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 (um1480) ... 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

5. Die geometrischen Grundlagen des konstruktiven Zeichnens ... 119
5.1 Anschaulichkeit und Maßgerechtheit ... 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 Teilegruppen-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 Sonstige Zeichnungen 247

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 Punktierrädchen 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. Das konstruktive Zeichnen heute 306

20. Quellen und Literaturverzeichnis 308
20.1 Allgemeine Hinweise 308
20.2 Allgemeine Literaturquellen 308
20.3 Spezielle Literaturquellen 309

2. ZUR KULTURGESCHICHTE TECHNISCHER DARSTELLUNGEN

2.1 Zeichenkunst in prähistorischer Zeit und im Altertum

Die Kunst, Formen und Proportionen von Objekten durch Linien und Farben auf einer Fläche darzustellen, ist sehr alt. Wann man begonnen hat, Objekte durch freies Zeichnen darzustellen, ist nicht genau bekannt. Die ersten Belege für symbolische Ausdrucksformen sind über 110000 Jahre alt. Man fand sie als Ritzungen und farbige Formen auf Muscheln und Steinen. Sie waren eine Form der Kommunikation und ein Teil bei der Entwicklung von Sprache. Überraschender Weise stammen sie nicht vom „Homo sapiens", sie sind viel älter. Die ersten bekannten zeichnerischen Darstellungen von konkreten Objekten stammen aus den Anfängen unserer Kultur vor gut 50000 Jahren. Die ältesten Zeichnungen technischer Gerätschaften sind gut 30000 Jahre alt. Sie wurden direkt in den Sand oder mit farbigen Substanzen auf Felsen gezeichnet. Später wurden alle verfügbaren Materialien als Grundlage für Darstellungen benutzt: Steine, Ton, Holz, Knochen, Häute u.a.m. Je nach Material wurden die Objekte auf die Oberfläche gezeichnet oder eingearbeitet, z. B. eingeritzt. Nur die letztgenannten, die Petroglyphen, haben die Zeit überdauert. Der Großteil der prähistorischen Farb- und Kohlezeichnungen ist durch Verwitterung verschwunden. Das gilt natürlich auch für Zeichnungen, die direkt in den Sand gearbeitet oder mit Sand unterschiedlicher Farbe gezeichnet worden sind. Das Zeichnen und Skizzieren in Sand war noch nach der Zeitenwende verbreitet. Man verwendete dabei sogenannten „Sandtafeln",

Bild 2.1/1:
„Sandtafel" zum Zeichnen und Skizzieren (Mosaik aus Herculaneum, um 250 v. Chr.)

Bei der Zeichnung werden die räumlichen Formen eines Gegenstandes durch einen dem Gegenstand ähnlichen Linienumriss zweidimensional auf einer meist ebenen Fläche abgebildet. Die Abbildung ist im Allgemeinen proportional verkleinert. Mit Hilfe von Schattierungen (und Farben) konnte die Illusion eines räumlichen Eindrucks geschaffen werden.

Der primäre Zweck einer Zeichnung ist es, etwas Wesentliches kurzfristig oder auch dauerhaft festzuhalten. Die Zeichnung ist, wie die Schrift, die Basis für das Sammeln von Wissen und das Lernen über Generationsgrenzen hinweg. Das Spektrum dessen, was „Wesentlichen" ist, reicht dabei von politischen und kriegerischen Ereignissen, über rein kommerzielle Informationen (beispielsweise zur Dokumentation eingetriebener Steuern) bis zur Darstellungen rein privater Dinge. In den frühen zeichnerischen Darstellungen, beispielsweise den steinzeitlichen Felszeichnungen, dominiert allerdings ein anderer Aspekt. Es werden überwiegen Jagdszenen, häufig in Verbindung mit kultischen Handlungen von „Schamanen", dargestellt. Vieles in diesen Zeichnungen bleibt heute rätselhaft. Auch die Darstellungen von ersten Jagdgerätschaften (Speer, Pfeil und Bogen, Schleuder u.a.m.) dienten mit Sicherheit nicht zur Bewahrung des Wissens über die Handhabung oder Herstellung dieser Objekte für eine spätere Zeit. Man fand die Darstellungen zumeist verborgen in Höhlen und in Verbindung mit kultischen Szenen.

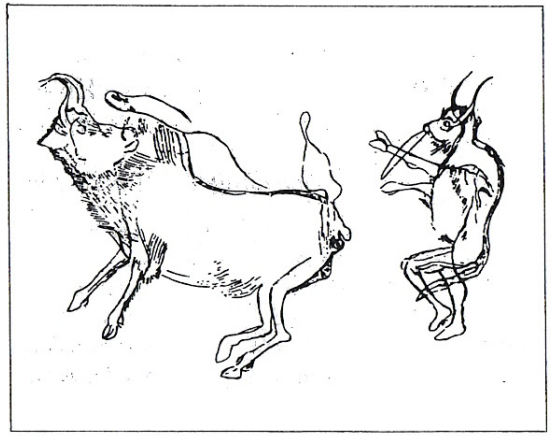


Bild 2.1/2:
Jagdszene einer steinzeitlichen Felszeichnung aus dem 6. Jahrtausend v. Chr. (Ausschnitt, Nachzeichnung)

Als Ergänzung zur „künstlerischen" Darstellung allgemeiner technischer Objekte ist beim hier behandelten Aspekt des „konstruktiven Zeichnens" eine Fokussierung auf den Zweck des Objektes, seiner Handhabung und seiner Herstellung vorzunehmen. Ab wann Zeichnungen als Planungsmittel zur Herstellung von Objekte verwendet worden sind, ist nicht bekannt. Einige Indizien weisen auf eine lange Geschichte hin. Ein Indiz wäre beispielsweise, dass „ausgezeichnete" Geometrien in den prähistorischen Darstellungen erkennbar sein müssten, also genaue rechte Winkel und Geraden, Kreise u.a.m. Die Verfahren des „Zeichnens" dieser „ausgezeichneten" Geometrien könnten von den Menschen jener Zeit auf die Verfahren der Anfertigung realer Objekte übertragen worden sein. Eine andere Quelle mit Bedeutung für die Zeichenkunst war die Beobachtung der Gestirne und ihrer Stellungen zu bestimmten Phasen im Jahresverlauf und deren Dokumentation. Diese Sternkonstellationen zeigten beispielsweise den Zeitpunkt des Beginns einer Jagdphase, Termine für die Aussaat, den Beginn einer kultischen Handlung u.a.m. an. Die genaue Kenntnis dieser Zeitpunkte war in den frühen Kulturen von großer Bedeutung. Sie ordneten das gesamte Leben im Jahresablauf. Um die Zeit zu „messen" und bestimmte Zeitpunkte periodisch vorhersagen zu können gab es die Möglichkeit, die entsprechenden Stellungen zeichnerisch als Zuordnungen prägnanter Himmelskörper zu dokumentieren oder mit Hilfe besonders ausgerichteter Bauwerke und die Beobachtung von Sonnen- und Mondpositionen diese Zeitpunkte zu finden.

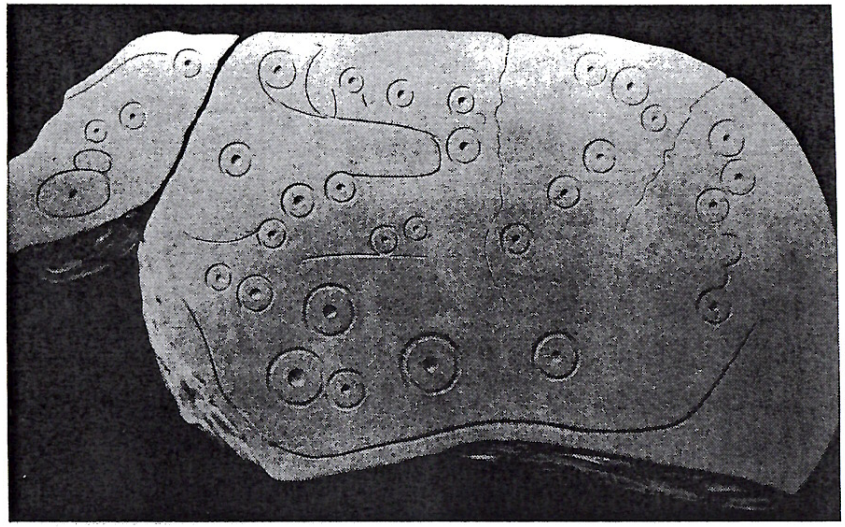


Bild 2.1/7: Steinplatte mit exakten Kreisen (4. Jahrtausend v. Chr.)

Die weitere Entwicklung der Zeichenkunst war eingebunden in die Entstehungsgeschichte der ersten großen Gemeinschaften. Einen weiteren Ursprung, insbesondere des konstruktiven Zeichnens, findet man in der sozialen Teilung der Gesellschaften. Einige Sippen „erwirtschafteten" mehr als andere. Die ungleiche Verteilung führte zu Vorformen von Hierarchien. Die Meinung einiger hatte mehr Gewicht. Es bildeten sich gesellschaftliche Strukturen aus Herrschern und Untertanen heraus. Die Probleme der Steuerung und Verwaltung der Gemeinschaft erforderten eine dauerhafte Dokumentation von Abläufen in Form schriftliche Zeugnisse und zeichnerischer Darstellungen. Das galt nicht nur für das Bewahren und Überliefern kultischer Handlungen, sondern auch für die Erfordernisse der Landwirtschaft und Güterherstellung, der Feldaufteilung und Wegeplanung, dem Anlegen von Wasserstraßen sowie dem Bau großer Gebäude und Verteidigungsanlagen, um nur einige zu nennen. Komplexe gemeinsame Aufgaben waren ohne Planung und zeichnerische Dokumentation nicht durchführbar. Jedes Mitglied der Gemeinschaft leistete seinen Anteil an den gemeinschaftlichen Aufgaben. Die erhobenen Abgaben mussten gerecht und den Möglichkeiten des Einzelnen angepasst sein. Die von den Steuerbeamten erhobenen Abgaben wurden beispielsweise in speziellen Gebäuden eingelagert und deren Lage und Menge in entsprechenden Zeichnungen, etwa vergleichbar mit Grundrissplänen, vermerkt.
Im Verlauf der weiteren Entwicklung wurden die zeichnerischen Darstellungen immer weiter verfeinert. Die Zeichenkunst der frühen Hochkulturen, z.B. aus babylonischer Zeit oder aus Ägypten, ist allgemein bekannt. In den Kammern der Pyramiden des Alten Reiches (2900 – 2200 v. Chr.) fand man viele in Stein geritzte Darstellungen von technischen Vorgängen, Wagen und Werkzeugen. Später wurden Darstellungen auch auf Papyrus und Pergament gezeichnet. Im alten Ägypten waren nur Flächenzeichnungen bekannt. In diesen Epochen war die Verwendung von gezeichneten „Plänen" als Grundlage für große Vorhaben schon weit verbreitet. In den antiken Sammlungen einiger großer Museen sind Spuren von diesen „Plänen" zu bestaunen. In den Statuen von Königen und großen Baumeistern aus dem 2. Jahrtausend v. Chr. sind beispielsweise Grundrisse von Tempeln und Palästen eingearbeitet. In angedeuteten Steintafeln dieser Statuen sind die Linearstrukturen „eingerissen". Von diesen frühen Formen der konstruktiven Zeichnung leitet sich die alte Bezeichnung „Riss", beispielsweise „Grundriss" oder „Aufriss", in der technischen Literatur ab. In den ägyptischen Darstellungen findet sich auch das Zeichnen in mehreren „Ansichten". Durch Umklappen entstanden beispielsweise ein Grundriss und ein Aufriss des gleichen Objekts. Auch die Verwendung von Liniennetzen als Hilfen bei der Herstellung von Objekten wurde erstmals angewandt. Derartige Netze sind über das Mittelalter, die Renaissance bis zur Neuzeit verwendet worden. Beim Entwerfen von Kutschen waren sie verbreitet und in der Karosseriekonstruktion von Personenwagen findet man Bezugsnetze noch im 20. Jahrhundert.

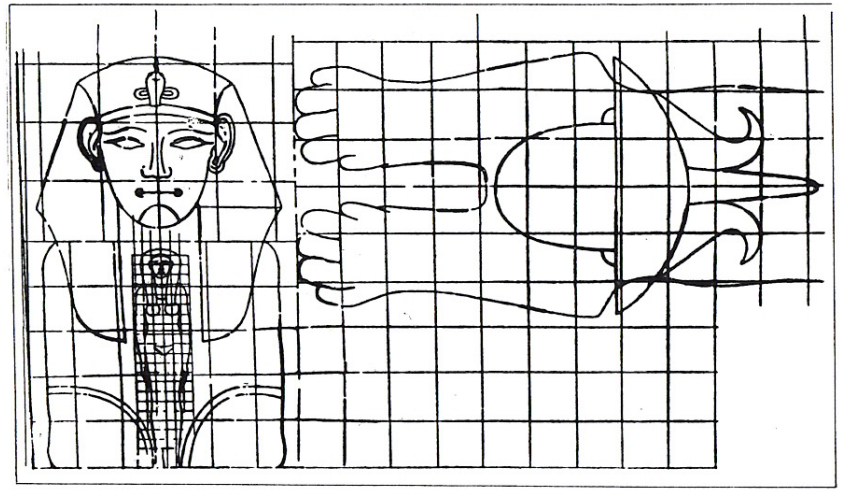


Bild 2.1/8: Darstellung einer Sphinx in einem rechteckigen Raster
(Nachzeichnung einer Papyrusskizze aus der Zeit um 1900 v. Chr.)

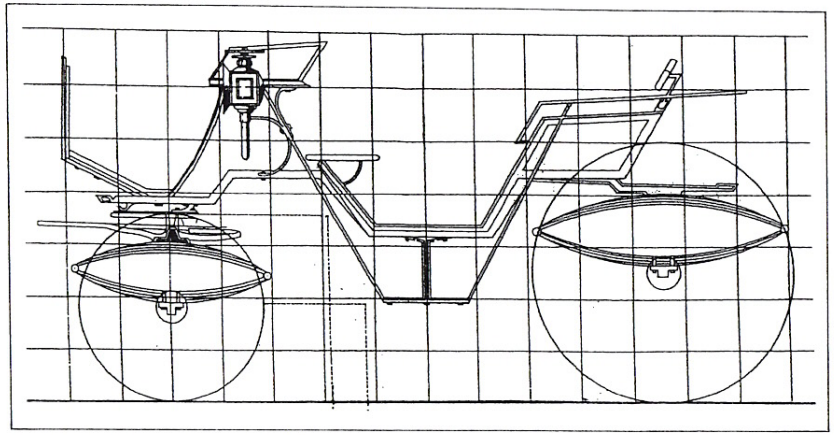


Bild 2.1/9: Darstellung einer Kutsche (Seitenansicht) in einem Bezugsraster (um 1890)

3. DIE ZEICHNUNG IN DER TECHNIK

3.1 Bemerkung

Technik, aus dem Griechischen „tèchne" für Kunst, bezeichnet allgemein die von Menschen erstellten, künstlichen Objekte, die eine nutzbare Funktion erfüllen. Der in der Technik bewandert war hieß im Griechischen „technítes". Der Begriff „Technik" umfasst heute auch das Wissen und die Erfahrungen, die zur Nutzung der Objekte erforderlich sind. Für die Betrachtung des „konstruktiven Zeichnens" in der Technik reicht es, den Zeitraum ab der Frührenaissance, also ab etwa 1400, zu betrachten. In den Epochen davor machte man keinen Unterschied zwischen der „künstlerischen" Zeichnungen und denen der „Technik". Die Darstellungen waren darüber hinaus stark von individuellen Unterschieden geprägt. Mit Beginn der Frührenaissance wurden die konstruktiven Zeichnungen immer klarer und eindeutiger. Der Betrachtungsrahmen endet etwa 1930. Aus dem konstruktiven Zeichnen war mit der Entwicklung allgemeiner Zeichenregeln und dem weitgehenden Abschluss der Zeichnungsnormung die „technische Zeichnung" geworden. Die danach folgenden Weiterentwicklungen betrafen nur noch Details.
In den Linearzeichnungen der Renaissance (siehe Abschnitt 2.2), insbesondere in den technischen Skizzen, sind die Beziehungen zur klassischen Zeichenkunst noch deutlich sichtbar. Durch den Einsatz ähnlicher Zeichentechniken und vergleichbarer Gestaltungsmittel, wie Schraffuren, Lavierungen, Punktraster, Teilschnitte, wechselnde Blickrichtungen und verschiedene Ansichten, waren die Unterschiede gering. Im Laufe der Zeit trat aber die Darstellung der Funktion und der genauen Geometrie der Objekte in den Vordergrund. Das Problem, das bei anschaulichen Darstellungen zwar ein für jedermann unmittelbar verständlicher Bildeindruck zu erreichen war, aber keine Maßhaltigkeit, musste gelöst werden. Einige Lösungsansätze waren aus dem Altertum schon bekannt. In den Zeichnungen wurden die perspektivische Darstellung und die Projektion mit unterschiedlichen Richtungen durch eine schiefe Parallelprojektion mit einer Blickrichtung (siehe Kapitel 5) ersetzt. Das war ein erster Schritt zu einer maßgerechten Abbildung. 1525 erschien das Werk „Underweysung der messung mit dem zirkel un richtscheyt..." von Albrecht Dürer. Es enthielt die erste genaue Beschreibung des Grund- und Aufrissverfahrens, die Grundlage der orthogonalen Parallelprojektion, die wir noch heute in konstruktiven Zeichnungen verwenden.

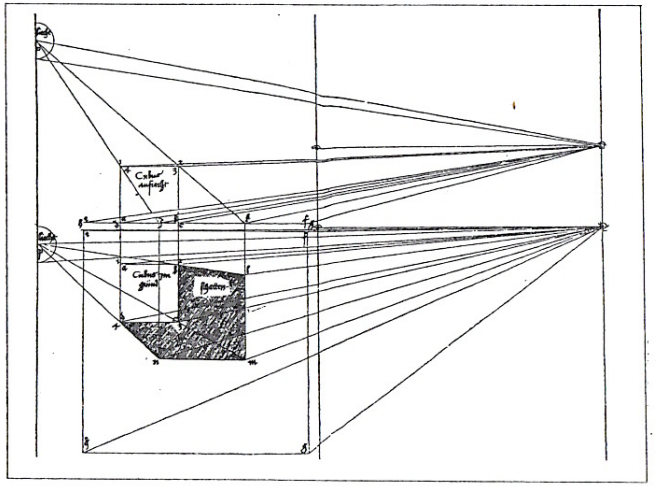


Bild 3.1/1:
Grund- und Aufriss am Beispiel einer perspektivischen Projektion (Dürer, A.: Underweysung.... 1525)

In unterschiedlicher Art wurden verdeckte Partien der technischen Objekte auch schon durch „Schnitte" sichtbar gemacht. Wenn verdeckte Funktionen anschaulich dargestellt werden sollten, kamen „auseinandergezogene Abbildungen" zum Einsatz. Heute nennt man diese Art „Explosionsdarstellung". Das folgende Bild zeigt eine frühe Zeichnung dieser Art von Leonardo da Vinci aus dem 15. Jahrhundert. Sie wirkt durch ihre prägnante Darstellung des inneren Aufbaus sehr modern. Der dargestellte Schaltwerksmechanismus ist links als Zusammenbau gezeichnet, rechts in der „auseinandergezogenen Abbildung".

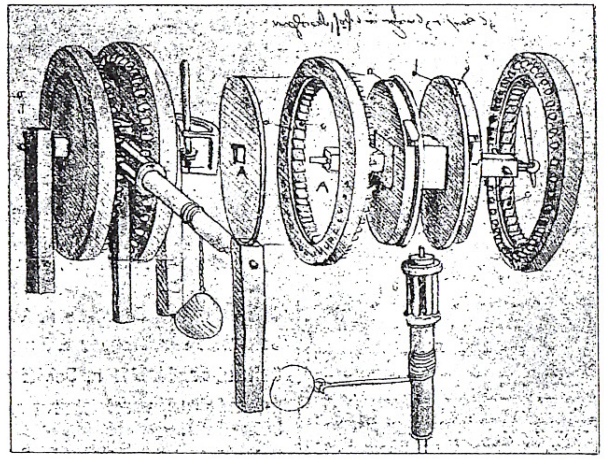


Bild 3.1/2:
„Explosionsdarstellung" eines Mechanismus (Leonardo da Vinci, um 1500)

Viele der frühneuzeitlichen technischen Bilderhandschriften und Darstellungssammlungen wurden nur sehr begrenzt im Sinne des „konstruktiven Zeichnens" eingesetzt. Als Grundlage einer baulichen Realisierung eines Objekts waren sie durch ihre ungenaue und unvollständige Darstellung meistens ungeeignet. Daran änderten auch die eingearbeiteten schriftlichen Erläuterungen nichts. Die Zeichnungen enthielten diverse allegorische Elemente, Kuriositäten und technische Spielereien, oft ohne Bezug zur Funktion des Objekts. Benutzt wurden die Blätter von gebildeten Personen zum Vergnügen und zum Kennenlernen mechanischer Besonderheiten. Ihr Verbreitungsgrad war, durch die handwerkliche Herstellung und den erheblichen Preis der Blätter, gering. An eine technische Umsetzung dachten diese Kreise nicht. Nur wenn ein Kunstmeister mit entsprechenden Erfahrungen sich einer Darstellung annahm, sie bereinigte und ergänzte, konnte aus diesen Bilderhandschriften etwas Nutzbares entstehen. Die direkt zur Umsetzung verwendeten Dokumente und Zeichnungen sind nicht erhalten geblieben. Sie wurden oft nur als schnell vergängliche Skizzen auf Wände oder Tische gezeichnet. Erhalten sind nur einige Linearrisse in Stein und sehr selten Skizzen auf Pergament. Sehr kontrovers kann man darüber diskutieren, ob die Künstler, die diese „technischen Bilderhandschriften" gezeichnet haben, die Funktion der Objekte verstanden haben. Viele Zeichnungen dieser Zeit zeigen Maschinen, die, so wie dargestellt, schwerlich hätten funktionieren können. Kritisch in diesem Zusammenhang ist auch das Kopieren sehr alter Darstellungen von Hand und deren Ergänzungen um neuere oder bessere Funktionen zu sehen. Wenn die Ursprungsfunktion schon nicht hinreichend verstanden wurde, was sollte die Kopie ergeben? Das folgende Beispiel zeigt ein mechanisches Hebezeug mit Haspel- und Göpelantrieb von Francesco di Giorgio. Das Original wurde um 1470 gezeichnet. Im folgenden Bild ist das Original links und eine Kopie aus dem Jahre 1545 rechts dargestellt. Eine Kommentierung erübrigt sich.

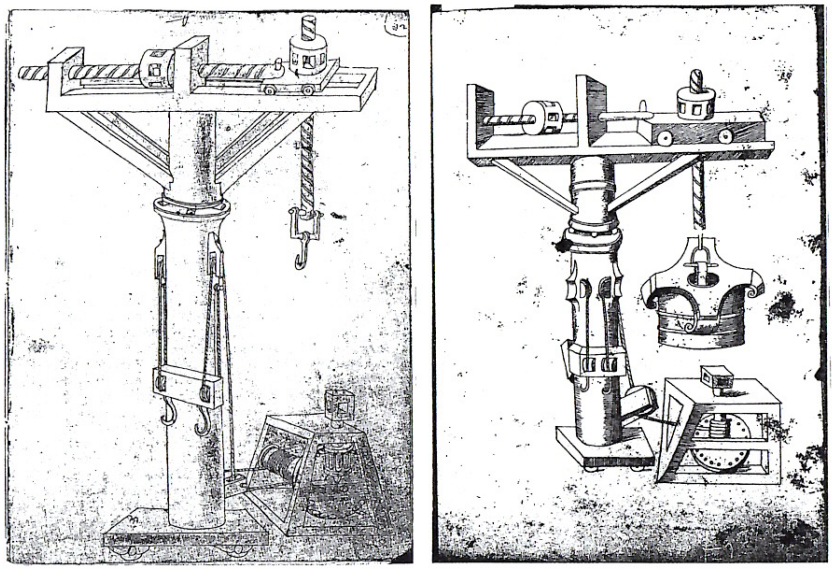


Bild 3.1/3: Übertragungsfehler eines Kopisten bei einem mechanischen Hebezeug

Die Übertragungsfehler der Kopisten reichten bis zu sinnlosen Verzeichnungen des Originals. Im folgenden Bild ist eine doppelte Pumpe mit Antrieb der Pumpenkolben durch zwei „Kurbelschleifengetriebe" dargestellt. Das Original, links, wurde um 1600 von Zonca angefertigt. Rechts ist eine völlig unsinnige Kopie aus dem Jahr 1726 wiedergegeben.

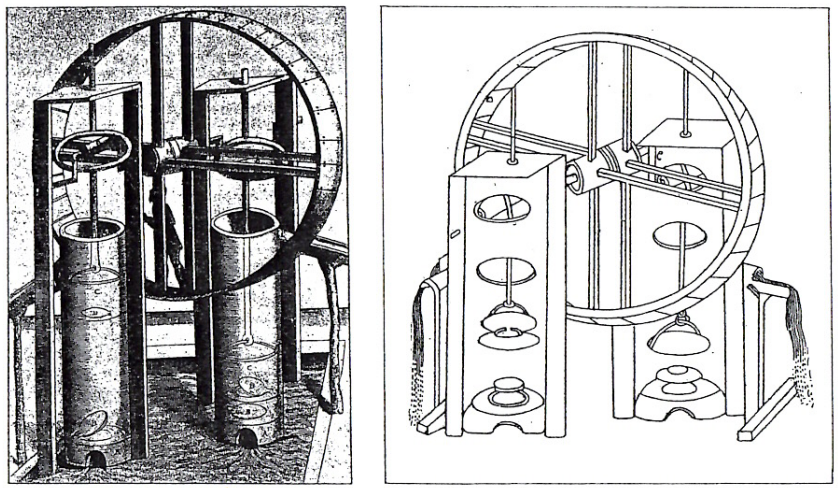


Bild 3.1/4: Übertragungsfehler eines Kopisten bei einer doppelten Pumpe

Eine Vorstellung von den zeichnerischen Vorgaben, nach denen tatsächlich in den Werkstätten gearbeitet worden ist, kann man aus folgendem Bild ersehen. Dargestellt ist die Konstruktion eines Hebedaumens von J. Mariano (15. Jahrhundert).

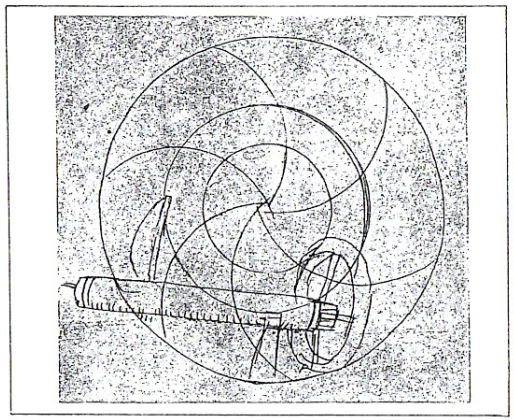


Bild 3.1/5:
Entwurf eines Hebedaumens,
Handskizze auf Pergament
(Mariano, 15. Jahrhundert)

Die Regeln zur Anfertigung von Zeichnungen der Technik waren in der Praxis noch sehr uneinheitlich, sogar individuell unterschiedlich. Die freie Zeichnung in individueller Manier war zwar auf dem Rückzug, aber die gebundene Zeichnung besaß noch längere Zeit Elemente mit allegorischem Charakter und persönlichen Stilelementen. Wenn die Umsetzung von der Idee zum Objekt in einer Hand lag, war diese Darstellungsvielfalt kein Problem. Mit zunehmendem Handel und der Aufteilung der Anfertigung auf verschiedene Gewerke an unterschiedlichen Orten, wurde die Notwendigkeit zur eindeutigen und einheitlichen Darstellung immer dringender. In Frankreich nahm sich der Mathematiker und Ingenieur Girard Desargues (1591 bis 1661) des Problems an. Er versuchte die verschiedenen Zeichenkonstruktionen und anschaulichen Darstellungen in einem geschlossenen Ansatz zusammenzufassen. A.-F. Frézier (1682 bis 1773) verfasste ein detailreiches dreibändiges Werk über das Grund- und Aufrissverfahren. Diese Ansätze und die Arbeiten weiterer Mechaniker, Instrumentenbauer und Ingenieure führten im 17. Jahrhundert zu den Anfängen eines eigenständigen „Maschinenzeichnens". Gaspard Monge (1746 bis 1818) analysierte die einzelnen Ansätze in seinem Werk „Géométrie déscriptive" und stellte sie auf eine exakte wissenschaftliche Basis, einschließlich der Übertragung der zeichnerischen Ausführungen in mathematische Funktionsgleichungen der analytischen Geometrie. Damit war die endgültige Trennung von der „klassischen" Zeichenkunst vollzogen. Die Künstler, die technische Objekte darstellten, hatten ihren Schwerpunkt auf anschauliche Effekte in ihren Darstellungen gelegt. Jetzt trat die Funktion, die genaue geometrische Darstellung, die Maßhaltigkeit in den Vordergrund. Die technische Zeichnung war endgültig zum verbindenden Element zwischen der Idee und der Realisierung durch die Herstellungstechniken geworden.
Erste Fachbücher, die sich ausschließlich mit den Problemen des technischen Zeichnens auseinander gesetzt haben, sind Anfang des 19. Jahrhunderts erschienen. In ihren Titeln werden die Begriffe „konstruktives Zeichnen", „Maschinenzeichnen", „technisches Zeichnen" u.a.m. synonym verwendet. Eines der ersten war das 1830 in Paris erschienene Werk „Choix de Modéles, Dessin des Machines" von Le Blanc. Es beinhaltete: Projektionslehre, Durchdringungen, Darstellung unterschiedlicher Maschinenteils, anschauliches Zeichnen, verschiedene Arten der Perspektive und Hinweise zum Vorgehen beim Erstellen einer technischen Zeichnung.

3.16 Druckluftlokomotive (1822), Tafeln 3.16/1,2 und 3

Die Entwicklung der „eisernen Bahnen“ mit Dampfantrieb zum dominierenden Transportsystem war zu Beginn ihres Einsatzes nicht absehbar. Im Gegenteil, es gab viele Rückschläge und der angestrebte wirtschaftliche Erfolg stellte sich in vielen Fällen nicht ein. Die Einsparungen im Vergleich zu Fuhrwerken wurden nicht erreicht, es gab viele Ausfälle und Unfälle. Der Dampfbetrieb war gefährlich. Es gab eine Reihe von Vorschlägen, die die Vorteile der „eisernen Bahnen“ nutzten, aber die Nachteile des Dampfbetriebs vermieden. Eine Idee stammte von dem „Königl. bairischen Oberst-Bergrath und Maschinen-Direktor Joseph Ritter von Baader“. Er wollte „zusammen gedrückte“ Luft als Antriebsenergie verwenden. Seine „Luft-Maschinen“ sollten, auf Wagengestelle gesetzt, den Lastentransport auf „eisernen Bahnen“ bewerkstelligen. Die Idee war seiner Zeit voraus.

Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Künstler

Die Zeichnungen stammen aus einer Schrift von Baaders aus dem Jahr 1822. Der Zeichner ist nicht bekannt.

Bildanfertigung, Zeichentechnik

Kolorierte Kupferstiche auf Papier.

Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Die Darstellungen in den Tafeln stellen die Funktionen vollständig dar. Auf eine detaillierte Erläuterung kann verzichtet werden. Die ersten beiden Tafeln zeigen die Erzeugung der „zusammen gedrückten Luft“ mit Hilfe eines durch Wasserkraft angetrieben „Luftverdichters“. Als Verdichter diente ein doppelt wirkender Zylinder. Die Steuerung der verdichteten Luft erfolgte mittels Hahn. Dessen Betätigung übernahmen Nocken, die auf einem Hilfsrad angeordnet waren. Ein großer Behälter dient zur Speicherung der „Druckluft“.
Die dritte Tafel zeigt die „Druckluftlokomotive“.
Der Antrieb erfolgte mit Hilfe von zwei stehenden Zylindern über Balanciere zur Antriebsachse mit Außenkurbeln. Zur Kraftübertragung war ein Zahnrad-Zahnstangen-System vorgesehen. Die Laufräder des Wagens wurden nicht angetrieben. Das entsprach dem Wissensstand der Zeit. Die Fachleute waren sich nicht einig, ob die Reibung zwischen der glatten Schiene und dem Rad zur Kraftübertragung ausreichen würde. Die verdichtete Luft wurde in neun kleineren zylindrischen Behältern mitgeführt. Dieses einfache und relativ sichere System mit vielen kleinen Behältern zur Luftspeicherung ist später bei Druckluftlokomotiven eingesetzt worden.

Technikgeschichtliche Bedeutung

Von Baader hat mit der ausführlich beschriebenen Idee einer Druckluftlokomotive eine spezielle Entwicklung des Eisenbahnwesens vorausgesehen. Die Idee mutete damals utopisch an. Aber keine 50 Jahre später fuhren beispielsweise im öffentlichen Personenverkehr in einigen Großstädten Straßenbahnen mit unterschiedlichen Druckluftantrieben, teils mit gespeicherter Druckluft im Fahrzeug, teils mit äußeren Druckluftantrieben. Druckluftlokomotiven sind auch in explosionsgefährdeten Bereichen, beispielsweise im Bergbau, als Zuglokomotiven eingesetzt worden. Mit den Mitteln der Zeit konnten die Maschinen 1822 noch nicht gebaut werden.

Analyse der zeichnerischen Darstellung

Die Darstellungen sind als genaue technische Zeichnungen ausgeführt worden, mit Ansichten (Hauptansichten, Seitenansichten) und Schnitten. Die Proportionen sind plausibel. Maßangaben fehlen allerdings. Die Darstellungen wurden durch einen ausführlichen Text ergänzt. Zur Verbindung von Zeichnung und Text stellten Buchstaben her.

Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Kupferstiche sind genau gearbeitet. Die technische Ausführung ist exakt übertragen worden. Die Kolorierung wurde sparsam eingesetzt. Zusammenhängende Elemente bzw. Funktionen haben eine Farbe. Alle Ansichten sind, wie zu Beginn des 19. Jahrhunderts üblich, als orthogonale Parallelprojektionen gezeichnet. Mittelachsen sind durch gestrichelte Linien angedeutet. Die Andeutung von Schattierungen entsprach dem Stil der Zeit.

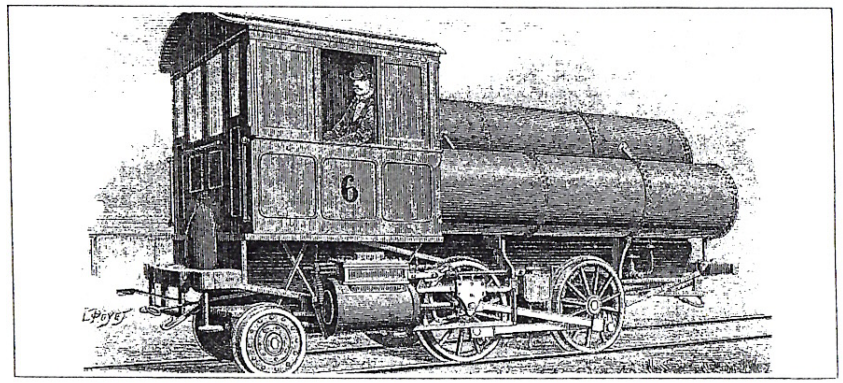
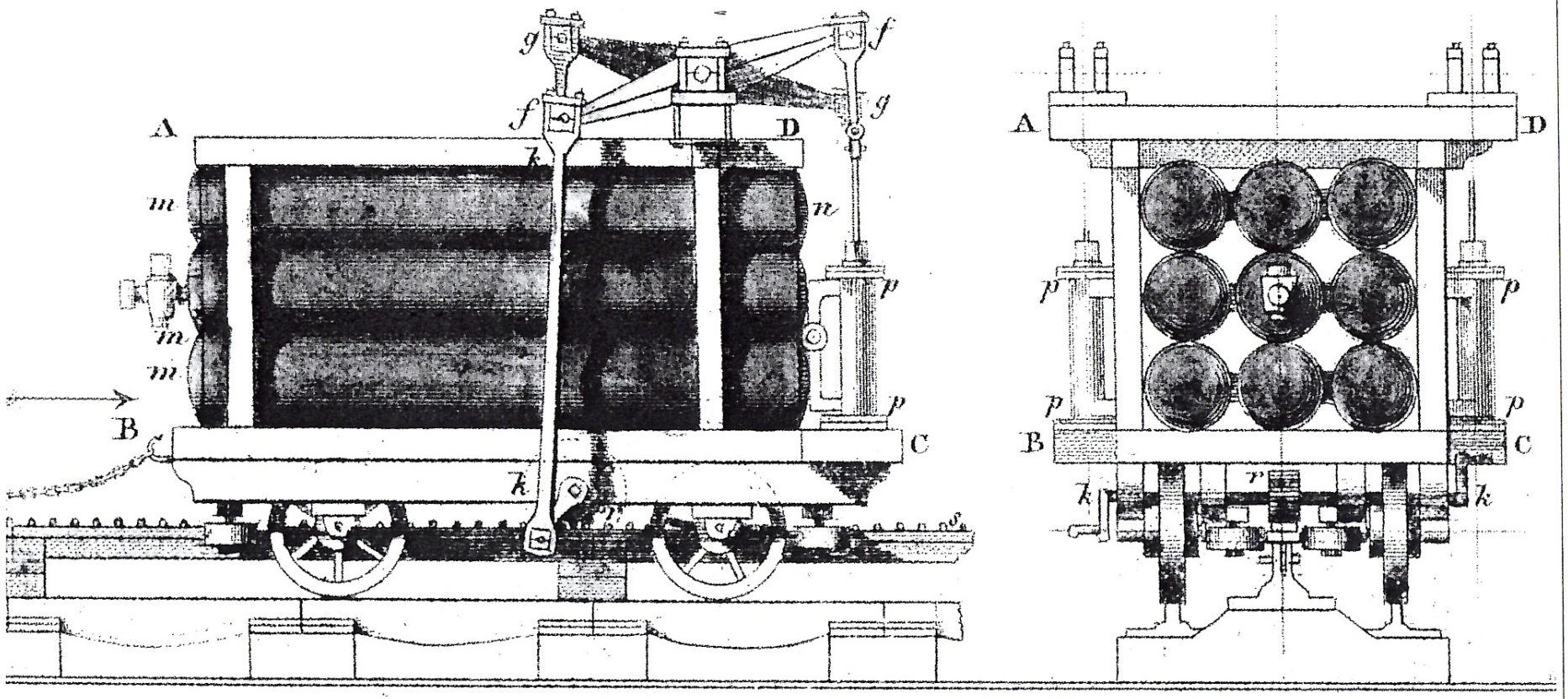


Bild 3.16/1: Druckluftlokomotive (um 1874)



Tafel 3.16/1: Zeichnung einer Druckluftlokomotive
(1822)

3.22 Lokomobile von 10 Pferdekraft (1864), Tafeln 3.22/1, 2, 3

Es war in der betreffenden Zeit üblich, neue Entwicklungen und besonders bewährte Konstruktionen offen und in allen Details dem Fachpublikum zugänglich zu machen. Lokomobilen waren in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts weit verbreitete Kraftmaschinen zum Antrieb diverser Arbeitsmaschinen in der Landwirtschaft, dem Handwerk und in den unterschiedlichen Gewerbebetrieben. Die dargestellte Lokomobile war eine damals sehr moderne Konstruktion.

Jahr der Anfertigung der Zeichnung, Zeichner

Die Kupfertafeln wurden 1864 angefertigt und gedruckt.
Gezeichnet wurden sie von H. Ruhmer, Berlin.
Gestochen von H. Kadeder, Berlin.

Bildanfertigung, Zeichentechnik

Das Beispiel wurde einer äußerst interessanten Publikation entnommen, und zwar dem:

„Skizzen-Buch für den Ingenieur und Maschinenbauer".

„Eine Sammlung ausgeführter Maschinen, Fabrik-Anlagen, Feuerungen, eiserne Bau-Construktionen, sowie anderer Gegenstände aus dem gesamten Gebiete des Ingenieurwesens".

Die Sammlung bestand aus je Jahrgang etwa sechs großformatigen Heften, mit genauen Beschreibungen der gezeigten Beispiele in einem Textteil und entsprechender Anzahl an Zeichnungen.
Herausgegeben wurde die Sammlung von F.K.H. Wiebe, Professor am Königl. Gewerbe-Institut in Berlin.
Sie diente nicht nur für Lehrzwecke, sondern ausdrücklich auch als Beispielsammlung für die Praxis.

Bildgegenstand, Erläuterung der Funktion

Lokomobilen dienten u.a. als Antriebsmaschinen in der Landwirtschaft. Dank ihrer Rädergestelle waren sie leicht von einem Einsatzort zum anderen zu fahren. Gezogen wurden sie im Allgemeinen von Gespannen. Es waren robuste Maschinen mit einfachem Aufbau. Die Kesselfeuerungen waren so ausgelegt, dass unterschiedliche Brennmaterialien geheizt werden konnte. Die dargestellte Maschine leistete 10 PS. Die Drehzahl lag bei 110 U/min. Der Dampf-Überdruck betrug 4 Atmosphären. Die einzelnen Funktionen können den Tafeln entnommen werden. Die Lokomobile wies eine Besonderheit auf, sie hatte eine verstellbare Expansion mit doppelten Flachschiebern. Der Verstellbereich lag zwischen 1/7 Füllung bis volle Füllung. Dadurch arbeitete die Maschine sehr ökonomisch. Üblich bei Lokomobilen jener Zeit waren einfache Steuerungen mit fester Expansion mit nur einem Flachschieber. Die Drehzahl wurde mit Hilfe eines Pendelregulators unabhängig von Lastschwankungen gehalten. Der Regulator war ein Patent von Prof. Werner, Berlin. Durch die Aufteilung der Regulatorgewichte in einen rotierenden Teil und eine zentrisch angeordnete, axial verschiebbare Masse arbeitete er schneller und genauer als einfache Regulatoren.

Technikgeschichtliche Bedeutung

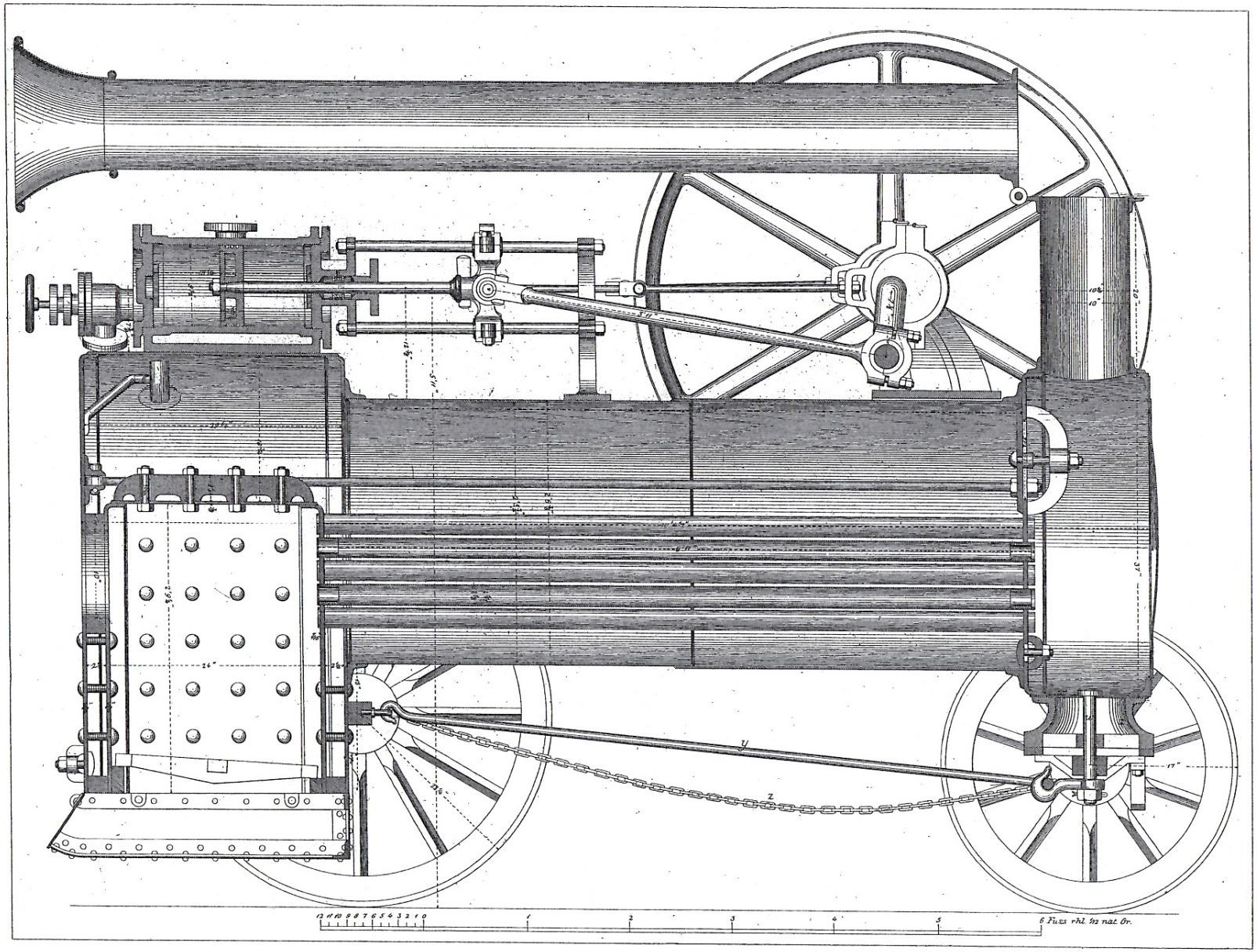
Die dargestellte Lokomobile wurde von dem renommierten Maschinenbaufachmann Prof. R.R. Werner konstruiert und von der Maschinenfabrik von Mitscher und Perels in Berlin gebaut. Sie entsprach den neuesten Erkenntnissen der Dampftechnik. Hergestellt wurde sie ab etwa 1862.

Analyse der zeichnerischen Darstellung

Auch bei diesem Beispiel handelt es sich um eine vollständig gezeichnete Konstruktion. Die Hauptmaße sind eingetragen. Eine Maßskala auf jeder Zeichnung erlaubt beliebige Zwischenmaße abzugreifen. Es wurden alle Möglichkeiten des technischen Zeichnens eingesetzt. Das gesamte Spektrum an Ansichten (Seitenansichten, Draufsichten, Vorder- und Rückansichten, Teil-Ansichten etc.) wurde verwendet. Weiterhin alle Varianten an Schnittdarstellungen. Einige Hauptmaße sind eingetragen.

Erläuterung der zeichnerischen Ausführung

Die Kupfertafeln haben eine sehr gute Qualität. Die angedeuteten Schattierungen entsprechen dem Zeichenstil der Zeit. Sie erleichten das „Lesen" der Zeichnungen. Einen vollständigen Tafelsatz einer derartig umfangreichen Konstruktion findet man in der Qualität in der deutschen technischen Literatur selten. Die Zeichnungen wurde für Lehrzwecke verwendet und in der betrieblichen Praxis als Beispiel einer bewährten Ausführung.
Bei anderen Ausgangsbedingungen und anderen Leistungsgrößen musste die Beispielkonstruktionen „umgezeichnet" werden.



Tafel 3.22/2: Zeichnung einer Lokomobile (Längsschnitt)
(1864)

11. ZEICHNERISCHE VERFAHREN IM MASCHINENBAU

11.1 Bemerkung

Im 19. Jahrhundert waren zeichnerische Verfahren zur Lösung der unterschiedlichsten Auslegungsprobleme weit verbreitet. Bekannt sind aus dieser Zeit insbesondere die Verfahren der „Graphostatik“ und „Graphodynamik“ zur Lösung von Belastungs- und Bewegungsproblemen. Geschlossene mathematische Lösungen gab es oft nur für einfache Probleme, die in der Praxis selten auftraten. Häufig konnten die technischen Probleme zwar mathematisch formuliert werden, aber die Lösung der komplizierten Integral- und Differentialgleichungen war nicht möglich. Eine Barriere für viele Ingenieure stellten auch die außerordentlich hohen Anforderungen an die mathematische Vorbildung da. Zur Lösung der meisten technischen Probleme reichten die zeichnerischen Näherungslösungen aus. Die zeichnerischen Verfahren besaßen darüber hinaus die Vorteile, dass sie schnell zu Ergebnissen führten, der Lösungsweg unmittelbar verständlich und eine Prüfung auf „Richtigkeit“ bei vielen Anwendungen schon im Verfahren angelegt waren.
Die zeichnerischen Darstellungen der Verfahren stellten keine hohen Anforderungen an die eigentliche Zeichentechnik. Das Verstehen der Verfahren war weitaus schwieriger. Gelehrt wurden sie in allen Ausbildungsgängen für Ingenieure. Eine intensive Übung war obligatorisch. Bei der Behandlung des konstruktiven Zeichnens gehören die zeichnerischen Verfahren des Maschinenbaus, genauer die zeichnerischen Ergebnisse der Verfahren, mit zum Inhalt. Die entsprechenden Darstellungen mussten ja angefertigt werden. Das oblag den Ingenieuren. Eine Beschreibung der Verfahren kann hier nicht erfolgen. Das würde jeglichen Rahmen sprengen. Einige Quellen findet man im Literaturverzeichnis.
Mit Hilfe zeichnerischer Verfahren konnten im Maschinenbau u.a. folgende Problembereiche bearbeitet werden:

- Ermittlung von Schwerpunkten,
- Bestimmung von Massenträgheitsmomenten,
- Ermittlung von äußeren Auflagerkräften,
- Ermittlung von Stabkräften in ebenen Fachwerkskonstruktionen,
- Ermittlung der inneren Kräfte (Schnittlasten) von Balken,
- Bestimmung von Biegemomenten und Biegelinien,
- Ermittlung kinematischer Größen (Geschwindigkeit, Beschleunigung),
- Ermittlung von allgemeinen Bewegungsdiagrammen von Maschinenteilen,
- Ermittlung spezieller Diagramme für bestimmte Maschinenarten (z.B. Zeuner-Diagramme),
- graphische Differentiation,
- graphische Integration.

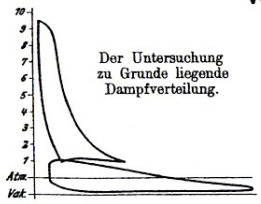
Fast alle Verfahren sind heute in Vergessenheit geraten. Sie wurden durch numerische ersetzt. Die neuen Verfahren sind genauer, sie führen durch den Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung und entsprechender Programme ebenfalls schnell zu Ergebnissen und sie lassen bei Auslegungsproblemen eine Vielzahl an Variationen und Optimierungen zu. Von großem Nachteil ist allerdings, dass das „Verstehen“ der Auslegungsprobleme verloren geht. Man kann die Ergebnisse nur noch glauben.
Im folgenden Abschnitt werden einige Beispiele für die zeichnerischen Verfahren wiedergegeben. Die Erläuterungen sind sehr kurz gehalten.

Bemerkung:
Der Einsatz zeichnerischer Verfahren bei der Ermittlung von Belastungen bzw. bei der Auslegung von Bauteilen ist sehr alt. Die ersten Versuche mit diesen Verfahren können allerdings keiner bestimmten Epoche zugeordnet werden. Vieles in den alten Quellen ist für uns heute nicht mehr „verständlich“. Nachgewiesen ist, dass graphische Verfahren von den großen Baumeistern der Bauhütten des Mittelalters genutzt worden sind. In der Renaissance sind diese Verfahren weiterentwickelt und verfeinert worden. Viele bekannte Ingenieure und Erfinder setzten sie damals ein, u.a. auch Leonardo da Vinci.

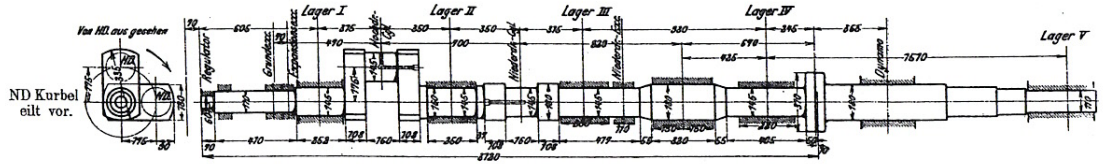
Bemerkung:
Die heute verbreiteten numerischen Verfahren gab es damals noch nicht. Ein Beispiel für diese Verfahren ist die Festigkeits- und Deformationsberechnung komplizierter räumlicher Objekte mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode. Die umfangreichen Gleichungssysteme der Finite-Elemente-Methode sind ohne Unterstützung durch die elektronische Datenverarbeitung nicht lösbar.

Welle mit zwei unter 90° versetzten Kröpfungen der stehenden Verbundmaschine

A. Borsig, Tegel b. Berlin.



Der Untersuchung zu Grunde liegende Dampfverteilung.



Ermittelung der durch die äußeren Kräfte hervorgerufenen Lagerdrücke nach Größe und Richtung. Die vertikalen Komponenten sind durch ausgezogene, die horizontalen durch gestrichelte Linien in Abhängigkeit von der Kurbelstellung wiedergegeben.

Gewichte der Triebwerksteile.

	HD Seite	ND Seite
Kolben	96 kg	190 kg
Kolbenstange	31 „	31 „
Kreuzkopf	106 „	106 „
Schubstange	120 „	120 „

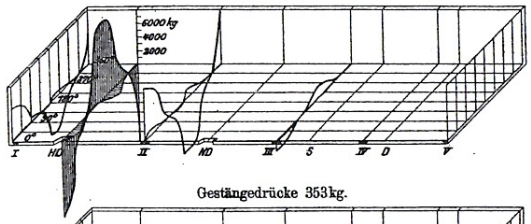
	HD Kurbel	ND Kurbel	Schwungrad Gewicht 2800 kg	Dynamoanker Gewicht 2100 kg
Gewichte der hin- und hergehenden Massen	281 kg	375 kg		
Fliehkräfte der rotierenden Massen	1140 „	1140 kg		

[der Kurbelarme 408 kg, des Kurbelzapfens 162 kg und des rotierenden Teils der Schubstange 570 kg]

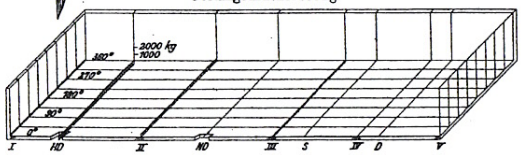
Die graphischen Darstellungen zeigen, daß die Kolbenkräfte die größten Lagerbelastungen hervorrufen und daß die Aufnahme der äußeren Kräfte im wesentlichen durch die ihnen benachbarten Lager erfolgt. Die Massenwirkung der hin- und hergehenden Triebwerksteile erzeugt große Vertikalbelastung der benachbarten Lager, dagegen verschwindend kleine Horizontaldrücke. Nicht zu vernachlässigen in ihrer Wirkung auf die Wellenlager sind auch die Fliehkräfte der rotierenden Kröpfung und des rotierenden Teiles der Schubstange, wenn ihre Massenausgleichung nicht vorgenommen ist; ihre Wirkungen stimmen in beiden Ebenen nach Größe und Charakter überein.

HD-Seite:

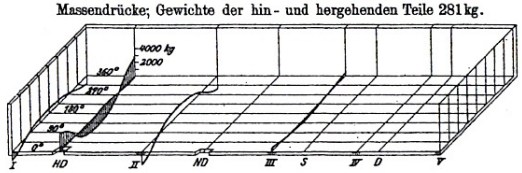
Kolbendrücke.



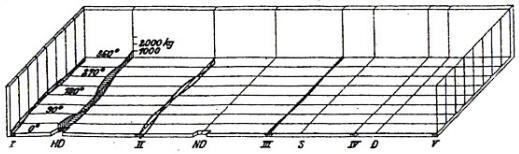
Gestängedrücke 353 kg.



Massendrücke; Gewichte der hin- und hergehenden Teile 281 kg.

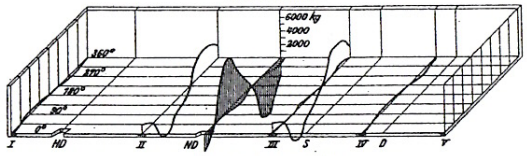


Fliehkräfte 1140 kg.

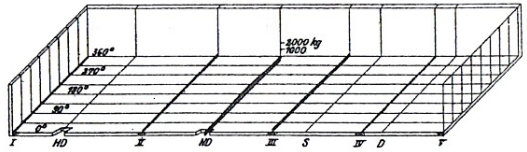


ND-Seite.

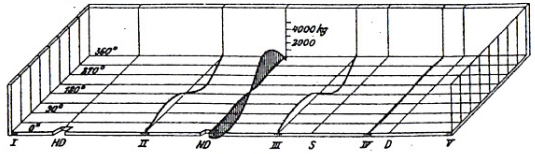
Kolbendrücke.



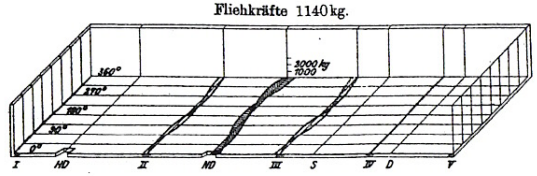
Gestängedrücke 447 kg.



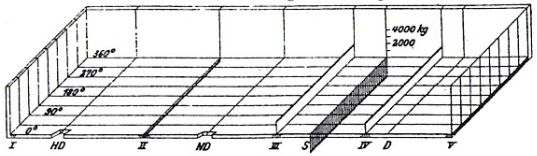
Massendrücke; Gewichte der hin- und hergehenden Teile 375 kg.



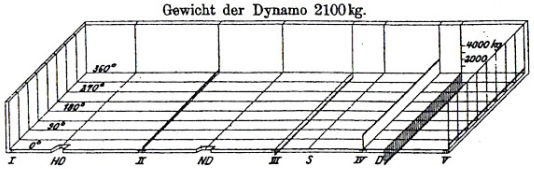
Fliehkräfte 1140 kg.



Gewicht des Schwungrades 2800 kg.



Gewicht der Dynamo 2100 kg.



Tafel 11.2/1: Graphische Behandlung einer kompletten Dampfmaschine (um 1928)
Auslegung einer stehenden 2 Zyl.-Verbundmaschine; n = 200 U/min; P = 160 PS;
Kröpfungen der Kurbelwelle unter 90° versetzt.
(Ohne Erläuterungen)

12. NOMOGRAPHIE

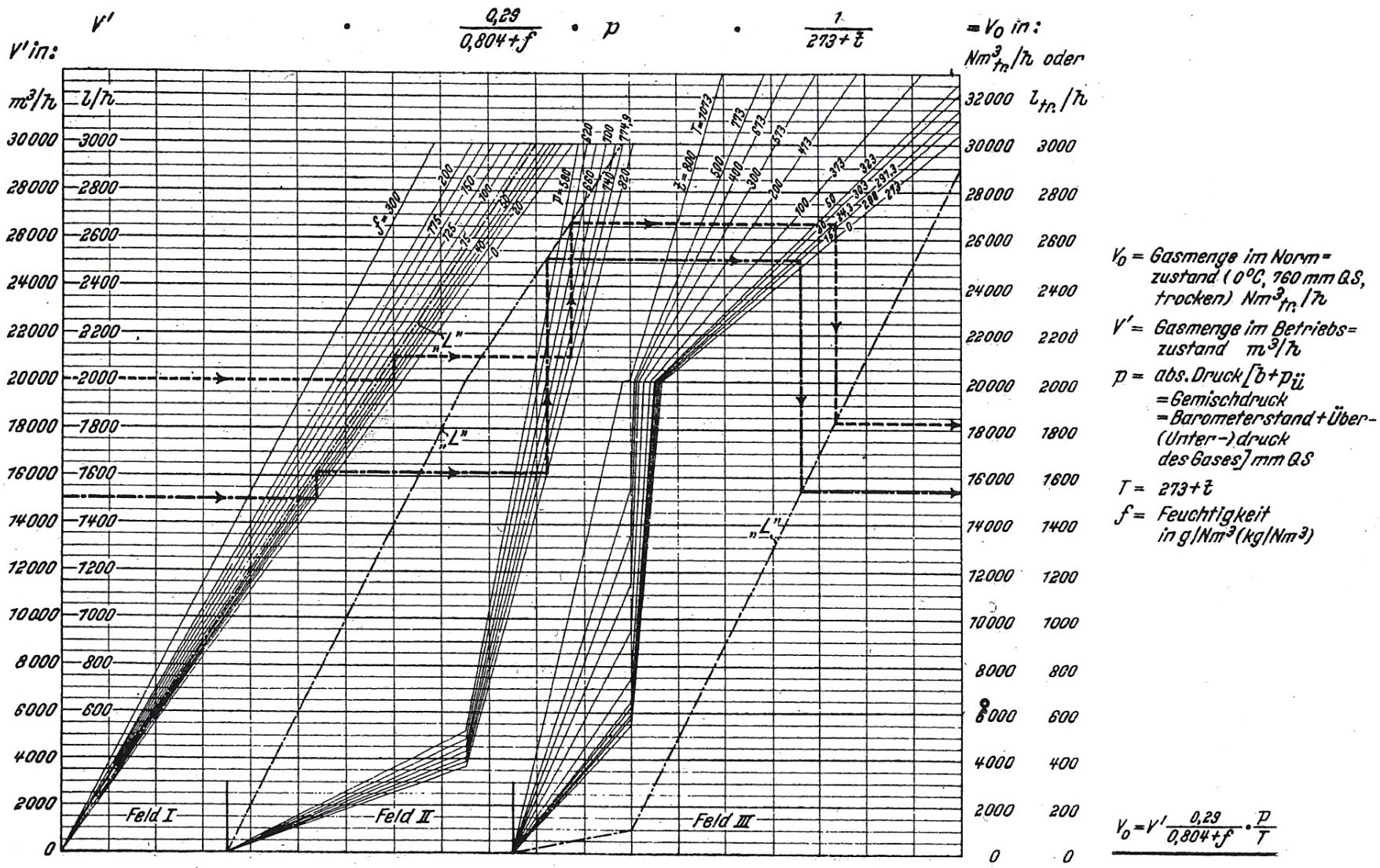
12.1 Bemerkung

Die Nomographie ist ein Wissenschaftsgebiet mit breiter Querschnittsfunktion. Sie wird in nahezu allen naturwissenschaftlichen Disziplinen als zeichnerisches Hilfsmittel zur Ausführung und Darstellung numerischer Rechenoperationen verwendet. In den Maschinenwissenschaften oblag die Entwicklung und das Zeichnen von Nomogrammen den Konstrukteuren. Im Gegensatz zu einem Diagramm, das nur eine beliebige funktionale Verknüpfung zeigt, die nicht zwingend einem mathematischen Gesetz gehorchen muss, stellt ein Nomogramm eine kausale Verknüpfung verschiedener Einflussgrößen dar. Das Entwerfen und Zeichnen eines Nomogramms setzt die Kenntnis der mathematischen-physikalischen Zusammenhänge des Problems voraus. In den Maschinenwissenschaften wurden Nomogramme dann eingesetzt, wenn häufig wiederkehrende Berechnungen gleicher oder ähnlicher Art durchgeführt werden mussten oder wenn kausale Abhängigkeiten technischer Größen allgemein dargestellt werden sollten. In den Nomogrammen wird die Anschaulichkeit einer Rechenoperation und die Plausibilität des Ergebnisses quasi „ersichtlich" .Ein weiterer Vorteil der Nomographie ist, dass man sich durch die unmittelbare zeichnerische Darstellung der Abhängigkeiten einen raschen Überblick die Auswirkungen von Veränderungen einzelner Parameter schaffen kann.

Bei den Nomogrammen unterscheidet man vier Grundtypen der zeichnerischen Darstellung:
- in einem rechtwinkligen Koordinatensystem eingetragene Einzelkurve,
- in einem rechtwinkligen Koordinatensystem eingetragene Kurvenschare,
- in Parallelkoordinatensysteme eingetragene Doppel- und Mehrfachskalen,
- im Linienkoordinatensystem eingetragene Fluchtlinien (Fluchtlinientafeln).

Zu diesen Grundtypen gab es noch eine Vielzahl an speziellen Nomogrammtypen für spezielle Anwendungen. Eine größere Bekanntheit im Maschinenbau hat die zeichnerische Darstellung vielgliedriger Rechenvorgänge erlangt. Dabei konnte durch eine Nebeneinanderreihung vieler Rechenfelder mit sehr vielen Parametern mit Hilfe sogenannter „Leitlinien" komplexe Aufgabenstellungen gelöst werden.
Die zeichnerische Umsetzung der nomographischen Darstellungen oblag den Fachleuten der Konstruktionsabteilungen. Die zeichnerischen Anforderungen waren im Allgemeinen gering. Die rechnerischen Vorarbeiten waren weitaus schwieriger.
In der Praxis des Maschinenbaues wurden Nomogramme primär in zwei Anwendungsfeldern benutzt. Zum einen Standardnomogramme, die üblicherweise zur Durchführung von Standardrechenoperationen (Logarithmieren, Berechnungen in Standardgleichungen etc.) eingesetzt wurden. Sie waren z. T. aus der Literatur bekannt und brauchten nicht neu entwickelt werden. Zum anderen unternehmensspezifische Nomogramme, die spezifisch an die vorliegende Problemstellung angepasst werden mussten.
Im Folgenden werden anhand von Beispielen einige Nomogramme vorgestellt. Ihre Entwicklung wird nicht beschrieben. Das würde weit über den Rahmen dieser Schrift hinausgehen. Schwerpunkt hier ist die zeichnerische Seite der Nomographie.
Auch dieser Bereich der Maschinenwissenschaften ist fast spurlos verschwunden. Mit der Ausbreitung der digitalen Rechner und der Entwicklung geeigneter Programme stellen die unmittelbaren Berechnungen selbst kompliziertester Funktionen in höchster Genauigkeit keine Probleme mehr dar. Der Preis ist allerdings hoch. Die Ergebnisse sind in den seltensten Fällen nachvollziehbar. Der Nutzer muss sich auf die Qualität des verwendeten Programms verlassen. Die unmittelbare Nachvollziehbarkeit war der große Vorteil der „analogen" Nomographie. Sie ging allerdings zu Lasten der Genauigkeit.

Bemerkung:
Über den Beginn der Arbeiten mit Nomogrammen gehen die Ansichten weit auseinander. Bekannt sind nomographische Umrechnungen beispielsweise von unterschiedlichen Längenmaßen aus dem Mittelalter. Im 18. Jahrhundert wurden sie auch für Rechenoperationen eingesetzt. Ende des 19. Jahrhunderts wurden Nomogramme für die unterschiedlichsten mathematische Gleichungen an der Ecole des Ponts et Chaussées entwickelt. Eine allgemeine Methode des graphischen Rechnens entwickelte der Franzose Maurice d'Ocagne. Vermutlich stammt der Begriff „Nomogramm" und der Begriff für die Theorie „Nomographie" auch von d'Ocagne.



V_0 = Gasmenge im Normzustand (0°C, 760 mm QS, trocken) Nm^3_{tr}/h

V' = Gasmenge im Betriebszustand m^3/h

p = abs. Druck [b + pü = Gemischdruck = Barometerstand + Über-(Unter-)druck des Gases] mm QS

$T = 273 + t$

f = Feuchtigkeit in g/Nm³ (kg/Nm³)

$$V_0 = V' \frac{0{,}29}{0{,}804+f} \cdot \frac{p}{T}$$

Tafel 12.2/2: Nomogramm zur Umrechnung von Gas- und Luftmengen