

Block 5

Inhalt

1.	Einführung.....	1	5.	Die geometrischen Grundlagen des konstruktiven Zeichnens.....	119
2.	Zur Kulturgeschichte technischer Darstellungen.....	3	5.1	Anschaulichkeit und Maßgerechtigkeit.....	119
2.1	Zeichenkunst in prähistorischer Zeit und im Altertum.....	3	5.2	Parallelprojektionen.....	121
2.2	Zeichenkunst vom Mittelalter bis zur Neuzeit.....	7	5.3	Zentralprojektionen.....	123
2.2.1	Zeichenkunst und konstruktives Zeichnen.....	7	5.4	Axonometrische Projektionen.....	125
2.2.2	Konstruktives Zeichnen.....	7	6.	Technische Darstellungen im Entstehungsprozess technischer Objekte.....	127
3.	Die Zeichnung in der Technik.....	15	6.1	Entwicklung technischer Objekte als Problemlösungsprozess.....	127
3.1	Bemerkung.....	15	6.2	Darstellungen im Konstruktionsprozesses.....	129
3.2	Großes „Gewerf“ (um 1405).....	21	6.3	Arten von konstruktiven Zeichnungen.....	131
3.3	Hebekunst mit Göpelantrieb (um 1430).....	23	7.	Die technische Skizze.....	133
3.4	Bohrmühle (um 1480).....	25	7.1	Technische Skizzen im konstruktiven Prozess.....	133
3.5	Fahrrad mit Trekkurbelantrieb (um 1480).....	27	7.2	Schematische Skizzen.....	137
3.6	Schöpfgrad (um 1505).....	29	7.3	Anschauliche Skizzen.....	141
3.7	Drehbank zum Drechseln elliptischer Teile (um 1565).....	31	7.4	Parallelprojektive Skizzen.....	145
3.8	Maschine zum Ziehen sehr schwerer Lasten (um 1620).....	33	8.	Zeichnungen beim Entwerfen.....	147
3.9	Häcksel-Schneidemaschine (um 1695).....	35	8.1	Technische Entwurfszeichnungen.....	147
3.10	Dampfmaschine zur Wasserhebung (um 1706).....	37	8.2	Grobmaßstäbliche Entwurfszeichnungen.....	179
3.11	Feuermaschine von Schemnitz (1724).....	39	8.3	Maßstäbliche Gesamtentwurfszeichnungen und Entwurfszeichnungen für Einzelteile.....	153
3.12	Dampfwagen von Cugnot (um 1769).....	41	9.	Ausgearbeitete Gesamtzeichnungen.....	157
3.13	Handpresse für den Buchdruck (1772).....	43	9.1	Zeichnungsarten.....	157
3.14	Feuermaschine von Resener aus Breslau (1787).....	45	9.2	Vollständige und vereinfachte Gesamtzeichnungen.....	161
3.15	Zweite deutsche Lokomotive (1817).....	47	9.3	Baugruppenzeichnungen.....	191
3.16	Druckluftlokomotive (1822).....	49	9.4	Begleitende Informationen.....	199
3.17	Konstruktionsbeispiele für Zahnräder und Wellenkupplungen“ (1834).....	53	9.5	Besondere Ausgestaltung technischer Zeichnungen.....	201
3.18	Wasserdruckwerk (1834).....	57	10.	Zeichnungen der Einzelteile.....	203
3.19	Eisenschere für ein Hüttenwerk (1840).....	59	10.1	Zeichnungsarten.....	203
3.20	Einrichtung zur Regulierung des Kessel-Wasserstandes (1841).....	61	10.2	Integrierte Einzelteilzeichnung.....	204
3.21	Dampflokomotive (1846).....	63	10.3	Nebengeordnete Einzelteilzeichnung.....	207
3.22	Lokomobile von 10 Pferdekraft (1864).....	69	10.4	Teilegruppen-Zeichnung.....	209
3.23	Dampfzugmaschine von L. Schwartzkopff, Berlin (1864).....	73	10.5	Einzelteilzeichnung.....	213
3.24	Presspumpe (1872).....	77	10.6	Einzelteilzeichnungen nach Technologien und für Sonderfälle.....	215
3.25	„Rotierende“ Wasserhaltungsmaschinen (1881).....	79	11.	Zeichnerische Verfahren im Maschinenbaus.....	217
3.26	Hydraulischer Mechanismus einer Drehbrücke (1882).....	81	11.1	Bemerkung.....	217
3.27	Dampflokomotive, System Abt (1889).....	85	11.2	Beispiele zu den zeichnerischen Verfahren.....	218
3.28	Übungsaufgaben zum technischen Zeichnen (1897).....	87	12.	Nomographie.....	223
3.29	Wasserrohrkessel (1906).....	89	12.1	Bemerkung.....	223
3.30	Angebotszeichnung einer Lokomotive (1908).....	93	12.2	Beispiele für Nomogramme.....	224
3.31	Dampfkran (1921).....	95	13.	Modellanfertigung.....	229
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			

14.	Zeichnungen für Sonderzwecke.....	231
14.1	Zeichnungsarten.....	231
14.2	Proportionalzeichnung.....	232
14.3	Offertenzzeichnung.....	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.....	

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 vollständigere Erläuterung der vielen Verfahren würde den Rahmen des Buches sprengen. Einige Quellen findet man im Literaturverzeichnis zu diesem Kapitel (siehe Kapitel 20.3).

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),
- Durchführung graphischer Differentiationen,
- Durchführung graphischer Integrationen,
- Durchführung geometrischer Rekonstruktionen.

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 akzeptieren.

Im folgenden Abschnitt werden einige Beispiele für die zeichnerischen Verfahren wiedergegeben. Die Erläuterungen sind sehr kurz gehalten. Die Verfahren sind oft kompliziert und erfordern ein spezielles Wissen und vor allem sehr viel Erfahrung.

Bemerkung:

Die zeichnerischen Verfahren des Maschinenbaues begleiteten den gesamten Konstruktionsprozess, vom ersten Entwurf, der geometrischen Auslegung, dem Festigkeitsnachweis von Teilen bis zur Ausarbeitung der Gesamtzeichnung. Die Verfahren waren integraler Bestandteil der Konstruktionsarbeit und in den verschiedenen Phasen eine wesentliche Basis bei der Problemlösung. Geschlossene mathematische Lösungen gab es oft nur für einfache Probleme, beispielsweise in der Kinematik oder Festigkeitslehre. Der mathematische Aufwand war schon bei einfachen Fällen hoch (siehe Literaturverzeichnis z.B.: Szabo, I: Höhere Technische Mechanik. 1956). Numerische Verfahren gab es noch nicht. Zeichnerische Verfahren waren die einzige Möglichkeit, die Probleme zu lösen.

Bei der Betrachtung dieses „integrierten Konstruktions- und Auslegungsprozesses“ werden in der einschlägigen Literatur oft drei Aspekte übersehen, die damals selbstverständlich waren:

- Konstruktion und Auslegung lagen in einer Hand. Der Konstrukteur entwarf und rechnete bzw. bestimmte mit den zeichnerischen Verfahren die offenen Parameter. Im 20. Jahrhundert begann man diese Tätigkeiten zu trennen, und zwar in reine Zeichnungsarbeiten und reine Berechnungsarbeiten. Heute sind die Darstellung von Teilen und deren Auslegung in den CAD-Systemen zusammengefasst. Das Verständnis für die Zusammenhänge ist verschwunden. Die eingesetzten mathematisch-physikalischen Verfahren bleiben anonym. Der Ablauf ist aber effizienter geworden, schneller und wirtschaftlicher.
- Die Ergebnisse lagen bei den zeichnerischen Verfahren in jedem Problemlösungsschritt unmittelbar, d.h. zeitnah, vor. Sie waren verständlich und hatten einen direkten Bezug zum jeweiligen Konkretisierungsgrad der Konstruktionsarbeit.
- Konstruktionsarbeit ist im Wesentlichen „anschauliches Arbeiten“. Die Lösungen bei den zeichnerischen Verfahren waren auch „anschaulich“. Der Konstrukteur brauchte seine „gedankliche Welt“ nicht verlassen. Die Darstellungen von Teilen korrespondierten unmittelbar mit den zeichnerisch ermittelten Problemlösungen. Gute Konstrukteure waren in der Lage, sich rasch einen Erfahrungsschatz zur zweckmäßigen Gestaltung aufzubauen. Dieses „Gefühl für ...“ ist heute nur noch selten vorhanden, es ist auch nicht mehr notwendig. Moderne CAD-Systeme fangen meist „von vorne“ an. Die Ergebnisse liegen trotzdem in kürzester Zeit vor. Eine Rückverfolgung zum besseren Verstehen und zum Aufbau eines Erfahrungspotentials ist meist nicht vorgesehen.

Bemerkung:

Einen sehr guten und kurz gefassten Überblick zu den zeichnerischen Verfahren des konstruktiven Zeichnens findet man bei:

Reuleaux, F.: Über das Verhältnis zwischen Geometrie, Mechanik und Kinematik.

In: Zeitschrift des Vereins deut. Ingenieure.
Band XXXIV, No. 10; 1890; S. 217 bis 225
und
Band XXXIV, No. 11; 1890; S. 243 bis 248.

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.

11.2 Beispiele zu den zeichnerischen Verfahren

Beispiel 1: Zeichnerische Ermittlung der äußeren Auflagerkräfte an einem Rahmen

Der Rahmen besteht aus zwei starren Teilen, die bei C durch ein Gelenk verbunden sind. Die Belastung erfolgt durch die Kräfte P_1 und P_2 sowie die Flächenlast p_0 . Die Kräfte an den Auflagern A und B sind zu ermitteln. Die Ausgangssituation ist in der Skizze Bild 11.2/1 dargestellt. Die zeichnerische Lösung zeigt das Bild 11.2/2. Der Kräfteplan für den Rahmen ist rechts gezeichnet. Die Auflagerkräfte sind durch Kreise gekennzeichnet.

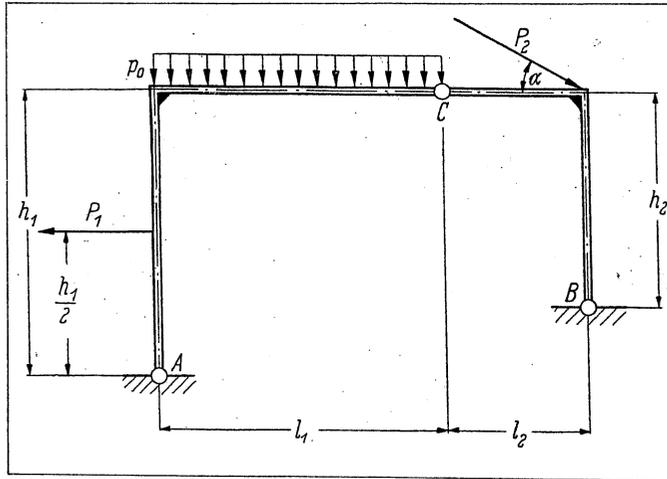


Bild 11.2/1:
Dreigelenkrahmen
mit Belastungen

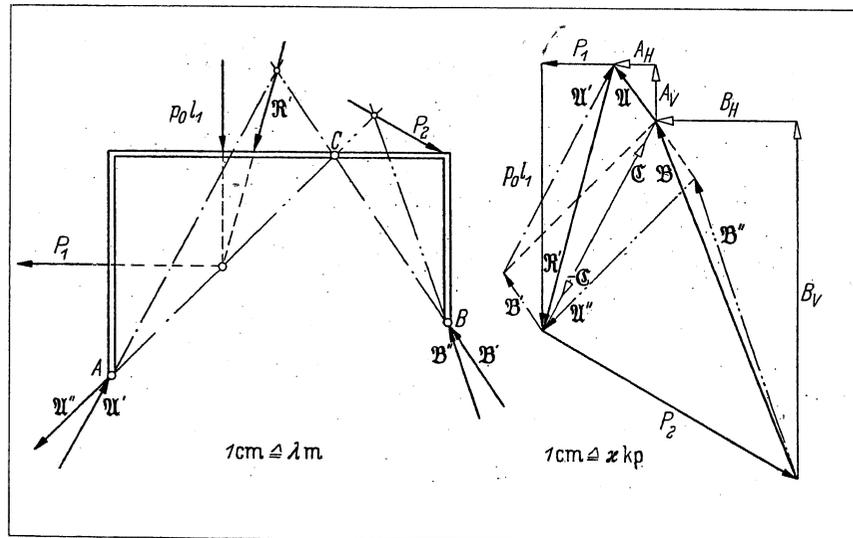


Bild 11.2/2: Kräfteplan mit Auflagerkräften bei A und B.

Beispiel 2: Stabkräfte in einer ebenen Fachwerkskonstruktion

Von dem Fachwerk ist die Konstruktion und die Belastung durch drei äußere Kräfte bekannt (siehe Bild 11.2/3). Die einzelnen Stabkräfte sollen ermittelt werden. Das verwendete Verfahren ist unter dem Begriff „Cremona-Plan“ bekannt. Es wurde als Standardverfahren in der Statik von Fachwerkskonstruktionen angewendet. Der „Cremona-Plan“ ist der geschlossene, maßstäbliche Kräfteplan rechts im Bild 11.2/4.

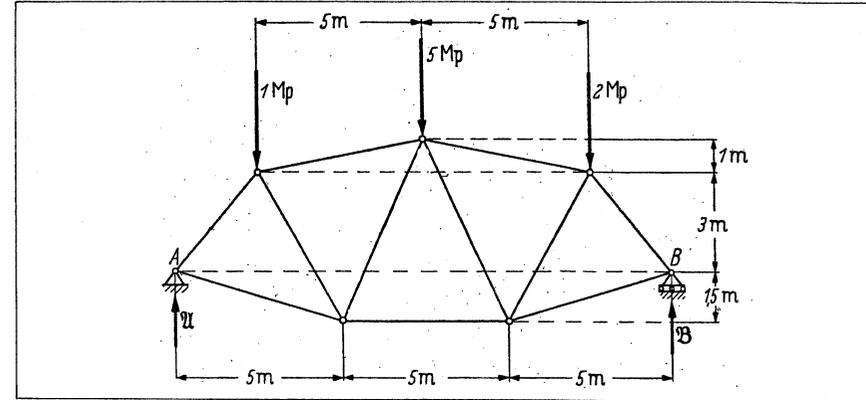


Bild 11.2/3: Maßstäbliche Skizze der Fachwerkskonstruktion

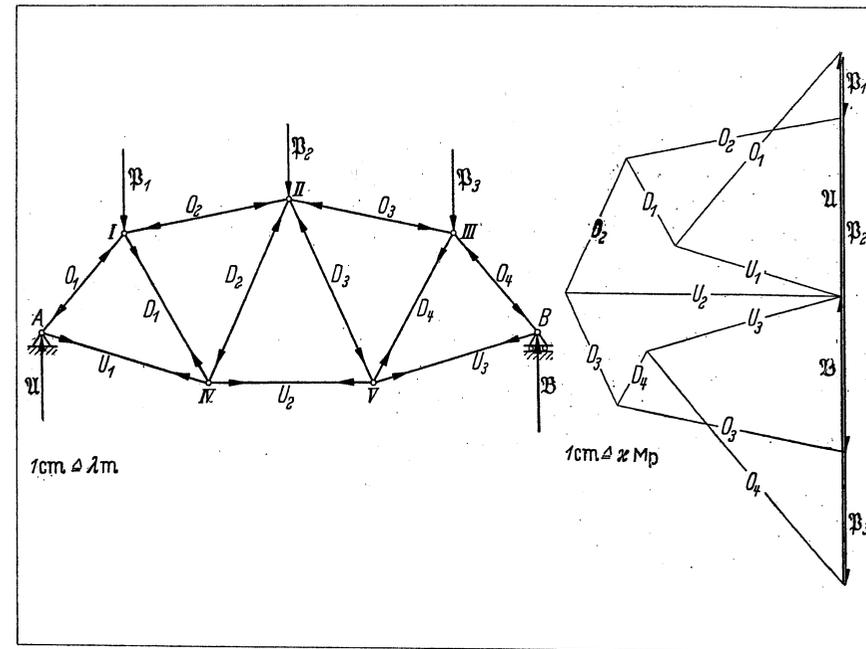
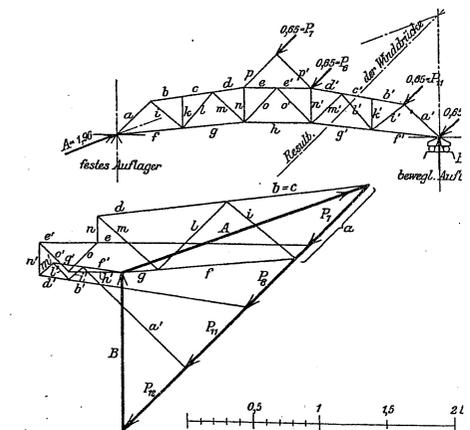
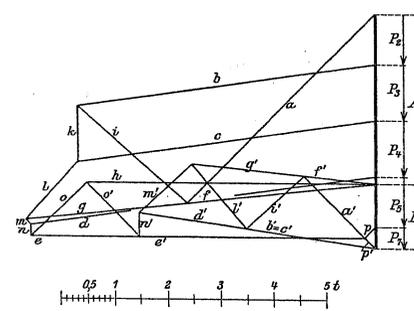
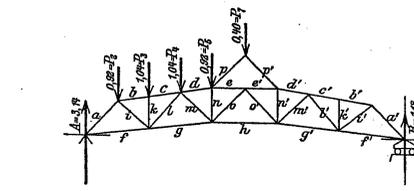
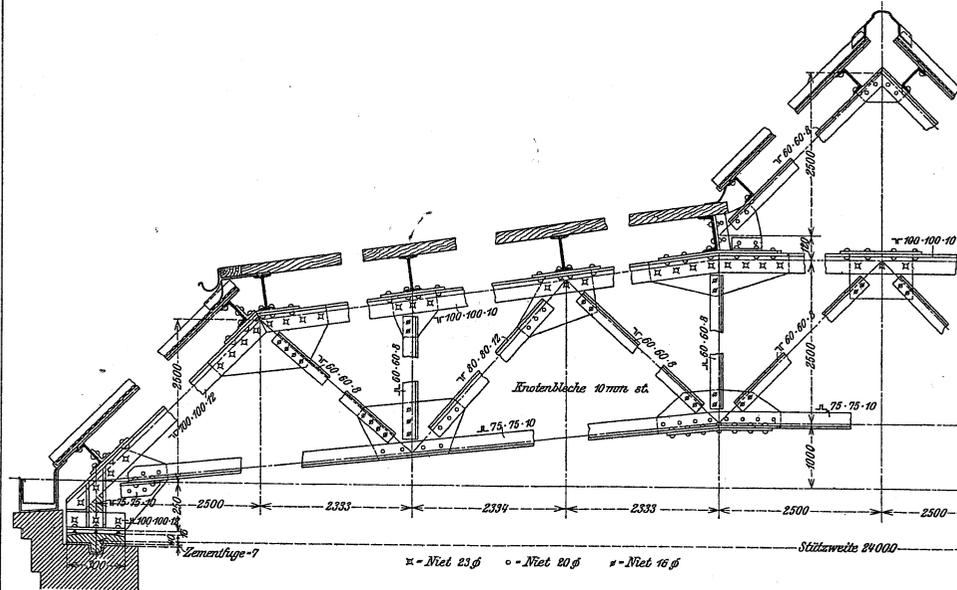
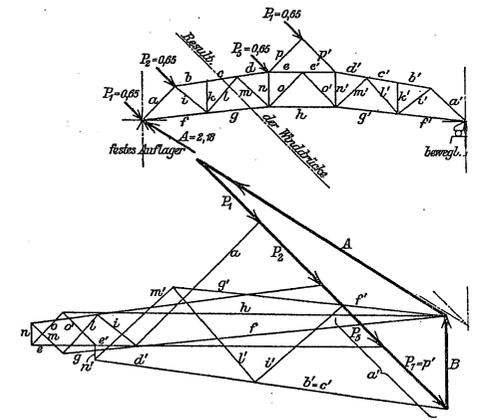
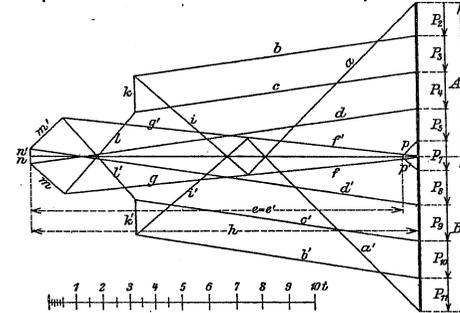
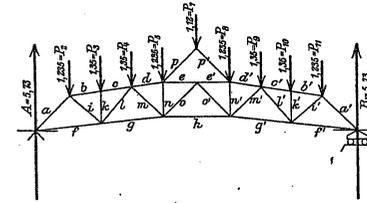


Bild 11.2/4: Stabkennzeichnung und „Cremona-Plan“

Stabtable (+ bedeutet Zug, - bedeutet Druck).

	Stabkräfte in Tonnen								Stab- querschnitte	Zug- beanspruchung mit Nietabzug	bei Eigen- gewicht u. Wind	Knick- länge	Erforderliches J/min	Vor- handenes J/min			
	Stabkräfte aus den Kräfteplänen				Größte Stabkräfte												
	für Eigen- gewicht	für Schneelast		für Winddruck	für Eigen- gewicht u. Schnee	für Eigen- gewicht u. Wind											
Obertrag	a	-9,0	-5,0	-1,9	-6,9	-1,1	-0,8	-15,9	112	100-100-12 Niet 23 φ			3,55	1,82-12,2-3,55 ² = = 396	2-207 = = 414		
	b u. e	-10,6	-5,7	-2,5	-8,2	-1,7	-1,1	-18,8	112	100-100-10 Niet 23 φ			2,35	1,82-28,1-2,35 ² = = 282	2-177 = = 354		
	b' u. e'	-10,6	-5,7	-2,5	-8,2	-1,7	-1,1	-18,8	112	100-100-10 Niet 23 φ			2,35	1,82-28,1-2,35 ² = = 282	2-177 = = 354		
	d	-14,5	-4,3	-0,3	-11,0	-2,3	-2,0	-25,5	112	100-100-10 Niet 23 φ			2,50	1,82-26,9-2,50 ² = = 307	2-177 = = 354		
Untertrag	e	-13,9	-6,2	-4,2	-10,4	-2,6	-1,6	-24,3	112	100-100-10 Niet 23 φ			2,50	1,82-26,9-2,50 ² = = 307	2-177 = = 354		
	f	6,4	+3,3	+1,3	+4,8	+2,3	+1,3	+11,2	112	75-75-10 Niet 20 φ	2 (14,1-2-1) = 24,2	1050	1170				
	g	+13,3	+6,5	+3,5	+10,0	+2,9	+0,3	+23,3	112	75-75-10 Niet 20 φ							
	h	+14,5	+5,3	+5,3	+11,0	+2,8	+0,4	+25,5	112	75-75-10 Niet 20 φ							
Füllstäbe	e	+5,3	+2,7	+1,3	+4,2	+0,4	+0,6	+9,7	112	60-60-8 Niet 16 φ	2 (9,03-1,6-0,8) = 15,3	625	680				
	f	-1,4	-1,0	-	-1,0	-	-	-2,4	112	60-60-8 Niet 16 φ				2,46	1,82-2,4-2,4 ² = = 25,3	2-20,1 = = 38,2	
	g	-4,0	-1,4	-1,6	-3,0	-0,4	-0,8	-7,0	112	60-60-8 Niet 16 φ				3,50	1,82-8,0-3,5 ² = = 18,0	2-162 = = 204	
	h	-4,0	-1,6	-1,4	-3,0	-1,0	-0,2	-7,0	112	60-60-8 Niet 16 φ				3,50	1,82-8,0-3,5 ² = = 18,0	2-162 = = 204	
Ober- lied	m	+1,7	-0,1	+1,4	+1,3	+0,3	-0,6	+3,1	112	60-60-8 Niet 16 φ			15,1		200	350	
	n	+1,7	-0,1	+1,4	+1,3	+0,3	-0,6	+3,1	112	60-60-8 Niet 16 φ			15,1		45	45	
	o	-0,2	-0,2	+0,3	+0,3	-0,2	-0,2	+0,7	+0,7	112	60-60-8 Niet 16 φ			15,1		45	45
	p	-0,2	-0,2	+0,3	+0,3	-0,2	-0,2	+0,7	+0,7	112	60-60-8 Niet 16 φ			15,1		45	45



Tafel 11.2/01: Beispiel zur Graphostatik
Kräftebestimmung an einem genieteten Dachträger (um 1920)
Zeichnung des Trägers, Cremonapläne, Stabtable zur Auslegung der Profile
(ohne Erläuterungen)

Beispiel 3: Die inneren Kräfte an einem Kranausleger sollen ermittelt werden

Die maßstäbliche schematische Skizze für den Ausleger ist im Bild 11.2/5 wiedergegeben. Die Last P hängt an einem Seil, das über C, G, E nach A geführt ist. Die Seilstützen sind bei D und F biegesteif mit dem Grundträger verbunden. Die inneren Kräfte, oft auch „Schnittlasten“ genannt, sind die senkrechte Normalkraft N , die Querkraft Q und das Drehmoment M . Diese Kräfte ändern sich über der Länge des Grundträgers (siehe Bild 11.2/6). Die zeichnerische Darstellung der Kräfte ist wichtig für die Berechnung des Grundbalkens. Bei der Auslegungsberechnung werden die drei Kräfte als Beanspruchungen je Abschnitt des Balkens überlagert und gehen als „zusammengesetzte Beanspruchung“ in die Festigkeitsrechnung ein. Mit etwas Mühe kann man auf diese Art den Grundträger als „Träger gleicher Gestaltfestigkeit“ auslegen.

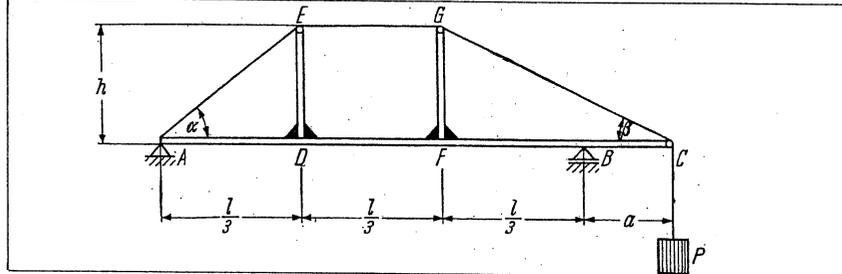


Bild 11.2/5: Maßstäbliche Skizze des Kranauslegers

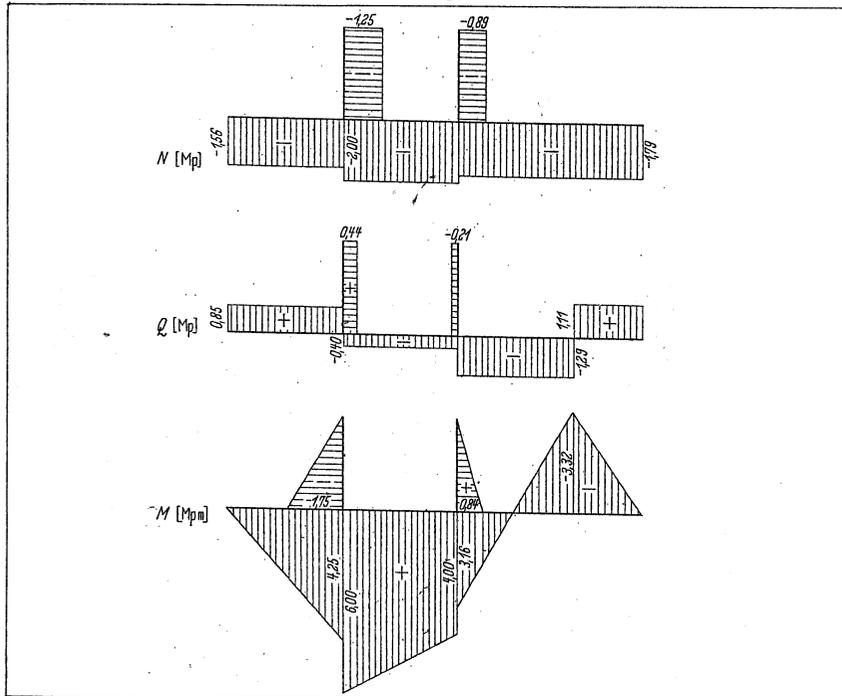


Bild 11.2/6: Normal- Querkraft- und Biegemomentverlauf des Grundträgers

Beispiel 4: Die Beschleunigungen entlang einer Weg-Zeit-Kurve sollen ermittelt werden

Dieses einfache Beispiel ist dem Fachgebiet der Kinematik zuzuordnen. Die zeichnerische Ermittlung kinematischer Größen (Weg, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Punkte mit besonderen kinematischen Größen (z.B. max. Beschleunigungen etc.) waren noch Anfang des 20. Jahrhunderts weit verbreitet. Die entsprechenden Verfahren wurden von den Ingenieuren meist während der Entwurfsphase eingesetzt. Die zeichnerischen Anforderungen waren im Allgemeinen gering, wenn man die Verfahren beherrschte. Im Beispiel sind die Position der maximalen Beschleunigung und deren Größe eines Kreuzkopfes (Schubkurbeltrieb) gesucht. Der Weg s über der Zeit ist gegeben. Das eingesetzte Verfahren ist die graphische Differentiation. Bekanntlich ist die Beschleunigung die zweite Differentialkurve der s - t -Kurve.

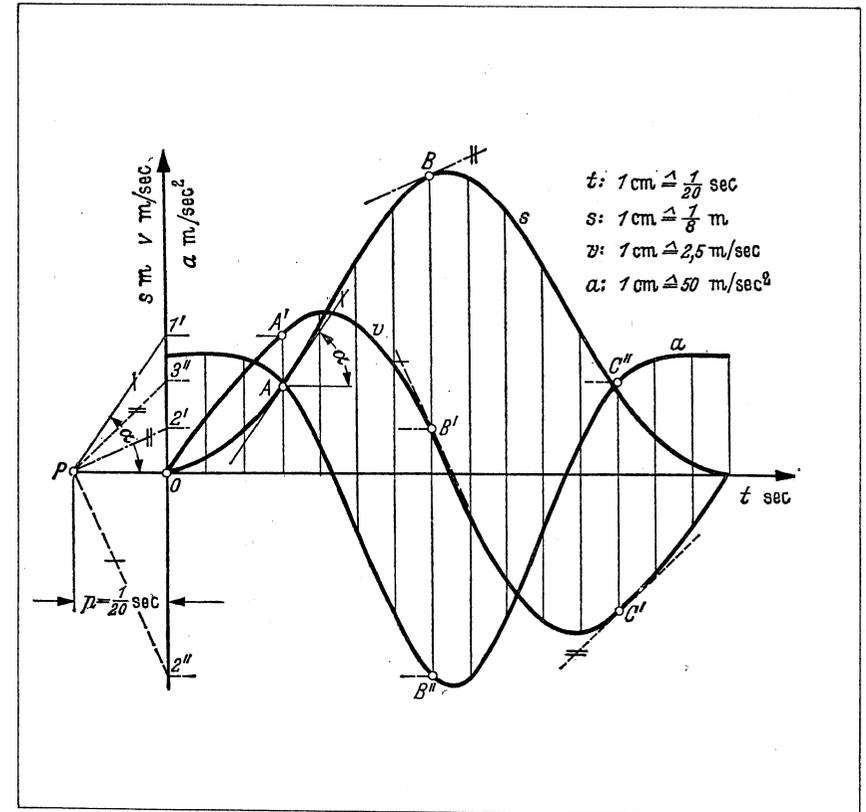
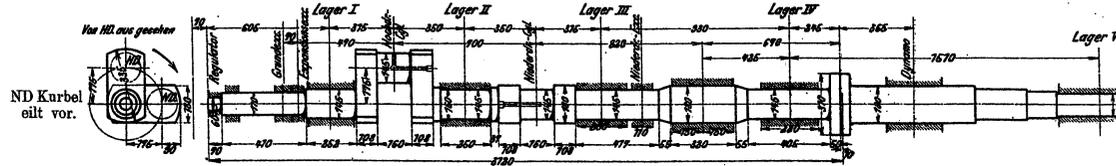
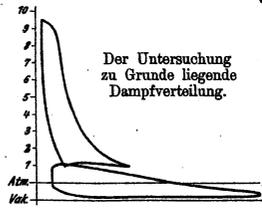


Bild 11.2/7: Beschleunigungsverlauf eines bewegten Kreuzkopfes

Welle mit zwei unter 90° versetzten Kröpfungen der stehenden Verbundmaschine

Beispiel 7

A. Borsig, Tegel b. Berlin.



Ermittlung 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.

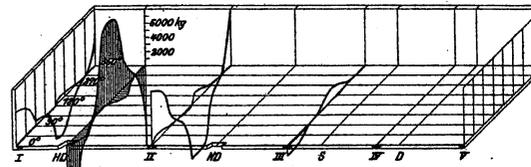
Gewichte der Triebwerksteile.

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

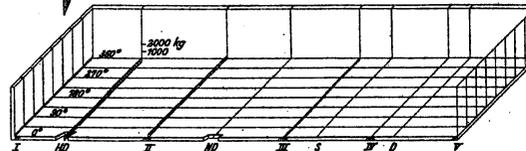
	HD Kurbel	ND Kurbel	Schwungrad	Dynamoanker
Gewichte der hin- und hergehenden Massen.....	281 kg	375 kg	2800 kg	2100 kg
Fliehkräfte der rotierenden Massen.....	1140 "	1140 kg		
[der Kurbelarme 408 kg, des Kurbelsapfens 182 kg und des rotierenden Teiles der Schubstange.....670 kg]				

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.

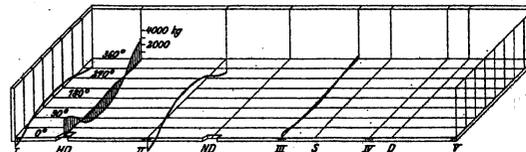
HD - Seite:
Kolbendrücke.



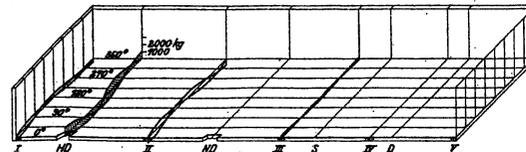
Gestängedrücke 353 kg.



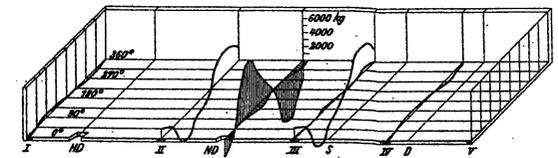
Massendrücke; Gewichte der hin- und hergehenden Teile 281 kg.



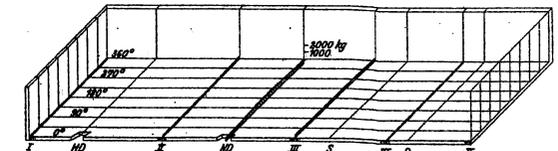
Fliehkräfte 1140 kg.



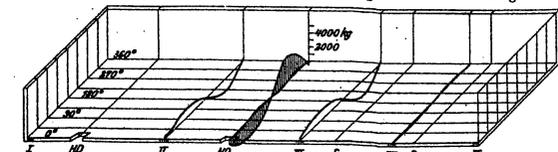
ND - Seite.
Kolbendrücke.



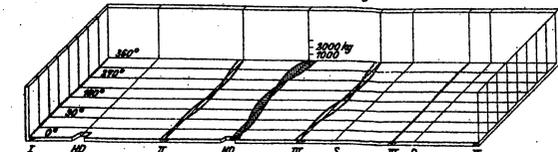
Gestängedrücke 447 kg.



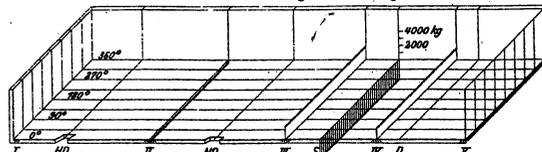
Massendrücke; Gewichte der hin- und hergehenden Teile 375 kg.



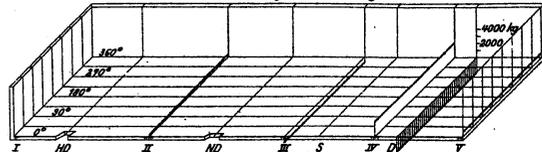
Fliehkräfte 1140 kg.



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.

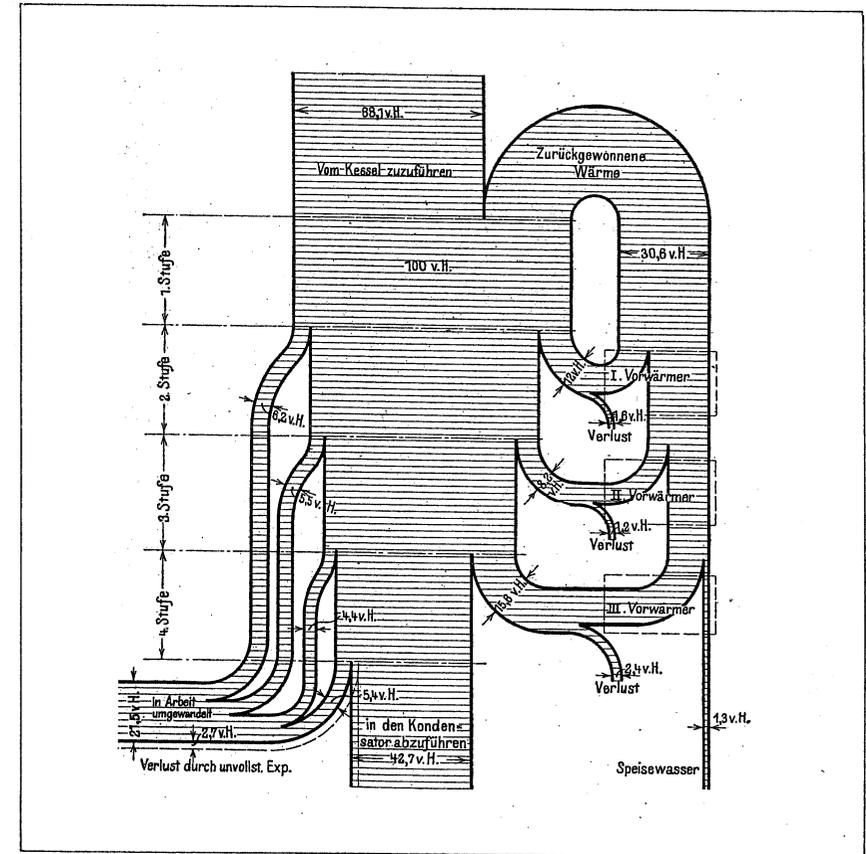
Im Folgenden werden anhand von Beispielen einige Nomogramme vorgestellt. Ihre Entwicklung wird nicht beschrieben. Das würde weit über den Rahmen dieser Schrift hinausgehen. Schwerpunkt hier ist die zeichnerische Seite der Nomographie.

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:

Es gibt, neben den nomographischen Darstellungen im engeren Sinne, noch eine große Zahl graphischer Schemata zur anschaulichen Verdeutlichung von Zusammenhängen. Sie werden hier nicht behandelt. Sie sind auch heute noch Allgemeingut und in der Regel unmittelbar verständlich. Die zeichnerischen Anforderungen bei der Anfertigung sind gering. Ein einfaches Beispiel ist die Darstellung von Mengenflüssen, Volumenströmen etc. in sogenannten „Flussdiagrammen“.

Das Bild zeigt den Energiefluss einer Dampfmaschine mit vierstufiger Expansion, Kondensation und Vorwärmung des Speisewassers. Übersichtlicher und kürzer können die Verhältnisse kaum dargestellt werden.



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.

12.2 Beispiele für Nomogramme

Beispiel 1: Standardnomogramm zur Ermittlung von Leistung, Kraft, Geschwindigkeit, Durchmesser und Drehzahl

Ähnliche Nomogramme gab es für eine Vielzahl technischer Grundgleichungen. Sie waren im Maschinenbau noch Anfang des 20. Jahrhunderts weit verbreitet. Das Nomogramm verknüpft die gängigen mechanischen Größen bei der Drehbewegung einer Welle.

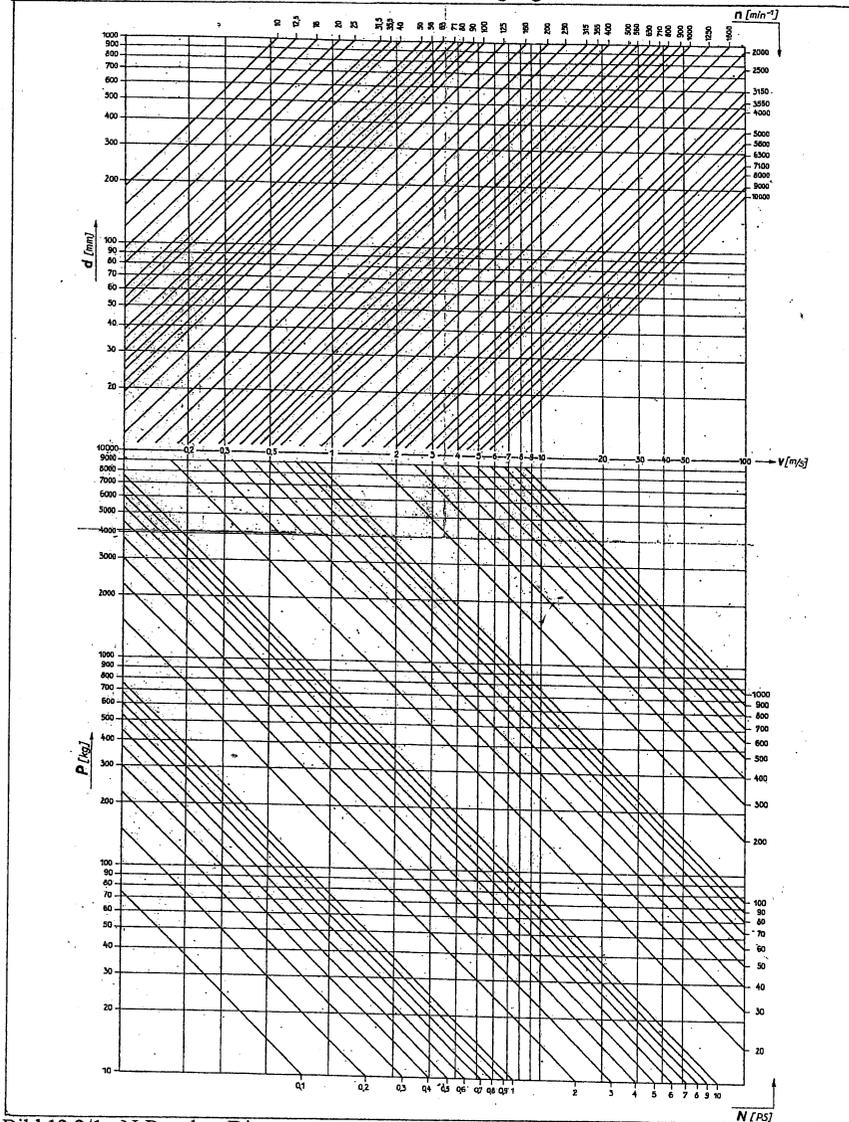


Bild 12.2/1: N-P-v-d-n- Diagramm

Beispiel 2: Mehrgliedriges Nomogramm zur Ermittlung einer speziellen Größe
Mehrgliedrige Nomogramme entstehen durch das Aneinanderreihen von Einzelnomogrammen. Das dargestellte Nomogramm gilt für die Formel:

$$E = \{[(y \cdot x) + z] : u\} - v,$$

Zeichnerisch ermittelt wird der Wert für „E“ innerhalb der gezeichneten Wertebereiche. Das Nomogramm enthält Felder für die Multiplikation, Addition, Division und Subtraktion. Die Verbindung der vier Nomogrammfelder erfolgt über die sogenannten „Leitlinien“ L. Der Auswertegang besteht aus neun Teilen. Ein Beispiel für die Anwendung ist gestrichelt eingetragen.

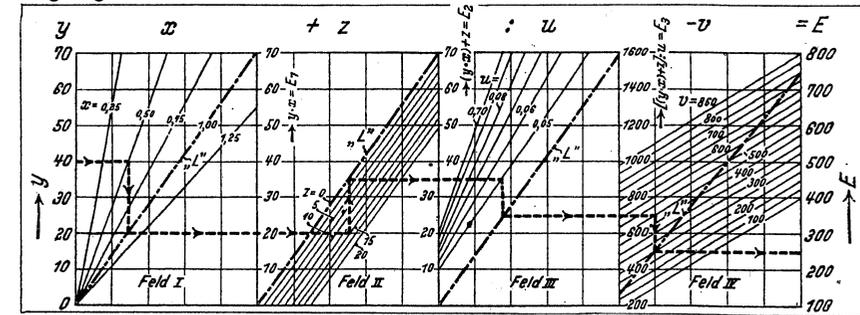


Bild 12.2/2: Mehrgliedriges Nomogramm zur Ermittlung von „E“

Beispiel 3: Nomogramm zur Ermittlung der Oberfläche einer Kugelkalotte

Das Nomogramm ist ein Sonderfall einer in Parallelkoordinaten gezeichneten Dreileitertafel. Es wurde nicht mit linearen Beziehungen zwischen einigen Variablen gearbeitet, sondern mit Kurven, sogenannten „Gleitkurven“. Durch die „Gleitkurven“ können Zusammenhänge zwischen mehreren Variablen in nur einem Auswertegang abgelesen werden.

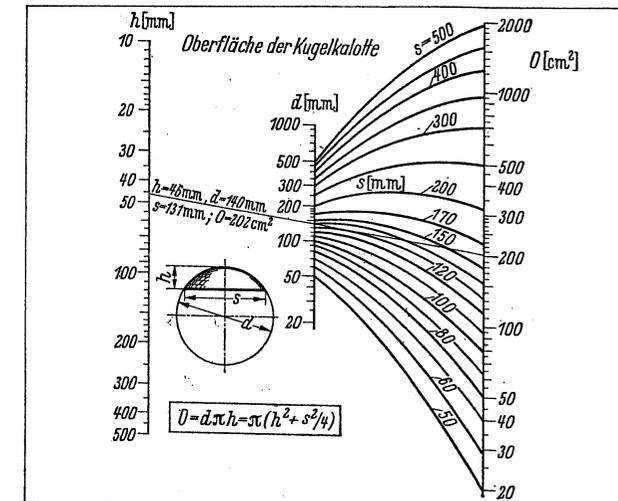
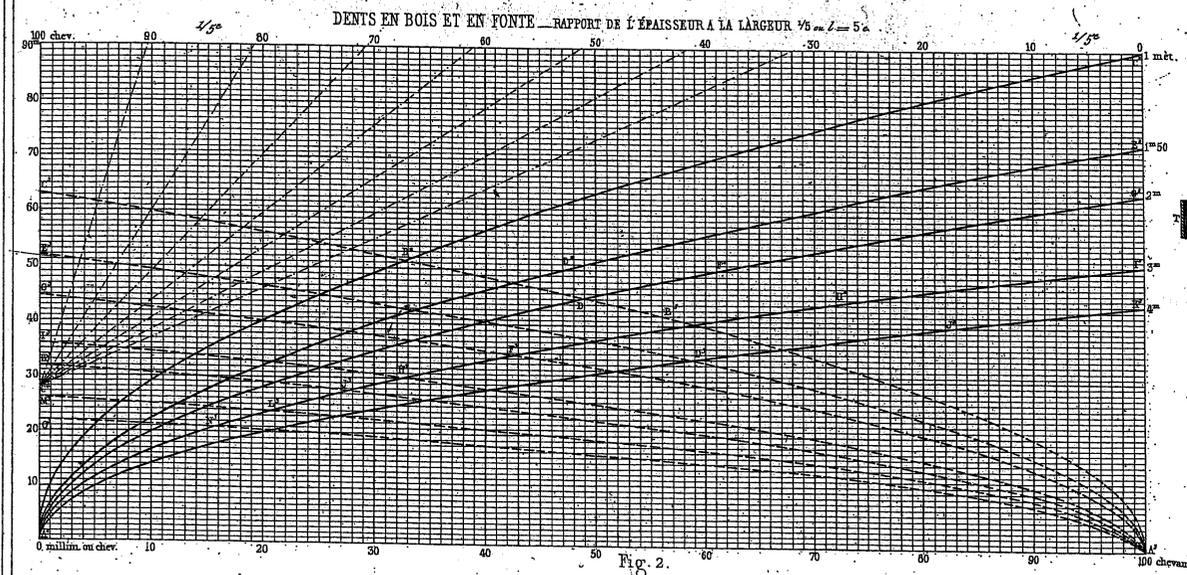
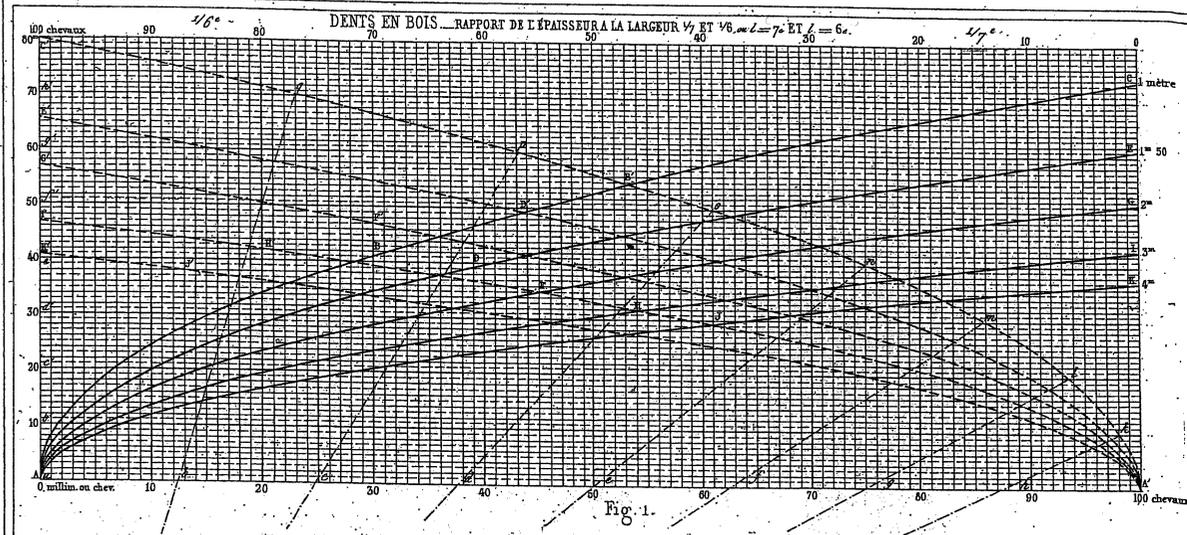
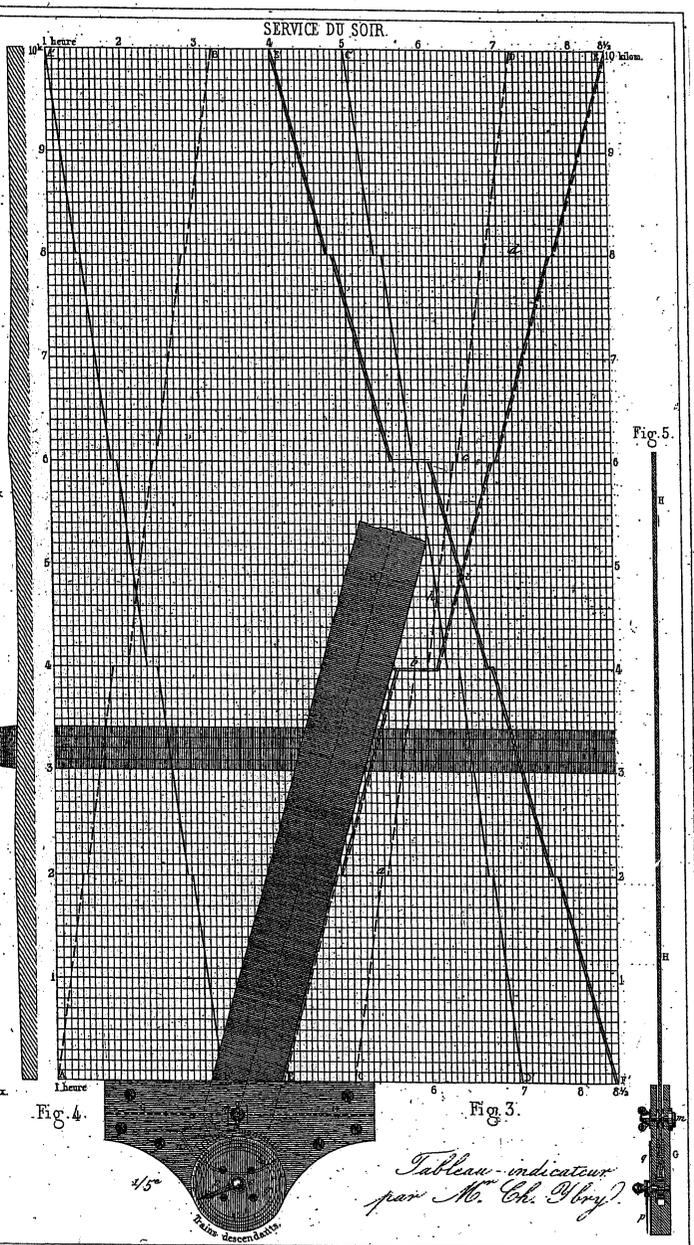


Bild 12.2/3:
Nomogramm zur
Ermittlung der
Oberfläche
einer Kugelkalotte



Sur les Fig. 1 et 2, les Courbes A B C... A' B' C'... correspondent à une vitesse de 1 mètre par 1' à la circ.^{me} primitive.

A B C... A' B' C'...	1 mètre par 1'
A D E... A' D' E'...	1 mètre 50 par 1'
A F G... A' F' G'...	2 mètres "
A H I... A' H' I'...	3 mètres "
A J K... A' J' K'...	4 mètres "
..... A' L' M'...	5 mètres "
..... A' N' O'...	6 mètres "



Tafel 12.2/3: Nomogramm zur Auslegung von Zahnrädern

13. MODELLANFERTIGUNG

In den Abteilungen, die sich in den Maschinenbauunternehmen mit der Entwicklung und Konstruktion technischer Objekte beschäftigt haben, sind auch die unterschiedlichsten Modelle dieser Objekte oder Modelle von bestimmten Funktionen dieser Objekte angefertigt worden. Die Abgrenzung bei der Anfertigung von Modellen zu anderen Abteilungen im Betrieb, die Modelle bauen konnten, war das Material. Konstruktive Modelle waren zumeist aus Papier und Pappe. Die „Konstruktionsbüros“ hatten die größten Erfahrungen mit diesem Material und die entsprechenden Arbeitsmittel. Diese Modelle wurden in allen Phasen des Konstruktionsprozesses eingesetzt. Besonders intensiv in der Entwurfsphase.

Mit konstruktiven Modellen sind unterschiedliche Modellarten gemeint. Man kann sie in zwei Gruppen ordnen:

- zweidimensionale oder ebene Modelle
- dreidimensionale Modelle.

Mit zweidimensionalen Modellen wurden insbesondere die kinematischen Verhältnisse von komplizierten Mechanismen untersucht. Eine andere Möglichkeit kontinuierlich Grenzlagen, Kollisionen etc. vor der Herstellung der Maschinen zu überprüfen gab es nicht. Bei den Mechanismen, im Allgemeinen vielgelenkige mechanische Ketten, wurde die Hauptgeometrie in verkleinerter Form nachgebildet. Die Gelenke mit Hilfe von z.B. „Nadeln“ oder Reißzwecken fixiert und die gesamten Bewegungsmöglichkeiten durchgespielt. Die Genauigkeit dieser „Simulation“ war ausreichend. Der Vorteil dieses sehr einfachen Verfahrens lag darin, dass die kinematischen Verhältnisse unmittelbar verständlich waren und es eine sehr einfache Möglichkeit der Variation und Optimierung gab. Interessanterweise sind auf diese Art Grundsatzuntersuchungen an komplizierten Steuerungen von beispielsweise Dampfmaschinen oder auch Lokomotiven durchgeführt worden. Bei Lokomotivsteuerungen gab es auch Modelle im Maßstab 1 : 1. Allerdings nicht mehr aus einfacher Pappe sondern als aufwendig gefertigte Modelle aus Metall.

Zweidimensionale Modelle wurden auch für Präsentationszwecke, beispielsweise zur Veranschaulichung einer Funktion, angefertigt.

Einen Sonderfall bei den zweidimensionalen „Modellen“ stellten Abwicklungen räumlicher Körper dar. Im Behälter- und Kesselbau mussten die Abwicklungen von Durchdringungen mehrerer Körper als Blechzuschnitte angefertigt werden. Diese Abwicklungen wurden oft vor dem Zuschneiden der Bleche in verkleinerter Form überprüft. Die Abwicklungen wurden in Papier als ebene Modelle ausgeschnitten und in die entsprechende räumliche Form gebracht. Die Stöße der einzelnen Abwicklungen konnten mit hinreichender Genauigkeit jetzt am Modell in Augenschein genommen werden.

Mit dreidimensionalen Modellen konnte die räumliche Wirkung technischer Objekte und deren Funktion veranschaulicht werden. Üblicherweise wurden diese Modelle aus Holz oder Metall in den mechanischen Werkstätten hergestellt. Einfache Modelle konnten auch aus Papier bzw. Pappe zusammengeklebt werden. Die Anfertigung ging schneller und war preiswerter. Der Bau derartiger Modelle war in den Konstruktionsabteilungen eine seltene Arbeit. Sie erforderte eine spezielle zeichnerische Vorarbeit, da nicht nur die Flächen des technischen Objekts gezeichnet werden mussten, sondern auch die „Abwicklungen“ der Flächen, ihre zweckmäßige Zuordnung und die Verbindungen beispielsweise durch geplante Klebekanten und Klebestreifen. Die Grenze des konstruktiven Zeichnens ist bei den zeichnerischen Vorarbeiten zur Anfertigung der Modelle sicherlich erreicht. Erwähnenswert ist, dass die Anfertigung von Modellen eine Zeit lang fester Bestandteil der technischen Ausbildung war. Die Beispiele in den Bildern 13/1 bis 13/3 zeigen einfache Beispiele aus dem Ausbildungsplan für Konstrukteure.

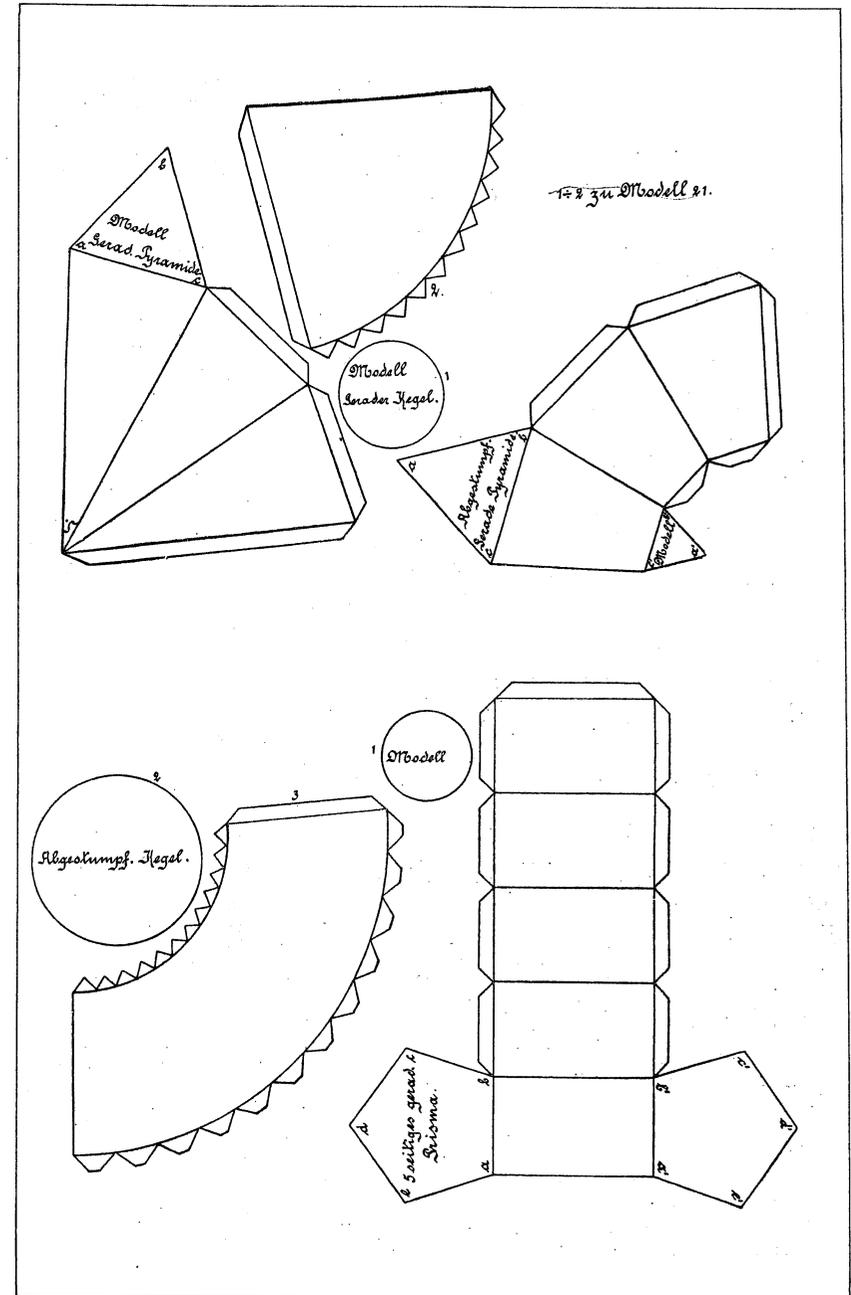


Bild 13/1: Einfache dreidimensionale Modelle (Übungsbeispiele um 1920)

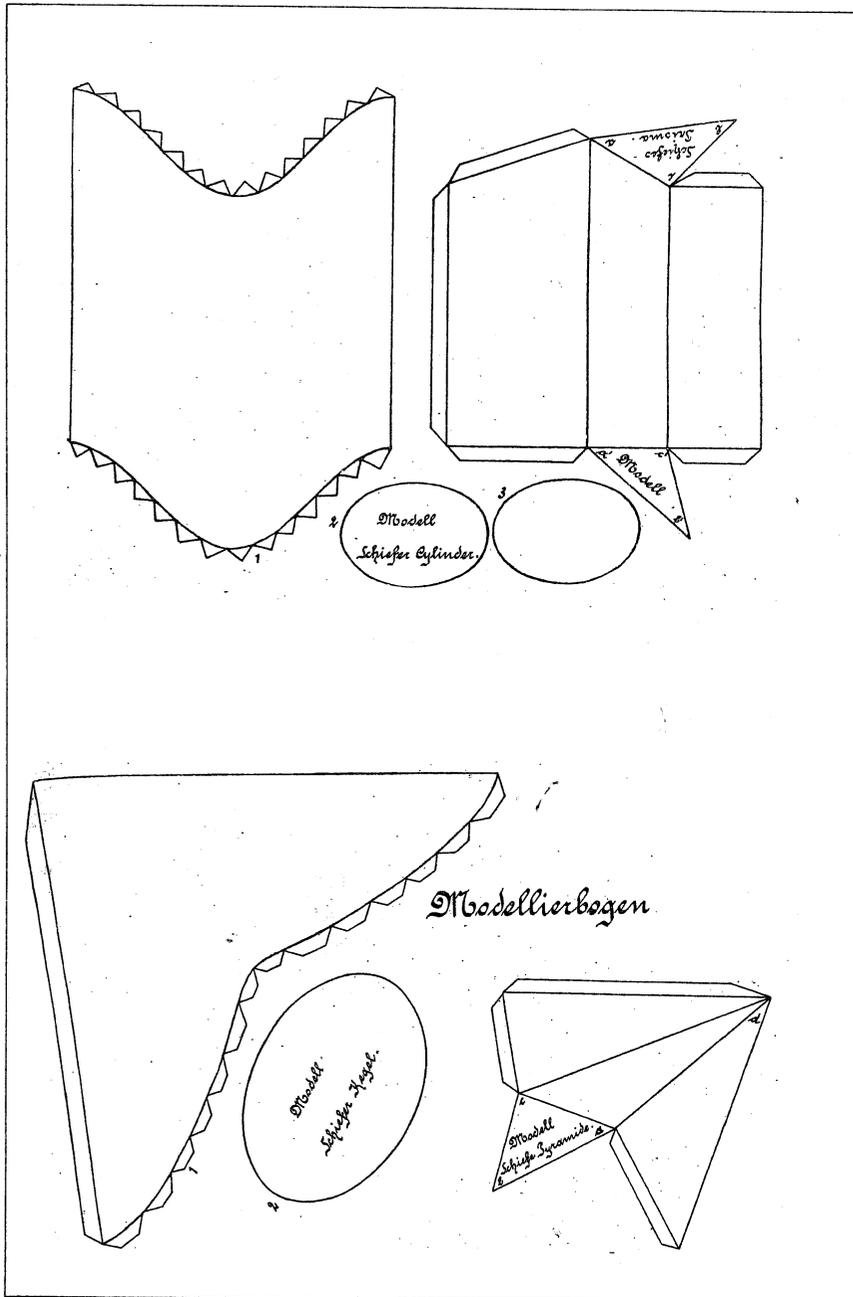


Bild 13/2: Einfache dreidimensionale Modelle (Übungsbeispiele um 1920)

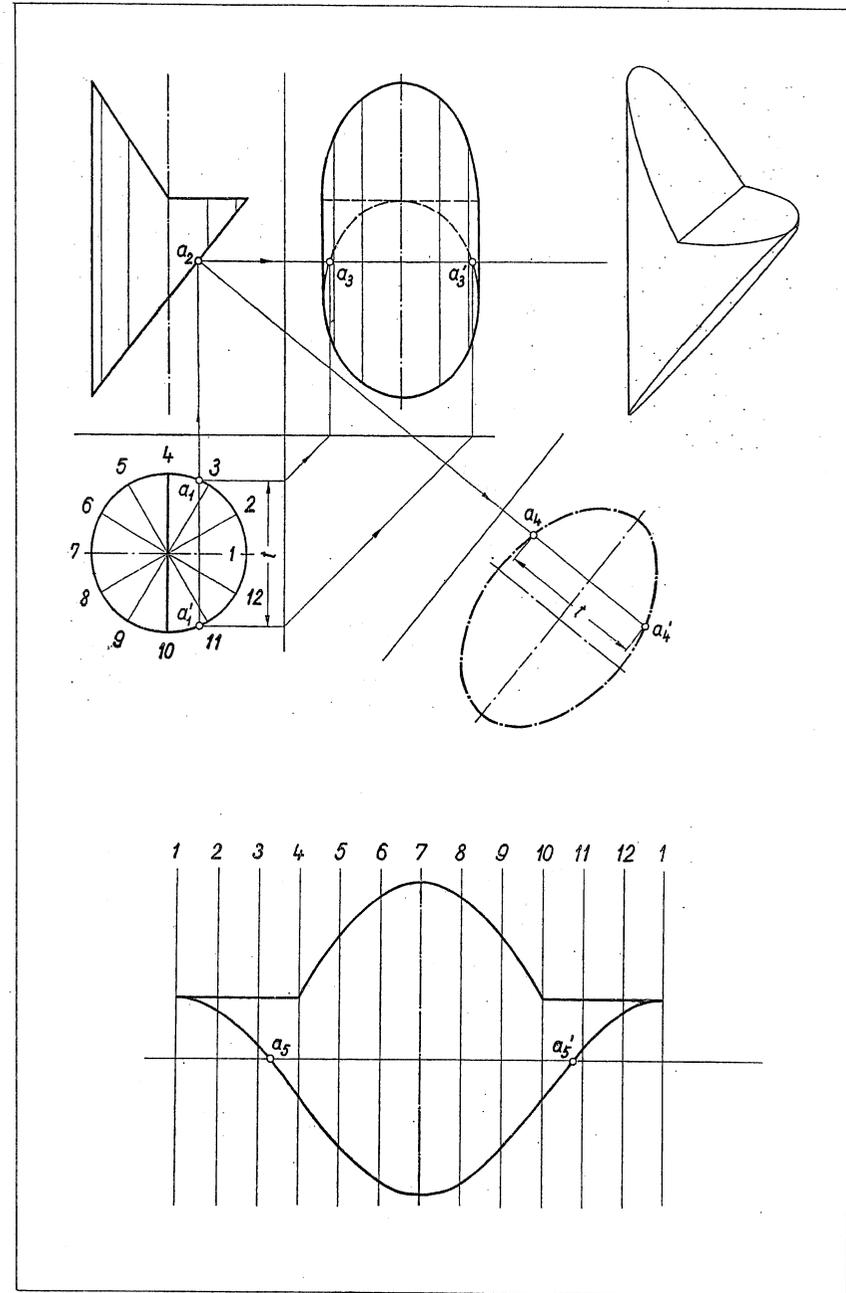


Bild 13/3: Einfache dreidimensionale Modelle (Übungsbeispiele um 1920)

14. ZEICHNUNGEN FÜR SONDERZWECKE

14.1 Zeichnungsarten

Das Anfertigen von konstruktiven Zeichnungen im 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts war nicht nur auf die Erstellung von fertigungsbegleitenden Unterlagen beschränkt. Alles, was in einem Unternehmen an zeichnerischen Arbeiten anfiel, wurde von den Konstrukteuren und Zeichnern in den „Zeichenbüros“ erledigt. In den frühen Maschinenbaubetrieben gab es für die Anfertigung von Gebrauchszeichnungen aller Art, für die Präsentation der Erzeugnisse auf Ausstellungen, für die Werbung, den Verkauf der Produkte, die zeichnerischen Erläuterungen für den Gebrauch, die Ersatzteilbestellung etc., gar keine andere Möglichkeit. Die Zeichenkenntnisse und Fertigkeiten in den Werkstätten waren für diese Zwecke nicht ausreichend. Insbesondere die Anfertigung anschaulicher Zeichnungen verlangte detaillierte Kenntnisse der Zentralprojektion. Die Fülle an unterschiedlichen Zeichnungen, die in einem Unternehmen angefertigt werden mussten, war fast unbegrenzt. Sie reichte von anschaulichen Zeichnungen für Ausstellungen bis zu speziellen Darstellungen technischer Objekte für die Ersatzteilbestellung durch Kunden.

An einigen Stellen sind Überschneidungen zum künstlerischen Zeichnen offensichtlich. Viele anspruchsvolle Darstellungen der gefertigten Objekte, beispielsweise für Repräsentationszwecke, wurden von den Zeichnern der Unternehmen angefertigt. Darunter Bilder mit beachtlicher Qualität. Der große Vorteil bei der Selbstanfertigung war, dass die Personen verstanden, was sie zeichneten.

Aufwendige repräsentative Gemälde sind in der Regel von Künstlern angefertigt worden. Die Zielsetzung der Akteure war unterschiedlich. In den Zeichnungen der betriebseigenen Personen sollten die Darstellungen dem hergestellten Objekts und den Herstellungsbedingungen entsprechen, im zweiten Fall standen mehr die künstlerischen Empfindungen, der Stil der Zeit und die Intentionen des Auftraggebers im Vordergrund.

Eine große Gruppe an Sonderzeichnungen bildeten die Zeichnungen für die Abnehmer der technischen Objekte. Mit der Herstellung einer Maschine allein war es nicht getan. Zur Inbetriebnahme, zur Nutzung, Reparatur etc. mussten entsprechende Informationen vom Hersteller bereitgestellt werden, auch zeichnerische. Dabei musste beachtet werden, dass nicht jeder Abnehmer in der Lage war, eine übliche technische Zeichnung zu lesen. Viele dieser Zeichnungen sind allgemeinverständlich als perspektivische Darstellungen angefertigt worden.

Einen großen Einfluss auf die Sonderzeichnungen hatte die rasante Entwicklung der graphischen Techniken. Durch die Fotografie und neue Drucktechniken entstanden ganz neue Möglichkeiten der Anfertigung von anschaulichen Darstellungen und Gebrauchszeichnungen.

Bemerkung:

Typische Zeichnungen für Sonderzwecke sind auch die Darstellungen, die auf Basis von fotografischen Aufnahmen entstanden sind. Sie zeigen im Allgemeinen fertige Maschinen in Gesamtbildern. Die angewandten grafischen Techniken basieren auf fotochemischen Grundlagen. Es gibt eine Vielzahl an Verfahren, mit und ohne manuelle Nacharbeiten. Die Darstellungen sind nicht als Ersatz einer technischen Gesamtzeichnung zu sehen. Sie dienen zu Werbezwecken, als Buchillustrationen u.ä.m. Kenntnisse im konstruktiven Zeichnen sind beim „Lesen“ der Zeichnungen nicht erforderlich (siehe Bild 14.1/1).

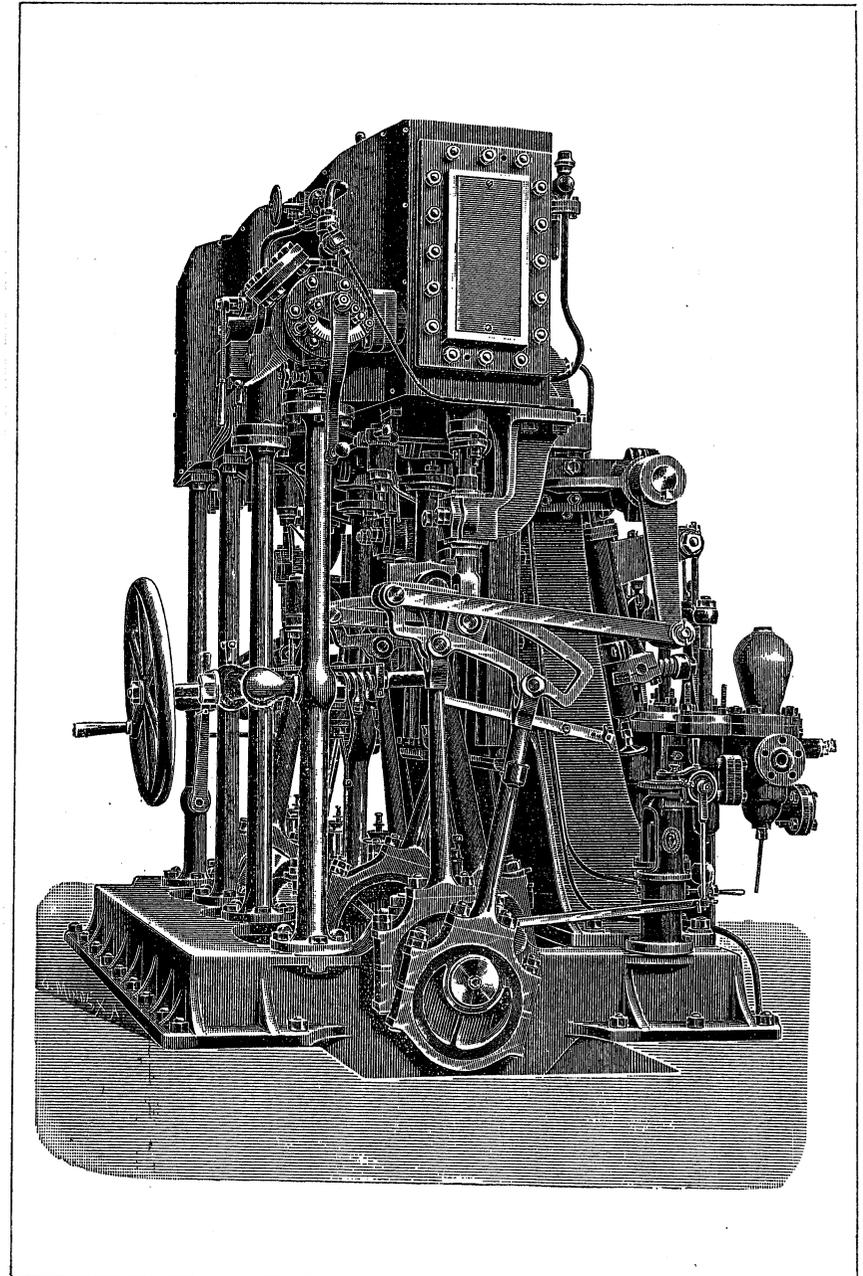


Bild 14.1/1: Gesamtbild einer stehenden Dampfmaschine (Gebr. Sachsenberg, Rosslau a.d.E., um 1910)

14.2 Proportionalzeichnungen

Proportionalzeichnungen, sie wurden früher auch Proportionalrisse genannt, sind Sonderzeichnungen bei der Entwicklung von selbstständlichen technischen Objekten in unterschiedlichen Größen. Eine Maschine liegt beispielsweise vollständig durchkonstruiert vor, Maschinen gleicher Art in anderen Abmessungen werden gewünscht. Es soll also eine geometrisch ähnliche Vergrößerung oder Verkleinerung durchgeführt werden. Die Abstufung der Größen ist nicht festgelegt. Für die Abstufung gibt es zwei Möglichkeiten, zum einen nach betriebsspezifischen Kriterien und zum anderen nach mathematischen Gesichtspunkten. Die optimale Wahl der Abstufung ist von großer Bedeutung, da im Allgemeinen aus Wirtschaftlichkeitsgründen ein möglichst umfassender Größenbereich mit wenigen Stufenvarianten abgedeckt werden soll. Die Abstufung selbst wird in diesen Fällen nach geometrischen Kriterien vorgenommen. Es gab aber auch die Möglichkeit, Leistungsgrößen, Arbeitsbereiche u.a.m. als Basis für eine Stufung zu verwenden.

In der Praxis wurden oft Abstufungen gewählt, die eine harmonische Überdeckung des Größenbereichs erlaubten. Gestuft wurden die entsprechenden Größen nach geometrischen Reihen u.ä. Das ist bei den bekannten „Baureihen“-Konstruktionen der Fall. Baureihen im engeren Sinne sind technische Objekte, die dieselbe Funktion, mit der gleichen Lösung, in mehreren Größenstufen erfüllen. Typische Darstellungen in diesen Fällen sind „Strahlenzeichnungen“.

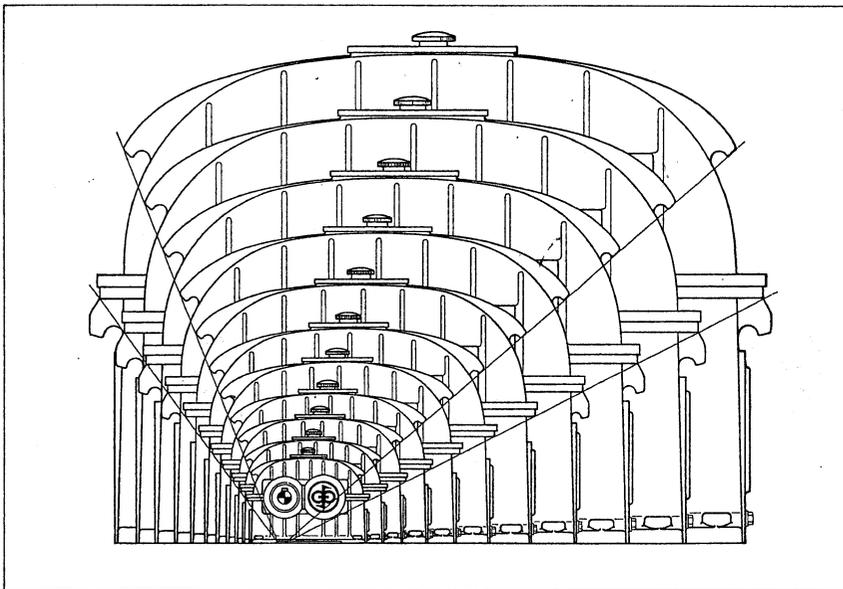


Bild 14.2/1: Baureihe (Strahlenzeichnung) eines Getriebes

Baureihen wurden in der Praxis nicht immer nach festen geometrischen Reihen gestuft. Es gab Fälle, in denen durch physikalische Gesetze oder betriebsspezifische Restriktionen von dieser „reinen“ Form abgewichen werden musste. Einige geometrische Größen waren nach der gewählten Baureihe gestuft, andere nicht. Die nachfolgende Zeichnung eines Gehäuses ist nur bedingt geometrisch gestuft.

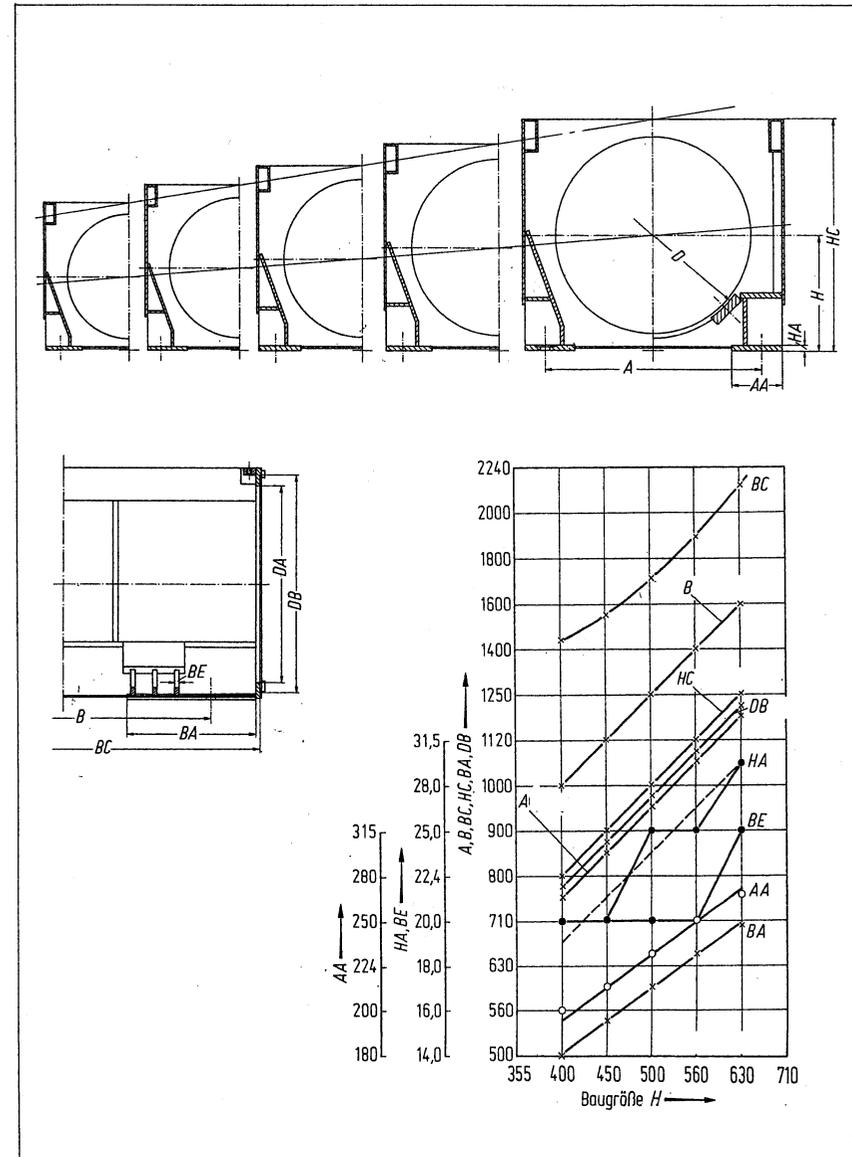


Bild 14.2/2: Baureihe eines Blechgehäuses

Im Bild 14.2/3 ist ein ganzes System an federbelasteten Sicherheitsventilen dargestellt. Es handelt sich um eine spezielle Art eines „Baureihen/Baukasten-Systems“. Die Ventile gleicher Federkraft sind untereinander gezeichnet, Ventile gleichen Drucks nebeneinander, Ventile gleicher Nennweite sind diagonal (Nennweiten sind eingetragen) gezeichnet.

14.3 Offertenzzeichnungen

Von einem Käufer wurden im Allgemeinen mehrere Offerten (Angebote) eingeholt und verglichen. Der Aufbau dieser Offerten und der Eindruck des Käufers von dem technischen Objekt beeinflussten den geschäftlichen Erfolg. Offertenzzeichnungen waren als begleitende zeichnerische Informationen Teil des Angebots. Zu Beginn des hier betrachteten Zeitraums waren Offertenzzeichnungen technisch orientiert. Es waren zumeist vereinfachte technische Zeichnungen mit den wesentlichen Merkmalen des Objekts und einigen Maßen und wichtigen Leistungsangaben. Basis der Darstellungen war die orthogonale Parallelprojektion. Mit etwas Mühe konnten diese einfachen Zeichnungen auch von Laien „gelesen“ werden. Diese technische-sachliche Orientierung änderte sich Ende des 19. Jahrhunderts. Man erkannte den verkaufsfördernden Wert der Offerten, gestaltete sie aufwendiger, gefälliger und versah sie mit besseren zeichnerischen Darstellungen. In den Offerten tauchten immer mehr gezeichnete perspektivische Darstellungen auf, später dann Fotografien oder Zeichnungen, bei denen als Basis eine Fotografie verwendet worden war.

Insbesondere bei technischen Offertenzzeichnungen war es wesentlich, dass sie erkennbar auf die Anforderungen des Abnehmers zugeschnitten waren. Das betraf beispielsweise die technischen Anschlussmöglichkeiten, bestimmte gesetzliche Rahmenbedingungen, Besonderheiten beim Kunden u.a.m. Die Offertenzzeichnungen waren stark von der Branche abhängig, in der ein Hersteller vertreten war. Es gab allerdings nach wie vor Bereiche, die sehr stark technisch orientierte Offerten bevorzugten.

Am Anfang der Entwicklung oblag die zeichnerische Ausarbeitung den betrieblichen Bereichen, die die meiste Erfahrung und das Handwerkszeug zur Anfertigung der Zeichnungen besaßen, also den „Konstruktionsbereichen“ und den „Konstrukteuren“. Im Verlauf der weiteren Entwicklungen entstanden in einigen Branchen besondere betriebliche Abteilungen, die sich ausschließlich mit der Erstellung von Offerten beschäftigten. Sie umfassten Offerteningenieure, Designer, Zeichner, Texter, Fotografen etc. Die fotografischen Darstellungen dominierten. Spezielle Offertenzzeichnungen waren seltener.

Die Entwicklung von Offertenzzeichnungen wird im Folgenden anhand einiger chronologisch geordneter Beispiele gezeigt. Deutlich wird dabei, dass die Ausführungen der Zeichnungen stark an den Zweck der Offerte, beispielsweise die Verdeutlichung des technischen Aufbaus oder der anschaulichen Darstellung eines Innenaufbaus, gebunden waren.

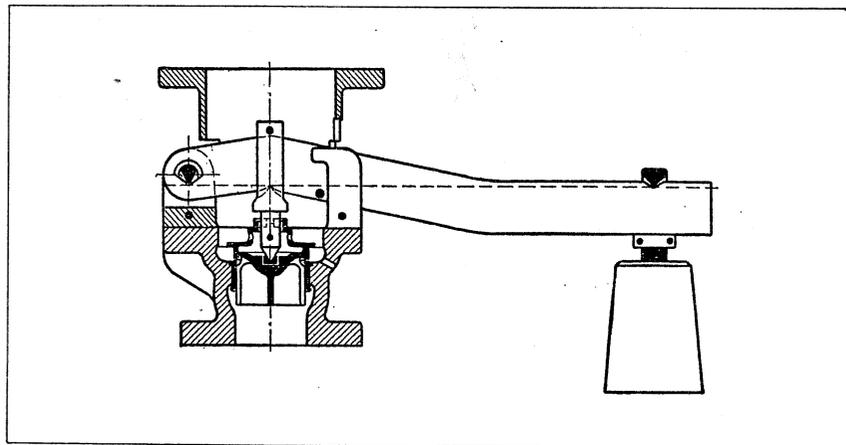


Bild 14.3/1: Offertenzzeichnung eines Vollhub-Sicherheitsventils (um 1880)

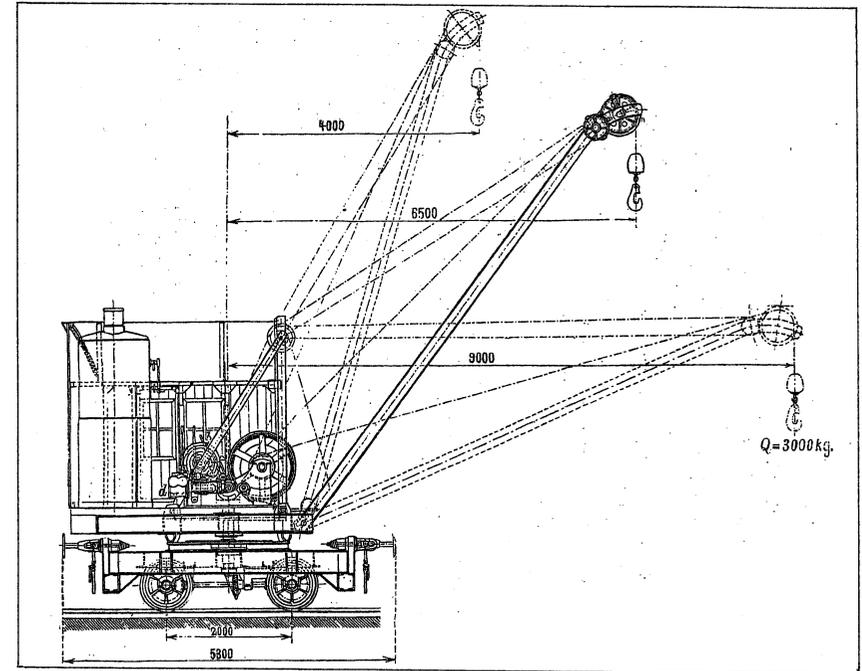


Bild 14.3/2: Offertenzzeichnung eines Dampfkrans, Ausschnitt (um 1880)

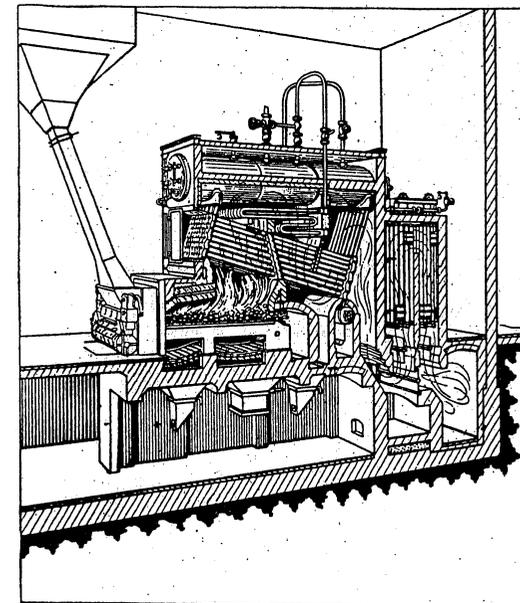
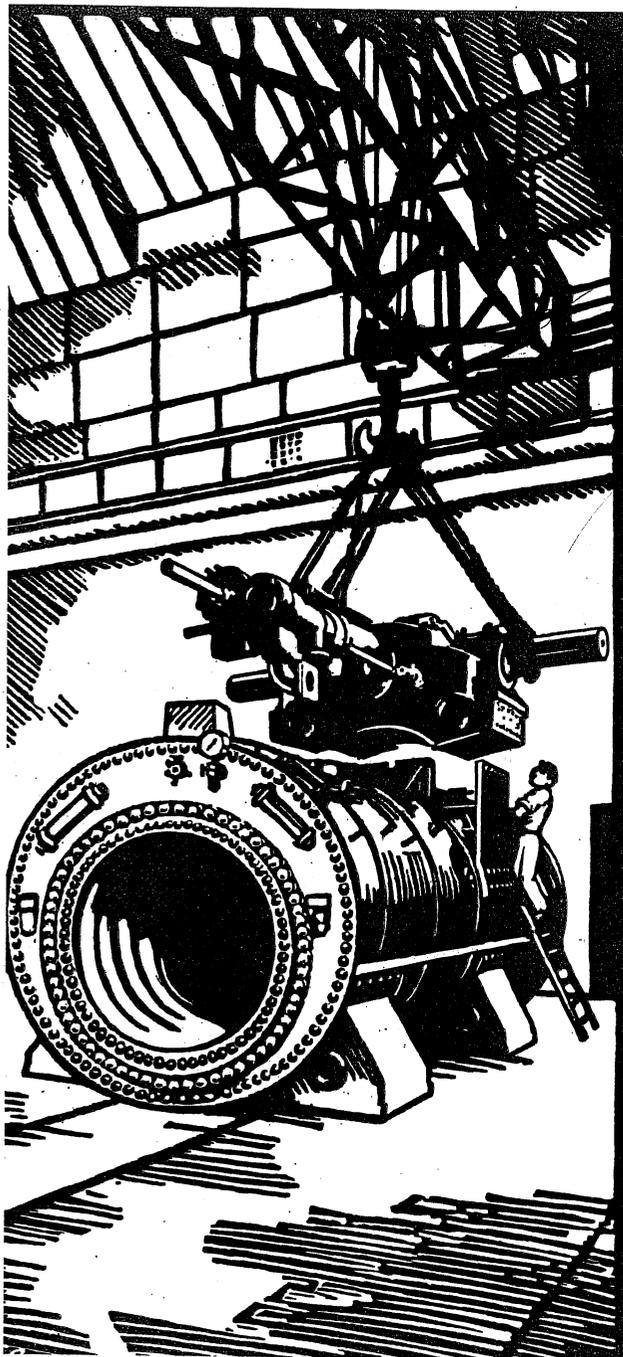


Bild 14.3/3: Anschauliche Offertenzzeichnung eines Dampfkessels (um 1900)



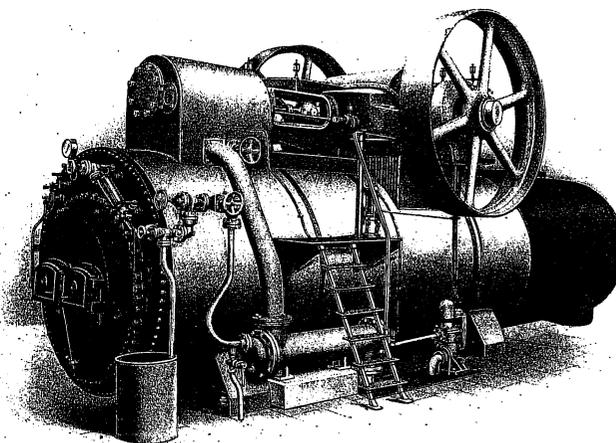
**MASCHINENFABRIK
BUCKAU R. WOLF A-G
MAGDEBURG**

**R. WOLF
KRAFT-HEIZ
LOKOMOBILER**
Modell NEH u. NH

MASCHINENFABRIK BUCKAU R. WOLF AKTIENGESELLSCHAFT MAGDEBURG

**Einzylinder-
Spezial-Heizkraft-Lokomobilen**

für Auspuff- und Gegendruckbetrieb Gruppe **NEH** und **NH**



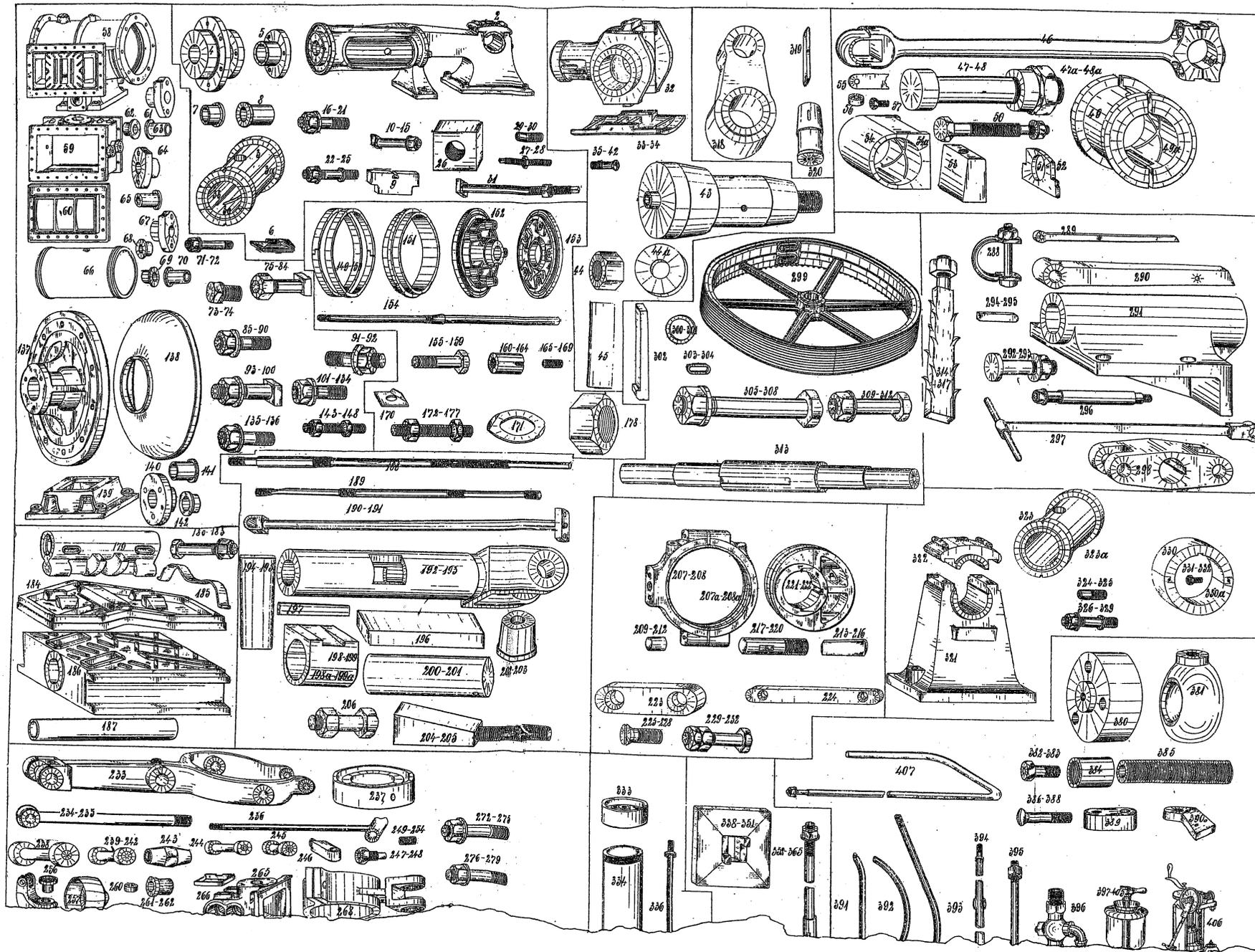
Leistungen, Abmessungen und Telegrammworte

Abbildungen, Maße und Gewichte unverbindlich

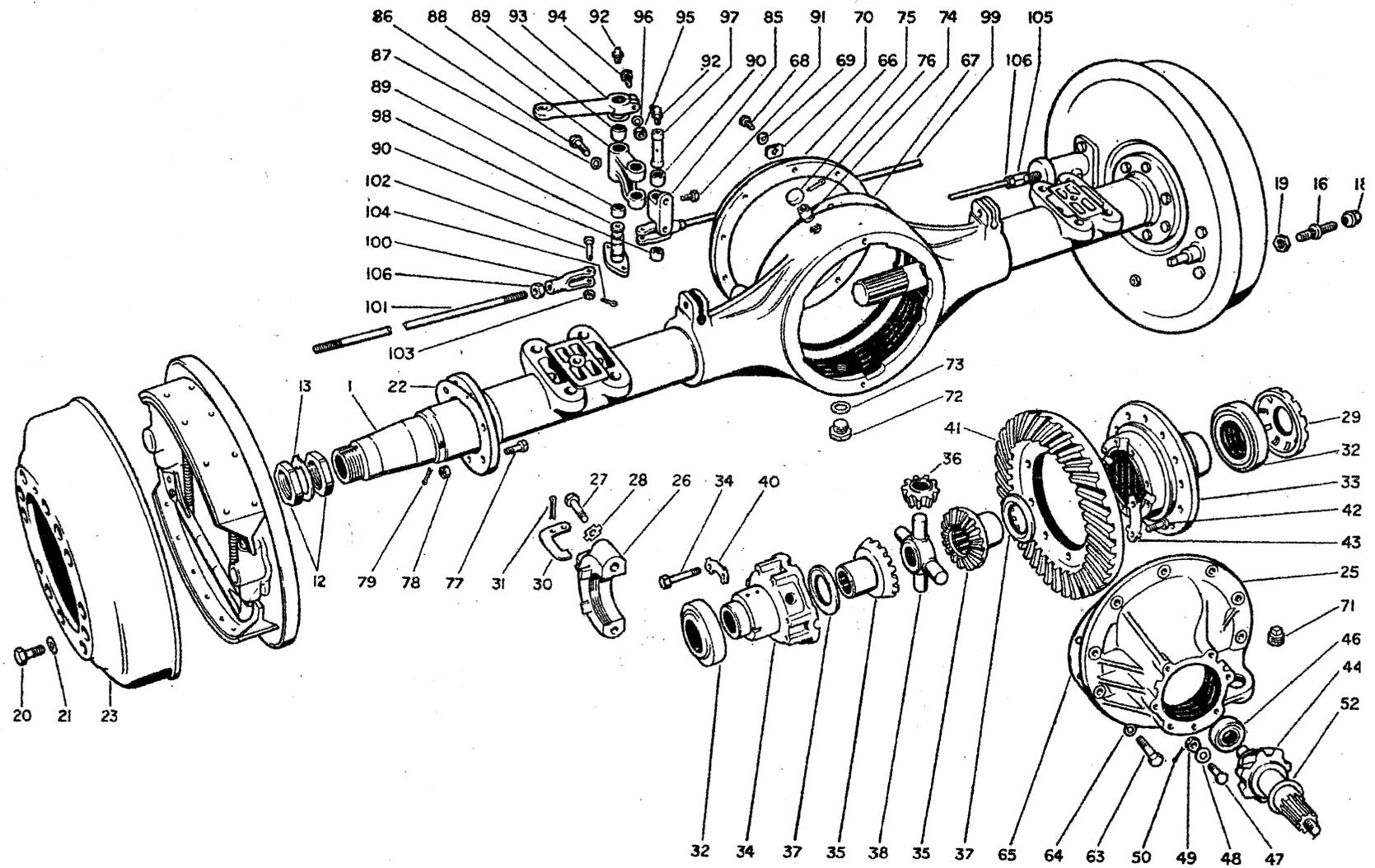
Modell	Dampfdruck atü ^{*)}	Leistung in gebremsten Pferdestärken			Äußere Abmessungen der Lokomobile in Millimetern			Schwungrad				Telegramm- worte
		Normal- leistung PSe	Größte Dauer- leistung PSe	Vorüber- gehende Höchst- leistung PSe	Länge ausschl. Arma- turen	Breite	Höhe bis Ober- kante Schwun- rad	Anzahl	Umdre- hungen in der Minute	Durch- messer mm	Breite mm	
NEH 3	12	32	40	48	4290	1550	2180	1	310	1200	200	<i>Nedic</i>
NEH 4	12	40	50	60	4590	1660	2200	1	310	1200	240	<i>Negin</i>
NEH 5	12	50	60	73	4865	1800	2390	1	300	1400	260	<i>Neful</i>
NEH 6	12	60	75	90	5240	1760	2500	2	300	1500	160	<i>Nelat</i>
NEH 7	12	80	100	120	5410	1860	2650	2	300	1600	180	<i>Nemic</i>
NEH 8	12	100	120	150	5680	2000	2770	2	300	1700	200	<i>Nepul</i>
NH 10	15	130	160	190	5840	2280	3070	2	300	1700	230	<i>Nesuf</i>
NH 11	15	155	190	215	6000	2560	3180	2	300	1700	260	<i>Netyg</i>
NH 12	15	180	225	265	6350	2760	3480	2	260	2000	300	<i>Mepag</i>
NH 13	15	220	275	325	6650	2960	3600	2	260	2000	350	<i>Marol</i>
NH 14	15	265	330	395	7110	3300	3980	2	250	2100	400	<i>Meson</i>
NH 15	15	320	400	480	7610	3600	4220	2	245	2100	450	<i>Mespo</i>
NH 16	15	375	470	560	8200	4000	4400	2	235	2200	400**	<i>Mefru</i>

^{*)} atü Atmosphären-Überdruck. ^{**)} Abtrieb mittels Spezialriemen

Tafel 14.3/1:
Auszug aus einer Offertenmappe für
Halblokomobilen
(Maschinenfabrik R. Wolf, um 1920)



Tafel 14.4/1: Anschauliche Ersatzteilzeichnung einer Dampfmaschine
(Ausschnitt, um 1880)



Tafel 14.4/2: Ersatzteilzeichnung einer Hinterachse in Explosionsdarstellung
(um 1930)

14.6 Lineamente

Der Begriff „Lineament“ (Federstrichzeichnung, Handlinienzeichnung) kennzeichnete ursprünglich eine Zeichnung, deren Objektdarstellung ausschließlich aus „besonderen“ Linien bestand. Beim konstruktiven Zeichnen sind damit Linien-Darstellungen von technischen Objekten gemeint, bei denen die Linien eine besondere Anordnung besitzen oder charakteristische Merkmale betonen. Charakteristische Merkmale sind häufig Umrisslinien, besondere Konturen u.ä. Lineamente gestatten eine einfache Darstellung des Wesentlichen eines Objekts. Man findet sie als Skizzen in der technischen Literatur, in Betriebsanleitungen, bei der Kurzdarstellung von Objektklassen, in der Werbung und bei der Gegenüberstellung ähnlicher Objekte. Ihr großer Vorteil besteht in der unmittelbaren Verständlichkeit. Kenntnisse im technischen Zeichnen, insbesondere der Projektionslehre, sind nicht erforderlich. Lineamente gibt es als:

- zweidimensionale (flächige) Darstellungen, im Sprachgebrauch der Projektionslehre sind es senkrechte Eintafelprojektionen, das ist die einfachste Art einer Projektion,
- dreidimensionale (räumliche) Darstellung, in der Projektionslehre bezeichnet man sie als Zentralprojektionen (Perspektiven). Üblich ist die Darstellung mit zum Objekt parallel liegender Bildebene. Es werden aber auch einfachere axonometrische Projektionen eingesetzt.

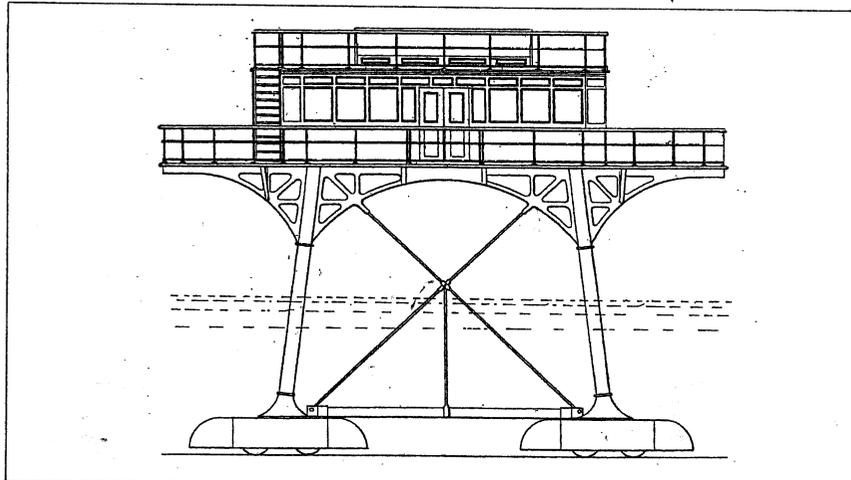


Bild 14.6/1: Zweidimensionales Lineament einer „Fahrbrücke“ mit wesentlichen Umrisslinien

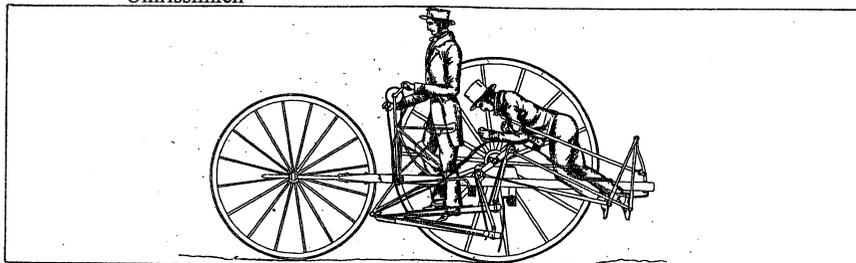


Bild 14.6/2: Liniendarstellung in einem Patent für ein Muskelkraftfahrzeug

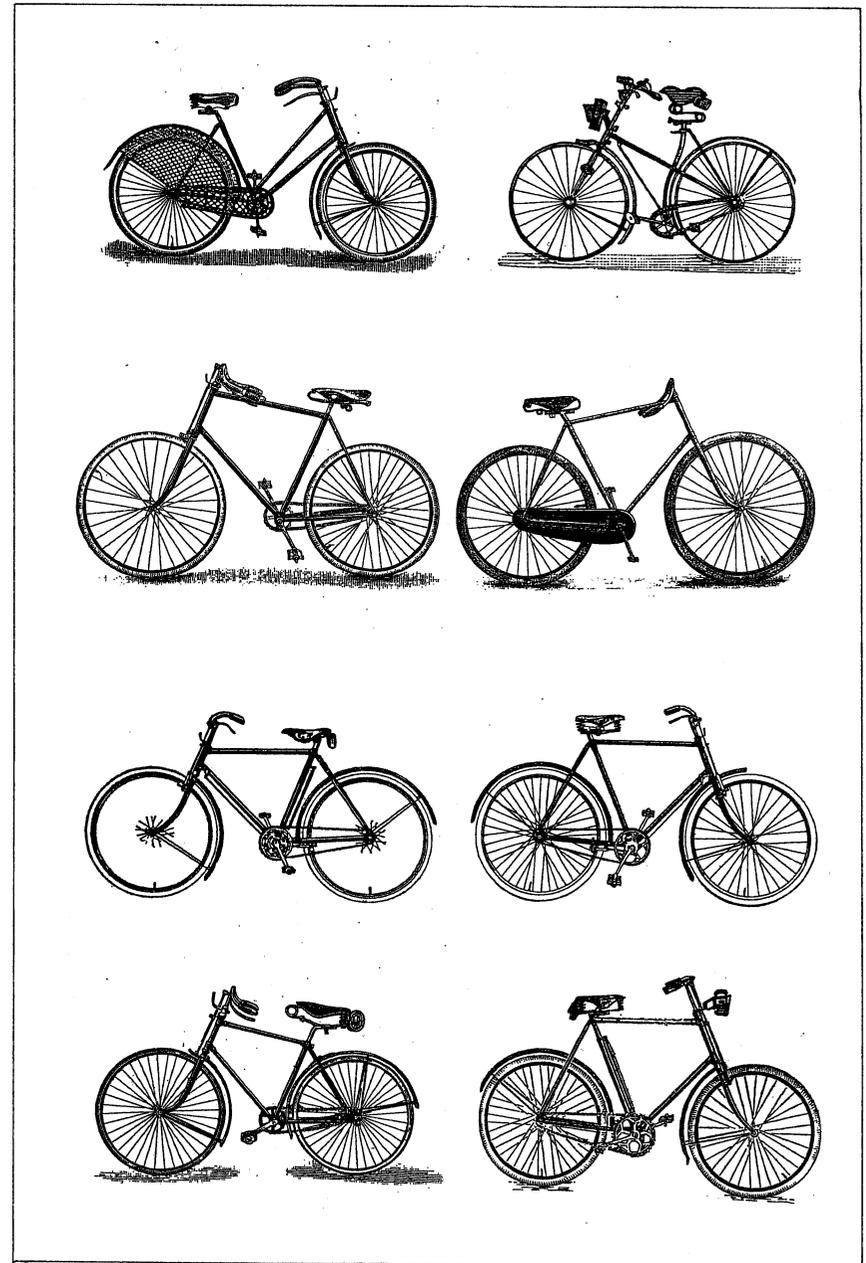


Bild 14.6/3: Umrisslinien-Darstellung zur Charakterisierung verschiedener Fahrradausführungen

14.7 Perspektivische Zeichnungen

In anschaulichen Zeichnungen (z.B. perspektiven Darstellungen) werden die in der Realität dreidimensionalen technischen Objekte auf einer zweidimensionalen Bildebene so dargestellt, dass beim Betrachten der anschaulichen Zeichnung ein ähnlicher Bildeindruck entsteht, wie beim Betrachten des realen Objekts. Das anschauliche Bild besitzt eine bestimmte Position zum Horizont, einen festen Standpunkt des Betrachters, eine räumliche Staffelung der Objektmerkmale, eine mit der Tiefe verkürzte Längen- und Höhenwiedergabe u.a.m. Die Perspektive, genauer die Zentralprojektion, ist ein anspruchsvolles Sondergebiet der Darstellenden Geometrie. Einige Reihe von Beispielen anschaulicher Zeichnungen sind schon in den vorangegangenen Abschnitten wiedergegeben worden. Einige Grundlagen dieser Darstellungen findet man in den Kapiteln 5.3 und 5.4. Beim konstruktiven Zeichnen werden anschauliche Zeichnungen vornehmlich in den Fällen verwendet, in denen beim Leser Kenntnisse der Projektionslehre des technischen Zeichnens nicht vorhanden sind, die Übung des „Lesens“ dieser Zeichnungen fehlt oder ein unmittelbares Verstehen angestrebt wird. Das Anfertigen aller Arten anschaulicher Darstellungen zählt auch zum Aufgabenspektrum des konstruktiven Zeichnens. Es können folgende Aufgabenstellungen unterschieden werden:

1. Das technische Objekt existiert noch nicht, es gibt von ihm nur orthogonale Projektionen, es wird das anschauliche Bild des Objekts gesucht
 - 1.1 Eine zentralprojektive Darstellung des technischen Objekts wird aus den orthogonalen Projektionen üblicher technischer Zeichnungen entwickelt.
 - 1.2 Eine axonometrische Darstellung (z.B. eine isometrische, dimetrische oder trimetrische Darstellung) des technischen Objekts wird aus den orthogonalen Projektionen üblicher technischer Zeichnungen entwickelt.
 - 1.3 Eine anschauliche Darstellung wird durch eine „Schnellperspektive“ auf der Basis orthogonaler Projektionen üblicher technischer Zeichnungen entwickelt.
2. Das technische Objekt existiert, es soll eine anschauliche Abbildung (Zentralprojektion, axonometrische Projektion) erstellt werden.

Die unter Punkt 1 und 2 aufgeführten Fälle kamen beim konstruktiven Zeichnen häufig vor, insbesondere in der frühen Phase der Entwicklung des Zeichnens mit Projektionen. Es dauerte seine Zeit, bis die Akteure in den Betrieben mit der ungewohnten Projektionsdarstellung vertraut waren. In den Werkstätten gab es Widerstände. Um eine anschauliche Vorstellung zu generieren, mussten die einzelnen Projektionen „gedanklich zusammengesetzt“ werden. Eine Zeit lang fertigte man zum besseren Verständnis Werkstattzeichnungen mit projektiver Darstellungen und ergänzte diese durch eine Perspektive des gleichen Objekts. Beide Darstellungen wurden auf einer Zeichnung untergebracht (siehe z.B. Tafel 9.2/2).

Je nach Anforderung an die anschauliche Objektdarstellung kamen verschiedene Verfahren in Frage. Sie reichten von der hohen geometrischen Qualität einer exakten Zentralprojektion, über vereinfachte anschauliche Darstellungen bis zu den Verfahren der „Schnellperspektive“.

Die Konstruktion einer exakten Zentralprojektion war aufwendig. Ohne Kenntnisse der Gesetze dieses speziellen Gebietes der Darstellenden Geometrie war eine Konstruktion ausgeschlossen. Hinzu kam noch, dass eine gewisse Routine im Umgang mit den Gesetzen der Zentralprojektion notwendig war. Eine genauere Erläuterung der Verfahren der Perspektive würde den Rahmen dieses Buches sprengen. Im Folgenden werden nur einige einfache Beispiele gezeigt.

Das erste Beispiel zeigt einen H-förmigen Körper in der Hauptansicht von vorne und der Draufsicht. Die Maße sind eingetragen. Das Objekt existiert real noch nicht, nur die Projektionen sind bekannt. Um einen anschaulichen Eindruck von dem Objekt zu gewinnen, soll eine zentralprojektive Konstruktion mit zwei Fluchtpunkten durchgeführt werden. Die Spur „e“ der Bildebene mit der Standebene gibt die Orientierung des H-förmigen Körpers im Raum vor.

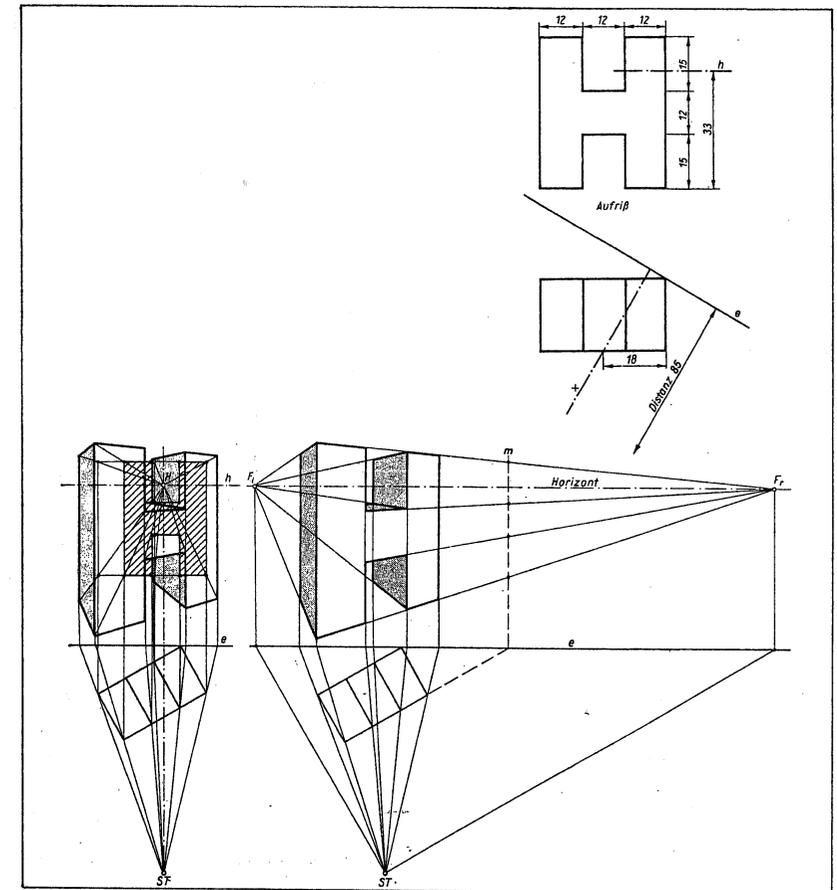


Bild 14.7/1: Zwei Arten der Konstruktion der Zentralprojektion für den H-förmigen Körper

Im zweiten Beispiel ist ein Objekt in der Hauptansicht (Ansicht von vorne) und in der Draufsicht gegeben. Der Gegenstand soll in einer Zentralprojektion mit einem Fluchtpunkt dargestellt werden. Es bedeuten: St (Standpunkt des Betrachters), h (Horizontlinie), Z'' (Zentrum, oft auch mit H = Hauptpunkt bezeichnet). Die Höhe der Horizontlinie h ist so gewählt, dass der anschauliche Bildeindruck der Betrachtung in normaler Höhe entspricht (keine „Froschperspektive, Vogelperspektive“).

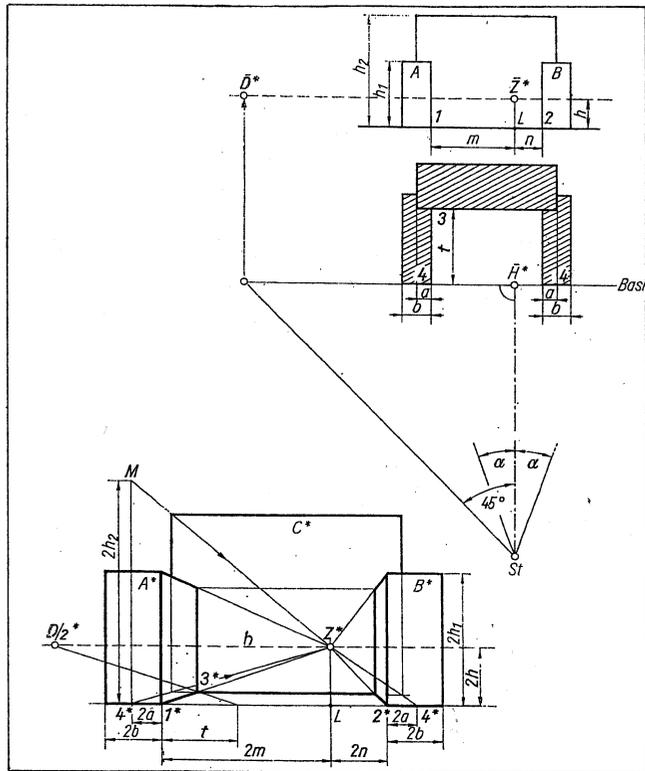


Bild 14.7/2:
Konstruktion der
Zentralprojektion

Anschauliche Zeichnungen auf der Basis von Plänen wurden in der Architektur sehr häufig eingesetzt. Lag der Schwerpunkt der Darstellung auf der Veranschaulichung der Proportionen, so stand das dargestellte Gebäude oft isoliert auf einer Fläche. Lag der Schwerpunkt der Darstellung auf dem Gebäude im Gesamtzusammenhang mit seiner Umgebung, so band man das natürliche Umfeld in die Darstellung mit ein. Basis war immer eine in der Hauptgeometrie genau ausgeführte Zentralprojektion. Häufig wurden Details mit Tusche in freier Manier gezeichnet und charakteristische Flächen laviert.

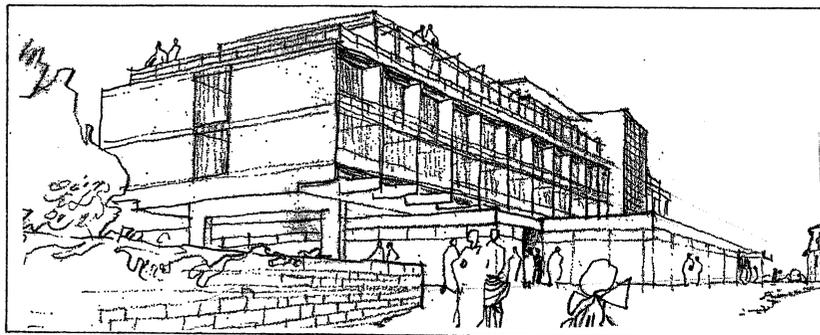


Bild 14.7/3: Zentralprojektion eines Gebäudes mit Umgebung

Eine Erläuterung der axonometrischen Darstellungen erübrigt sich. Die Verfahren sind im Kapitel 5.4 beschrieben. Die Vereinfachungen beruhen im Wesentlichen auf einer Wiedergabe ohne Verkürzungen bzw. mit konstanten Verkürzungen in den jeweiligen Raumachsen.

Bei den Verfahren der „Schnellperspektive“ wurden ähnliche Vereinfachungen eingesetzt. Perspektivische Verkürzungen waren, falls vorhanden, konstant. Es gab eine Vielzahl an „schnellperspektivischen“ Verfahren. Häufig wurde ohne Verkürzungen in den Raumachsen gearbeitet. Ein Beispiel für die Anfertigung einer anschaulichen Darstellung eines Hebels aus den einzelnen Ansichten nach dem Verfahren von Haeder (Haeder, Otto: Schnellperspektive. Berlin 1902 (?)) ist im Bild 14.7/4 wiedergegeben.

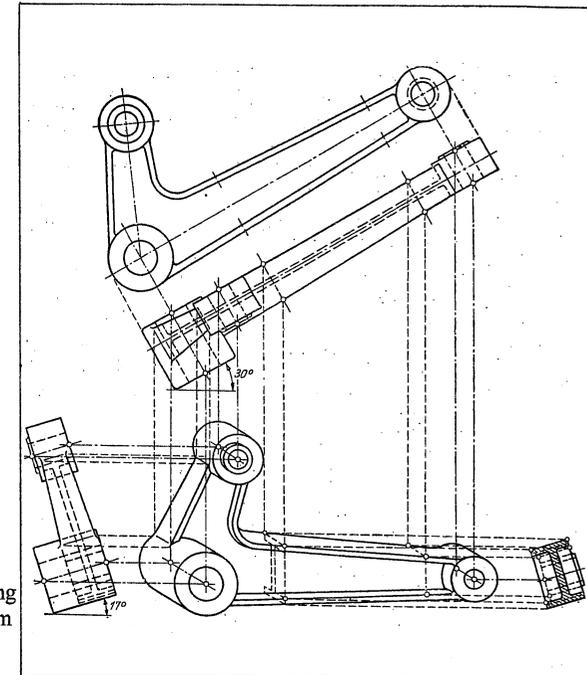


Bild 14.7/4:
Anschauliche Darstellung
eines Hebels nach einem
Verfahren der
„Schnellperspektive“

Es ist nach dem ersten Eindruck gerechtfertigt, anschauliche Darstellungen gesamter Maschinen zu den Gesamtzeichnungen zu zählen. Voraussetzung wäre, dass sie die Geometrie maßgerecht wiedergeben. Eine genaue axonometrische oder isometrische Darstellung erfüllt diese Anforderung. Sie werden hier aber den Zeichnungen für Sonderzwecke zugeordnet, da diese Zeichnungen selten für den Gebrauch in den Werkstätten angefertigt worden sind. Diese „anschaulichen Gesamtzeichnungen“ sind im Betrachtungszeitraum nur am Anfang des 19. Jahrhunderts in den Werkstätten zumeist als Ergänzung von Orthogonalprojektionen verwendet worden. Die Werkstattmitarbeiter waren mit den abstrakten, senkrechten Orthogonalprojektionen noch nicht vertraut. Die anschauliche Ergänzung förderte das Verständnis.

14.8 Geometrische Rekonstruktionen

Einen Sonderfall beim perspektivischen Zeichnen stellt die Durchführung einer geometrischen Rekonstruktion dar. Es handelt sich dabei, umgangssprachlich formuliert, um die Umkehrung der normalen Zentralprojektion. Nicht die Projektionen (Ansichten) des Objekts sind gegeben, sondern nur das zentralprojektive Bild. Im Regelfall eine Fotografie. Die orthogonalen Projektionen, z.B. Hauptansicht, Draufsicht und Seitenansicht, werden gesucht. Derartige Fälle treten beim konstruktiven Zeichnen selten auf. Es kann in der Praxis aber vorkommen, dass anhand der Fotografie eines Objekts genaue Angaben zu den wahren Proportionen und Abmessungen zu bestimmen sind.

Verfahren, mit deren Hilfe aus Fotografien maßgerechte Projektionen entwickelt werden können, sind seit Mitte des 19. Jahrhunderts in Gebrauch. Bekannt geworden sind sie unter dem Begriff „Photogrammetrie“. Sie wurden u.a. in der Architektur und in der Geodäsie bei der Erstellung von Landkarten eingesetzt. In der Architektur beispielsweise bei der Bauaufnahme vorhandener Gebäude. Damit war die Ermittlung von Projektionen (in der Architektur wurden sie als „Risse“ bezeichnet) aus einer Fotografie gemeint. In der Kartographie wurden aus Flugzeugen mit speziellen Kameras, die beispielsweise mit Doppelobjektiven ausgestattet waren, Fotografien aufgenommen, aus denen später, manuell oder auch schon mit mechanisch-optischen Hilfsmitteln, Landkarten entwickelt wurden.

Die Vorlage von zwei Fotografien, die unter bestimmten Bedingungen aufgenommen sein mussten, war eine der theoretischen Voraussetzungen für eine photogrammetrische Auswertung. Diese Bedingung kann in der Regel von üblichen Fotografien technischer Objekte nicht erfüllt werden, eine geometrische Rekonstruktion wäre damit ausgeschlossen. Das Problem ist nur durch Anwendung einiger „Tricks“ lösbar. Technische Objekte weisen häufig geometrische Elemente auf, die sogenannte „ausgezeichnete Formen“ besitzen. Gemeint sind damit Formen mit regelmäßiger Geometrie, beispielsweise kreisförmige Teile, zylindrische Behälter, quadratische Formen uam. Eine weitere Besonderheit ist, dass diese „ausgezeichneten Formen“ oft noch in „ausgezeichneten Raumlagen“ vorhanden sind, z.B. Zylinder parallel oder senkrecht zur Standebene, kreisförmige Teile (z.B. Räder von Fahrzeugen) in senkrechter Position auf der Standebene oder parallel zu dieser uam. Mit diesen „ausgezeichneten Elementen“ kann, auf der Basis einer einzigen Fotografie eine geometrische Rekonstruktion versucht werden. Ob das gelingt, ist von der vorliegenden Fotografie und von den vorliegenden technischen Rahmenbedingungen des Objekts abhängig. Man muss die Funktion des Objekts genau verstehen, um nicht entscheidende Fehler zu machen. Beispielsweise steht das Rad eines Fahrzeugs nicht automatisch senkrecht auf der Standebene, nur bei „Starrachsen“ ist das mit Sicherheit der Fall. Im Folgenden werden nur die Vorgehensschritte einer geometrischen Rekonstruktion in Stichworten beschrieben. Für eine genauere Vorgehensbeschreibung sei auf die entsprechende Spezialliteratur verwiesen.

1. Bewertung der zentralprojektiven Bildvorlage

Im Regelfall ist die Bildvorlage eine Fotografie, im Idealfall ein Originalfoto (z.B. die Aufnahme einer historischen Plattenkamera). Fotografien sind exakte Zentralprojektionen. Wenn Abbildungen aus Büchern oder Periodika als Basis verwendet werden, so müssen die eingesetzten druckgrafischer Verfahren berücksichtigt werden. Die fotografischen Ausgangsbilder dürfen durch die Verfahren nicht verändert worden sein. In Zeiten der digitalen Fotografie ist das kritisch. Die Fotografien werden häufig digital überarbeitet und beim Layouten macht man sich in den Redaktionen nicht die Mühe, passende Bildausschnitte in die entsprechenden Textlücken zu setzen, sondern man „stretcht“ die Bilder auf eine passende Größe. Für eine Rekonstruktion sind sie unbrauchbar. Des Weiteren ist zu prüfen, ob eine Zentralprojektion vorliegt und welcher Art diese Projektion

ist (ein, zwei oder drei Fluchtpunkte). Auch alle verfügbaren technischen Daten des Objekts müssen zusammengestellt werden.

2. Rekonstruktion des Standpunktes

Die Bestimmung des Standpunktes (Rekonstruktion der Orientierung) bei der Aufnahme ist Voraussetzung für eine Rekonstruktion. Die Bestimmung des Punktes aus nur einer Fotografie ist im Allgemeinen nicht möglich. Da bei technischen Objekten meist nur eine einzige Fotografie vorliegt, werden zur Ableitung des Standpunktes die oben erwähnten geometrische Elemente in „ausgezeichneten Lagen“ verwendet. Sind im praktischen Fall keine vorhanden oder die vorhandenen nicht auswertbar, so ist eine geometrische Rekonstruktion nicht möglich.

3. Rekonstruktion der Ansichten (orthogonalen Projektionen)

Das ist der Hauptteil der Rekonstruktion. Es kommen, je nach Gegebenheiten, unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Die Rekonstruktionsarbeit ist zeichnerisch sehr anspruchsvoll und aufwendig. Es muss sehr genau gearbeitet werden und durch die Vielzahl an Hilfs- und Konstruktionslinien wird die Arbeit schnell unübersichtlich. Erschwerend kommt hinzu, dass für alle Rekonstruktionsschritte nur eine Bildebene zur Verfügung steht, und zwar die Ebene des Zeichenblattes. In dieser Ebene werden alle Teilzeichnungen, die des Objekts, der Projektionen, der unterschiedlichen „Bildebenen“ usw., ausgeführt. Um die Konstruktionslinien nicht zu verwechseln sind entsprechende Kennzeichnungen (Indizes, Sonderzeichen etc.) vorzunehmen. Es können mehrere Rekonstruktionszeichnungen erforderlich sein. Generell beschränkt man die Arbeit zweckmäßigerweise auf die Ermittlung von Hauptmerkmalen des Objekts. Es gibt auch Näherungsverfahren bei der geometrischen Rekonstruktion. Ein Beispiel ist der Einsatz räumlicher Raster. Je nach Feinheit des Rasters können die Lage und Größe der Objektelemente relativ genau abgeschätzt werden. Am Ende dieses Arbeitsschrittes liegen entweder einzelne Ansichten des Objekts vor oder die entsprechenden „Maße“ von Elementen der Hauptgeometrie.

4. Analyse und Korrektur geometrischer Differenzen

Da die einzelnen Ansichten bzw. „Maße“ des Objekts noch nicht einheitlich skaliert sind, muss eine Plausibilitätsprüfung vorgenommen werden. Die einzelnen Ansichten bzw. „Maße“ müssen „zusammenpassen“.

5. Erstellung der technischen Zeichnung

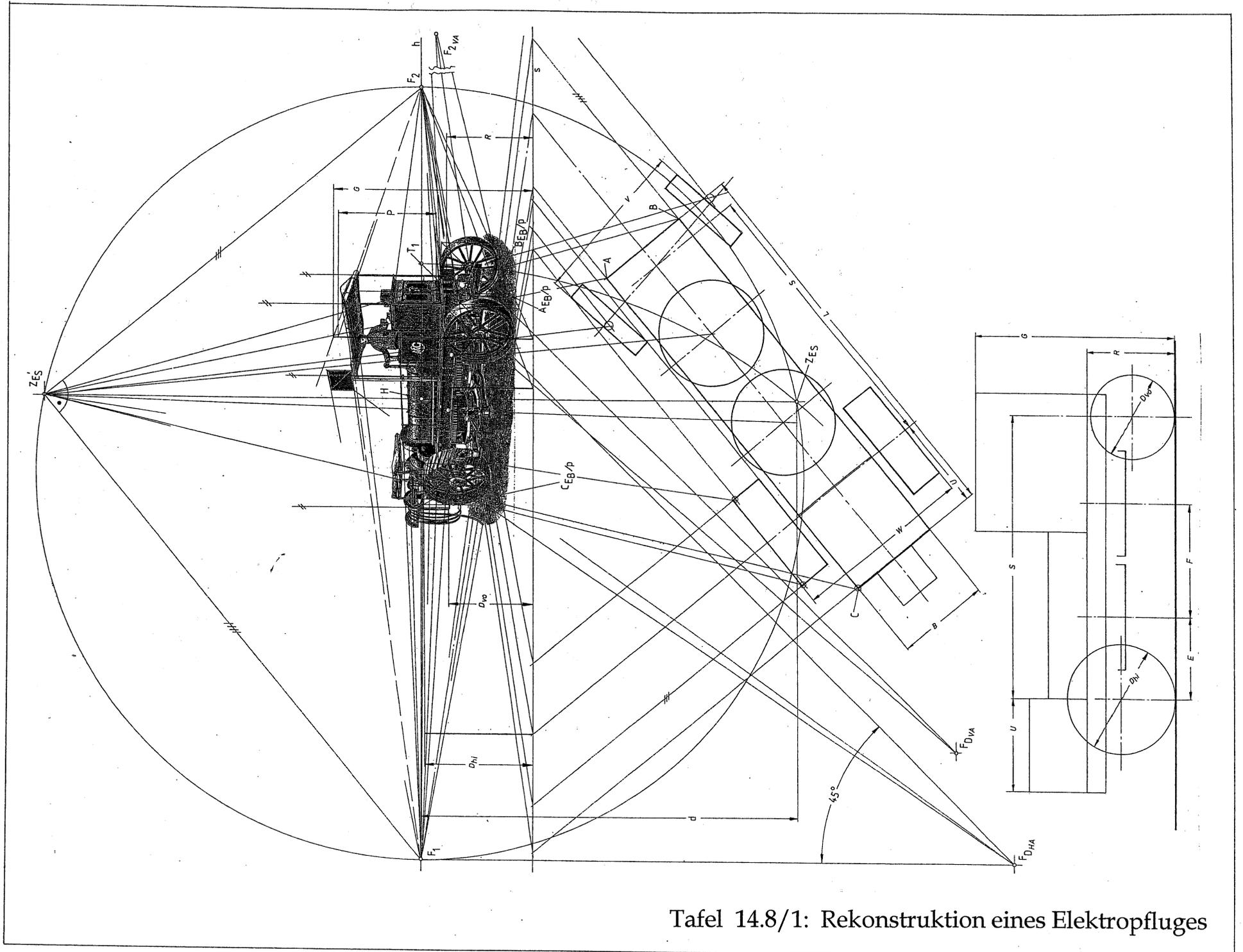
Die einzelnen Ansichten werden einheitlich skaliert. Die sich ergebende technische Zeichnung stellt das Objekt geometrisch ähnlich dar. Die wahre Größe ist noch nicht bekannt.

6. Größenbestimmung

Zur Bestimmung der wahren Größe des rekonstruierten Objekts muss eine geometrische Größe bekannt sein. Auch Größenkombinationen, z.B. zwei bekannte Winkel des realen Objekts, sind zur Bestimmung geeignet.

Im den folgenden Tafeln werden zwei Beispiele von Rekonstruktionen wiedergegeben. Eine detaillierte Erläuterung würde den Rahmen des Buches sprengen. Es sei auf die spezielle Literatur im Anhang verwiesen.

Das erste Beispiel (Tafel 14.8/1) zeigt die Rekonstruktion der Hauptgeometrie eines Elektropfluges in der Seitenansicht und der Draufsicht. Die gedruckte Bildvorlage gibt exakt die Geometrie der Ausgangsfotografie wieder. Es handelt sich um eine Zentralprojektion mit zwei Fluchtpunkten. Die Rekonstruktion des Standpunktes ist in der Zeichnung integriert. Die Draufsicht ist in der Zeichenebene konstruiert worden. Durch das Drehen der Standebene in die Bildebene erscheint die „Draufsicht“ nicht in gewohnter Form, sondern als „Druntersicht“. Von der Seitenansicht sind die Hauptmaße direkt in der vorliegenden Zentralprojektion ermittelt worden.



Tafel 14.8/1: Rekonstruktion eines Elektropfluges

14.9 Sonstige Zeichnungen

Die Menge an konstruktiven Zeichnungen, die man unter „sonstige Zeichnungen“ zusammenfassen kann, lässt sich kaum abgrenzen. Von den Mitarbeitern der „Konstruktionsabteilungen“ wurden in der Praxis alle Arten technischer Darstellungen angefertigt, die in einem Unternehmen notwendig waren. Das Spektrum reichte von Patentzeichnungen über großformatige Schautafeln bis zu Organigrammen und Diagrammen aller Art.

Mit der Patentzeichnung sollte beispielsweise das Neue, das Wesen einer Erfindung in übersichtlicher Form dargestellt werden. Die Form der Zeichnung war nicht festgelegt. Patentzeichnungen gab es von einfachen Handskizzen bis zu vollständig ausgearbeiteten technischen Zeichnungen. Charakteristisch war die Verbindung der schriftlichen Darlegung im Patent mit der entsprechenden Zeichnung. Patente waren wichtige Dokumente mit langer Gültigkeitsdauer und erheblichem Wert. Insbesondere im 19. Jahrhundert wurden Patentzeichnungen teilweise sehr sorgfältig gezeichnet. In alten Beständen der Patentämter findet man noch von Hand kolorierte Ausführungen, auf Leinen gezeichnet.

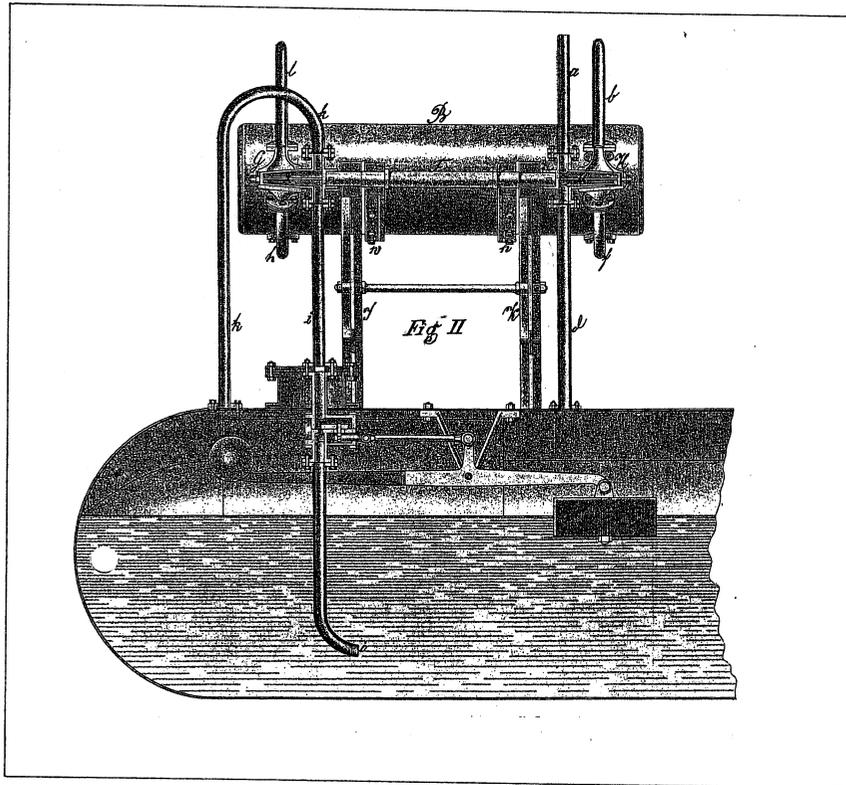


Bild 14.9/1: Im Original farbig angelegte Patentzeichnung von A. Borsig zu einer Füllstandsregelung in Dampfkesseln (Patent vom 14.1.1841)

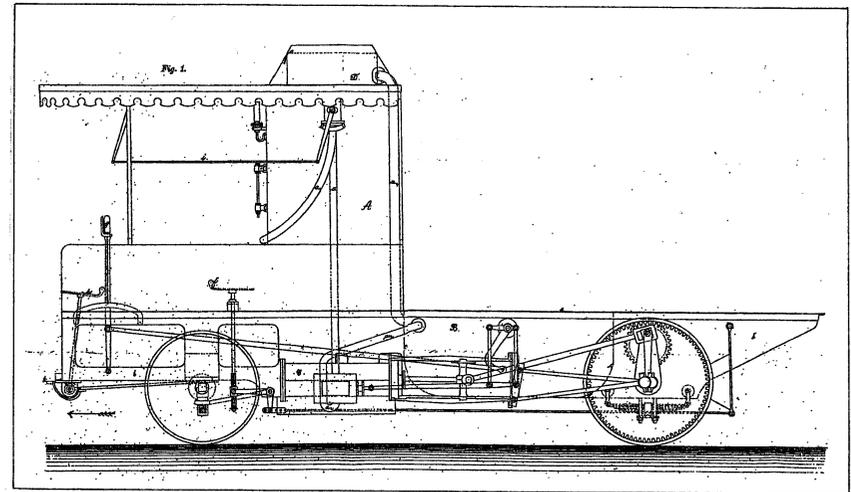


Bild 14.9/2: Patentzeichnung (Ausschnitt) von Hermann Michaelis zu einem Frachtwagen (Patent-No. 5459 vom 28.8.1878)

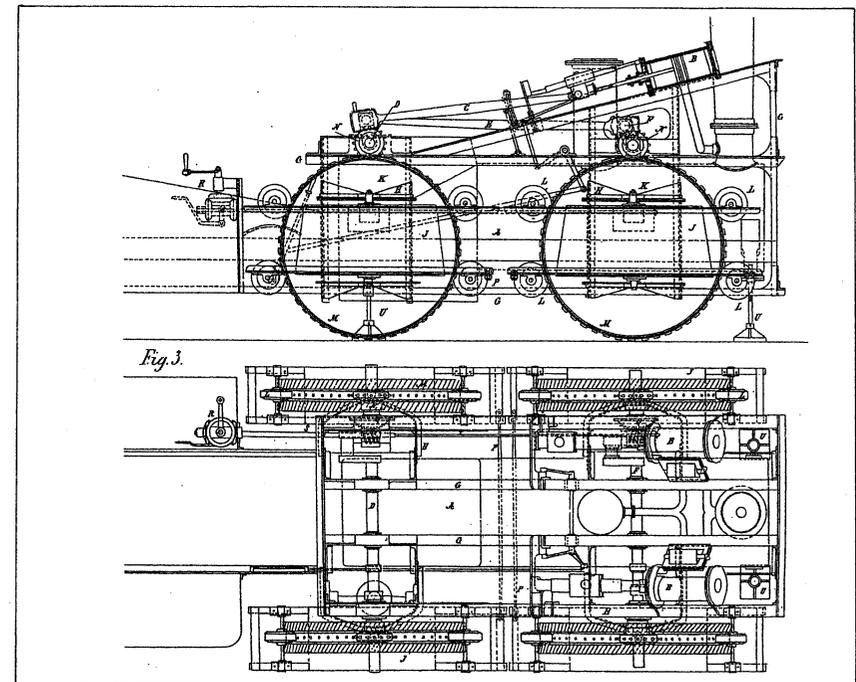


Bild 14.9/3: Vollständig ausgearbeitete Zeichnung als Patentzeichnung von Victor Kroh zu einer neuartigen Zugmaschine (Patent-No. 37216 vom 8. Januar 1886)

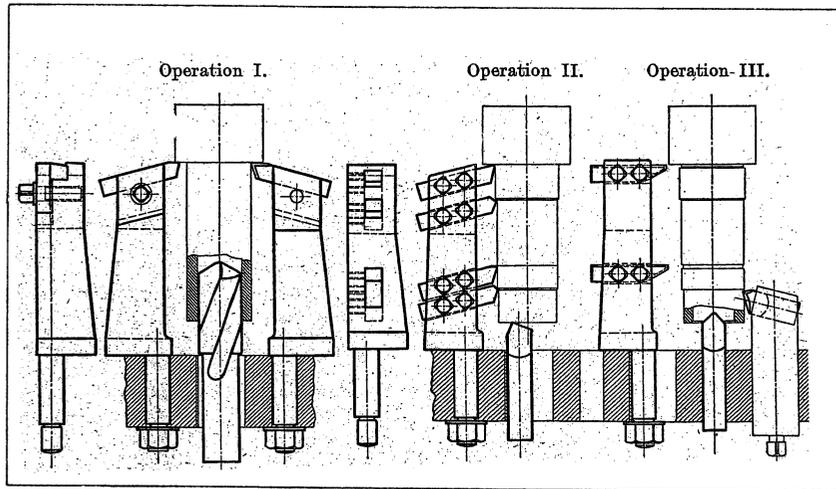


Bild 14.9/7: Werkzeugplan eines Drehautomaten (um 1906)

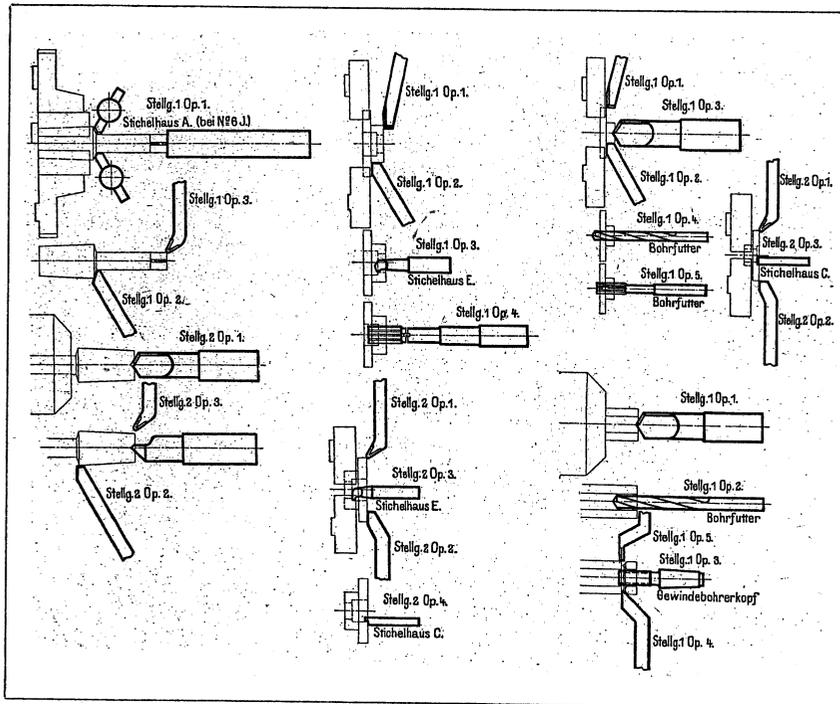
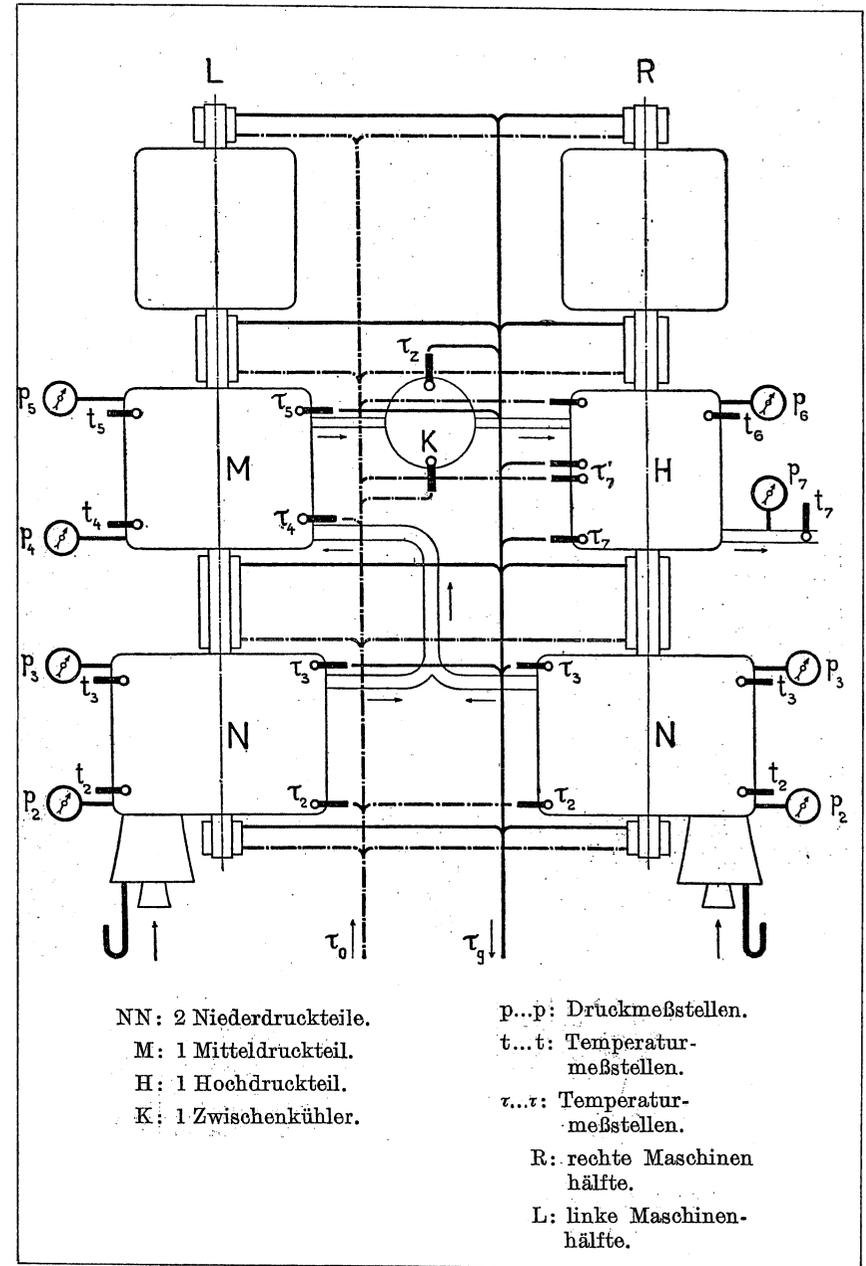


Bild 14.9/8: Zeichnung eines Arbeitsplans für die Massenerstellung eines Bolzens (um 1912)



NN: 2 Niederdruckteile.
 M: 1 Mitteldruckteil.
 H: 1 Hochdruckteil.
 K: 1 Zwischenkühler.

p...p: Druckmeßstellen.
 t...t: Temperaturmeßstellen.
 tau...tau: Temperaturmeßstellen.
 R: rechte Maschinenhälfte.
 L: linke Maschinenhälfte.

Bild 14.9/9: Messplan für die Messung von Temperatur und Druck bei einem Kompressor mit elektrischem Antrieb (um 1900)

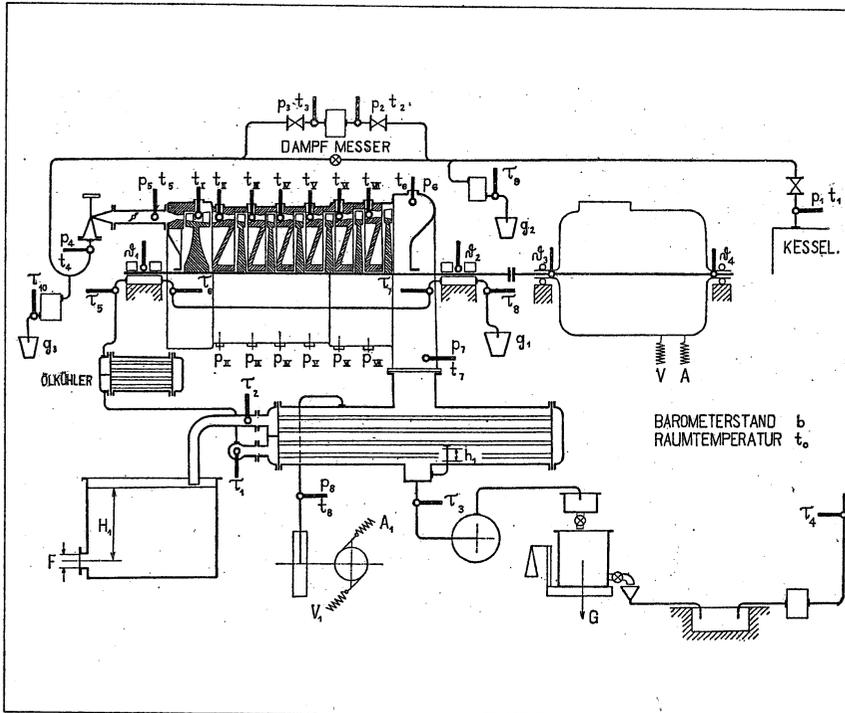


Bild 14.9/10: Plan für die Druck- und Temperatur-Messpunkte an einer Dampfturbine (1914)

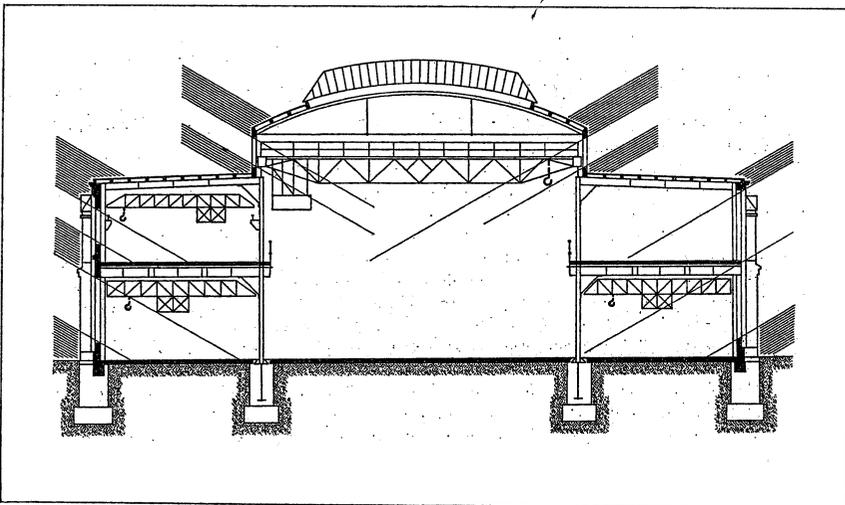


Bild 14.9/11: Zeichnung zum Lichteinfall in einer Werkhalle (um 1900)

14.10 Präzisionszeichnungen

Eine besondere Gruppe technischer Zeichnungen sind die Präzisions- oder „Genau-Zeichnungen“. Bei üblichen Zeichnungen lag die Genauigkeit im Bereich von einigen zehntel Millimetern. Die Ausführungsgenauigkeit war auch nicht entscheidend. Es war üblich, beispielsweise bei mehreren aneinandergelagerten und einzeln vermaßten Teilen Toleranzzeichnungen durchzuführen. Man verließ sich nicht auf die gezeichnete Genauigkeit. In den Fällen, in denen keine Maßangaben oder anderweitige Bezugspunkte vorlagen waren Toleranzrechnungen nicht durchführbar. Die Zeichnungen mussten entsprechend genau gezeichnet werden. Diese Präzisionszeichnungen wurden in höchster Genauigkeit mit feinsten Linien in Tusche gezeichnet. Die Strichstärken betragen in der Regel 0,1 mm. Der Formen und Maße wurden beispielsweise bei der Herstellung direkt aus der Zeichnung abgegriffen. Als Hilfen dienten häufig feste Bezugslinien oder Quadratraster.

Eine Voraussetzung für Präzisionszeichnungen war ein Zeichengrund, der sich durch Wärmedehnung nicht nennenswert veränderte. Insbesondere bei großformatigen Präzisionszeichnungen waren die Ungenauigkeiten durch Dehnungen viel zu groß. Der übliche Zeichengrund, alle Arten von Papieren (einschließlich der transparenten Sorten), war für hochgenaues Zeichnen nicht geeignet. Neben der Ausdehnung durch temperaturbedingte Ausdehnungen waren die Dehnungen bei Veränderung der Luftfeuchtigkeit inakzeptabel. Ursprünglich setzte man als Zeichenfläche Glasplatten ein, die einseitig mit beschriftbaren Spezialpapieren bezogen waren. Ende des 19. Jahrhunderts gab es die ersten näherungsweise formstabilen Papiere. In neuerer Zeit werden als Zeichengrund besondere Kunststofffolien eingesetzt, deren Oberfläche einseitig für das Zeichnen mit Bleistift oder Tusche aufgeraut worden ist. Das Zeichnen auf diesen Folien erfordert besondere Zeicheninstrumente. Die Zeichenoberfläche ist so abrasiv, dass beispielsweise übliche Tuschezeichner schon nach kurzer Zeit verschleifen.

Allgemein bekannt sind Präzisionszeichnungen aus der Geodäsie und dem Markscheidewesen. In der Technik wurden sie unter anderem in zwei Bereichen eingesetzt, im Fahrzeugbau bei Karosseriezeichnungen und im Schiffbau beim Entwerfen von Rumpfformen. Bei Karosseriezeichnungen wurde früher die gesamte Karosserie-Außenform im Maßstab 1:1 in einem festgelegten Bezugsraster gezeichnet. Im Allgemeinen war das ein räumliches 100 mm-Raster. Gearbeitet wurde mit höchster Genauigkeit auf speziellen Groß-Zeichenanlagen. Die Formen und Straklinien ergaben sich als Verschneidungslinien mit den Linien des Bezugsrasters. Jeder Punkt der Außenhaut konnte aus der Zeichnung abgegriffen werden. Diese Karosseriezeichnungen waren die Basis bei der Erstellung der Preßwerkzeuge und bei Abstimmungsarbeiten zwischen verschiedenen Karosserieteilen.

Zum Zeichnen der Karosserielinien verwendeten die Fahrzeughersteller eigene Sätze von Kurvenlinealen. Diese Sätze konnten einige Hundert Lineale umfassen. Die Lineale waren oft mehrere Meter lang. Die Fahrzeuge einzelner Hersteller waren an ihrer charakteristischen Form- und Linien Sprache erkennbar. Diese historische Signatur war durch die jahrzehntelange Nutzung der herstellereigener Linealsätze mit geprägt worden.

Im Schiffbau ging man früher ähnlich vor, allerdings in verkleinerter Darstellung. Eine Rasterverwendung war nicht erforderlich. Bezugslinien waren die Schnittlinien der Rumpfaußenhaut mit der Wasseroberfläche oder parallel zur Wasseroberfläche liegende Flächen. Die Lage des Rumpfes im Wasser war einheitlich festgelegt.

Ein besonderes Arbeitsgebiet bei Präzisionszeichnungen stellt die Konzeption von Steuerungen und Untersuchung der kinematischen Verhältnisse von Steuerungen an Dampfmaschinen und Verbrennungsmotoren dar. Diese Untersuchungen wurden in der Regel mit zeichnerischen Mitteln sehr genau und für mehrere Steuerungsphasen durchgeführt.

Neben diesen Arten gab es noch eine Vielzahl von Spezialfällen in fast allen Branchen. In der Regel waren diese Zeichnungen dann erforderlich, wenn komplizierte Formen in hoher Genauigkeit angerissen und gefertigt werden sollten. Beispiele sind Bauteile für Strömungsmaschinen, Sonderverzahnungen, Blechzuschnitte etc.

Ein typisches Beispiel für Präzisionszeichnungen sind Getriebe mit besonderer Verzahnungsgeometrie. Bei größeren Verzahnungen wurden die Zahnformen von Fall zu Fall nach den Gesetzen der Geometrie konstruiert. Die Zahnformen konnten vom Kreis, von Zykloiden, Evolventen u.a.m. abgeleitet werden. Auch völlig freie Zahnformen waren üblich, beispielsweise bei Triebstockverzahnungen.

Ein weiteres Problem bei großen Verzahnungen war die starke Geräuschentwicklung. Eine Möglichkeit zur Verringerung war die üblichen stählernen oder gusseisernen Räder durch Räder aus anderen Materialien zu ersetzen, beispielsweise Holz oder Rohhaut, um nur einige zu nennen. Weiterhin war eine Kombination verschiedener Materialien bei jedem Zahn ein gangbarer Weg. Der Kreativität waren keine Grenzen gesetzt. Es gab eine Vielzahl patentierter Lösungen. Selbst der Austausch von verschlissenen Zahnteilen war üblich.

Das Beispiel zeigt ein 90°-Kegelradpaar mit Geradverzahnung. Das Ritzel mit der Verzahnung ist gegossen (Grauguss). Der Radkörper ist ebenfalls aus Grauguss. Die Zähne sind einzeln auswechselbar und aus Hartholz. Die Skizze zeigt den Entwurf der Verzahnung.

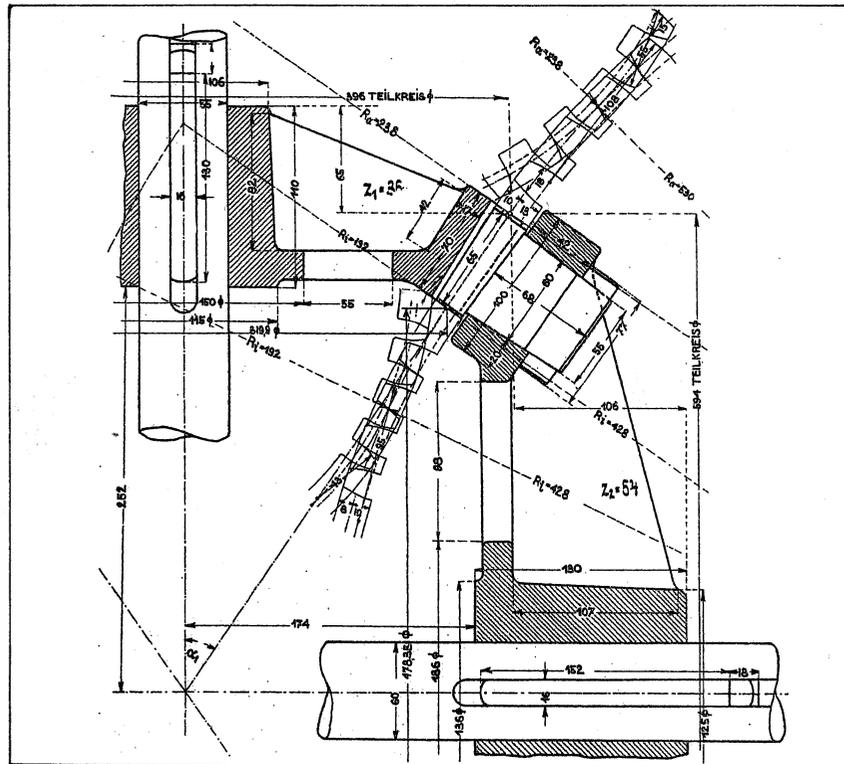


Bild 14.10/1: Kegelradpaar Holz auf Grauguss für eine Dauerleistung von etwa 5 PS (um 1910)

Das Beispiel in Bild 14.10/2 zeigt einen Ausschnitt aus der Konstruktion einer Kegelradverzahnung mit einem Achswinkel von 70°. Die Zahnräder waren fast 2 Meter groß. Beide Räder sind in der Hauptansicht und Draufsicht gezeichnet. Die Verzahnungen wurden gegossen. Die feinen Linienstärken vermitteln ein Gefühl für die Genauigkeit der Zeichenarbeit.

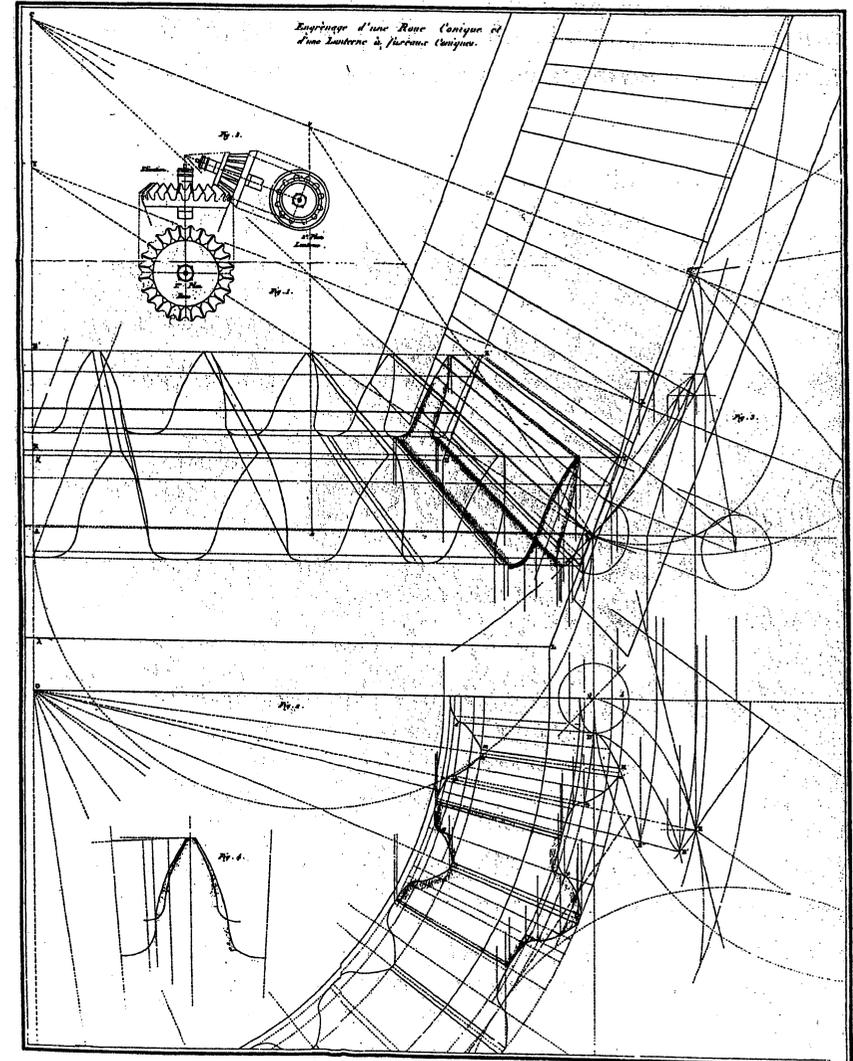


Bild 14.10/2: Präzisionszeichnung für eine Kegelradverzahnung (um 1811)

15. DIE ARBEITSMITTEL BEIM KONSTRUKTIVEN ZEICHNEN

15.1 Bemerkung

Mit Arbeitsmitteln sind primär die traditionellen „Handwerkszeuge“ der Kunstmeister, „Mechanici“, Konstrukteur und Ingenieure gemeint, also die Hilfsmittel zum manuellen Anfertigen von Skizzen, Entwürfen und endgültigen technischen Dokumenten. Der Schwerpunkt der Betrachtung liegt wieder auf den Mitteln, die im 19. Jahrhundert verwendet worden sind. Die interessante Vorgeschichte einiger Arbeitsmittel wird ebenfalls betrachtet. Die Menge der eingesetzten Arbeitsmittel beim konstruktiven Zeichnen ist überraschend. Es sind Hunderte unterschiedlicher Instrumente, Utensilien und Werkzeuge benutzt worden. Der größte Teil ist heute nicht mehr im Einsatz. Deren Funktionen sind entfallen oder auf andere Weise gelöst worden. Bei einem anderen Teil ist deren Funktion nicht mehr genau bekannt. Heute übrig geblieben sind einige Standard-Zeichenwerkzeuge, wie die verschiedenen Zirkelarten. Die Arbeitsmittel dieser Gruppe sind einfach aufgebaut und sie erfüllen eine einfache Funktion.

Es gab aber noch eine andere Gruppe an Arbeitsmittel, deren Aufbau mechanisch sehr kompliziert war und die komplexere Funktionen erfüllten. Beim konstruktiven Zeichnen gab es eine Fülle immer wiederkehrender Aufgaben, deren Lösung mit den einfachen Arbeitsmitteln des Konstrukteurs sehr zeitaufwendig war. Als Beispiele seien hier nur genannt die Ermittlung von Schwerpunkten unregelmäßiger Flächen und Körper oder die Bestimmung des Flächeninhalts beliebiger Flächenformen. Es gab kaum wiederkehrende Aufgaben, für die nicht spezielle Arbeitsmittel geschaffen worden sind. Die Zahl geht in die Hunderte. Man bezeichnete sie auch nicht mehr als einfache Arbeitsmittel oder Utensilien sondern als Apparate oder Vorrichtungen. Es gab Apparate zum perspektivischen Zeichnen, zum Zeichnen spezieller Kurven, zum Zeichnen von Verkleinerungen oder Vergrößerungen, zum Ermitteln von Flächeninhalten, zum Abtragen von trigonometrischen Werten, zum Zeichnen bestimmter Teilungsverhältnisse usw. Hinzu kam noch eine Gruppe von Apparaten, die nur innerhalb eines Unternehmens für betriebsinterne Spezialaufgaben eingesetzt worden sind.

Aus diesem gesamten „Universum“ an Arbeitsmitteln und Apparaten kann hier nur ein kleiner Teil wiedergegeben werden. Es wurden primär Arbeitsmittel ausgewählt, die eine größere Verbreitung gefunden haben. Nicht behandelt werden die einfachen Hilfsmittel zur Anfertigung freier Linearzeichnungen.

Die technischen Arbeitsmittel und Hilfsmittel zum Anfertigen von konstruktiven Zeichnungen haben eine lange Tradition. Deren Herstellung war in der Berufsgruppe der Instrumentenbauer, Graveure und bei einigen Handwerksberufen ein wichtiges Arbeitsgebiet. Erinnerung sei beispielsweise an das spezielle Handwerk der Zirkelschmiede und Feinschmiede. Am Anfang der Entwicklung waren die Arbeitsmittel handwerklich aufwendig hergestellte Einzelstücke in exzellenter Qualität. Sie waren außerordentlich präzise gefertigt und konnten Jahrzehntlang benutzt werden. An Werkstoffen wurde das Beste genommen, was zur Verfügung stand. Viele wurden nach den Vorstellungen der Nutzer gebaut. Sie waren z.T. versilbert oder vergoldet und entsprechend wertvoll. Es gab Arbeitsmittel mit Intarsien, kunstvollen Ornamenten und aufwendigen Gravuren im Stil ihrer Zeit. Dadurch sollte die Wertigkeit und Einmaligkeit zum Ausdruck gebracht werden. Im Laufe der Zeit entwickelte sich die Herstellung von Arbeitsmitteln zum konstruktiven Zeichnen zu einem eigenständigen Handwerk und später zu einem speziellen Segment der Feinwerktechnik mit einer Vielzahl spezialisierter Hersteller. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fasste man häufig benutzte Arbeitsmittel in sogenannten Besteckkästen oder kurz „Bestecken“ zusammen. Im 20. Jahrhundert wurden Zeichenutensilien nur noch in „Besteckform“ in „Zirkelkästen“ angeboten. Ausnahmen waren spezielle Zeichenapparate.

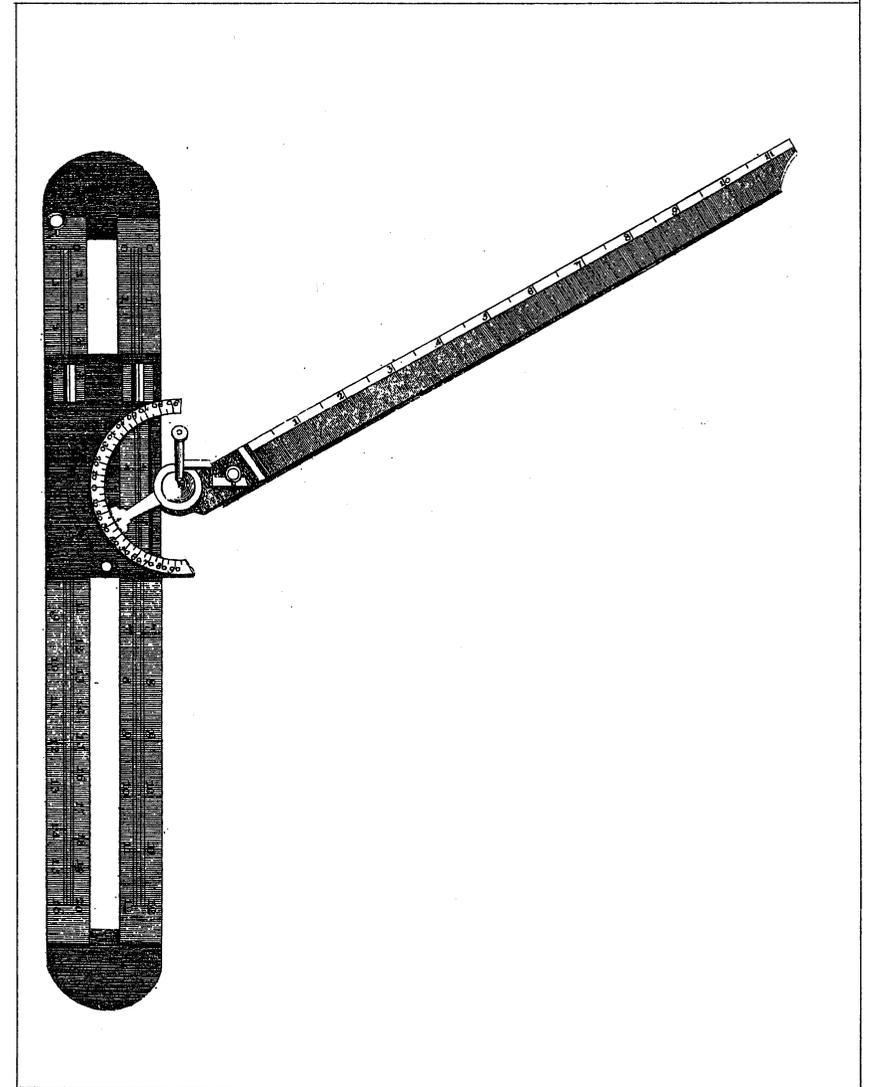


Bild 15.1/1: Aufwendig gearbeitetes Parallellineal mit Transporteur (um 1790)

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstand ein eigener Industriezweig, der Zeichengeräte in Serie auf den Markt brachte. Bekannte Hersteller waren O. E. Richter & Co, Clemens Riefler, Firma Cesieco, A. Stendel, Fromme, E. Schneider u.a.m. Die anfängliche Vielfalt an Zeichenmitteln war mit zunehmender Vereinheitlichung der Zeichnungsausführung nicht mehr notwendig. Es entstanden die bekannten Standard-Arbeitsmittel zum konstruktiven Zeichnen und deren Zusammenfassung in „Zirkelkästen“.

Das Zusammenfassen von üblichen Zeichenwerkzeugen zu Gruppen begann im 17. Jahrhundert. Zur Aufbewahrung dienten sorgfältig gearbeitete, hölzerne Kästen, die innen mit wertvollen Stoffen ausgeschlagen waren. Später brachte man in den Einlagen der Kästen Vertiefungen in Form der Zeichenwerkzeugkonturen ein und legte sie beispielsweise mit Samt aus. Das verhinderte eine Beschädigung. Diese Kästen mit einer Sammlung von Instrumenten nannte man üblicherweise „Bestecke“. Im 18. Jahrhundert gab es Standard-Bestecke für das konstruktive Zeichnen, vom kleinen Besteck bis zum umfassenden Magazin-Besteck. Das Magazin-Besteck, in größeren Unternehmungen gab es zumeist nur eins, hatte eine vollständige Ausstattung mit allen gängigen Arbeitsmitteln, einige in unterschiedlichen Größen.

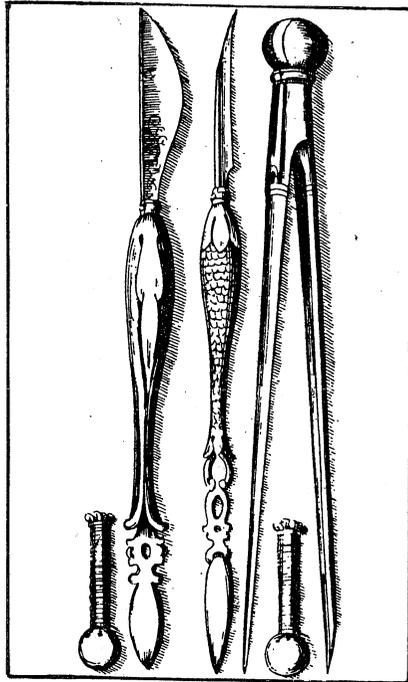


Bild 15.1/2:
Kleines Zeichenbesteck, um 1644
(aus Furtenbach, J.: Mechanischer
Reißbladen. Augsburg 1644)

Die Art der verwendeten Arbeitsmittel beim konstruktiven Zeichnen war von vielen Faktoren abhängig. Unmittelbar verständlich ist, dass beispielsweise der Ablauf des Konstruktionsprozesses selbst einen Einfluss besaß. Auch die Branche, in der der Konstrukteur tätig war, konnte den Einsatz besonderer Zeichenutensilien erforderlich machen. Aus dem Blickfeld verschwunden sind aber einige Probleme, die es in der damaligen Art heute nicht mehr gibt.

Ein Problemfeld war beispielsweise der Zeichengrund. Auf Pergamenten, behandeltem Leinwand u.ä. musste mit angepassten Arbeitsmitteln gezeichnet werden.

Ein anderer Problembereich war der der Vervielfältigung von Zeichnungen. Die heute gängigen transparenten Papiere und Folien gab es nicht. Zum Vervielfältigen benötigte man spezielle Hilfsmittel.

Im 19. Jahrhundert wurden beispielsweise besondere Zeichnungen durch den Einsatz von Farben repräsentativ gestaltet. Die Farben mussten selbst angemischt und mit entsprechenden Hilfsmitteln aufgetragen werden.

Bemerkung:

Ab wann Arbeitsmittel als Hilfen zum Zeichnen bei besonderen Aufgaben eingesetzt worden sind ist nicht bekannt. Der Zeitraum dürfte weit vor unserer Zeitrechnung liegen. Ein Beispiel für besondere Aufgaben ist das Vergrößern von Abbildungen. Das Bild zeigt eine Lösung aus dem Jahr 1584. Erdacht hat sie Jean Errard de Bar-le-Duc. Genutzt bei dem Verfahren wird die Veränderung der Bildgröße bei Verlängerung des Bildabstandes bei der Perspektive.

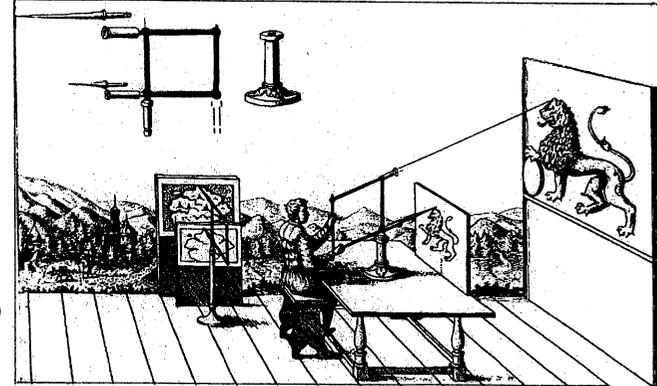


Bild 15.1/3:
Apparat zur
Vergrößerung
von Zeichnungen (1584)

Bemerkung:

Der historische Instrumentenbau war eng verbunden mit der Wiederentdeckung der wissenschaftlichen Hinterlassenschaften der Antike in der Renaissance. Eng damit verbunden waren die Arbeiten der arabischen Gelehrten, die in vielen Bereichen der Wissenschaft führend waren. Diese Position umfasste auch den Bau von Instrumenten, die zur wissenschaftlichen Arbeit notwendig waren. Am Anfang versuchte man die Arbeitsmittel der Antike und der arabischer Gelehrter zu kopieren. Die Anfertigung war sehr teuer und erforderte außerordentlich versierte Handwerker. Noch im 18. Jahrhundert war die Herstellung wissenschaftlicher Instrumente eng mit den höfischen Privilegien verbunden, also mit der Nutzung großer finanzieller Mittel, oder mit der unmittelbaren militärischen Nutzung. Für den „allgemeinen“ Gebrauch waren diese Instrumente nicht gedacht.

Bis Mitte des 16. Jahrhunderts war die Qualität der Instrumente arabischer Herkunft unerreicht. Danach begann in Europa eine stürmische Entwicklung neuartiger Instrumente mit immer besserer Qualität. Die wichtigsten Impulse kamen aus der Astronomie, der Geographie, der Medizin, Optik und der Technik. Die handwerkliche Basis waren am Anfang versierte Schmiede und Schlosser (Metallverarbeitung), Tischler und Drechsler (Holzverarbeitung), Gießer u.a.m. Im Mittelalter war ein Gelehrter, Künstler oder Kunstmeister gezwungen, zum Bau eines Instruments entweder anhand eines Modells, einer Zeichnung oder einer mündlichen Erläuterung bei einem Handwerker vorstellig zu werden und die Anfertigung zu überwachen. Der Bau der Instrumente erforderte aber mehr und mehr das Zusammenwirken verschiedener Handwerker und zwar in einer Weise, wie sie durch einfache Auftragsaufteilung nicht zu bewerkstelligen war. Die „Handwerker“ mussten in mehreren Gewerben zu Hause sein und Erfahrungen mit der Bearbeitung unterschiedlicher Werkstoffe besitzen. Dieses Konzept war aber im fest gefügten System von Zünften und Gilden nicht umzusetzen. Es setzte ein allmählicher Veränderungsprozess ein. Der Berufszweig der Uhrmacher löste sich früh aus den Zwängen der Schmiedezünfte, dann folgten die Instrumentenbauer oder „Mechanici“. Die Basis für den Berufszweig der Instrumentenbauer waren unterschiedliche Handwerke. Es dominierten die Feinschmiede und Graveure. Das hochpräzise Anbringen von Skalen und Markierungen auf den Instrumenten war schon immer Arbeit spezieller Graveure gewesen. Mit der Renaissance und dem zunehmenden Einfluss der Geometrie verstärkte sich deren Einfluss. Insbesondere bei den Holzschneidern und Kupferstechern entwickelte sich durch das Arbeiten mit geometrischen Erkenntnissen ein Potential, das auch beim Bau von Instrumenten genutzt werden konnte. Die Instrumentenbauer waren die Mittler zwischen den theoretisch arbeitenden Mathematikern, Geographen, Astronomen und Kunstmeistern und der praktischen Umsetzung in konkrete Objekte.

Bemerkung:

Die gleichen Arbeitsmittel, die beim konstruktiven Zeichnen im Einsatz waren, wurden auch von Künstlern verwendet, insbesondere bei Entwürfen perspektivischer Bilder. Zentralprojektionen von Landschaften, Gebäuden etc. erforderten eine exakte Vorkonstruktion, um einen guten räumlichen Eindruck beim Zuschauer zu erreichen.

15.2 Zeichenwerkzeuge und Hilfsmittel

15.2.1 Zirkel

Die übliche Form der Zirkel war die mit zwei Schenkeln. Die Schenkel lagen in einer Ebene und waren durch ein Scharnier, das Zirkelgelenk, drehbar miteinander verbunden. Zirkel erfüllten beim konstruktiven Zeichnen drei Funktionen:

1. Zeichnen von genauen Kreisen oder Kreisbögen,
2. Abgreifen und Übertragen von Strecken,
3. Durchführung diverser geometrischen Konstruktionen (z.B. genaues Teilen von Strecken, Konstruktion von Vielecken und anderen Formen, Errichten von genauen Senkrechten, Konstruktion von genauen Winkeln usw.).

Eine Sonderform der Zirkel mit zwei Schenkeln waren Zirkel zum Zeichnen sehr großer Kreise. Es gab sie in verschiedenen Ausführungen. Die heute noch bekannte Form ist der „Stangenzirkel“. Als Frühform dieser Sonderform gilt der sogenannte Fadenzirkel. Ein Faden wurde im Mittelpunkt des zu zeichnenden Kreises festgesetzt. Am anderen Ende befand sich im Abstand des zu zeichnenden Radius ein Markierungsgegenstand, beispielsweise ein angespitzter Holzpflock, ein Stück Kreide, eine geschmiedete Spitze oder ähnliches. Bei gespannter Schnur wurde der Markierungsgegenstand bewegt und beschrieb dabei einen Kreis.

Neben diesen zweischenkelligen Zirkeln gab es auch solche mit vier Schenkeln. Alle vier Schenkel lagen in einer Ebene. Diese Zirkelart diente zum proportionalen Vergrößerung oder Verkleinerung von Strecken. Man bezeichnete sie als „Proportionalzirkel“.

Eine weitere Sonderform stellten räumliche Zirkel dar. Es gab sie in drei- oder vierschenkelliger Ausführung. Ihre Schenkel konnten im Raum unabhängig voneinander bewegt werden. Sie besaßen feste oder auswechselbare Einsätze bzw. Zirkelspitzen.

Bei den üblichen Zirkeln mit zwei Schenkeln konnte der Abstand der „Zirkelspitzen“ durch Drehung um das Zirkelgelenk stufenlos verändert werden. Schon aus dem Altertum sind verstellbare Zirkel aus Holz bekannt. In Griechenland und im alten Rom wurden Zirkel mit zwei geraden Schenkeln aus Holz oder Metall verwendet, sogenannte Scharnierzirkel oder geradschenkellige Spitzzirkel. Sie besaßen spitz zulaufende Enden (z.T. aus Metall) und waren zum „Anreißen“ auf Stein und weichen Metallen sowie zum Zeichnen geeignet. Im Mittelalter wurde diese einfache Form weiterentwickelt. Um 1100 erwähnt der Astronom Theophilus Zirkel ganz aus Eisen, die aus zwei Teilen zusammengesetzt waren und gerade Schenkel besaßen. Der Stellbogen kam im 16. Jahrhundert hinzu. Mit ihm konnte die Schenkelposition festgestellt werden. Ein Griffkopf am Zirkelgelenk, meist ein kugelförmiger Ansatz, erleichterte die Handhabung. Aus diesem Griffkopf entstand später die Handhabe. Das war ein dünner, länglicher, zylindrischer Ansatz, der die Bewegung beim „Kreisschlagen“ nochmal vereinfachte. Durch auswechselbare Spitzen konnte die Einsatzbreite und Lebensdauer gesteigert werden. Bei einigen Anwendungsfällen war eine senkrechte Stellung der Zirkelspitzen auf der Zeichenfläche von Vorteil. Die entsprechenden Zirkel nannte man „Gelenkzirkel“. Sie besaßen in beiden Schenkeln je ein eingearbeitetes Gelenk. Beim konstruktiven Zeichnen beeinflusste die Größe der zu zeichnenden Kreise die Bauart eines Zirkels wesentlich. Um den Nutzungsbereich zu erweitern wurden Zirkel mit auswechselbaren Verlängerungen entwickelt.

In der Renaissance wurde die Technik der Zirkel perfektioniert und eine Vielzahl an Zirkeln für spezielle Aufgaben entwickelt. Der Zirkel wurde zu dem am meisten gebrauchten Zeichenwerkzeug. Er galt lange Zeit als Symbol für die geistige Arbeit von Kunstmeistern, Ingenieuren und Baumeistern. In den Wappen vieler Zünfte, den Kopfspiegeln der Briefe vieler Unternehmen tauchten Zirkel als Symbole auf. Die Vielzahl an unterschiedlichen Zirkeln und deren schwierige Herstellung führten in der Renaissance zur Entstehung eines eigenen Berufszweigs. Es entstand der Handwerksberuf des „Zirkelschmieds“.

Zirkel unterschieden sich auf vielfältige Art, durch das verwendete Material, die Größe, die Konstruktion. Insbesondere beim Material waren den Instrumentenbauern und „Mechanici“ keine Grenzen gesetzt. Bei hochwertigen Zirkeln war die Verwendung von Silber üblich. Es gab Instrumente mit aufwendigen Einlegearbeiten in Gold. Hinzu kamen feinste Gravuren. Damit sollte nicht nur die Wertigkeit dieses Zeichenwerkzeugs zum Ausdruck gebracht werden, sondern auch die Bedeutung und Einmaligkeit der Arbeiten mit diesen Instrumenten. Diese Zirkel waren quasi für die „Ewigkeit“ geschaffen und wurden über Generationen weitergegeben.

Auffällig bei den Zirkeln des 17. und frühen 18. Jahrhunderts ist die Häufung der Zirkel mit festen, metallischen Spitzen. Heute bezeichnet man diese Art als „Stechzirkel“. Mit Zirkeln wurde in dieser Zeit anders gearbeitet als heute. Das Zeichnen von Kreisen stand nicht im Mittelpunkt. Mit Zirkeln wurden geometrische Größen „abgestochen“. Das Übertragen von genauen Maßen, beispielsweise von einem Metalllineal, erfolgte durch abstechen, geometrische Konstruktionen, Teilungen, Vergrößerungen, Verkleinerungen usw. wurden ebenfalls durch Abstechen erreicht.

In der Tafel 12.2.1/1 ist eine kleine Auswahl unterschiedlicher Zirkel wiedergegeben.

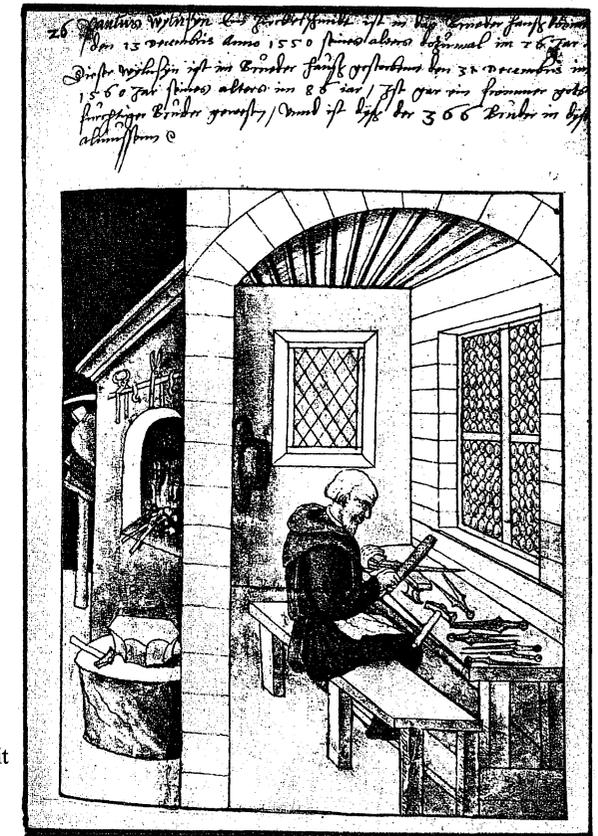
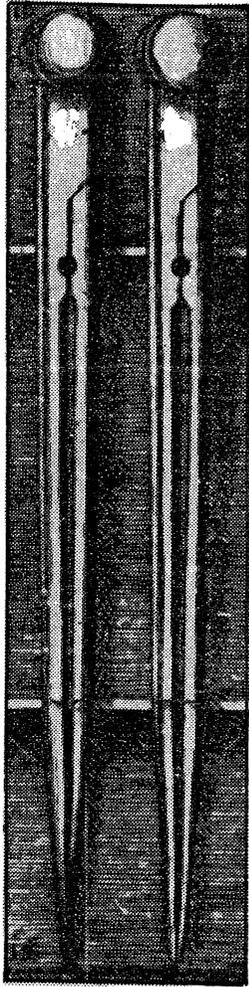
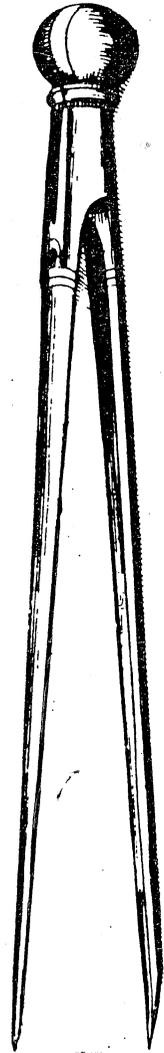


Bild 15.2.1/1:
Zirkelschmied bei der Arbeit
(Ausschnitt aus einem
Hausbuch Nürnberger
Handwerker, 1550)



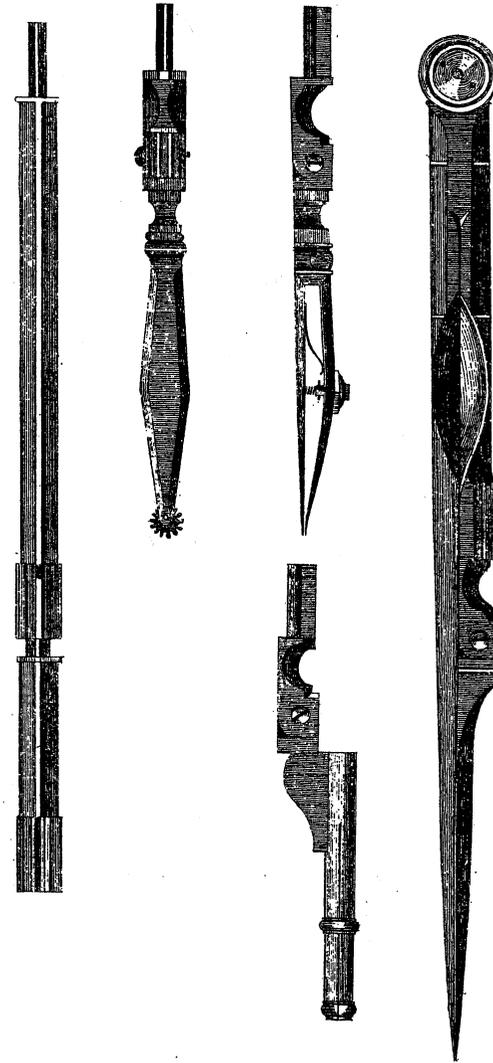
Stechzirkel-Satz
(17. Jhd.)



Stechzirkel mit Griffkopf
(17. Jhd.)



Stechzirkel (Haarzirkel)
mit Feineinstellung
(um 1800)



Zirkel mit Einsatzteilen um 1840
(Ziehfeder, Bleistifthalter,
Punktierrädchen, Verlängerung)

Tafel 15.2.1/1: Bauarten geradschenkeliger Zirkel (Auswahl)

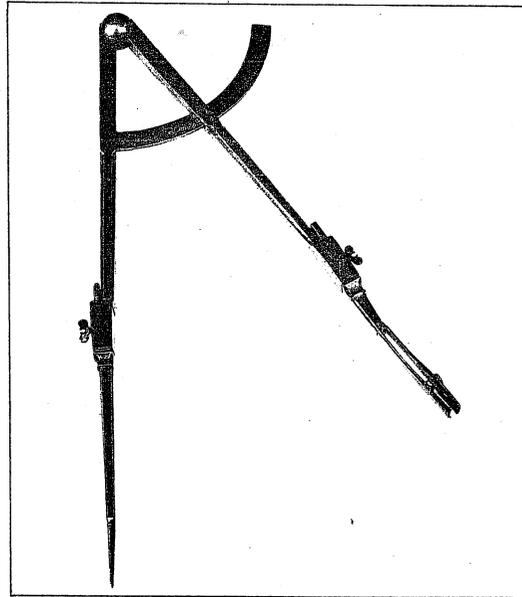


Bild 15.2.1/2:
Großer Zirkel mit Stellbogen
Feineinstellung und
wechselbaren Einsätzen
(16. Jhd.)

Geradschenkelige Zirkel gab es auch für besondere Anwendungen z.B. kombiniert mit Linealen und mit Winkelteilung am Scharnierkopf. Das Bild zeigt einen aufwendig gearbeiteten Zirkel, bei dem die flachen Schenkel beim Zusammenklappen ineinandergreifen. Die eingearbeiteten Maßstäbe auf den Schenkeln zeigen Zoll, Ellen, Schuh und Ruten. Mit Hilfe der Winkelteilung konnten die Schenkel des Zirkels in einem bestimmten Winkel eingestellt werden. Mit diesen Zirkeln konnte eine Vielzahl an Funktionen erfüllt werden. Man bezeichnete diese Instrumente auch als Geometriezirkel oder geometrische Zirkel.

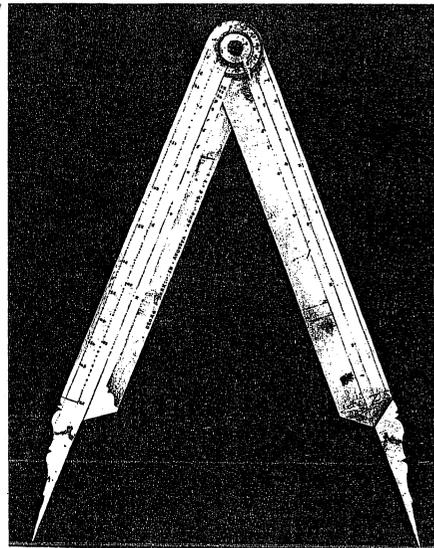


Bild 15.2.1/3:
Geometriezirkel mit
Winkleinstellung und
verschiedenen Maßteilungen
(um 1613)

Im Laufe der weiteren Entwicklung setzten sich im 18. Jahrhundert die Zirkel mit Gelenken in den Schenkeln durch. Der Zirkelkopf bzw. die Handhabe am Kopf wurde mit einer Geradföhrung versehen. Die Handhabe stellte sich dadurch bei jeder Öffnung des Zirkels selbsttätig in die Mittelstellung. Die Gelenke, insbesondere das zentrale am Zirkelkopf, wurden nicht mehr vernietet, sondern mit einstellbaren Schrauben versehen.

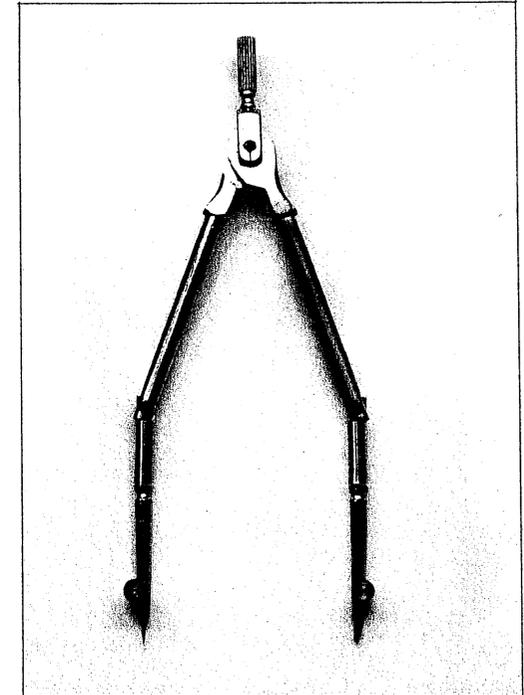


Bild 15.2.1/4:
Beispiel eines modernen Zirkels
mit selbsttätig senkrecht
stehender Handhabe und
Gelenken in beiden
Schenkeln
(um 1900)

Die weitere Entwicklung im 19. und 20. Jahrhundert war von einer Reihe an Detailverbesserungen geprägt. Messing oder Stahl als Grundwerkstoff mit einer versilberten oder vergoldeten Oberfläche verschwand weitgehend. Hochwertig Zirkel wurden vornehmlich aus Neusilber gefertigt. Neusilber war eine Legierung, die ursprünglich aus Kupfer und Zink bestand, bei der später ein Teil des Kupfers durch einen Nickelanteil von 10 bis 25 % ersetzt wurde. Zeichenutensilien aus diesem Material waren außerordentlich langlebig, korrosionsfrei, stabil und pflegeleicht. Eine besondere Oberflächenbehandlung war nicht erforderlich. Wenn eine hochglänzende Oberfläche gewünscht wurde, war eine Verchromung problemlos möglich. Eine weitere Entwicklung gab es bei den Verbindungen der austauschbaren Zirkelteile. Üblich waren Steckverbindungen, die mit kleinen Rändelschrauben gesichert waren. Man ging zunehmend auf nur steckbare Verbindungen über. Das vereinfachte die Handhabung bei der Arbeit. Auch der Zeitgeschmack, die Stile und die Moden flossen in die Gestaltung der Zirkel ein. Das folgende Beispiel zeigt einen üblichen Zirkel der Fa. Riefler. Er bestand aus runden Formelementen, die Wechseleinsätze waren steckbar, ohne Klemmschrauben, die Handhabe hatte eine verdeckte Geradföhrung, das zentrale Gelenk am Kopf war einstellbar und die Gelenke in den Schenkeln waren verdeckt. Man konnte diese Zeichenwerkzeuge durchaus als „Handschmeichler“ ansehen.

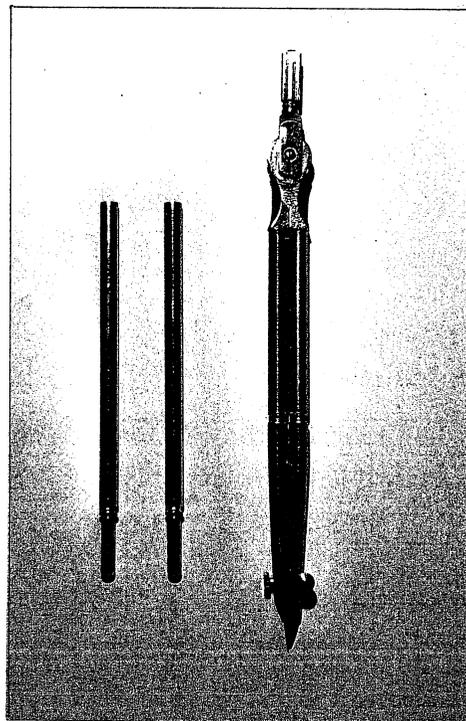


Bild 15.2.1/5:
Moderner Universalzirkel
mit zwei Verlängerungen
(Hersteller: Fa. Clemens Riefler,
Maria-Rain bei Kempten,
um 1940)

Mussten Kreise oder Kreisbögen mit größerem Durchmesser gezeichnet werden, so setzte man bei den üblichen Zirkeln eine oder zwei Verlängerungen ein. Der Einsatz von Verlängerungen hatte allerdings seine Grenzen. Durch die langen Schenkel veränderte sich die Zirkelöffnung sehr leicht. Abhilfe schaffte die Verwendung von Zirkeln, die für größere Weiten konstruiert waren. Das Bild zeigt einen Zirkel mit selbsttätiger Ausrichtung der Schenkelunterteile durch Parallelogrammführung und eingesteckter Verlängerung. Die Verlängerung konnte relativ weit herausgezogen werden. Durch die besondere Konstruktion war der Zirkel relativ stabil.

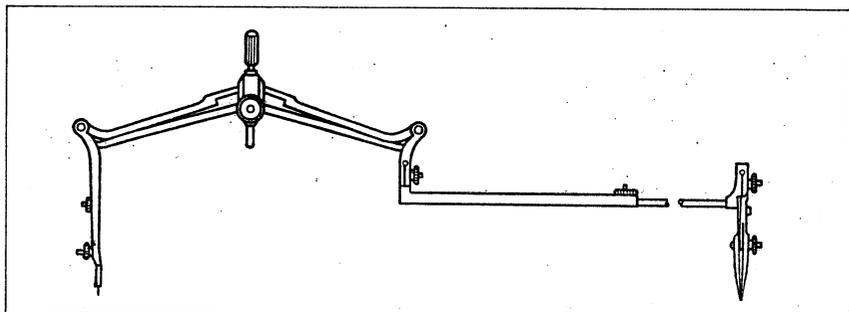


Bild 15.2.1/6: Parallelogrammzirkel mit großer Verlängerung (um 1920)

Sehr kleine Kreise konnten mit den üblichen geradschenkeligen Zirkeln schwer gezeichnet werden. Man benutzte in diesen Fällen kleinere Zirkel. Es gab sie als Spitzzirkel mit festen Spitzen oder als Zirkel mit austauschbaren Einsätzen. Üblich waren Zirkel mit austauschbaren Einsätzen, z.B. mit festen Spitzen, mit einem Halter für Bleistifte und einem Ziehfedereinsatz.

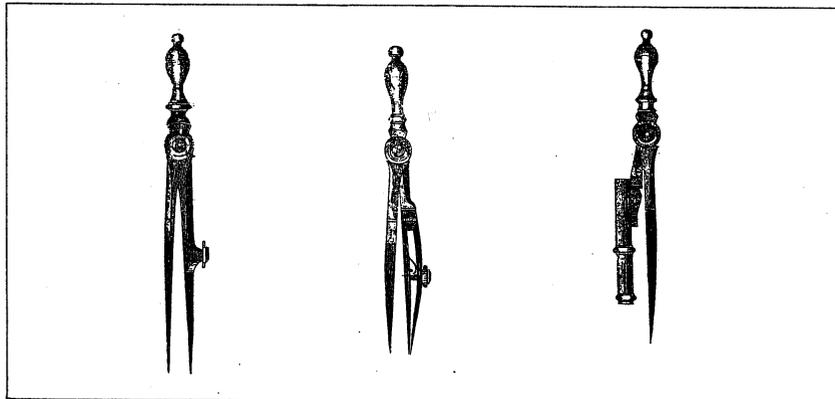


Bild 15.2.1/7: Einzelne Zirkel zum Zeichnen kleiner Kreise (um 1810)

Der große Nachteil dieser Zirkelkonstruktionen war, dass ihre Spitzen und Auflagepunkte der Einsätze in der Höhe sehr genau übereinstimmen mussten. Insbesondere beim Arbeiten mit der Ziehfeder kam es oft vor, dass deren Zungen nicht oder nicht gleichmäßig auf dem Papier auflagen. Die Lösung waren Zirkel mit durchgehender, angespitzter Einsatzstange und einem in der Höhe beweglichem, klemmbaren und um die Einsatzstange drehbarem Zirkelteil. Die Einsatzstange wurde im Mittelpunkt des Kreises eingestochen, der bewegliche Teil abgesenkt und gedreht. Unter der Bezeichnung „Fallzirkel“ oder „Fallnullenzirkel“ sind sie heute noch bekannt. Sie wurden zumeist mit austauschbaren Einsätzen gebaut. Es gab sie ab der Mitte des 19. Jahrhunderts. Auch diese Zirkel gab es in einer Vielzahl an Ausführungen.

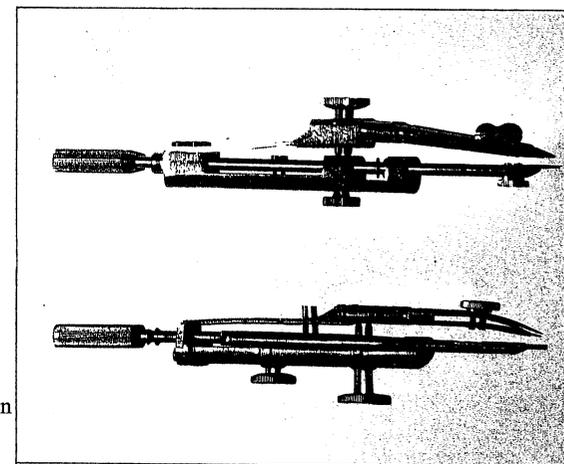


Bild 15.2.1/8:
Fallnullenzirkel zum Zeichnen
kleiner Kreise
(um 1920)

Mussten beim Zeichnen Strecken proportional vergrößert oder verkleinert werden, so benutzte man spezielle Zirkel mit vier geraden Schenkeln. Die Schenkel des normalen Spitzzirkels waren bei ihnen in einem Stück über das Zirkelgelenk hinaus verlängert. Die Bezeichnung für diese Art der Zirkel war nicht einheitlich. In alten Quellen werden sie auch „Vierfußzirkel“ genannt, in neuen Proportionalzirkel. Zum Zeichnen von Kreisen wurden sie nicht verwendet. Die Grundkonstruktion ist sehr alt. Historische Exemplare sind bei Ausgrabungen antiker Stätten gefunden worden, die um den Beginn unserer Zeitrechnung datiert werden konnten. Es gab sie mit fester Vergrößerung bzw. Verkleinerung oder mit variabler Einstellung. Das Bild zeigt einen Zirkel mit fester Einstellung, und zwar zum Halbieren von Strecken. Wenn beispielsweise der längere Schenkel auf eine Strecke eingestellt worden war, ergab sich auf der anderen Zirkelseite immer eine Halbierung. Derartige Zirkel gab es für unterschiedliche Verkleinerungs- bzw. Vergrößerungsgrade. Bekannt ist, dass einige Baumeister und Ingenieure bis zu einem Dutzend dieser Zirkel mit unterschiedlichen Verkürzungen verwendeten.

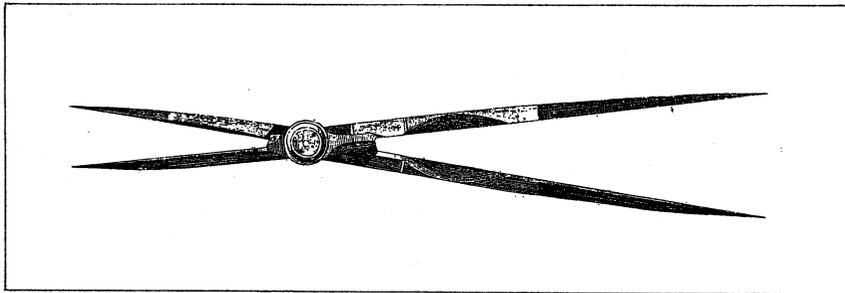


Bild 15.2.1/9: Halbierungszirkel (um 1790)

Das folgende Bild zeigt einen Proportionalzirkel mit variabler Einstellung. Skizzen von derartigen Zirkeln liegen schon bei Leonardo da Vinci vor. Die Schenkel waren geschlitzt. Der Mittelpunkt war in den Schlitzten beweglich und konnte fest geklemmt werden. In den oberen Teilen des Zirkels waren Skalen eingearbeitet, nach denen die Vergrößerungs- bzw. Verkleinerungsverhältnisse eingestellt wurden. Sollte beispielsweise ein Abstand auf einer Linie proportional verkleinert werden, so stellte man die Mittelpunktschraube auf die entsprechenden Werte der Skalen, z.B. 4, ein. Dann griff man den Abstand auf der Linie ab. Am anderen Schenkel stellte sich der verkleinerte Wert ein. In ähnlicher Weise konnte man auch sehr genau eine Strecke in mehrere Abschnitte teilen, reguläre Polygone zeichnen u.a.m.

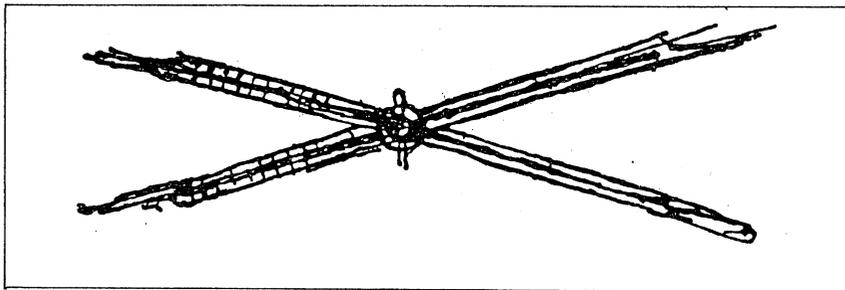


Bild 15.2.1/10: Skizze eines einstellbaren Proportionalzirkels von Leonardo da Vinci (um 1490)

Diese Zirkel gab es nicht nur zum proportionalen Verkleinern von Abständen, sondern auch für andere geometrische Größen, beispielsweise zum Verkleinern von Kreisen, Volumen zylindrischer Behälter u.a.m. Das Beispiel zeigt einen Proportionalzirkel für sehr genaue Arbeiten mit einer Stellschraube.

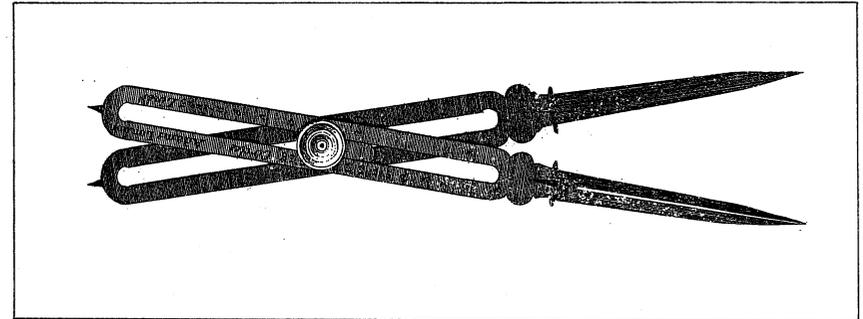


Bild 15.2.1/11: Proportionalzirkel mit variabler Einstellung (G. Adams, um 1800)

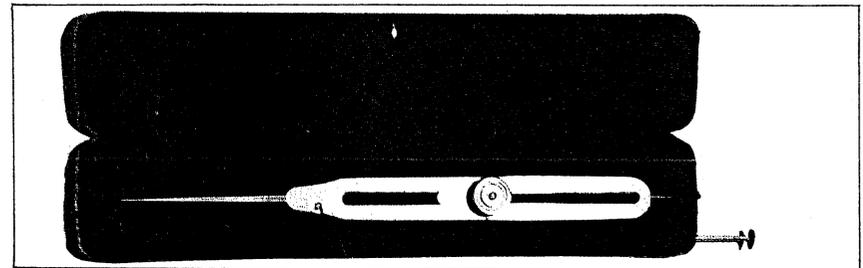


Bild 15.2.1/12: Handelsüblicher Proportionalzirkel im Etui (um 1840)

Eine Sonderform der geradschenkeligen Zirkel stellten die dreischenkeligen dar. Bei ihnen war der gewöhnliche zwischenkelige Spitzzirkel mit einem zusätzlichen am Zirkelkopf befestigtes und um 90° gegenüber der Zirkelgelenkachse versetzten Gelenk ausgestattet. Diese Zirkel wurden u.a. zum Kopieren von Zeichnungen verwendet. Der Spitzzirkelteil wurde auf zwei fixe Punkte gesetzt und mit dem freien Schenkel einzelne Zeichnungspositionen abgegriffen und auf die Kopie übertragen.

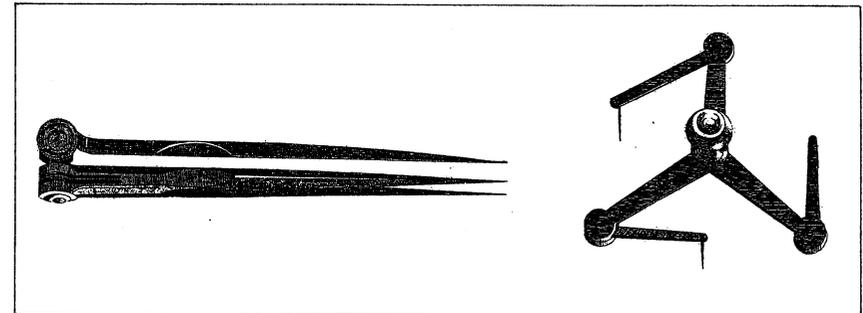


Bild 15.2.1/13: Dreischenkliger Kopierzirkel (um 1820)

15.2.2 Lineale und Zeichendreiecke

Lineale dienten in ihrer Grundform zum Zeichnen gerader Linien und, wenn sie mit einer Maßkala versehen waren, zum Abtragen von Maßen auf eine Zeichnung und dem Messen von Längen. Zum direkten Abtragen von Maßen diente der Spitz- oder Stechzirkel. Die üblichen Lineale hatten einen flachen, rechteckigen Querschnitt. Es gab sie in unterschiedlichen Längen, vom kurzen Taschenlineal bis zu den größten Linealen zum Zeichnen von Großmaschinen. Es gab auch einige Lineal-Zwischenformen, die mehrere Funktionen erfüllen konnten. Ein Beispiel ist ein Lineal aus Ebenholz mit Kanten aus Elfenbein, mit dem auch parallele Linien gezeichnet werden konnten. Zwei auf einer gemeinsamen Achse befestigten, perforierten Rädchen, die das Lineal knapp über der Papieroberfläche hielten, sorgten für die parallele Verschiebung. Es war demnach ein Lineal, das auch als „Parallellineal“ genutzt werden konnte.

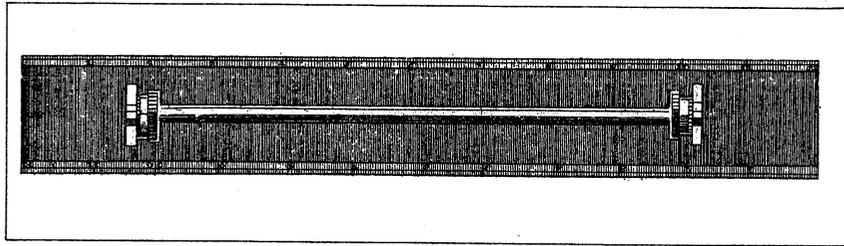


Bild 15.2.2/1: Lineal und „Roll-Parallellineal“ (um 1790)

In der Neuzeit kamen feste Lineale bzw. ganze Linealsätze zum Zeichnen bestimmter Kurven hinzu. Diese Lineale bzw. Linealsätze waren Unternehmensspezifisch. Ein Beispiel sind die umfangreichen Linealsätze von Karosseriebauern. Aus der unendlichen Vielfalt an Kurvenlinealen wurden Ende des 19. Jahrhunderts Kurvensätze mit möglichst wenigen Linealen zusammengefasst, mit denen man ein großes Spektrum an Anwendungsfällen abdecken konnte. Ein bekannter Satz ist der „Kurvenlinealsatz von Burmester“. Lineale aus verformbaren Materialien, mit denen beliebige Kurven gezeichnet werden konnten, spielten in der Praxis eine untergeordnete Rolle.

Das Wort Lineal wurde aus dem Lateinischen „linea“ abgeleitet. Es bezeichnete ursprünglich eine gespannte Schnur, an der eine gerade Linie übertragen werden konnte. Bis ins Mittelalter verwendete man zum Zeichnen gerader Linien auch mit Kohle- oder Okerpigmenten u.ä. eingefärbte Schnüre, bei denen die gespannten Schnüre leicht angehoben wurden und bei plötzlicher Freigabe auf die darunterliegende Oberfläche zurückschnellten und einen geraden, farbigen Strich hinterließen. Aus diesen Schnüren wurden im Laufe der Entwicklung gerade hölzerne Latten, diese versah man später mit einer Skala für Längenmaße. Lineale gab es in unzähligen Ausführungen, mit einem oder mehreren Maßstäben, mit Einlagen aus Hartholz oder Metall an der Zeichenkante, um den Verschleiß zu verringern u.a.m. Lineale ganz aus Metall fanden ab dem 18. Jahrhundert Verbreitung. Im 20. Jahrhundert setzten sich Ausführungen aus Kunststoffen durch. Es gab flache Lineale und solche aus Profilen. Flache Lineale besaßen oft zwei unterschiedliche Skalen. Eine an jeder Zeichenkante. Die Skalen zeigten entweder unterschiedliche Maßstäbe oder verschiedene Längenmaße, beispielsweise länderspezifische Angaben von Fuß, Zoll u.ä. Lineale mit Profilquerschnitten besaßen, je nach Profilform, mehrere unterschiedliche Skalen. Verbreitet waren Lineale mit dreieckigem Querschnitt und sechs Skalen. Bei wertigen Linealen waren die Skalen eingeritzt, bei einfachen nur aufgedruckt. In der Tafel 15.2.2/1 sind einige ältere Lineale abgebildet.

Das Lineal ist frei auf einer beliebigen ebenen Fläche verwendbar. Die Griechen und Römer verwendeten beim konstruktiven Zeichnen schon ebene Bretter aus verzugsarmen Holz, beispielsweise aus besonders präpariertem Buchsbaum. Man zeichnete direkt auf das Holz oder auf mit Wachs überzogenen Holztafeln. Das waren die Vorformen der „Reißbretter“, die seit etwa 600 n. Chr. in Gebrauch waren. Im Mittelalter setzte sich das Arbeiten mit Linealen auf hölzernen Tafeln fort. Den Aufriss einer Konstruktion erledigte der Kunstmeister am Anfang selbst. Mit zunehmender Komplexität der Konstruktion und mit höheren Anforderungen an die Genauigkeit der Risse entwickelte sich im 15. Jahrhundert aus diesem Arbeitsbereich ein eigener Handwerkszweig. Der eigenständige Beruf des „Reißers“ entstand. Reißer fertigten nicht nur konstruktive Zeichnungen an, sondern alle Art von künstlerischen Zeichnungen, Schriften u.a.m. Von der Arbeit in Holz ging man bald zu anderen Materialien über, z.B. Blei, Kupfer, Zinn und später auch Eisen. Aus diesem Materialbezug entstanden später spezielle Berufe (z.B. der Holzstecher, Kupferstecher u.a.m.).



Bild 15.2.2/2:
Ein Reißer bei der Arbeit
auf einem Lindenbrett,
mit Zeichenutensilien
(1568)

Noch aus 19. Jahrhundert liegen Schilderungen vor, nach denen Skizzen und Entwürfe von den Ingenieuren der frühen Industriebetriebe direkt auf Holz gezeichnet worden sind, und zwar nicht nur im rauen Werkstattbetrieb, sondern als übliches Verfahren. Seit dem Mittelalter wurden Konstruktionen vermehrt auf Pergament und Papieren ausgeführt. Basis dafür waren ebene Bretter. Auch wenn auf ihnen nicht mehr „gerissen“ wurde, die Bezeichnung Reißbrett ist bis heute geblieben. Im 15. Jahrhundert änderte sich die das Arbeitsfeld des „Reißers“ bei der Anfertigung konstruktiver Zeichnungen entscheidend. Durch die Verwendung von Zeichenstiften aus Silber oder Blei und den vermehrten Einsatz von Papier war im technischen Bereich das „Reißen“ mit Stichel und Nadel überflüssig geworden. Die Anfertigung einer Zeichnung erforderte weniger Zeit, die Zeichenarbeit wurde einfacher, die Arbeitsmittel wurden an die neue Situation angepasst.

Wenn eine der Querseiten der Reißbretter eben und glatt geschliffen war, konnte man dort einen Winkel anlegen. Daraus entwickelte sich die Reißschiene als besondere Form des Lineals. Am Anfang war sie nur ein kurzer, wenig veränderter „Anreißwinkel“. Im Laufe der Zeit entstand daraus die Reißschiene mit festem Kopf an einem Ende. Der Kopf wurde manchmal auch Richtholz oder Kloben genannt. Die Schiene (Zunge) war aus Holz, meist Buche, Birnbaum oder Mahagoni. Später setzten sich Schienen aus Metall oder Kunststoff durch. Zeichenschienen gab es auch mit verstellbarem Kopf. Mit ihnen wurden Konstruktionen gezeichnet, die insgesamt schräg zur Waagerechten lagen.

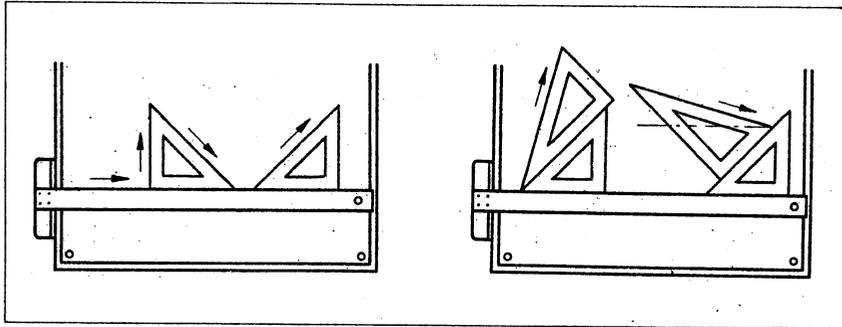


Bild 15.2.2/3: Arbeiten mit der festen Reißschiene

Für spezielle Aufgaben, die sich häufig wiederholten, gab es auch besondere Linealkonstruktionen. Eine ist das Parallellineal. Mit ihm konnten in einem begrenzten Bereich parallele Linien gezeichnet werden. Dieses Hilfsmittel gab es in den verschiedensten Ausführungen. Das einfache Parallellineal hatte zwei normale Lineale, die durch Laschen verbunden waren (Parallelogramm-Lineal). Beim Zeichnen gab es einen Versatz des unteren, festen Lineals zu dem oberen, beweglichen Lineal. Wenn der Versatz störte, nahm man ein „doppeltes Parallelogramm-Lineal“. Die gleiche parallele Verschiebbarkeit eines Lineals erreichte man auch durch den Einsatz unterschiedlicher Scheren-Konstruktionen. Sie wurden Scheren-Lineale oder auch kreuzschenklige Parallellineale bezeichnet.

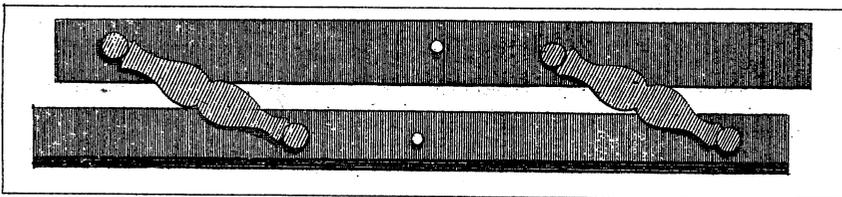


Bild 15.2.2/4: Einfaches Parallelogramm-Lineal (um 1800)

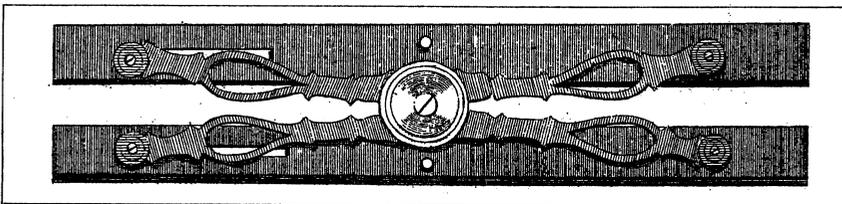


Bild 15.2.2/5: Parallellineal mit Scheren (Scheren-Lineal, um 1800)

Eine andere Möglichkeit der parallelen Verschiebung waren Roll-Parallellineale (siehe Bild 15.2.2/1). Erfunden wurde es 1771 von A. G. Eckardt. Derartige Lineale sind in einfacher Ausführung noch heute in Gebrauch. Diese Lineale gab es auch mit zusätzlichen Rollen auf der durchgehenden Achse, die am Umfang mit einer Skala versehen waren. Damit konnte der Abstand der parallelen Linien bestimmt werden.

Ähnlich wie die oben geschilderten Lineale zum Zeichnen von Parallelverschiebungen gab es besondere Linealkonstruktionen zum Anlegen von Schraffuren, festen Linienkombinationen u.a.m. Üblich war es auch, Lineale mit anderen Zeichenmitteln zu kombinieren, beispielsweise ein Parallellineal in Kombination mit einem Winkelmesser (Transporteur).

Eine Sonderform der Lineale stellten die Kurvenlineale dar. Eng verwandt mit den Kurvenlinealen sind die Schablonen. Sie wurden für wiederkehrende, meist kleinere Formen verwendet. Kurvenlineale wurden schon im Altertum verwendet, wenn komplizierte, wiederkehrende Formen gezeichnet werden mussten. Sie wurden zum Vorzeichnen (Anreißen) der Form oder zur Prüfung der Form während der Bearbeitung benutzt. Als Material kam Holz oder Blei zum Einsatz. Bei der praktischen Arbeit gab es zwei unterschiedliche Anwendungsfälle. Zum einen setzte man Kurvenlineale ein, wenn immer ein und dieselbe gekrümmte Linie gleich oder spiegelbildlich reproduziert werden musste. So etwas kam häufig bei Arbeiten in Stein sowie bei Blech- und Holzarbeiten vor. Zum anderen, das war der häufigere Fall in der Technik, nutzte man Kurvenlineale, um aus unterschiedlichen Kurvensegmenten eine möglichst harmonischen Übergang zwischen versetzten Linien zu erzeugen. Kurvenlineale gab es in unendlicher Vielfalt. Fast jedes Unternehmen, oft jeder Handwerker und Kunstmeister hatte eigene Lineale. In der Tafel 15.2.2/2 sind einige Kurvenlineale eines Herstellers von Zentrifugalpumpen verkleinert abgebildet. Die Lineale bestanden aus Mahagoni. Jedes Lineal hatte eine eigene Nummer.

In Analogie zu den Zirkeln und Zirkelbestecken kam es im 19. Jahrhundert zu einer gewissen Standardisierung der Lineale und Linealsätze. Es gab beispielsweise den kleinen Satz mit wenigen Kurvenlinealen (aus dem später der Burmeister-Satz hervorging), den mittleren Satz, den großen Satz und den Magazinsatz. Das Bild zeigt als Beispiel den Magazinsatz der Kurvenlineale eines unbekanntes Maschinenherstellers. Der genaue Verwendungszweck ist nicht mehr bekannt.

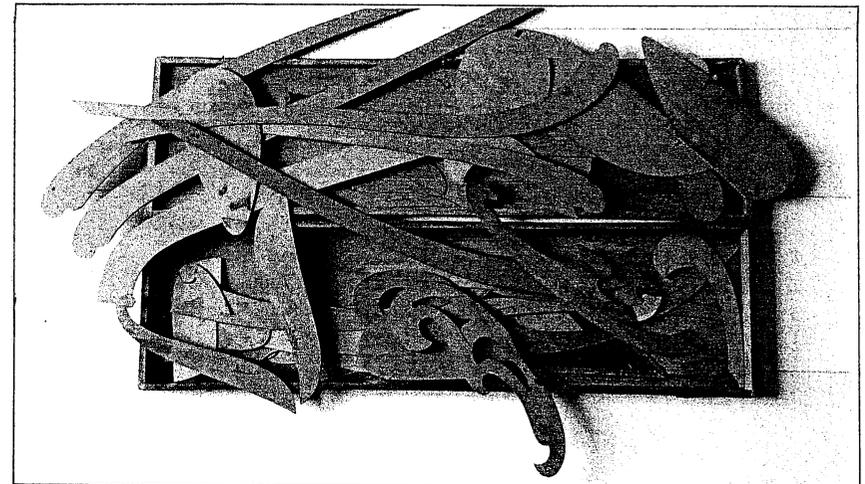


Bild 15.2.2/6: Magazinsatz von Kurvenlinealen eines Maschinenbaubetriebes (um 1880 (?))

Zeichendreiecke mit festen Schenkeln wurden schon im Altertum eingesetzt. Im alten Ägypten und bei den Römern waren sie bei vielen Handwerkern gebräuchlich. Sie besaßen üblicherweise einen rechten Winkel. Die anderen Winkel waren beliebig. Zeichenwinkeln mit sogenannten „ausgezeichneten“ Winkellagen, also Winkeln, die häufig verwendet werden mussten, kamen verstärkt im Mittelalter in Gebrauch. Die Begriffe 30°-, 45°- oder 60°-Winkel waren an eine Einteilung des Vollkreises in 360 gleiche Teile gebunden. Seit wann diese Art der Kreisteilung gebräuchlich war lässt sich historisch nicht präzise bestimmen. Bekannt ist, dass im Mittelalter dreieckige Normale mit ausgezeichneten Winkeln bei verschiedenen Gewerben benutzt worden sind, sie wurden nur nicht als beispielsweise 30°-Winkel bezeichnet. Die Erfindung des gleichschenkligen 60°-Dreiecks wird dem Griechen Thales von Milet (um 600 v.Chr.) zugeschrieben. Vermutlich wurde es aber aufgrund seiner einfachen Konstruktion schon weit vorher benutzt. Die Winkel wurden aus festem, verzugsarmen Holz hergestellt. Kleinere aus flachen Holzplatten, die man genau zuschnitt und zusammensetzte. Größere Winkel wurden aus einzelnen Latten gebaut. Später ging man dazu über, die Ziehanten mit Hartholz oder Metallbändern zu belegen. Das reduzierte den Verschleiß. Zeichenwinkel mit beweglichen Schenkeln waren selten. Zumeist besaßen sie nur ein Drehgelenk mit Winkelleinteilung. Es gab auch Dreiecke, bei denen die einzelnen Schenkel durch drei verdeckte Gelenke verbunden waren, die mit Hilfe einer Klemmmutter in beliebiger Stellung fixiert werden konnten. Sie mussten vor jedem Gebrauch neu eingestellt, d.h. „kalibriert“, werden. Im 19. Jahrhundert wurden auch Winkel aus Metall verwendet, zum Teil schon mit Maßstäben an einem Schenkel. Im 20. Jahrhundert setzten sich Winkel aus Metallen und Kunststoffen durch. Sie waren robuster und verschleißärmer. Im Bild sind einige gebräuchliche Winkel aus dem 19. Jahrhundert dargestellt.

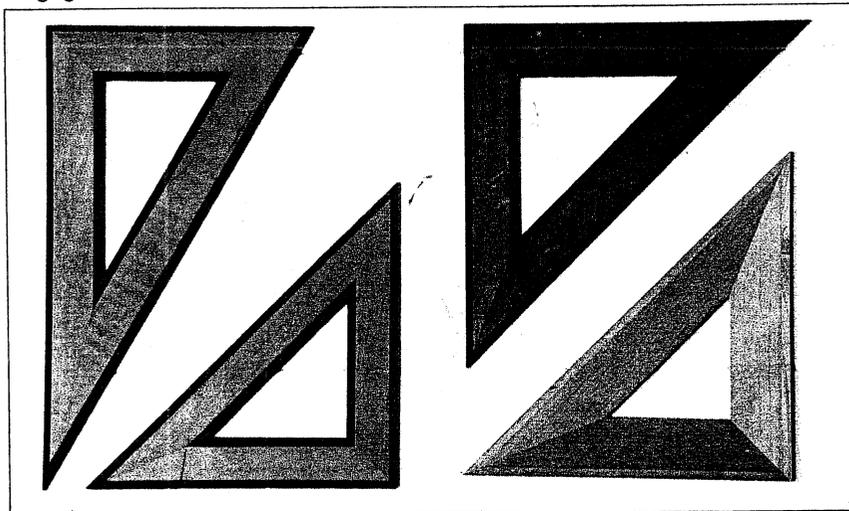


Bild 15.2.2/7: Beispiele von Zeichendreiecken (Buchenholz mit Mahagonikanten, um 1840 bis 1870)

Bemerkung: Kurvenlineale gab es auch mit kontinuierlich veränderbarer Kurvenform. Sie wurden ab den 1850er Jahren aus elastischen Materialien hergestellt. Üblich waren spezielle Gummimischungen, zum Teil mit metallischen Drahteinlagen. Im 20. Jahrhundert kamen flexible Kurvenlineale aus weichen Kunststoffen in Gebrauch. Es gab sie mit flachem Profil (mit meist einer „gezahnten“ Seite) oder als Profillineale mit elastischen metallischen Einlagen (Drahten oder „Spiralfedern“).

Bemerkung: Der Bau von Instrumenten, geometrischen Apparaten, Reißzeugen, Linealen u.a.m. war ein besonderes Handwerk, und zwar ein Gebiet des Instrumentenbaus. Instrumentenbauer waren seit dem Mittelalter nicht im Gefüge der Handwerksberufe unterzubringen. Sie hatten eine Sonderstellung. Sie waren aufgrund ihres breiten Arbeitsspektrums die eigentlichen Träger des technischen Fortschritts. Sie arbeiteten, ohne die Zwänge von Zünften, mit den unterschiedlichsten Materialien und den unterschiedlichsten Herstellungsverfahren. Ihr Arbeitsgebiet reichte von medizinischen Instrumenten, astronomischen Apparaten, Gerätschaften für das Zeichnen und die Geodäsie, den Bau mathematischer Instrumente bis zur Herstellung spezieller Uhren und anspruchsvoller Mechanismen. Aus dem Instrumentenbau entwickelte sich später ein eigenständiges Gewerbe für das serienmäßige Herstellen von Standardinstrumenten und Reißzeugen. Unter ihnen gab es eine Reihe heute noch bekannter Namen. In Deutschland sind das: Brander, Höschel, Bramer, Späth, Reichenbach, Riefler, Richter um nur einige zu nennen. Im europäischen Ausland beispielsweise Coradi (Schweiz), Adams (England) und Ernst, Bion (Frankreich).

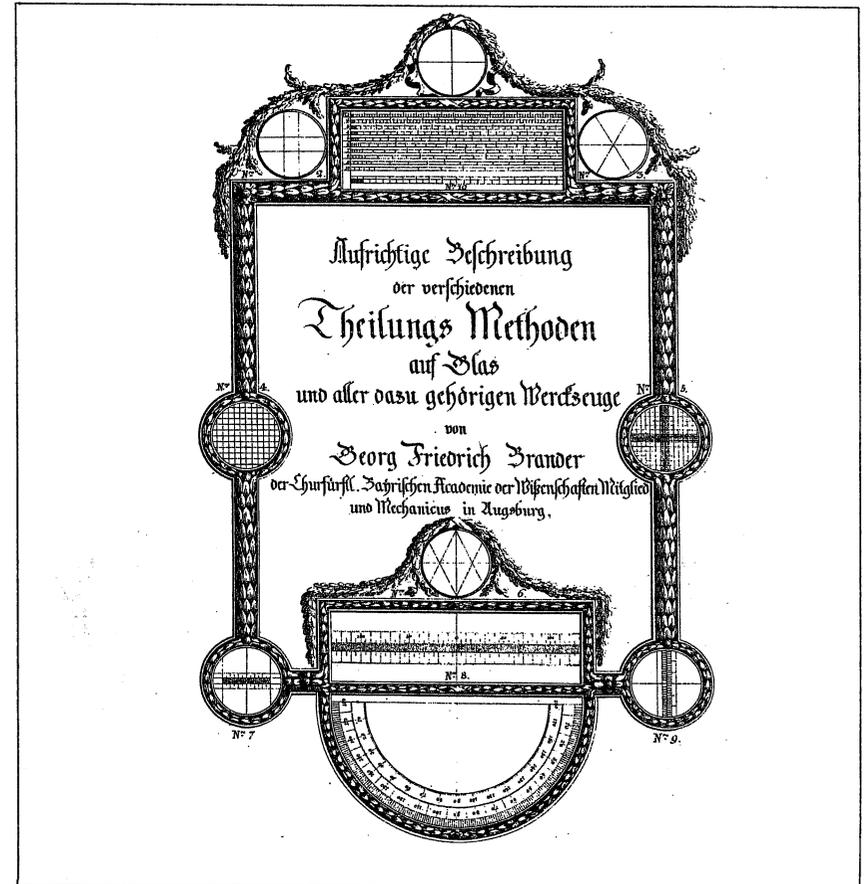


Bild 15.2.2/8: Anleitung von G. F. Brander zu den Teilungsmethoden und den dazugehörigen Instrumente (um 1770)

15.2.3 Der Transporteur oder Winkelmesser

Der Transporteur, das ist die historische Bezeichnung für diese Zeicheninstrumente, diente zum Messen oder Abtragen beliebiger Winkel. In einigen historischen Quellen wird dieses Zeichenhilfsmittel auch „Transportant“ genannt. Im 19. Jahrhundert bürgerte sich der Begriff „Winkelmesser“ ein. Die übliche Form war eine „halbzirkelförmige“, flache Scheibe, meist aus Metall, mit einer Gradeinteilung am Rand. Vollkreisförmige oder rechteckige Transporteure waren selten. Dieses Arbeitsmittel ist relativ neu. Es kam erst Anfang des 17. Jahrhunderts in Gebrauch. Basis für die Einteilung der Winkelgrade war das im Handel und bei der Längen- und Gewichtsmessung seit langem verbreitete 12er-System. Für dieses System sprachen sehr viele Gründe, historische, praktische, mathematische und geometrische. Wenn man nur den geometrischen Aspekt betrachtet wird beispielsweise deutlich, dass die genaue Anfertigung einer regelmässigen Teilung eines Kreises mit dem Zirkel zwangsläufig auf ein 12er-System oder ein Vielfaches davon führt. Die 360°-Teilung war bei der üblichen Größe von Transporteuren noch gut zu „reißen“ und gut zu lesen. Bei einigen Transporteuren waren neben bestimmten Gradzahlen oder Gradstrichen Zahlen vermerkt, die auf Winkel für reguläre Polygone hinwiesen. Der Zeichner brauchte dann nicht mehr rechnen oder in Tabellen die entsprechenden Winkelwerte herausuchen. Bei dem Material der Winkelmesser ging man bald von Holz auf Metalle über. Üblich waren Winkelmesser aus Messingblechen, später auch aus Neusilber. Sie waren haltbarer und genauer anzufertigen. Bei hochwertigen Winkelmessern war die Skala graviert. Eine Skala mit einer Teilung in 1-Grad-Schritten war üblich. Genaue Winkelmesser besaßen auch Teilungen in 1/2-Grad-Schritten. Im Folgenden werden einige Arten von Winkelmessern wiedergegeben. Die Funktionen sind unmittelbar aus den Darstellungen erkennbar. Wie bei den anderen Zeichenmitteln des konstruktiven Zeichnens gab es auch bei den Winkelmessern handwerklich sehr aufwendig gearbeitete Versionen. Viele besaßen Gravierungen und Intarsien aus edlen Metallen. Besonders wertvolle Stücke waren vergoldet und mit dem Namen des Nutzers versehen. Man sieht diesen Hilfsmitteln ihre Wertigkeit und Bedeutung an.

Bild 15.2.3/1:
Einfacher, halbzirkelförmiger
Transporteur oder Winkelmesser
mit einer 180°-Teilung
(um 1640)

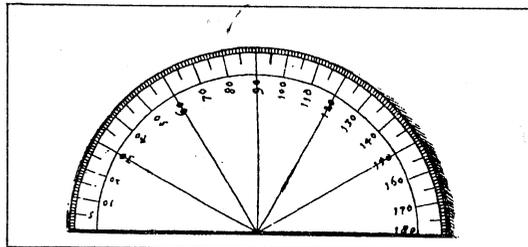


Bild 15.2.3/2:
Transporteur, mit von beiden
Richtungen lesbarer Skala
(um 1790)

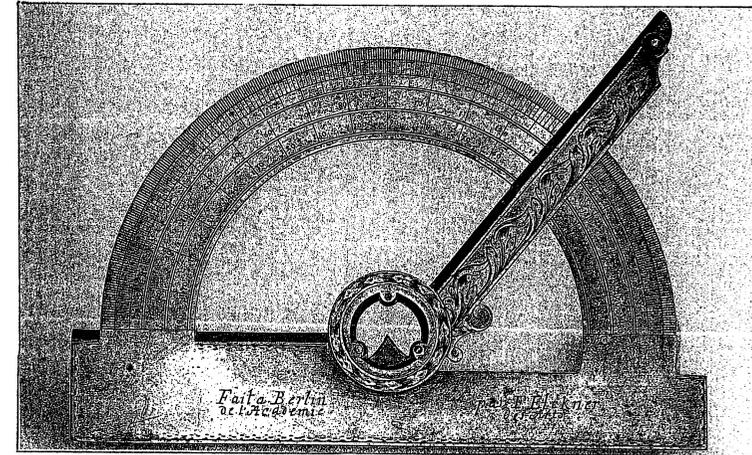
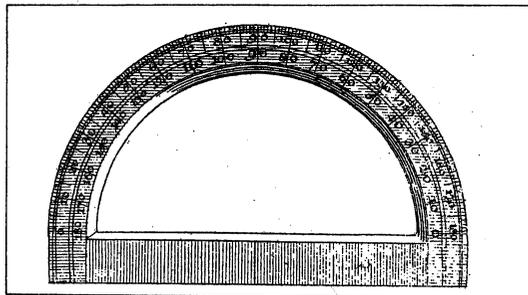


Bild 15.2.3/3: Aufwendig gearbeiteter Winkelmesser mit Winkellineal (um 1770)

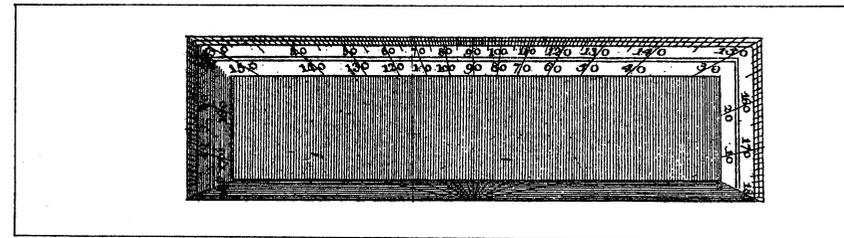
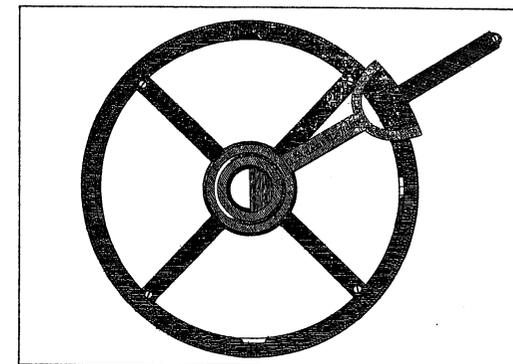


Bild 15.2.3/4: Rechteckiger Transporteur, mit von beiden Richtungen lesbarer Skala (um 1790)

Winkelmesser gab es in einer Vielzahl von Formen und Ausstattungen. Mussten Winkel sehr genau gezeichnet werden, gab es diese Zeichenmittel auch mit sehr feiner Teilung und, bei noch höheren Genauigkeitsanforderungen, mit einem Nonius. Das Bild zeigt einen Vollkreis-Transporteur mit 360°-Teilung und schwenkbarem Lineal mit Nonius. Das Lineal hatte am Ende eine harte Spitze. Wenn sehr genau gezeichnet werden musste wurden die entsprechenden Markierungen nicht mit dem Bleistift gezeichnet, sondern „gestochen“.

Bild 15.2.3/6:
„Vollzirkeliger“ Transporteur
für sehr genaue Winkel
(G. Adams, London, um 1800)



15.2.4 Die Reiß- oder Ziehfeder

Zeichnungen technischer Objekte auf Pergament oder Papier sollten in vielen Fällen längere Zeit lesbar sein. Mit Blei- oder Silberstiften angefertigte Zeichnungen waren das nur bedingt. Graphitzzeichnungen verwischten schon nach kurzem Gebrauch. Tuschen und Tinten waren in der Malerei schon seit dem Altertum bekannt. Zum Zeichnen sehr feiner Linien mussten allerdings entsprechende Hilfsmittel, sogenannte Reiß- oder Ziehfedern, geschaffen werden. Ziehfedern waren Zeichenwerkzeuge zum Anlegen von feinen Linien mit Tusche, Tinte, Farbe oder anderen ähnlich dauerhaft haltbaren flüssigen Substanzen. Sie bestanden aus zwei, mit etwas Abstand genau gegenüberliegenden Backen oder Zungen, in deren Zwischenraum das Zeichenmedium eingeführt wurde. Man unterschied zwei Arten: Reißfedern mit festen Zungen und Ziehfedern mit verstellbaren Zungen. Einfache Formen der Reißfeder aus zusammengebogenem Blech (sogenannte „Geißfüße“) oder mit zwei festen Zungen, die man durch Einsägen eines vollen Metallstücks herstellte, sind schon aus der römischen Zeit bekannt. Sie gestatteten in der Regel nur in einer Strichstärke zu zeichnen. Bei einigen Ausführungen konnten die federnden Zungen mit Hilfe eines verschiebbaren Rings im Abstand verändert werden, so dass unterschiedliche Strichstärken gezeichnet werden konnten. Auffällig im Vergleich zu heute bekannten Formen der Ziehfedern waren der sehr breite Kopf und die bei einigen Exemplaren unsymmetrische Kopfform. Die unsymmetrische Kopfform gab die Arbeitsrichtung beim Zeichnen vor. Durch den breiten Kopf konnte relativ viel Tusche aufgenommen werden. Das weist auf einen saugfähigen Zeichengrund und auf eine relativ große Stärke der gezeichneten Linien hin. Das Material der Zungen war meist Bronze. Gezeichnet wurde auf präpariertem Holz, Leinen, Pergament und später Papier.

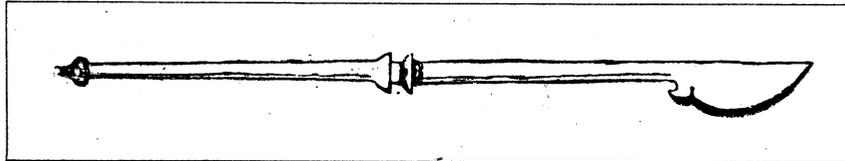


Bild 15.2.4/1: Römische Ziehfeder mit fester Linienbreite mit Zungen aus zusammengebogenem Blech (um 100 n. Chr.)

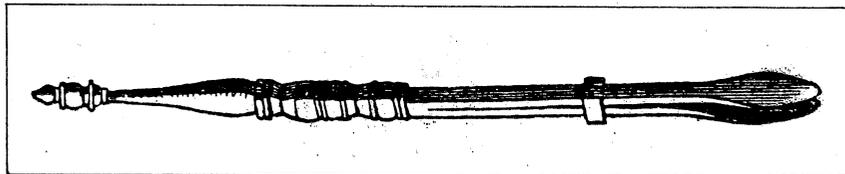


Bild 15.2.4/2: Römische Ziehfeder mit zwei einzelnen Zungen, mit Hilfe eines Ringes einstellbare Linienstärke (um 100 n. Chr.)

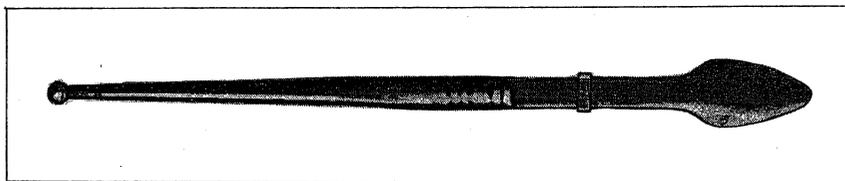


Bild 12.2.4/3: Reißfeder mit breitem Kopf und verschiebbarem Ring, eine von Albrecht Dürer verwendete Form (um 1510)

Um die Strichstärke genauer einstellen zu können setzte man im 16. Jahrhundert erstmals kleine Schrauben zur Verstellung der Zungen ein. Ziehfedern gab es in allen erdenklichen Ausführungen, sehr kleine Federn, doppelte Federn mit unterschiedlichen Strichstärken an den jeweiligen Enden der Ziehfeder, Ziehfedern mit Haltern für Röteln oder Bleimineralen, Ziehfedern mit Nadeln zum genauen Einstechen von Punkten für das Kopieren von Zeichnungen, Ziehfedern mit breiten Zungen u.a.m. Die Zungen fertigte man aus Eisen. Die ersten Ziehfedereinsätze für Zirkel kamen ab Mitte des 17. Jahrhunderts in Gebrauch.

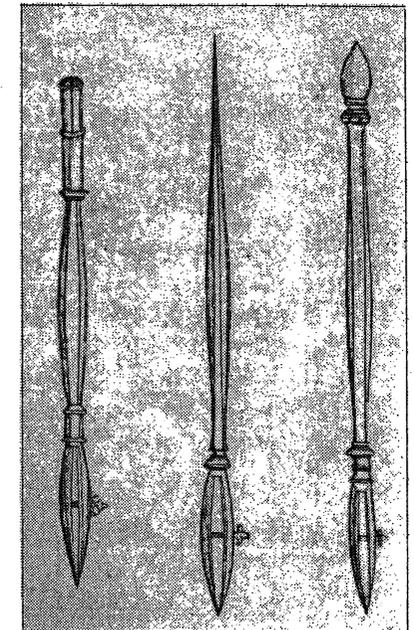


Bild 15.2.4/4: Auswahl von älteren Ziehfedern (Ziehfeder mit Aufsatz zur Aufnahme eines Bleistifts, mit Pikiernadel, mit Messingblech zum Ausstreichen der Linien. Aus: Leupold: Theatrum machinarum, 1774)

Bei den Ziehfedern im 18. Jahrhundert wurde das Blech der Federzungen durch geschliffene Zungen aus Rund- oder Quadratmaterial ersetzt. Das Material war Eisen später im 19. Jahrhundert Stahl, das durch eine Wärmebehandlung an den Zungenenden eine sehr hohe Härte erhalten hatte. Die Zungen konnten häufig nachgeschliffen werden. Das Nachschleifen der Zungen auf speziellen Wetzsteinen und das Abziehen auf Leder war allerdings eine Kunst, die nicht jeder Konstrukteur beherrschte. Die Zungen mussten exakt gleich lang geschliffen werden, vorne die gleichen Radien aufweisen (nicht zu spitz und nicht zu „plump“), genau symmetrisch sein und die gleiche, zum Ende hin abfallende Querschnittsform aufweisen. Feine, schlanke Ziehfedern wurden für dünne Linien benutzt, breite für dicke und lange.

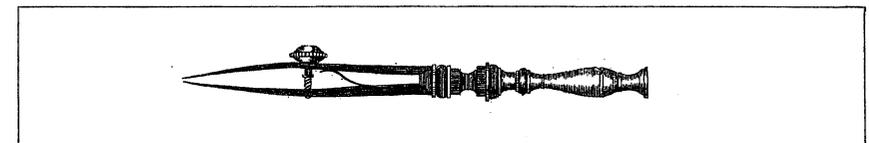


Bild 15.2.4/5: Kleine Reißfeder mit Einstellschraube aus Vierkantmaterial (um 1790)

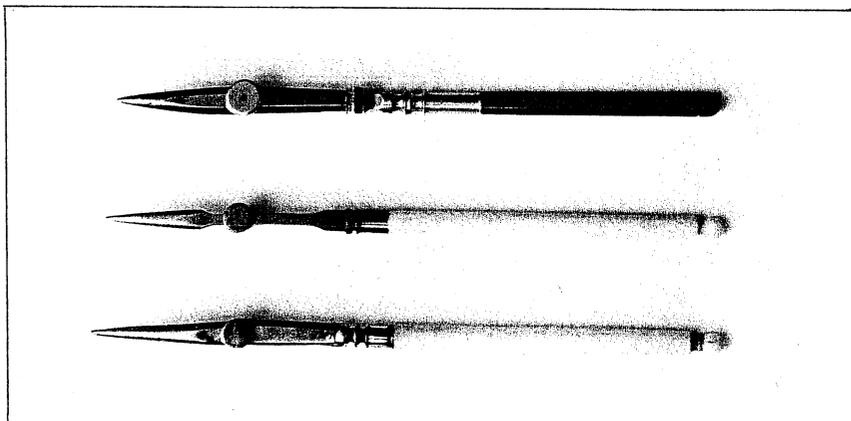


Bild 15.2.4/6: Auswahl von Ziehfedern (19. Jahrhundert)

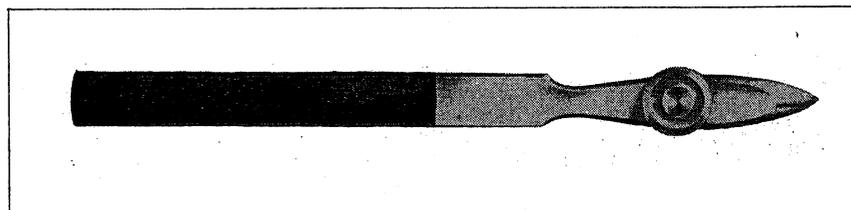


Bild 15.2.4/7: Moderne, breite Ziehfeder (schwedische Form) für dicke Linien (um 1910)

Die Reinigung der Federn nach jedem Gebrauch war durch die engen Zungenspalte schwierig. Festgetrocknete Tusche war darüber hinaus sehr schwer zu entfernen. Eine frei schwenkbare Zunge, die schon im 18. Jahrhundert bekannt war, stellte sich in der Praxis als wenig brauchbar heraus. Die Lösung brachten Ziehfedern mit Zungen, die mit Hilfe eines Klappscharniers aufgeklappt oder durch ein Kreuzscharnier aufgedreht werden konnten.

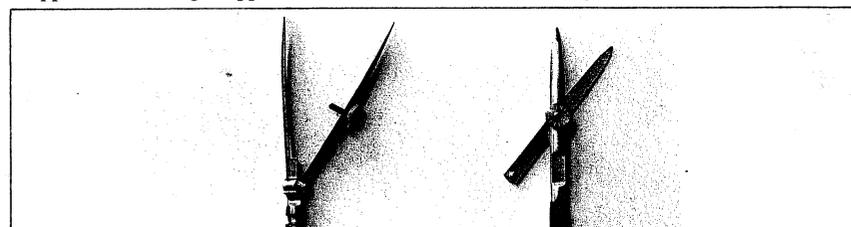


Bild 15.2.4/8: Ziehfedern mit Klapp- bzw. Kreuzscharnier (um 1920)

Bei den Ziehfedern gab es für spezielle Einsatzfälle eine Vielzahl an Sonderformen. Ein besonderer Einsatzfall, der relativ häufig vorkam, war beispielsweise das genaue parallele Ziehen von Doppel- oder Dreifachlinien. Doppel- und Dreifach-Ziehfedern haben daher eine gewisse Verbreitung gefunden. Bei ihnen konnten die Linienstärken einzeln eingestellt werden. Bei Doppel-Ziehfedern war der Linienabstand durch eine Stellschraube variabel. Bei Dreifach-Ziehfedern konnten die Linienabstände einzeln über Stellschrauben eingestellt werden.

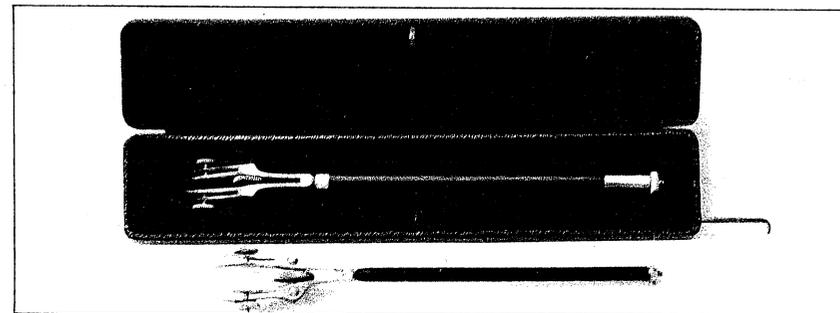


Bild 15.2.4/9: Doppel-Ziehfeder im Etui (E.O. Richter, Chemnitz, um 1900)

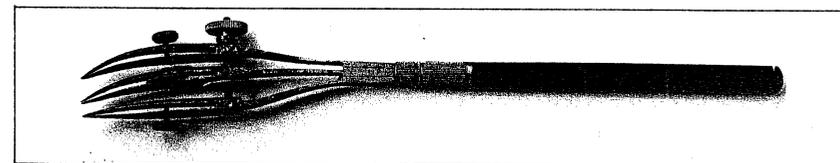


Bild 15.2.4/10: Dreifach-Ziehfeder (um 1900)

Zum Zeichnen von Kreisen tauschte man bei den üblichen Zirkeln einen Einsatz gegen den Ziehfedereinsatz aus. Ziehfedereinsätze gab es auch für sehr kleine Zirkel und Nullenzirkel (siehe Abschnitt 15.2.1). Es hat nicht an Bemühungen gefehlt, den etwas umständlichen Gebrauch von Ziehfedern durch andere Zeichenmittel zu ersetzen. Einerlei ob die Ziehfeder einen schlanken oder breiten Kopf besaß, die Arbeitsweise war diskontinuierlich. Nach wenigen Strichen musste die Feder neu gefüllt werden. In einem ersten Schritt steigerte man das Tuschevolumen, behielt aber die Form der Ziehfederzungen bei. Es gab eine Vielzahl von Erfindungen auf diesem Gebiet. Als Beispiel sei hier die nachfüllbare Reißfeder von Jolicar aus Frankreich aus dem Jahr 1864 erwähnt. Sie war ein Mittelding zwischen Ziehfeder und Tuschefüllhalter.

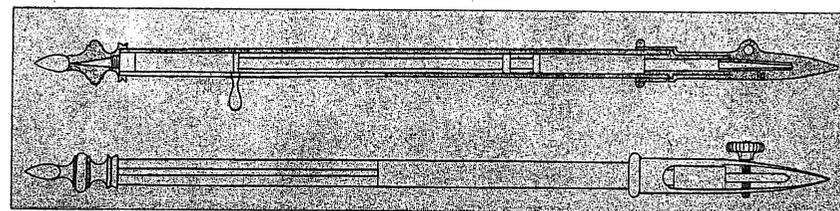


Bild 15.2.4/11: Nachfüllbare Ziehfeder mit größerem Tuschereservoir (1864)

Der weitere Weg ist bekannt. Anfang des 20. Jahrhunderts kamen Tuschefüllhalter auf den Markt, bei denen die Ziehfederkonstruktion nach und nach verlassen wurde. In einem ersten Schritt wurden auswechselbare Einsätze mit Federzungen entwickelt, die mit einem größeren Tuschereservoir in einem speziellen Halter verbunden waren. Daraus entwickelten sich die Tuschefüllhalter mit auswechselbaren Federn für unterschiedliche Einsatzfälle. Es gab sie für Strichstärken von 0,1 mm bis zu einigen Millimetern Durchmesser. Der nächste Entwicklungsschritt waren Tuschefüllhalter mit fest eingebauten „Röhrchenfedern“. Für jede Strichstärke war ein eigener Tuschefüllhalter erforderlich. Es gab sie im 20. Jahrhundert bis zu minimalen Strichstärken von 0,1 mm (siehe Abschnitt 15.2.8).

15.2.5 Die Pikiernadel

Dieses Zeichenhilfsmittel ist heute in Vergessenheit geraten. Pikiernadeln erfüllten zwei Aufgaben. Mit ihnen wurden genaue Lagen von Mittelpunkten, Winkelstellungen, Maßen u.a.m. „abgestochen“ (markiert). Des Weiteren dienten sie zum einfachen Kopieren von Zeichnungen. Vor der Erfindung des lichtdurchlässigen Zeichenpapiers und dem Einsatz von Lichtpausverfahren konnten Zeichnungen nur durch Kopieren von Hand vervielfältigt werden. Diese Arbeit konnte durch den Einsatz von Pikiernadeln vereinfacht werden. Bei der Übertragung von Elementen einer Zeichnung auf ein anderes Blatt, wenn mit lichtundurchlässigen Papieren gearbeitet wurde, stach man bestimmte Hauptpunkte einfach vom obenliegenden Original auf das untenliegende Kopierblatt durch. Nur die Hauptgeometrien, z.B. die Mittelpunkte, Eckpunkte u.ä., wurden durchgestochen, die fehlenden Verbindungen wurden von Hand gezeichnet. Ein anderer Anwendungsfall war beispielsweise das genaue Punktieren von Mittelpunktlagen. Wenn bei einem Transporteur ein Winkel sehr genau auf das Zeichenpapier übertragen werden sollte, nahm man nicht die Winkelskala und den Bleistift, sondern setzte die Pikiernadel ein. Der Winkel wurde von der Skala des Winkelmessers sehr genau „abgestochen“. Pikiernadeln gab es in unterschiedlichen Größen und Ausführungen. Es gab diese Hilfsmittel auch mit auswechselbaren Spitzen.

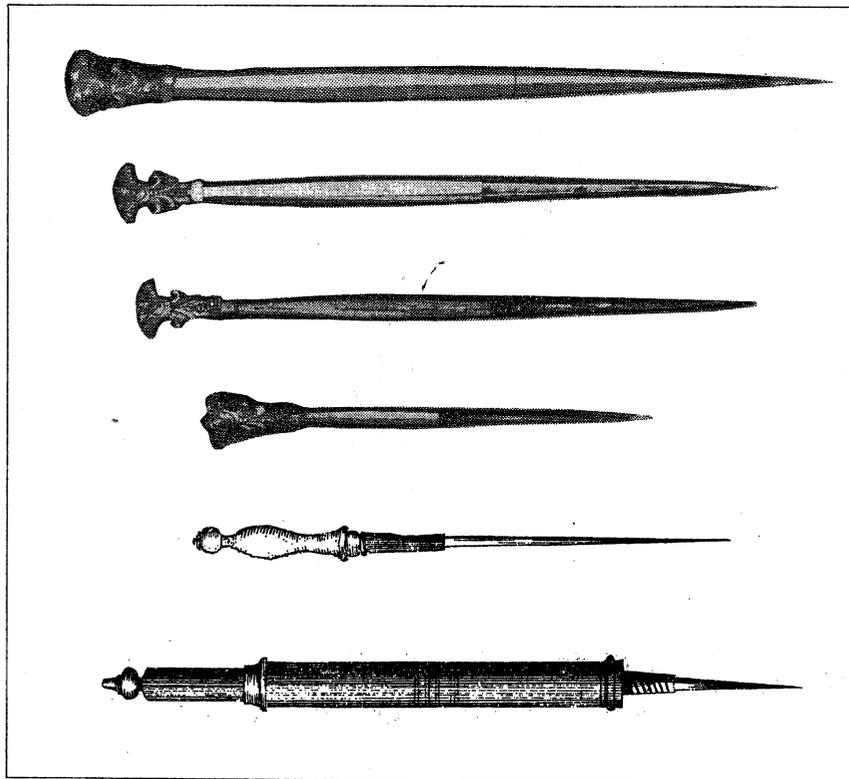


Bild 15.2.5/1: Auswahl an Pikiernadeln, vergrößert dargestellt (18. und 19. Jahrhundert)

15.2.6 Punktierradchen und Punktierziehfeder

Dieses Zeichenhilfsmittel wird heute auch nicht mehr verwendet. Die Bezeichnung Punktierziehfeder ist etwas irreführend. Linien konnten mit der Feder nicht gezogen werden. Die Punktierfeder war nur äußerlich einer Ziehfeder ähnlich. Es gab sie auch als Einsatz für übliche Zirkel. Mit Punktierradchen und -ziehfedern wurden Kopien von Zeichnungen erstellt, die nicht auf transparentem Papier gezeichnet worden waren. Während mit der Punktierfeder nur einzelne Punkte übertragen werden konnten, nutzte man die Punktierziehfeder zum „Pausen“ von ganzen Linien ein. Während man z.B. von Schriftstücken unter Verwendung von Wachstafeln oder leicht abfärbenden Tinten „Kopien“ herstellen konnte, war das bei Zeichnungen nicht möglich. Die Punktierhilfsmittel waren einfache mechanische Möglichkeiten zum Kopieren und darüber hinaus deutlich schneller als das manuelle Abzeichnen. Erste Erwähnungen des Verfahrens sind aus dem 15. Jahrhundert überliefert. Die Originalzeichnung lag wieder oben, das Papier der Kopie lag unten. Das Punktierhilfsmittel besaß am Ende ein leicht drehbares, kleines Rad mit sehr vielen, feinen Spitzen oder Zacken. Das Radchen wurde am Lineal oder freihändig über die zu kopierende Linie geführt und hinterließ auf dem darunter liegenden Papier eine Punktlinie. Diese Punktlinie wurde mit dem Bleistift nachgezogen. Mit speziellen Einsätzen für Zirkel konnten auch Kreise genau kopiert werden. Das Prinzip war das Gleiche wie bei der Pikiernadel, nur das beim Punktierradchen eine kontinuierliche Punktreihe erzeugt wurde.

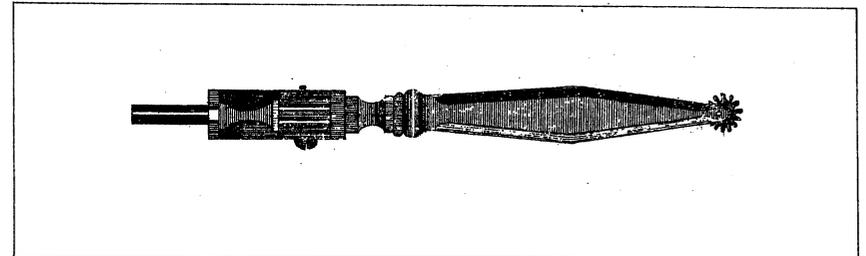


Bild 15.2.6/1: Beispiel eines Punktier-Ziehfedereinsatz für übliche Zirkel, vergrößert dargestellt (um 1880)

15.2.7 Zeichenstifte

Die Art der Zeichenstifte beim konstruktiven Zeichnen war von vielen Einflussgrößen abhängig. Eine wesentliche war der verwendete Zeichengrund, eine andere, ob vornehmlich Linien oder Schriftzeichen „gezeichnet“ werden sollten. Aus der Vorzeit sind Einritzen in Ton, Stein, Knochen oder Holz mit scharfen Steinspitzen bekannt. Mit farbigen Substanzen füllte man die geritzten Zeichnungen aus. Im alten Ägypten und in Indien zeichnete man u.a. mit hölzernen Griffeln in Sand auf flachen Sandtafeln. Natürliche, getrocknete Blättern, Tierhäute und anderen Grundstoffen waren ebenfalls als Zeichengrund üblich. In Ägypten war ab etwa 3500 v. Chr. Papyrus in Gebrauch. Gezeichnet (oder geschrieben) wurde auf ihm mit hölzernen Griffeln, die vorher in tuscheähnliche oder farbige Substanzen getaucht worden waren. Die im antiken Griechenland und bei den Römern verwendeten Wachstafeln beschrieb man mit Griffeln aus hartem Holz, Horn, Elfenbein oder Bronze. Flache Holztafeln beschrieb man mit dünnen Pinseln. Als Farbe nahm man tuscheartige Substanzen, meist in Öl gelösten Rußpigmenten.

Die Basis konstruktiver Zeichnungen waren Linien, und zwar dünne Linien. Als Zeichengrund diente behandelte Holztafeln, Pergament und später Papier. Die Haltbarkeit der Linien war begrenzt. Sie verblassten unter Lichteinwirkung und überstanden oft nur die Anfertigung eines technischen Objekts. Nur in Ausnahmefällen wurden die Linien der Zeichnungen dauerhaft, z.B. durch Zeichnen mit einer Ziehfeder, angelegt (siehe Abschnitt 15.2.4).

Schon im Altertum war bekannt, dass man durch den Abrieb von weichen Metallen Linien- und Schattierungseffekt erzeugen konnte. Die deutlichsten Ergebnisse erzielte man mit Blei und Silber. Zum Zeichnen von Linien gab es dünne Bleistücke. Daraus entwickelten die Römer um 60 n. Chr. dünne halb- oder vollkreisförmige Bleischeiden. Sie waren zwischen Daumen und Zeigefinger gut zu halten und gestatteten präzise Linien zu zeichnen. Gezeichnet wurde auf Pergament oder präparierten Holztafeln. Plinius berichtet um 77 n. Chr. von der Verwendung dünner Silberstifte mit runder Spitze zum Zeichnen schwarzer Linien auf Pergament. Mittelalterliche Künstler, Handwerker und Kunstmeister verwendeten ebenfalls Stifte aus Blei, Silber und unterschiedlichen Legierungen weicher Metalle zum Zeichnen von Linien. Den alten Reißhaken, der zum Zeichnen von Konstruktionslinien auf metallischen Oberflächen verwendet worden ist, kann für den hier betrachteten Zweck außer Acht gelassen werden. Theophilus berichtete um 1100 n. Chr. von Zeichenstiften aus Blei und Zinn sowie Silber. Im 13. Jahrhundert war die Entwicklung der Zusammensetzung des Metalls der Stifte weitgehend abgeschlossen. Sie bestand aus zwei Teilen Blei und einem Teil Zinn. Die mit diesen Stiften gezeichneten sehr feinen Linien haben die Jahrhunderte bis heute überdauert. Für grobe Linien nahm man Kohlestifte. Gezeichnet wurde auf Pergament. Rohrförmige Stifte, in denen ein schwarzer „Stein“ steckte, wurden ab etwa 1480 benutzt. Es waren Vorformen der heutigen Bleistifte. Silberne Stifte waren noch im 16. Jahrhundert häufig in Gebrauch.

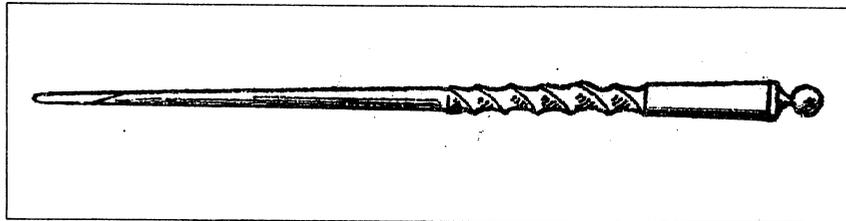


Bild 15.2.7/1: Silberstift zum Zeichnen feiner Linien (um 1500)

In diese Zeit fiel auch der Übergang zu Stiften mit Graphit als Zeichenmaterial. Natürliche Vorkommen von Graphit, ein Mineral aus reinem Kohlenstoff, gab es u.a. in Böhmen, Österreich und in Cumberland (England). Das Mineral trat häufig in Zusammenhang mit Granit- und Glimmerschiefer-Vorkommen auf. Die Qualitäten waren allerdings sehr unterschiedlich. Bei hinreichend festem Material konnte sogar die Form der Mine herausgesägt werden. War der Graphit locker und bröckelig, so musste er weiterverarbeitet werden. Er wurde gemahlen und als tiefgraues, fast schwarzes Pulver mit Zusatzstoffen (z.B. Leim) gemischt und in unterschiedliche Formen gepresst. Reine Graphitstäbe waren bruchempfindlich. Es gab schon im 16. Jahrhundert hölzerne Halter, sogenannte „Handhaben“, die die empfindliche Mine umschlossen. Nur die angearbeitete Spitze war frei. Die Mine konnte meist nachgeschoben werden. Stifthalter aus Messing gab es ab etwa 1630.

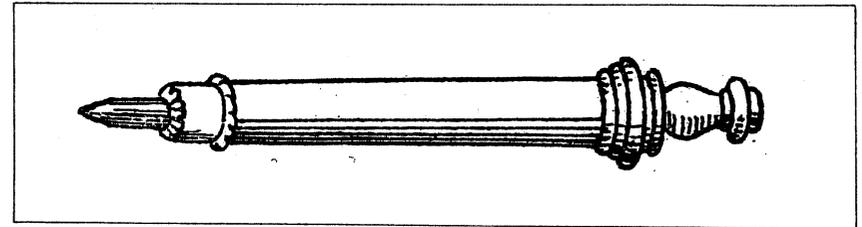


Bild 15.2.7/2: Hölzerne Handhabe für Graphitminen, die Mine konnte nachgeschoben und geklemmt werden (nach Gesner, 1565)

Diese Stifte setzten sich rasch beim konstruktiven Zeichnen durch. Der große Bedarf und die besondere Herstellungsweise führten zur Herausbildung des speziellen Handwerks der „Stiftmacher“. In Deutschland arbeiteten die ersten Stiftmacher als eigene Handwerker ab 1731 in Nürnberg. Der Raum um Nürnberg ist auch heute noch, allerdings im industriellen Maßstab, ein Zentrum der Bleistiftherstellung.

Da natürliches Graphit sehr unterschiedlich war, meist brüchig und krümelig, musste durch Mahlen und Mischen mit anderen Substanzen die Eigenschaften so weit verbessert werden, das es in Minenform gepresst werden konnte. Das gelang, aber das Problem der unterschiedlichen Schwärzung der Linien durch die unterschiedlichen Qualitäten des Ausgangsgraphits blieb. 1794 gelang es dem Franzosen Nicolas Jacques Conté durch Mischung mit Ton und anschließendem Brennen sowohl gleichmäßige Härten zu erzeugen als auch Minen verschiedener Härtegrade herzustellen. Je höher der Anteil an Ton umso härter war die Mine. Ab 1800 wurden derartige Minen und Bleistifte in Fabriken in großen Mengen hergestellt. Schiebebleistifte für diese dünneren, gepressten Minen beschrieb Nicolas Bion 1712 in seinem technischen Lehrbuch. Sie waren bei Konstrukteuren sehr beliebt. Aus diesen Stiften wurden dann die Zeichenstifte mit Klemmmechanik entwickelt und später die „Druckfallstifte“ bzw. die „Drehbleistifte“, die noch heute in Gebrauch sind. Das gleichmäßige „Anspitzen“ war eine Sache der Übung. Die Spitzen wurden am Anfang mit Hilfe kleiner Metallfeilen geformt, später durch Wetzen auf schmalen Streifen von feinem Schmiergelpapier. Spezielle Anspitzer kamen Ende des 18. Jahrhunderts auf.

Im 19. Jahrhundert gab es nicht nur Stifte mit unterschiedlichen Härtegraden, sondern es wurde eine kaum überschaubare Fülle an speziellen Stiften entwickelt. Das reichte von dokumentenechten „Bleistiften“, von Stiften mit unterschiedlichen Stärken der Minen bis zu den Stiften in allen erdenklichen Farben. Die weitere Entwicklung dürfte bekannt sein. Im 20. Jahrhundert wurde die Härte der Minen genormt. Die unterschiedlichen Härtegrade unterschieden sich von Land zu Land. Der nächste Entwicklungsschritt war, den Arbeitsgang des Anspitzens entfallen zu lassen. Feinminen und Feinminenstifte kamen in Gebrauch.

15.2.8 Tuschezeichner und Tuschefüllhalter

Der Füllfeder für das freihändige Schreiben und Beschriften von Zeichnungen ist schon seit dem 17. Jahrhundert bekannt. Es lag der Gedanke nahe, das umständliche Arbeiten mit der Ziehfeder durch einen geeigneten Tuschezeichner oder Tuschefüllhalter zu ersetzen. Die Entwicklung hat allerdings sehr viel Zeit in Anspruch genommen. Die besonderen Eigenschaften der Zeichentusche, beispielsweise die sehr geringe Zeit zum Abtrocknen, bereiteten am Anfang unüberwindliche Schwierigkeiten.

Um 1850 nahmen einige Erfinder sich des Problems neu an. Einige Elemente der damaligen Erfindungen haben große Ähnlichkeit mit den Lösungen, die 100 Jahre später dem Tuschefüllhalter zum Durchbruch verhalfen. Das folgende Bild zeigt beispielsweise einen frühen Füllfederhalter mit hohler Metallspitze, einer Vorstufe der späteren „Röhrchenfeder“. Die Technik war allerdings noch nicht weit entwickelt. Zu einer größeren Verbreitung dieser und ähnlicher Erfindungen ist es nicht gekommen wäre. Das Arbeiten mit der Ziehfeder dominierte das „Auszeichnen“ bis weit ins 20. Jahrhundert hinein.

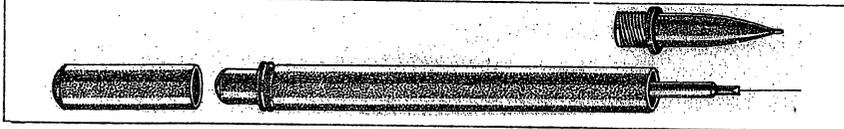


Bild 15.2.8/1: Tuschefüller mit „Röhrchenfeder“ (um 1850)

Das Ende des 19. Jahrhundert war geprägt durch eine Vielzahl von neuartigen Tuschezeichnern. Das Bild zeigt Federhalter mit Tuschereservoir. Die beiden Schraubköpfcchen dienten zur Einstellung des Tuschefflusses, das größere zur Einstellung des Tuscheabflusses, das kleinere zur Regulierung des Luftzutritts. Am Ende des Halters konnte eine normale Stahlfeder aufgesteckt werden. Das Prinzip gab es auch als Reißfeder.

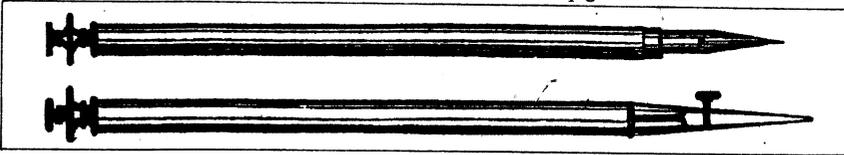


Bild 15.2.8/1.1: Tuschefüller mit Reservoir (um 1900)

Der erste in der Praxis einsetzbare Tuschezeichner wurde von der Firma Günther Wagner, Hannover, erst 1932 auf den Markt gebracht. Entwickelt hatte ihn J. Kovac. Der Zeichner, er wurde unter dem Namen „Pelikan Graphos“ vertrieben, war ein voller Erfolg. Er setzte sich in kurzer Zeit auf dem Markt durch. Der Zeichner hatte im Halter ein auffällbares Tuschereservoir und spezielle, austauschbare Zeichenfedern. Mit einem Halter und einem Satz Zeichenfedern konnten alle Zeichenarbeiten ausgeführt werden. Das Problem des Eintrocknens der Federn war durch ein Verschließen der Tuscheröhrchen mit einem Drahtstück oder Wegklappen der Federzungen gelöst worden. Unbrauchbare Zeichenfedern konnten einfach ausgetauscht werden. Die Zeichenfedern waren sehr preiswert.



Bild 15.2.8/2: Tuschezeichner „Pelikan Graphos“ (um 1940)

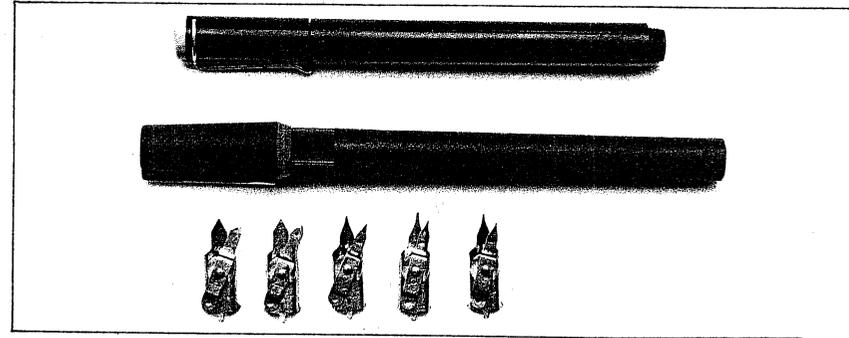


Bild 15.2.8/3: Neuer Tuschezeichner „Pelikan Graphos“ mit Zeichen- und Schreibfedern (um 1955)

Praxistaugliche Tuschefüllfeder kamen einige Jahre später auf den Markt. Das Nachfüllen der Tusche wurde am Anfang wie bei den Tintenfüllfederschreibern vorgenommen. Später wurden austauschbare Tuschepatronen eingeführt. Ihre Handhabung war einfacher. Das Problem des schnellen Eintrocknens bei Nichtgebrauch versuchte man durch den ausschließliche Verwendung von „röhrchenförmigen Endstücken“ zum Zeichnen zu lösen. In diesen „Röhrchenfedern“ waren dünne Stahldrähte mit etwas Überstand an den Spitzen eingebaut. Wenn der Zeichner den Füller aufsetzte, löste sich der eingetrocknete Draht und die Tusche konnte fließen. Die Mechanik war feinwerktechnisch anspruchsvoll. Sie war sehr empfindlich. Im Gegensatz zu den Tuschezeichnern musste für jede Strichstärke ein eigener Füller beschafft werden. Bekannt geworden sind die Füller der Firma Riepe-Werk, Hamburg. Sie wurden unter dem Markennamen „Rapidograph“ angeboten.

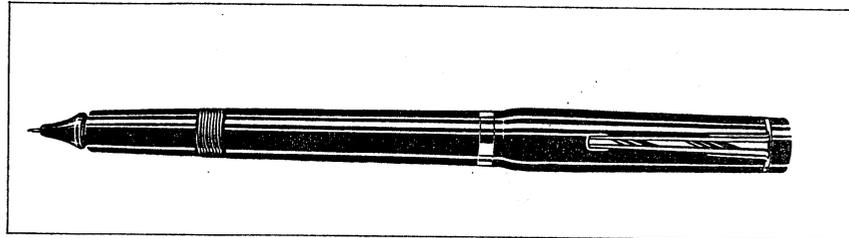


Bild 15.2.8/4: Beispiel eines Tuschefüllers („Rapidograph“)

Die Weiterentwicklung der Tuschefüllfeder führte zu Systemen mit einem Standardhalter mit austauschbaren Zeicheneinsätzen. Die untere Grenze der Linienstärken konnte mit speziellen Röhrchenfedern bis auf kleinste Breiten von 0,1 bzw. 0,13 mm gesenkt werden. Eine feinmechanische Meisterleistung.

15.2.9 Zeichenbestecke

Man hat schon früh begonnen die häufig benutzten Zeichenhilfsmittel für das konstruktive Zeichnen in Schatullen und Kästen zusammenzustellen. Ausgangspunkt waren die Handkästen mathematische und astronomische Instrumente aus dem 15. Jahrhundert. Diese Sammlungen bezeichnete man allgemein als „Bestecke“. Der Inhalt dieser Bestecke war vom Stand der Zeichentechnik und dem Fachgebiet des Konstrukteurs abhängig. Auch die sich im Laufe der Zeit wandelnden Arbeitstechniken, d.h. die Art wie Zeichnungen angefertigt worden sind, spielten eine Rolle. Es gab sehr viele Möglichkeiten für eine zweckmäßige Zusammenstellung eines Bestecks. Der Umfang konnte fast ins Uferlose gesteigert werden, wenn viele zeichnerische Sonderfälle mit eigenen Instrumenten abgedeckt werden sollten.

Die Bestecke wurden meist in flachen Kästen aus Holz verwahrt. Die Kästen waren mit Samt oder anderem weichen Tuch gut ausgefüllt und konnten durch einen Deckel verschlossen werden. Jedem Stück war eine ausgefüllte Aussparung zugeordnet. Dort lag es fest und konnte beim Transport die anderen Zeichenutensilien nicht beschädigen. Große Zeichenbestecke hatten anstelle eines Kastens mit Deckel höhere Kästen mit mehreren Einschüben.

Im 17. Jahrhundert begann man, die Vielfalt der Zeichenhilfsmittel und Zeicheninstrumente wenigstens in eine geringere Anzahl von Besteckgruppen zu ordnen. Danach waren drei Arten von Standard-Bestecken beim konstruktiven Zeichnen in Gebrauch: das kleine Besteck oder auch Taschenbesteck, das große Besteck und das Magazin-Besteck. Trotz der Bemühungen zur Vereinheitlichung schwankten die Inhalte der Bestecke erheblich.

Ein einfaches Taschenbesteck enthielt in der Regel einen Zirkel mit Einsätzen, z.B. einen zum Einlegen eines Bleistifts, einen für das Arbeiten in Tusche und ggf. einen Stecheinsatz. Das große Besteck enthielt einen großen Zirkel mit mehreren Einsätzen (Bleistifteinsatz, Tuschefeder, feste Spitze und Punktirradchen), einen kleinen Zirkel, ggf. einen Bogenzirkel, eine Reißfeder, ggf. einen Sektor, einen Transporteur und ein Parallellineal, einen Bleistift sowie einen Maßstab. Das Magazin-Besteck hatte eine vollständige Ausstattung aller Zeichenhilfsmittel, die in einem Maschinenbauunternehmen zur Bewältigung aller Zeichenaufgaben notwendig war. Das umfasste auch Zeichenhilfsmittel gleicher Art aber in unterschiedlichen Größen.

Die folgenden Beispiele von Zeichenbestecken sollen nur einen kleinen Eindruck davon vermitteln, was alles verwendet worden ist.

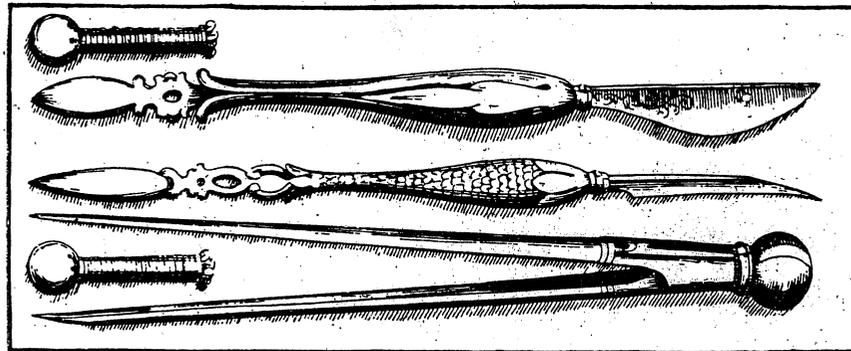


Bild 15.2.9/1: Kleines Besteck (17. Jahrhundert)

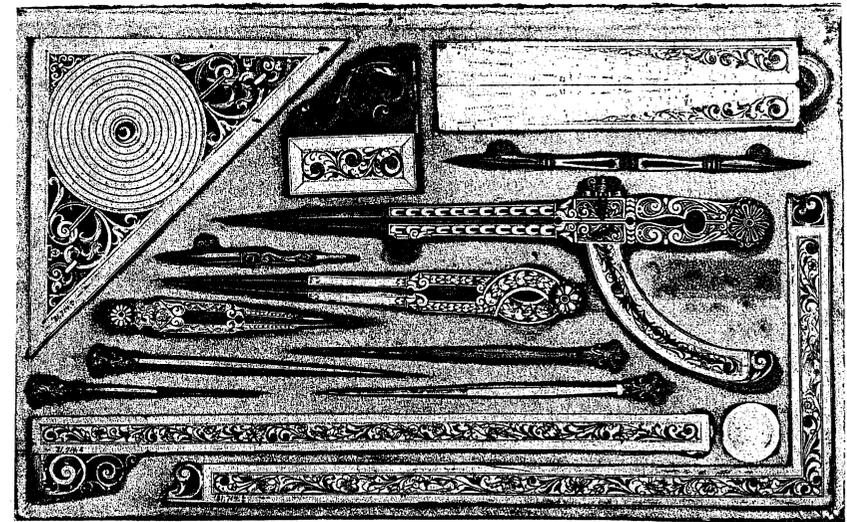


Bild 15.2.9/2: Reich verziertes mittleres Besteck mit vergoldeten Instrumenten (17. Jahrhundert)

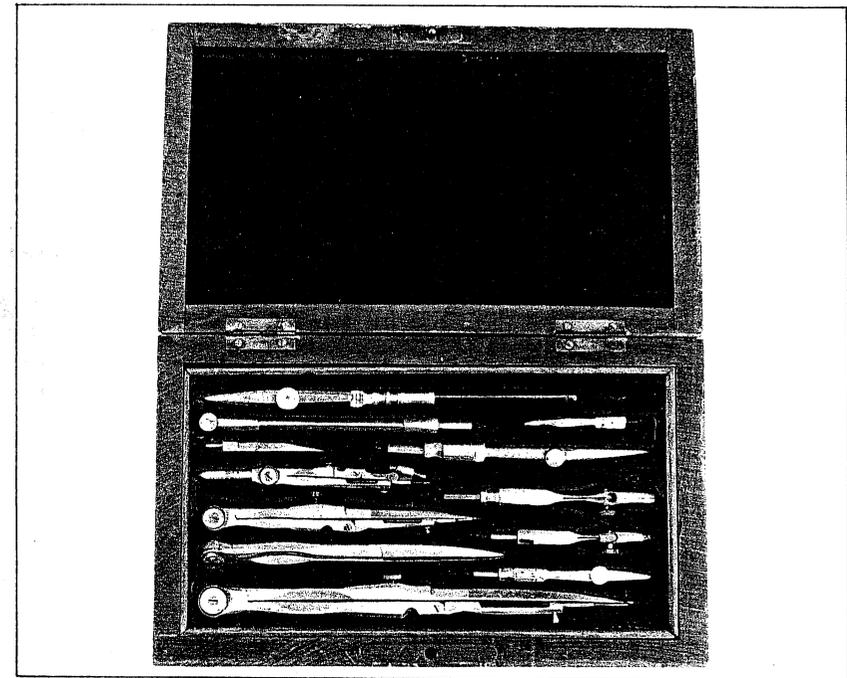


Bild 15.2.9/3: „Kleines Besteck“ (Ende des 18. Jahrhunderts)

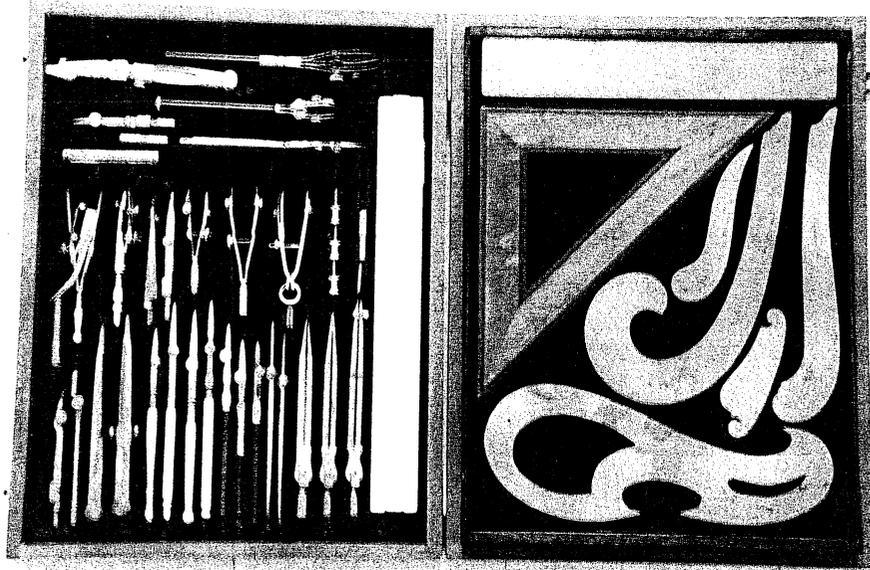


Bild 15.2.9/4: Großes Besteck (Ende des 18. Jahrhunderts)

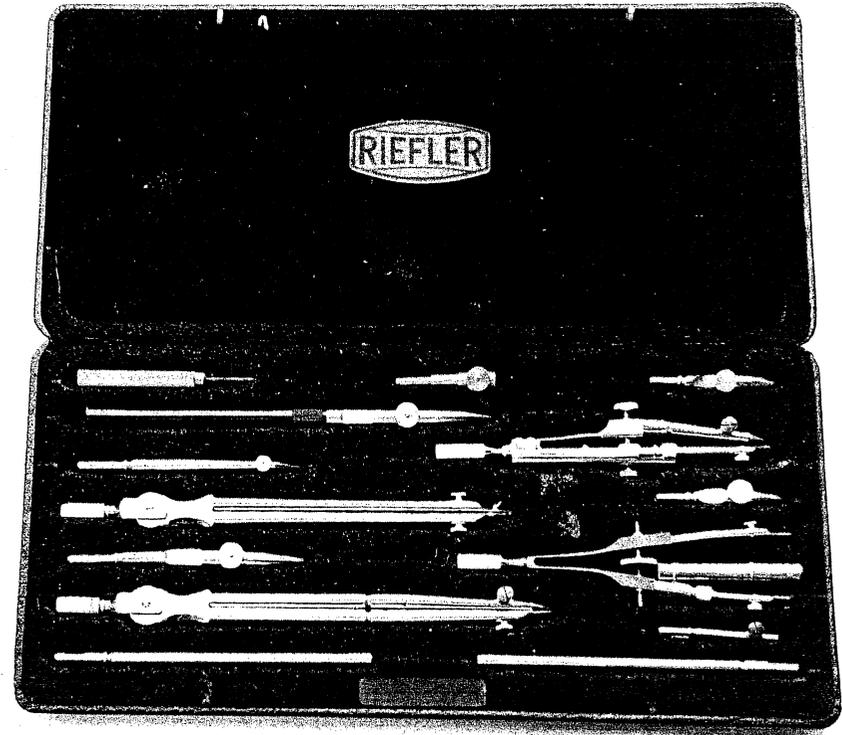


Bild 15.2.9/6: Mittleres Besteck der Fa. Riefler (um 1940)

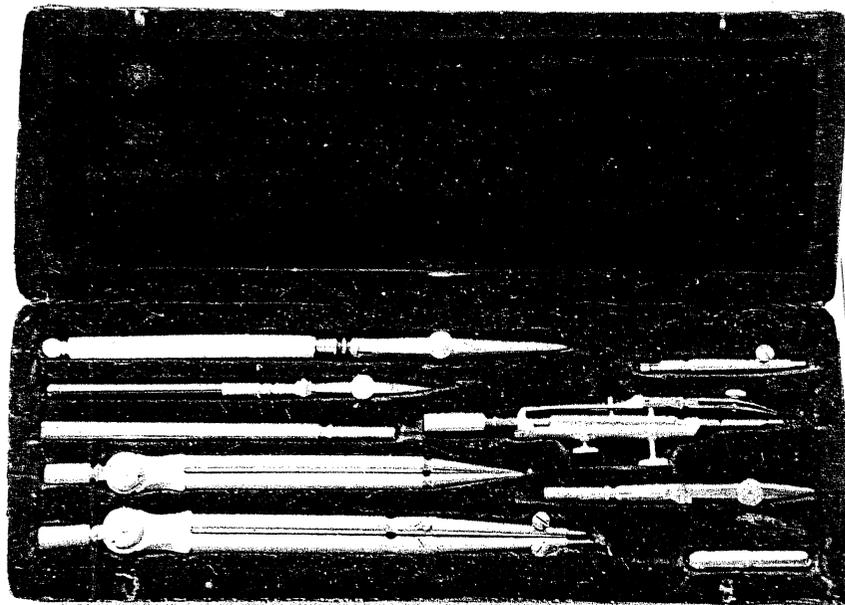


Bild 15.2.9/5: Mittleres Besteck der Fa. Riefler (um 1900)

Bemerkung:

Bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts wurden hochwertige Reißzeuge überwiegend aus der Schweiz bezogen. Das traditionelle Uhrmacherhandwerk, der gute Ruf der Graveure und die Erfahrungen im Instrumentenbau waren eine hervorragende Basis für die Anfertigung von sehr guten Reißzeugen. Die einheimischen Handwerker holten aber schnell auf und Anfang des 19. Jahrhunderts waren deren Erzeugnisse denen der Schweizer Manufakturen ebenbürtig.

15.3 Zeicheninstrumente für besondere Anwendungen

Wenn in der konstruktiven Praxis häufiger spezielle geometrische Aufgaben beim Zeichnen zu erledigen waren setzte man besondere Zeichenwerkzeuge ein. Eine auch nur annähernde Auflistung dieser Aufgaben ist unmöglich. Es waren zu viele. Um einen kleinen Überblick dieser „Spezialinstrumente“ zu geben, werden in diesem Kapitel nur einige vorgestellt, die relativ „häufig“ verwendet worden sind. Sie unterscheiden sich oft nicht von den mathematischen Instrumenten. Einige waren in ihrem mechanischen Aufbau sehr kompliziert. Das Arbeiten mit ihnen erforderte sehr viel Verständnis und Übung. Auf eine tiefgehende Erklärung wurde verzichtet. Sie würde den Umfang sprengen.

1. Zeichnen von Ellipsen

Die übliche historische Bezeichnung für diese Zeichenhilfsmittel war „Ellipsograph“. Das Zeichnen von Ellipsen war eine recht häufige Aufgabe beim konstruktiven Zeichnen. Das dargestellte Instrument wurde mit den festen Spitzen auf die Zeichenfläche gestellt. Durch die gleichzeitige Führung in senkrecht zueinander stehenden Führungsbahnen beschrieb die Zeichenspitze eine Ellipse.

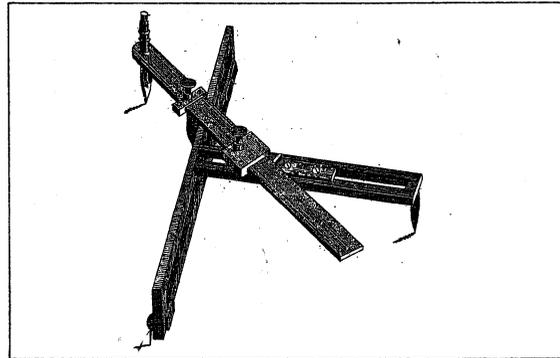


Bild 15.3/1:
„Ellipsograph“
(um 1790)

2. Zeichnen von Spiralen

Zum Zeichnen von Spiralen gab es spezielle „Spiralzirkel“. Das Beispiel zeigt ein Instrument mit einem Antrieb des Zeichenstiftes über einen Schnurtrieb. Das Instrument wurde durch den Fuß A auf der Zeichenfläche fixiert, B war das Stützrad, C die Zeichenspitze. Durch Drehen des gesamten Instruments um A, den Zahntrieb und den Schnurtrieb beschrieb der Zeichenstift C eine Spirale.

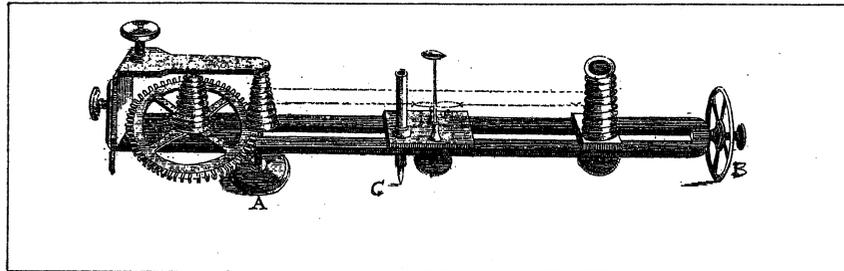


Bild 15.3/2: Spiralzirkel (um 1800)

3. Zeichnen von Kurven (Evolventen, Parabeln etc.)

Zum Zeichnen von Kurven gab es zwei Arten von Instrumenten. Zum einen gab es spezielle Instrumente zum Zeichnen einer bestimmten Klasse von Kurven, z.B. nur von Evolventen. Die geometrischen Parameter der Kurven konnten in weiten Grenzen variiert werden. Daneben gab es Instrumente, mit denen eine Vielzahl unterschiedlicher Kurven gezeichnet werden konnten. Ihr Aufbau war mechanisch anspruchsvoll. Ihr Gebrauch erforderte viel Erfahrung. Das Bild zeigt ein Instrument zum Zeichnen unterschiedlicher Kurven.

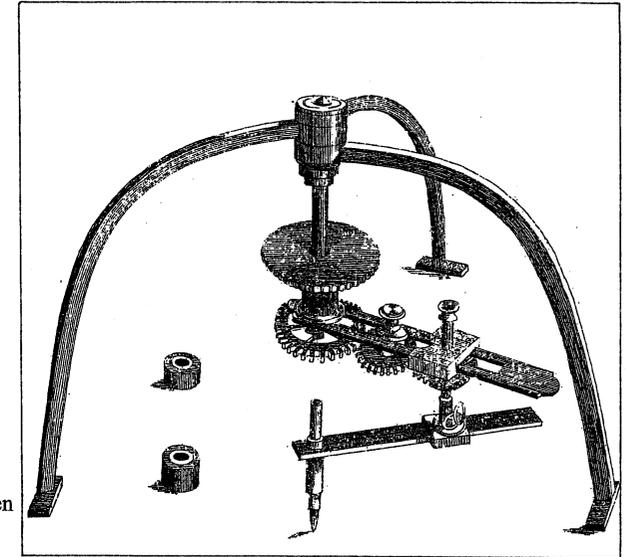


Bild 15.3/3:
Instrument zum Zeichnen
unterschiedlicher
Kurven
(um 1810)

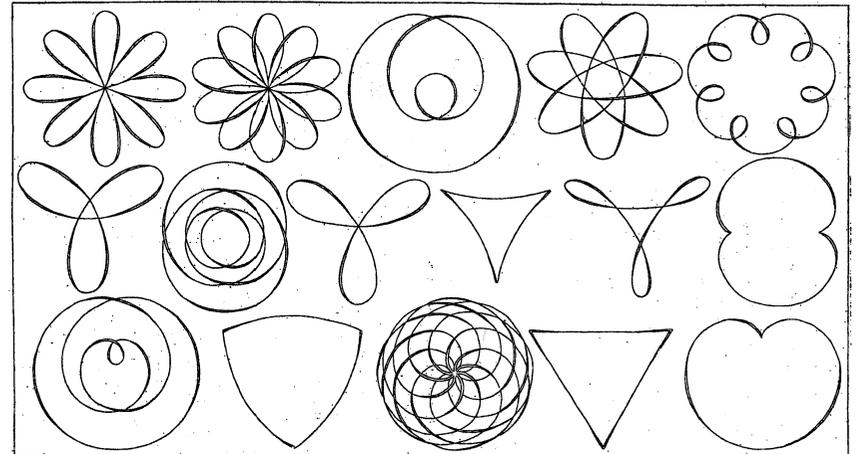


Bild 15.3/4 Mit dem Instrument gezeichnete Kurven (Auswahl an Arbeitsbeispielen)

4. Schraffierapparate

Das Vereinfachen und Beschleunigen des zeitaufwendigen Schraffierens hat viele Erfinder bewegt. Es gibt eine Vielzahl an Instrumenten zur Lösung dieses Problems. Die Beispiele zeigen zwei Schraffierapparate unterschiedlicher Konstruktion. Der im Bild 15.3/5 gezeigte Apparat wird mit der schweren Platte P auf die Zeichenfläche gelegt. Durch Betätigung des Hebels h wird das Zeichenlineal e in kleinen, immer gleichen (einstellbaren) Schritten verschoben. Im nächsten Beispiel wird durch Herunterdrücken von E das Zeichenlineal a-a um einen kleinen Schritt nach unten bewegt.

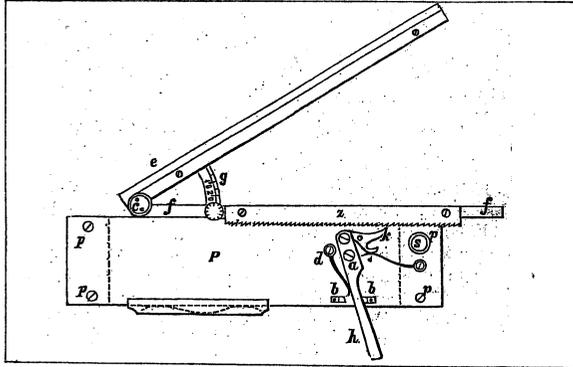


Bild 15.3/5:
Schraffierapparat
von Fa. Clemens Riefler
(1867)

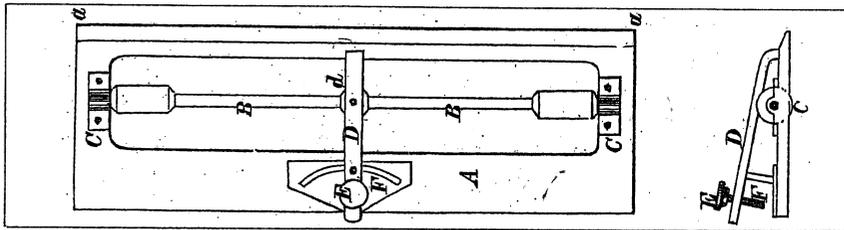


Bild 15.3/6: Schraffierapparat (um 1880)

5. Pantograph

Der Pantograph diente zum Vergrößern oder Verkleinern von Zeichnungen. Erste Ideen stammten aus dem Mittelalter. In neutraler Stellung konnte mit ihm auch kopiert werden. Es gab viele unterschiedliche Ausführungen. Diese Instrumente werden vereinzelt heute noch verwendet.

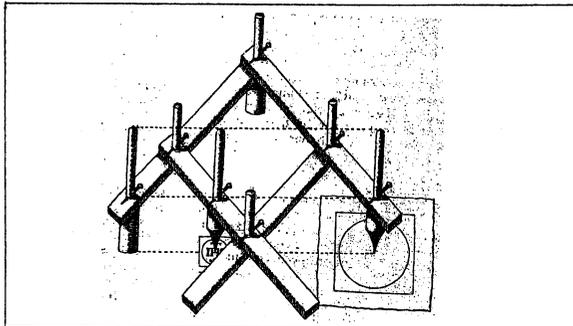


Bild 15.3/7:
Pantograph von
B. de Celles
(um 1640)

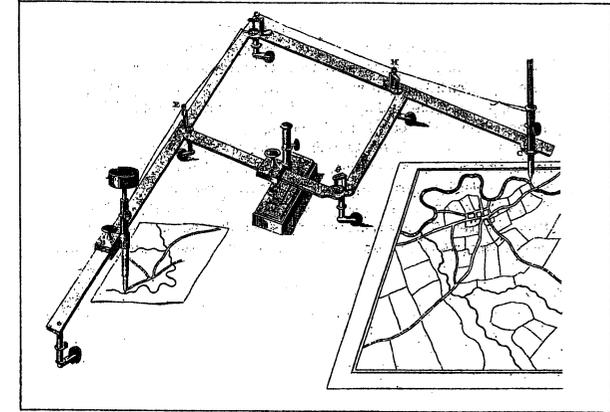


Bild 15.3/8:
Einfacher Pantograph
(um 1800)

6. Zeichnen von Kreisbögen mit sehr großen Radien

Wenn Stangenzirkel zum Zeichnen großer Radien nicht mehr ausreichten, verwendete man sogenannte „Zyklographen“. Das gezeigte Instrument hatte bei D und C kleine Räder, deren Stellung mit Hilfe von zwei Skalenscheiben eingestellt werden konnte. Der Zeichenstift war bei E fixiert. Wenn man das Instrument schwenkte konnten sehr große Radien gezeichnet werden.

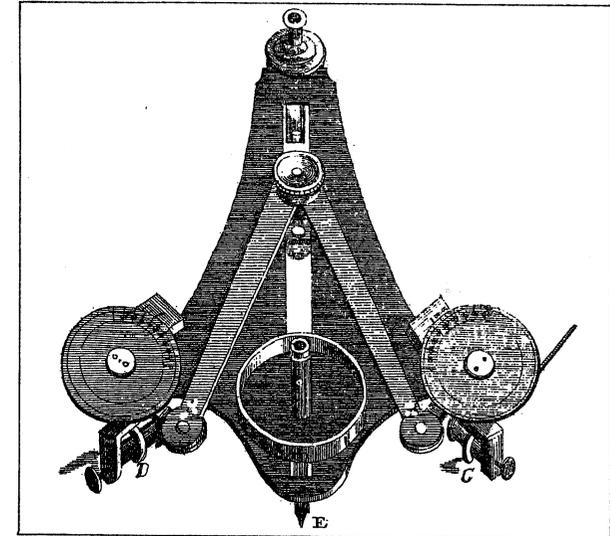


Bild 15.3/9:
„Zyklograph“
(um 1830)

7. Instrumente zum perspektivischen Zeichnen

Auch das Anfertigen anschaulicher Bilder von technischen Objekten gehörte zum konstruktiven Zeichnen. Insbesondere gute perspektivische Bilder waren gefragt. Die manuelle Anfertigung von Zentralprojektionen war sehr zeitintensiv und nicht immer von bester Qualität. Es hat daher nicht an Bemühungen gefehlt, Apparate zu entwickeln, mit denen man diese Darstellungen ohne genaue perspektivische Kenntnisse und Vorkonstruktionen schneller und besser anfertigen konnte. Keim konstruktiven Zeichnens kam

noch eine zusätzliche Rahmenbedingung hinzu: das technische Objekt lag meist schon als normale senkrechte Parallelprojektion vor. Aus diesen Projektionen (technischen Ansichten) sollte das perspektivische Bild generiert werden. Es gab diese Instrumente zum perspektivischen Zeichnen in den unterschiedlichsten Ausführungen. In den 1950er Jahren wurden auch Perspektiv-Zeichenmaschinen für rein technische Anwendungen entwickelt. Benötigt wurden nur eine Hauptansicht und eine Draufsicht des technischen Objekts. Mit der Maschine konnten relativ schnell gute Zentralprojektionen auf „manuellem Weg“ gezeichnet werden.

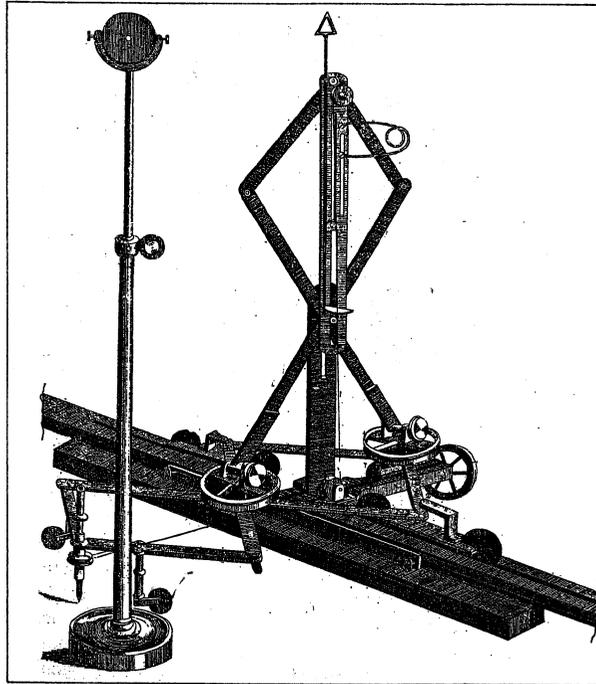


Bild 15.3/10:
Mechanisch aufwendiger
Perspektivapparat
(um 1820)

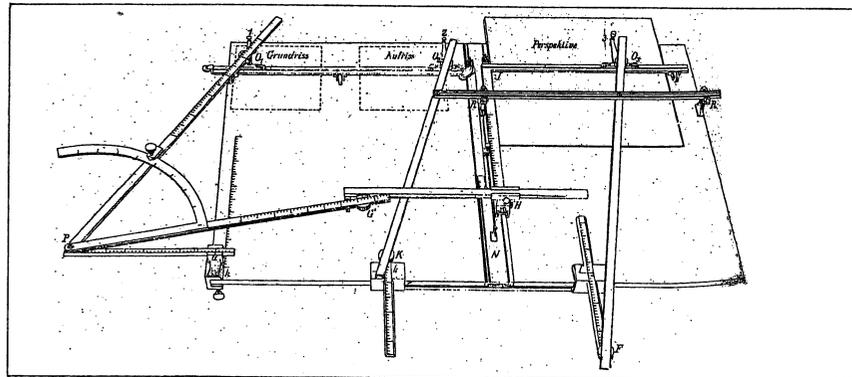


Bild 15.3/11: Perspektivapparat (um 1890)

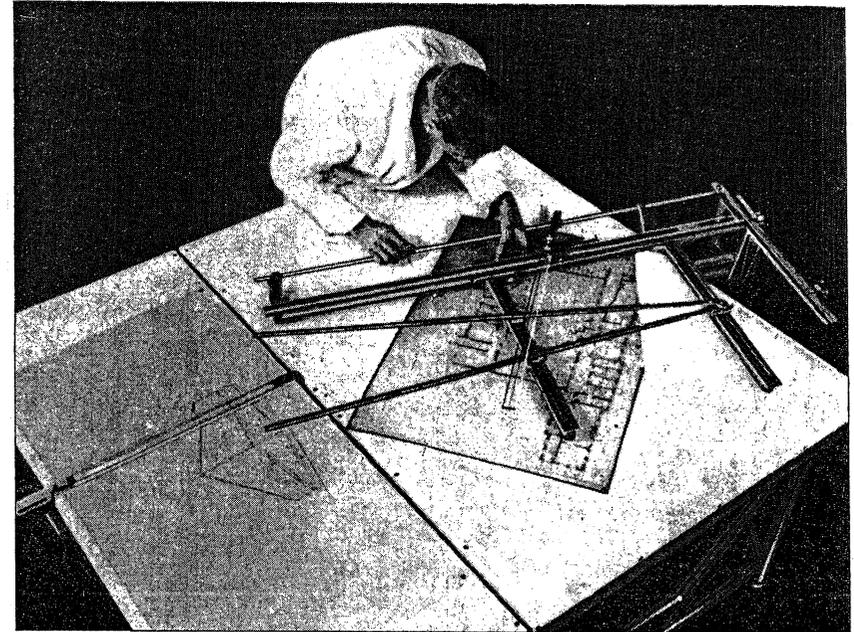


Bild 15.3/12: Perspektiv-Zeichenmaschine der Fa. Kuhlmann (1951)

8. Instrumente zur Ermittlung von Flächeninhalten (Planimeter)

Das Ermitteln der Flächeninhalte von unregelmäßig begrenzten (beliebigen) Flächen war eine häufige Aufgabe beim Entwickeln technischer Objekte. Das Spektrum reichte von der Berechnung von Gewichten bis zur graphischen Integration. Häufig fielen unregelmäßige Flächen als Ergebnis von Messungen an gebauten Maschinen an. Ein Beispiel sind die Indikator diagramme von Dampfmaschinen. Des Weiteren konnten Flächenermittlungen beim Konstruieren notwendig werden. Die Flächeninhalte charakterisierten im Allgemeinen komplexere Größen, wie Leistungen, Gewichte, Trägheitsmomente u.a.m. Mit dem Planimeter, oft auch Integrator genannt, konnten Flächeninhalte beliebiger ebener Figuren bestimmt werden. Die vorliegende Figur von beliebiger Form wurde mit Hilfe eines Stiftes umfahren. Das Instrument zeigte dann den Flächeninhalt an. Das erste moderne Planimeter wurde 1836 von Ernst in Paris auf den Markt gebracht. Davor bestimmte man Flächeninhalte meist durch Auszählen. Eine Glasplatte mit einem kleinen Quadratraster wurde über die Fläche gelegt. Die innerhalb der Fläche liegenden Quadrate wurden ausgezählt.

Das nachfolgende Bild zeigt ein Planimeter aus dem Jahr 1894 der Fa. G. Coradi aus der Schweiz. Der Stift zum Umfahren der Fläche ist mit „F“ bezeichnet. Die Messräder für die Flächengröße sind oben auf dem Planimeter erkennbar. Es war zur Verbesserung der Messgenauigkeit üblich, die Fläche mehrfach auszumessen und den Mittelwert weiterzuverwenden.

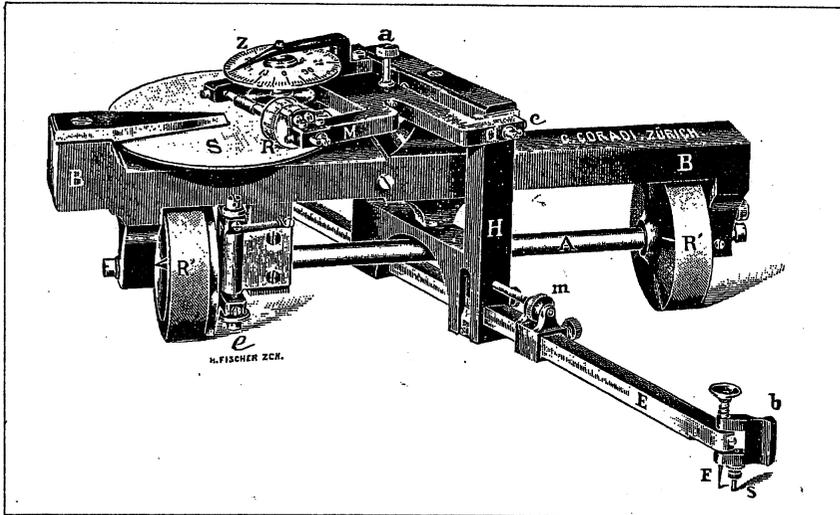


Bild 15.3/13: Planimeter der Fa. G. Coradi (1894)

9. Instrumente zum zeichnerischen Integrieren

Bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts wurden schwierige Integrationen häufig mit zeichnerischen Mitteln gelöst. Das galt insbesondere für die Integrationen, deren Ergebnisse in geometrischer Form, beispielsweise als unregelmäßig begrenzten Flächen, vorlagen. Die bekannten Integriermittel waren das Verfahren mit dem Seileck, das abschnittsweise planimetrieren mit dem Planimeter und das Arbeiten mit dem Integraphen. Beim Seileck-Verfahren wurde die Arbeit durch die weitläufige Konstruktion sehr unübersichtlich und ungenau. Das Planimetrieren war zeitaufwendig und nur mäßig genau. Man hatte daher eine ganze Reihe unterschiedlicher Instrumente entwickelt, die diese Nachteile nicht aufwiesen, die Integraphen oder Integranten (nicht zu verwechseln mit dem Integranden, der Abhängigen unter dem Integralzeichen). Drei Beispiele von Instrumenten mögen ausreichen.

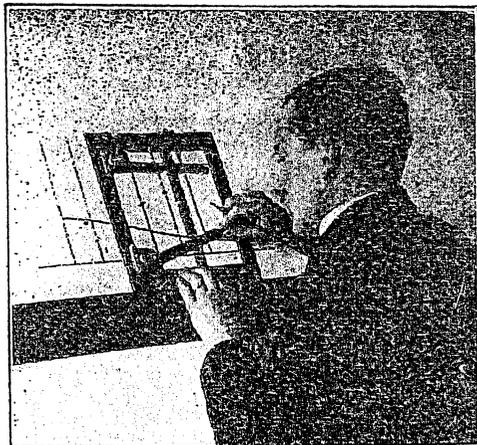


Bild 15.3/14:
Integraph von Naatz (1918)

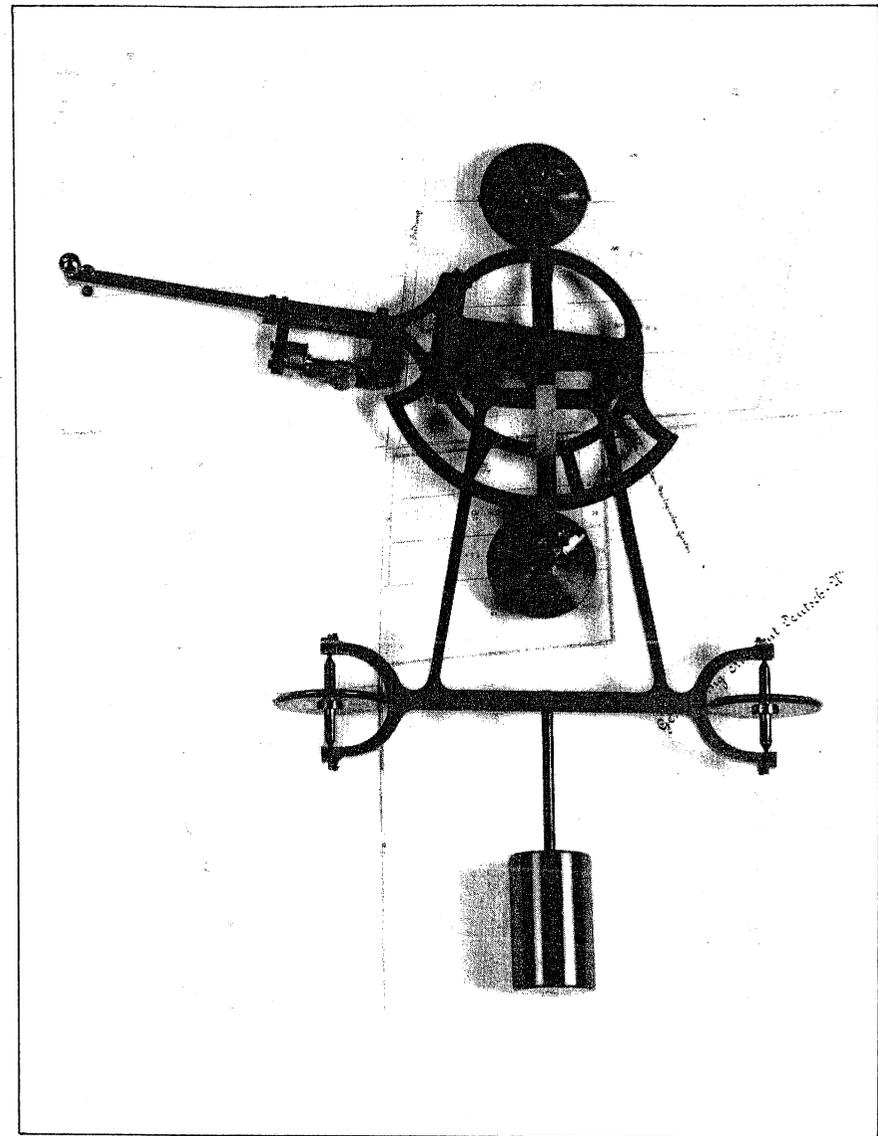


Bild 15.3/15: Kombiniertes mechanisches Hilfsgerät zur Integration (Integrator) und zur Bestimmung des Flächeninhalts (Planimeter) (um 1830)

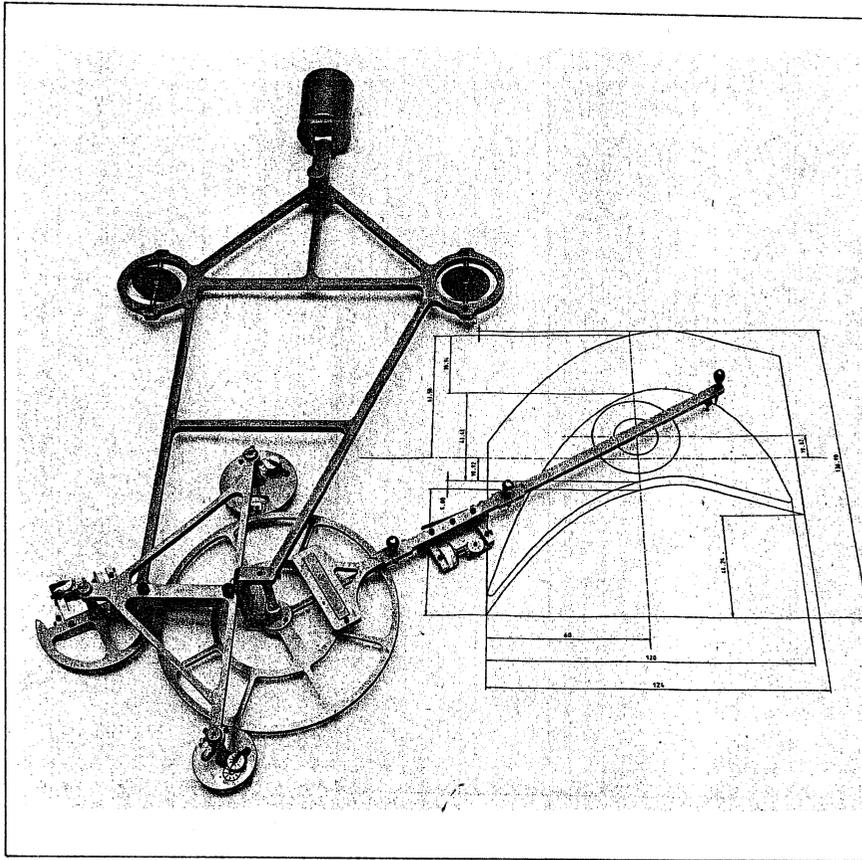


Bild 15.3/16: Flächenintegrator zur graphischen Ermittlung von Trägheitsmomenten an Turbinenschaufeln (1956)

Zeicheninstrumente für besondere Anwendungen gab es aber nicht nur zur Lösung wiederkehrender geometrischer Aufgaben, sondern auch für ganz spezielle Aufgaben bei der Zeichenarbeit. Auch die Anzahl der Zeicheninstrumente zur Bewältigung dieser „Zeichenaufgaben“ war sehr groß. Eines der bekanntesten Instrumente waren Doppel-Ziehfedern zum Zeichnen von zwei parallelen Linien in einem Arbeitsgang. Dreifach-Ziehfedern waren seltener. Das gleichzeitige Zeichnen von drei parallelen Linien erforderte sehr viel Übung und sehr genau geschliffene Ziehfederzungen. Diese Ziehfedern sind im Abschnitt 15.2.4 vorgestellt worden.

Ein anderer Einsatzbereich von besonderen Zeicheninstrumenten war das Zeichnen spezieller Linienarten. Noch im 19. Jahrhundert wurden beispielsweise bestimmte Maßlinien, Mittellinien u.a.m. durch Punktlinien, gestrichelte Linien etc. dargestellt. Das Anfertigen dieser Punkt- und Linienmuster war zeitaufwendig. Das Bild 15.3/15 zeigt beispielhaft ein einfaches, handgeführtes Zeicheninstrument zum Zeichnen unterschiedlicher Punktlinien. Das kleine Instrument wurde an einem Lineal entlang geführt. Das gezahnte Rädchen drehte sich durch den Kontakt mit dem Lineal. Hinter dem gezahnten Rädchen, im Bild verdeckt, befand sich auf gleicher Achse ein auswechselbares, etwas kleineres „Punktier-Rädchen“ mit der gewünschten Punktfolge. Durch Austausch dieses Rädchens konnten unterschiedliche Punktlinien gezeichnet werden. Im Bild sind zwei dieser auswechselbaren „Punktier-Rädchen“ dargestellt.

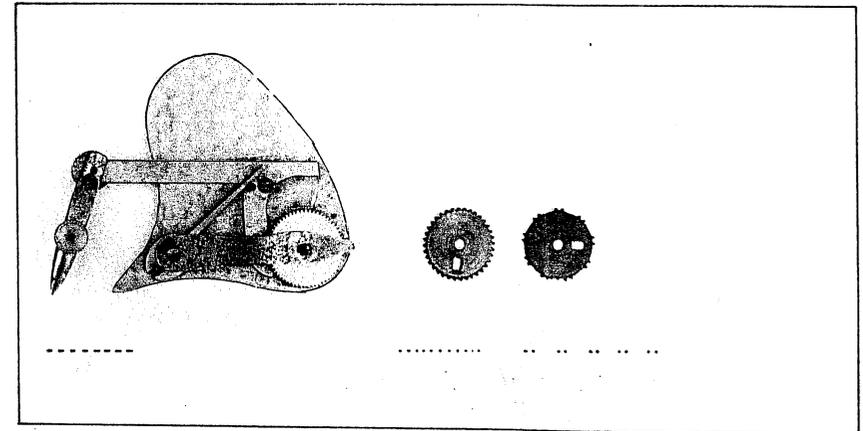


Bild 15.3/17: Zeicheninstrument zum Zeichnen von „Punktlinien“ u.ä. (um 1910)

15.4 Zeichengrund und Zeichenpapiere

Die Spuren, die Menschen in Form von Zeichen und Zeichnungen hinterlassen haben, sind mehr als 100000 Jahre alt. Neuere archäologische Forschungen weisen Artefakte nach, die weit vor dem Auftauchen des modernen Menschen, des „Homo Sapiens“, datiert werden können. Prähistorische Zeichen finden sich auf allen Arten von in etwa ebenen Flächen, auf Felswänden, in Lehm, auf Holzbrettern, auf Knochen und Elfenbein, auf großen getrockneten Blättern von Pflanzen, auf Tafeln aus getrocknetem oder gebranntem Ton, auf weichen Metallplatten, Wachstafeln und auf Tierhäuten, um nur einige zu nennen. Um 3500 v. Chr. gelang es im Alten Ägypten, aus den pflanzlichen Bestandteilen des Papyrus, insbesondere dem Mark der Stängel, eine papierähnliche Grundlage zum Zeichnen zu schaffen. Die Herstellung war aufwendig. Das Material, Blätter oder auf Rollen gewickelte Streifen, war relativ dick und schwer.

Die Herstellung von Pergament ist in Ägypten seit 1400 v. Chr. nachgewiesen. Ausgangsmaterial für Pergament waren Tierhäute, die von den Haaren befreit, gereinigt, mit Kalk gebeizt und mit Bimsstein geglättet wurden. Bevorzugt wurden Häute von Kälbern, Hammeln, Ziegen und Lämmern, also Materialien, die von Natur aus dünn und weich waren. Die Häute wurden nicht gegerbt. Das unterschied sie vom Leder. Durch vielfaches Schaben und Reiben konnten die Häute flächig recht dünn ausgearbeitet werden. Schreib- und Zeichenpergament (Vélin) bestand meist aus jungen Kalb- bzw. Ziegenfellern. Es wurde beidseitig gleichmäßig geschabt. Eine Seite wurde mit Bleiweiß bestrichen. Die Römer verwendeten schon Pergament in Einzelblattform und banden die Blätter zu Büchern zusammen. Im Mittelalter war die Herstellung von Pergament in Deutschland ein eigenständiges Gewerbe. Ab etwa 1100 sind hierzulande die ersten Pergamentmacher („Puhfeller“, „Buchfeller“) nachgewiesen. Die Herstellung von Pergament und der Handel damit waren an Privilegien gebunden. Pergamente verwendete man für wichtige Dokumente und Zeichnungen, z.B. für Verträge und Baupläne. Pergament gab es in weißlichen und gelblichen Tönen, selten in violett oder blau.

Von dem tierischen Pergament ist das „vegetabilische“ Pergament zu unterscheiden. Es entstand um 1850 durch die Einwirkung verdünnter Schwefelsäure auf ungeleimtes Baumwollpapier. Das Papier erhielt dadurch eine feste, hornartige Beschaffenheit. Es war außerordentlich haltbar. Man verwendete es für Urkunden, Dokumente, Zeichnungen Landkarten u.a.m. Sehr dünne Sorten waren so durchscheinend, dass sie direkt zum Pausen verwendet werden konnten.

Als Papier bezeichnet man dünne, beschreibbare oder bemalbare Blätter aus überwiegend pflanzlichen Fasern. Ausgangsmaterial war eine Masse aus fein zerkleinerten und verfilzten pflanzlichen Fasern, die in Wasser suspendiert wurden. Durch z.B. flächiges Abschöpfen mit feinen Sieben, wasserdurchlässigem Fließ, Filzen oder anderen Filtermaterialien konnte es, nach dem Abtropfen des Wassers, in gleichmäßige, dünnen Schichten ausgebreitet werden. Die Schichten an dichten Pflanzenfasern wurden dann gepresst und getrocknet. Danach waren die einzelnen Blätter nur 0,02 bis 0,3 mm dick. Das Verfahren wurde im 3. Jahrhundert v. Chr. in China entwickelt. Als Ausgangsmaterial wurden am Anfang Seidenabfälle verwendet, später dann Bast verschiedener Bäume. Um 100 n. Chr. wurde in China auch Papiere aus Seiden- und Leinenresten hergestellt. Die Chinesen hüteten das Geheimnis der Papierherstellung wie einen Staatsschatz. Über die Seidenstraße und Arabien kamen um 750 das Papier und die Kenntnisse zu dessen Herstellung nach Europa. Chinesische Kriegsgefangene verrieten es. Um 790 wurde die in Bagdad die ersten Papiermanufakturen in Betrieb genommen. In Spanien richteten die Mauren die ersten „Papierhäuser“ ein. Das Papiermachen war auch bei den Mauren noch eine gut gehütete Kunst. Erst durch die Kreuzzüge wurde das Verfahren allgemein bekannt. In Deutschland war die Herstellung von Papier seit 1190 ein eigener Gewerbezweig. Ausgangsmaterial waren die Fasern der

Baumwolle, aber auch schon Lumpen. Ab dem 13. Jahrhundert traten an die Stelle der Baumwolle mehr und mehr einheimische Rohstoffe wie Hanf und Leinen. Der große Bedarf konnte schon zu dieser Zeit nicht mehr mit handwerklichen Verfahren gedeckt werden. Ab 1390 entstanden in großer Zahl Papiermühlen, meist mit Antrieb durch Wasserräder, mit mechanischen Zerkleinerern, Stampfen, Walzen etc. 1765 stellte J. Chr. Schäffer erstmals „Holzpapier“ her. Er verwendete neben Holzfasern noch andere Zusätze. Chlor zum Bleichen setzte man ab 1790 ein. Durch die Erfindung des Buchdrucks stieg der Bedarf an Papier sehr stark an. Ende des 18. Jahrhunderts ging man mit der Einführung der Zylindermaschine bei der Papierherstellung zu endlosen Formaten über. Ab 1847 konnten Hanf und Leinen durch 40 % „geschliffenen Holzstoff“ ersetzt werden (Verfahren von Keller u. Voelter, es wurde 1844 erfunden). Der Rest waren Lumpen. Die Lumpenfasern sorgten für den Zusammenhalt des Papiers nach dem Falten. Der hohe Bedarf an Papieren aller Art konnte nur durch Nutzung diverser Surrogate beim Ausgangsstoff gedeckt werden. Gut Ergebnisse lieferten Lumpen und Hadern aus gebrauchten Baumwoll- und Leinenstoffen. Weitere Surrogate waren, neben Holz und Stroh, Heu, Hopfenranken, Binsen, Seidelbast, diverse Rinden und Spänen, diverse Pflanzenstengel, Blätter, Zuckerrohr u.a.m. Durch die Erfindung der reinen Zellulose aus Holz gab es einen weiteren Fortschritt in der Papierherstellung. 1854 wurde erstmals Natronzellstoff erzeugt, 1866 Sulfidzellstoff.

Papiere werden zum einen nach dem verwendeten Rohstoff unterschieden, und zwar Lumpenpapiere, Zellstoffpapiere und Holzpapiere. Zum anderen kann man sie nach den unterschiedlichen Herstellungsarten unterscheiden, und zwar in Hand- oder Büttenpapiere und Maschinenpapiere.

Moderne Papiere (ab etwa 1800) für das konstruktive Zeichnen wurden vornehmlich aus Zellstoff als Grundstoff hergestellt, oft mit Zusatz von Hadern. Durch entsprechende Zusätze wie Kaolin, Gips, Magnesit, Leim u.a.m. konnten die Papiereigenschaften in weiten Grenzen an die verschiedenen Einsatzzwecke angepasst werden. Zeichenpapiere erhielten immer eine spezielle Oberflächenbehandlung (z.B. mit Gelatine, Leim, Kunstharz).

Lichtundurchlässiges Papier

Dieses gewöhnliche Zeichenpapier war weiß bis leicht gelblich. Es wurde in unterschiedlichen Stärken und Qualitäten hergestellt. Papiere geringer Qualität bestanden aus Zellstoff mit Holzschliffzusatz. Höherwertige hatten Zusätze von Leinen, Hanf, Baumwolle u.a.m. Hochwertige waren völlig holzfrei. Sie waren zäher und rissen beim Falten nicht ein. Es gab für sehr hohe Beanspruchungen (lange Aufbewahrungszeiten) Papiere mit hinter geklebten Geweben. Technische Papiere waren lichtbeständig, auf ihnen konnte mit Ausziehtusche auch bei größeren Strichstärken gezeichnet werden, sie waren radierfest und für das Arbeiten mit Wasserfarben geeignet.

Lichtdurchlässige Papiere

Mit dem Auftreten der Lichtpausverfahren erlangten lichtdurchlässige Papiere beim konstruktiven Zeichnen überragende Bedeutung. Üblich war die Verwendung von sogenanntem Klarpapier (Transparentpapier) zum Zeichnen von lichtpausfähigen Stammzeichnungen. Das Papier war von leicht gelblicher bis hellgrauer Farbe und je nach Papierstärke gut bis mäßig lichtdurchlässig. Die Oberfläche war matt. Ausgangsmaterial war ein holzfreier, sehr fein gemahlener, pastöser Grundstoff aus Hanf, Baumwolle und einer Reihe von Zuschlägen, später auch Zellstoff. Die Oberfläche war behandelt, gewalzt und dadurch sehr hart und dicht. Die Papiere waren rissempfindlich und durften nicht geknickt werden. Sie waren sowohl zum Zeichnen mit Blei als auch mit Tusche geeignet. Klarpapier war gut radierfest. Auch Tusche konnte problemlos entfernt werden. Nachteilig war die geringe Alterungsbeständigkeit. Die Papiere neigten zum Vergilben und zum Verspröden. Sie waren ferner sehr empfindlich gegen Feuchtigkeit. Sie wurden wellig und warfen Beulen.

Pergazell und Pergamin

Diese Papierarten waren sehr gut lichtdurchlässig und eigneten sich gut zum Zeichnen mit Tusche. Das Ausgangsmaterial war ähnlich dem der üblichen lichtdurchlässigen Papiere. Das Papier wurde zusätzlich mit Kunstharzen getränkt. Die Oberfläche wurde stark verdichtet und war beidseitig matt.

Öklarpapier

Es handelt sich hierbei um ein gut lichtdurchlässiges Papier zum Zeichnen mit Tusche. Es wurde seit 1800 verwendet. Ausgangsstoff war eine Mischung aus zähen, sehr feinfaserigen Rohstoffen. Die Bindung wurde durch vorsichtiges Tränken in Harzgemischen und Pflanzenöl (z.B. Leinölfirnis) erreicht. Das Papier war dünn, nur schwach geleimt und wurde am Ende der Herstellung an der Luft getrocknet. Die Oberfläche war beidseitig glänzend. Die Papierfarbe war sehr unterschiedlich, je nach verwendeten Mischungen, von weißlich, grünlich bis bläulich.

Klargewebe

Diese Papierart wurde ausschließlich aus sehr fein gemahlten textilen Rohstoffen hergestellt. Klarpapier war nicht gefettet. Durch eine besondere Behandlung war es gut lichtdurchlässig. Die Farbe war weiß bis bläulich. Es eignete sich zum Zeichnen mit Blei und Tusche. Die Oberfläche war matt bis leicht glänzend. Es war sehr reißfest, lange haltbar und verzog sich kaum.

Pergamentpapier

Dieses Papier war dem echten Pergament in Aussehen und Eigenschaften ähnlich. Ungeleimtes Papier wurde durch verdünnte Schwefelsäure gezogen, gepresst, gewaschen und getrocknet. Das Papier wurde 1853 erstmals hergestellt.

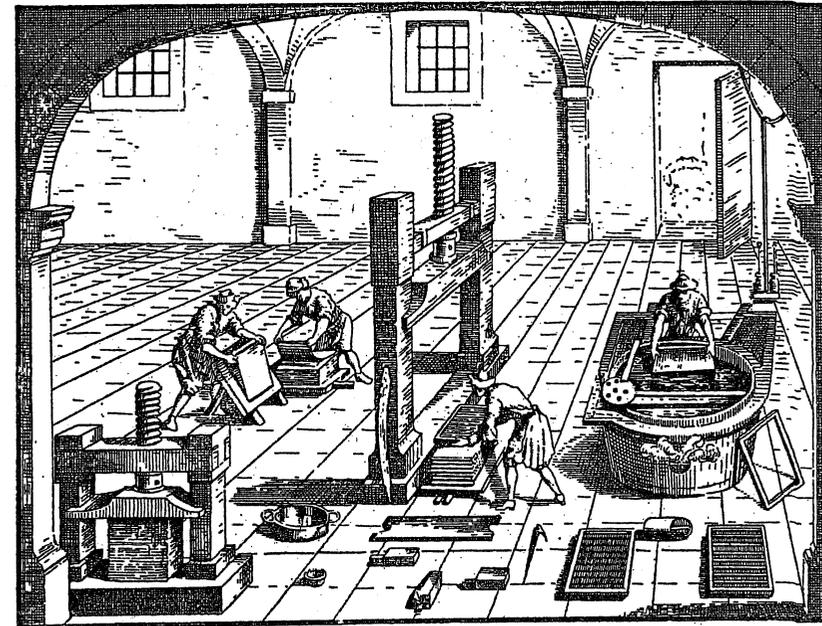


Bild 15.4/1: Papierherstellung nach dem Handschöpfverfahren (um 1700)

Bemerkung:

Öklarpapier, Ölpergament, Klargewebe u.a.m. wurden Anfang des 19. Jahrhunderts auch als Pauspapiere bezeichnet. Das hatte nichts mit den Lichtpausverfahren zu tun, sondern mit den traditionellen Verfahren des Pausens. Sollte eine Zeichnung vervielfältigt werden, so zeichnete man sie ganz oder in Teilen ab. Lichtdurchlässige Papiere wurden einfach auf die Originalzeichnung aufgelegt und die Linien durchgezeichnet. Das erleichterte die Kopierarbeit ungemein. Diese traditionelle Art des Pausens ist sehr alt. Schon im Mittelalter wurde mit teildurchsichtigen „Papieren“ durchgepaust. Um 1400 berichten Quellen, das z.B. mit fein geschabtem Pergament, das man mit Leinöl bestrichen hatte, gepaust worden ist.

Eine genaue Trennung von lichtdurchlässigen Zeichenpapieren und Papieren zum traditionellen Pausen durch „Durchzeichnen“ lässt sich nicht durchführen.

Bemerkung:

Es gab eine Vielzahl an Verfahren, um lichtdurchlässige Papiere mit einfachsten Mitteln selbst herzustellen. Beispielsweise durch Tränken von gewöhnlichem Zeichenpapier in reinem Petroleum. Das Papier wird dann durchscheinend. Man wischte es mit einem Leinenlappen ab und verwendet es unmittelbar danach. Das Petroleum verdunstet rasch und rückstandsfrei. Es gab auch eine ganze Reihe an Verfahren, die mit zwei Flüssigkeiten arbeiteten.

Es gab auch sehr „exotische“ Möglichkeiten. Im Mittelalter goss man beispielsweise relativ rasch trocknende Öle (z.B. Fischleim) auf ebene Platten. Nach dem Trocknen konnte man eine dünne, durchsichtige Schicht abziehen, die zum Durchpausen taugte. Sie wurde nach dem Pausen auf festen Untergrund aufgezogen.

Bemerkung:

Ein weiteres Spezialpapier gab es zum Vervielfältigen kleinformatiger Zeichnungen, das sogenannte „Pauspapier“. Es war einseitig beschichtet und wurde unter die Originalzeichnung gelegt. Das Papier für die Kopie lag darunter. Die Zeichnung wurde mit einem Stift durchgedrückt (Durchschreibverfahren). Die Beschichtung des Pauspapiers löste sich und haftete danach auf der Kopie. Das Spezialpapier wurde 1810 in Frankreich von L'Hermite erfunden.

15.5 Zeichentinten, Zeichentuschen und Zeichenfarben

Zur Verbesserung der Lesbarkeit der Zeichnungen musste ein möglichst großer und konstanter Kontrast der Linien zum Zeichengrund erreicht werden. Bei einer mit Bleistift angefertigten Zeichnung war dieser Kontrast gering und, je nach individueller Arbeitsweise des Konstrukteurs, sehr unterschiedlich. Bei Zeichnungen, die nur „in Blei“ gezeichnet waren und häufig benutzt wurden, verwischten die Linien rasch. „Bleizeichnungen“ konnten leicht korrigiert werden. Bei Vorzeichnungen und Entwürfen war das zwingend notwendig. Dieser Vorteil geriet aber bei wichtigen Zeichnungen zum Nachteil. Beliebige Veränderungen konnten, ohne Spuren zu hinterlassen, nachträglich eingearbeitet werden.

Um eine dauerhaft nutzbare und schwer zu verändernde technische Zeichnung zu erhalten, mussten die Linien einer Zeichnung nicht „in Blei“, sondern mit einem sicheren Medium und Verfahren gezeichnet werden. Es lag nahe, die seit langem bei Dokumenten verwendeten Medien Tusche und Tinte zu verwenden. Als Verfahren setzte sich das „Ausziehen“ durch. Die Mittel waren Ziehfeder, Schreibfeder und später der Tuschefüllfederhalter.

Die „in Blei“ vorgezeichneten Linien wurden einfach mit Tusche „ausgezogen“. Texte setzte man im Allgemeinen mit Feder und Tinte. Derartige Zeichnungen erfüllten auch die Anforderungen von Behörden nach „Dokumentenechtheit“. Ein weiterer Vorteil war, dass die Linienstärken immer gleich, unabhängig von Können des Zeichners waren. Zur Einstellung der Linienstärken besaßen die üblichen Ziehfedern ein mit einer Skala versehenes Einstellrädchen. Linien bestimmter Stärke, mit Tusche gezeichnet, besaßen auch einen gleichmäßigen Kontrast. Das Ausarbeiten mit Tinten und Tuschen war allerdings ein zusätzlicher Arbeitsgang. Das Zeichnen mit Ziehfedern erforderte viel Übung. Erst die Erfindung von Tuschezeichnern und Tuschefüllern erleichterte diesen Teil der Zeichenarbeit. Bei einigen Zeichenpapieren, insbesondere den „Transparentpapieren“, konnten Tuschelinien mit Hilfe von speziellen Messern entfernt werden. Auch für diese Arbeit war Übung und Erfahrung notwendig. Transparentpapiere waren sehr dünn. Es kam häufig zu Beschädigungen des Papiers.

Zeichentinten

Flüssigkeiten, in denen farbige oder schwarze Substanzen in Lösung vorlagen, bezeichnet man als Tinten. Die einzelnen Elemente der Substanzen lösen sich in der Flüssigkeit vollständig auf. Die Tinte enthält keine festen Partikel mehr. Sie haften nach dem Trocknen durch das Aufweichen des Grundmaterials und chemische Bindung an den Fasern. Sie sind, da sie tiefer ins Grundmaterial eindringen, im Allgemeinen schwer zu entfernen. Tinten wurden im Altertum und im Mittelalter zur Anfertigung konstruktiver Zeichnungen verwendet, auch zum Zeichnen von Linien. Im hier betrachteten Zeitraum ab etwa 1800 war die Verwendung von Tinten zur Anfertigung technischer Zeichnungen die Ausnahme. Sie wurden ggf. beim Beschriften eingesetzt. Die verwendeten Substanzen der Zeichentinten gewann man aus verschiedenen, natürlichen Stoffe. Manche mussten aufbereitet werden, andere, meist flüssige, konnte man direkt mischen. Tinten wurden auch als Tintenpulver angeboten, die mit Wasser zu einer gebrauchsfähigen Tinte verrührt werden konnten. Die Rezepturen der Tinten wurden wie ein Geheimnis gehütet. Basis waren z.B. „Eisengallus“, Säfte unterschiedlicher Pflanzen, wie die 1562 aus „Brasilholz“ hergestellte rote Tinte, tierische Substanzen u.a.m. Es gab Tinten, die nach dem Schreiben die Farbe veränderten und solche die völlig verschwanden und erst durch Hitzeeinwirkung oder eine spezielle Behandlung wieder sichtbar gemacht werden konnten. Tinten wurden nicht nur mit Wasser verdünnt, es gab sie auch mit Säuren als flüssigem Träger. In Säuren waren die meisten Trägersubstanzen besser zu lösen. Im 17. Jahrhundert wurden die Rezepturen zur Herstellung von Tinten einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht. In sogenannten „Tintenbüchern“ konnten genaue Beschreibungen zur Herstellung von Tinten

unterschiedlicher Farbe nachgelesen werden. Bei der Verwendung von stählernen Schreib- und Ziehfedern machte sich der Einfluss der Säure in einigen Tinten nach kurzer Verwendung sehr nachteilig bemerkbar. Die Zeichenutensilien wurden zerfressen. Diese Tinten wurden ungern zum konstruktiven Zeichnen verwendet. Bei sehr dunklen Tinten war der Ersatz der Säure ein Problem. Erst 1847 gelang dem Chemiker F. Runge mit der Erfindung der Chromblauholzinte eine befriedigende Lösung. 1855 gelang dem Apotheker Chr. A. Leonardi mit der Alizarintinte die Entwicklung einer weiteren brauchbaren Zeichentinte.

Zeichentuschen

Tuschen sind farbige oder schwarze Substanzen, die feine Farbpigmente in fester Form enthalten. Diese Farbpigmente bestanden aus den unterschiedlichsten Stoffen. Bei dunklen oder schwarzen Tuschen oft aus Ruß. Dabei besaß die Art des verbrannten Materials großen Einfluss auf die Qualität der Tusche. Es wurde Ruß von verbrannten Flüssigkeiten (z.B. Sesamöl, verbranntem Lack u.ä.) bis zum Ruß aus verschiedenen Hölzern verwendet. Tuschen wurden am Anfang nicht in fertig gemischter, flüssiger Form verwendet. In einer mehrstufigen Prozedur mussten die teerhaltigen Anteile entfernt werden, die die Tusche bräunlich und wenig beständig machten. Der Ruß mit verdünnter Säure gemischt, verdampft, wieder mit Wasser vermischt und erhitzt und das feste Substrat mit Gelatine, Leim u.ä. zu einer Paste verarbeitet. Diese wurde zu kleinen Stangen, Näpfchen oder Platten geformt. Vor Gebrauch musste die feste Tusche mit Wasser oder mit einer Schellack-Borax-Lösung „angerieben“ werden. Im 19. Jahrhundert setzten sich die fertig gemischten, flüssigen Tuschen durch. Tuschen haften als Niederschlag an der Oberfläche des Grundmaterials. Im Allgemeinen sind sie nicht wasserlöslich. Einfache Tuschen können durch Kratzen, Schaben u.ä. entfernt werden. Einige Tuschen waren auch, wenn das Grundmaterial es gestattet, durch „Abwaschen“ entfernbar. Tuschen zum Zeichnen und Schreiben sind aus dem alten China bekannt. Sie wurden vermutlich schon ab 2600 Jahren v. Chr. verwendet. Im europäischen Kulturraum kamen Tuschen auch bei den Griechen und Römern zum Einsatz. Im Mittelalter zeichnete man mit ihnen auf Pergament und ähnlichen Grundmaterialien z.B. Grundrisse von Kirchen, Klöstern, Befestigungsanlagen und Maschinen aller Art. Tuschen eignen sich sehr gut zum Anlegen konstruktiver Zeichnungen auf geeigneten Papieren. Wenn Zeichnungen „dokumentenecht“ sein sollten, setzte man sogenannte „Sicherheitstuschen“ ein. Sie enthielten eine alkalische Harzlösung und waren nicht abwaschbar. Farbige Tuschen zum Zeichnen von Linien oder zur Beschriftung wurden selten verwendet. Es waren meist Lösungen von Teerfarbstoffen in besonderen Trägermedien. Sie waren im Allgemeinen nicht abwaschbar. Tuschen trockneten schneller als Tinten. Die Gefahr des Verwischens beim Zeichnen war geringer. Im 19. Jahrhundert bewertete man die Qualität von Zeichentusche u.a. an der Zeit zum Eintrocknen in einer Reißfeder. Üblich waren direkte Vergleiche zwischen den Tuschen. Bei jeder Tusche wurde die gleiche Reißfeder mit der gleichen, sehr dünnen Linieneinstellung verwendet. Mit dieser Einstellung wurde ununterbrochen gezeichnet. Die Zeit, bis der Tuschefluss durch Eintrocknen abbrach, war ein Zeichen für die Qualität. Je länger die Tusche floss, umso besser war die Tusche.

Zeichenfarben

Farbige Linearumrisse bei konstruktiven Zeichnungen waren noch zu Anfang des 20. Jahrhunderts gebräuchlich. Das farbige Anlegen von ganzen Flächen in konstruktiven Zeichnungen wurde im 19. Jahrhundert weitgehend aufgegeben. Generell wollte man durch die Farben die Bedeutung des technischen Objekts hervorheben, besondere Innovationen oder Materiaken kennzeichnen, die Repräsentation unterstützen u.ä. Zum Einsatz kamen flüssige Farben, üblicherweise auf Wasserbasis (Farbtuschen). Gezeichnet wurde auf normalem. Weißen Zeichenpapieren mit verdichteter Oberfläche oder Zeichenleinen. Im Altertum diente das farbige Ausmalen keinem bestimmten technischen Zweck. Es erhöhte die ästhetische

Wirkung einer Zeichnung, ggf. auch die Anschaulichkeit. Im Mittelalter wurden Zeichenfarben zum Teil gezielt zur Verdeutlichung technischer Zusammenhänge eingesetzt. Das betrifft aber nur hochwertige Abbildungen, die selbstverständlich nicht für den Gebrauch in den Werkstätten vorgesehen waren. Beispiele sind die künstlerisch aufwendigen konstruktiven Zeichnungen einiger Bilderhandschriften. Die verwendeten wasserlöslichen Farben lagen zumeist als Pulver vor. Es gab sie auch in Form fester „Steine“. Der Zeichner rieb in diesem Fall die farbige Substanz mit einem Reiber vom „Stein“ ab. Basis der Farben waren natürliche Substanzen wie Röteln, Ultramarin, Oker, Cadmiumverbindungen, Pflanzenteile (z.B. Walnusschalen, Gelbwurz) um nur einige zu nennen. Gelöst wurden sie in Wasser und anderen Flüssigkeiten. Auch mit stark deckenden Farben wurde gearbeitet. Im 18. Jahrhundert kamen fertige Farben auf den Markt, zumeist als Pasten. Die Farben wurden mit entsprechenden Pinseln aus Tierharen (selten mit kleinen Schwämmen) aufgetragen.

Einen besonderen optischen Effekt erzielte man beim Einsatz der Farben durch das Anlegen von Lavierungen, umgangssprachlich nannte man sie „Verläufe“. Bei Außenflächen konnte dadurch der räumliche Eindruck des Objekts hervorgehoben werden. Üblicherweise wählte man eine feste Position des Lichteinfalls und entwickelte durch die Verläufe Übergänge zu im Lichtschatten liegenden Bereichen dunkler. Weiterhin bestand die Möglichkeit, ganze Flächen im Schatten oder Schattensrisse dunkler anzulegen.

Die Verwendung der Farbentöne war beliebig. Ein weiterer Entwicklungsschritt war der Einsatz von Farben nach einem einheitlichen System. Die Anfänge dieses Gedankens reichen bis ins 18. Jahrhundert zurück. Beim farbigen Anlegen konstruktiver Zeichnungen gab man bestimmten Metallen gleiche Farben, z.B. Eisen blau, Kupfer rot, Bronze gelb. Aus diesen Anfängen entstand ein sehr umfangreiches „Farbsystem“ zur Identifizierung der unterschiedlichen Werkstoffe einer konstruktiven Zeichnung. Eine sicherlich gute Idee, aber eine durchgängige Vereinheitlichung hat es nicht gegeben. Trotzdem waren, bei entsprechenden Kenntnissen, ohne jegliche Textangaben die Materialien mit einem Blick auf die Zeichnung erkennbar. Im Bild 15.5/1 ist ein verbreitetes „Farbsystem“ wiedergegeben. Da die unterschiedlichen Farben vom Konstrukteur selbst gemischt werden mussten, sind in diesem „Farbsystem“ auch die entsprechenden Ausgangsfarben (Grundfarben) mit angegeben worden.

Die farbig angelegte Zeichnung konnte nur aufwendig von Hand vervielfältigt werden. Das endgültige Aus kam für sie mit dem Vordringen des Lichtpausverfahrens. Anfang des 20. Jahrhunderts gab es noch Bemühungen, die Vorteile des unmittelbaren Erkennens eingesetzter Werkstoffe direkt aus der Zeichnung für das Lichtpausverfahren nutzbar zu machen. Man entwickelte ein System unterschiedlicher Schraffuren, jeder Werkstoff erhielt eine eigene Schraffur. Das System setzte sich nicht durch. Es war zwar pausfähig, aber in der Anwendung zu aufwendig. Hinzu kam, dass die Menge der verwendeten Werkstoffe mit diesem einfachen System nicht abzubilden war.

Bemerkung:

Kennzeichnungssysteme für metallische und andere Werkstoffe durch Farben oder Schraffuren sind in den 1930er Jahren in der DIN 201 genormt worden.

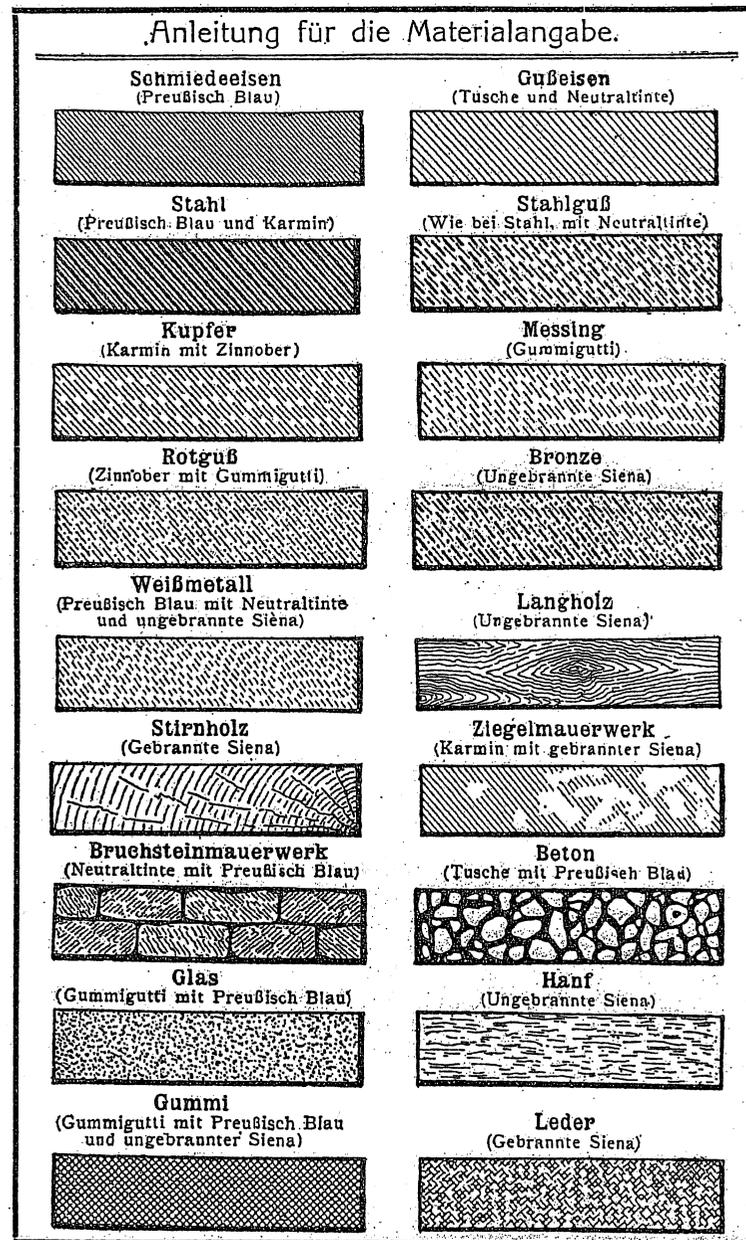


Bild 15.5/1: Farbsystem zur Kennzeichnung unterschiedlicher Materialien (1875)