

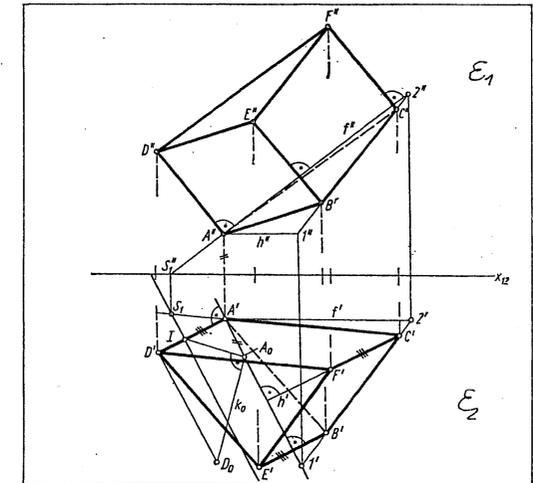


Bild 5.2/3:
Orthogonale Zweitafelprojektion
eines dreieckigen
prismatischen Körpers

In der darstellenden Geometrie ist es üblich, die beiden Tafeln um die Schnittlinie der Tafeln, die sogenannte „Spur“, in die Zeichenebene zu drehen. In technischen Zeichnungen dagegen werden die beiden Projektionsebenen in beliebigem Abstand gezeichnet. In der Technik bezeichnet man die beiden Tafeln als „Ansichtsdarstellungen“, beispielsweise als Seitenansicht und Draufsicht. Die nächste Erweiterung bei der technischen Zeichnung betrifft die Anzahl der Projektionsebene.

Orthogonale Dreitafelprojektion (und Mehrtafelprojektionen)

Technische Objekte sind im Allgemeinen geometrisch komplex. Die Abbildung auf zwei Projektionsebenen reicht für eine „maßhaltige“, „vollständige“ und „eindeutige“ Abbildung oft nicht aus. Es werden daher mehr als zwei Orthogonalprojektionen bei ein und demselben Objekt verwendet. Man bezeichnet dieses Verfahren in der Geometrie als „*Mehrtafelprojektion*“. Wenn die Projektionsebenen alle senkrecht aufeinander stehen, bzw. Objektansichten orthogonal projiziert werden, spricht man von *orthogonaler Mehrtafelprojektion*. Um die technische Zeichnung übersichtlich zu halten und die Zeichenarbeit zu vereinfachen, wählt man in der Technik üblicherweise eine geometrisch herausragende Fläche oder eine Hauptlage des Objekts als Basis für die Projektion und legt diese Fläche parallel zur Zeichenebene (Hauptprojektionsfläche). Die weiteren Projektionen werden nach Zweckmäßigkeit gewählt. Das Beispiel zeigt die Durchdringung von zwei Kegelstümpfen. Es werden drei Projektionsebenen verwendet. Die Ebene I zeigt das Objekt in der Hauptlage. Die Ebene II die Draufsicht und die Ebene III die Projektion parallel zur Achse des durchdringenden Kegelstumpfs.

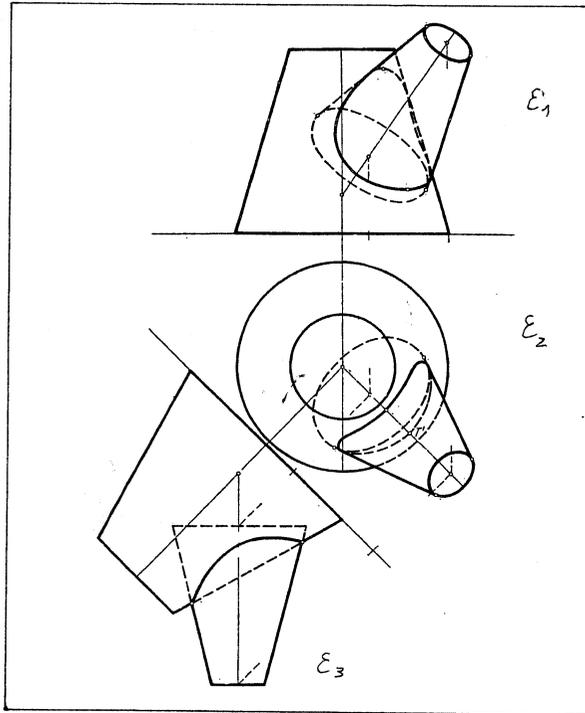


Bild 5.2/4:
Dreitafelprojektion
einer Durchdringung
zweier Kegelstümpfe

In der Technik reichen drei Ansichten für eine vollständige Beschreibung häufig nicht aus. Die Objekte werden dann in einer Vielzahl an Ansichten (Mehrtafelprojektion) dargestellt. Es werden auch „innere“ Ansichten verwendet. Man bezeichnet sie als Schnitte. Selbst bei komplizierten Schnittführungen durch ein Objekt bleibt die geometrische Basis immer die orthogonale Projektion. Die entsprechenden Zuordnungen und Bezeichnungen sind in der folgenden Skizze dargestellt. In einigen Ländern wird von diesem Schema abgewichen (z.B. Niederlande, USA u.a.m.).

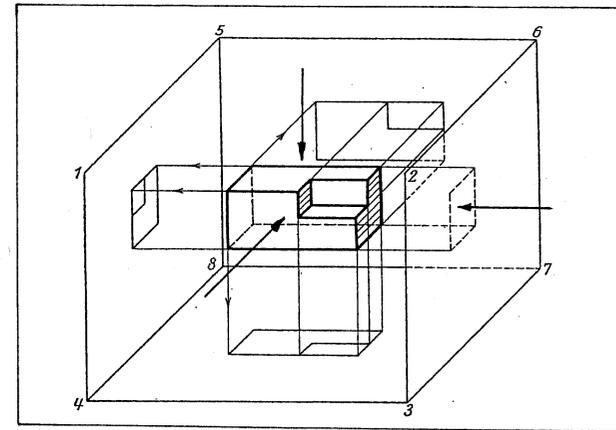


Bild 5.2/5:
Projektionen beim
technischen Zeichnen

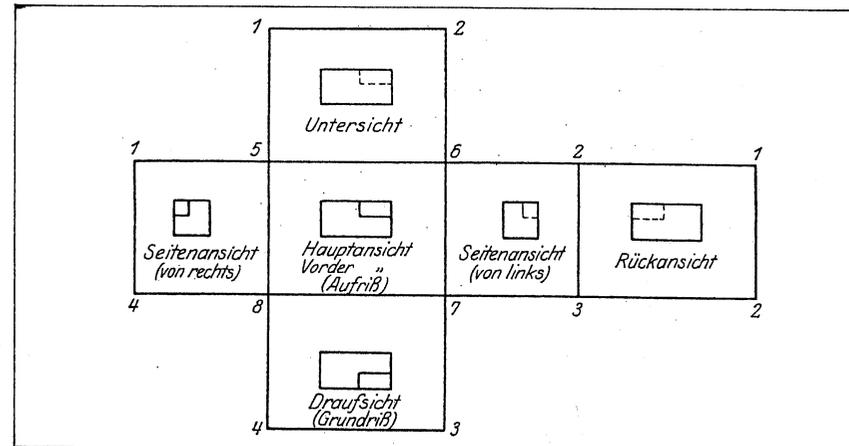


Bild 5.2/6: Allgemeine Anordnungen und Bezeichnungen von Ansichten beim technischen Zeichnen

5.3 Zentralprojektion

Das der Schatten eines Gegenstandes bei Sonnenlicht anders ausgesehen hat als der Schatten beispielsweise bei einer Fackel muss eine frühgeschichtliche Erfahrung gewesen sein. Im ersten Fall sind die Lichtstrahlen parallel, im zweiten gehen sie näherungsweise von einem Punkt aus. Das Beispiel zeigt die Situation am Schattenbild eines einfachen Lattenzauns.

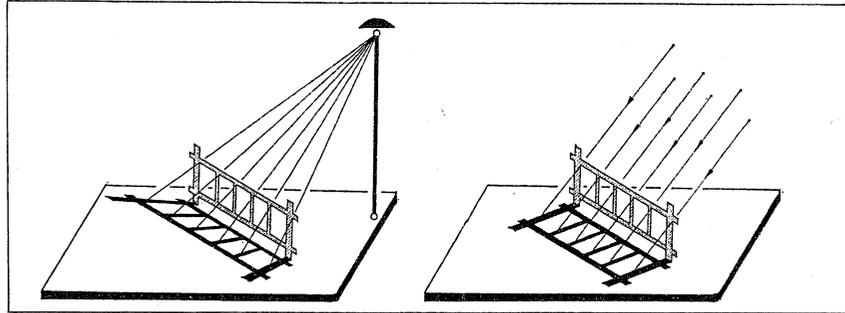


Bild 5.3/1: Schatten bei einer punktförmigen Lichtquelle, Schatten bei Sonnenlicht

In der darstellenden Geometrie wird von einem dreidimensionalen Objekt eine Abbildung auf einer Zeichenebene (Bildebene) gesucht. Wenn die Anforderung an die Abbildung höchste Anschaulichkeit ist, wird die Zentralprojektion, die Perspektive, eingesetzt. Der Begriff „Perspektive“ ist vom lateinischen Wort „perspicere“ abgeleitet worden. Es bedeutet so viel wie „klar sehen“ oder „hinsehen“. Zentralprojektionen geben uns die anschaulichsten Bilder realer Objekte, da sie den Sehvorgang nachbilden. Das gezeichnete Bild des Objekts vermittelt den gleichen räumlich-plastischen Eindruck beim Betrachter wie das Original, als Objekt im Raum, betrachtet von einem bestimmten Standpunkt, mit in der Tiefe fortschreitenden Verkürzungen und kontinuierlich veränderten Größen, Änderungen der Lichtwirkung und der Farben sowie mit nach hinten veränderten Schattenwirkungen. Der zentrale Punkt ist das Auge als das Zentrum des Sehvorgangs. Beim technischen Zeichnen dominieren orthogonale Parallelprojektionen. Sie zu „Lesen“ erfordert ein sehr gutes räumliches Vorstellungsvermögen. Zentralprojektionen hatten in der Vergangenheit große Bedeutung, da sie keine großen Anforderungen an das Vorstellungsvermögen stellten und daher von jedem verstanden wurden. Im hier zugrunde liegenden Betrachtungszeitraum wurden Zentralprojektionen bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts relativ häufig eingesetzt. Genaue Zentralprojektionen sind zwar anschaulich, aber ihre Anfertigung ist aufwendig. Die wesentlichen Grundbegriffe werden im Folgenden kurz erläutert.

Wenn eine Bildebene zwischen Betrachter und Objekt gestellt wird, können mit Hilfe der Sehstrahlen nach und nach alle Objektpunkte auf die Bildebene übertragen werden. Das reale Objekt kann gedanklich entfernt werden. Das verbleibende Bild vermittelt nun bei gleichem Standpunkt des Betrachters einen plastischen Eindruck, da die Sehstrahlen markanter Punkte von Bild und Objekt identisch sind.

Es gibt bei diesem Abbildungsvorgang sehr viele Möglichkeiten der Variation. Man kann die Entfernung der Projektionsebene vom Zentrum verändern, die Lage des Zentrum ganz nach unten oder weit nach oben legen, die Projektionsebene mit beliebiger Orientierung in den Raum stellen usw. Alle diese Arten der Projektion werden *Zentralprojektionen* genannt. Bei den perspektivischen Abbildungsverfahren ist das Objekt gegeben. Das anschauliche Bild wird gesucht. In der Technik ist wieder der umgekehrte Fall vorherrschend. Das Objekt existiert noch nicht real, es ist gedanklich „im Kopf“ des Ingenieurs gespeichert.

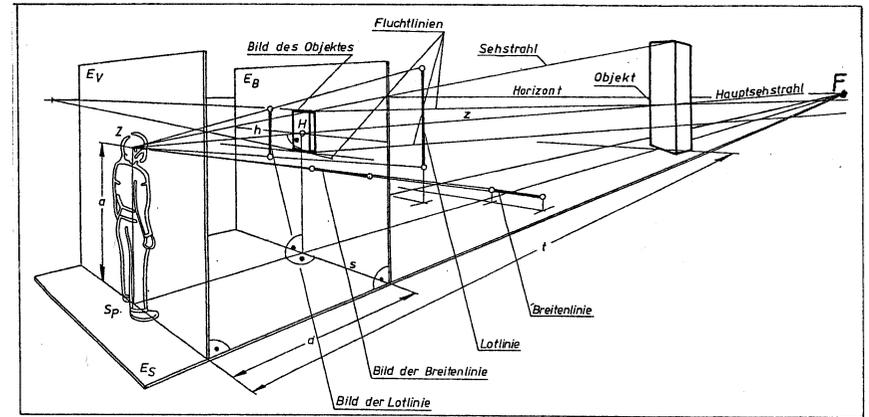


Bild 5.3/2: Begriffe der Zentralprojektion

In der Bilderwelt der Technik werden Zentralprojektionen in unterschiedlichen Situationen eingesetzt, beispielsweise beim Konzipieren und Entwerfen als Skizzen zur Klärung einer räumlichen Anordnung, zur Verdeutlichung der Raumwirkung einer Konstruktion, bei Präsentationen von Maschinen u.a.m. Das Beispiel zeigt drei Zentralprojektionen einer Werkzeugmaschine, bei denen die Höhe des Zentrums verändert wurde. Die Darstellungen sind nach Fotografien gezeichnet worden.

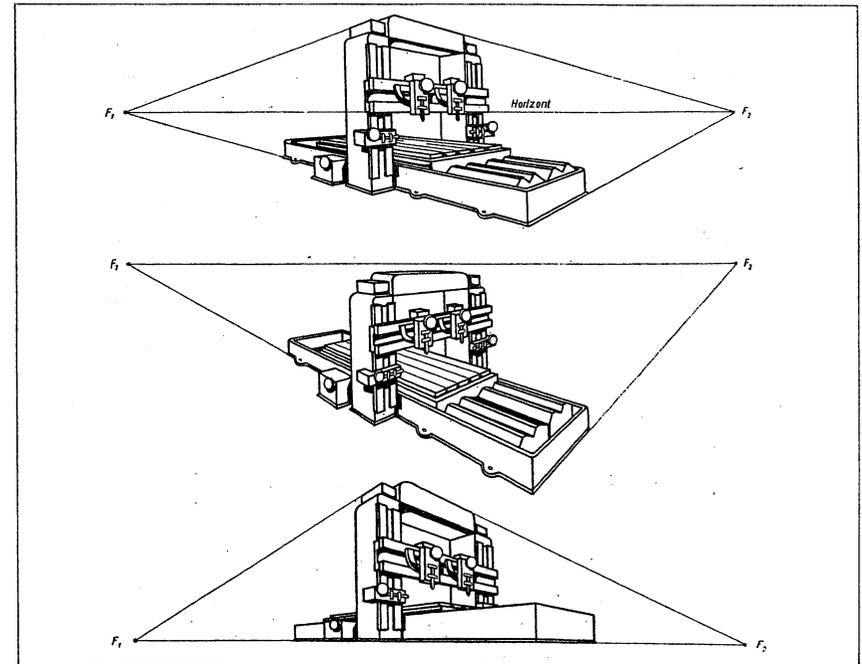


Bild 5.3/3: Beispiel einer zentralprojektiven (perspektivischen) Darstellung einer Maschine

Das Zeichnen einer Zentralprojektion ist eine aufwendige Arbeit. In der Technik tritt relativ häufig der Fall auf, das von einem Objekt, das nur als technische Zeichnung vorliegt, eine Zentralprojektion angefertigt werden muss. Die Darstellung des Objekts in der technischen Zeichnung besteht im Regelfall aus mehreren orthogonalen Parallelprojektionen, die manuell in eine Perspektive überführt werden müssen. Man hat früh versucht, diese Arbeit mit mechanischen Hilfsmitteln zu erleichtern. Es wurde eine ganze Reihe an „Perspektiv-Zeichenapparaten“ entwickelt, mit deren Hilfe die Zeichenarbeit beträchtlich vereinfacht werden konnte. Das Arbeitsprinzip dieser Apparate war immer gleich. Die Linearumrisse der einzelnen Projektionen der technischen Zeichnung wurden mit einem Stift abgefahren und in der zentralprojektiven Zeichnung entsprechend überlagert. Diese „Perspektivapparate“ werden im Kapitel 15 vorgestellt. Die Qualität der perspektivischen Zeichnungen war im Allgemeinen gut.

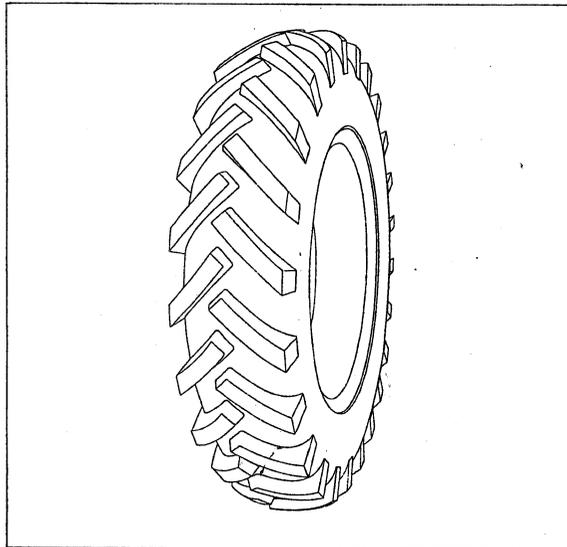


Bild 5.3/4:
Traktorreifen
mit einer
Perspektivmaschine
gezeichnet
(um 1950)

Bemerkung:

Eine frühe umfassende Darstellung zu den Verfahren der Geometrie findet man in den Werken des römischen Baumeister Vitruvius Pollio. Die Griechen und Römer setzten auch schon intuitiv die Grundregeln der Zentralprojektion ein. Die Baumeister der mittelalterlichen Bauhöfen entwickelten die „technische“ Zeichenkunst weiter. Die Regeln und geometrischen Verfahren wurden meist mündlich von einem Baumeister zum anderen übertragen.

In der Renaissance, im 15. Jahrhundert, wurde die räumliche und projektive Zeichenkunst zur Meisterschaft entwickelt. Die technischen Skizzen und Zeichnungen von Leonardo da Vinci (1452 – 1519) sind wohl jedem bekannt. Eine umfassende Darstellung der Geometrie wurde 1435 von Leone Battista Alberti (1404 – 1472) veröffentlicht. Im deutschsprachigen Raum schrieb Albrecht Dürer (1471 – 1528) das erste eigenständige Lehrbuch der Darstellenden Geometrie. Es wurde 1525 in Nürnberg unter dem Titel „Unterweysung der Messung mit dem Zirckel und Richtscheit“ herausgegeben. 1795 veröffentlichte Gaspard Monge (1746 – 1818) sein Grundlagenwerk zur Darstellenden Geometrie mit dem Titel „Geometrie descriptive“.

Bemerkung:

Zentralprojektionen werden im Allgemeinen nach der Anzahl der verwendeten Fluchtpunkte unterschieden. Die Fluchtpunkte sind die Punkte, in denen sich die Linien ausgezeichneter Objektgeometrien treffen. Beispielsweise alle parallelen Tiefenlinien oder die parallelen Breitenlinien des Objekts (siehe Bild 5.3/3); Sehr häufig werden Zentralprojektionen mit einem Fluchtpunkt verwendet (siehe Bild 5.3/2). Deren Konstruktion ist relativ einfach. Zentralprojektionen mit zwei Fluchtpunkten (siehe Bild 5.3/3) sind ebenfalls häufiger. Sie entsprechen dem Bildeindruck üblicher Fotografien. Bei Zentralprojektionen mit drei Fluchtpunkten, einen für jede räumliche Dimension, liegen die senkrechten Linien nicht mehr parallel. Sie laufen in der Höhe auf einen Fluchtpunkt zu, die umgangssprachliche Bezeichnung für diesen Bildeindruck ist „Abbildung mit stürzenden Linien“. Im letzten Fall spricht man von „allgemeiner Zentralprojektion“.

Insbesondere zum Zeichnen von Zentralprojektionen mit einem Fluchtpunkt sind auch heute noch einfache traditionelle Hilfsmittel in Gebrauch. Sie waren schon zu Zeiten von Leonardo da Vinci, Dürer und Alberti bekannt. Es werden perspektivische Hilfsraster verwendet. Heutzutage werden sie auf durchsichtigen Trägern, allgemein stabilen Kunststofffolien, gedruckt, die als Hilfen vor das zu zeichnende Objekt gehalten werden. Betrachtet wird das Objekt mit einem Auge durch das Zentrum der Rasterfolie. Die Folie wird entsprechend den Objekt-Hauptlinien oder nach dem gewünschten perspektivischen Eindruck ausgerichtet. Die Objektpunkte werden entsprechend ihrer Position auf der Folie in das Bild übertragen.

Die Hilfsmittel können auch zum Bestimmen des Fluchtpunktes vorhandener Darstellungen verwendet werden. Die Rasterfolie wird auf die jeweilige Darstellung gelegt und so lange ausgerichtet, bis die Linien der Hauptgeometrien des Objekts mit den Linien des Rasters der Folie übereinstimmen. Der zentrale Punkt ist der Fluchtpunkt. Er bestimmt auch die Horizontlinie.

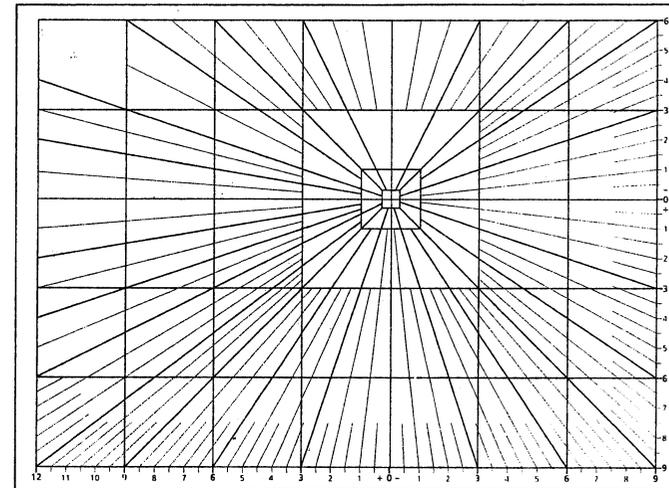


Bild 5.3/5:
Rasterfolie als Hilfe
zum perspektivischen
Zeichnen

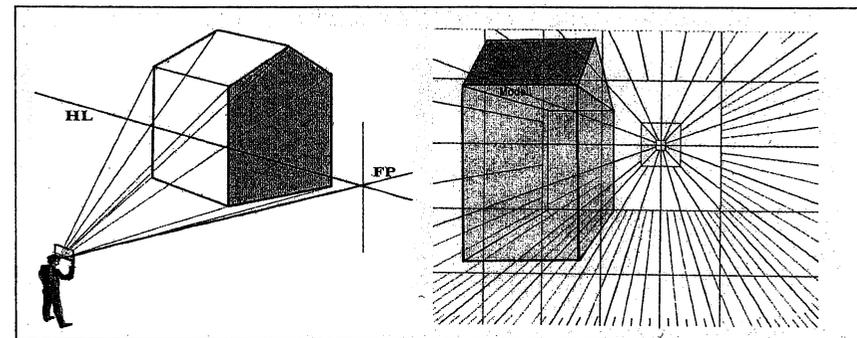
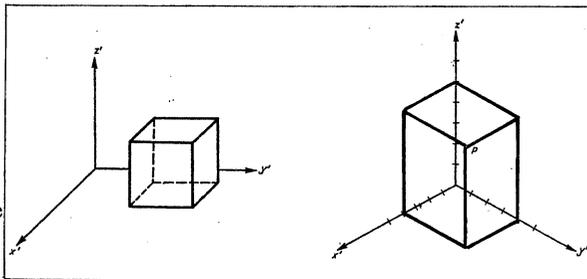


Bild 5.3/6: Anwendung der Rasterfolie

5.4 Axonometrische Projektionen

In der Axonometrie wird als Bezugssystem ein räumliches Achsensystem verwendet, bei dem, im einfachen Fall, die drei Raumachsen senkrecht aufeinander stehen. Wenn ein Körper in diesem Achsenkreuz abgebildet wird, beispielsweise ein Würfel in einer ausgezeichneten Lage, so wirkt der abgebildete Körper sehr anschaulich. Die Raumlage des Achsenkreuzes ist nicht festgelegt. Prinzipiell ist sie beliebig wählbar. Bei der Axonometrie wird jedes Objekt auf ein zugeordnetes Achsenkreuz bezogen. Die Raumachsen können skaliert werden. Die Skalierung muss in jeder Achse nicht gleich sein. Jeder Objektpunkt ist durch seine drei Raumkoordinaten bestimmt. Beim konstruktiven Zeichnen wurden (und werden) axonometrische Projektionen häufig als „quasi perspektivischer“ Darstellungen verwendet.

Bild 5.4/1: Achsenkreuz mit einer Ebene parallel zur Bildebene und Achsenkreuz in beliebiger Raumlage



Bei beliebiger Lage des Achsenkreuzes wirken in der anschaulichen Darstellung einige Hauptrichtungen des Objekts nicht ganz natürlich, sie müssten verkürzt sein. Bei einer Zentralprojektion würde sich die Skalierung einer „verkürzten“ Achse kontinuierlich verändern. In der axonometrischen Projektion sind die Teilungen der Achsen konstant. Die Achsen, die die Tiefenwirkung der Abbildung bestimmen, werden verkürzt skaliert. Dabei ist jeder Verkürzungsfaktor möglich. Das ist ein großer Vorteil bei der Darstellung von Objekten. Es vereinfacht die zeichentechnische Arbeit erheblich und, das ist wesentlich, die Maßgerechtheit geht nicht verloren. Werden die Variablen dieser Art der Darstellung, also die Raumlage des Koordinatensystems und die Achsverkürzungen systematisch geordnet und die üblichen Kombinationen hervorgehoben, so ergibt sich das nachfolgende Schema:

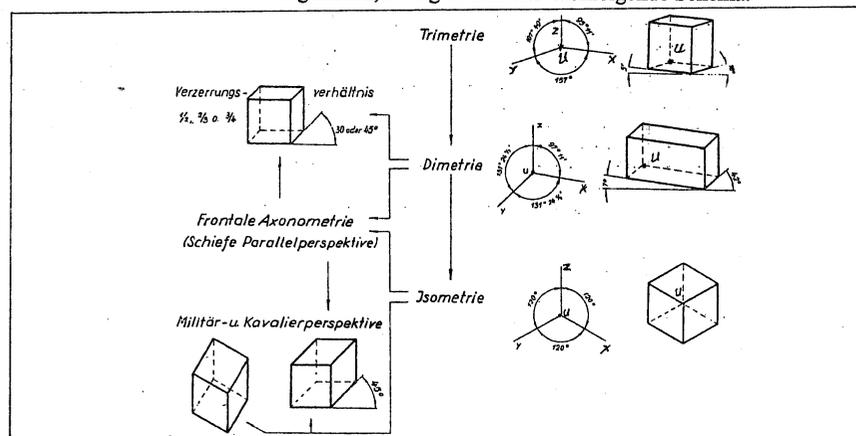


Bild 5.4/2: Axonometrische Darstellungsvarianten

Bei technischen Darstellungen werden aus diesem System folgende drei Fälle einer „vereinfachten Perspektiven“ häufiger genutzt:

1. Die Isometrie

Die Bezeichnung weist schon auf die Art der Darstellung hin (iso: lat. gleich). Hierbei haben alle drei Achsen die gleiche Skalierung (1 : 1 : 1), werden also unverkürzt gezeichnet. Die Art der Darstellung war um 1820 in Deutschland eingeführt worden. Sie floss später in eine DIN-Norm ein. Die Beiden „Frontachsen“ haben gegen die Bildebene gleiche Neigung. Durch die unverkürzten Maße ist die Darstellung zeichnerisch einfach. Von Nachteil ist, dass sich vordere und hintere Kanten teilweise überdecken.

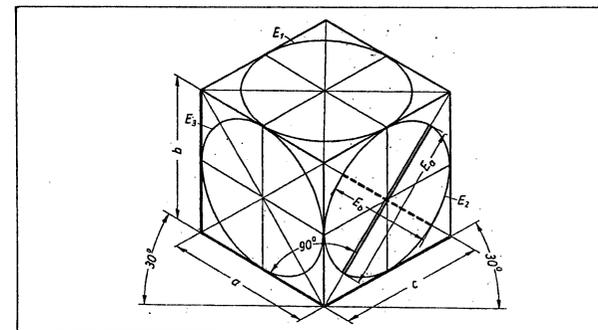


Bild 5.4/3: Isometrische Projektion eines Würfels

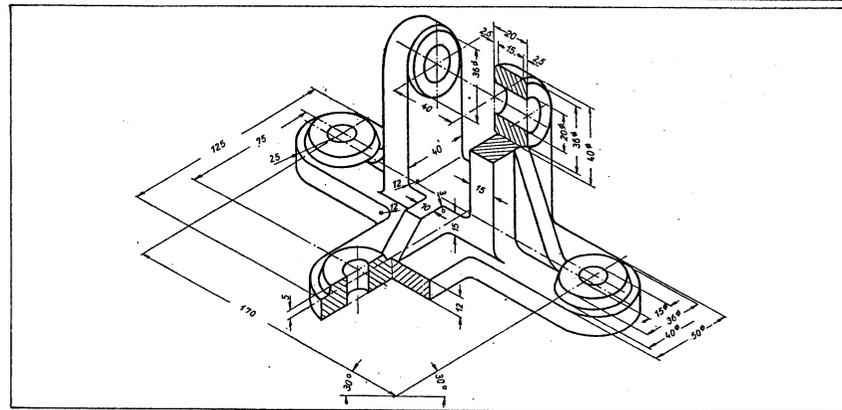


Bild 5.4/4: Isometrische Darstellung eines Lagerbocks

2. Die Dimetrie

Die Bezeichnung (di: lat. zwei) weist darauf hin, dass mit zwei Verkürzungen gearbeitet wird. Im allgemeinen Fall mit der Skalierung 1 : 1 in der Frontfläche (alle parallel zur Bildebene liegende Flächen behalten ihre Gestalt, auch die kreisförmigen Flächen). Die dritte Achse läuft aus der Bildebene steiler heraus und wird verkürzt gezeichnet (Seitenhöhe = 1, Seitentiefe = 0,5). Die entsprechenden Winkel sind 7° und 42°. Sie wurde oft, nicht ganz korrekt, als einzige „axonometrische“ Darstellung bezeichnet. Sie ist unter den, im Vergleich zu Zentralprojektionen, vereinfachten Verfahren zu anschaulichen Darstellung eines Objekts, die mit der besten Raumwirkung. Sie ist einfach zu zeichnen. Die Dimetrie wird bei der anschaulichen Darstellung technischer Objekte häufiger angewandt. Sie wird seit 1844 bei technischen Abbildungen verwendet.

Bild 5.4/5:
Allgemeine dimetrische
Projektion eines Würfels

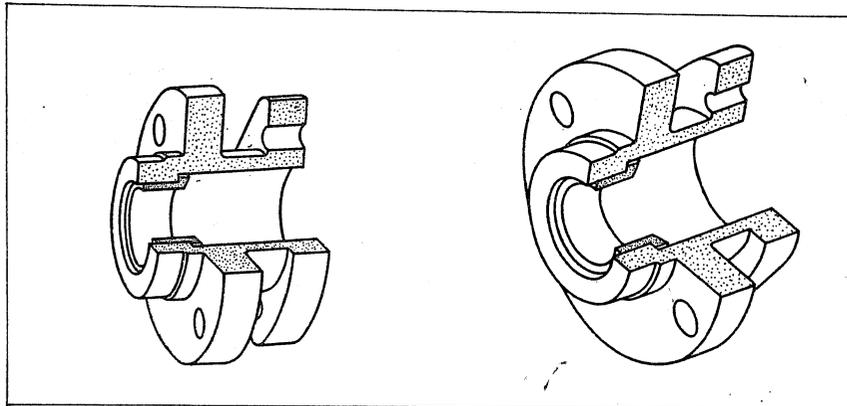
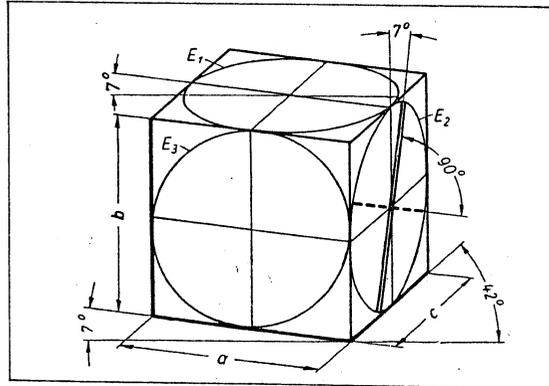


Bild 5.4/6: Vergleich von Bauteilen in dimetrischer und isometrischer Darstellung (Beispiele)

3. Die Trimetrie

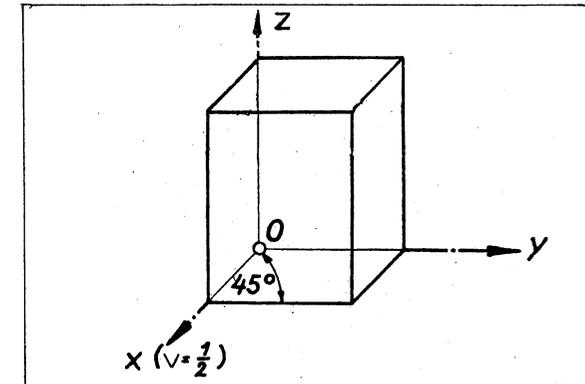
Hierbei haben alle drei Achsen ungleiche Skalierungen. Die Achsen haben gegenüber der Bildebene ungleiche Neigungen. Das Verfahren hat in der Technik keine Bedeutung erlangt.

Umgangssprachlich haben sich die Bezeichnungen für zwei spezielle axonometrische Projektionen eingepreßt, die Kavalierperspektive und die Militärperspektive.

Die Kavalierprojektion

Diese Projektion ist ein Sonderfall der schrägen Parallelprojektion. Die Dimensionen Breite und Höhe eines Objekts werden in wahrer Größe gezeichnet, die Tiefe unter einem bestimmten Winkel um einen konstanten Faktor verkürzt. Die Frontfläche des Objekts liegt parallel zur Bildebene. Durch die unveränderten Höhen- und Breitenmaße ist die Kavalierprojektion, bei großer Anschaulichkeit, einfach zu zeichnen. Sie wird oft beim freihändigen Skizzieren verwendet. In der Praxis wählt man den Winkel zur Darstellung der Objektiefe 45° , den Verkürzungsfaktor mit $\frac{1}{2}$.

Bild 5.4/7:
Prismatischer Körper
in Kavalierprojektion



Die Militärprojektion

Diese Projektion ist ebenfalls ein Sonderfall der schrägen Parallelprojektion. Bei der Militärprojektion wird der anschauliche Eindruck eines Blickes „von oben“ verstärkt. Die Projektionsstrahlen sind senkrecht. Die Dimensionen Breite und Tiefe werden in wahrer Größe dargestellt. Die Höhen können um einen konstanten Faktor verkürzt dargestellt werden. Dieser Faktor kann, je nach Einfallswinkel der Sehstrahlen (bzw. des Sonnenlichts) auch 1 sein. Diesen einfachen Fall, alle Dimensionen werden gleich skaliert, bezeichnet man üblicherweise als Militärprojektion.

Bild 5.4/8:
Prismatischer Körper
in Militärprojektion

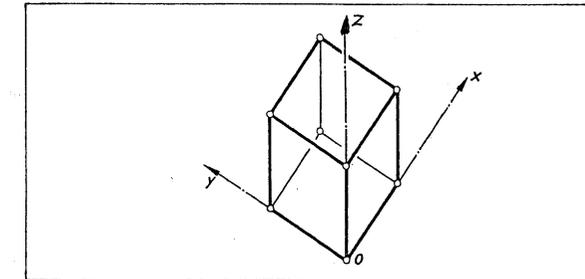
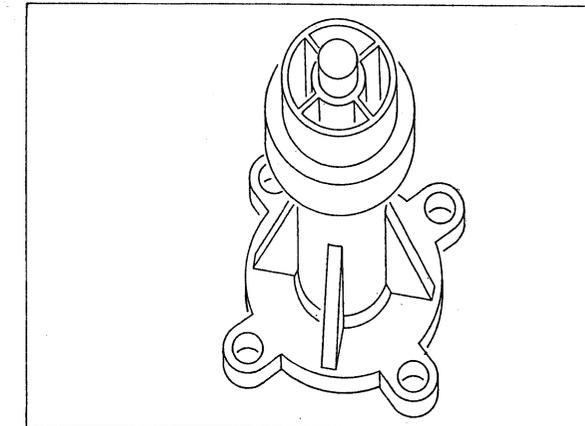


Bild 5.4/9:
Bauteil in
Militärprojektion



6. TECHNISCHE DARSTELLUNGEN IM ENTSTEHUNGSPROZESS TECHNISCHER OBJEKTE

6.1 Entwicklung technischer Objekte als Problemlösungsprozess

Bei der historischen Betrachtung der Prozesse, die zur Entwicklung technischer Objekte geführt haben, kann die Vielfalt der Vorgehensweisen nicht überraschen. In der gesamten Geschichte der Erfindungen vor dem 18. Jahrhundert war die Entwicklung durch eine individuelle und intuitive Vorgehensweise geprägt. Persönliche Erfahrungen bestimmten den Entwicklungsablauf und das Entwicklungsergebnis. Technische Darstellungen der Objekte wurden nur in Ausnahmefällen angefertigt. Lösungen und Lösungsvarianten wurden „im Kopf durchgespielt“. Wenn bei größeren Projekten Abstimmungen zwischen unterschiedlichen Gewerken unumgänglich waren, reichten einfache Skizzen aus. Sie wurden oft mit Kreide oder Kohle auf Wänden, dem Hallenböden oder Tischen angefertigt, später in Ausnahmen auch mit Tusche auf Pergament oder Papier. Eine abgrenzbare Folge unterschiedlicher Phasen im Entstehungsprozess technischer Objekte gab es nicht. Einzig eine Phase des „Vordenkens“ der Lösung kann bei einigen Entwicklungsprozessen identifiziert werden.

Technische Objekte sollen einen bestimmten Zweck erfüllen, ihre Funktion steht im Vordergrund. Zur Realisierung des technischen Objekts war eine Vielzahl an Problemen zu lösen. Man kann diese Probleme vereinfacht in zwei Gruppen einteilen, zum einen die „konstruktiven Probleme“ und zum anderen die „Probleme der Umsetzung“ bei der Herstellung. In diesem Buch ist nur die erste Gruppe von Belang. Natürlich ist auch die Lösung der zweiten Gruppe entscheidend. Eine „Konstruktion“, die nur auf dem Papier existiert, die aber mit den Mitteln der Zeit nicht gebaut werden kann, ist im wahrsten Sinne des Wortes „zwecklos“.

Unabhängig von dem Entwicklungsstand einer Gesellschaft spricht man von einem Problem, wenn zur dessen Lösung:

1. Schwierigkeiten und Barrieren überwunden werden müssen.

Diese bildliche Analogie meint, dass zur Lösung des Problems etwas Neues erfordert ist, etwas noch nicht Bekanntes. Der zentrale Begriff für diese Lösungsbarrieren ist die „Aporie“. Charakteristisch für die Vorlage eines Problems ist eine „Aporie“. Die Aporie unterscheidet das Problem von einer Aufgabe. Zur Lösung einer Aufgabe sind die Wege zur Überwindung der Lösungsbarrieren bekannt.

2. Transformationsdefizite existieren.

Der Problemlöser besitzt zurzeit keine ausreichenden Kenntnisse zur Überwindung der Lösungsbarrieren. Häufig liegt der Fall vor, dass ein entsprechendes Wissen aktuell noch gar nicht existiert. Das fehlende Wissen muss entwickelt werden, die Wissenslücke muss gefüllt werden.

3. Ggf. methodologische Defizite zu beseitigen sind.

Zur Lösung eines Problems sind Denkleistungen erforderlich. Jeder Problemlöser verfügt über einen kognitiven Erfahrungsschatz und über einen methodologischen Erfahrungsschatz. Bei der Lösung eines Problems reicht der bisher aufgebaute methodologische Erfahrungsschatz ggf. nicht aus. Neue heuristische Methoden müssen erlernt und trainiert, ergänzt und weiterentwickelt werden.

4. Restriktionssysteme zu beachten sind.

Diese Restriktionssysteme treten bei der Lösung jedes Problems auf. Sie resultieren aus den Grenzen der Physik, den Merkmalen der eingesetzten Technologien, der verwendeten Werkstoffe, den vorhandenen Ressourcen, den Rahmenbedingungen des Problems selbst, den Zielsetzungen u.a.m. Durch die Restriktionssysteme wird die theoretische Lösungsmenge auf eine praktische fokussiert.

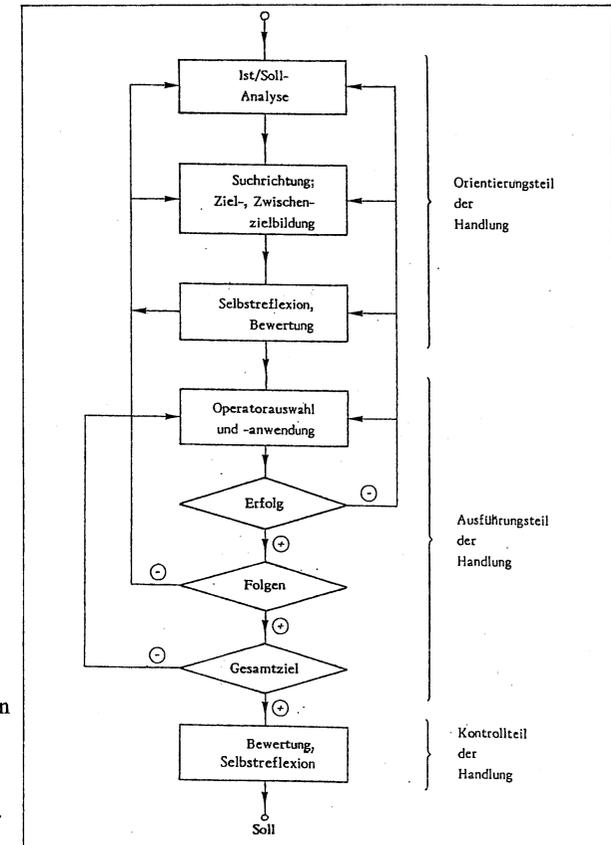


Bild 6.1/1:
Beispiel eines allgemeinen Problemlösungsprozesses als Blockdiagramm (Sell, R.: Angewandtes Problemlösungsverhalten. Berlin 1991)

Die Lösung eines Problems erfordert demnach parallel die Bewältigung der „methodischen Begleitproblematik“ und die Bewältigung der „individuellen Begleitproblematik“. Ähnlich wie das, was ein Problem ist, müssen auch die Methoden zu dessen Lösung in einem historischen Zusammenhang gesehen werden. Diese Betrachtung führt zur Auffassung, dass der technische Entwicklungsprozess als ein sich fortlaufend ändernder Problemlösungsprozess betrachtet werden kann. Dabei ist ein großer Teil der grundlegenden *Methoden des Problemlösens*, die von Menschen eingesetzt werden können, in ihrem Kern, historisch weitgehend unverändert. Man bezeichnet sie als heuristische Methoden. Sie reichen von einfachen Versuch-Irrtum-Methoden, über die Methoden der Faktorisierung bis zu komplizierten Mittel-Zweck-Methoden.

Die Betrachtung der konstruktiven Entwicklung als Problemlösungsprozess ist relativ neu. Erste Ansätze für diese Betrachtung findet man Mitte des 19. Jahrhunderts u.a. bei Redtenbacher. Einen großen Entwicklungsschritt machte man aber erst Mitte des 20. Jahrhunderts. Unter den Oberbegriffen „Methodisches Konstruieren“, „Konstruktionsmethodik“ u.a.m. sind eine Vielzahl von Vorgehensweisen veröffentlicht worden. Der Konstruktionsprozess wurde dabei in eine Anzahl von Phasen unterteilt, die nacheinander zu durchlaufen waren. Für jede Phase gab es ein System von Hilfen, Verfahren und Methoden zur Lösung der vorliegenden Teilprobleme. Basis dieser Vorgehensweisen war

wiederum eine heuristische Methode, und zwar die der „Faktorisierung“. Durch ein Zerlegen in einzelne „Faktoren“ (beispielsweise Arbeitsschritte) und sukzessives Lösen der „Teilprobleme“ in den einzelnen Arbeitsschritten, sollte ein komplexes Problem einfacher gelöst werden. Das entsprach zwar den Erfahrungen des Menschen, aber die Methode hat Grenzen und eine „Lösungsgarantie“ gab es nicht.

Im Zusammenhang mit den technischen Darstellungen im Entstehungsprozess technischer Objekte bekamen durch das „Methodische Konstruieren“ die abstrakten und schematischen Darstellungsarten einen größeren Stellenwert. Eines der Ziele der neuen „Konstruktion“ war es, aus der Vielzahl an Lösungsvarianten geeignete Varianten auf einem möglichst abstrakten Niveau auszuwählen. Des Weiteren konnten jetzt auf einfache Art den jeweiligen Phasen des Konstruktionsprozesses bestimmte Darstellungsarten zugeordnet werden.

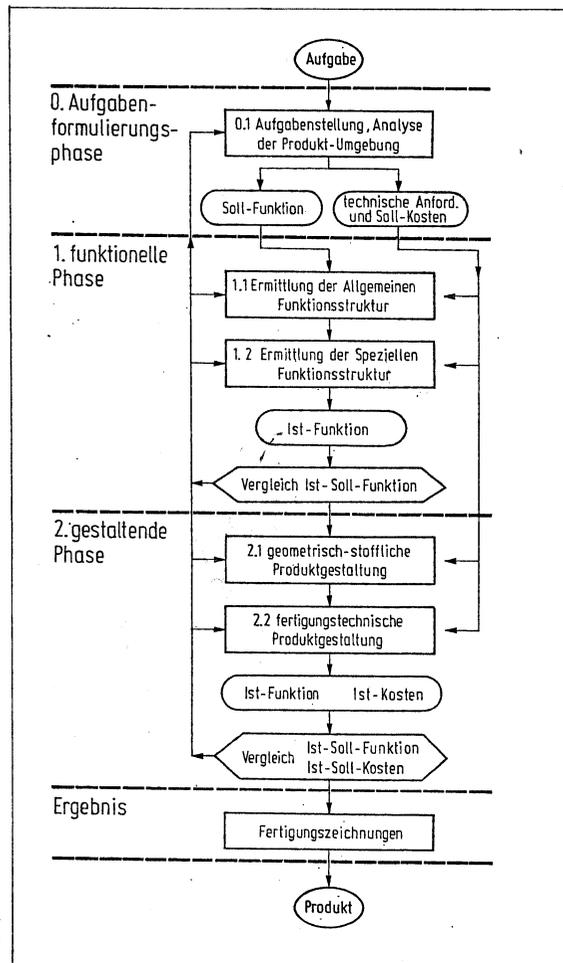


Bild 6.2/2:
Beispiel für einen allgemeinen
Ablaufplan beim Konstruieren
(1971)

Bemerkung:

In der vorgeschichtlichen Phase wurden die ersten einfachen Objekte von denen hergestellt, die sie brauchten um ein Problem zu lösen (z.B. einfache Werkzeuge). Die Planung fand „im Kopf“ des Betroffenen statt. Primitive Darstellungen der Objekte wurden, wenn überhaupt, im Nachhinein angefertigt. Sie dienten nicht als Anleitung zum Nachbauen oder zur Vermittlung von Wissen. Die Erfahrungen bei der Nutzung führten zu Verbesserungen oder einer neuen, besseren Ausführung. Dieses Versuch-Irrtum-Vorgehen war dann erfolgreich, wenn keine komplexen Probleme zu bewältigen waren. Bei großen Projekten, z.B. Bauten, war eine Planung erforderlich. Basis der Planung war eine „schriftliche“ Beschreibung oder eine entsprechende Darstellung auf Stein, Pergament u.a.m. Von einigen Bauten im alten Ägypten liegen derartige Pläne vor. Charakteristisch für das Vorgehen war eine Aufteilung des Projekts in zwei Phasen: Planung und Vorarbeit sowie Ausführung und Überwachung. Es war eine Trennung von Vorarbeit und praktischer Ausführungsarbeit. Bei der beschreibenden Vorarbeit setzte sich die konstruktive Zeichnung gegenüber der schriftlichen durch. Die Vorteile waren überwältigend. Diese Vorgehensweise wurde von den Griechen und Römern fortgeführt, noch differenzierter mit begleitenden Berechnungen.

Im Mittelalter hatten die Klöster bei der Weiterentwicklung technischer Objekte eine entscheidende Rolle. Man kann fast von einer „mechanisch-technische Erneuerung“ sprechen. In den Klöstern als Zentren der Bildung und des Wirtschaftens wurde der Muskelkrafteinsatz von Menschen und Tieren durch einen breiten Kraftmaschineneinsatz ersetzt. Dadurch wurden neue Dimensionen in der Technik erschlossen und ein Produktivitätssprung erreicht. In den Klöstern war alles „unter einem Dach“ zusammengefasst, die „Kopfarbeit“ und die handwerkliche Arbeit. Es gab einen direkten Wissens- und Erfahrungsaustausch und damit auch eine rasche Weiterentwicklung. Technische Objekte wurden geplant, gebaut und selbst eingesetzt. Für diese Planungen wurden konstruktive Zeichnungen verwendet, die auch als Anleitungen zum Bau, Nachbau und zum Wissenstransfer benutzt worden sind. Einige Zeichnungen sind erhalten geblieben.

Auf die besondere Rolle der „mechanischen Künstler“ in der Renaissance wurde schon hingewiesen.

6.2 Darstellungen im Konstruktionsprozess

Zeichnerische Darstellungen sind die wichtigsten Kommunikationsmittel im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess. Sie werden in unterschiedlicher Form in jeder Phase dieses Prozesses verwendet, von den ersten Ideenskizzen bis zur maßstäblichen Gesamtzeichnung. Bei der Behandlung der unterschiedlichen Darstellungsarten beim Lösen technischer Probleme ist eine differenzierte Strukturierung des Problemlösungsprozesses in der Konstruktion notwendig. Auch dafür gibt es eine Vielzahl an aktuellen Vorschlägen in der Literatur. Da hier aber die Technik des 18. und 19. Jahrhunderts im Mittelpunkt steht, müssen diese Vorschläge angepasst werden. Die vereinfachte Strukturierung ist nachfolgend wiedergegeben. Für den hier behandelten Zweck ist sie mehr als ausreichend. Es geht primär darum, die verschiedenen Arten des konstruktiven Zeichnens zu bestimmten Schritten oder Phasen des Konstruktionsprozesses zuzuordnen. Besondere Entscheidungsphasen und Lernschritte sind kursiv hervorgehoben.

Phasen bzw. Arbeitsschritte bei der Lösung technischer Probleme:

1. Konfrontation, Klärung der Problemstellung.
2. Information, Analyse des Problems, Definition des Ziels.
3. Analyse der Mittelpotenziale zur Lösung (historisch, aktuell, noch zu schaffen).
4. Synthese, Kreation, Entwicklung von Lösungsvarianten und Lösungskonzepten, Konzeptvarianten.
5. Bewerten der Varianten und Konzepte, Testen.
6. *Entscheiden, festlegen des endgültigen Konzepts, Lernen, Wiederholen.*
7. Grob Entwerfen (Grobgestalt), abschließendes Entwerfen, Feingestalt.
8. Bewerten der Entwürfe, Testen.
9. *Entscheiden, festlegen des endgültigen Entwurfs, Lernen, Wiederholen.*
10. Konkretisierung, Ausarbeitung des Entwurfs, Detaillierung.
11. Bewerten der ausgearbeiteten Lösung, Testen.
12. *Entscheiden, festlegen der endgültigen Herstellungsunterlagen, Lernen, Wiederholen.*
13. Herstellung.
14. *Herstellungserfahrungen ableiten, Verbesserung, Lernen.*
15. Einsatz des realisierten Objekts.
16. *Einsatzerfahrungen auswerten, Verbesserung, Lernen.*
17. Ggf. neue Konfrontation, Neuklärung der Problemstellung.

In der nachfolgenden Tafel sind den einzelnen Phasen des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses die technischen Darstellungen zugeordnet. Die zugeordneten zeichnerischen Darstellungen geben nur die wesentlichen Einsatzgebiete wieder.

Bemerkung:

Die Konzentration der Betrachtungen in diesem Buch auf ausgeführte zeichnerische Darstellungen aller Art ergibt sich durch das Thema. Es darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass ein beachtlicher Teil der Prozesse, die zur Lösung technischer Probleme notwendig sind, ohne jegliche zeichnerische Darstellungen ablaufen, präziser formuliert: ohne gezeichnete Darstellungen. Ein Konstrukteur kann ohne ein intensives Training visueller Vorstellungen in seinem kognitiven System, der Schulung des visuellen Denkens, nicht erfolgreich sein. Das visuelle Denken dominiert den gesamten technischen Problemlösungsprozess. Diese Prozesse sind allerdings nicht auf äußere, zeichnerische Darstellungen angewiesen. Im Gegenteil – gezeichnete Darstellungen sind in vielen Fällen sogar hinderlich. Ihre Anfertigung dauert viel zu lange. Bei der Unmenge an möglichen Lösungen für ein Problem ist das unmittelbar verständlich. Das Denken in visuellen Systemen führt im Laufe der beruflichen Praxis dazu, dass das kognitive System von Konstrukteuren eine spezifische Ausprägung, ja eine Spezialisierung erfährt. Die genutzten Problemlösungsmethoden sind visuell dominiert, die Gedächtnisinhalte ebenfalls, die Problemlösungen auch. Die Konstruktion entsteht vollständig „im Kopf“. Je früher man im Problemlösungsprozess arbeitet, umso intensiver wird das visuelle Denken eingesetzt. Begleitende Untersuchungen zu den Denkprozessen schöpferisch tätiger Ingenieure haben gezeigt, wie diese Prozesse ablaufen. Sie sind außerordentlich schnell und effektiv mit großer individueller Spannweite. In kürzester Zeit werden ganze Lösungssysteme im „inneren Auge“ visualisiert, durchdacht, bewertet und ausgewählt. Der Konkretisierungsgrad wechselt dabei ständig. Elemente einer prinzipiellen Idee können im Bedarfsfall ohne Unterbrechung des Gedankens bis ins Detail konkretisiert werden. Restriktionen des eigenen Herstellungspotentials oder der Beschaffungsmarktes werden bei den Lösungen berücksichtigt. Montagen werden „im Kopf“ simuliert. Dimensionen werden mit Hilfe kognitiver Erfahrungen abgeschätzt. Selbst die Weichenstellungen zur Berücksichtigung kompliziertester Nebenbedingungen, beispielsweise der Suche nach möglichst „preiswerten“ Problemlösungen, werden erfolgreich gemeistert. Dieses logisch-rational nicht lösbare Problem kann ohne Konkretisierung von wichtigen Bauelementen, die zur „Herstellkostenabschätzung“ notwendig sind, nicht bearbeitet werden. Die „visuelle“ Lösung beruht nicht auf einer Abschätzung von Kosten, sondern in einer „gedanklichen Differenzierung“ der Form: Lösung X muss preiswerter sein als Lösung Y oder Z. Diese ganzen visuell dominierten Prozesse laufen ohne größere, äußerlich erkennbare Reaktionen ab. Selten wird ein Gedanke mit einer Skizze festgehalten oder ein Stichwort notiert. Der Problemlöser ist vollständig konzentriert und versunken in seiner inneren Welt. Äußere Reize existieren in dieser Phase kaum noch.

Diese Phase kann, je nach Komplexität des Problems und Erfahrungen des Ingenieurs, Stunden, Tage oder sogar Wochen dauern. Akteure berichteten häufig, dass die Beschäftigung mit dem Problem auch nicht an Arbeitszeiten oder Arbeitsorte gebunden war. Im Gegenteil. Spontane Lösungen gab es häufig in Phasen der Entspannung oder bei der Beschäftigung mit anderen Problemen.

Die Ausbildung eines „inneren Auges“, der vollständigen gedanklichen Visualisierung einer Problemlösung „im Kopf“, wird heute nicht mehr trainiert. Sie ist unüblich geworden. Sie ist weder in der Ausbildung noch in der beruflichen Praxis notwendig. Sie wurde durch den Einsatz digitaler Konstruktionssysteme ersetzt. Aus dem ursprünglichen System dieser Systeme, die Zeichenarbeit zu vereinfachen, sind längst komplexe Datenbanksysteme entstanden, die quasi alles können, und zwar in kürzester Zeit. Von 3-dimensionalen Darstellungen, aller Arten von Simulationen und Berechnungen bis zu der Steuerung von Herstellungsprozessen und logistischen Systemen ist alles möglich. Ob die Ergebnisse in Form der realisierten Produkte besser sind, als die nach „traditioneller Art“ entwickelten, darf nach dem Gebrauch mancher aktueller Güter bezweifelt werden.

Lfd. Nr.	Phase im Problemlösungsprozess	Art der verwendeten Darstellung	Bemerkung
1	Konfrontation, Klärung der Problemstellung	Blockschaltbilder, Strukturdiagramme Technische Skizzen	Eigenschaftskataloge, Anforderungslisten
2	Information, Analyse des Problems, Definition des Ziels	Strukturbilder, Funktionsstrukturen Logische Funktionsstrukturen, binäre Blockschaltbilder Technische Skizzen	
3	Analyse der Mittelpotentiale zur Lösung (historisch, aktuell, noch zu schaffen)	Skizzen Schema-Zeichnungen	
4	Synthese, Kreation, Entwicklung von Lösungsvarianten und Lösungskonzepten, Konzeptvarianten	Funktionsstrukturen, logische Funktionsbilder Wirkstrukturen, Diagramme Technische Skizzen	Zusätzlich: - graphische Verfah. der Kinematik - graphische Verfahren der Statik
5	Bewerten der Varianten und Konzepte, Testen		
6	Entscheiden, festlegen des endgültigen Konzepts, Lernen, Wiederholen		
7	Grob Entwerfen (Grobgestalt), Abschließendes Entwerfen, Feingestalt	Technische Skizze, Entwurfszeichnung Zusammenstellungszeichnung Baugruppenzeichnungen	Detaillierungen grob maßstäblich. Darstellungen auf Einzelteilebene nur in besonderen Fällen.
8	Bewerten der Entwürfe, Testen		
9	Entscheiden, festlegen des endgültigen Entwurfs, Lernen, Wiederholen		
10	Konkretisierung, Ausarbeitung des Entwurfs, Detaillierung	Gesamtzeichnung Baugruppenzeichnung Einzelteilzeichnung	Zusätzlich: - Schaltpläne - Montagezeichnung - Rohrleitungspläne etc. - Stückliste
11	Bewerten der ausgearbeiteten Lösung, Testen		
12	Entscheiden, festlegen der endgültigen Herstellungsumlagen, Lernen, Wiederholen		
13	Herstellung	Zusammenstellungszeichnung Baugruppenzeichnung, Montagepläne, Schaltpläne Einzelteilzeichnung Stückliste	Rohrleitungspläne Hydraulische Schaltpläne Elektrische Schaltpläne
14	Herstellungserfahrungen, Verbesserung, Lernen		
15	Einsatz des realisierten Objekts	Zeichnungen für Ersatzteillisten, Reperaturanleitungen	
16	Einsatzserfahrungen, Verbesserung, Lernen		
17	Ggf. neue Konfrontation, Neuklärung der Problemstellung		

Tafel 6.2/1: Zeichnerische Darstellungen und Phasen im Konstruktionsprozess

6.3 Arten von konstruktiven Zeichnungen

Neben der Zuordnung zeichnerischer Darstellungen zu den jeweiligen Phasen eines Problemlösungsprozesses gibt es eine Reihe anderer Ordnungsmöglichkeit, die im 18. und 19. Jahrhundert eingesetzt worden sind. Die bekannteste Systematik ist die nach Zeichnungsarten. Die sich ergebenden Ordnungssysteme sind allerdings nicht eindeutig. Die im Kapitel 3 gezeigten Beispiele lassen einige Aspekte dieser Ordnungen erkennen. Die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale von Zeichnungen sind demnach:

- ihr Inhalt,
- die Basistechnologie des technischen Objekts,
- die Besonderheiten einer Branche,
- der Arbeitsschritt im Konstruktionsprozess,
- die Art ihrer Anfertigung der Zeichnung,
- das verwendete Zeichnungsmaterial,
- ihr Verwendungszweck,
- die Art ihrer Vervielfältigung,
- die Art ihrer Archivierung.

Nicht alle Unterscheidungsmerkmale sind für die weitere Festlegung konstruktiver Zeichnungsarten geeignet. Es werden im Folgenden nur die wesentlichen erläutert.

Unterscheidung von Zeichnungen nach dem Inhalt

Die dargestellten Inhalte sind das wichtigste Differenzierungsmerkmal konstruktiver Zeichnungen. Man unterscheidet:

- technische Skizzen in freier Manier gezeichnet (reine Linearzeichnungen, mit Schattierungen, als künstlerische Skizze gefertigt, Farbskizze u.a.m.),
- technische Skizzen, freihändig oder grobmaßstäblich, die z.T. mit Hilfsmittel angefertigt sein können (z.B. in einigen Details mit Hilfe von Zirkeln, Linealen etc.),
- Strukturskizzen (funktionale Strukturen, physikalische Strukturen, Schema-Zeichnungen, logische Strukturen etc.),
- Entwurfsskizze (grobmaßstäbliche Skizze eines Entwurfs mit den technisch wesentlichen Details),
- Entwurfszeichnung (maßstäbliche Zeichnung eines Entwurfs mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad),
- Vollständige Zusammenstellungszeichnung, Zusammenbauzeichnung, Hauptzeichnung, Übersichtszeichnung, Gesamtzeichnung (stellt ein technisches Objekt mit allen Bauteilen im zusammengebauten Zustand dar),
- Vereinfachte Zusammenstellungszeichnung (stellt nur einzelne oder nur wesentliche Aspekte eines technischen Objekts dar),
- Gruppenzeichnung, Baugruppenzeichnung (stellt alle Teile einer abgegrenzten Baugruppe im zusammengebauten Zustand dar),
- Teilzeichnung, Einzelteilzeichnung (stellt ein Teil mit allen zur Herstellung notwendigen Informationen dar),
- Sonderzeichnungen (z.B. Fundamentzeichnungen, Rohrleitungspläne, Schaltpläne, etc.).

Unterscheidung von Zeichnungen nach der Basistechnologie

- Gussteilzeichnung (Zeichnung nur zur Herstellung von Gussteilen mit Formschrägen, Kernangaben, Bearbeitungszugaben u.a.m.),
- Stahlbauzeichnung (Zeichnung nur zur Herstellung von Stahlbaukonstruktionen),
- Schweißzeichnung (Zeichnung nur zur Herstellung von Schweißkonstruktionen),
- Schmiedeteilzeichnung (Zeichnung nur zur Herstellung von Schmiedeteilen mit Ausformschrägen, Gesenktrennungen, Bearbeitungszugaben u.a.m.), etc.

Unterscheidung von Zeichnungen nach den Besonderheiten einer Branche

- Karosseriezeichnung (technische Zeichnung von Karosserien im Allgemeinen in einem räumlichen Bezugsraaster gezeichnet),
- Schiffbauzeichnungen (Zeichnungen mit besonderen Schnittführungen (je nach Deck) und Bezügen (z.B. zur Wasserlinie),
- Flugzeugbauzeichnungen,
- Zeichnungen für chemischen Anlagenbau, Apparatebau etc.,
- Zeichnungen für den Elektromaschinenbau, etc.

Unterscheidung von Zeichnungen nach der Art der Anfertigung der Zeichnung

- Bleizeichnung, Bleistiftzeichnung (früher auch Silberstifte, Stifte aus Blei),
- Risszeichnung (Zeichnung mit extrem hartem Bleistift auf Papier (meist Transparentpapier), Linearriss drückt sich tief in das Zeichenpapier, nicht korrigierbar, dokumentenecht, selten angewandt),
- Tuschezeichnung, Ausziehzeichnung (allgemein mit schwarzer Tusche, selten mit farbigen Tuschen),
- Teilkolorierte Zeichnung (einige Funktionen farbig hervorgehoben, z.B. bei verschiedenen Medien in Rohrleitungen (heute Farbgebung genormt), farbig hervorgehobene Werkstoffarten etc.
- Vollkolorierte Zeichnungen, kolorierte Zeichnungen (Zeichn. ganz od. z.T. farbig gelegt).

Unterscheidung von Zeichnungen nach der Art des verwendeten Zeichnungsmaterials

- Papierzeichnung (nicht transparent),
- Transparentzeichnung,
- Zeichnungen auf transparenten Folien (z.B. im Karosseriebau u.ä., geringe Dehnung bei Feuchtigkeits- und Temperaturveränderungen),
- Pergamentzeichnung,
- Zeichnung auf Zeichenleinen,
- Zeichnungen auf farbigen Papieren,
- Zeichnungen auf Spezialpapieren (z.B. Millimeterpapier, mit Punktrastern versehene Papiere, Perspektivpapiere etc.), etc.

Unterscheidung von Zeichnungen nach dem Verwendungszweck

- Angebotszeichnung,
- Montagezeichnung,
- Werkstattzeichnung (Zeichnungen für spezielle Bearbeitungen, Werkzeugzeichnungen, Gesenkzeichnungen, Vorrichtungszeichnungen etc.)
- Genehmigungszeichnungen (zur Vorlage bei Behörden),
- Patentzeichnungen,
- Ersatzteilzeichnungen,
- Druckstockzeichnung, etc.

Unterscheidung von Zeichnungen nach der Art der Vervielfältigung

- von Hand durchgezeichnete Papiervervielfältigung (ursprüngliche (historische) Form der Vervielfältigung),
- Pauszeichnung,
- Lichtpause (Weiß-, Braun- oder Blaupause),
- Photographische Vervielfältigung,
- Umdruckvervielfältigung, etc.

Unterscheidung von Zeichnungen nach der Art der Archivierung

- Stammzeichnungen (Zeichnung, die dauerhaft aufbewahrt werden soll, allgemein Tuschezeichnung auf Leinen oder Transparentpapier),

- Stammpausen (Basiszeichnungen nur zum Pausen),
- Zeichnungen für fotografische Archivierung (Strichstärken abweichend von DIN-Normen),
- Zeichnungen für Mikroverfilmung, etc.

Die Unterscheidung nach den Arbeitsschritten bzw. Phasen im Konstruktionsprozess wurde schon im Abschnitt 6.2 im Detail behandelt. Die Vielzahl an unterschiedlichen konstruktiven Zeichnungen, im Konstruktionsprozess genutzt werden können, ist überraschend. Einige Unterscheidungsmerkmale sind allerdings nur von untergeordneter Bedeutung. Des Weiteren gibt es sehr viele Überschneidungen zwischen den einzelnen Abgrenzungsbereichen. Es wurde daher versucht, wenige Gruppen mit ähnlichen Zeichnungsmerkmalen zu bilden. Diese werden in den folgenden Kapiteln behandelt und mit Hilfe ausgewählter Beispiele erläutert. Die Veränderungen und Weiterentwicklungen im historischen Verlauf sind dann unmittelbar erkennbar. Folgende Zeichnungsgruppen mit ähnlichen Merkmalen werden definiert:

Bild 6.3/1:
Zeichnungsgruppen mit ähnlichen Merkmalen als Basis für die Struktur der folgenden Kapitel

1. Skizzen aller Art,
2. Zeichnungen für Entwürfe aller Art,
3. Zeichnungen für gesamte technische Objekte aller Art und Baugruppen (Gesamtzeichnungen, Zusammenstellungszeichnungen),
4. Zeichnungen für Einzelteile aller Art,
5. Zeichnungen für Sonderzwecke.

Zeichnungsarten nach DIN 199	
Skizze	kurz angedeutete, meist freihändige Darstellung
Entwurfzeichnung	für Angebot und Ausführung
Angebotzeichnung	zur Erläuterung der Ausschreibung oder Abgabe eines Angebotes
Bestellzeichnung	verbindliche technische Grundlage einer Bestellung
Genehmigungszeichnung	zur Prüfung auf vertragliche oder vorschriftsmäßige Bauart
Lieferzeichnung	technischer Ausweis über die Lieferung
Beschreibungszeichnung	zur Ergänzung einer Lieferbeschreibung
Revisionszeichnung	Lieferzeichnung, in der die für die Revision wichtigen Mängel kenntlich gemacht sind
Statische Zeichnung	graphische Berechnung
Bearbeitungsplan	zur Erläuterung der Arbeitsgänge bei der Herstellung eines Werkstückes
Schaltplan	für elektrische Schaltungen
Wickelplan	für den Verlauf von Wicklungen bei elektrischen Maschinen und Apparaten
Leistungsplan	für das Verlegen elektrischer Leitungen
Rohrplan	für Gas- und Flüssigkeitsleitungen
Bleisplan	für Bleisanlagen
Richtzeichnung (Montagezeichnung)	für den Zusammenbau und Einbau
Fundamentzeichnung	für die Herstellung eines Fundamentes
Einbauehrungszeichnung	für Kessel und Apparate
Lageplan	zur Festlegung der gegenseitigen Lage von Maschinen und Bauteilen
Patentzeichnung	für Patentanmeldungen
Gebrauchsmusterzeichnung	für Gebrauchsmusteranmeldungen
Graphische Darstellung	Linien für Zahlenwerte
Organisationsplan	zur Darstellung einer Organisation
Schaubild	perspektivische Zeichnung von Bauwerken, Maschinen und Apparaten
Druckstockzeichnung	für die Herstellung eines Druckstockes
Stammzeichnung	Zeichnung von grundlegendem Wert (Original) für Konstruktion und Bau
Werkzeichnung	Zeichnung, nach der in der Werkstatt oder auf dem Bau gearbeitet wird
Teilszeichnung	für die Darstellung eines Einzelteiles
Übersichtszeichnung	Gesamtdarstellung
Bleiszeichnung / Tuschezeichnung	Originalzeichnung in Blei, Tusche (Tinta)
Pause	Kopie einer Blei- oder Tuschezeichnung
Lichtpause	Lichtdruck von einer Pause oder pausfähigen Zeichnung
Lichtbild	Photodruck
Druck	Bedruckte Vervielfältigung

Bild 6.3/2: Genormte Zeichnungsarten (um 1920)

Bemerkung:
Die konstruktiven Zeichnungen haben sich im Verlauf der Entwicklung in eine Fülle an unterschiedlichen Zeichnungsarten aufgespalten. Ende des 19. Jahrhunderts begann man, diese Konvolute zu vereinheitlichen. Die ersten Zeichnungsnormen entstanden. Das Beispiel zeigt den Stand der Normung der Zeichnungsarten Beginn des 20. Jahrhunderts.



Bild 6.3/3: Beispiel einer technischen Skizze eines Kriegswagens für Bogenschützen (Italien, 15. Jahrhundert)

- Federzeichnung, ohne Schattierung, ohne Lavierung,
- Anschauliche Darstellung in Mischtechnik
 - Wagen näherungsweise in axonometrischer (isometrischer) Projektion konstruiert, Hilfslinien z.T. noch erkennbar,
 - Pferde und Personen in freier Manier gezeichnet,
- Vierrädriger Kastenwagen ohne Lenkung,
- Seitlich an den Achsen und am Geschirr angebrachte „Seche“ als zusätzliche Waffen.

7. DIE TECHNISCHE SKIZZE

7.1 Technische Skizzen im konstruktiven Prozess

Es gibt viele Gründe, warum in der Technik mit Skizzen gearbeitet wird. Ob ein Gedanke oder das Ergebnis eines Gesprächs festgehalten werden soll, eine Idee schnell fixiert werden muss, eine komplizierte geometrische Situation einer Klärung zugeführt werden soll, ein geometrisches Modell für eine Überschlagsberechnung nötig wird usw., immer werden Skizzen unterschiedlichster Art eingesetzt. Skizzen sind im Allgemeinen nicht maßstäblich. Sie werden üblicherweise in freier Manier mit einfachen Zeichenutensilien angefertigt. Sie sind individuell unterschiedlich. Sie werden in der Regel sehr schnell angefertigt. Skizzen sind die Vorstufen einer endgültigen Zeichnung. Die Bedeutung von Skizzen im konstruktiven Entwicklungsprozess wird allgemein unterschätzt.

Unabhängig von der Art der Skizze können im konstruktiven Prozess drei Anwendungsfälle unterschieden werden:

1. Skizzen im konstruktiven Problemlösungsprozess

Fast man das Konstruieren als Problemlösungsprozess auf, so besitzen die frühen Phasen dieses Prozesses entscheidende Bedeutung. In der Technik ist es üblicherweise so, dass in diesen Phasen auf der Basis von abstrakten, skizzenartigen Beschreibungen Bewertungen und Entscheidungen getroffen werden, die maßgebenden Einfluss auf alle Aspekte der späteren Realisierung haben, für die Funktionen, Dimensionen, Materialien und Herstellkosten. Die Entscheidungssituation ist durch unvollständige Informationen, Widersprüche und die Unmöglichkeit gekennzeichnet, Details mit vertretbarem Aufwand weiter zu konkretisieren. Technische Skizzen haben eine fundamentale Bedeutung bei der Suche nach Prinziplösungen und Lösungskonzepten.

Das technische Skizzen in der Fachliteratur ein Schattendasein führen, liegt an ihrer „Vergänglichkeit“. Bis ein hinreichend geeignete Lösung eines Problems gefunden wird, werden im Allgemeinen eine Unmenge an Skizzen gezeichnet, variiert, verworfen, neu definiert usw. Nach einer Entscheidung ist das vorangegangene Material nicht mehr wichtig. Das meiste wird weggeworfen. Ist die ausgewählte Skizze in einen Entwurf eingeflossen, ist sie ebenfalls nicht mehr notwendig. Das ist auch ein Grund dafür, dass zum einen deren Bedeutung nicht gesehen wird und zum anderen, dass so wenig authentisches Material von Skizzen vorhanden ist.

Ein weiterer Grund ist die Art und Weise ihrer Entstehung. Skizzen sind technische Freihandzeichnungen. Zum Freihandzeichnen ist eine gewisse Begabung erforderlich, die bringt nicht jeder Konstrukteur in gleichem Umfang mit. Des Weiteren erfordert das Skizzieren ständiges üben. So unterschiedlich wie die Arbeitssituationen und individuellen Talente sind inhaltlichen Ausdrucksformen. Die meisten Skizzen sind wenig „ansehnlich“. Es gibt keinerlei Regeln für die zeichnerische Anfertigung. Eine Vielzahl an Skizzen ist inhaltlich nur von dem interpretierbar, der sie gezeichnet hat. Technische Skizzen sind nicht auf die Anwendung zeichnerischer Mittel beschränkt. Im Gegenteil. Viele Skizzen enthalten schriftliche Bemerkungen und Hinweise, Symbole, Abkürzungen, Überschlagsberechnungen u.a.m.

Mit Skizzen kann der gedanklichen Dynamik des Problemlösungsprozesses leicht gefolgt werden, sie sind schnell anzufertigen, leicht zu korrigieren und zu ergänzen. Das Arbeiten mit Skizzen kann das Finden von Lösungen unterstützen, ja sogar erst zu einem Ergebnis führen. Der hohe Abstraktionsgrad und das nicht Berücksichtigen von Nebensächlichem fördert die Lösungsfindung. Skizzen werden primär in den frühen Phasen des Konstruktionsprozesses eingesetzt. Sie werden aber auch zur Klärung von Problemen in den späteren Phasen verwendet.

Das Anschauliche Denken herrscht in den Ingenieurwissenschaften vor. Das Denken und Arbeiten mit den abstrakten Darstellungsformen von Skizzen ist die anspruchsvollste Art des visuellen Denkens. Wenn man sich mit Technikern unterhält, so fällt oft die Bemerkung „die Funktion hatte ich im Kopf, lange vor dem Entwurf“. Viele können „im Kopf das technische Objekt bauen, in Gedanken in Funktion bringen, die Abläufe variieren, und sich wichtige Details genau vorstellen“. Auch diese Fähigkeiten sind individuell sehr unterschiedlich entwickelt. Des Weiteren müssen sie ständig trainiert werden.

Bisher wurde die Arbeit mit Skizzen als ein individueller Vorgang betrachtet. Für weite Strecken des 18. und 19. Jahrhunderts trifft das zu. Im 20. Jahrhundert nicht mehr. In den 1930er Jahren war es geradezu eine Mode, in Arbeitsgruppen Lösungen zu suchen. Kommunikationsbasis waren natürlich Skizzen. Das führte dann später zur Entwicklung mehr oder weniger erfolgreicher „Kreativitätstechniken“.

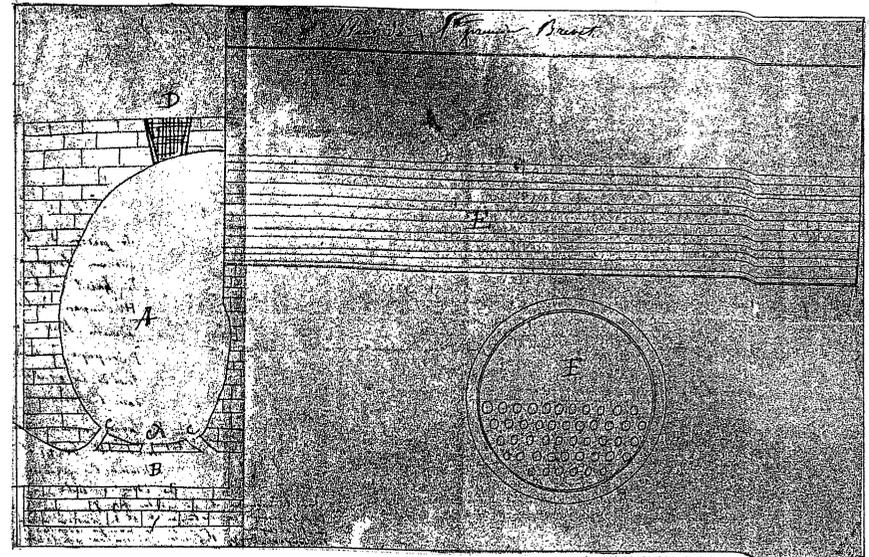


Bild 7.1/1: Ausschnitt einer Originalskizze zu einer Idee eines Röhrenkessels
(M. Seguin, 1827)

2. Spontane Dokumentation einer Idee mit Hilfe von Skizzen

Diese Art von Skizzen war für Ingenieure mit visuell geschultem Gedächtnis sehr wichtig. Spontane Lösungsideen entstehen nicht auf Abruf. Es war sehr nützlich, diese Ideen unmittelbar zu notieren. In der Vergangenheit war es üblich, dass die mit der Lösung technischer Probleme beauftragten Personen ein Skizzenbuch bei sich führten. Meist ein gebundenes Büchlein mit kariertem Papier und eingebundenem Zeichenstift. Derartige Dinge gibt es heute noch. Leider ist ihre Funktion kaum noch bekannt. Interessant ist, dass es berühmte Erfinder, Ingenieure und Kunstmeister gegeben hat die diese „Technik“ intensiv genutzt haben. Allen bekannt dürften die Skizzenbücher des Leonardo da Vinci sein. Die sorgfältigen Skizzen, in freier Manier gezeichnet, haben einen hohen künstlerischen Wert. Noch interessanter im Zusammenhang mit Skizzen ist, dass sich, trotz der individuellen Unterschiede im „Zeichenstil“, diese Skizzen noch heute „lesen“ lassen. Man kann sogar sagen, dass sich die Art und Weise der Darstellungen zwar stark unterscheiden, aber grundlegende Brüche in den vergangenen Jahrhunderten nicht festzustellen sind.

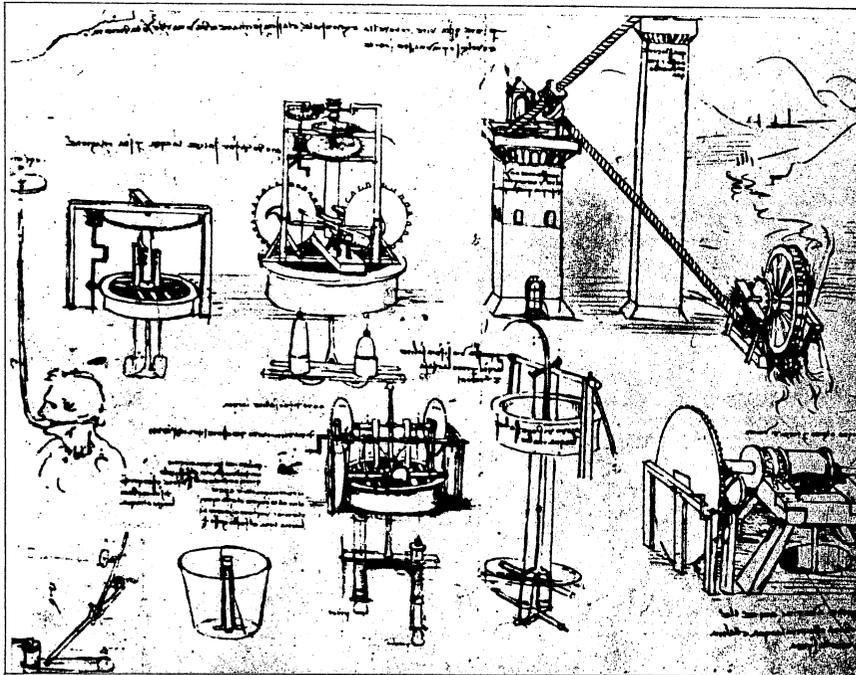


Bild 7.1/2: Ausschnitt aus einem Blatt des Skizzenbuchs von Leonardo da Vinci (um 1500)

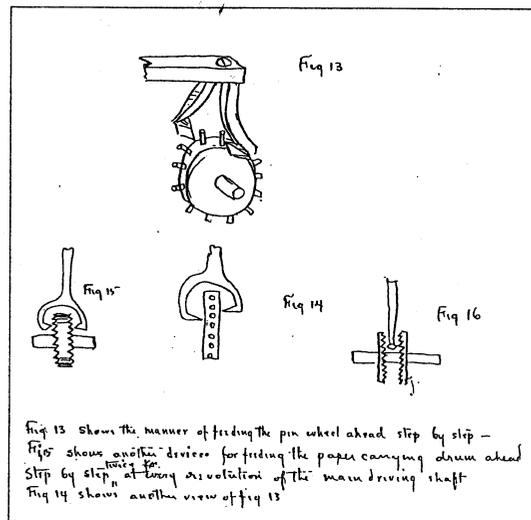


Bild 7.1/3:
Ausschnitt aus einem Skizzenblatt
für ein Schrittschaltwerk eines
Druckwerk
(A. Edison, um 1870)

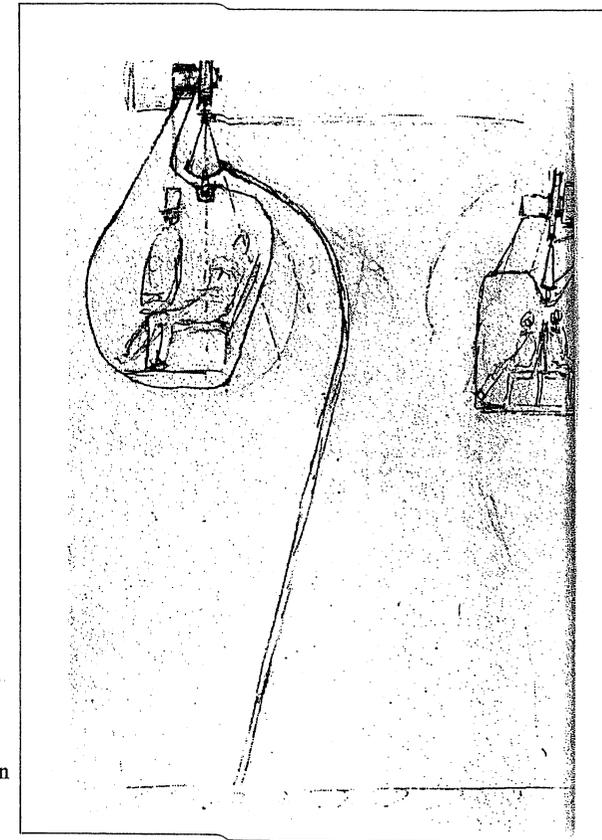


Bild 7.1/4:
Skizze zu einer Idee
für freischwebende Wagen
einer Einschienenbahn
(E. Lange, 1895)

3. Aufnahmeskizzen

Diese Art von Skizzen sei hier der Vollständigkeit halber erwähnt. Es kam im Prozess des Konstruierens vor, dass von vorhandenen Objekten von Hand Maßaufnahmen gemacht werden mussten. Diese Art der Skizzen orientierte sich an dem Stil technischer Zeichnungen der jeweiligen Zeit, allerdings als Freihandzeichnungen. Bei vollständigen Aufnahmen wurden die Objekte in allen erforderlichen Ansichten und Schnitten gezeichnet, mit allen Maßen. Bei unvollständigen Aufnahmen reichte es, wenn umrissartig gearbeitet wurde und nur der wichtige Ausschnitt vollständig dargestellt wurde. Es gab sie auch als räumliche Darstellungen, z.T. sehr sorgfältig ausgearbeitet. Diese Skizzen waren ohne zeichnerisches Talent, ohne Kenntnisse der eingesetzten Technologien und handwerkliche Erfahrung nicht anzufertigen. Fester Bestandteil der Ausbildung von Technikern war eine Zeit lang das Üben von Aufnahmeskizzen durch Nachzeichnen von Übungsobjekten. Ein weiteres Übungsfeld war das Skizzieren aus dem Gedächtnis. Es wurde beispielsweise auf Exkursionen systematisch dadurch trainiert, dass bestimmte Objekte „im Nachhinein“ zu Papier gebracht werden mussten. Heute sieht man diese „handwerklichen Arbeiten“ oft mit Geringschätzung. Zu Unrecht, wenn man sich die vergangenen Jahrhunderte und die Fortschritte in der technischen Entwicklung ansieht.

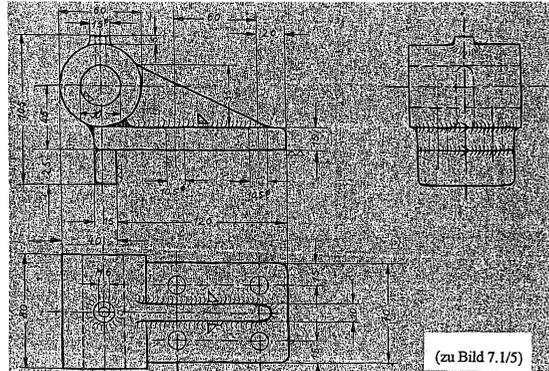


Bild 7.1/5:
Werkstattaufnahme eines geschweißten Lagers

4. Berechnungsskizzen

Eine Auslegung von Maschinen ist ohne Berechnungen nicht möglich. Basis dieser Berechnungen sind häufig Skizzen, die wesentliche Geometrien der Maschinenteile beinhalten, die berechnet werden sollen. Skizzen und korrespondierende Berechnungen sind so auszuführen, dass ggf. später bei Nachrechnungen der Berechnungsgang überprüft werden kann.

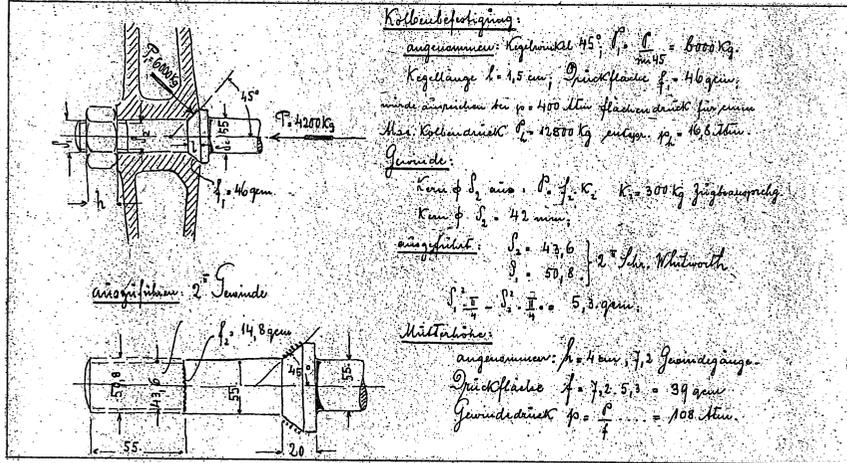


Bild 7.1/6: Berechnungsskizze einer Schraubverbindung

5. Skizzen in Reisetagebüchern

Im 18. und 19. Jahrhundert war der Wissenstransfer durch eine unmittelbare Inaugenscheinnahme des neuesten Standes der Technik durch entsprechende Forschungsreisen üblich. Sie fanden meist mit Unterstützung staatlicher Stellen statt. Das Gesehene wurde in Reisetagebüchern festgehalten. Diese Tagebücher sind oft sehr sorgfältig und detailgenau gezeichnet worden. Auch bekannte Maschinenbauer der ersten Stunde, wie Schwartzkopf, Borsig, Hoppe u.a.m. haben viele Ideen auf ihren Forschungsreisen gesammelt. Zeichnerische Darstellungsformen waren die unterschiedlichsten Arten von Skizzen. Ergänzt wurden die Skizzen durch textliche Beschreibungen und Berechnungen.

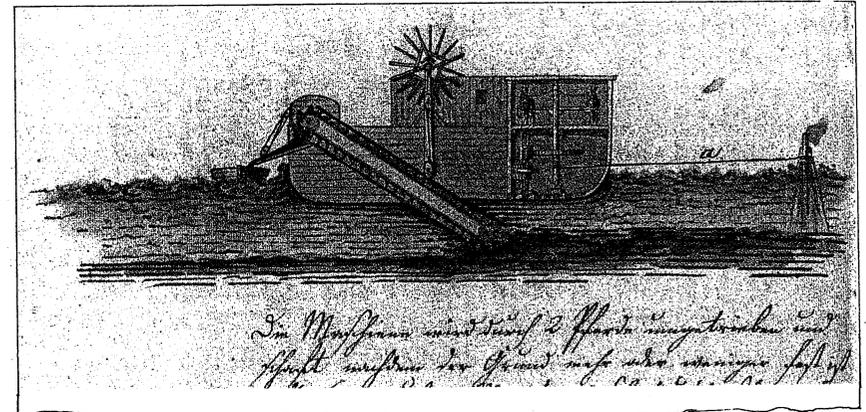


Bild 7.1/6: Blatt aus dem Reisetagebuch von Friedrich Gilly zu seiner Hollandreise, 1790 (dargestellt ist ein Baggerschiff mit Pferdeöpelantrieb)

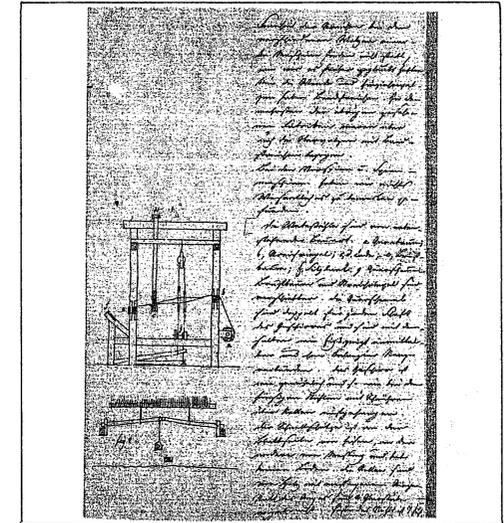


Bild 7.1/7: Blatt aus dem Reisetagebuch von Georg Anton Frank, 1814 (dargestellt ist ein Webstuhl)

Bemerkung:

Die Bezeichnung „Skizze“ für das schnelle, meist freie Zeichnen hat sich in der Technik erst ab 1860 durchgesetzt. Davor waren Begriffe aus dem französischen Sprachgebiet üblich. Frankreich war in dieser Zeit auf dem Gebiet der darstellenden Geometrie führend. Eine Skizze wurde als „Croquis“ bezeichnet, mit „croquieren“ war skizzieren gemeint. Maße waren „Coten“, bemaßen wurde als „cotieren“ bezeichnet.

Bemerkung:

Technische Skizzen haben heute bei der rechnergestützten Konstruktion (CAD) nur noch eine geringe Bedeutung. Der schnelle Überblick über ein Lösungsprinzip auf hohem Abstraktionsniveau, die schnelle Variation von Parametern wird durch das schnelle, wesentlich genauere Durcharbeiten im Rechner ersetzt. Welche Algorithmen die Programmierer der CAD-Systeme verwendet haben, ist dem Nutzer kaum bekannt. Sie sind auch nicht von Interesse. Wichtig ist die schnelle Lösung. Ob die Lösungen tendenziell besser sind als die auf „manuellem Weg“ ermittelten ist allerdings ungewiss. Leider geht mit diesen neuen Techniken auch ein großer Teil von Erfahrungswissen, an Konzeptqualität und von methodischer Kompetenz beim Problemlösen verloren.

In Altenweddingen, im Magdeburger Revier, wurde um 1768 die erste Grube für den Tiefabbau von Braunkohlen angelegt. Die Grubenentwässerung war von Anfang an ein Problem. Nach mehreren, nur begrenzt erfolgreichen Versuchen zur Wasserförderung mit manuellen Mitteln und mit unterschiedlichen Göpeln wurde eine „Feuermaschine“ (Balancier-Dampfmaschine) zum Einsatz gebracht. Um 1776 nahm sie den Betrieb auf. Sie sollte etwa 20 Kubikfuß Grubenwasser aus einer Tiefe von 120 Fuß heben. Sie arbeitete bis 1828 allerdings nicht zuverlässig und die Grube „soff immer wieder ab“. Die Maschine musste mehrfach in einen „brauchbaren Stand versetzt“ werden. Die Skizze eines Maschinensteigers aus dem Jahr 1822 zeigt einen beabsichtigten Umbau der Maschine. Die Erläuterungen zu den angestrebten Verbesserungen waren von ihm direkt neben der Skizze vermerkt worden. Diese Verbindung von konstruktiver Skizze und schriftlicher Ergänzung war typisch für diese Zeit.

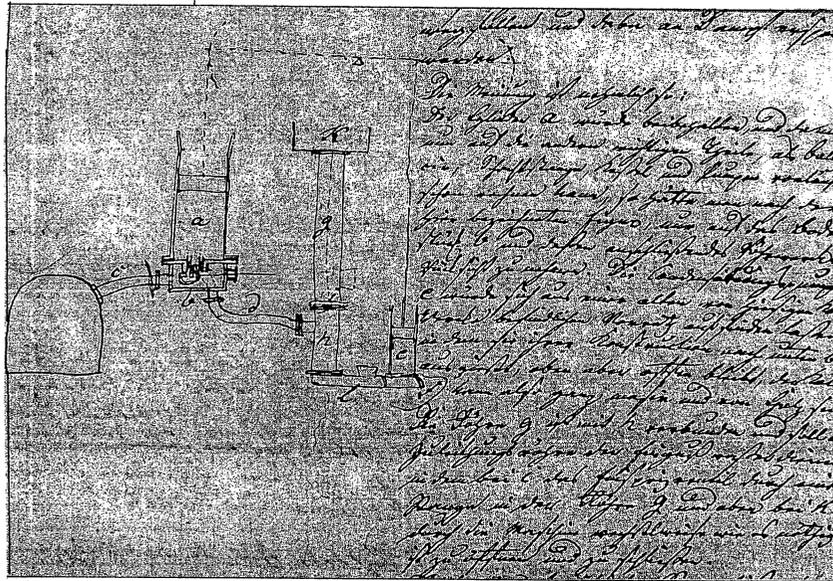


Bild 7.2/4.4: Ausschnitt aus der Umbauskizze für eine Balancier-Dampfmaschine zur Entwässerung einer Braunkohlengrube in Altenweddingen (um 1822)

Zur Wasserhebung erfand Christian Huygens 1673 eine Maschine zur Versorgung der Wasserkünste in Versailles. Sie bestand aus einer Kolben-Zylinder-Einheit mit oben am Kolben befestigtem Seil, mit dessen Hilfe beispielsweise Gewichte gehoben werden konnten. Zur Wasserhebung wurden am Seil Kübel befestigt, die über eine Seilumlenkung nach oben befördert wurden. Es war eine Schießpulvermaschine. Im Hubzylinder wurde am Zylinderboden eine geringe Menge Schießpulver zur Explosion gebracht. Der Kolben flog durch die Explosion nach oben, über die seitliche Röhre hinaus, aus der die überschüssigen Gase entwichen. Verschluss man die seitliche Röhre (Lederklappen, Kolbenmantel) so baute sich im Zylinderraum ein Vakuum auf. Durch den atmosphärischen Druck wurde der Kolben mit großer Kraft nach unten bewegt. Diese Kraft wurde zur Hebung von Gewichten genutzt.

Dennis Papin in Marburg, ehemaliger Assistent von Huygens, verbesserte 1887 die Schießpulvermaschine. Ihr Betrieb war danach weniger gefährlich.

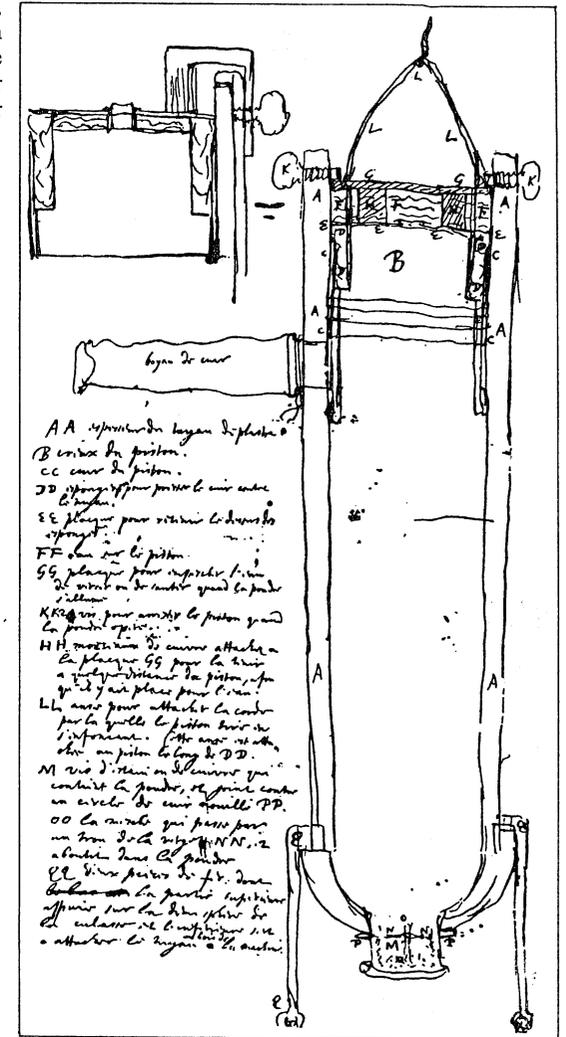


Bild 7.2/4.5: Beredete schematische Skizze einer Schießpulvermaschine (Christian Huygens, 1673)

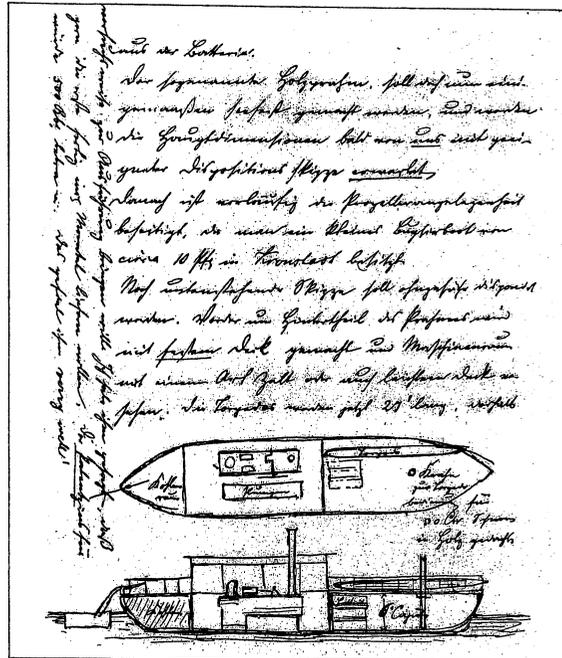


Bild 7.2/10:
 Skizze mit Erläuterungen
 zur Unterbringung
 eines Torpedos
 in einem Schiff
 (angefertigt von
 L. Schwartzkopff, 1876)

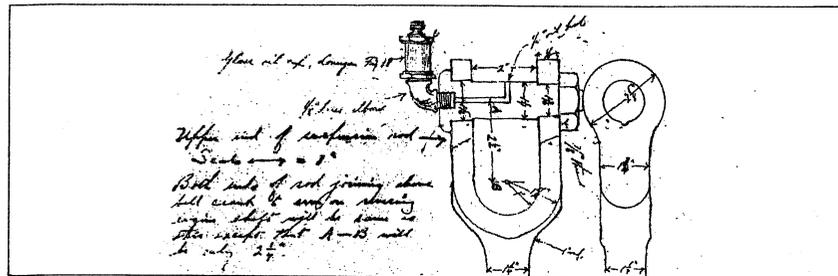


Bild 7.2/11: „Beredte“ schematische Skizze eines Gabelkopfes für eine Dampfmaschine
 (angefertigt von E. D. Leavitt, um 1888)

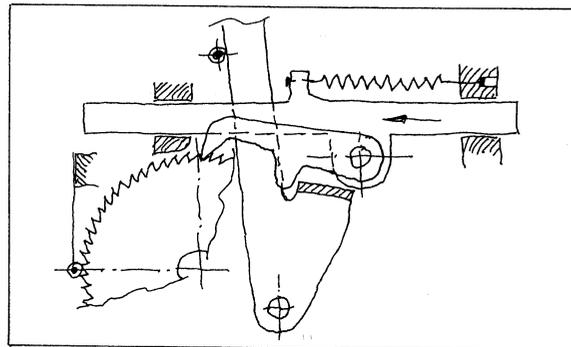


Bild 7.2/12:
 Ausschnittsskizze eines
 Schaltgetriebes für eine
 Schreibmaschine
 (um 1910)

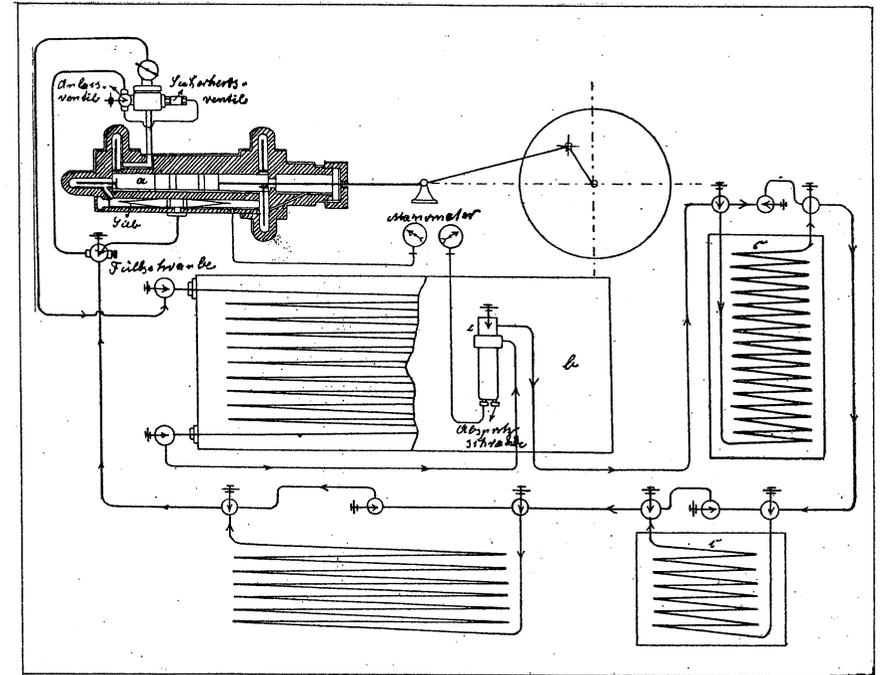


Bild 7.2/13: Schematische Darstellung einer Kohlendioxid-Eismaschine der Fa. Hauboldt
 (um 1911)

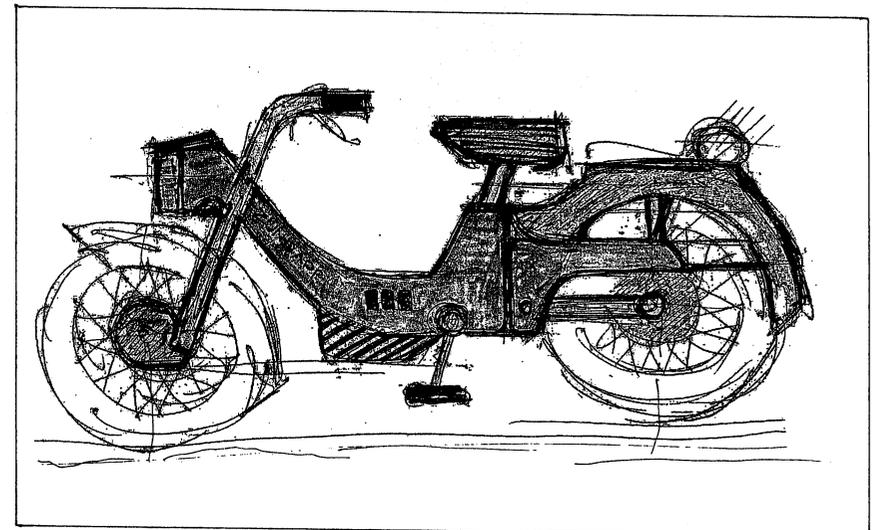


Bild 7.2/14: Entwurfsskizze eines Mopeds (Zündapp, um 1970)

7.3 Anschauliche Skizzen

Durch anschauliche Skizzen wird ein technisches Objekt in seiner räumlichen Wirkung dargestellt. Diese Art der Skizzen ergänzen häufig die schematischen oder parallelprojektiven Darstellungen. Im Allgemeinen werden sie in freier Manier gezeichnet. Das Anfertigen anschaulicher Skizzen ist aufwendiger als die Erstellung einfacher schematischer Skizzen. Ohne zeichnerisches Talent und regelmäßige Übungen sind gute anschauliche Skizzen nicht zu erreichen. Diese Skizzen können mehrere Funktionen erfüllen:

- Umsetzung eines in senkrechter Parallelprojektion gezeichneten Objekts in eine anschauliche Darstellung (z.B. um Klarheit über eine Montagesituation zu erhalten),
- Klärung der geometrischen Verhältnisse an in senkrechter Parallelprojektion gezeichneten Bauteilen (z.B. um die Funktion oder die Herstellbarkeit zu klären),
- Überprüfen von Form und Funktion „gedanklicher“ Vorstellungen,
- Übungs- und Schulungszwecke u.a.m.

Anschaulichkeit bedeutet nicht genaue zentralprojektive Darstellung. Im Gegenteil. Betrachtet man die anschaulichen Skizzen im Kapitel 3 so fällt auf, das im Laufe der Entwicklung alle Varianten anschaulicher Darstellungen eingesetzt worden sind. Es werden selten Symbole, Kurzzeichen und Sinnbilder als Hilfe zur Erläuterung verwendet. Der Übergang zu den Skizzen der Künstler ist fließend. Mit Bleistift sorgfältig angefertigte anschauliche Skizzen technischer Objekte kann man fast schon als „Kunstwerke“ bezeichnen. Das mag auch der Grund dafür sein, dass ältere „anschauliche“ Darstellungen heute noch relativ gut „lesbar“ sind. Der Zweck dieser Darstellungen lag nicht in der genauen Dokumentation der Ausführung der technischen Objekte, sie dienten primär als Herstellungshilfen für versierte Handwerker. Auch wenn die Anschaulichkeit alter Skizzen aus heutiger Sicht sehr unvollkommen ist, müssen diese Bilder seinerzeit eine sehr eindringliche Wirkung auf die Betrachter gehabt haben. Den „räumlichen“ Eindruck erzielten die frühen Darstellungen durch verschiedene Verfahren. Beispielsweise durch flächig gearbeitete Linearzeichnungen, bei denen die einzelnen Objekte in der Tiefe gestaffelt waren und eine geringfügige Verkürzung aufwiesen. Man kann diese Bilder als eine Vorform der Perspektive ansehen.

Aus Ägypten, aus der Zeit des Alten Reichs (ca. 3000 bis 2200 v. Chr.), sind eine Vielzahl anschaulicher Darstellungen aus Tempeln und Gräbern bekannt. Die Perspektive war in Ägypten noch nicht bekannt. Die Anschaulichkeit wurde durch Umklappen der „Sicht“ erreicht, und zwar in einer einzigen Zeichnung. Die Darstellungen zeigen etwas Ähnliches wie einen gleichzeitigen „Auf- und Grundriss“. Es sind auch Darstellungen bekannt, bei denen beispielsweise Personen (also Objekte gleicher Größe) unterschiedlich groß gezeichnet worden sind. Die Vermutung, dass es sich dabei um Vorformen von räumlichen Darstellungen gehandelt hat, kann nicht sicher bestätigt werden. Unabhängig von der Zeichnungsausführung war es generell üblich, wichtige Personen größer darzustellen.

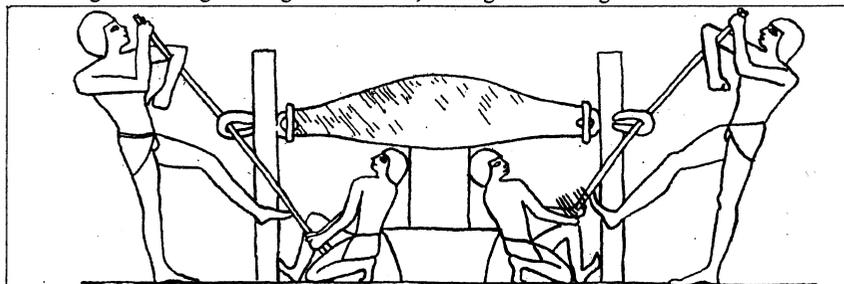


Bild 7.3/1: Anschauliche technische Skizze einer Presse, die Personen im Vordergrund sind größer gezeichnet als die im Hintergrund (um 1200 v. Chr.)

Aus den anschaulichen Skizzen aus griechischer und römischer Zeit sind die Bemühungen erkennbar, die räumliche Wirkung durch eine der Perspektive ähnliche Staffelung von Objekten je nach Entfernung darzustellen. Die Gesetze der Zentralprojektion waren in der Zeit noch nicht bekannt. Trotzdem erreichten die Skizzen ein hohes Maß an räumlicher Wirkung. Das Zeichnen war eine Kunst. Durch die intensive, z. T. jahrelange Übung in entsprechenden „Schulen“ wurde ein beachtliches Darstellungsniveau erreicht.

Die aus dem Mittelalter überlieferten anschaulichen Skizzen zeigen ein gemischtes Bild. Bei einem erheblichen Teil der Arbeiten wurde die Anschaulichkeit durch das alte Verfahren des „Umklappens“ von Aufrissansichten in die Grundrissdarstellung erreicht. Das Beispiel zeigt einen vierrädrigen Streitwagen. Die Funktion ist aus dem Bild nicht eindeutig zu erkennen. Vermutlich sollte der Wagen mit Hilfe von Kurbeln und einem Rädermechanismus angetrieben werden

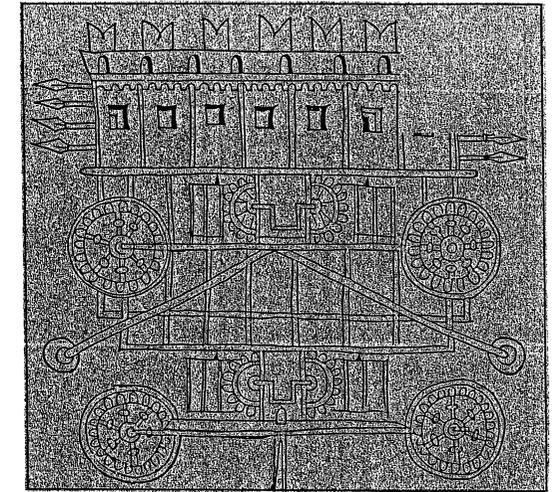


Bild 7.3/2: Anschauliche Skizze eines vierrädrigen Streitwagens, in „umgeklappter“ Manier gezeichnet (um 1330 n. Chr.)

Im ausgehenden Mittelalter sind auch Skizzen mit gutem, fast schon „perspektivischem“ Bildeindruck entstanden. Das Beispiel zeigt die Handskizze einer Sägemühle, mit Antrieb durch ein Wasserrad. Gezeichnet wurde sie als schiefe „Parallelprojektion“, allerdings mit wechselnden Einblickrichtungen. Das Sägeblatt stand senkrecht und wurde von einem Hebelmechanismus nach unten gezogen. Ein federnder Baumstamm zog nach jedem Schnitt die Säge wieder nach oben.

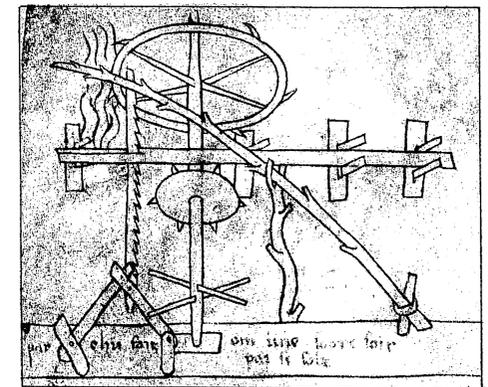


Bild 7.3/3: Anschauliche Skizze einer Sägemühle (Villard de Honnecourt, um 1400 n. Chr.)

Eine andere Qualität wiesen die anschaulichen Skizzen 100 Jahre später auf. Die Darstellung eines zweirädrigen Wagens zeigt das besonders eindrucksvoll. Im oberen Teil des Bildes ist der Wagen, eine sogenannte „Carreta“, im Zusammenbau gezeichnet. Im unteren Teil sind das Wagengestell und der Wagenkasten getrennt dargestellt. Die Skizze kann man als sehr gute Zentralprojektion bezeichnen. Sie ist problemlos zu „lesen“.

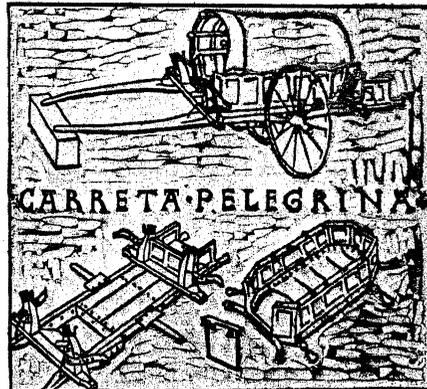


Bild 7.3/4:
Anschauliche Skizze des Gestells und des Wagenkastens eines zweirädrigen Wagens in guter räumlicher Wirkung (um 1510 n. Chr.)

Aus der Zeit der Renaissance liegt eine Vielzahl anschaulicher Skizzen von technischen Objekten vor. Die Erforschung des räumlichen Sehens führte die Künstler und Ingenieure jener Zeit zu den grundlegenden Prinzipien der Zentralprojektion. Diese Erkenntnisse wurden im 16. Jahrhundert in exakt konstruierten perspektivischen Darstellungen umgesetzt, auch in den Freihandskizzen technischer Objekte. Allgemein bekannt sind die Skizzenbücher des Leonardo da Vinci. Aus den tausenden von Skizzen wird hier nur ein Beispiel herausgegriffen, und zwar die eines fahrbaren Kranes.

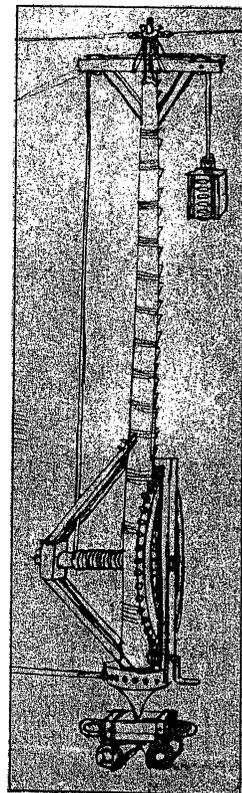


Bild 7.3/5:
Anschauliche Handskizze eines Kranes (angefertigt von Leonardo da Vinci, um 1500 n. Chr.)

Mit welcher Sorgfalt anschauliche Skizzen angefertigt worden sind zeigt das folgende Beispiel. Die Skizze wurde in guter Zentralprojektion mit einigen Hilfsmitteln (z.T. mit Lineal und Zirkel) von Georg von Reichenbach 1791 angefertigt. Bei einer Reise durch England nahm er die neuesten Entwicklungen in seinem Skizzenbuch auf. Das Bild zeigt eine „Wallish Steam Engine“ mit allen wesentlichen Merkmalen. Im Original war die Skizze koloriert.

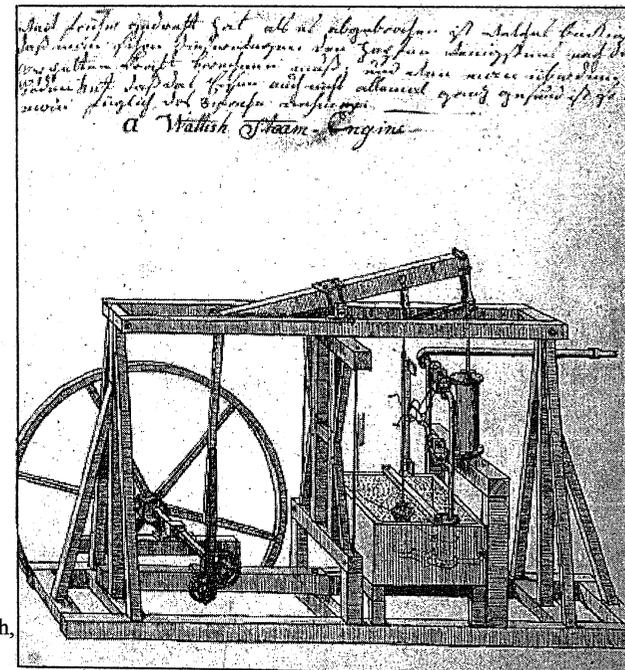


Bild 7.3/6:
Perspektivische Skizze einer Dampfmaschine (angefertigt von Georg von Reichenbach, um 1791)

Eine freie, anschauliche Handskizze mit vielen individuellen Stilelementen ist von Anton Henschel, Cassel, erhalten geblieben. Sie zeigt die Idee einer neuartigen Feuerspritze. Die Zeichnung wurde vermutlich um 1840 erstellt. Anstelle einer Pumpwippe mit direkter Wirkung auf die Kolbenpumpe war bei dieser Spritze ein vierfacher Drehbaum analog zum Göpel vorgesehen. Das versprach eine größere Spritzenleistung.

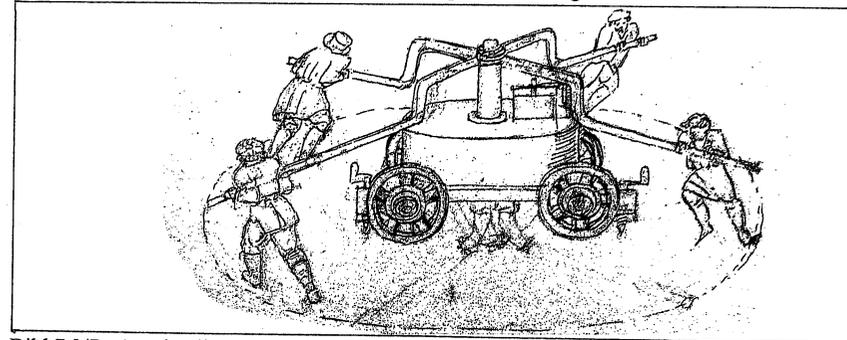


Bild 7.3/7: Anschauliche Skizze zur Idee einer Feuerspritze (Anton Henschel, um 1840)

Zum Zeichnen einer genauen zentralprojektiven Skizze sind Vorarbeiten notwendig. Die Fluchtpunkte müssen bestimmt werden, die Horizontlinie festgelegt, der Hauptpunkt angenommen werden u.a.m. Es muss eine Vorzeichnung der perspektivischen Strukturen erfolgen. Das ist aufwendig und setzt die Kenntnis der entsprechenden Gesetze der Geometrie voraus. Im folgenden Beispiel sind diese Vorarbeiten gut zu erkennen. Die anschauliche Skizze hat allerdings einen anderen zeichnerischen Charakter als die bisher gezeigten Beispiele. Es handelt sich um die Skizze des Maschinenparks eines Walzwerks. Der Schwerpunkt der Skizze lag nicht auf einer präzisen Erfassung von technischen Details, sondern im Erfassen der grundsätzlichen räumlichen Verhältnisse. Die Skizze war Hilfe bei der Anfertigung eines Gemäldes. Die Perspektive ist präzise und die räumliche Staffelung sorgfältig vorgezeichnet worden. Die Maschinen sind in ihren Grundfunktionen realistisch erfasst.

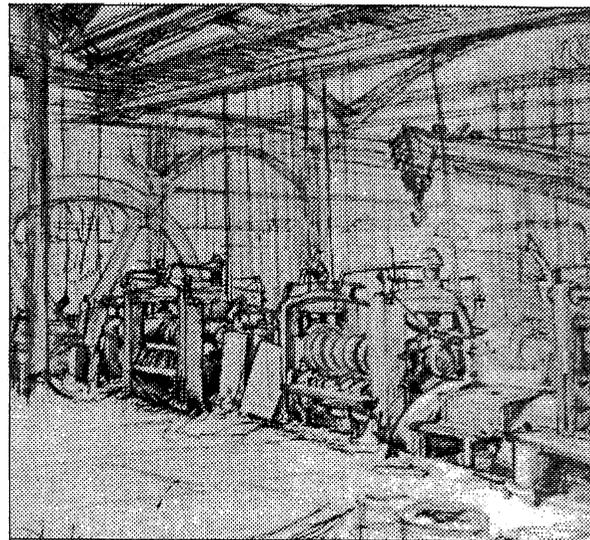


Bild 7.3/8:
Ausschnitt aus einer
anschaulichen Skizze
eines Walzwerks
(angefertigt von A. Menzel,
um 1870)

Eine völlig andere Art einer anschaulichen Skizze mit schriftlicher Erläuterung zeigt die schnell gezeichnete Idee eines motorisierten, dreirädrigen Wagens. Einzelheiten der Funktion sind nicht gezeichnet. Das Wesentliche war die rechteckige Wagenplattform und das vorgesetzte, lenkbare Vorderrad. Es handelt sich um eine 1873 gezeichnete Skizze des vermutlich um 1877 gebauten „Geisbockwagens“ von J. Söhnlein.

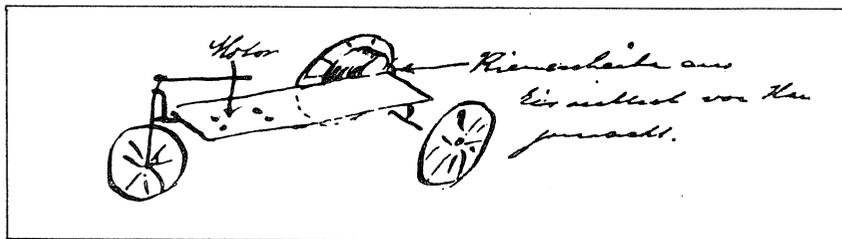


Bild 7.3/9: Anschauliche Prinzipskizze eines dreirädrigen Wagens
(angefertigt von J. Söhnlein, um 1873)

Mitte des 19. Jahrhunderts wurden insbesondere von Konstrukteuren versucht, den Aufwand bei der Anfertigung perspektivischer Darstellungen zu reduzieren. Es entstand eine Vielzahl von Verfahren der „Schnellperspektive“. Am Anfang reduzierte man den Zeichenaufwand noch dadurch, dass man beispielsweise in einer Achse die mit zunehmender Tiefe kleiner werdenden Größen nicht proportional verkürzte. Im Laufe der folgenden Jahrzehnte entstanden daraus anschauliche Darstellungen, die nach festen Regeln gezeichnet wurden, aber die typischen Verkürzungen in der Tiefe nicht aufwiesen. Diese Darstellungen waren sehr viel schneller und einfacher zu zeichnen. Typische Beispiele sind dimetrische oder isometrische Raumbilder. Ein weiterer Vorteil dieser Darstellungen war die maßgerechte Wiedergabe des Objekts, auch in der Tiefenstaffelung.

Die anschauliche Skizze eines Lagerbocks ist in etwa in isometrischer Darstellung gezeichnet worden. Alle Details des Bauteils sind in ihrer räumlichen Lage erkennbar. Einige Bereiche sind schattiert. Als Hilfsmittel wurden teilweise Lineal und Zirkel verwendet.

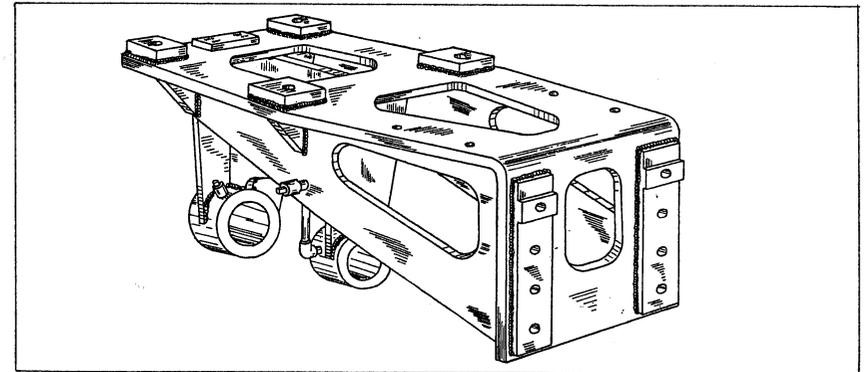


Bild 7.3/10: Anschauliche Skizze (Isometrie) eines Lagerbocks (um 1890)

Zur Klärung der geometrischen Verhältnisse komplizierter Bauelemente und Baugruppen setzte man ebenfalls häufig anschauliche Skizzen ein. Sie wurden grob-maßstäblich meist mit Schnittführungen gezeichnet, die die inneren Verhältnisse genau darstellten. Bei der folgenden anschaulichen Skizzen stand die Klärung der inneren Struktur von Gussteilen im Vordergrund. Durch gedachte Horizontal-, Längs- und Querschnitte kann die gießtechnische Machbarkeit (Hinterschnidungen, Kernformen etc.) überprüft werden. Die in etwa isometrischen Skizzen sind sehr sorgfältig gearbeitet. Wie bei einer technischen Zeichnung sind die Mittellinien und einige Hilfslinien angedeutet. Die Schnittflächen sind z.T. je nach Material unterschiedlich schraffiert. Der räumliche Eindruck ist durch Schattenlinien verstärkt worden.

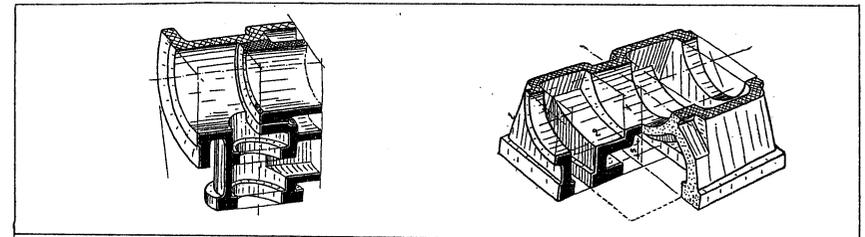


Bild 7.3/11: Isometrische Skizzen eines Rohranschlusses und des Dampfschiebers einer Rider-Steuerung (um 1910)

In den 1920er Jahren wurden von einigen Fachleuten des technischen Zeichnens erneut vereinfachte Verfahren zum Anfertigen anschaulicher Skizzen vorgeschlagen. Es waren alles Abwandlungen von axonometrischen Darstellungen (siehe Abschnitt 5.4). Üblich war es, zwei Dimensionen ohne Verkürzung in die Bildebene zu legen und die dritte Dimension verkürzt (bei einigen Verfahren aber auch unverkürzt) zu zeichnen. Die nachfolgenden Beispiele zeigen ein Verfahren einer so genannten „neuen Schnellperspektive“. Eine weitergehende Erläuterung ist nicht erforderlich.

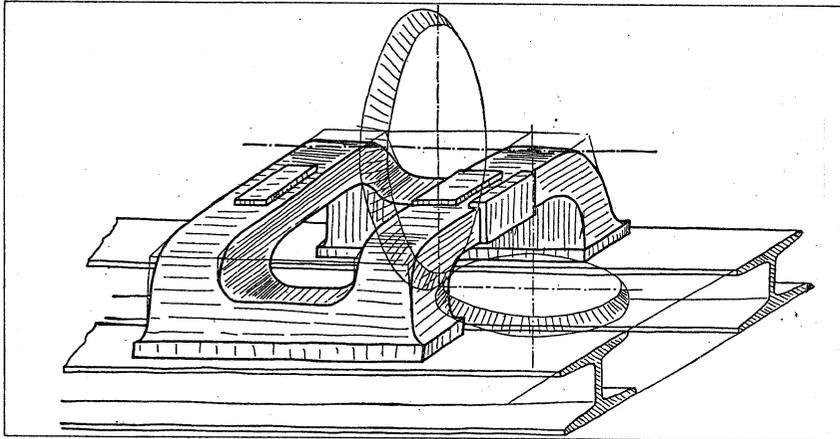


Bild 7.3/12: Skizze zur Entwicklung eines Lagerstuhls für ein Kegelradgetriebe (um 1925)

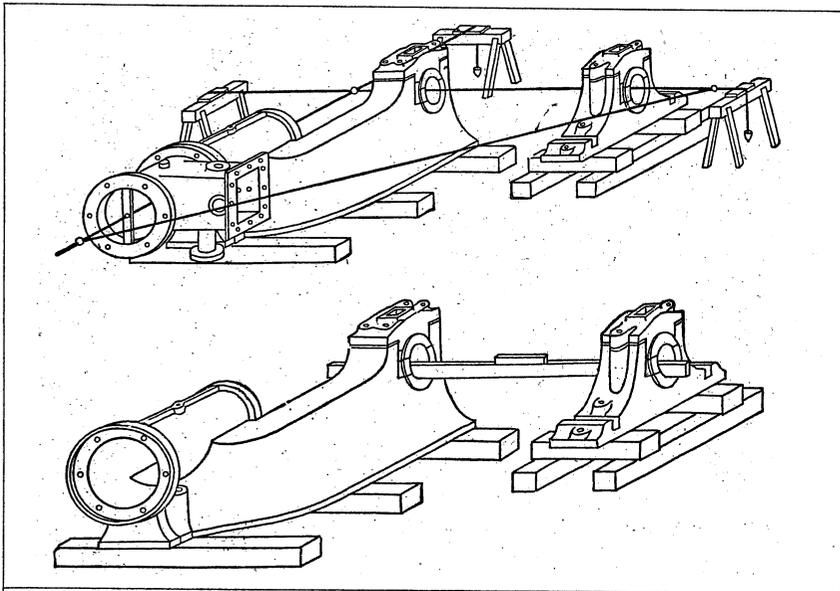


Bild 7.3/13: Skizze zum Ausrichten (Abschnüren) eines Bajonnettrahmens und des Lagers einer Dampfmaschine (um 1930)

Eine sehr sorgfältig angefertigte anschauliche Skizze von Teilen einer Wassersäulenmaschine zeigt das Bild 7.3/14. Die Skizze wurde von Georg von Reichenbach um 1810 angefertigt. Sie ist in vereinfachter Perspektive gezeichnet. Die Schattierungen unterstützen die räumliche Wirkung. Die einzelnen Gutteile sind mit den wichtigsten Maßen versehen. Derartige Skizzen dienten in den Werkstätten als Arbeitsgrundlage. Fehlende Details wurden von den Modellbauern und Gießern in den Werkstätten ergänzt.

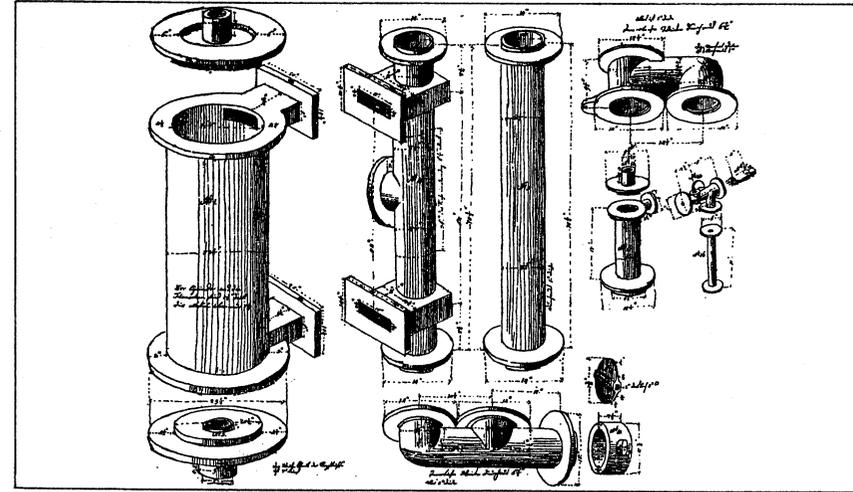


Bild 7.3/14: Anschauliche Skizze von Teilen einer Wassersäulenmaschine (Georg von Reichenbach, um 1810)

Auch das gehörte zum konstruktiven Zeichnen Anfang des 20. Jahrhunderts. Das folgende Bild zeigt eine sehr aufwendig gearbeitete Skizze einer Spannvorrichtung. Es handelt sich um eine isometrische Darstellung, die z.T. mit Hilfsmitteln (Lineal und Zirkel) gezeichnet worden ist. Die Flächen sind vollständig „laviert“ und mit natürlichen Schatten versehen. Die Darstellung mutet fast schon „künstlerisch“ an.

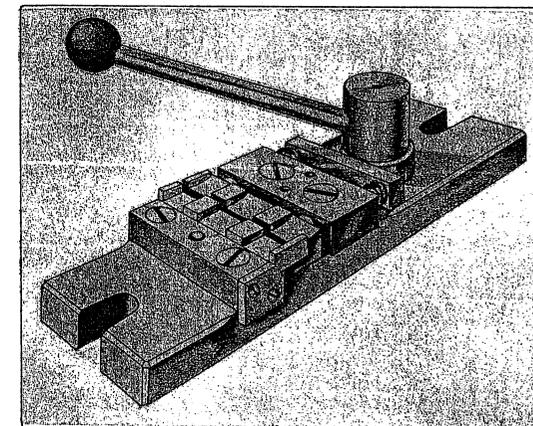


Bild 7.3/15: Anschauliche Skizze einer Spannvorrichtung (Übungsbeispiel, um 1930)

7.4 Parallelprojektive Skizzen

Das Spektrum dieser Freihandskizzen umfasst alle Arten der Parallelprojektion, von der schiefen bis zur orthogonalen. Die Frühformen dieser Darstellungsart findet man schon in Ansätzen im Altertum, weit vor dem Siegeszug der Darstellenden Geometrie. Allerdings oft mit unterschiedlichen geometrischen Merkmalen in ein und derselben Skizze. Zeichnerisches Merkmal ist die Verwendung von einer Art „Grund- und Aufriss“. Eine getrennte Darstellung der „Risse“ in einzelnen „Ansichten“ war noch nicht üblich. Es wurde „ineinander“ skizziert. Überschneidungen zu den schematischen Skizzen sind dabei unvermeidlich. Bei den neueren Skizzen ab der Renaissance entspricht die Ausführung im Wesentlichen dem der üblichen technischen Zeichnungen mit diversen Ansichten und Schnitten. Von textlichen Ergänzungen wurde reichlich Gebrauch gemacht. Der Unterschied zu den bekannten technischen Zeichnungen besteht darin, dass die Skizzen nicht maßstäblich sind, sich auf das Wesentliche beschränken und als Freihandzeichnungen (bzw. gemischt als freie und gebundene Darstellungen) gearbeitet sind. Zum „Lesen“ der Skizzen sind entsprechende Kenntnisse notwendig. Sicherlich ein Grund dafür, dass man diese Art von Skizzen in der allgemeinen Literatur kaum findet. Erschwerend für das Verständnis kommt noch hinzu, dass die Ausführung oft schnell, mit unterschiedlicher Konkretisierung der Inhalte und in den Details individuell unterschiedlich erfolgte. Die Abbildungen, insbesondere die aus frühen Epochen, wirken als Linearzeichnungen sehr abstrakt. Die Skizzen wurden gezielt als Basis für die Anfertigung von technischen Objekten eingesetzt.

Bei den Römern wurde das Verfahren mit Grund- und Aufrissen weiterentwickelt, insbesondere bei den Skizzen der Baukunst. Die einzelnen Ansichten wurden im Allgemeinen getrennt gezeichnet. Man bezeichnete die Darstellungen damals als Ichnographie. Den nächsten Entwicklungsschritt gab es bei den parallelprojektiven Skizzen im Mittelalter. Hervorzuheben sind die Arbeiten in den Skriptorien der Klöster und den großen Bauhütten. Von der Vielfalt an Skizzen technischer Objekte aus dem Mittelalter ist wenig erhalten geblieben. Man findet einzelne Blätter als Beiheftung bei historischen Akten. Von den Skizzenbüchern der Kunstmeister sind nur wenige in den Sammlungen der großen Museen und Landesarchive aufgenommen worden. Sie sind bisher nicht veröffentlicht worden. Künstlerisch sind sie nicht sehr wertvoll. Die Darstellungen und ihre technikgeschichtliche Bedeutung kann von technikfremden Fachleuten nicht verstanden werden. Eine der wenigen erhaltenen Skizzenbücher sind aus der Renaissance die von Leonardo da Vinci. Da Vinci zeichnete u.a. in Hefte, die ein abgeschlossenes Thema enthielten, sehr ausdrucksstark, mit Texten, Zahlaufstellungen und allegorischen Elementen. Vermutlich wäre der Nachlass auch nicht erhalten geblieben, wenn er ihn nicht einem seiner Schüler vermacht hätte, der den einmaligen Wert erkannte.

Es werden im Folgenden nur einige parallelprojektive Skizzen gezeigt. Bei dem Großteil der Beispiele wird nur ein „Riss“, eine Ansicht verwendet. Die Darstellungen sind wenig spektakulär. Sie sind in ähnlicher Ausführung heute Allgemeingut.

Bild 7.4/1:
Skizze (Federzeichnung, Draufsicht)
des Antriebs für ein Fahrzeug mit Hilfe
von Blattfedern und Rädergetrieben
(Leonardo da Vinci, um 1510)

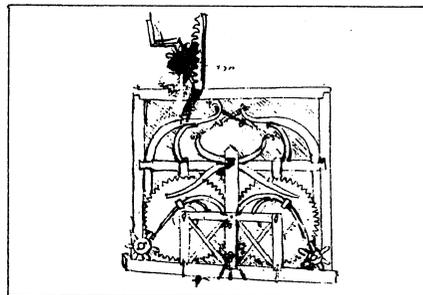


Bild 7.4/2:
Skizze eines Fräasers (Schnittdarstellung),
das Werkzeug war „nach Art von Feilen“
am Außendurchmesser „behauen“
(Leupold, um 1724)

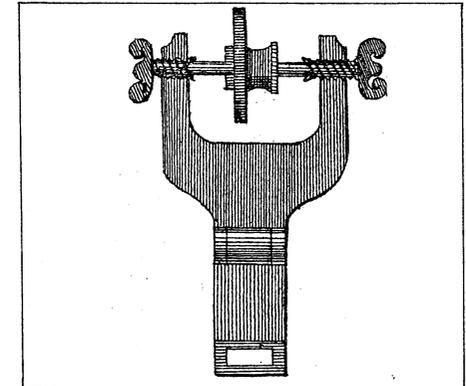


Bild 7.4/3:
Skizze (Schnittdarstellung) eines
Funkenfängers als Kaminabschluss
einer Dampfmaschine
(um 1840)

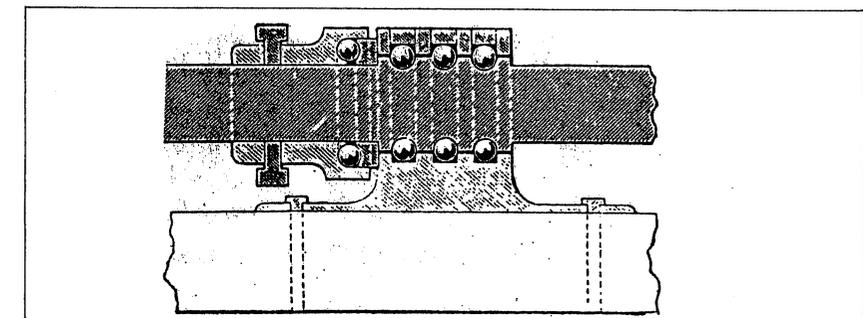
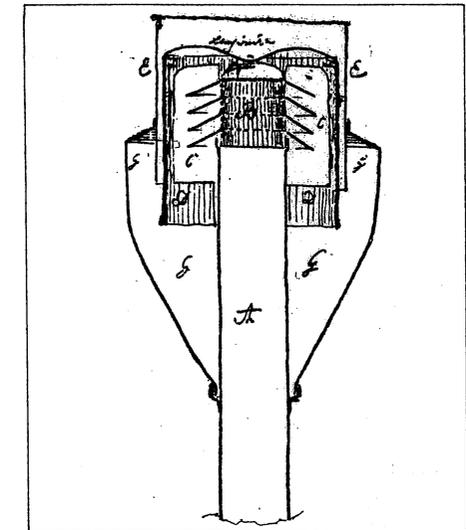


Bild 7.4/4: Skizze eines Kugellagers für eine Schiffswelle (um 1862)

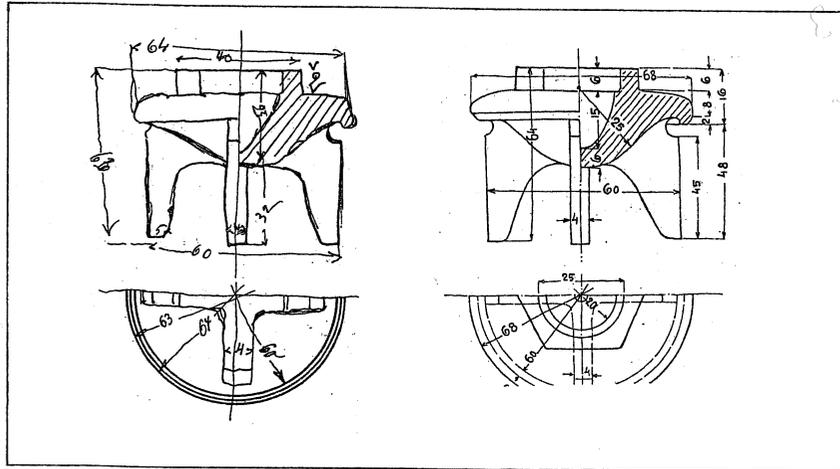


Bild 7.4/11: Skizze und Zeichnung eines Ventiltellers (um 1920)

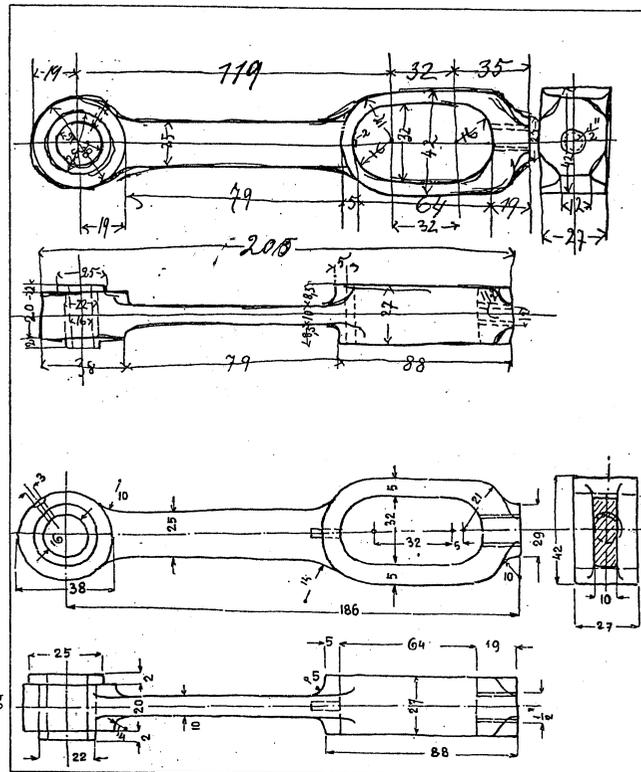


Bild 7.4/12: Skizze und Zeichnung einer Schubstange (um 1920)

Ein weiteres Charakteristikum von Skizzen war der Einsatz von handschriftlichen Bemerkungen, Erläuterungen und ähnlichem zur Funktion der Maschine oder zu deren Herstellung. Das reichte bis zur Aufnahme detaillierter technischer Größen, die funktional wichtig waren, aber als technische Merkmale in den Skizzen nicht untergebracht werden konnten. Es war üblich, in einer Skizze, wenn notwendig, die Darstellungsmaßstäbe zu wechseln. Wichtige Details stellte man oft genauer in vergrößerter Form dar. In einigen parallelprojektiven Skizzen sind auch Berechnungen mit aufgenommen worden. Wie selbstverständlich diente eine Informationsbasis zur Dokumentation aller relevanten Daten zur Auslegung, der Konstruktion, zur Funktionserläuterung, der Herstellungsbeschreibung und der Betriebslerklärung.

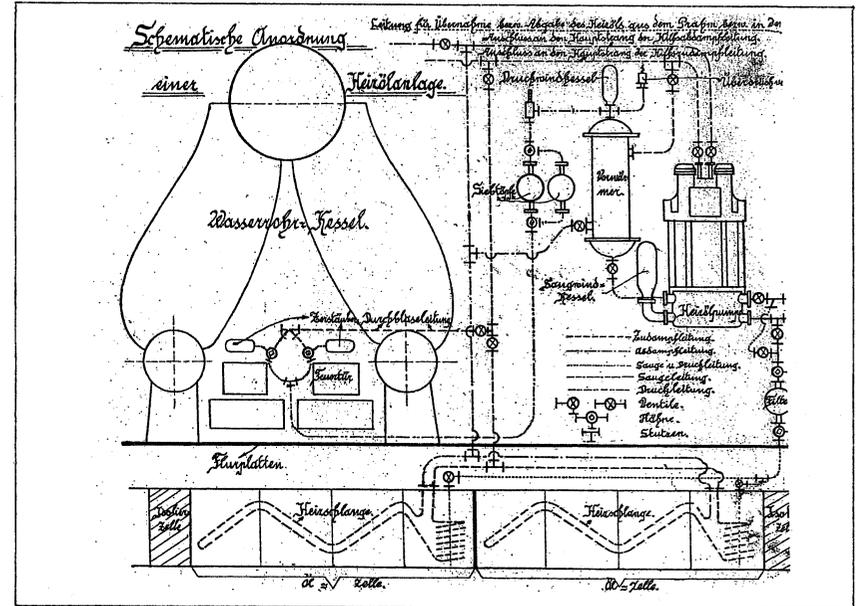


Bild 7.4/13: Beispiel einer „beredeten“ Skizze mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden der dargestellten Objekte, symbolischen Elementen für Rohrleitungsplänen und handschriftlichen Erläuterungen

Die folgende Tafel zeigt den Entwurf einer Lokomotive („D“-Typ, mit zwei Drehstellen). Die Skizze wurde um 1850 von Emil Keßler (1813 – 1867) angefertigt. Keßler war Mitbegründer der Maschinenfabrik Keßler & Martiensens in Karlsruhe (ab 1842 Maschinenfabrik Emil Keßler, Karlsruhe, später „Maschinenfabrik Eßlingen“). Die dargestellte Lokomotive war für die Semmering-Bahn in Österreich vorgesehen. Die Strecke war mit ihren starken Steigungen und engen Kurven so anspruchsvoll, das „normale“ Lokomotiven nicht eingesetzt werden konnten. Es wurde von den österreichischen Behörden ein Wettbewerb ausgeschrieben, um die bestmögliche Konstruktion zu finden. Die Maschinenfabrik Eßlingen beteiligte sich, erhielt aber für diese Strecke nicht den Zuschlag. Die Konstruktion von Eßlingen wurde später für andere Bergbahnen erfolgreich eingesetzt. Die Skizze wurde z.T. mit Lineal und Zirkel gezeichnet. Die Hauptgeometrie war maßstäblich. Die Ausführung der Skizze mit einer Vielzahl an Erläuterungen und Funktionsdaten ist typisch für die Zeit. Eine bessere Darstellung ist leider nicht verfügbar.