

Block 1

Kapitel 1 – 8

Inhalt

| | | | | | |
|---------|---|----|----------|---|-----|
| 1. | Einführung | 1 | 7.2.4 | Die Rostfeuerungen | 85 |
| 2. | Zur Entwicklung der Kraftmaschinen mit Dampfantrieb im deutschsprachigen Raum | 3 | 7.2.5 | Andere Feuerungen | 89 |
| 2.1 | Die Anfänge | 3 | 7.3 | Die Feuerung mit flüssigen Brennstoffen | 89 |
| 2.2 | Vom Handwerk zur Maschinenfabrik | 11 | 7.4 | Die Feuerung mit gasförmigen Brennstoffen | 92 |
| 2.3 | Die ersten Dampfmaschinen im deutschsprachigen Raum | 15 | 8. | Das Speisewasser | 93 |
| 2.4 | Die ersten ortsveränderlichen Kraftmaschinen in England und Frankreich | 21 | 8.1 | Bemerkung | 93 |
| 2.5 | Die ersten ortsveränderlichen Kraftmaschinen im deutschsprachigen Raum | 33 | 8.2 | Speisewasser | 94 |
| 3. | Versuch einer Abgrenzung | 43 | 8.3 | Reinigung und Behandlung des Speisewassers | 95 |
| 3.1 | Betrachtungsrahmen | 43 | 8.3.1 | Allgemeine mechanische Reinigung | 95 |
| 3.2 | Kraftmaschinen und Lokomobilen | 44 | 8.3.2 | Chemische Reinigung und Speisewasser-Aufbereitung bei fahrbaren Lokomobilen | 95 |
| 4. | Übersicht der Hersteller von Lokomobilen im deutschsprachigen Raum | 47 | 8.3.3 | Chemische Speisewasser-Aufbereitung bei Halblokomobilen | 97 |
| 4.1 | Quellenlage und Vollständigkeit | 47 | 8.3.4 | Speisewasseraufbereitung bei Verwendung von Kondensatwasser | 98 |
| 4.2 | Übersicht der Lokomobilienhersteller und Hersteller von anderen ortsveränderlichen Kraftmaschinen | 50 | 9. | Der Aufbau der Lokomobilen | 99 |
| 4.3 | Gegenüberstellung einiger fahrbarer Lokomobilen | 54 | 9.1 | Die wesentlichen Baugruppen | 99 |
| 5. | Die Morphologie der ortsveränderlichen Kraftmaschinen und Lokomobilen | 57 | 9.2 | Baugruppen der verfahrbare Lokomobilen mit liegendem Kessel | 101 |
| 5.1 | Vielfalt und Ordnung | 57 | 9.3 | Baugruppen der verfahrbare Lokomobilen mit stehendem Kessel | 103 |
| 5.2 | Ordnungsparameter des morphologischen Systems | 58 | 9.4 | Baugruppen der auf Gleisen verfahrbaren Lokomobilen | 105 |
| 5.2.1 | Allgemeine Ordnungsparameter der Lokomobilen und anderer ortsveränderlicher Kraftmaschinen | 58 | 9.5 | Baugruppen der versetzbaren Lokomobilen (Halblokomobilen) | 106 |
| 5.2.2 | Ordrende Gesichtspunkte für die Spaltenbenennung | 59 | 9.6 | Baugruppen der verschiebbaren Lokomobilen (Halblokomobilen) | 108 |
| 5.2.3 | Ordrende Gesichtspunkte für die Zeilenbenennung | 61 | 9.7 | Baugruppen der mobilen Dampf-Kraftmaschinen kleiner Leistung | 109 |
| 5.3 | Das morphologische System der Lokomobilen und anderer ortsveränderlicher Kraftmaschinen | 62 | 10. | Die Dampfkessel der Lokomobilen | 111 |
| 6. | Die Brennmaterialien | 65 | 10.1 | Historische Entwicklung der Kesselbauarten bei Lokomobilen | 111 |
| 6.1 | Bemerkung | 65 | 10.2 | Auslegung der Lokomobilienkessel | 112 |
| 6.2 | Feste Brennstoffe | 65 | 10.3 | Liegende Kessel | 115 |
| 6.3 | Flüssige Brennstoffe | 69 | 10.3.1 | Kofferkessel | 115 |
| 6.4 | Gasförmige Brennstoffe | 71 | 10.3.2 | Walzenkessel, Zylinderkessel | 115 |
| 7. | Die Feuerungen | 73 | 10.3.3 | Flammrohrkessel | 115 |
| 7.1 | Der allgemeine Verbrennungsprozess | 73 | 10.3.4 | Rauchrohrkessel | 118 |
| 7.2 | Die Feuerung mit festen Brennstoffen | 75 | 10.3.5 | Feuerbüchsenkessel | 119 |
| 7.2.1 | Bemerkung | 75 | 10.3.5.1 | Grundlegende Bauarten | 119 |
| 7.2.2 | Die Hauptteile der Feuerung | 77 | 10.3.5.2 | Lokomobilienkessel mit „vorgehenden“ Rauchrohren | 120 |
| 7.2.3 | Die Feuerungsarten | 81 | 10.3.5.3 | Lokomobilienkessel mit „rückkehrenden“ Rauchrohren | 126 |
| 7.2.3.1 | Unterscheidungsmerkmale | 81 | 10.3.5.4 | Lokomobilienkesseln mit besonderen Feuerbüchsenkonstruktionen | 126 |
| 7.2.3.2 | Lage des Feuerbetts | 81 | 10.3.6 | Liegende Wasserrohrkessel | 126 |
| 7.2.3.3 | Grad der Vollkommenheit der Verbrennung | 83 | 10.3.7 | Kombinierte Kessel | 126 |
| 7.2.3.4 | Art der Verbrennungsluftführung | 83 | 10.4 | Stehende Kessel | 127 |
| 7.2.3.5 | Art der Beschickung mit Brennstoffen | 84 | 10.4.1 | Kessel mit stehender Feuerbüchse und Quersiederrohren (Quersiedekessel) | 127 |
| | | | 10.4.2 | Kessel mit stehender Feuerbüchse und Heizrohren (Heizrohrkessel) | 130 |
| | | | 10.4.3 | Kessel mit stehender Feuerbüchse und Wasserrohren | 132 |
| | | | 10.4.4 | Stehende Wasserrohrkessel | 134 |
| | | | 10.4.5 | Kessel-Sonderbauarten für ortsveränderliche Kraftmaschinen kleiner Leistung | 135 |
| | | | 10.5 | Schnellverdampfende Kessel | 137 |
| | | | 10.6 | Sofortverdampfende Kessel | 139 |
| | | | 10.7 | Sonderbauformen | 141 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 10.8 | Rauchkammer und Kamin | 143 |
| 10.8.1 | Rauchkammern bei liegenden Kesseln | 143 |
| 10.8.2 | Rauchkammern bei stehenden Kesseln | 145 |
| 10.9 | Kesselisolierung | 147 |
| 10.10 | Sicherheitseinrichtungen bei Lokomobilenkesseln | 151 |
| 10.10.1 | Bemerkung | 151 |
| 10.10.2 | Sicherheitsventile | 153 |
| 10.10.3 | Wasserstandsanzeiger | 155 |
| 10.10.4 | Probierhähne | 159 |
| 10.10.5 | Manometer | 160 |
| 10.10.6 | Schmelzsicherungen im Feuerraum | 161 |
| 10.10.7 | Speiserufer | 161 |
| 10.10.8 | Funkenfänger | 162 |
| 10.10.9 | Aschenlöscher | 164 |
| 10.10.10 | Signalpfeife, Signalklappe | 164 |
| 10.10.11 | Dampfabsperrentile, Rohrbruchventile | 165 |
| 10.11 | Einrichtungen zum Füllen und Nachspeisen | 167 |
| 10.11.1 | Bemerkung | 167 |
| 10.11.2 | Druckerzeuger | 169 |
| 10.12 | Einrichtungen zur Reinigung und Pflege der Lokomobilenkessel | 176 |
| 10.12.1 | Bemerkung | 176 |
| 10.12.2 | Mannlöcher, entfernbare Dampfdomdecke | 177 |
| 10.12.3 | Ausziehbare Innenkessel, entfernbare Kesselteile | 177 |
| 10.12.4 | Schlamm- und Putzlöcher | 178 |
| 10.12.5 | Rauchkammertür | 178 |
| 10.12.6 | Feuertür | 178 |
| 10.12.7 | Ascheklappen | 178 |
| 10.13 | Ablasseinrichtungen | 180 |
| 10.14 | Einrichtungen zur Überhitzung des Dampfes | 181 |
| 10.15 | Einrichtungen zur Vorwärmung des Speisewassers | 185 |
| 10.16 | Beschickungseinrichtungen bei Lokomobilen | 187 |
| 10.16.1 | Anpassung der Lokomobilen an die Brennstoffe | 187 |
| 10.16.2 | Passive Beschickungseinrichtungen ohne Anpassung der Lokomobile | 187 |
| 10.16.3 | Passive Beschickungseinrichtungen mit Anpassung der Lokomobile | 188 |
| 10.16.4 | Aktive Beschickungseinrichtungen | 189 |
| 10.17 | Abnahme der Lokomobilenkessel | 191 |
| 10.17.1 | Historische Entwicklung | 191 |
| 10.17.2 | Gesetzliche Regelungen | 195 |
| 11. | Die Lokomobilmaschinen | 197 |
| 11.1 | Historische Entwicklung der Lokomobilmaschinen | 197 |
| 11.2 | Auslegung der Lokomobilmaschinen | 199 |
| 11.3 | Bauartenübersicht der Lokomobilmaschinen | 203 |
| 11.4 | Steuerungen der Lokomobilmaschinen | 215 |
| 11.4.1 | Bemerkung | 215 |
| 11.4.2 | Elemente der inneren Steuerung | 217 |
| 11.4.2.1 | Flachschiebersteuerungen | 217 |
| 11.4.2.2 | Rundschiebersteuerungen | 229 |
| 11.4.2.3 | Kombinierte Flach- und Rundschiebersteuerungen | 230 |
| 11.4.2.4 | Drehschiebersteuerungen | 230 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 11.4.2.5 | Ventilsteuerungen | 230 |
| 11.4.2.6 | Kolbenventilsteuerungen | 231 |
| 11.4.2.7 | Arbeitskolbensteuerungen | 231 |
| 11.4.2.8 | Drosselsteuerungen | 231 |
| 11.4.3 | Elemente der äußeren Steuerung | 233 |
| 11.4.3.1 | Exzenterantriebe mit unveränderlicher Exzentrizität, direkt wirkend | 233 |
| 11.4.3.2 | Exzenterantriebe mit unveränderlicher Exzentrizität, indirekt wirkend | 233 |
| 11.4.3.3 | Einfacher Exzenterantrieb mit manuell verstellbarer Exzentrizität | 233 |
| 11.4.3.4 | Doppelter Exzenterantrieb mit manuell verstellbarer Zuordnung | 234 |
| 11.4.3.5 | Achsenregulator | 237 |
| 11.4.3.6 | Fliehkraftregler | 241 |
| 11.4.3.7 | Elemente der äußeren Steuerung für Ventile | 245 |
| 11.4.3.8 | Elemente der äußeren Steuerung für Drehschieber | 245 |
| 11.4.4 | Änderung der Drehrichtung bei Lokomobilmaschinen | 246 |
| 11.5 | Liegende Lokomobilmaschinen | 249 |
| 11.5.1 | Bemerkung | 249 |
| 11.5.2 | Grundbauarten | 250 |
| 11.5.3 | Besonderheiten der Konstruktion | 251 |
| 11.5.3.1 | Gestelle, Rahmen, Grundplatten, Geradföhrungen | 251 |
| 11.5.3.2 | Dampfzylinder, Zylinderdeckel und Kolben | 259 |
| 11.5.3.3 | Pleuelstangen (Treibstangen, Schubstangen) | 269 |
| 11.5.3.4 | Kurbel, Kurbelwelle | 272 |
| 11.5.3.5 | Kurbelwellenlager | 275 |
| 11.5.4 | Beispiele liegender Lokomobilmaschinen | 277 |
| 11.5.4.1 | Maschinen verfahrbarer Lokomobilen | 277 |
| 11.5.4.2 | Maschinen der Halblokomobilen | 280 |
| 11.5.4.3 | Maschinen für Kesseldampfmaschinen, Gewerbe- und Hausmaschinen | 282 |
| 11.5.4.4 | Sonderbauarten von Lokomobilmaschinen | 283 |
| 11.5.5 | Lokomobilmaschinen mit Kurbelschleifenantrieb | 283 |
| 11.6 | Stehende Lokomobilmaschinen | 285 |
| 11.6.1 | Bemerkung | 285 |
| 11.6.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 285 |
| 11.6.2.1 | Maschinen verfahrbarer Lokomobilen | 285 |
| 11.6.2.2 | Maschinen versetzbarer oder verschiebbarer Lokomobilen | 293 |
| 11.6.2.3 | Maschinen für Gewerbemotoren, Hausmaschinen u. a. m. | 293 |
| 12 | Die Untergestelle der Lokomobilen | 295 |
| 12.1 | Bemerkung | 295 |
| 12.2 | Untergestelle verfahrbarer Lokomobilen | 296 |
| 12.2.1 | Besonderheiten der Konstruktion | 296 |
| 12.2.2 | Untergestelle zweiachsiger Lokomobilen mit liegendem Kessel | 302 |
| 12.2.2.1 | Zweiachsige Untergestelle mit Lenkachse | 302 |
| 12.2.2.2 | Zweiachsige Untergestelle ohne Lenkachse | 302 |
| 12.2.3 | Untergestelle zweiachsige Lokomobilen mit stehendem Kessel | 303 |
| 12.2.4 | Untergestelle einachsiger Lokomobilen | 303 |
| 12.3 | Untergestelle verfahrbarer Lokomobilen mit Sonderfunktionen | 305 |
| 12.4 | Untergestelle verschiebbarer oder versetzbarer Lokomobilen | 306 |
| 12.4.1 | Bemerkung | 306 |
| 12.4.2 | Untergestelle verschiebbarer Lokomobilen | 306 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 12.4.3 | Untergestelle versetzbarer Lokomobilen | 308 |
| 13. | Abdampfkondensation | 311 |
| 13.1 | Bemerkung | 311 |
| 13.2 | Wirkungsweise der Kondensation | 302 |
| 13.3 | Kondensation bei Lokomobilen | 313 |
| 14. | Lokomobilen, bei denen Dampfkessel und Dampfmaschinen eine bauliche Einheit bilden | 317 |
| 14.1 | Bemerkung | 317 |
| 14.2 | Verfahrbare Lokomobilen auf zweiachsigen Rädern | 317 |
| 14.2.1 | Zweiachsige Lokomobilen mit lenkbarer Vorderachse | 317 |
| 14.2.1.1 | Lokomobilen mit liegendem Kessel | 317 |
| 14.2.1.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen mit liegendem Kessel | 318 |
| 14.2.1.3 | Lokomobilen mit stehendem Kessel | 359 |
| 14.2.1.4 | Beispiele ausgeführter Maschinen mit stehendem Kessel | 360 |
| 14.2.1.5 | Sonderbauformen | 373 |
| 14.2.1.6 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 373 |
| 14.2.2 | Zweiachsige Lokomobilen ohne Lenkung | 377 |
| 14.3 | Verfahrbare Lokomobilen auf einachsigen Rädern | 381 |
| 14.3.1 | Bauarten | 381 |
| 14.3.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 381 |
| 14.4 | Verfahrbare Lokomobilen auf Gleisen | 388 |
| 14.4.1 | Bemerkung | 388 |
| 14.4.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 388 |
| 14.5 | Verschiebbare oder versetzbare Lokomobilen | 391 |
| 14.5.1 | Bemerkung | 391 |
| 14.5.2 | Bauarten der Halblokomobilen | 393 |
| 14.5.3 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 394 |
| 14.5.4 | Bauarten der Maschinen mit stehendem Kessel (Kesseldampfmaschinen) | 419 |
| 14.5.5 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 420 |
| 14.5.6 | Sonderbauarten | 440 |
| 14.6 | Tragbare Lokomobilen | 441 |
| 14.6.1 | Bemerkung | 441 |
| 14.6.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 441 |
| 15. | Lokomobilen, bei denen Dampfkessel, Dampfmaschine und Arbeitsmaschine eine bauliche Einheit bilden | 445 |
| 15.1 | Bemerkung | 445 |
| 15.2 | Ortsveränderung durch verfahrbare Maschinen auf Rädern | 445 |
| 15.3 | Ortsveränderung durch verfahrbare Maschinen auf Gleisen | 455 |
| 15.4 | Ortsveränderung durch verschiebbare oder versetzbare Maschinen | 456 |
| 16. | Lokomobilen, bei denen Dampfkessel und Dampfmaschine zwei Baueinheiten bilden | 457 |
| 16.1 | Bemerkung | 457 |
| 16.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 457 |
| 17. | Lokomobilen, bei denen der Dampfkessel eine Baueinheit ist und die Dampfmaschine mit der Arbeitsmaschine eine zweite Baueinheit bilden | 459 |
| 17.1 | Bemerkung | 459 |
| 17.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 459 |

| | | |
|------|--|-----|
| 18. | Lokomobilen für besondere Einsatzfälle | 463 |
| 18.1 | Bemerkung | 463 |
| 18.2 | Beispiele ausgeführter Maschinen | 463 |
| 19. | Lokomobilen als Antriebsmaschinen in der Landwirtschaft | 467 |
| 19.1 | Die Verbreitung und die besonderen Anforderungen an Kraftmaschinen in der Landwirtschaft | 467 |
| 19.2 | Einsatz der Lokomobilen bei der Bodenkultur und Ernte | 469 |
| 19.3 | Einsatz der Lokomobilen bei allgemeinen Hofarbeiten | 471 |
| 20. | Lokomobilen als Antriebsmaschinen in der Forstwirtschaft | 475 |
| 20.1 | Die besonderen Anforderungen an Kraftmaschinen in der Forstwirtschaft | 475 |
| 20.2 | Einsatz der Lokomobilen bei stationären Arbeiten | 476 |
| 20.3 | Einsatz der Lokomobilen bei Arbeiten im Wald | 478 |
| 21. | Lokomobilen als Antriebsmaschinen im Handel und Gewerbe | 479 |
| 21.1 | Die besonderen Anforderungen an Kraftmaschinen im Handel und Gewerbe | 479 |
| 21.2 | Einsatz der Lokomobilen | 480 |
| 22. | Lokomobilen als Antriebsmaschinen in der Bauwirtschaft, im Straßen- und Tiefbau | 483 |
| 22.1 | Die besonderen Anforderungen | 483 |
| 22.2 | Einsatz der Lokomobilen | 484 |
| 23. | Lokomobilen als Antriebsmaschinen in der Industrie | 487 |
| 23.1 | Die besonderen Anforderungen | 487 |
| 23.2 | Einsatz der Lokomobilen | 488 |
| 24. | Lokomobilen als Antriebsmaschinen in sonstigen Bereichen | 491 |
| 24.1 | Die besonderen Anforderungen | 491 |
| 24.2 | Einsatz der Lokomobilen in sonstigen Bereichen | 491 |
| 25. | Das Ende der Entwicklung von Lokomobilen im deutschsprachigen Raum | 493 |
| 25.1 | Bemerkung | 493 |
| 25.2 | Ortsveränderliche elektrische Kraftmaschinen | 493 |
| 25.3 | Ortsveränderliche Kraftmaschinen mit Verbrennungsmotor | 496 |
| 25.4 | Ortsveränderliche Kraftmaschinen mit Druckwasserbetrieb | 496 |
| 26. | Quellen- und Literaturverzeichnis | 497 |
| 26.1 | Allgemeine Hinweise | 497 |
| 26.2 | Verwendete Literatur | 498 |
| 26.3 | Verzeichnis der Bildquellen | 502 |
| 27. | Anhänge | |
| 27.1 | Gesetzliche Regelungen über Dampfkessel | |
| 27.2 | Dienstvorschrift für Maschinisten | |
| 27.3 | Vergleich der Maße verschiedener Länder mit dem metrischen Maß | |
| 27.4 | Umrechnung einiger gebräuchlicher älterer Maße | |
| 27.5 | Drücke und Gewichtseinheiten je Flächeneinheit | |
| 27.6 | Pferdestärken | |
| 27.7 | Aufstellen und Einrichten einer Lokomobile | |

1. EINFÜHRUNG

In allen Ländern mit entwickelten Wirtschaften war schon vor dem 19. Jahrhundert die Bereitstellung hinreichend großer Energie für den Antrieb von Arbeitsmaschinen ein Problem. So alt wie die Geschichte der Technik ist auch die Geschichte der Suche nach einer Energiequelle, die kontinuierlich, ohne den Einsatz der natürlichen Kräfte des Wassers und des Windes, eine hinreichend große Antriebskraft liefern konnte. Wenn unabhängig vom Ort und der Witterung Energie benötigt wurde, blieb in der Regel nur die Muskelkraft von Menschen und Tieren übrig. Die „Energienot“ war in einigen Phasen der Geschichte so groß, dass alle Bemühungen der Wissenschaften auf die Lösung dieses Problems konzentriert wurden. Eine wachsende Bevölkerung musste mit Gütern und Nahrungsmitteln versorgt werden. Es galt geeignete Verkehrswege zu bauen und entsprechende Verkehrsmittel zu beschaffen.

Schon vor dem 19. Jahrhundert kam man mit den traditionellen Techniken der Energieerzeugung bei einigen Gewerben an eine Grenze. Das zeigte sich besonders deutlich im Bergbau, im Hüttenwesen und in der Landwirtschaft. Im Bergbau mussten die Schächte zur Erschließung ergiebiger Vorkommen immer tiefer getrieben werden. Die Wasserhaltung in den Gruben konnte mit den üblichen Göpelwerken nicht mehr bewältigt werden. Selbst der ständige Einsatz hunderter Pferde reichte nicht mehr aus. Die Gruben „soffen“ regelmäßig ab. Große Hüttenwerke baute man traditionell an natürlichen, stark wasserführenden Flüssen. Mit steigendem Bedarf an Rohmaterialien und „Halbzeugen“ kam man bei den mit Wasserkraft angetriebenen Walz- und Hammerwerke an natürliche Grenzen. Um die notwendige Energie aus der Wasserkraft zu gewinnen, gestaltete man ganze Landschaften um. Mehrere Flüsse wurden zusammengelegt und große Staubecken angelegt. Die summierte Energie trieb dann die großen Arbeitsmaschinen an. Auch das reichte nur eine begrenzte Zeit. Die landwirtschaftlichen Betriebe konnten mit ihren traditionellen Gerätschaften und dem massiven Einsatz tierischer Kräfte die Ernährung der Bevölkerung nicht dauerhaft sicherstellen. Es kam noch am Anfang des 19. Jahrhunderts regelmäßig zu Hungerjahren. Die rückständigen Verhältnisse auf dem Lande, insbesondere in den östlichen Ländern Deutschlands, verstärkten das Dilemma zusätzlich. Auch die, beispielsweise in Preußen, durchgeführten „Agrarreformen“ änderten an diesen Verhältnissen wenig. Im Gegenteil, in vielen Gegenden wanderten die Landleute ab und suchten ein besseres Leben in den Städten. Die Zunahme der Bevölkerung, der aufblühende Handel und veränderte Bedürfnisse der Menschen führten zu großen sozialen und wirtschaftlichen Umwälzungen. In den traditionellen Handwerken veränderte die Einführung der Gewerbefreiheit ganze Berufsstände. Zur Bewältigung großer Arbeitsaufgaben wurden in dieser Zeit die ersten Dampfmaschinen eingesetzt. Die dampfgetriebenen „eisernen Bahnen“ bewältigten die steigenden Gütermengen. Das gesamte Netz an Überlandstraßen war in den deutschen Ländern veraltet. Die Erneuerung dauerte Jahrzehnte. Für die wachsende Bevölkerung musste Wohnraum geschaffen werden. Aus den ersten Maschinenbauwerkstätten, die ihren Platz noch in den urbanen Zentren hatten, wurden große Maschinenbauanstalten. Sie wanderten an die Peripherie der Städte. Für die verkehrstechnische Anbindung waren spezielle Verkehrssysteme erforderlich. Die Arbeit in den alten Manufakturen war zwar arbeitsteilig organisiert, aber in den einzelnen Fertigungsstufen kamen meist handwerkliche Verfahren zum Einsatz. Durch die industrielle Produktion ergaben sich Möglichkeiten, völlig neue Arten von Gebrauchsgütern herzustellen. Was früher für den Großteil der Bevölkerung unerschwinglich war konnte durch die neue Art der Herstellung preiswert in großen Stückzahlen angeboten werden. Das Segment der Konsumgüterindustrie nahm hier seinen Anfang.

Alle diese Umwälzungen waren an einen zuverlässigen Energielieferanten gebunden. Die Dampfmaschine, in der üblichen Ausführung mit getrennt platziertem Kessel, löste als Betriebs-Dampfmaschine oder Groß-Maschine das Antriebsproblem bei den stationären Arbeitsmaschinen. Der Aufbau der Betriebe mit diesen Kraftmaschinen war, unabhängig vom jeweiligen Industriezweig oder den zu betreibenden Arbeitsmaschinen, immer gleich. Von einer zentralen Dampfmaschine wurde über Wellen- und Riemensysteme die Antriebsenergie zu den Arbeitsmaschinen geleitet. Das Organisationsprinzip der Betriebe war das der verbundenen Werkstätten. Arbeitsmaschinen gleicher oder ähnlicher Verrichtung wurden zusammengefasst. Dezentrale Kraftmaschinen, die ihren Einsatzort wechseln konnten, waren die Ausnahme.

Eine besondere Herausforderung stellte die Lösung des Antriebsproblems dar, wenn die Energie zum Antrieb der Arbeitsmaschinen an wechselnden Orten erforderlich war. Dieser kleine Ausschnitt aus dem Gesamtproblem ist Thema dieses Buches. Es wird gezeigt, in welchen Schritten und mit welchen Mitteln die ortsveränderlichen Kraftmaschinen entwickelt wurden. Kraftmaschinen, die ihren Einsatzort wechseln konnten, waren beispielsweise in der Land- und Forstwirtschaft, im Straßenbau, im Tiefbau, beim Bau von Gebäuden u.a.m. die Regel. Es lag in der Natur der Sache, dass derartige Kraftmaschinen relativ leicht und klein sein mussten. Das Suchen nach einer praxiserprobten Lösung dauerte einige Jahrzehnte. Den Begriff „ortsveränderlich“ muss man für den Anfang der Entwicklung sehr weit fassen. Bei den ersten ortsveränderlichen Maschinen konnte nur der Maschinenteil seinen Einsatzort wechseln. Der Kessel war noch eingemauert. Auch die Dampfmaschine war noch so groß, dass sie demontiert werden musste. Man brachte sie in Teilen zum neuen Einsatzort. Die Maschinen waren aber schon so gebaut, dass eine Zerlegung mit einfachen Mitteln möglich war. Im nächsten Schritt veränderte man die Bauart der Kessel. Sie wurden kompakter und waren nicht mehr eingemauert. Kessel und Maschine waren zwar immer noch zwei nebeneinander liegende Baugruppen, aber sie besaßen oft schon ein gemeinsames hölzernes Rahmengestell. Bei einem Wechsel des Einsatzortes wurden der Kessel und die Maschine getrennt transportiert. Diese Ausführungen können als Vorläufer der üblicherweise als „Lokomobilen“ bezeichneten Maschinen angesehen werden.

Nachdem man die Herstellung der recht komplizierten Feuerbüchsenkessel für die eisernen Bahnen sicher beherrschte, war die Idee naheliegend, diesen kompakten und leistungsstarken Kessel auch für ortsveränderliche Kraftmaschinen zu verwenden. Das Neue war, dass man den Kessel und die Dampfmaschine zu einer kompakten Einheit zusammengefasst hatte. Dabei waren die Art der Dampfmaschine und deren Lage am Kessel noch völlig frei. Der Maschinenteil konnte vor dem Kessel liegen, hinten, neben, auf dem Kessel, unten usw. Es wurde alles versucht, was technisch machbar war. In den 1870er Jahren begannen, insbesondere in Deutschland, die ersten Hersteller die „Lokomotivbauweise“ der Kessel zu verlassen und besser geeignete Kesselkonstruktionen zu verwenden. Bei den verfahrbaren Maschinen auf Rädern setzte sich dann die bekannte Standardbauweise durch: liegende, aufgesattelte Maschine auf einem liegenden Kessel.

Die weitere Entwicklung kann durch zwei Entwicklungslinien gekennzeichnet werden. Ein Teil der ortsveränderlichen Kraftmaschinen eroberte sich den Bereich kleiner Leistung. Sie ersetzten den menschlichen Hand- oder Fußantrieb oder kleinere Göpelwerke. Man bezeichnete sie als Gewerbemaschinen, Hausmaschinen, Klein-Dampfmaschinen u.a.m. Sie wurden in großen Stückzahlen bis hinunter zu Leistungen von unter ein PS gebaut. Mit den ursprünglichen Dampfmaschinen hatten sie oft nicht viel gemein. Schnellverdampfende Sicherheitskessel mit schnelllaufenden Dampfmaschinen unterschiedlichster Bauarten kamen zum Einsatz. Feuerungen mit Festbrennstoffen wurden durch solche mit Gas oder Flüssigbrennstoff ersetzt. Das vereinfachte nicht nur den Aufbau, sondern auch den Betrieb der Maschinen. Einige Maschinen konnten ohne Kamin in geschlossenen Räumen betrieben

werden. Sie waren so leicht, dass sie von zwei Personen von einem Einsatzort zum anderen getragen werden konnten.

In der anderen Entwicklungsrichtung sind Maschinen mit immer größerer Leistung gebaut worden. Die kompakte Baueinheit aus Kessel und Maschine ist beibehalten worden. Bei den verfahrbaren Maschinen auf Rädern gingen die größten Leistungen bis über 200 PS. Schon am Anfang der Entwicklung waren viele Maschinen, bei denen ein Ortswechsel selten notwendig war, auf Rahmengestelle oder Füße gesetzt worden. Zum Ortswechsel mussten sie verschoben oder mit Hilfe von Schwerlastanhängern transportiert werden. Die größten Leistungen bei diesen Maschinen gingen bis über 1000 PS. Sie traten dabei in unmittelbarem Wettbewerb zu den stationären Maschinen. Die technische Ausführung und die Wirtschaftlichkeit standen denen der modernsten stationären Maschinen in nichts nach. Bei dieser Maschinengattung der „Halblokomobilen“ oder Industrielokomobilen wurde die Möglichkeit zur Ortsveränderung nach und nach aufgegeben. Bei den großen Ausführungen waren zur Aufstellung Fundamente erforderlich. Aus der ursprünglich ortsveränderlichen Kraftmaschine war eine stationäre geworden.

In diesem Buch wird die gesamte Breite der Entwicklung bei den ortsveränderlichen Kraftmaschinen dargestellt. Um eine Ordnung in die Vielfalt der gebauten Maschinen zu bekommen, werden die historischen Lösungsfelder systematisch mit Hilfe der morphologischen Methode analysiert und in einem einfachen morphologischen Schema zusammengefasst. Dabei musste auch berücksichtigt werden, dass es nicht in allen Fällen eine Trennung von Kraft- und Arbeitsmaschine gegeben hat. Es wurde gebaut, was benötigt wurde. Bei der Beschreibung einzelner Maschinenbauarten wurden weitgehend Originaldokumente verwendet. Auch bei der Beschreibung einzelner Maschinenteile und Baugruppen.

Der weitaus größte Teil dieses Buches befasst sich ausschließlich mit diesen technischen Sachverhalten. Schwieriger ist eine adäquate Beschreibung der Lebens- und Arbeitsumstände der Menschen, die mit diesen Maschinen im praktischen Einsatz gearbeitet haben. Das liegt u.a. an dem langen Betrachtungszeitraum von fast 150 Jahren. Wesentlicher ist, dass es sehr wenig an authentischen Informationen von den arbeitenden Menschen selbst gibt. Das Geschehen war vermutlich nicht wichtig genug und die Veränderungen erfolgten so schnell, dass eine Dokumentation jenseits des Denkbaren lag. Geblieben sind eine Reihe im Nachhinein verfasster allgemeiner Analysen mit meist sozialwissenschaftlichen Ansätzen. Für ein Gesamtbild reicht das aus. Die unmittelbare Arbeitswelt wird aber dadurch nicht „erfahrbar“. Einige Arbeiten zu den sozialwissenschaftlichen Aspekten sind im Literaturverzeichnis dieses Kapitels aufgeführt. In den Kapiteln zu den Einsatzgebieten der ortsveränderlichen Kraftmaschinen sind nur wenige Hinweise auf die Arbeitswelt der Betroffenen zu finden. Eine Ausnahme stellen die Beschreibungen der Landarbeiter beim Einsatz der Lokomobilen in der Landwirtschaft dar.

Die dampfgetriebenen, ortsveränderlichen Kraftmaschinen haben in vielfacher Weise die Arbeitswelt verändert. Ihre Mobilität gestattete eine sehr rasche Reaktion auf veränderte oder neue Arbeitssituationen. Auch die Entwicklung der Kraftmaschinen wurde durch die Lokomobilen nachhaltig beeinflusst. Insbesondere in den ländlichen Wirtschaften sowie in der Bau- und Forstwirtschaft konnten durch den Einsatz entsprechend angepasster ortsveränderlicher Kraftmaschinen völlig neue Arbeitsaufgaben mit Maschinenkraft bewältigt werden.

Viele bekannte Industriebetriebe haben in den vergangenen Jahrzehnten sehr intensiv und mit großem Aufwand nach ihren Wurzeln, nach ihrer historischen Signatur gesucht. Dieses Element der eigenen Herstellergeschichte ist heute ein ganz wichtiger Teil des Markenbildes und des Images geworden. Für die Hersteller von Lokomobilen gilt das nur in Ausnahmen. Diese Maschinenkategorie taucht selbst in den aufwendigen Firmenporträts der großen Hersteller nur am Rande auf. Vermutlich wurde sie, im Zusammenhang mit dem gesamten

Produktionsprogramm, als von untergeordneter Bedeutung angesehen. Im ersten Eindruck ist das verständlich. So spektakulär und monumental wie die Groß-Maschinen der Dampftechnik waren sie nicht. Das Wissen um die Vielfalt der Entwicklung und die spezifischen Baumerkmale einzelner Hersteller geht dabei allerdings verloren. Dieses Buch soll auch einen Beitrag dazu leisten, dass der Mut und Einfallsreichtum der frühen Ingenieure, die mit ihrer Arbeit ein völlig neues Gebiet des Kraftmaschinenbaus erschlossen haben, nicht in Vergessenheit gerät.

Anmerkung:

Durch die differenzierte Behandlung der gesamten Technik der ortsveränderlichen Kraftmaschinen tauchen einige bildliche Darstellungen in verschiedenen Kapiteln wiederholt auf. Das ist kein Versehen. Bei dem Anspruch des Buches ist es dem Leser kaum zuzumuten, zum Verständnis des Inhalts ständig die entsprechenden Abbildungen in anderen Kapiteln suchen zu müssen.

Anmerkung:

Zum Ende des 19. Jahrhunderts begann in den Industrie- und Gewerbebetrieben der Siegeszug des elektrischen Antriebs. Als Einzelantrieb an Arbeitsmaschinen veränderte er nicht nur die Bauarten der Arbeitsmaschinen, sondern auch die gesamte betriebliche Organisation. Er markiert den Übergang vom Werkstattprinzip zum Fließprinzip der modernen Fabriken. Bei den ortsveränderlichen Kraftmaschinen waren die elektrischen Motoren allerdings weniger erfolgreich. Die Energieversorgung mit Leitungen war ein entscheidender Nachteil. Parallel zur Entwicklung der elektrischen Antriebe eroberte sich der Verbrennungsmotor auf fast allen Gebieten seinen Platz. Insbesondere bei den ortsveränderlichen Kraftmaschinen kamen seine Vorteile zur Geltung. Er verdrängte den Dampfantrieb fast vollständig. Seine Vorteile waren überwältigend: sofort einsatzbereit, leicht, hohe Leistung, preiswert in der Anschaffung und wirtschaftlich im Betrieb, um nur einige zu nennen.

2. ZUR ENTWICKLUNG DER KRAFTMASCHINEN MIT DAMPFANTRIEB IM DEUTSCHSPRACHIGEN RAUM

2.1 Die Anfänge

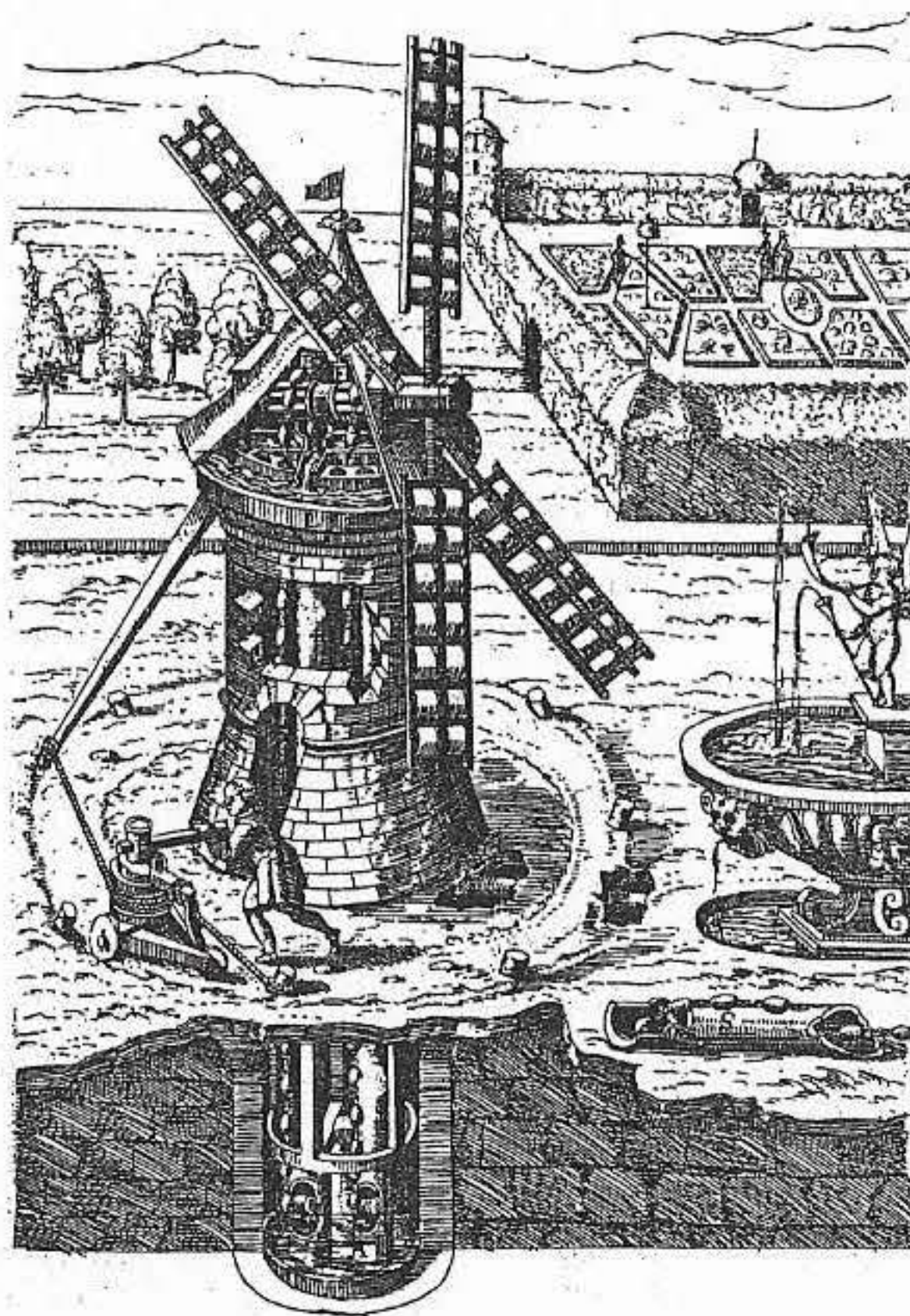
In der Geschichte der „Mechanischen Künste“ haben von alters her Mechanismen eine herausragende Stellung besessen, mit deren Hilfe alle Arten von „Kräften“ erzeugt werden konnten. Die notwendige Energie lieferten die natürlichen Quellen: Menschen und Tiere, die „Wasserkraft“, der Wind u.a.m. In einigen Fällen wurde auch schon der Druck des Dampfes und die „Kraft“ von metallischen Federn genutzt. Im Altertum wurden die gewonnenen Kräfte vornehmlich für kriegerische Zwecke und bei kultischen Handlungen eingesetzt. Es gab darüber hinaus aber eine Anzahl von Problembereichen, die die „Mechanici“ ihrer Zeit viele Jahrhunderte beschäftigten. Bis in die Neuzeit hat man für einige von ihnen keine befriedigende Lösung gefunden. Beispiele für diese fundamentalen Probleme sind die Gewinnung von Energie für die Wasserversorgung und Wasserhaltung, der Gütertransport mit mechanischen Hilfen, die Bodenbearbeitung, die Verarbeitung der Ernte, die Herstellung von Kleidung, der Abbau von Erzen und Kohlen u.a.m. Die Grundform dieser Probleme war immer ähnlich. Es wurde ein Mechanismus benötigt, der kontinuierlich und in entsprechendem Ausmaß eine „Kraft“ erzeugen konnte, die einen weiteren Mechanismus antrieb, der die geforderte Arbeitsaufgabe ausführte. Das ist die klassische Differenzierung der „Maschinenwelten“ in Kraftmaschinen und Arbeitsmaschinen. Sie hatte sich im 19. Jahrhundert eingebürgert. Für die Entwicklung der Kraftmaschinen mit Dampftrieb ist ein Blick auf diese Vorgeschichte wichtig, da nur so deutlich wird, auf welchem Stand der Technik die Erfinder der Dampfmaschine aufgebaut haben. Diese alte Technik war nicht primitiv. Im Gegenteil, die Komplexität der Maschinen und ihr Bau verblüffen noch heute. Vieles wurde beim Bau der ersten Dampfmaschinen übernommen. Die ersten umfassenden Darstellungen dieser „Mechanischen Künste“ findet man beispielsweise bei Georg Agricola (1494 – 1555) in seiner posthum erschienenen *De Re Metallica* von 1556 und bei Augustini de Ramellis in seiner *Schatzkammer Mechanischer Künste* von 1620. Das umfangreichste Lehrbuch zur den mechanischen Wissenschaften seiner Zeit geht im deutschsprachigen Raum auf Jacob Leupold (1674 – 1727) zurück. In seinem *Theatrum machinarum* von 1724 wurde der gesamte bekannte Maschinen- und Instrumentenbau dargestellt. Des Weiteren muss Diderots mehrbändige *Enzyklopädie* aus den Jahren 1762 bis 1777 erwähnt werden. Diderot hatte versucht, alle wichtigen naturwissenschaftlichen und technischen Erkenntnisse seiner Zeit in einem einzigen Werk zusammenzufassen. Einen Überblick über den technischen Stand der „Maschinen“ vor Entwicklung der Dampfmaschine soll die **Tafel 2.1/1** vermitteln. Der Zeitraum von 1550 bis 1750 reicht für die Betrachtung aus. In der Tafel sind nur einige wenige Maschinen zur Förderung von Wasser, zum Malen von Getreide, zum Heben von Lasten u.a.m. aufgenommen worden. Die Bilder zeigen den Stand etwa zur Mitte des 17. Jahrhunderts. Bei vielen dieser Mechanismen ist nicht so sehr von Interesse, ob sie ihren vorgesehenen Zweck erfüllt haben, sondern die Fülle an unterschiedlichen mechanischen Effekten, die verwendet worden sind. Die „Mechanici“ müssen sehr gute Kenntnisse über die physikalischen Grundeffekte besessen haben. Eine Beschreibung im Einzelnen erübrigt sich. Die einzelnen Bilder sprechen für sich.

Für die Behandlung der dampfgetriebenen Kraftmaschinen kann man sich auf die Phase nach 1700 beschränken. Die deutschen Länder waren im 18. Jahrhundert und bis zur Mitte des 19. Jahrhundert „Agrarland“. Das Gros der Bevölkerung war in der Landwirtschaft tätig. Agrarerzeugnisse bildeten die wesentliche Grundlage von Gewerbe und Handel. Waren wurden in erster Linie für den Binnenmarkt hergestellt. Bei der Warenherstellung waren Handarbeitsverfahren vorherrschend. Der Bedarf an Gütern stieg zwar allmählich, konnte aber von den traditionellen Handwerken abgedeckt werden. Größere Mengen an Gütern

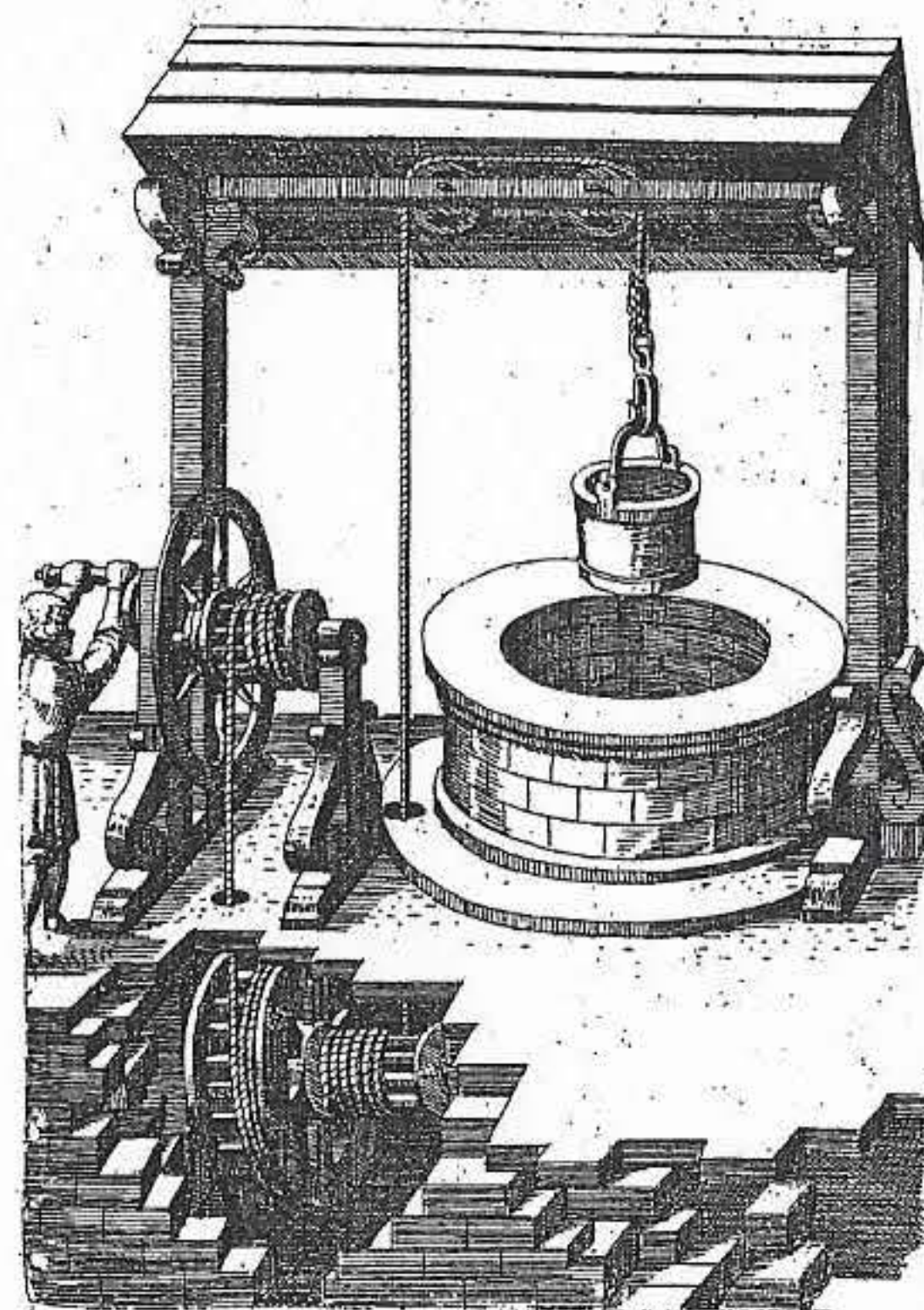
wurden in Manufakturen gefertigt. Sie produzierten zwar rationell in arbeitsteiligen Organisationen, aber in den einzelnen Produktionsstufen meist handwerklich. Ein erheblicher Teil der Menschen, der nicht unmittelbar in der Landwirtschaft tätig war, praktizierte die Selbstversorgung. Fast alles Lebensnotwendige wurde selbst hergestellt. In den Dörfern und kleineren Städten waren die Ackerbürger die dominierende Bevölkerungsgruppe. Neben ihrer beruflichen Tätigkeit als Handwerker, Händler, Beamter u.a.m. bewirtschafteten sie ein Stück eigenes Land und hielten, meist im oder in unmittelbarer Nähe zum Wohnhaus, Nutztiere für den eigenen Bedarf.

Die Bevölkerungszahl in den deutschen Ländern stieg im 19. Jahrhundert rasch an. Waren im Jahr 1800 nur 24,5 Millionen Menschen zu versorgen, so stieg die Zahl 1850 auf 43 Millionen und im Jahr 1900 auf 56 Millionen. Die Ernährung der Bevölkerung bereitete zunehmend Probleme. In unregelmäßigen Abständen traten Hungerjahre auf. Befördert wurde diese Entwicklung noch durch eine dramatische Veränderung in der Bevölkerungsstruktur. Es begann eine Abwanderung erheblicher Teile der Bevölkerung vom Land in die großen städtischen Zentren. Viele verließen das Land auch endgültig und wanderten aus. Ursächlich für diese Entwicklung waren nicht nur die beginnende „industrielle Revolution“ mit der Möglichkeit, ein Auskommen als Arbeiter in den Fabriken zu finden, sondern die rückständigen Verhältnisse auf dem Land, insbesondere auf den ostelbischen Gutswirtschaften. In vielen Provinzen bedeutete Landleben: Flurzwang, Abgabenzwang und Frondienste. Im Ostelbischen war die Landflucht so groß, dass „Leutenot“ herrschte. Die Agrarreformen zu Beginn des 19. Jahrhunderts (z. B. der Edikt zur „Bauernbefreiung“ vom 9. Oktober 1810) bekamen unter dem Druck der Verhältnisse eine ganz andere Bedeutung. Die Veränderungen waren fast schon zwingend. Sie waren allerdings von den lokalen Feudalherren nicht zu erwarten und von den Bauern durch ihre Abhängigkeiten und Lasten auch nicht. Der Anstoß kam „von oben“. In der Praxis führten diese „Reformen“ und ihre Umsetzungsregularien beispielsweise in Preußen zu einer Umschichtung der Land-Besitzverhältnisse, allerdings nicht wie von manchen erwartet zu Gunsten der bäuerlichen Bevölkerung, sondern zu Gunsten des Adels. Die Bauern bezahlten ihre Freiheit mit Ablösungen aus eigenem Land und Geld. Bis zur Hälfte des eigenbewirtschafteten Bodens musste an Ablöse an den Gutsherrn übertragen werden. Überschuldung und der Verlust an Wirtschaftsfläche trieb viele sogenannte „freie Bauern“ in den Ruin. Durch das Hardenberg'sche Regulierungsedikt vom 14.9.1811 konnten zwar die meisten der immer noch zu leistenden Frondienste abgelöst werden, aber die hohen Ablösungen verstärkten die Überschuldung vieler Höfe. In Preußen verloren in dieser Zeit über 100000 Bauern mit ihren Familien und ein Mehrfaches an Landarbeitern alles. Fast 40000 Bauernhöfe und gut 70000 spannfähige Besitzstellen wurden aufgegeben. Ein Teil der Menschen wanderte aus. Der größte Teil ging in die Städte und verdingte sich als Tagelöhner. Aus dieser Umschichtung, dem Heer der um ihre Höfe gebrachten Bauern und der Masse der mittellosen Landarbeiter, bildete sich einige Jahrzehnte später das Arbeitskräftereservoir, aus dem die ersten Industriebetriebe ihre Arbeiter rekrutierten.

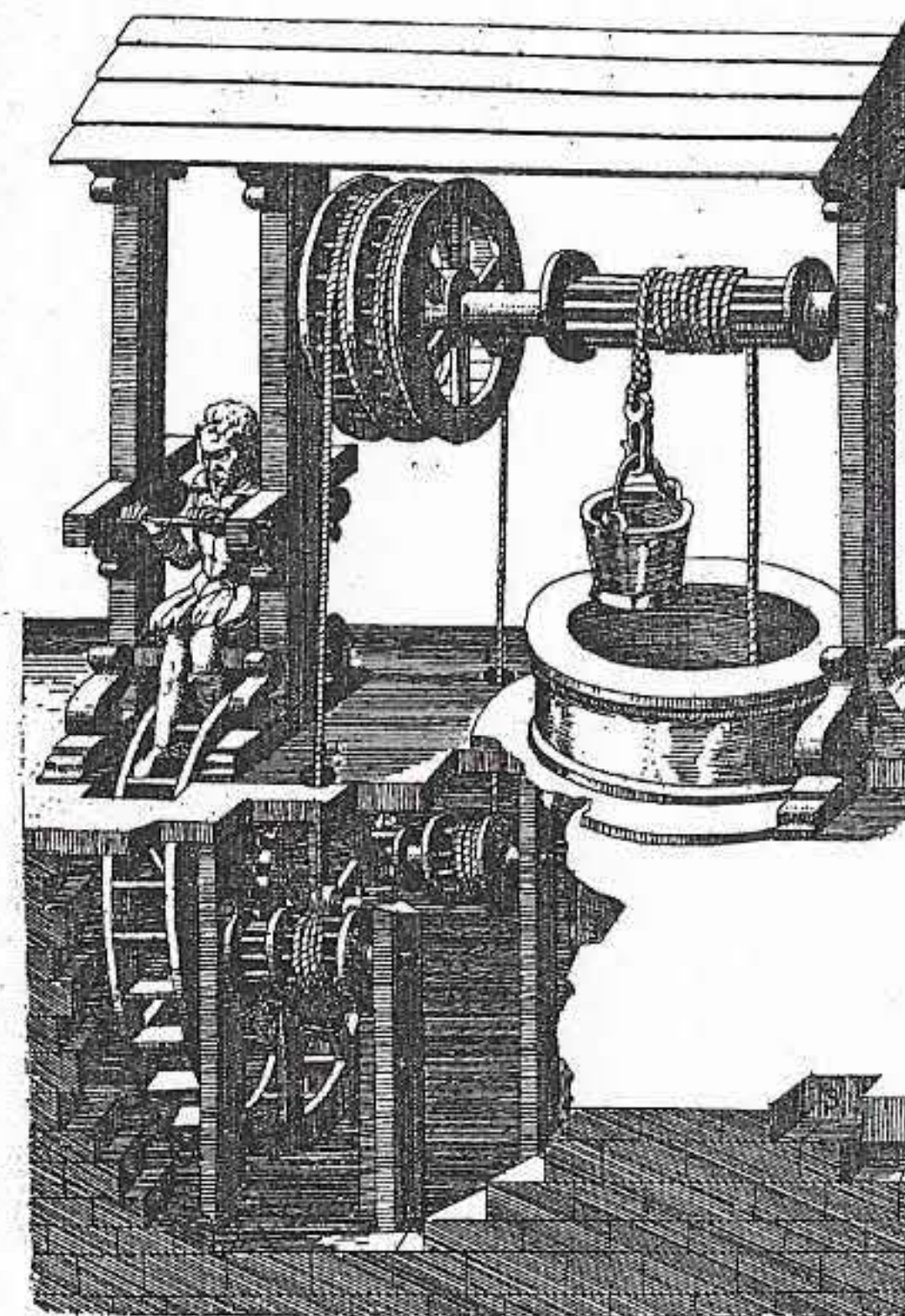
In den deutschen Ländern war im 18. Jahrhundert eine Basis für eine fortschrittliche technische Entwicklung nur in geringem Umfang bei den Handwerkern und Manufakturen vorhanden. Deutlich besser waren die Verhältnisse in der Berufsgruppe der Instrumentenbauer und „Kunstmeister“. Trotz dieser ungünstigen Ausgangsbedingungen wurden in den Fällen, in denen die „Not“ groß war, auch hierzulande beachtenswerte Kraft- und Arbeitsmaschinen gebaut und eingesetzt. Hervorzuheben sind insbesondere die großen Einrichtungen im Bergbau zur Wasserhebung und die in den verschiedenen Manufakturen und Hüttenwerken zum Antrieb von Arbeitsgeräten eingesetzten Maschinen. Die Gruppe der „Kunstmeister“ arbeitete seit je her unabhängig von allen Zunftzwängen, mit allen Materialien und mit allen Bearbeitungsverfahren. Es waren die ersten Ingenieure ihrer Zeit.



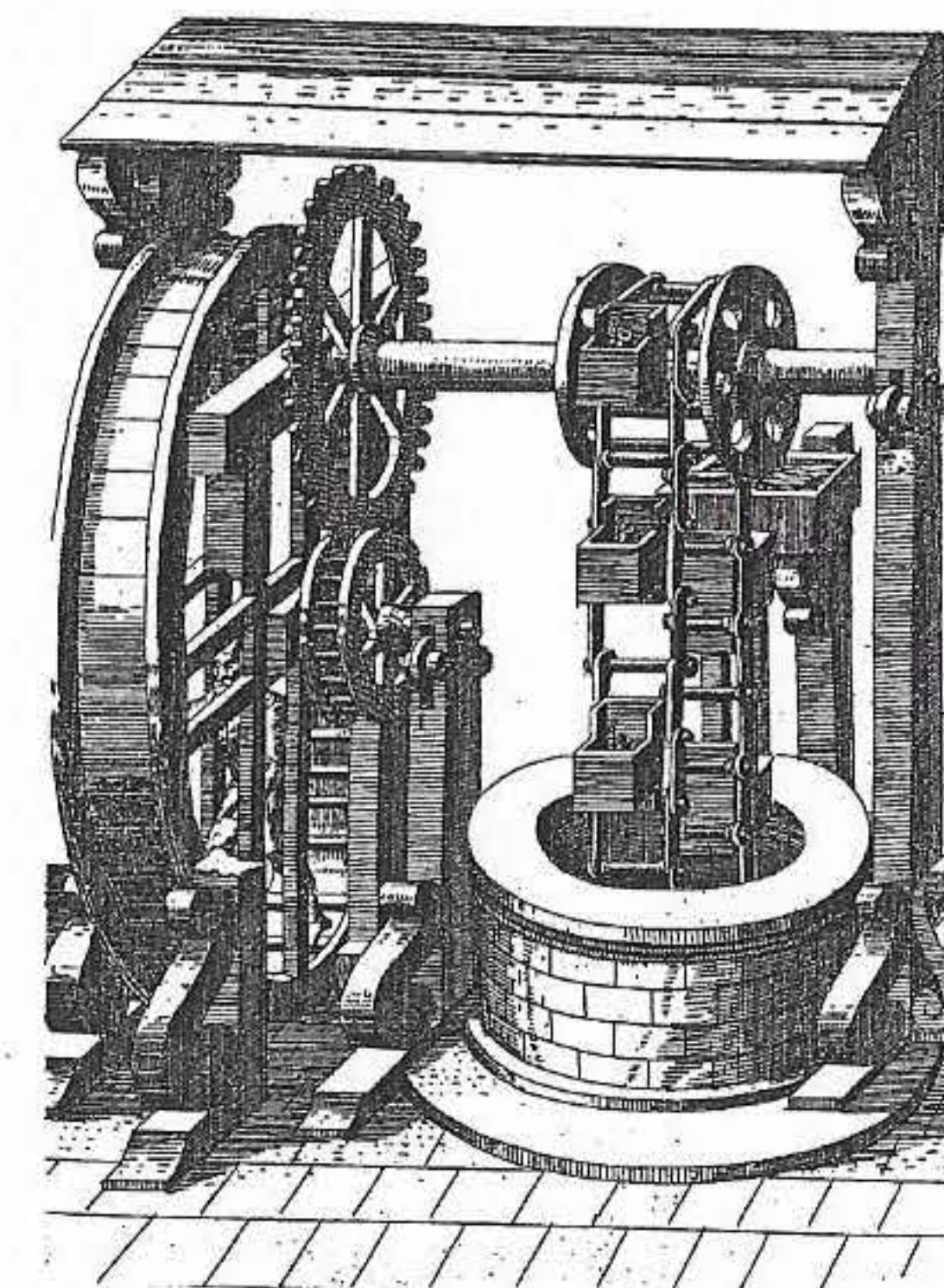
Wasserhebung für den Betrieb von Springbrunnen mit Hilfe einer Windmühle. Windmühle treibt ein doppeltes Pumpwerk mit Kettenkolben.



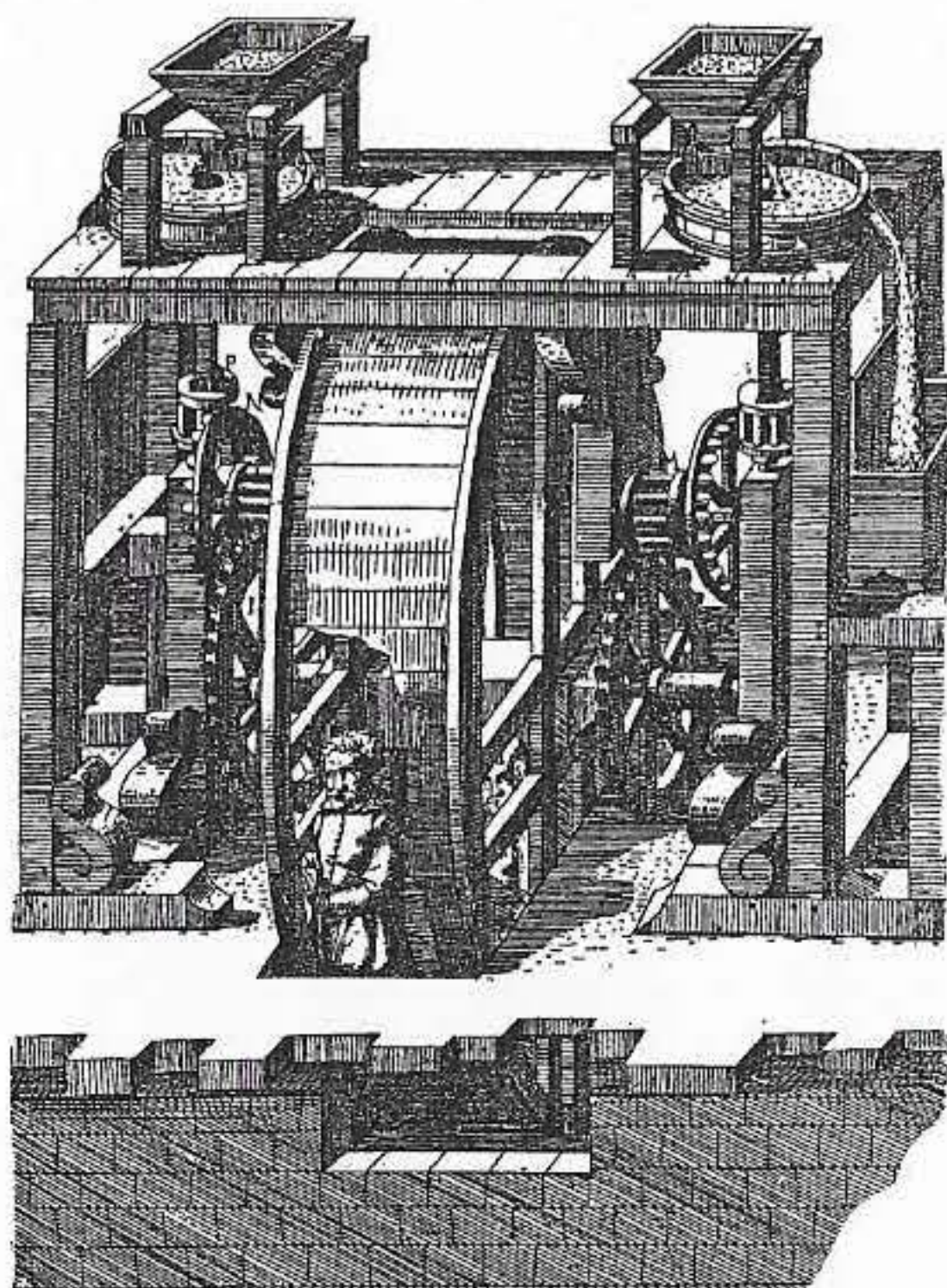
Mit Handkurbel betriebener Brunnen. Wasserhebung mit Differenzialwinde



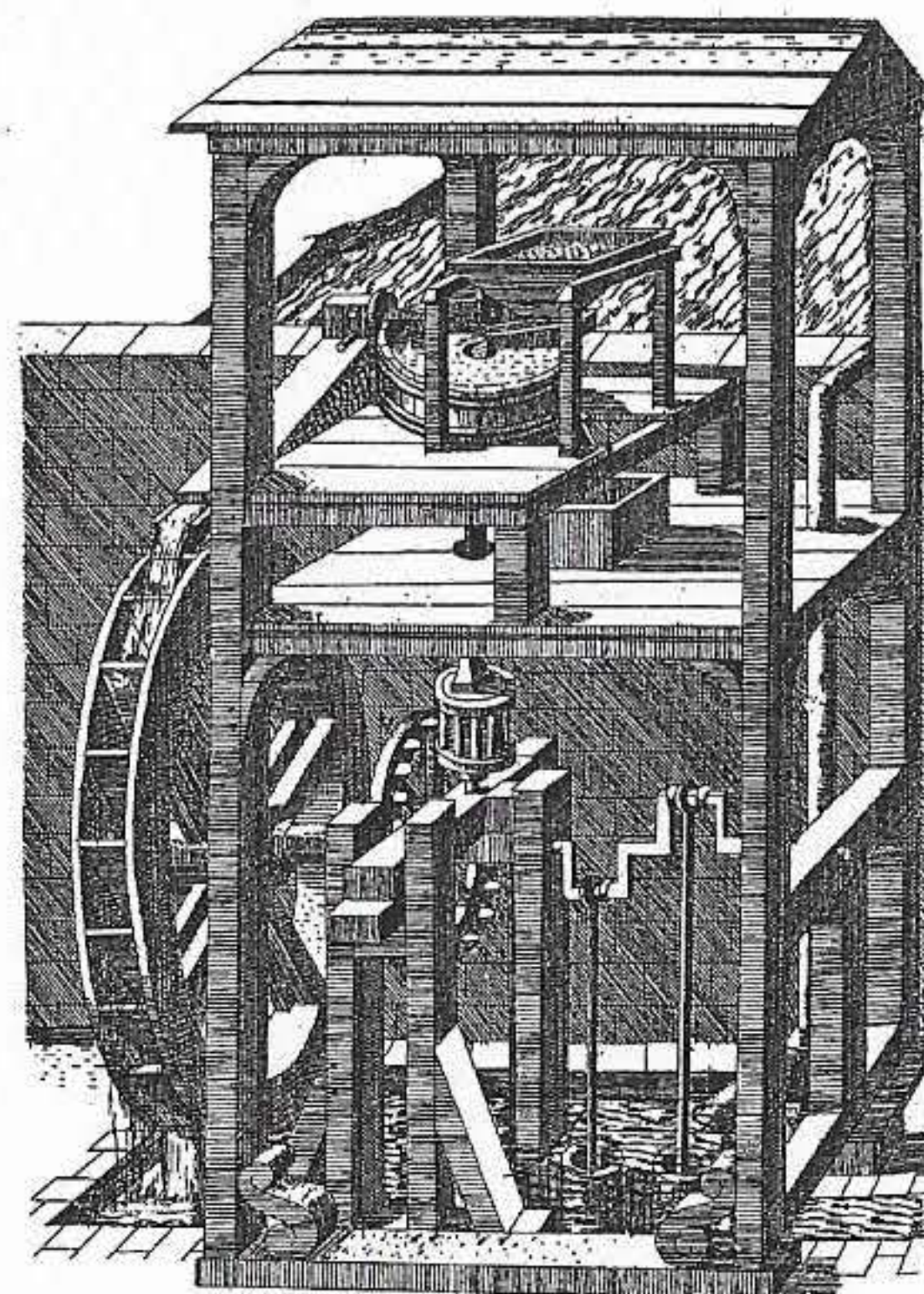
Brunnenwinde mit äußerem Tretradantrieb. Wasserhebung mit gegenläufigen Wassereimern an Seilen.



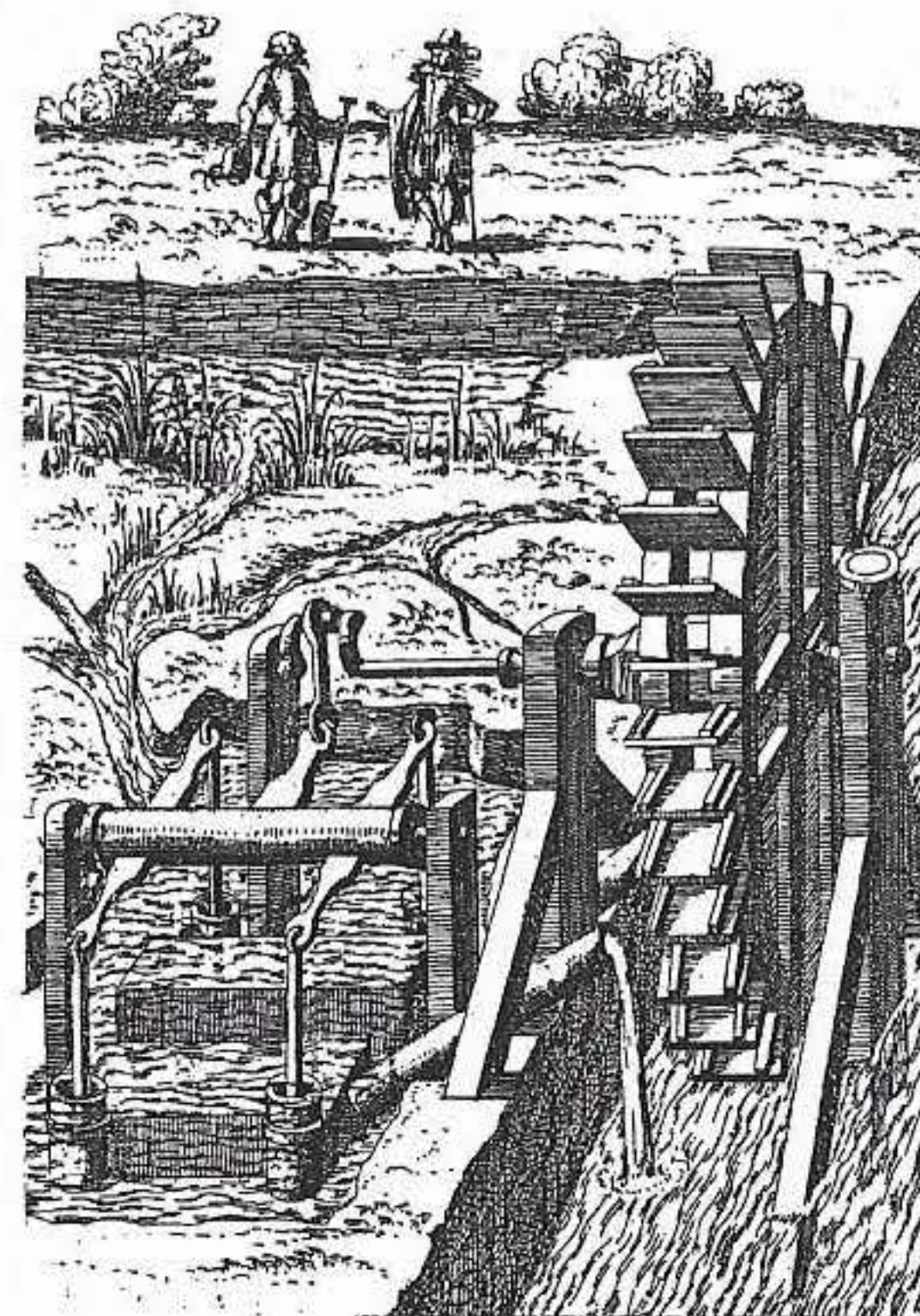
Großer Brunnen mit innenbegehbarem Tretradantrieb. Wasserförderung durch Eimerketten-Mechanismus.



Kornmühle mit doppeltem Mahlwerk und Antrieb durch ein innenbegehbare Tretrad.

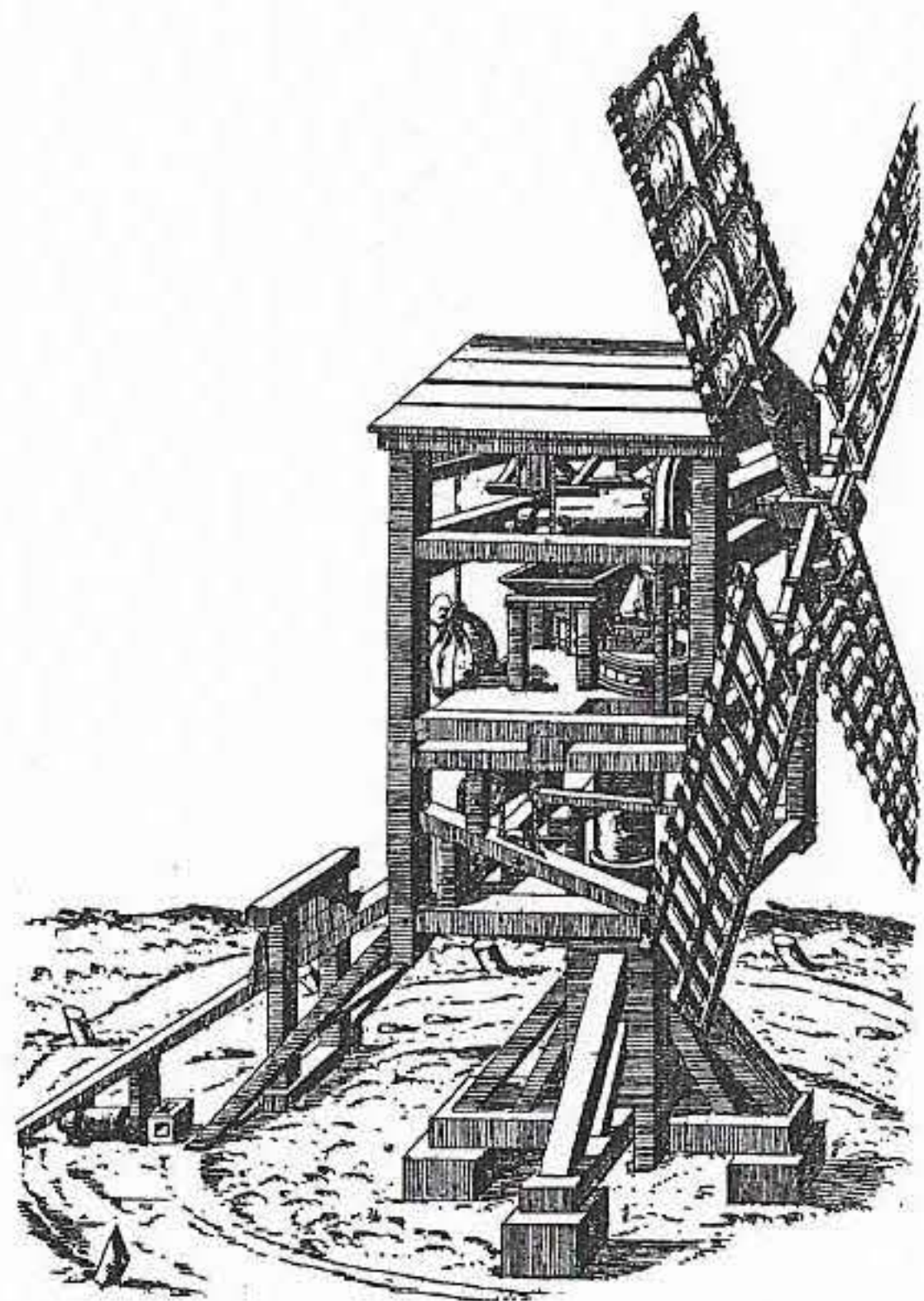


Kombinierte Kornmühle und Pumpwerk mit Antrieb durch ein Wasserrad. Doppelte Wasserpumpe mit Kurbeltrieb.

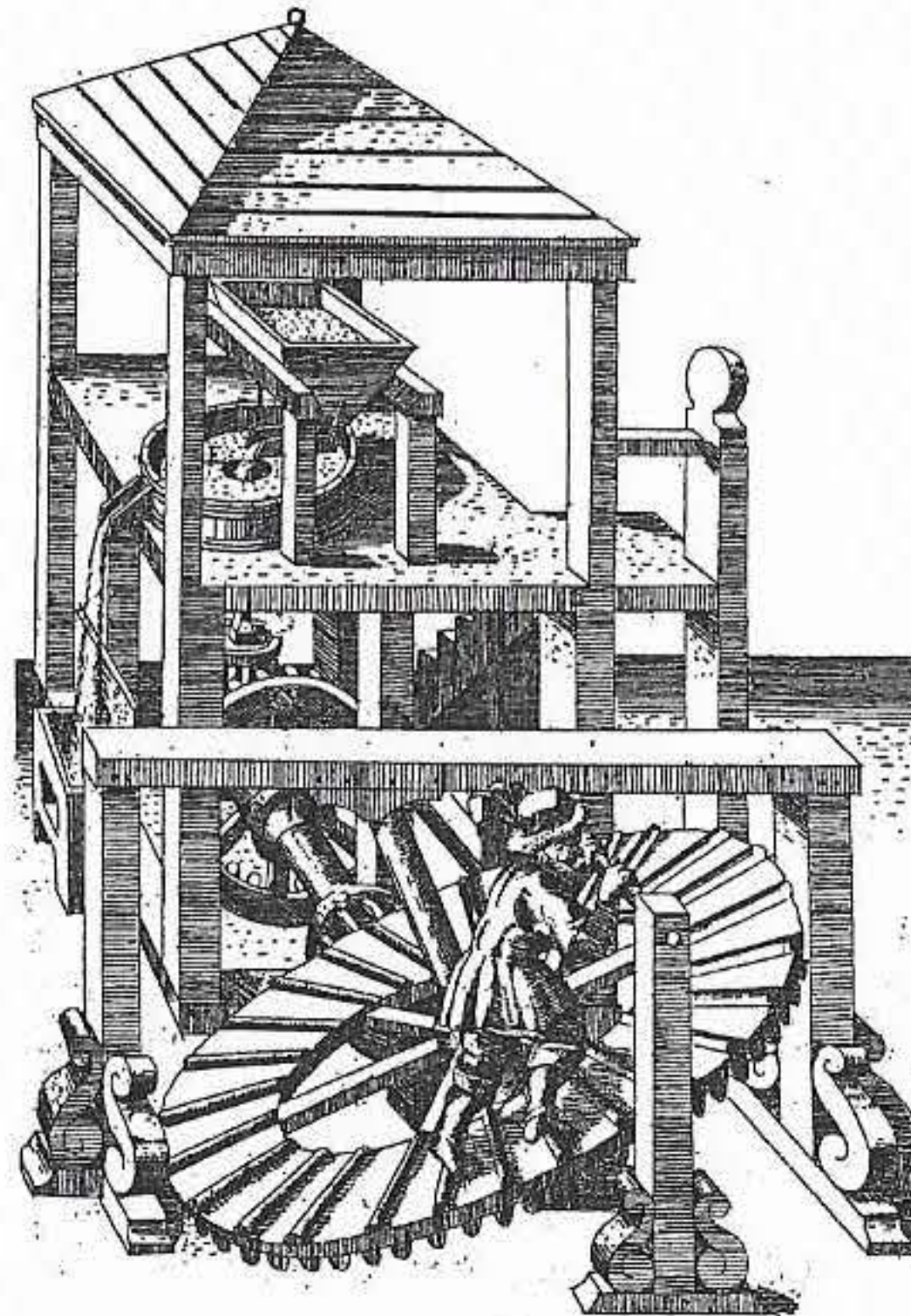


Entwässerung eines Sumpfes mit Kolbenpumpen. Antrieb der vier Pumpen über ein Wasserrad mit Kurbelwelle, Pleuel und Hebelwerk.

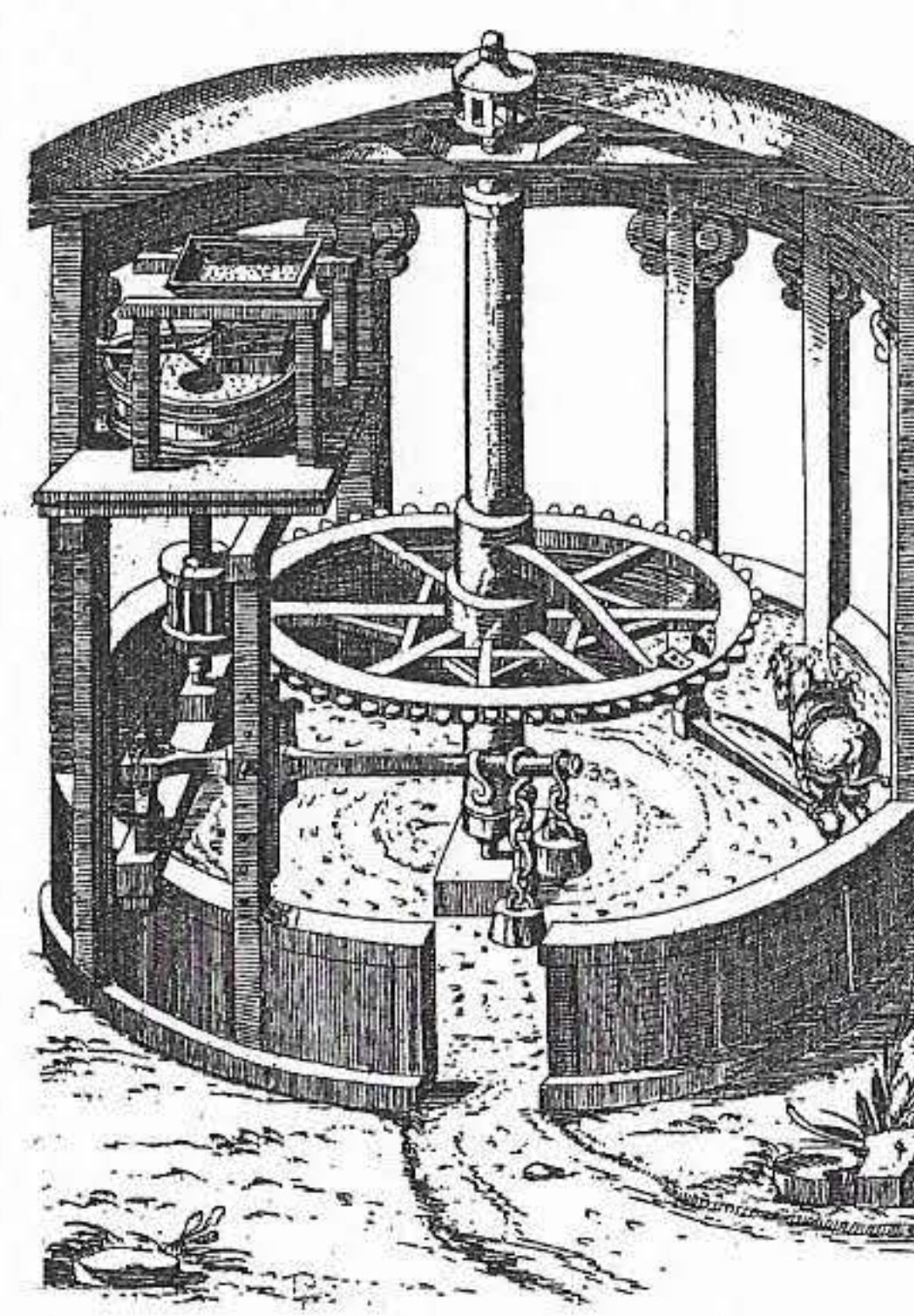
Tafel 2.1/1 (Teil 1):
Stand der
Maschinentechnik
(um 1750)



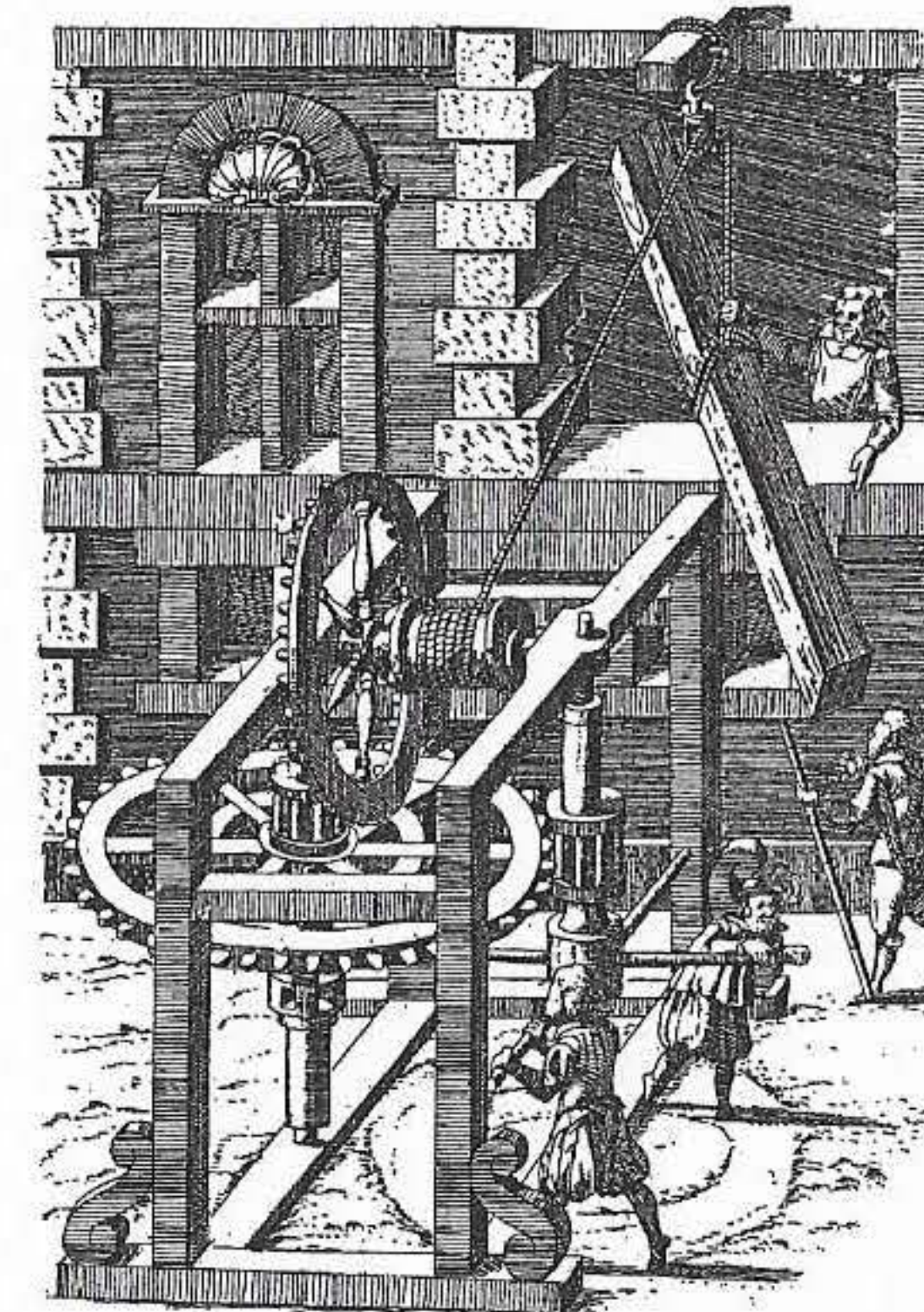
Kornmühle mit Antrieb durch ein Windrad



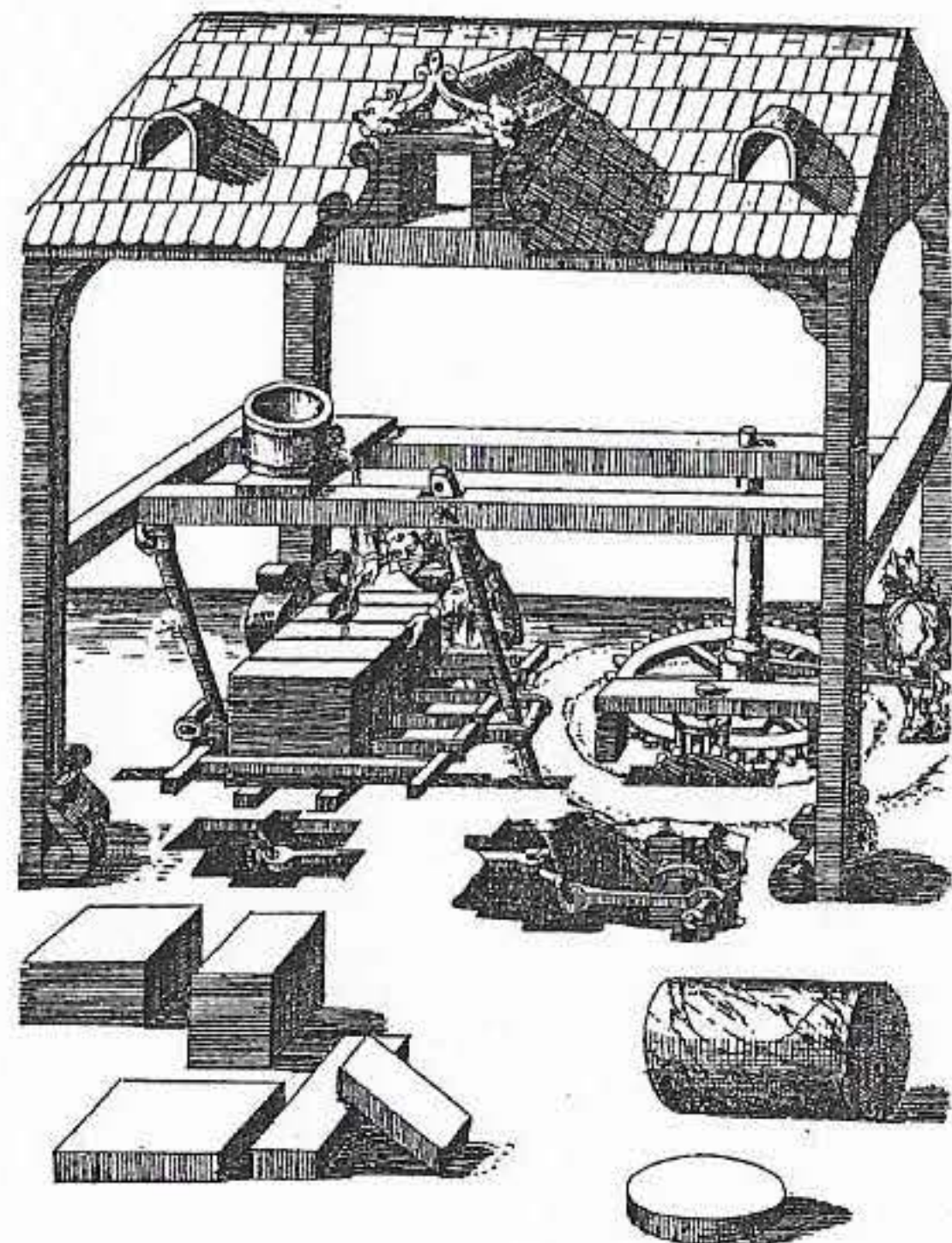
Kleine Kornmühle mit Antrieb durch eine schräge Tretscheibe. Größere Mühlen mit diesem Antrieb wurden durch Tiere angetrieben.



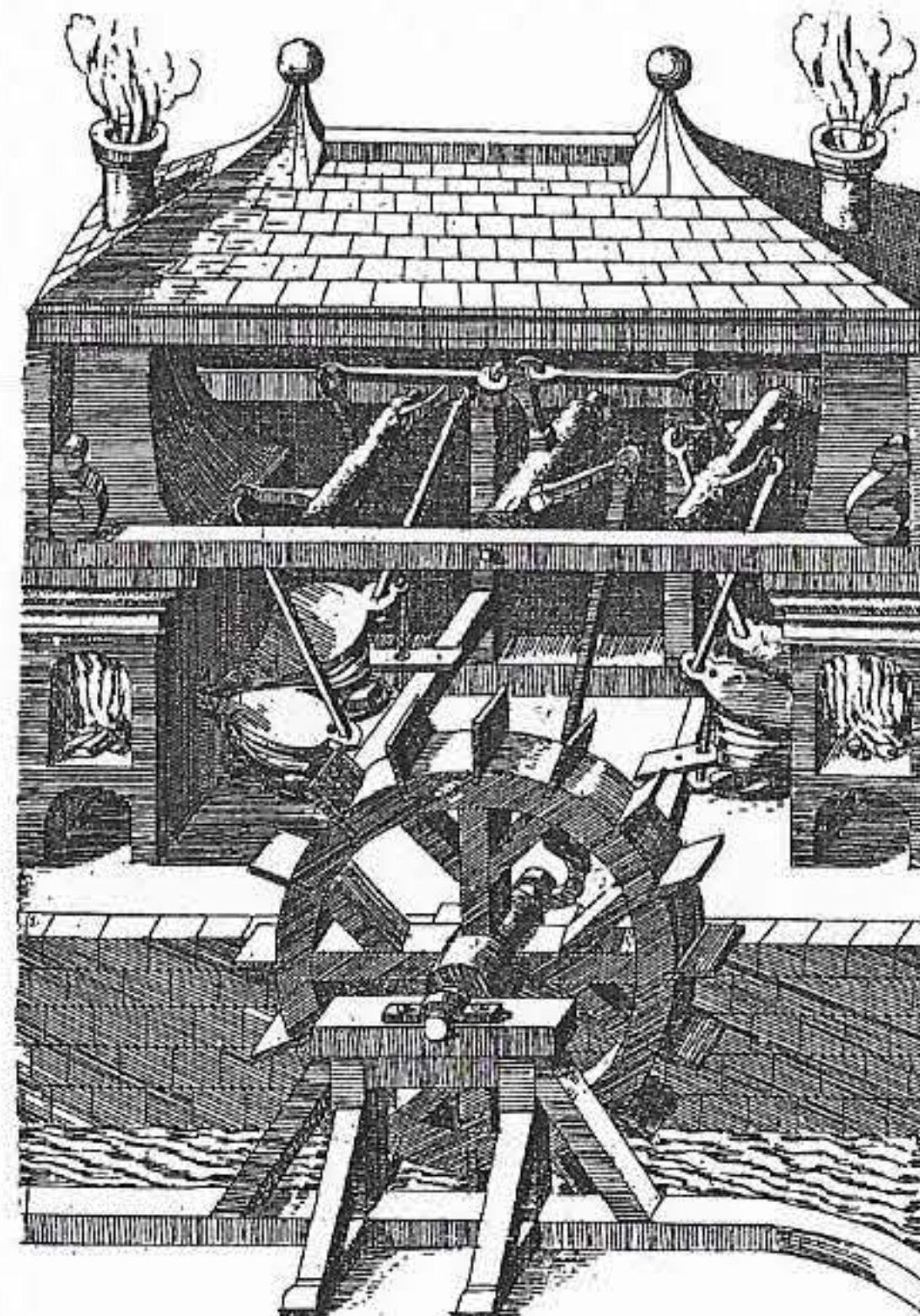
Kornmühle mit einfacher Untersetzung und Antrieb durch einen Pferdegöpel.



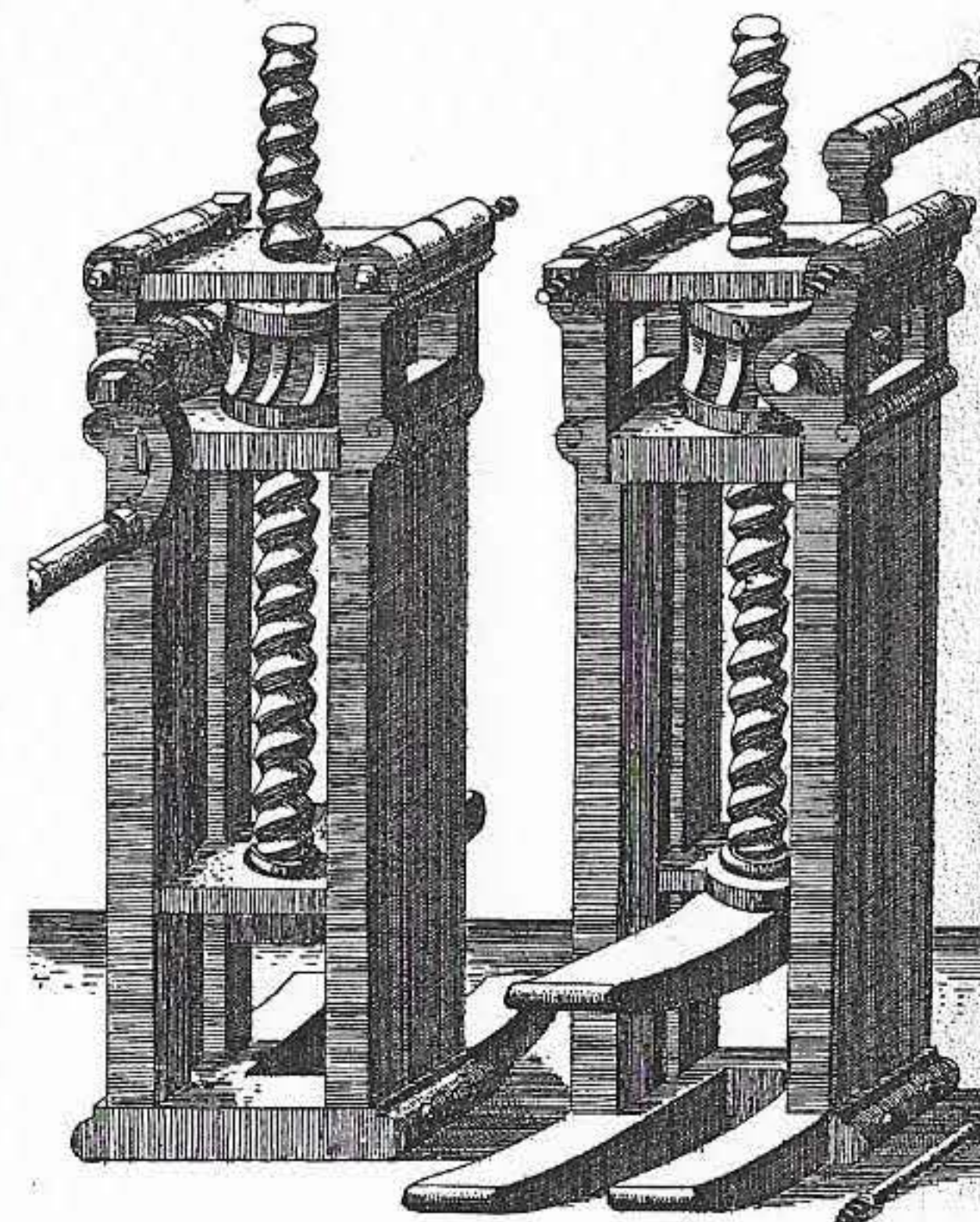
Hebezeug (Hebebock) für große Lasten mit Antrieb durch mehrere Personen mit Spill, mehrfacher Untersetzung und Winde.



Antrieb einer Steinsäge mit Pferdegöpel. Der Kurbel- und Hebelmechanismus zum Antrieb der Säge liegt unterflur.



Mechanische Lufterzeugung für eine Schmiede. Antrieb durch ein Wasserrad mit Kurbel. Über Hebel und eine obenliegende Welle werden vier Blasebälge betätigt.



Mechanische Hebehilfe für große Lasten mit Schraubspindel und Schneckengetriebe.

Tafel 2.1/1 (Teil 2):
Stand der
Maschinentechnik
(um 1750)

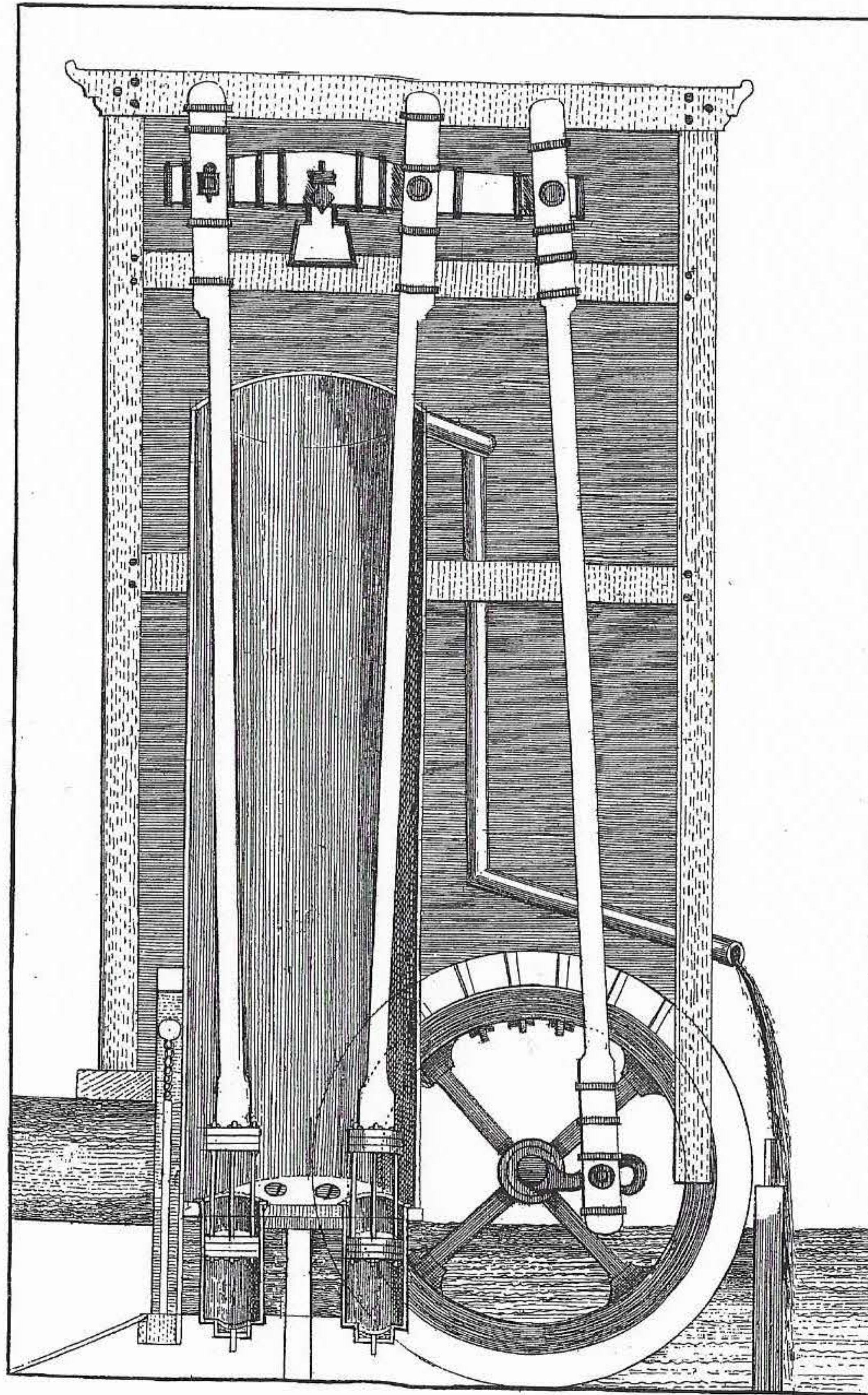


Bild 2.1/1: Große Wasserhebungsmaschine mit Antrieb durch ein Wasserrad, Balancier und doppelter Pumpe (um 1739)

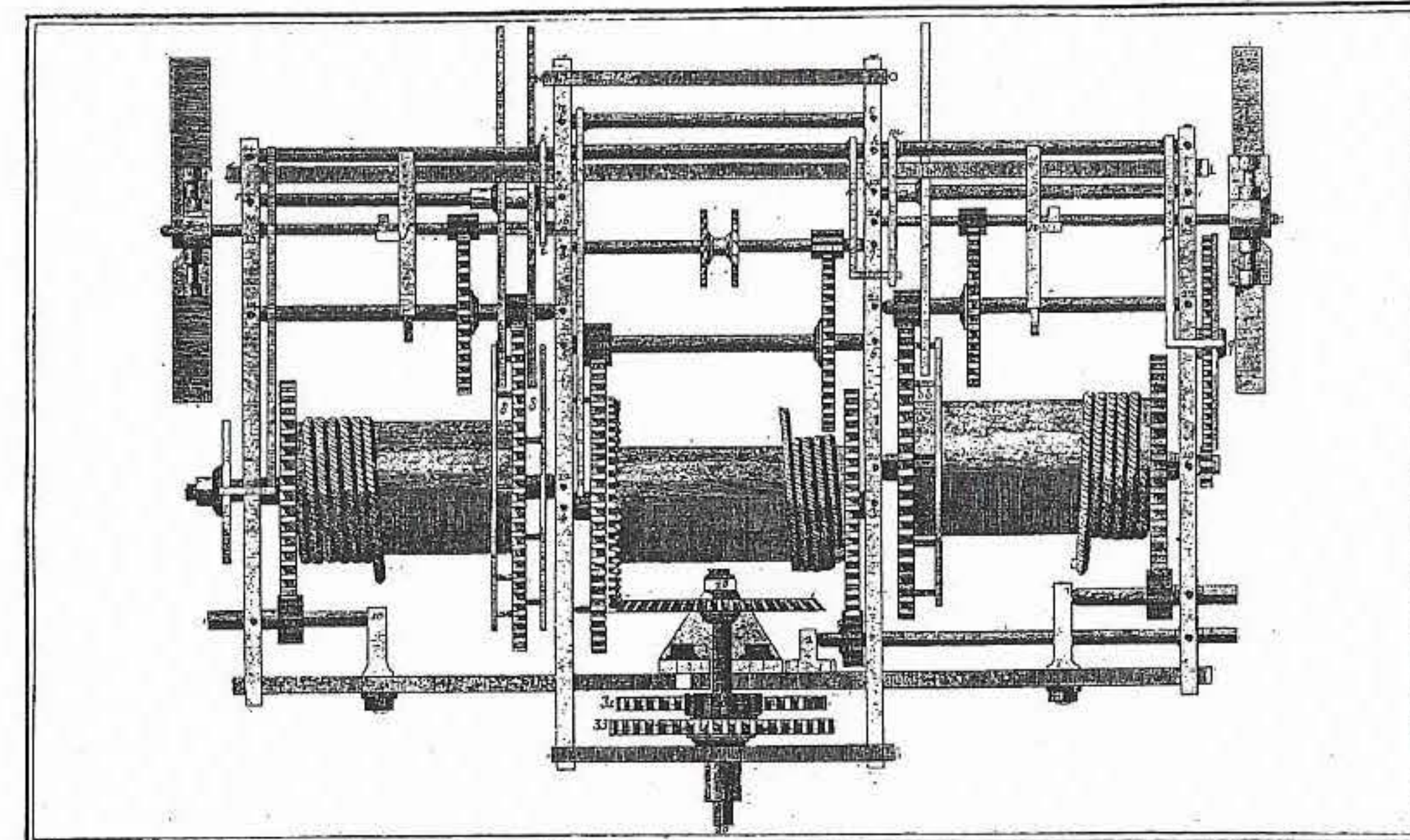


Bild 2.1/2: Teil des Werks einer Großuhr (unbekannter „Kunstmeister“, um 1762)

Anmerkung:

Um die Entwicklung zu verstehen, müssen zwei Einflussfelder betrachtet werden, zum einen die gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und zum anderen der Stand von Naturwissenschaft und Technik. Beide Felder sind voneinander abhängig und beeinflussen sich. Im deutschsprachigen Raum kam noch ein Entwicklungshemmnis hinzu, und zwar die extreme Zergliederung in Kleinstaaten. Die gesellschaftlichen Verhältnisse im 18. Jahrhundert waren geprägt durch den Feudalismus und die Ständeordnung. Das wirtschaftliche Leben orientierte sich bis weit in das 18. Jahrhundert an den Leitidee Merkantilismus. Das politische und wirtschaftliche Handeln war darauf gerichtet, die Menge des verfügbaren Staatsvermögens durch eine positive Handelsbilanz zu vergrößern. Als unmittelbare Werteäquivalente galten Gold und Silber. Der Bergbau, insbesondere der Abbau hochwertiger Erze, hatte dabei eine große Bedeutung. Die Landwirtschaft deckte im Wesentlichen nur den Binnenbedarf. Die regionale und politische Zergliederung des Landes in eine Vielzahl an Kleinst- und Kleinstaaten führte zu heute kaum noch vorstellbaren Problemen in allen Bereichen des täglichen Lebens. Das gesamte Wirtschaftsleben war durch fehlende Vereinheitlichungen behindert. Es gab kaum etwas, was nicht regional unterschiedlich gehandhabt wurde. Maße, Gewichte, Münzen, Entfernungen usw., alles war von Land zu Land verschieden. Selbst die Tageszeit konnte von Kleinstaat zu Kleinstaat unterschiedlich sein. Die Feudalherren versuchten durch unterschiedliche Reglementierungen und Verwaltungsvorschriften ihren Herrschaftsbereich abzugrenzen. Die meisten standen jeglichen Veränderungen ablehnend gegenüber. Die Herrschaft Napoleons und seine Reformen waren nur eine kurze Episode. Nach den Befreiungskriegen scheiterte eine politische Neuordnung in Europa. Auf dem Wiener Kongress wurden die Ideen der französischen Revolution und die des fortschrittlichen Bürgertums durch restaurative Kräfte wieder in den Hintergrund gedrängt. Auswirkungen dieser Rückwärtsentwicklung waren noch am Anfang des 20. Jahrhunderts spürbar. Auch die in einigen Bereichen durchgeführten Reformen änderten an den Lebensbedingungen und den Abhängigkeiten der Bevölkerung vom „1. Stand“ nur sehr allmählich etwas. In Preußen war Hardenberg 1810 zum Staatskanzler ernannt worden. Er, und Stein, setzten eine Reihe von Veränderungen in Gang, die in einigen deutschen Gebieten schon unter Napoleon in Ansätzen etabliert worden waren. Die ersten Reformedikte betrafen eine Agrarreform. Sie wird heute fälschlich als „Bauerbefreiung“ bezeichnet. Es folgten Edikte zur Städteordnung mit dem Ziel einer kommunalen Selbstverwaltung, eine Heeresreform, ein Edikt zur Ablösung des Kabinettsystems durch eine Ministerverantwortung und ein Finanzedikt zur Vereinheitlichung des Steuerwesens und zur Aufhebung der Trennung von Stadt und Land. Für die wirtschaftliche Entwicklung war der Erlass einer neuen Gewerbeordnung von großer Bedeutung. Durch die Gewerbefreiheit und die Abschaffung des Zunftzwangs waren die Voraussetzungen für einen freieren Wettbewerb geschaffen. Diese Reformen galten nur für Preußen. In den anderen Ländern waren die Verhältnisse anders, je nach Landesherren, mal besser oder auch schlechter. Sehr spät begann man, die Schwierigkeiten und Hemmnisse, die durch die nationale Zersplitterung gegeben waren, einzusehen. 1816 wurde der Deutsche Bund gegründet, eine lose Verbindung weitgehend selbstständiger, feudaler Kleinstaaten und einiger Freier Städte. Die ersten Handels- und Zollvereine zwischen einzelnen Teilstaaten entstanden. Das führte dann 1834 letztendlich zur Gründung des Deutschen Zollvereins, allerdings noch ohne Österreich.

Mitte des 18. Jahrhunderts waren die wichtigsten Produktionssegmente, gemessen an der Anzahl der Beschäftigten, die Landwirtschaft und mit gehörigem Abstand der Bergbau, die Eisenerzeugung und -verarbeitung, das Textilgewerbe, Handwerk und Handel sowie das Transportwesen. In allen diesen Segmenten zeichneten sich durch den steigenden Güterbedarf gravierende Veränderungen ab. Das Güteraufkommen stieg mit der Bevölkerungszahl, mit immer größeren Arbeitsmaschinen konnten die benötigten Waren immer schneller und preiswerter hergestellt werden, die Dimensionen der erforderlichen Kraftmaschinen, meist Wind- und Wasserkraftmaschinen sowie unterschiedliche Göpel, nahmen ebenfalls zu. Die größten Wasserkraftmaschinen hatten gigantische Abmessungen. Für ihren Betrieb wurden ganze Flussläufe umgestaltet. In der **Tafel 2.1/2** ist als Beispiel die Anlage einer Großmühle mit Antrieb durch ein Wasserrad wiedergegeben. Der genutzte Flussarm wurde durch das Gebäude hindurchgeführt. Es gab Pferdegöpel, für deren Betrieb hunderte an Tieren in stetem Wechsel im Einsatz waren. Holz als Grundwerkstoff für tragende Maschinenteile wurde nach und nach durch metallische Werkstoffe ersetzt. Als Energieträger übernahm die Kohle, primär die Steinkohle, die führende Rolle. Die Erzeugung von Eisen auf Steinkohlebasis gestattete die rationelle Herstellung größerer Mengen. Bauteilen aller Art wurden vermehrt aus Eisenwerkstoffen gefertigt. Das Gießen, auch das von sehr großen Werkstücken, wurde rationelle Basistechnologie. Die steigende Zahl an Arbeitsmaschinen erforderte einen immer höheren Energieeinsatz und eine kontinuierliche Energieversorgung. Die Lösung des „Energieproblems“ wurde immer dringender. Als Kraftmaschine ersetzte die Dampfmaschine die Wasser- und Windkraft sowie die tierischen und menschlichen „Antriebe“.

Anmerkung:

An drei Produktionssegmenten sollen die komplexen Veränderungen erläutert werden, am Bergbau, dem Textilgewerbe und an der Landwirtschaft.

Bergbau:

Der steigende Bedarf an Metallen und Kohlen führte schon seit dem 15. Jahrhundert immer wieder zu Problemen beim Abbau. Die Schächte mussten immer tiefer getrieben werden. Das einfließende Grubenwasser konnte nur schwer bewältigt werden. 1584 schrieb die Stadt Beuthen an ihren Landesherrn einen Bittbrief in dem sie allgemeingültig und treffend die Verhältnisse darlegte: „... die vielfältigen Berggebäude, Schmelzhütten und Erzwäschten, die die Vorfahren besessen haben, die aber alle miteinander erlegen und in Fall gekommen sind, denn die Wassernothe war zu mächtig und zu groß gewesen, und so oft sie es wieder und wieder versucht hatten, so hat doch die Gewalt des Wassers, sobald sie das angetroffen, jedesmal zu lassen sie getrieben, dadurch dann die Bergwerke ganz und gar erlegen seien ...“ Es mussten infolge dieser immer größeren „Wassernothe“ ganze Orte und Bergbaugebiete aufgegeben werden. Die Leistungen der vorhandenen Mittel, meist sogenannte „Roßwerke“, die Pumpen antrieben oder der Einsatz von Wassersäulenmaschinen, die die potentielle Energie einer Wassersäule zum Heben von Grubenwasser nutzten, reichten nicht aus. Besonders prekär war die Situation in England. In den alten Bergwerksbezirken von Cornwall waren Ende des 17. Jahrhunderts die Wasserzuflüsse so groß geworden, dass an einigen Orten die Tag- und Nachtarbeit von Roßwerken mit über 500 Tieren nicht reichten, um das Wasser zu halten. Der Abbau in größeren Tiefen musste aufgegeben werden. In den deutschen Ländern hatten unter den ungünstigen Wasserverhältnissen vor allem der mansfeldische und der schlesische Bergbau zu leiden. In diesen Regionen war auch der Einsatz von Wasserkraftmaschinen wie beispielsweise im Harz nicht möglich, es gab kein genügendes Gefällewasser. Die tiefen Gruben „soffen regelmäßig ab“. Ein Teil musste dauerhaft aufgegeben werden. Es ist nicht verwunderlich, dass die intensiven Bemühungen zur Entwicklung einer Kraftmaschine auf dem Gebiet der Wasserhaltung ansetzten. Die neue Maschine sollte eine große Leistung haben und unabhängig von Wind und Wasser betrieben werden können. Wenn man die kleineren Dampfmaschinen, die in fürstlichen Parks für den Betrieb von Springbrunnen und Fontänen eingesetzt worden sind, außer Acht lässt, so kamen die ersten atmosphärischen Dampfmaschinen als Wasserhebungsmaschinen im Bergbau zum Einsatz.

Textilgewerbe:

Die großen Umwälzungen der Industriellen Revolution zeichneten sich schon zu Beginn des 18. Jahrhunderts ab, allerdings nicht auf dem Gebiet der Maschinentechnik, sondern im Textilgewerbe. Die großen Manufakturen kamen bei dem steigenden Bedarf an Web- und Wirkwaren an ihre Grenzen. Bei der Verarbeitung beispielsweise von Schafwolle musste die Rohwolle vorbereitet und gereinigt werden, dann für das Spinnen aufbereitet und zu Garnen gesponnen, danach gewebt oder gewirkt und anschließend zugerichtet werden. Schon seit langem waren in den einzelnen Prozessstufen mechanische Hilfen im Einsatz. Aber besonders in den

arbeitsintensiven Prozessen des Spinnens und Webens zeichneten sich zunehmend Engpässe ab. 1733 hatte in England John Kay die Arbeitstechnik der Weberei durch die Erfindung des „Schnellschützens“ entscheidend verbessert. Ein Weber mit mechanischem Webstuhl benötigte bei feinen Garnen jetzt die Garnmenge von bis zu einem Dutzend Handspinnern. Die Versorgung mit Vorprodukten geriet in eine entscheidende Krise. Die Großmanufakturen sprachen von einem „Garnnotstand“, die handwerklichen Garnspinner konnten den Bedarf nicht mehr decken. Der Einsatz von mehr Spinnern war in vielen Gegenden nicht möglich. Die Arbeitskräfte fehlten, da das Spinnen im Nebenerwerb so wenig abwarf, dass der Lebensunterhalt durch Arbeiten in anderen Gewerben verdient werden musste. Der „Garnnotstand“ führte zu intensiven Bemühungen, das Spinnen zu mechanisieren. Am Anfang gelang das nur für die Baumwolle. Der englische Weber James Hargreaves erfand 1767 eine entsprechende Maschine. Sie spann am Anfang nur 8 Fäden gleichzeitig, aber im Verlauf der Entwicklung konnte die Kapazität auf über 60 gesteigert werden. Die Technik wurde in der folgenden Zeit weiter verbessert, so dass am Ende des 18. Jahrhunderts in Maschinenspinnereien die unterschiedlichsten Garne in guter Qualität gesponnen werden konnten. Zum Antrieb reichte meist noch die Wasserkraft oder der Göpel. Die industrielle Revolution, mit dem Ersatz der menschlichen Kraft und Geschicklichkeit durch Maschinen, begann in diesem Sektor der Textilverarbeitung. Auch die ersten modernen Fabriken wurden in den 70er Jahren des 18. Jahrhunderts in England von Richard Arkwright gebaut. Es waren mehrstöckige Backsteingebäude, schlichte, zweckmäßige Langgebäude einfacher Art. Die Wasserkraftanlage oder das Roßwerk wurden bei der Planung schon mitberücksichtigt.

Ab 1770 begann mit der Kattunweberei und Kattundruckerei eine neue Phase im Textilgewerbe. Die Kattune, ein ursprünglich aus Indien stammender bedruckter Baumwollstoff, entwickelte sich zu einer begehrten Modeware. Der steigende Bedarf war durch Manufakturen auf Dauer nicht zu decken. Entscheidend war aber, dass zur Kattunherstellung unterschiedliche, sehr genau aufeinander abgestimmte Produktionsschritte durchgeführt werden mussten. Der steigende Bedarf und die komplizierte Herstellung machten eine neue Form der betrieblichen Organisation notwendig. Diese Veränderung war der entscheidende Impuls für die weitere „Industrialisierung“ des Textilgewerbes. Das traditionelle Textilgewerbe war im „Verlagssystem“ organisiert. Ein „Verleger“ koordinierte als Händler eine Vielzahl oft weit verstreuter Zulieferer, die häufig in Heimarbeit produzierten. Warenmengen, Termine und Qualität schwankten immens. Es bedurfte einer völlig neuen Form der Organisation und einer räumlichen Zusammenführung der einzelnen Prozessschritte, um den neuen Anforderungen gerecht zu werden. Konzentration, Mechanisierung, Arbeitsteilung, Spezialisierung waren die Zauberformeln jener Zeit - die ersten industriellen Betriebe entstanden. Der große Kapitalbedarf zum Aufbau einer modernen Produktionsstätte konnte nur durch neue Formen der Kapitalbeschaffung gedeckt werden, z. B. durch die Vergabe von Anteilsscheinen, Hinzunahme von Teilhabern u.a.m. Die Betriebe konnten ihren Energiebedarf durch die übliche Wasserkraft nicht mehr decken und große Göpel und Roßwerke, die unabhängig von der Witterung hinreichend Energie liefern konnten, waren mit ihrem extremen Bedarf an Pferden zu aufwendig und im Betrieb unwirtschaftlich. Der Einsatz der Dampfmaschine gestattete eine Vervielfachung der Herstellungsmengen und eine drastische Reduzierung der Warenpreise. Das führte wiederum zu einer noch größeren Nachfrage. Viele Web- und Wirkwaren, die früher nur einem exklusiven Kreis von Abnehmern zugänglich waren, wurden für die Allgemeinheit erschwinglich. Die ersten Dampfmaschinen im Textilgewerbe wurden in den deutschen Ländern erst spät in Betrieb genommen. In den sächsischen Baumwollspinnereien, die als die fortschrittlichsten in Deutschland galten, wurden sie erst nach 1812 eingesetzt. Die verwendeten Maschinen waren einfache Balanciermaschinen. Die im **Bild 2.1/3** dargestellte Maschine von Georg von Reichenbach war eine der moderneren „Hochdruck-Maschinen“ ihrer Zeit.

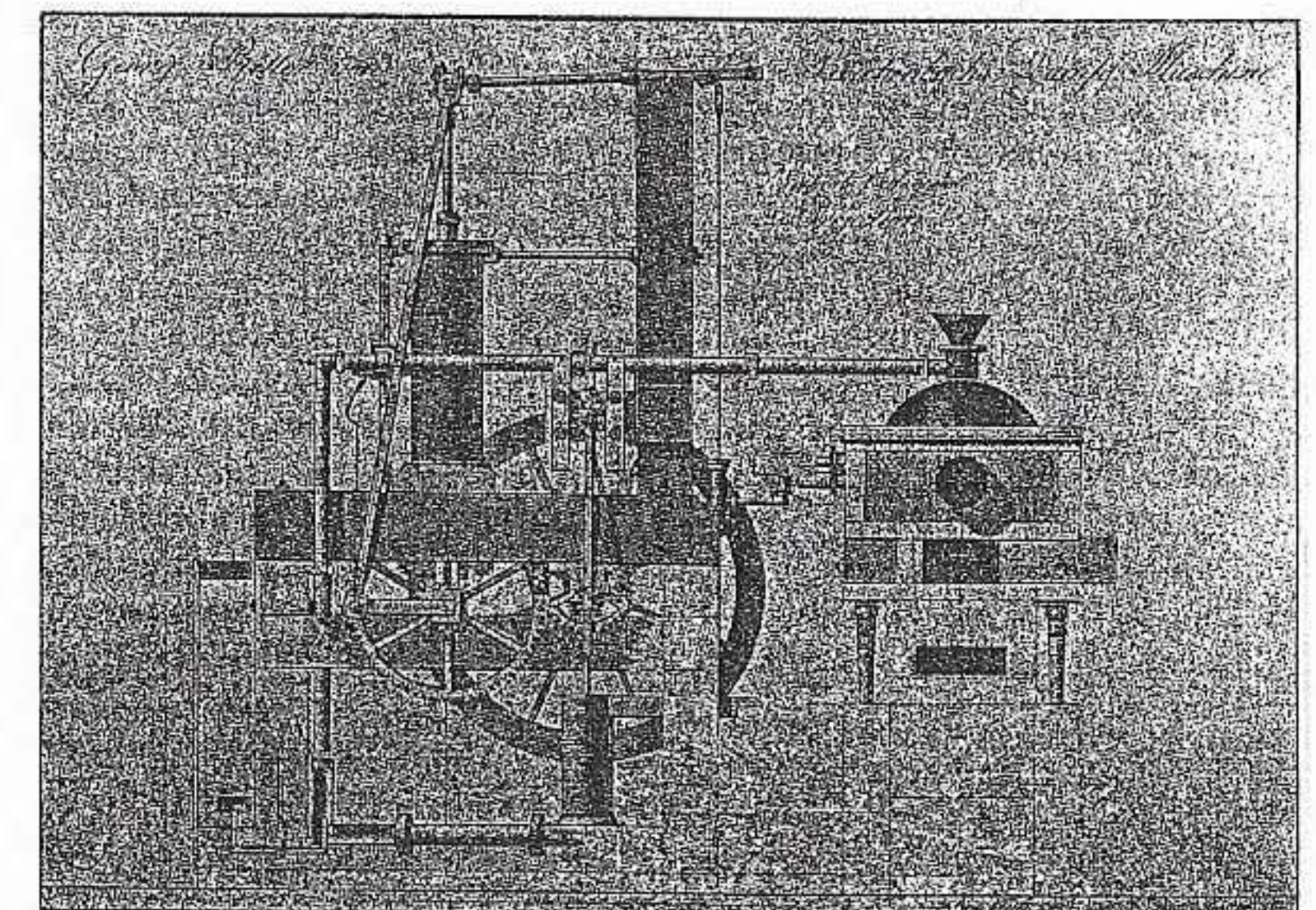
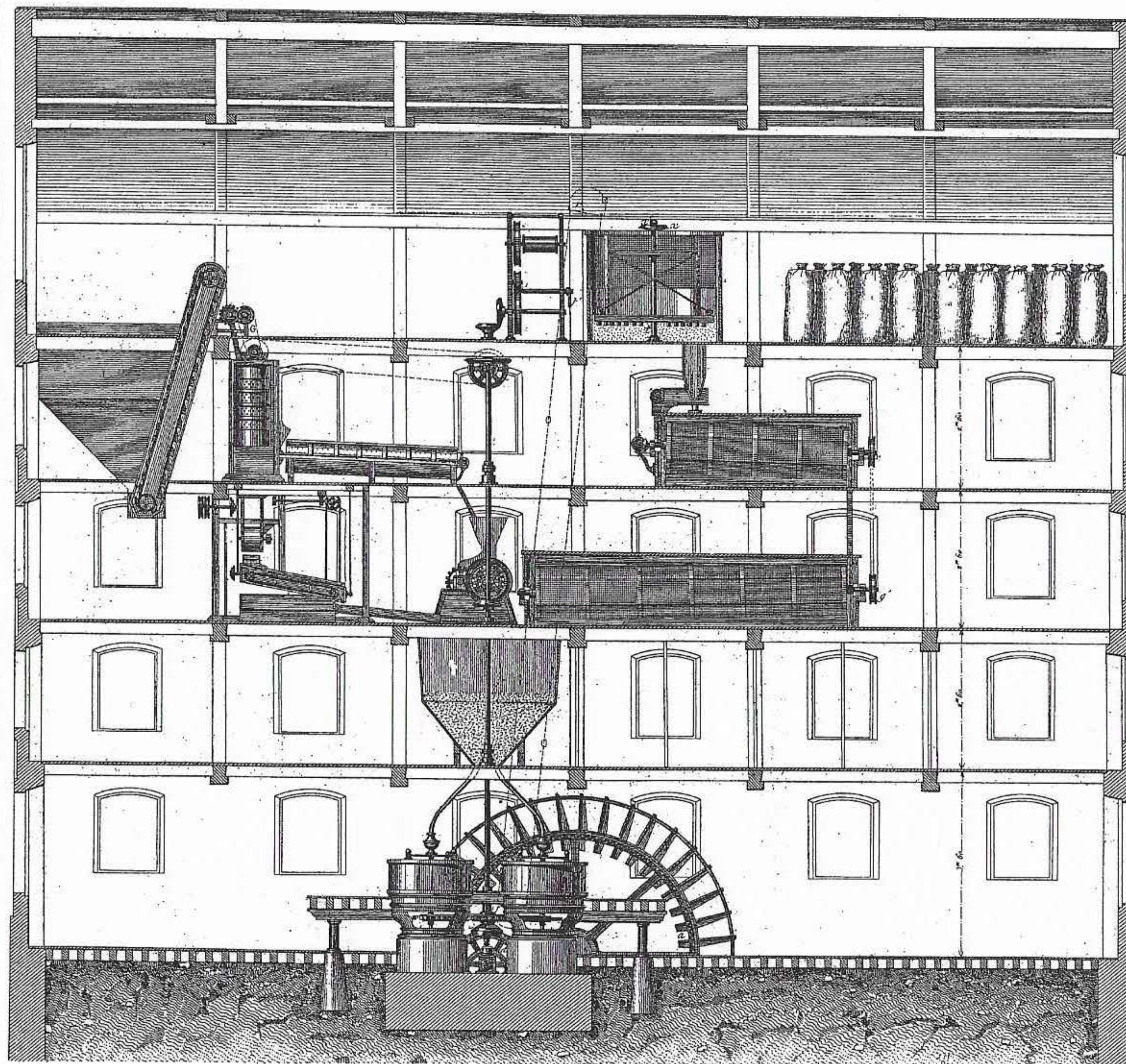
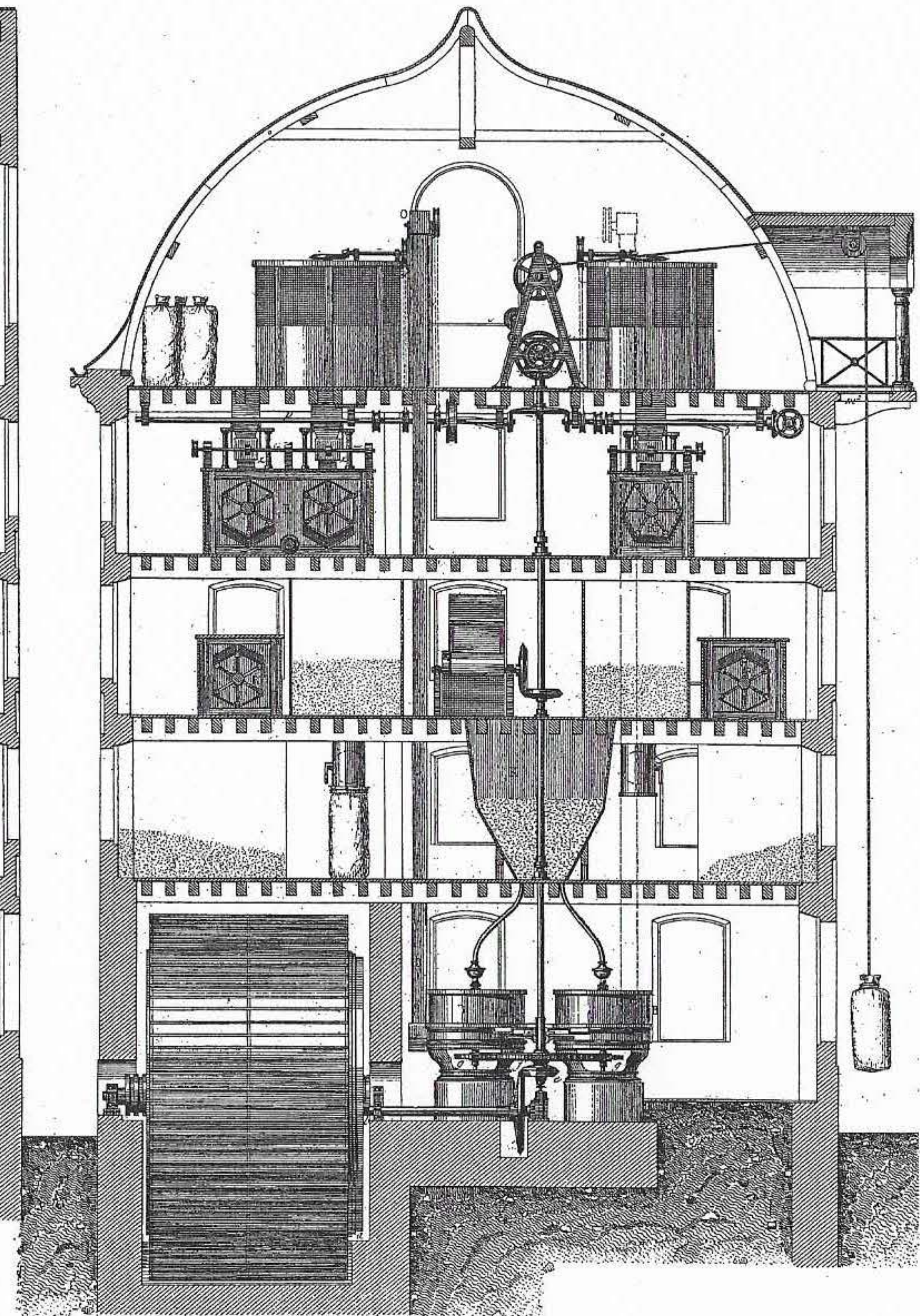


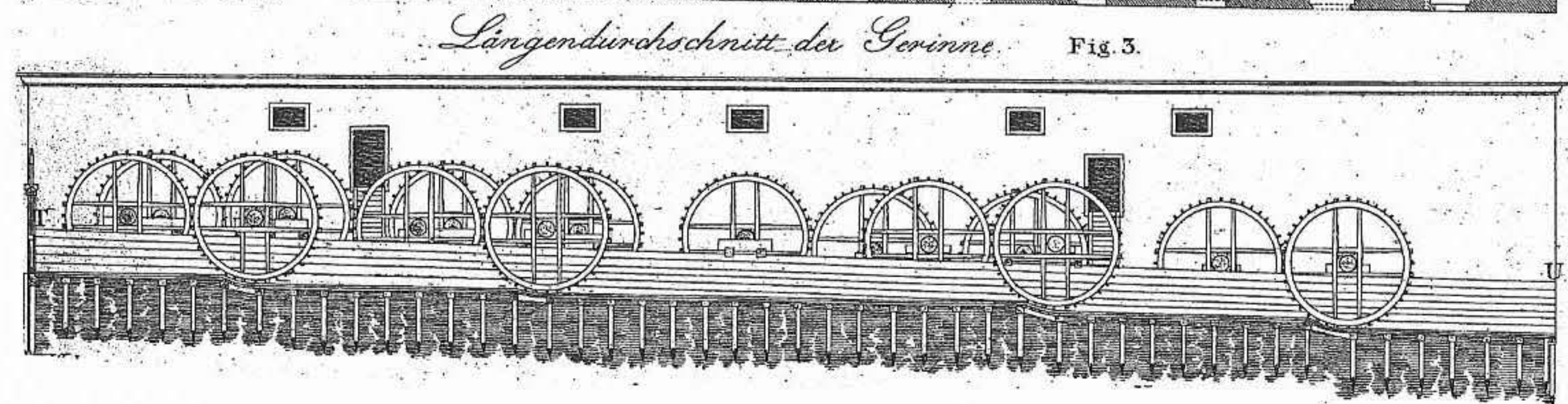
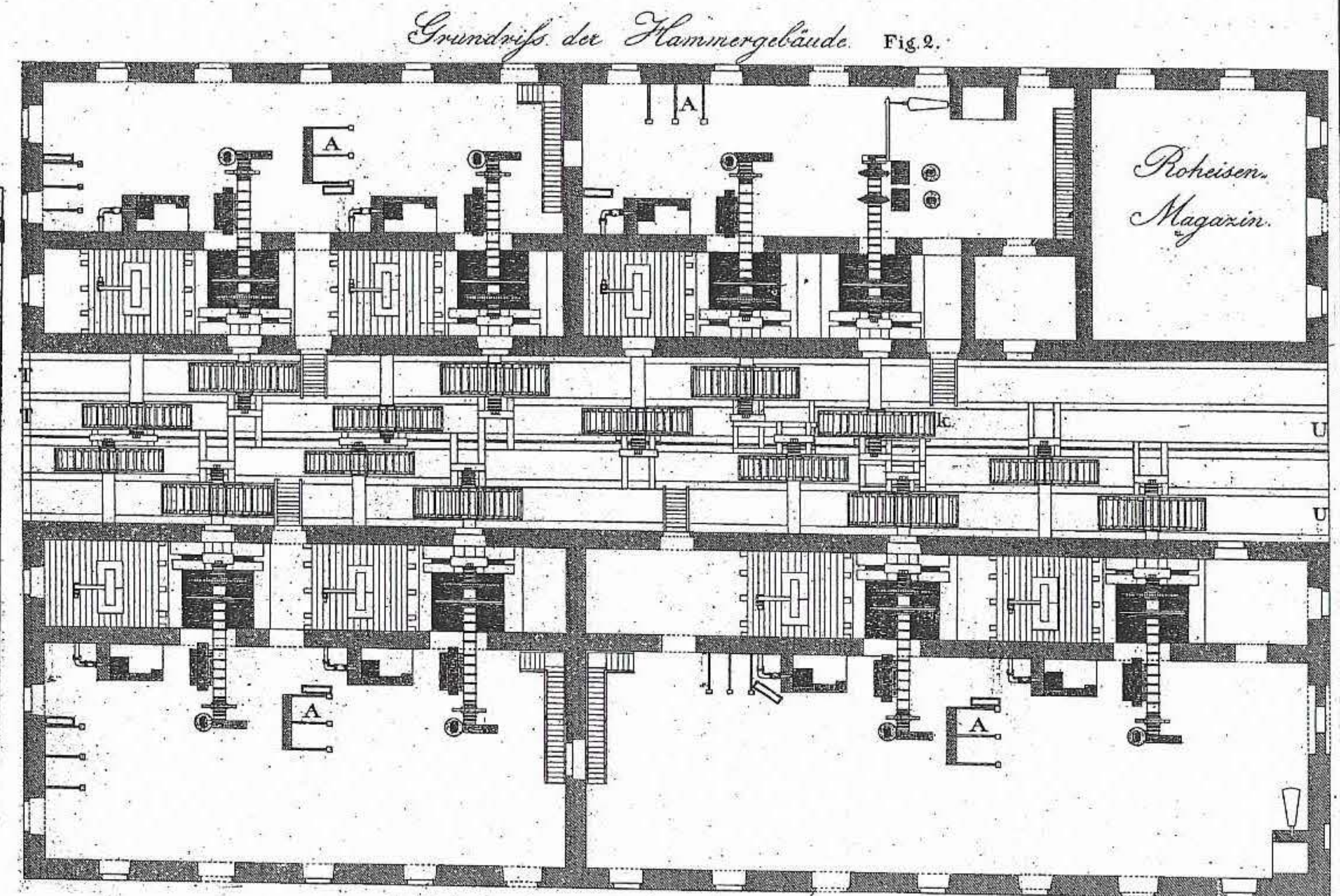
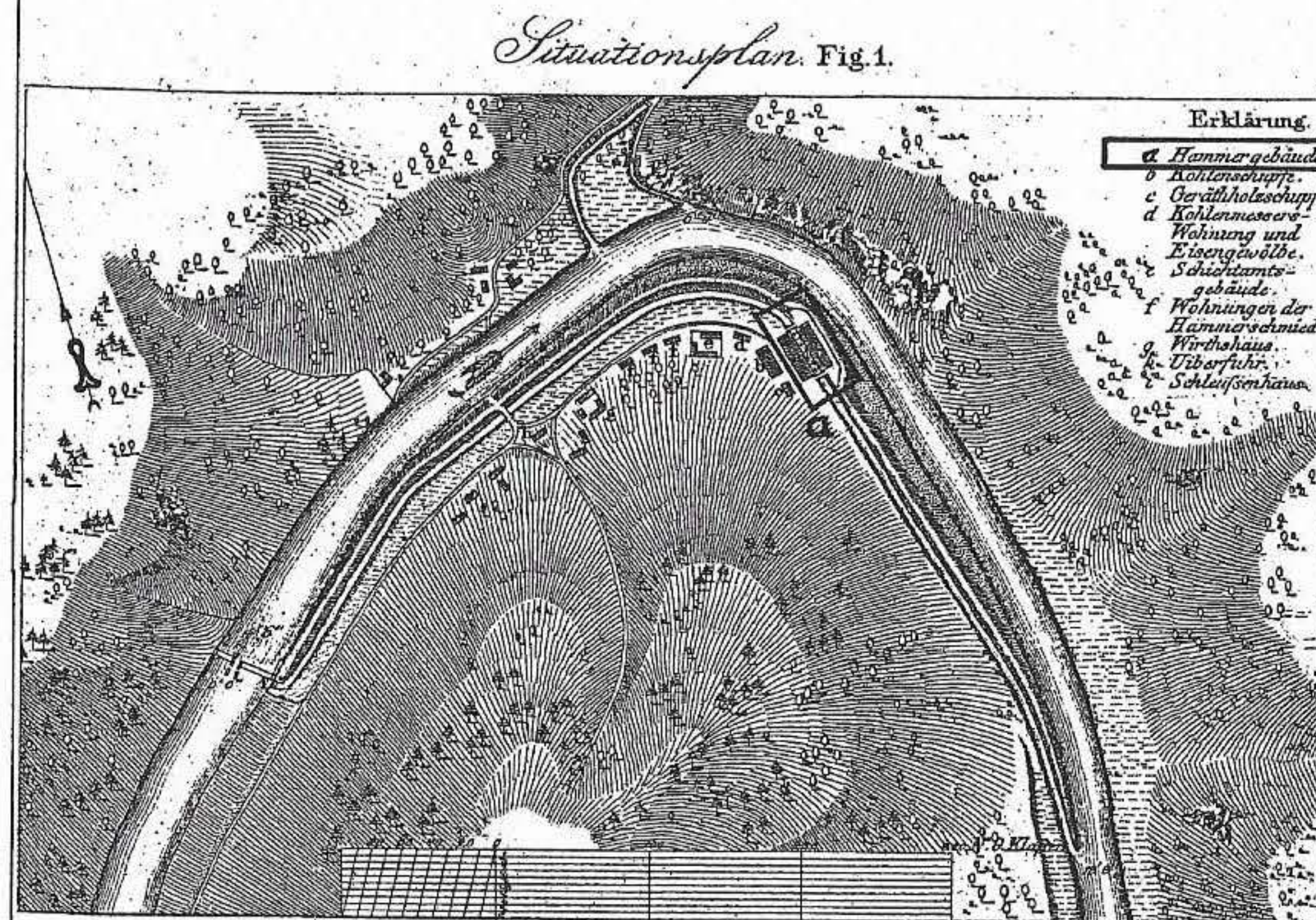
Bild: 2.1/3:
Typische Betriebsdampfmaschine
(um 1815)



Echelle de 1/100.
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 mètres



Tafel 2.1/2: Anlage einer großen Kornmühle mit
 Antrieb durch ein Wasserrad (um 1810)



Tafel 2.1/3: Anlage des Rostocker Hammerwerks

Gewässerplan und Grundriss (1834)

Die Verdrängung der Handweberei und des Spinnens von Hand, d. h. die beginnende Industrialisierung des Textilgewerbes, war mit massiven sozialen Konflikten verbunden. Diese Konflikte gab es in allen Bereichen der zunehmenden Industrialisierung, aber im Textilgewerbe waren die Auswirkungen für die Beschäftigten katastrophal. Für die brotlos gewordenen Spinner und Weber gab es keine alternativen Arbeiten. Sie konnten ihre Familien nicht mehr ernähren und verelendeten in kurzer Zeit. Die Not war so groß, dass es regional zu Aufständen kam. 1844 wurde eine der letzten großen Erhebungen, der schlesische Weberaufstand, vom Militär blutig niedergeschlagen. Der Ruf der Industriearbeit war durch diese und ähnliche Ereignisse bis ins 20. Jahrhundert nachhaltig beschädigt.

Landwirtschaft:

Im 18. Jahrhundert kam es bei der Versorgung der Bevölkerung mit Lebensmitteln immer wieder zu Problemen. Durch die rückständige Produktionsweise landwirtschaftlicher Güter und die feudalen Verhältnisse auf dem Land wurde das Problem noch zusätzlich verstärkt. In den Jahren 1770 – 1772 kam es zu einer großen Hungerkatastrophe. Zwar führten diese Probleme allmählich zu einer Verbesserung der Akzeptanz der Kartoffel als Grundnahrungsmittel, aber die Versorgungslage blieb bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts instabil. Insbesondere in den wachsenden Städten wurden periodisch die Lebensmittel knapp. Diese Zeiten sind als Hungerjahre in die Geschichte eingegangen. Hungerjahre gab es beispielsweise 1780 – 1784, 1787 – 1790, 1793 – 1795 und 1799 – 1800. Danach gab es im Durchschnitt bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts in jedem 4. Jahr Engpässe bei der Versorgung der rasch wachsenden Bevölkerung mit dem Lebensnotwendigsten. Es gab eine Reihe von Möglichkeiten zur Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion, beispielsweise durch Vergrößerung der landwirtschaftlichen Nutzflächen (durch Melioration wurden in den ersten dreißig Jahren des 19. Jahrhunderts etwa 10 % Flächen neu in Kultur genommen), durch Veränderung der Nutzungsstruktur der Flächen (z.B. durch ganzjährige Nutzung), durch Intensivierung des Betriebes und den Anbau neuer, ertragreicherer Pflanzen, durch die Haltung neuer leistungsfähigerer Nutztiere, durch den verstärkten Einsatz neuer Maschinen und Geräte u.a.m. Die Veränderungen im 19. Jahrhundert werden besonders deutlich, wenn man sich die Nutzungsverhältnisse der landwirtschaftlichen Flächen vor Augen führt.

Bild 2.1/4:
Veränderung der Nutzung
landwirtschaftlicher Flächen
(in % der ges. Nutzfläche)

| | 1800 | 1900 |
|----------------|------|------|
| Getreide | 61 | 58 |
| Kartoffeln | 2 | 14 |
| Hülsenfrüchte | 5 | 3 |
| Zuckerrüben | - | 6 |
| Futterpflanzen | 5 | 14 |
| Brache | 27 | 5 |

Einen großen Anteil an der Verbesserung der Versorgungssituation hatten die wissenschaftliche Behandlung landwirtschaftlicher Probleme und der Einsatz technischer Mittel. Dieser Umbruch war eine späte Auswirkung der Aufklärung und eine Folge der Französischen Revolution. Die systematische Untersuchung landwirtschaftlicher Probleme war davor in Deutschland selten anzutreffen. Man „beharrte im Bekannten und Bewährten“. Mit dieser neuen Herangehensweise an die Lösung landwirtschaftlicher Probleme sind untrennbar die Namen einiger Agrarwissenschaftler verbunden. Bekannte Namen aus dieser Zeit sind: A. D. Thaer (1752 – 1828), J. A. von Hinüber, M. Schönleutner (ein Schüler Thaers und späterer Gründer der ersten bayrischen landwirtschaftlichen Lehranstalt in Weihenstephan), J. H. Thünen sowie J. N. von Schwerz.

Mit der wissenschaftlichen Vorgehensweise bei der Lösung landwirtschaftlicher Probleme änderten sich auch zwangsläufig die verwendeten Gerätschaften und Maschinen. Zwar war schon im 18. Jahrhundert eine Ausweitung der Mechanisierung bei landwirtschaftlichen Tätigkeiten festzustellen, aber die Gerätschaften blieben einfach, meist waren sie für den Handantrieb ausgelegt, bestenfalls für den Antrieb mit Göpeln. Auch bis weit in das 19. Jahrhundert hinein war der Göpel eine weit verbreitete Kraftquelle.

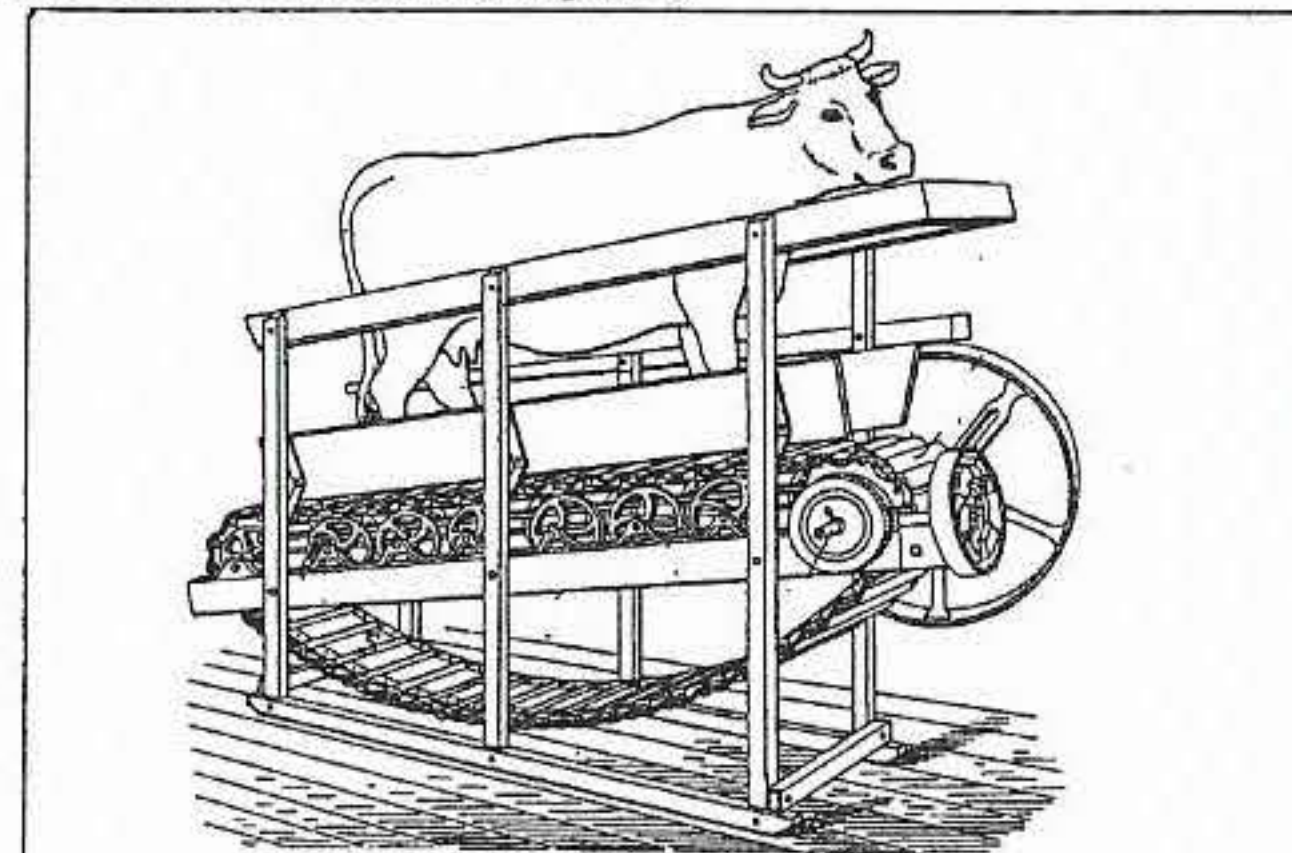


Bild 2.1/5:
„Rosswerk“ (Tretwerk) in Form eines
Laufbandgöpels mit Gangbremse (um 1860)

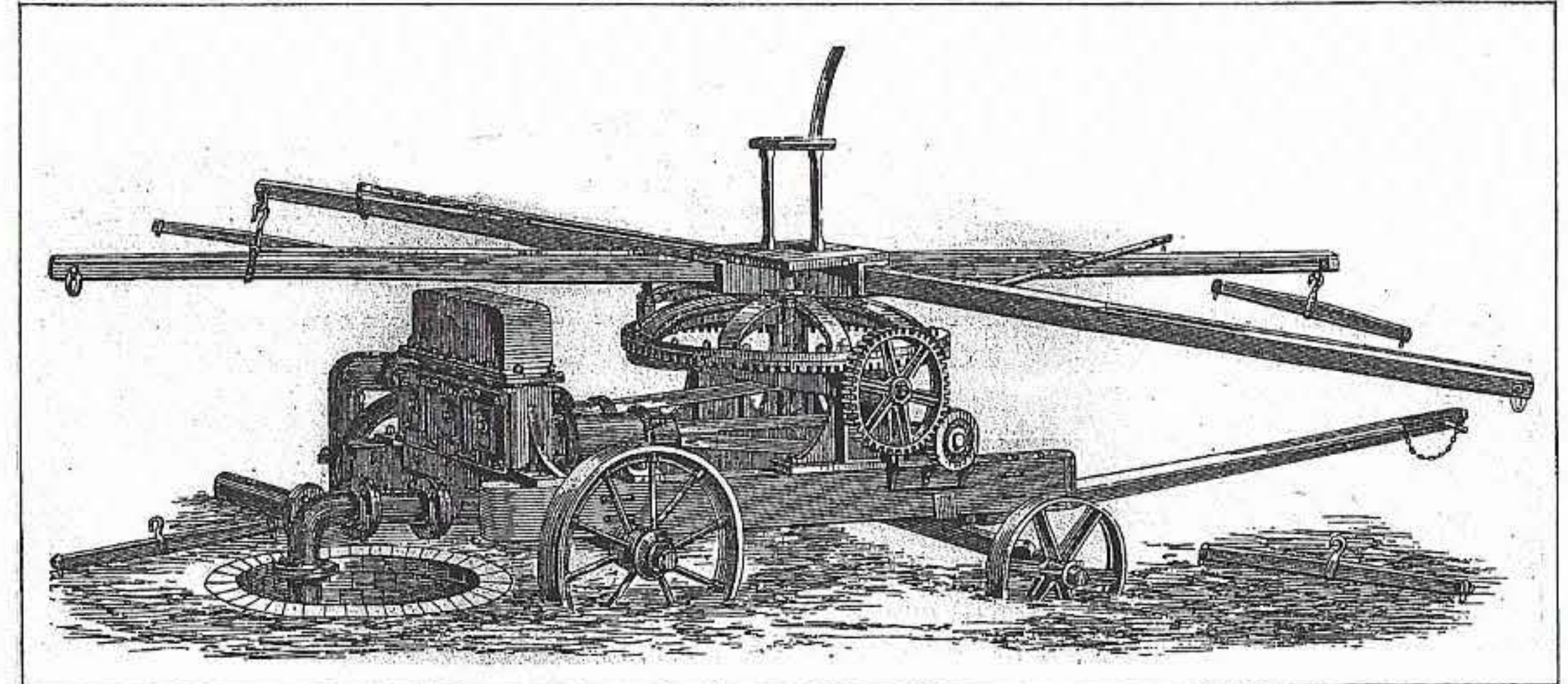


Bild 2.1/6: Fahrbarer Göpel mit Pumpwerk (1870)

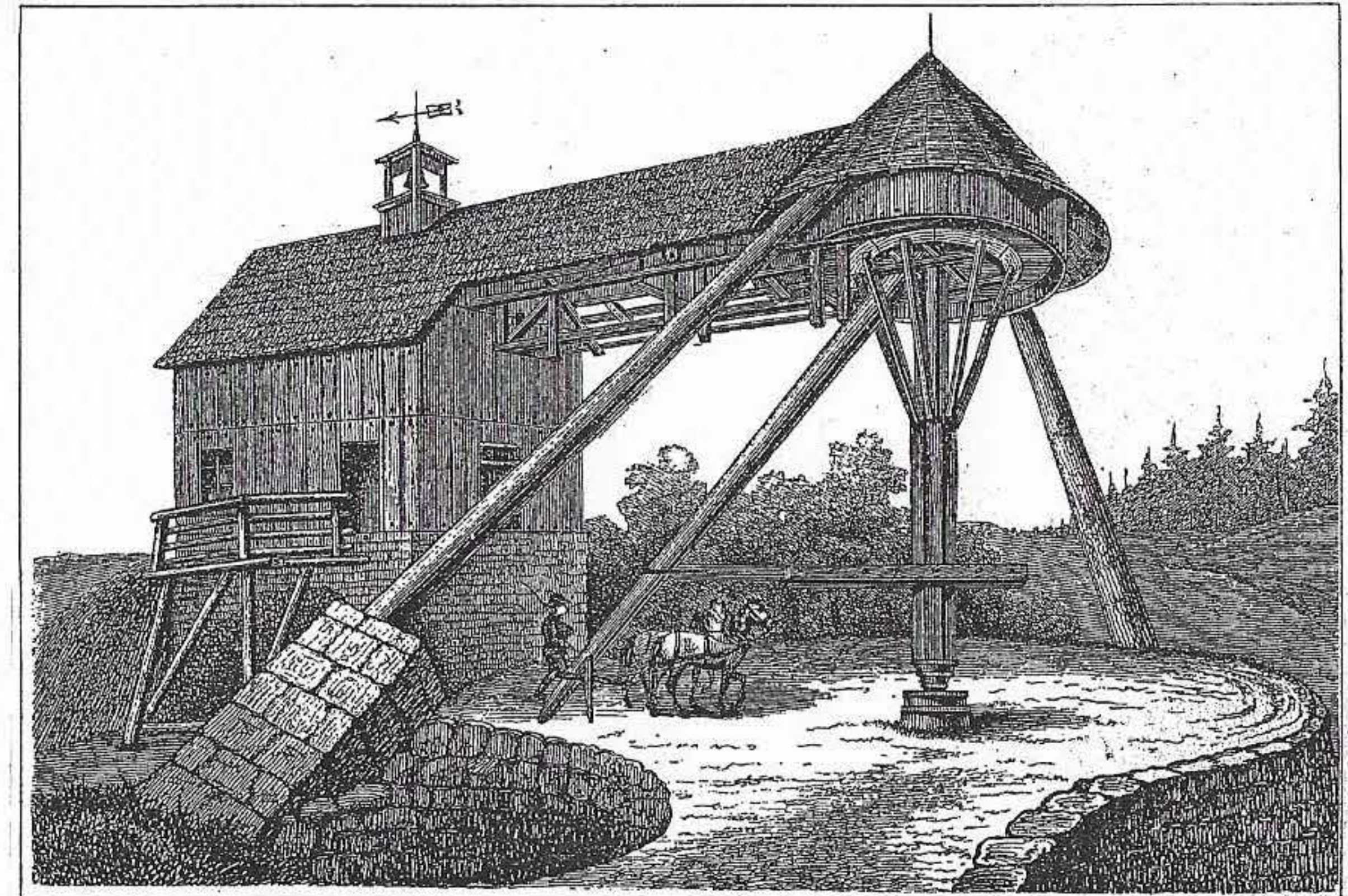


Bild 2.1/7: Großer Pferdegöpel als Antrieb eines Schöpfwerks
(Leistungsübertragung über einen Seiltrieb unter dem Dach, um 1870)

Durch die Intensivierung des gesamten landwirtschaftlichen Betriebes, den Anbau neuer und ertragreicherer Kulturpflanzen und den Einsatz technischer Geräte und Maschinen trat auch in der Landwirtschaft zusehens das „Energieproblem“ in den Vordergrund. Neu war es nicht. So lange in der Geschichte Ländarbeit betrieben worden ist, so lange harnte dieses Problem einer Lösung. Windenergie, die Wasserkraft und auch die tierischen Kräfte reichten auf Dauer nicht aus. Das „Energieproblem“ betraf alle Bereiche der Landwirtschaft, den Ackerbau und der Viehwirtschaft, sämtlichen Hofarbeiten, insbesondere die gesamte Bodenkultur, sowie die Arbeiten von der Aussaat bis zur Ernte. Besonders deutlich wird das „Energieproblem“ und dessen Lösung durch den Einsatz der Dampfmaschine bei der Betrachtung von zwei Kulturpflanzen: der Kartoffel sowie der Zuckerrübe. Deren großflächiger Anbau war mit traditionellen Mitteln nicht mehr möglich. Die Kartoffel war schon im 16. Jahrhundert von Seefahrern aus Südamerika nach Europa gebracht worden. Namhafte Ärzte rieten am Anfang vom Verzehr der Knollen ab. Man befürchtete die unterschiedlichsten gesundheitlichen Schäden und Krankheiten. Die Aufnahme der Kartoffel als Kulturpflanze war sehr schleppend. In den deutschen Ländern

wurde sie großflächig Anfang des 18. Jahrhundert zuerst in Sachsen und ab 1738 in Preußen angebaut. Im Verlauf des 19. Jahrhunderts vergrößerte sich ihre Anbaufläche um den Faktor sieben. Im Vergleich zum Getreide war sie „energiehaltiger“. In den 1830er Jahren fand die Kartoffel auch Einzug in die städtisch-bürgerliche Küche. Sie wurde auf vielfältige Weise in den Speiseplan aufgenommen und veränderte die Essgewohnheiten dauerhaft. Selbst in den Städten und im Umland bauten die Einwohner die keine hohen Anforderung an den Boden stellende Kartoffel an. In Hungerjahren stellten die Behörden den Städtern in den Randlagen Land und Saatkartoffeln für den eigenen Anbau zur Verfügung. Die Kartoffel erforderte einen anderen Anbau. Sie wurzelte tief und als Hackfrucht musste sie während des Wachstums zur Lockerung und Häufelung des Bodens mehrfach „behackt“ werden. Die Vorbereitung des Bodens war bei kleineren Anbauflächen noch mit Gespannen und tiefergehenden Pflügen möglich. Die weitere Bearbeitung des Bodens, das Setzen der Kartoffeln und das Behacken war Handarbeit. Für die arbeitsintensive Ernte gab es zu Anfang nur einfache Hilfsmittel. Erst mit der Dampfkraft stand ein Energielieferant zur Verfügung, der eine rationelle Bearbeitung großer Anbauflächen in entsprechender Tiefe gestattete und auch die Ernte großer Mengen effizient machte. Die Kartoffel wurde mit Hilfe der Dampfkraft ein erschwingliches Grundnahrungsmittel. Die auf dem Felde eingesetzten Dampfmaschinen mussten ortsveränderlich sein. Am Anfang der Entwicklung setzte man die Maschinen mit Kesseln auf einfache Rädergestelle. Sie wurden von Gespannen von einem Einsatzort zum anderen gezogen. Die Arbeitsgeräte wurden mit Hilfe eines Seiltriebs oder von Winden über den Acker gezogen. Der Anbau einer weiteren Hackfrucht, nämlich der Rübe, wurde Ende des 18. Jahrhunderts ausgeweitet. Zuerst, aufgrund veränderter Nutztierhaltung, als Futterrübe, ab 1810 kam dann die Ausweitung des speziellen Zuckerrübenanbaus hinzu. Man wusste zwar von dem Zuckergehalt einheimischer Rüben, aber der geringe Gehalt lohnte eine Verwertung zur Zuckergewinnung nicht. Ein typisches Beispiel für einen Züchtungserfolg ist die Steigerung des Zuckergehaltes einheimischer Rübensorten. Dadurch wurde die Zuckergewinnung zunehmend rentabler, das führte wiederum zu einem großflächigen Rübenanbau, der nur wirtschaftlich mit mechanischen Hilfen, also der Dampfkraft, durchgeführt werden konnte. Um 1780 lag der Zuckergehalt bei etwa 2 %. F. K. Achard gelang es, diesen Zucker mit einem nach ihm benannten Verfahren in großem Stil zu gewinnen. 1798 wurde die erste Rübenzuckerfabrik in Schlesien eröffnet. Die Entwicklung wurde allerdings durch die Einfuhr von billigem Rohrzucker aus Übersee unterbrochen. Durch die englische Seeblockade während der napoleonischen Kriege war Kontinentaleuropa von den Rohrzuckerproduzenten in Mittelamerika abgeschnitten. Man war gezwungen, einheimische Rüben wieder in größerem Umfang zur Zuckergewinnung zu verwenden. Durch Züchtung gelang es, den Zuckergehalt kontinuierlich zu steigern. Um 1830 wurden Gehalte um 5,5 % erreicht. Durch weiter verbesserte Rübenzüchtungen mit viel höherem Zuckergehalt gelang es Jahrzehnte später, den Zuckerrübenanbau dauerhaft wirtschaftlich zu machen. Vor dem 1. Weltkrieg lag der Zuckergehalt schon bei 16 %. Die Zuckerrübe war eine tief wurzelnde Pflanze. Sie erforderte „Tiefkultur“. Mit Gespannen war die Bodenbearbeitung beim Pflügen in größeren Tiefen sehr aufwendig und teuer. Mit Pferden ging man meist vierspännig und hatte dabei Mühe auf Tiefe zu kommen. Ochsen gespanne brachten zwar mehr Zugkraft, aber sie waren deutlich langsamer und schwer zu lenken. Mit der Dampfkraft, insbesondere mit großen Dampfplügen, die Arbeitstiefen von 30 cm und mehr erreichten, gelang es, den Rübenanbau in großem Maßstab wirtschaftlich zu betreiben. Im Rheinland und in der Börde bei Magdeburg, war die Zuckerrübe die dominierende Nutzpflanze. Die Zuckerfabriken standen in unmittelbarer Nähe der Anbaugelände. An diesen Beispielen wird deutlich, wie unterschiedlich die Ausgangssituationen und wie unterschiedlich die Anforderungen an geeignete Kraftmaschinen waren. Bei den Kraftmaschinen mit Dampftrieb setzte eine sehr breite und intensive Entwicklung ein. Es wurden die unterschiedlichsten Arten und Größen entwickelt. Im deutschsprachigen Raum begann die Entwicklung eigenständiger Maschinen Anfang der 40er Jahre des 19. Jahrhunderts. Es dauerte einige Jahrzehnte, bis sich heute bekannten Arten der „Lokomobilen“ aus der Vielfalt an technischen Lösungen herausgebildet hatten.

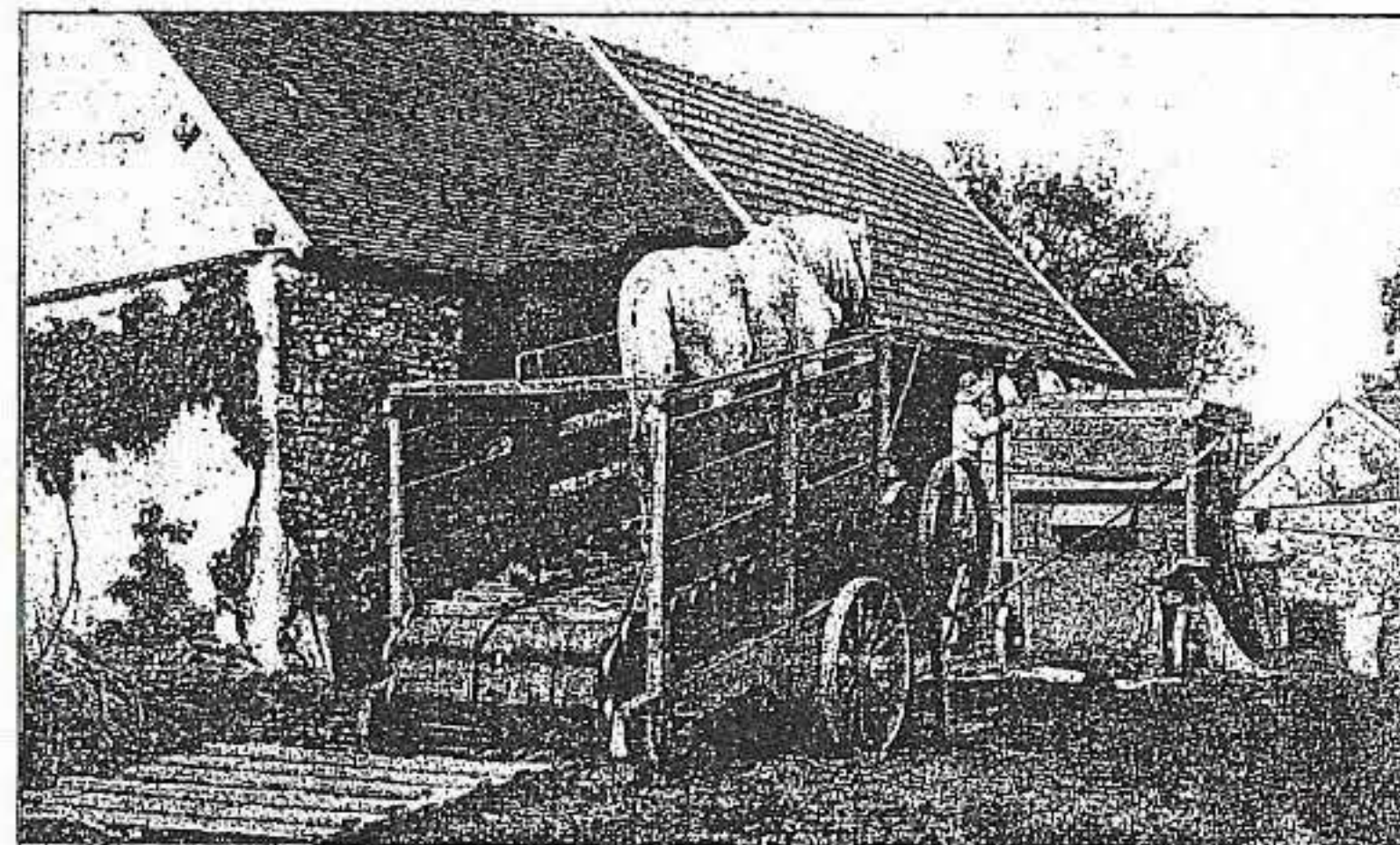


Bild 2.1/8:
Großes „Rosswerk“
(Laufbandgöpel) für
zwei Pferde beim Abtrieb
einer Dreschmaschine
(1904)

Ein Indikator für den Stand der Produktionsverhältnisse in einem Land war im 19. Jahrhundert die Anzahl der eingesetzten Dampfmaschinen. Christoph Bernoulli, Professor der industriellen Wissenschaften an der Universität zu Basel, schrieb in seinem „Handbuch der Dampfmaschinenlehre“ in der zweiten Auflage aus dem Jahr 1847 zum Verbreitungsgrad der Dampfmaschinen und zur Perspektive ihres Einsatzes mit einer gehörigen Portion Weitblick: „Außer England war ihr Gebrauch noch im Anfange dieses Jahrhunderts sehr unbedeutend, und die wenigen, die man hie und da sah, waren atmosphärische. ... Selbst bis zum Frieden 1814 verbreiteten sich diese Maschinen nur sehr langsam. Seitdem erst haben sie sich auch auf dem Continente so wie in den Vereinigten Staaten von Jahr zu Jahr vermehrt. Eine Menge Maschinen bezog man aus dem Mutterlande, bald wurden aber auch in Amerika, wie in Frankreich, den Niederlanden, Oestereich, Schlesien u.a. Fabriken angelegt. In Frankreich rechnete man vor 25 Jahren etwa 300 Dampfmaschinen und 1839 betrug die Zahl 2547 und 1842 schon 2807 nebst 170 Locomotiven und 300 Dampfschiffe. ... Nirgends haben sich aber die Dampfmaschinen außer England schneller verbreitet, als in den Vereinigten Staaten. Eine atmosphärische Maschine kam schon 1760 nach Nordamerika, allein noch im Anfange dieses Jahrhunderts waren daselbst nur 4 Maschinen: 2 in Newyork und 2 in Philadelphia. 1838 wurde die Zahl der vorhandenen stationären Maschinen zu 1860 angegeben, die der Dampfschiffe zu 800; und die der Locomotiven zu 350. 1842 zählte man in den Vereinigten Staaten 3184 Dampfmaschinen, 800 Schiffsmaschinen und 524 Locomotiven. Die österreichischen Staaten zählten 1837 erst 145, und 1840 schon 253 Dampfmaschinen. ... Aus diesen wenigen historischen Andeutungen geht zur Genüge hervor, daß die Dampfmaschine, obwohl vor 140 Jahren schon erfunden, seit kaum 60 Jahren in England selbst und seit kaum 30 Jahren in anderen Ländern sich allgemein zu verbreiten anfang. ... Lernt man sie mit Vortheil auch in ganz kleinen Dimensionen auszuführen, so wird sie bis in die kleinsten Werkstätten Eingang finden, zu manchen häuslichen Verrichtungen sogar, die eine regelmäßige Bewegung erfordern, sich eignen. ... Lernt man kräftige Dampfmaschinen weit einfacher und mobiler konstruieren, so wird der Gebrauch der verschiedenartigsten Dampfmaschinen wenig Hindernis mehr finden; sie werden nicht nur dem Handel, sondern auch dem Landwirthe unzählige Dienste leisten und das Urbarmachen und Pflügen der Felder, das Bewässern der Wiesen und das Austrocknen der Sümpfe verrichten können.

Zwar sind die Zahlen für die deutschen Länder unvollständig, aber die Einzelwerte geben die Tendenz wieder. 1816 waren in Bayern 8 Dampfmaschinen vorhanden, 1847 waren es 129. In Sachsen lag die Zahl der eingesetzten Maschinen 1825 bei 3. Sie stieg 1846 auf 197. 1837 waren in Preußen durch massive staatliche Förderung schon gut 400 Dampfmaschinen im Einsatz. In den entwickelten Industrieländern lagen die Zahlen um den Faktor 5 bis 10 höher.

2.2 Vom Handwerk zur Maschinenfabrik

Die Herstellung von dampfgetriebenen Kraftmaschinen stellte an die technischen Gewerbe völlig neue Anforderungen. Technische Erzeugnisse wurden im 18. Jahrhundert überwiegend in Handwerksbetrieben hergestellt, größere Mengen in Manufakturen, wie beispielsweise den großen Wagen- und Kutschenmanufakturen. Diese „handwerkliche Art“ der Produktion begleiteten auch die Anfangsphase beim Bau von Dampfmaschinen. In England baute Watt bis 1800 über 400 Dampfmaschinen. Handarbeit war die Basis, kaum eine Maschine glich der anderen. In den deutschen Ländern begannen die frühen Maschinenbauer ihre Arbeit unter primitivsten Bedingungen. Franz Dinnendahl (1775 – 1854) gründete um 1795 in Essen eine Werkstatt zum Bau von Maschinen. 1801 erhielt er den ersten Auftrag zum Bau einer atmosphärischen Dampfmaschine. Dinnendahl war von Beruf Zimmermann. Es wird berichtet, dass er den Auftrag weitgehend durch eigene Handarbeit erledigte. Er war Ingenieur, Kaufmann, Schlosser, Gießer und Tischler in einer Person. 1803 wurde die Maschine ausgeliefert. F. A. J. Egells (1788 – 1854) war Schlossergeselle. 1821 gründete er die erste nicht staatliche Gießerei und einen Maschinenbaubetrieb in Berlin. 1825 konnte mit einigen Arbeitern unter bescheidenen Bedingungen die erste Dampfmaschine fertig gestellt werden. Die anderen frühen Unternehmensgründer, Harkort in Wetter a.d. Ruhr, Wöhlert in Berlin, Maffei in München, Freund, Egestorff, Borsig, Hartmann, Hoppe, Klett, Schwartzkopff u.a. haben unter ähnliche bescheidenen Bedingungen begonnen.

Die meisten Bauteile der Maschinen wurden einzeln mit einfachen Werkzeugen hergestellt. Das Basismaterial für große Teile war Holz. Hoch beanspruchte Teile fertigte man aus Eisen. Urformendes Verfahren bei der Eisenformgebung war das Gießen in Herdformen oder mit einfachen Formkästen. Beim Umformen dominierte das freie Schmieden, zum Teil schon mit mechanischer Unterstützung durch Hammerwerke. Das Walzen von Blechen gelang nur bei kleinen Tafeln. Die spanende Bearbeitung erfolgte durch Meißeln, Sägen, Feilen u.a.m. Maschinelle Hilfen bei der spanenden Bearbeitung gab es nur für einzelne Bearbeitungsoperationen. Beim Zusammenbau der Teile wurde „von Hand gepasst“. Ende des 18. Jahrhunderts zeichnete sich ein weiteres Problem ab. Durch den steigenden Bedarf an Produkten des Maschinenbaues wurden immer mehr Teile, immer mehr Teile gleicher Form und immer mehr Teile in höherer Qualität benötigt. Es mussten Maschinen entwickelt werden, die ein großes Spektrum ähnlicher Bearbeitungsoperationen rationell, in hoher Qualität und mit dem verfügbaren Personal durchzuführen gestatteten. Diese Maschinen bezeichnet man heute als Werkzeugmaschinen. Das Grundproblem, eine stabile Führung für die Relativbewegung zwischen Werkstück und Werkzeug zu schaffen, war vermutlich schon vor dem 15. Jahrhundert von versierten Instrumentenbauern gelöst worden. Großtechnisch lagen die ersten derartigen Maschinen seit dem 18. Jahrhundert vor. Bekannt sind beispielsweise die Spezialmaschinen für das Innendrehen von Kanonenrohren und ähnlichen Teilen (Bild 2.2/1), das Außendrehen zylindrischer Teile, die Bohrbearbeitung oder die Bearbeitung bestimmter prismatischer Flächen. Diese frühen Werkzeugmaschinen haben eine sehr dynamische Entwicklung genommen. Die beiden Bilder zeigen das deutlich am Beispiel der Drehbearbeitung.

Bild 2.2/1:
Prinzip einer „Bohrmühle“
zur Herstellung von
Innendurchmessern mit von Hand
verschiebbarem Werkstückschlitten
(um 1740)

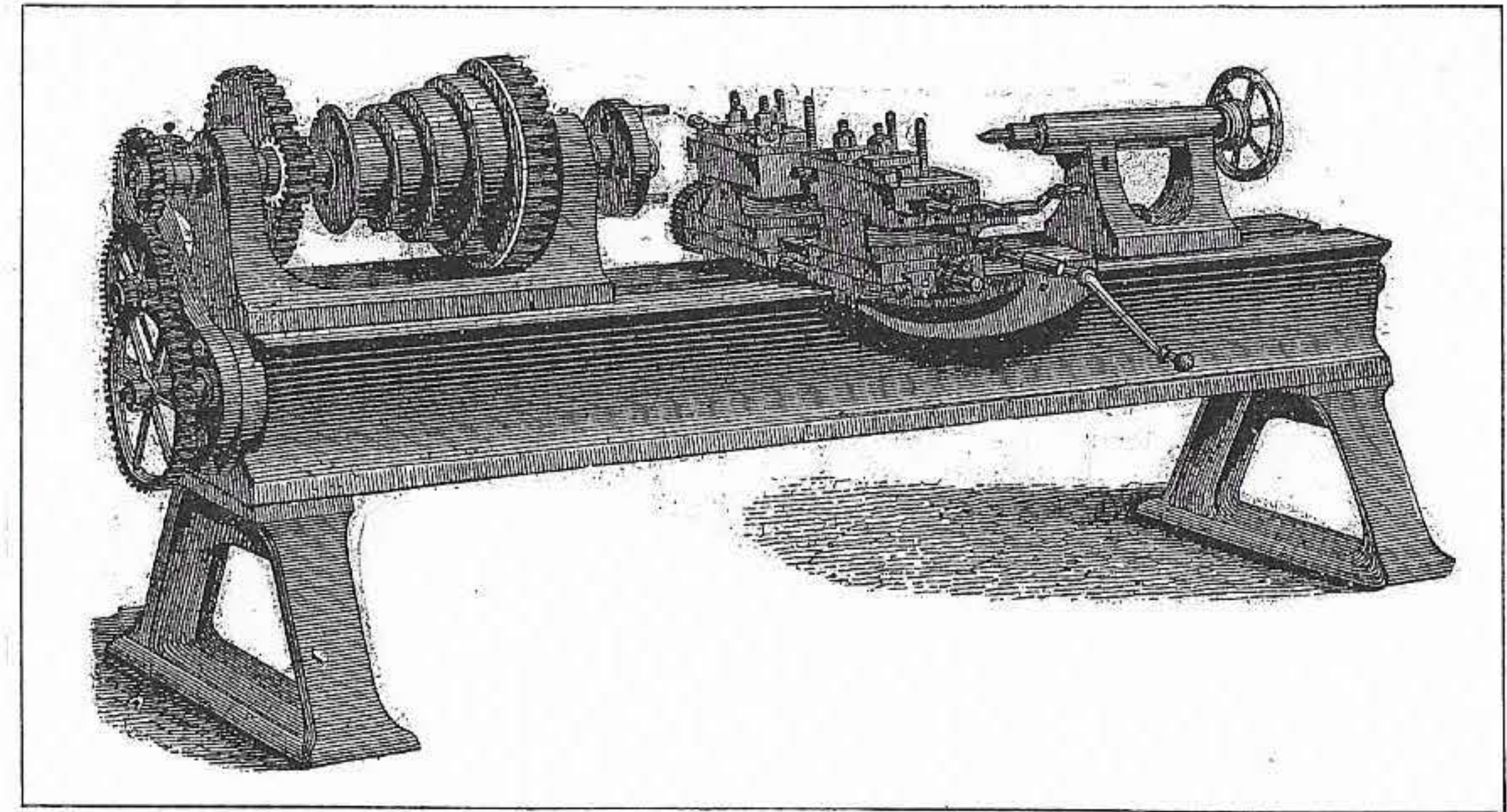
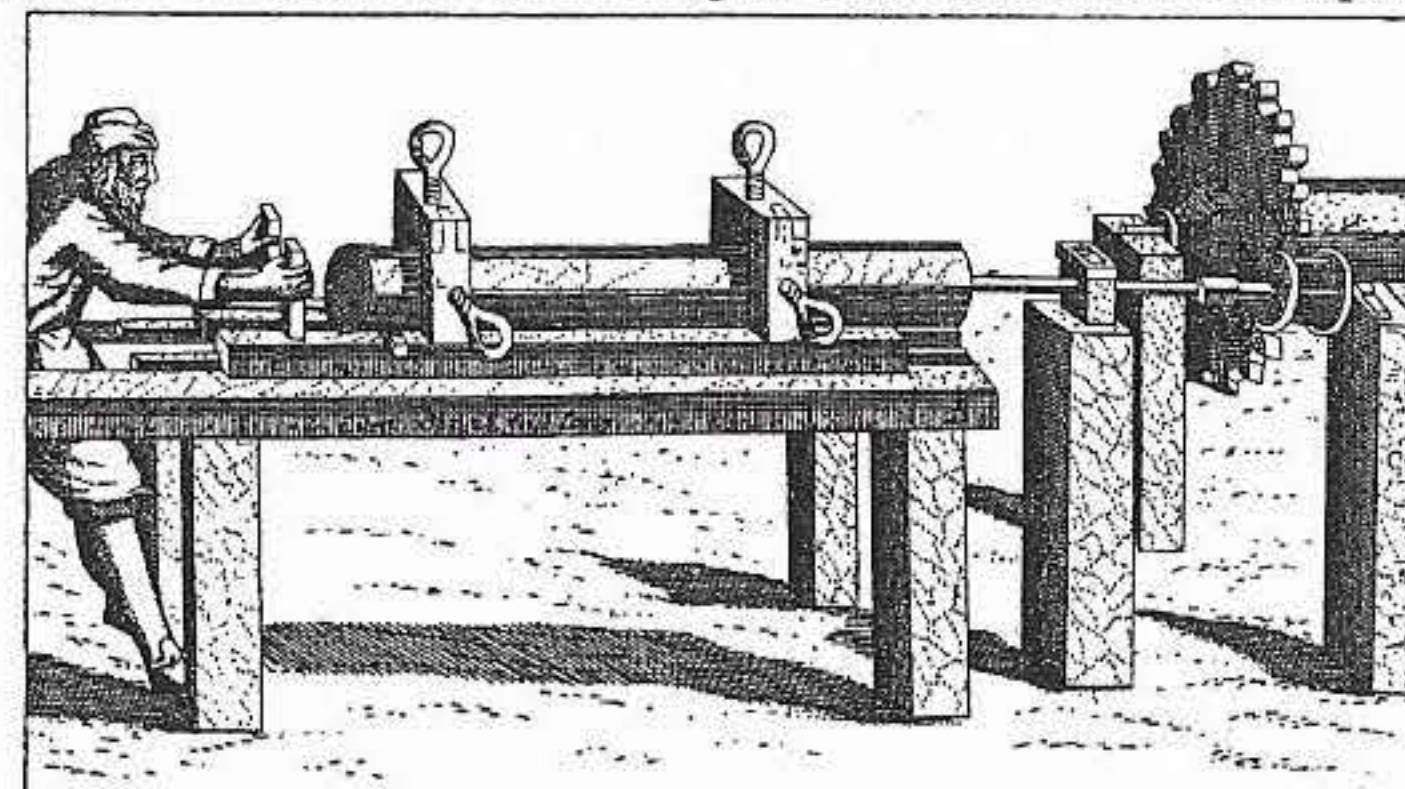


Bild 2.2/2: Drehmaschine (um 1860)

Viele dieser Maschinen wurden im eigenen Betrieb hergestellt. Der Begriff „Maschinenbauanstalt“ für die frühen Unternehmen trifft den Kern der Unternehmensphilosophie sehr gut. Die Betriebe waren gezwungen, den Großteil der benötigten Herstellungsmaschinen selbst zu bauen um damit ihre Produkte zu fertigen. Sie bauten ihre Kraftmaschinen selbst, fertigten ihre eigenen Werkzeugmaschinen, stellten mit diesen Maschinen ihre Erzeugnisse her und gingen dann später dazu über, auch die selbst hergestellten Werkzeugmaschinen zu verkaufen. Aus den Betrieben, die den Großteil ihres Umsatzes mit Werkzeugmaschinen machten, entstanden dann die spezialisierten Werkzeugmaschinenhersteller. Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelte sich daraus ein eigenständiges Industriesegment. Es wird oft berichtet, dass sich die frühen Maschinenbauunternehmen in den deutschen Ländern ihre Werkzeugmaschinen aus England beschafften. Die Auswertungen der von einigen Betrieben erhaltenen Einkaufslisten lassen diesen Schluss zu. Es ist allerdings ein Trugschluss. Bis 1844 bestand für englische „Werkzeugmaschinen“ ein generelles Exportverbot. Des Weiteren sind in den Einkaufslisten die im eigenen Betrieb selbst hergestellten Maschinen nicht dokumentiert worden. In der Praxis wurden oft einige ausgewählte Maschinen auf nicht immer gesetzeskonformen Wegen aus England oder den USA beschafft. Durch den Eigenbau sowie den Nachbau und die Weiterentwicklung kam das notwendige Wissen zur eigenen Herstellung zusammen.

Die Ablösung der Handarbeit mit einfachen Werkzeugen durch Werkzeugmaschinen erfolgte nicht abrupt. Lange Zeit wurde in den Fabriken parallel gearbeitet. Einige Arbeitsvorgänge wurden noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts regelmäßig mit einfachen Handarbeitsmitteln durchgeführt. Ein typisches Beispiel ist das „Passen“ oder „Einpassen“ von zusammengehörenden Teilen bei der Montage größerer Maschinen. Viele Passarbeiten wurden durch Feilen, Schaben und Schleifen von Hand erledigt. Der Übergang vom Handwerk über die Manufakturen zur industriellen Arbeit mit Maschinen war fließend.

Zum Antrieb der Arbeitsmaschinen gab es, wie im Abschnitt 2.1 erwähnt, auch in den frühen Maschinenbaubetrieben die vier traditionellen Möglichkeiten: Antrieb durch Menschen (von Hand, mit Fußantrieb durch Tretwippen oder mit Göpeln), das „Roßwerk“ (Göpelantrieb durch alle Arten von Tieren), die Wasserkraft (als Wasserrad oder, sehr selten, als Wassersäulenmaschine) sowie die Windkraft. Der Antrieb von Werkzeugmaschinen durch menschliche Arbeitskraft war bei Arbeitsoperationen, die nur selten anfielen, weit verbreitet.

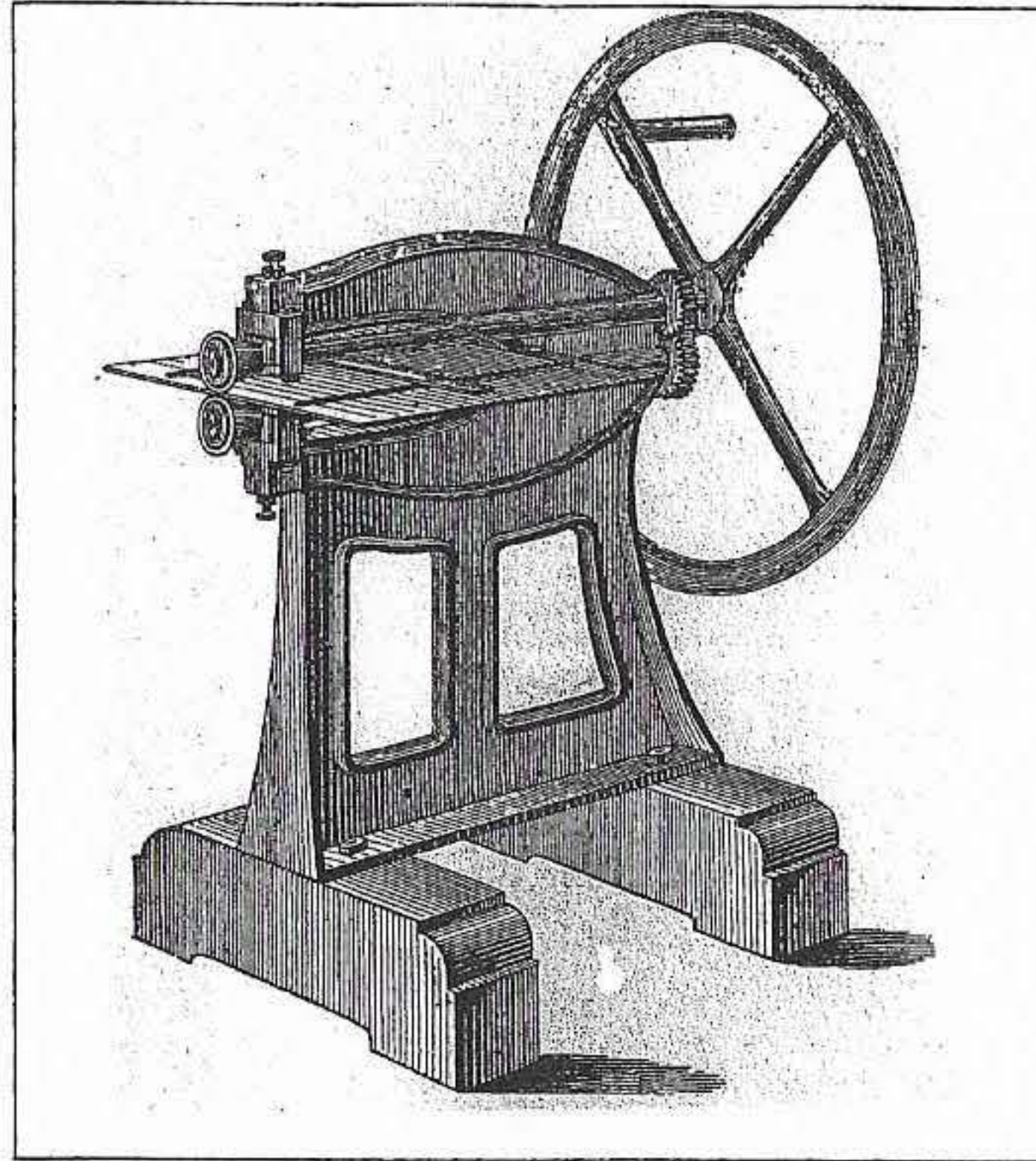


Bild 2.2/3:
Bördelmaschine mit
Handkurbel und Schwungrad
(um 1850)

Der steigende Energiebedarf und der Bedarf an jederzeit verfügbarer Energie für die neuen Werkzeugmaschinen konnte wirtschaftlich nur durch die neue Dampfkraft abgedeckt werden. Der Weg war schon vorgezeichnet. Die übergroßen Dampfmaschinen, die schon im 18. Jahrhundert zur Wasserhaltung in den Gruben verbreitet waren, galt es zu verkleinern und leistungsfähiger zu machen. Basis für diese Leistungssteigerung war der Übergang von der atmosphärischen Dampfmaschine zu der mit Überdruck arbeitenden. In einem nächsten Schritt wurden die Dampfdrücke sehr vorsichtig gesteigert. Die geeigneten und sicheren Kessel mussten erst entwickelt werden. In England galten Maschinen, die mit Drücken von 2 bis 4 at Überdruck arbeiteten, schon als „Hochdruckmaschinen“. In den deutschen Ländern war Ernst Alban (1791 – 1856) einer der Pioniere dieser Hochdrucktechnik. Er setzte schon ab 1840 Kessel und Maschinen ein, bei denen der Betriebsdruck bis 10 at Überdruck reichte, damals eine Sensation. Berühmt war sein Hochdruck-Wasserrohrkessel („Alban-Kessel“). Es entstanden die ersten Betriebsdampfmaschinen. Sie verbreiteten sich rasch. In der Fabrikantentabelle für Preußen für das Jahr 1846 wurden insgesamt 131 Maschinenbaubetriebe aufgeführt. 80 Betriebe waren schon mit Dampfmaschinen ausgerüstet. In dieser Zeit bauten auch die ersten einheimischen Maschinenbauanstalten die ersten, im weitesten Sinne, „ortsveränderlichen“ Betriebsdampfmaschinen. Sie waren mit einfachen Mitteln „zerlegbar“.

Im metallverarbeitenden Bereich war der Übergang vom Handwerk zum Maschinenbaubetrieb aber nicht nur durch technische Veränderungen gekennzeichnet. Genau so wesentlich waren die Veränderungen in der betrieblichen Organisation. Diese Veränderung machte sich nicht nur in der Ablauf- und Aufbauorganisation bemerkbar, sie umfasste die Fabrikarchitektur, die Anordnung der Maschinen zueinander, den innerbetrieblichen Transport und die Logistik sowie die Qualifikationsanforderungen der Mitarbeiter. Das Ordnungsprinzip der betrieblichen Strukturen war nicht mehr allein das traditionelle „Verrichtungsprinzip“, sondern zunehmend das „Fließprinzip“. Die räumliche Strukturierung nach ähnlichen Technologien in separaten Werkstätten, z.B. in Drehereien, Bohrereien etc. wurde erweitert.

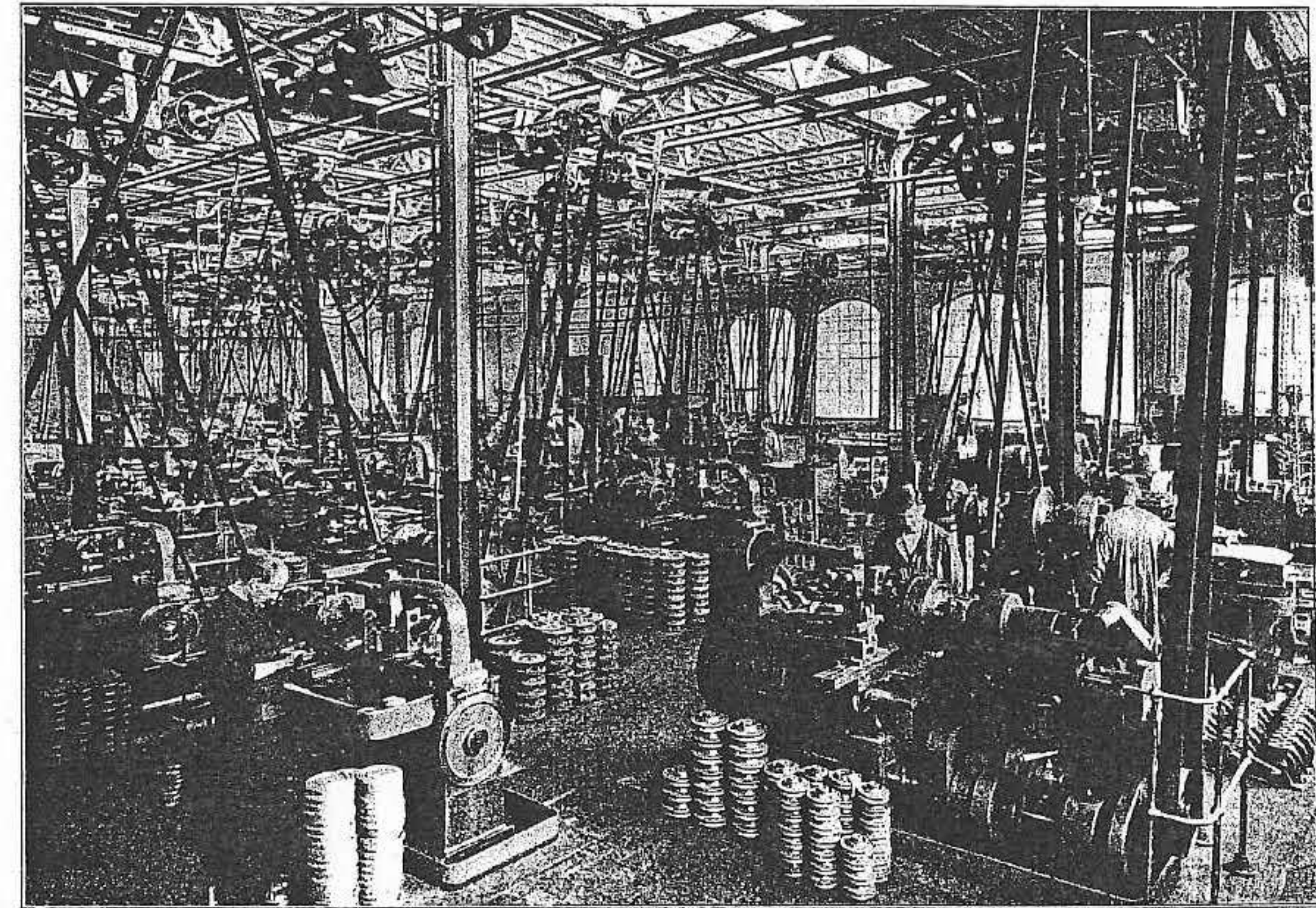


Bild 2.2/4: Betriebliche Strukturierung nach dem „Verrichtungsprinzip“
Beispiel: Dreherei der Maschinenfabrik von A. Borsig mit zentraler
Energieversorgung über eine Betriebsdampfmaschine und Verteilung der Energie
über Transmissionen (um 1900)

Bei größeren Produktionsmengen war der Schritt zur Strukturierung der Fertigung nach der Abfolge der durchzuführenden Fertigungsschritte, die zur Herstellung bestimmter Produktgruppen notwendigen waren, naheliegend. Dieses „Fließprinzip“ hatte immense Folgen. Die zentrale Kraftmaschine, die große Dampfmaschine mit ihrem Kesselhaus und den Nebenaggregaten, wurde nach und nach aufgegeben. Die Anordnung der Werkstätten im Fabrikgebäude, beim „Verrichtungsprinzip“ durch Möglichkeiten einer einfachen Anbindung über Transmissionen festgelegt, entfiel. Ganze Fabriken wurden nach einem rationellen Produktionsablauf gebaut. Die Gebäude bildeten die logische Folge der einzelnen Produktionsschritte ab. Dezentrale Dampfmaschinen kamen zum Einsatz. Es gab sie auch schon als „mobile“ Maschinen. Einige nutzten das betriebseigene Schienennetz für den Wechsel des Einsatzortes. Diese Kraftmaschinen waren eine spezielle Form der „Lokomobilen“. Sie wurden nach und nach durch flexible Einzelantriebe ersetzt. Später trat der elektrische Motor seinen Siegeszug als Kraftmaschine in den Fabriken an.

Ein anderer Aspekt der neuen betrieblichen Organisation ist der der Aufteilung und Delegation von Kompetenz und Verantwortung. Schon in den großen Manufakturen mit einigen hundert Arbeitern gab es hierarchische Strukturen und eine frühe Form der „Aufbauorganisation“. Die Eigentümer konnten nicht mehr alle betrieblichen Belange abdecken. Mit dem Wachsen der ersten Maschinenbauanstalten verschärfte sich das Problem. Die effiziente Organisation der betrieblichen Abläufe erforderte Spezialisten. Hinzu kam, dass zwingend nach Terminen gefertigt werden musste. Das setzte genau geplante Abläufe und eine übergreifende Vernetzung der betrieblichen Kapazitäten voraus. In den Industriebetrieben bildete sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine neue soziale

Schicht heraus: in hierarchischen Strukturen arbeitend, verantwortlich für einen betrieblichen Bereich, ausgestattet mit entsprechenden Kompetenzen, nicht Arbeiter, nicht Eigentümer oder am Eigentum beteiligt, nur abhängig vom Fabrikherrn, besser bezahlt und mit einigen Privilegien ausgestattet. Man nannte sie damals, in Analogie zu den staatlichen Institutionen, „Beamte“. Der Begriff „Angestellter“ für diese Personengruppe entstand erst viel später. Eine weitere Veränderung in der betrieblichen Organisation vollzogen viele Maschinenbauer mit wachsender Betriebsgröße. Die Gründergeneration der Unternehmen war meist technisch orientiert. Die kaufmännische Seite wurde mit bewältigt. Größere Unternehmen erforderten aber auf diesem Gebiet ein spezielles Wissen und viel Erfahrung. Nach der technischen Konsolidierung nahmen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts viele Unternehmen einen kaufmännisch geschulten Kompagnon in die Unternehmensführung auf. Häufig brachte diese Person auch noch Eigenkapital in die Firma ein.

Anmerkung:

Beim Übergang von der handwerklichen zur industriellen Produktion war die Beschaffung von geeigneten Arbeitspersonen ein großes Problem. In den in Zünften organisierten Handwerken gab es eine Reihe von Berufen wie Schmiede, verschiedene Schlossergewerbe, Gießer u.a.m., deren Basisqualifikationen zum Einsatz in den neuen Industrien im Prinzip geeignet waren. Allerdings wurde im Handwerk nur mit einfachen mechanischen Hilfsmitteln vornehmlich in Handarbeit gefertigt. Kenntnisse und Fertigkeiten der Handwerker waren in industriell arbeitenden Betrieben mit Maschinen in den grundlegenden Arbeitsschritten kaum einzusetzen. Die frühen „Kunstmeister“ und „Mechanici“, die ja die kompliziertesten Mechanismen gebaut haben, waren zwar mit der Maschinenarbeit vertraut, aber nicht in der Größenordnung, wie sie bei Dampfmaschinen vorlag. Sie standen auch nicht in der nötigen Zahl zur Verfügung.

Viele Maschinenbaubetriebe rekrutierten ihre Fachleute am Anfang der Entwicklung in England, Frankreich oder Belgien. Der bekannte Dampfmaschinenfachmann Conrad Matschoß beschreibt die Situation in den 1830er Jahren am Beispiel der Gründung der Maschinenfabrik Nürnberg (später M.A.N.) durch Johann Friedrich Klett. *„Wenn Klett auf dem Wege, den er beschritten hatte, weiter vorankommen wollte, dann mußte er auch die Dampfmaschine als Betriebskraft einführen, und vor allem stellte sich die Notwendigkeit heraus, eine eigene Eisengießerei einzurichten. Für eine Maschinenfabrik in diesem Klettschen Sinne reichte das Können der Nürnberger Handwerker nicht aus. Deswegen war es ihm ungemein willkommen, daß der englische Lokomotivführer William Wilson einige seiner Landsleute nach Nürnberg gerufen hatte, mit denen Klett nunmehr in Verbindung trat. ... Mit ihm zugleich war James Earnshaw nach Nürnberg gekommen, ein ausgezeichneter Maschinenbauer, dessen technischem Können das Werk sehr viel zu verdanken hatte. Klett hatte ihn zugleich mit einem anderen englischen Maschinenbauer John Hooker, einem Mühlenbauer, bei dem Nürnberger Mechaniker Hoffmann kennen gelernt, den er zuerst für die Weiterführung in Aussicht genommen hatte. ... Es fehlte nun noch ein Eisengießer. Die Engländer wußten Rat. In der Fabrik von Escher, Wyß & Co in Zürich arbeitete ihr Freund, der Eisengießer Rye. Sie ließen ihn nach Nürnberg kommen, und nunmehr wurde von dem Großkaufmann Klett, den Engländern Earnshaw, Hooker und Rye eine Fabrikgesellschaft unter der Firma Klett & Co. begründet.“*

Ähnliche Probleme gab es beim Bau von Dampfkesseln. Die geschmiedeten Kesselbleche aus einheimischen Schmieden waren zu grob und zu kleinteilig. Die Dampfkessel waren nicht dicht zu bekommen. Auch zur Lösung dieses Problems griff Klett auf einen englischen Kesselschmied zurück.

Anmerkung:

Die Ausbreitung der Dampfmaschine in den deutschen Ländern beschränkte sich bis Anfang des 19. Jahrhunderts primär auf den Einsatz in Bergwerks- und Hüttenbetrieben. Sie dienten der Wasserhaltung und in einigen Fällen für Förderdienste. Die erste Betriebsmaschine, die als Kraftmaschine in Gewerbebetrieben unterschiedliche Antriebsaufgaben übernehmen konnte, wurde in der Königl. Porzellan-Manufactur in Berlin aufgestellt. Sie war von 1800 bis 1824 in Betrieb.

Der Einsatz dieser neuen Maschinen traf aber auf viele Widerstände. Im „ersten Stand“ und in großen Teilen der Bevölkerung erhob sich ein Sturm der Entrüstung. Der Freiherr von der Reck fasste die Stimmung um 1810 so zusammen: *„Jetzt soll eine Tag und Nacht betriebene Dampfmaschine angelegt werden; und wer vermag vor auszusehen, was der Geist der Erfindungen und der sich täglich häufenden Entdeckungen und Feuerarbeiten noch an die Hand geben möchte. ... ist es billig, Gesundheit und Leben durch die ununterbrochenen und abscheulichen Ausdünstungen des Steinkohlendunstes zu untergraben ... Ich bin es meinem Eigentumsrechte, der Erhaltung der Gesundheit meiner Familie schuldig, alles aufzuwenden, um dieses tödliche Ungemach von meinem Hause zu entfernen“.*

Wie sich im Verlauf der weiteren Industrialisierung zeigte sollte, waren die Bedenken nicht unbegründet. In Preußen waren allerdings bis 1812 nur zwei Dampfmaschinen in Betrieb, eine in der erwähnten Königl. Porzellan-Manufactur und eine in der Leinenweberei von Alberti in Waldenburg.

Es gab auch große Bedenken und Widerstände bei den Fabrikherren. Das mag überraschen, aber ein großer Teil sah weder die Notwendigkeit noch den Nutzen einer Feuermaschine. Der Pferdegöpel tat es seit langem und wenn einer nicht reichte nahm man zwei. Den Bemühungen der Administration zur Hebung der Industrie durch Einführung der Dampfmaschine wurde von vielen Seiten entgegengearbeitet. In Preußen beschloss das zuständige Ministerium zur Förderung der Verbreitung der Feuermaschine drei Stück auf Staatskosten herstellen zu lassen. Nach langen Verhandlungen erklärten sich der Fabrikant Tappert bereit, eine Maschine mit 12 Zoll Zylinderdurchmesser und die Fabrik von Hummel, eine mit 16 Zoll Zylinderdurchmesser zu verwenden. Die dritte 8-zöllige Maschine nahm die Königl. Eisengießerei. Sie wurde zur „Belehrung des Publikums“ aufgestellt. Der Staat übernahm die Kosten für die Herstellung der Maschinen und der Kessel. Die Fabrikanten richteten das Maschinenhaus ein. Die Nutzer verlangten allerdings genaue Angaben zu den Betriebskosten, bevor sie sich die Feuermaschinen schenken ließen. Diese ersten Betriebsmaschinen liefen nur mit mäßigem Erfolg. Ab 1815 gelang es mit besseren Maschinen die Erwartungen zu erfüllen. In der **Tafel 2.2/2** ist die Anlage einer industriell produzierenden Seilerei aus dem Jahr 1845 wiedergegeben, bei der als zentrale Betriebsmaschine eine Balancier-Dampfmaschine im Einsatz war.

Anmerkung:

Es bleibt nur noch nachzutragen was an Energiequellen eingesetzt worden ist, wenn Wasser- und Windkraft nicht genutzt werden konnten, andere Möglichkeiten am Ort nicht bestanden, die Energie nur selten, evtl. nur kurzzeitig und dann noch u.U. an verschiedenen Orten in der Werkstatt zur Verfügung stehen musste, Göpel (mit Menschen und Tieren) zu aufwendig waren etc. Wie selbstverständlich wurden Menschen zum Antrieb der Arbeitsmaschinen eingesetzt. Auch noch im 19. Jahrhundert. „Menschliche Antriebe“ hatten Jahrtausende lange Tradition. Im Mittelalter gab es ganze Gruppen von Personen, die an wechselnden Orten ihre Arbeitskraft als „menschliche Kraftmaschinen“ anboten. Sie zogen als „Leyendreher“ oder „Kurbler“ durchs Land. Wie der Name sagt, wurde mit der Leyer oder Kurbel gearbeitet. Eine andere einfache mechanische Hilfe war die sogenannte „Schaukel“. Dabei wurden die Muskelkraft der Beine und das Gewicht des Körpers ausgenutzt. Einige Sprichworte im heutigen Sprachgebrauch haben ihren Ursprung in dieser Zeit und in dieser Personengruppe. Insbesondere, wenn monotone Tätigkeiten beschrieben werden sollen. Z.B.: etwas herunterleiern (für eine monotone Wiedergabe), ... am Rad drehen (für ständige Wiederholungen) etc.

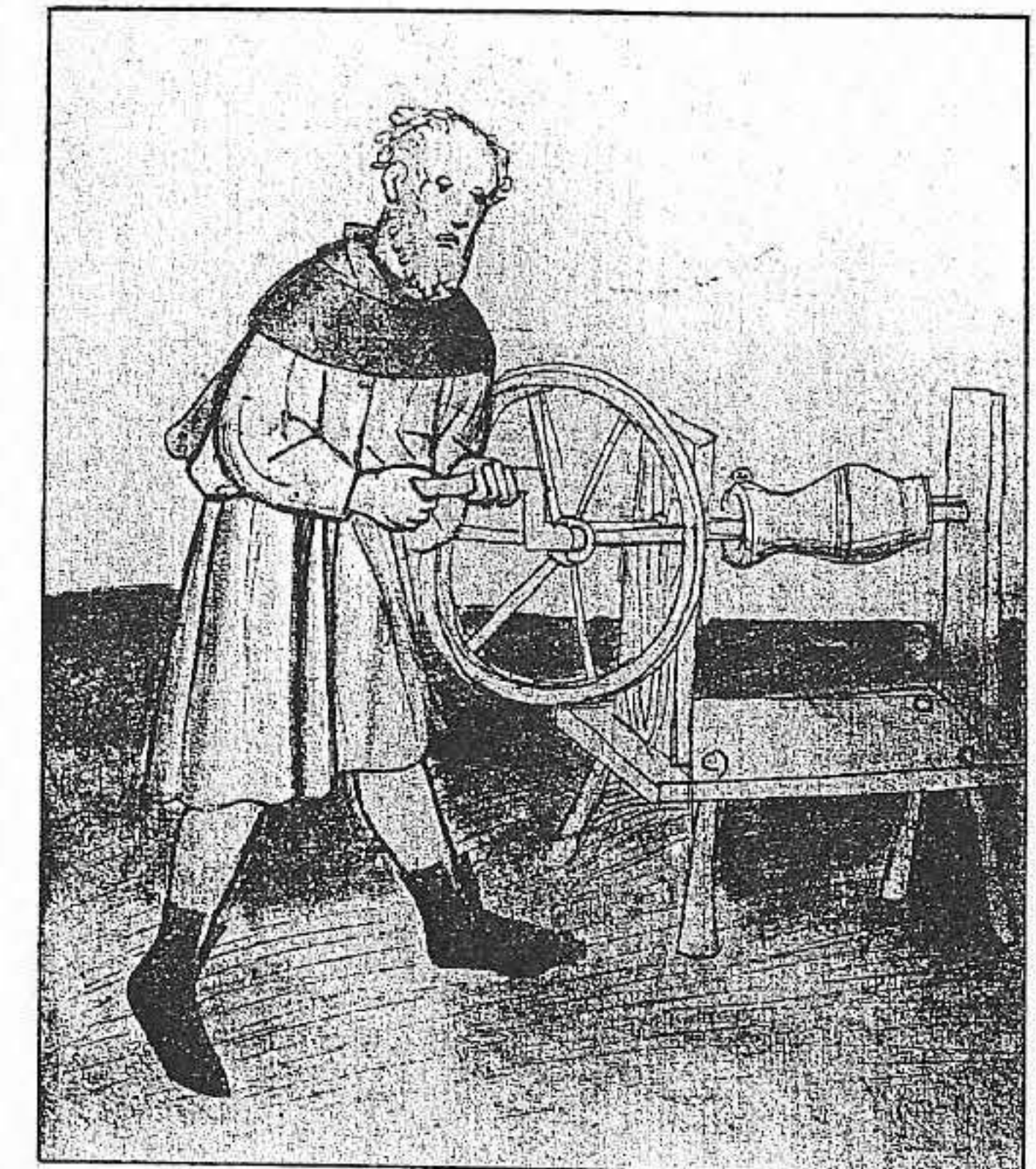
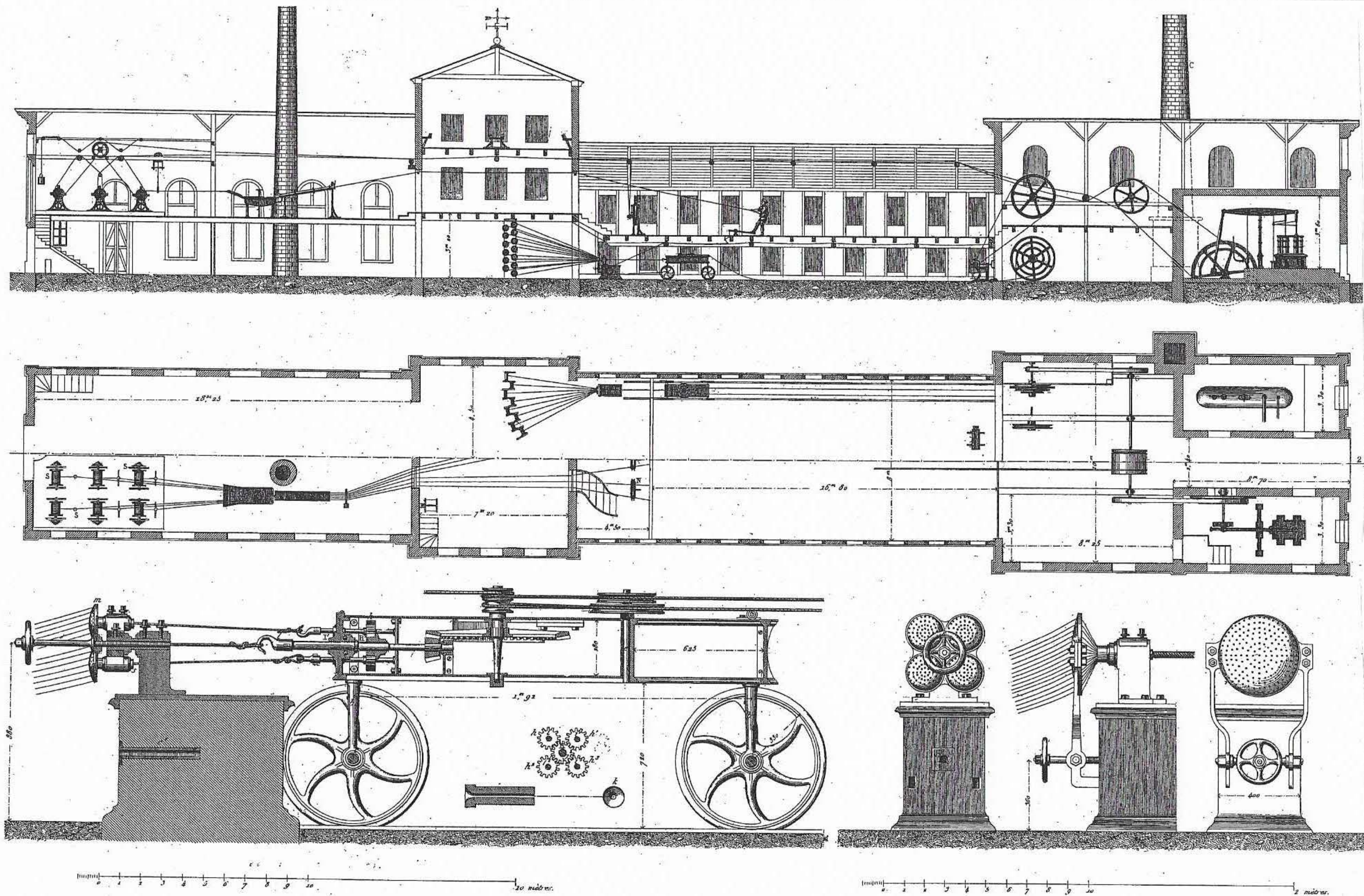


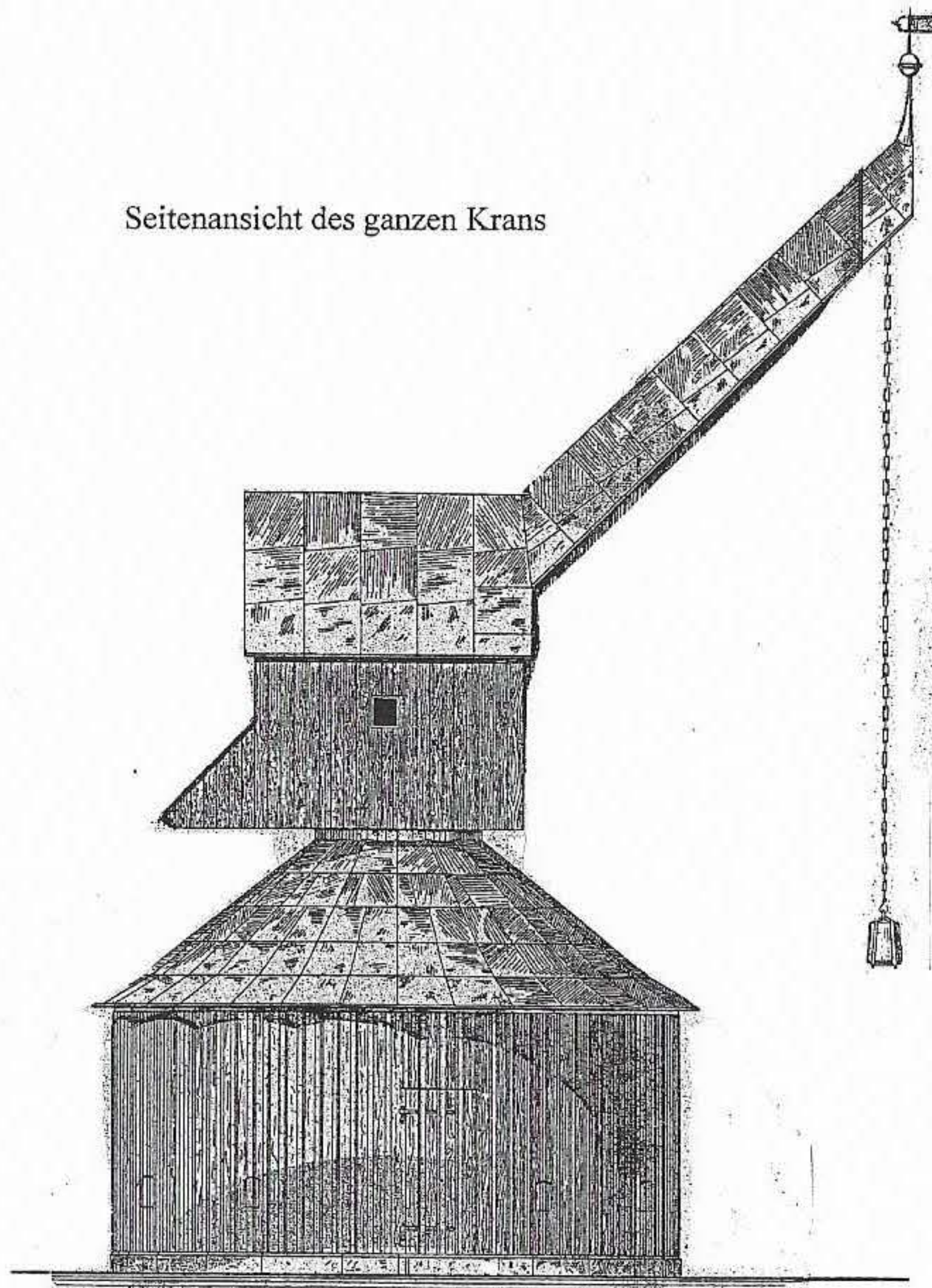
Bild 2.2/5:
„Kurbler“ oder „Leyendreher“
in einer Werkstatt
(um 1410)



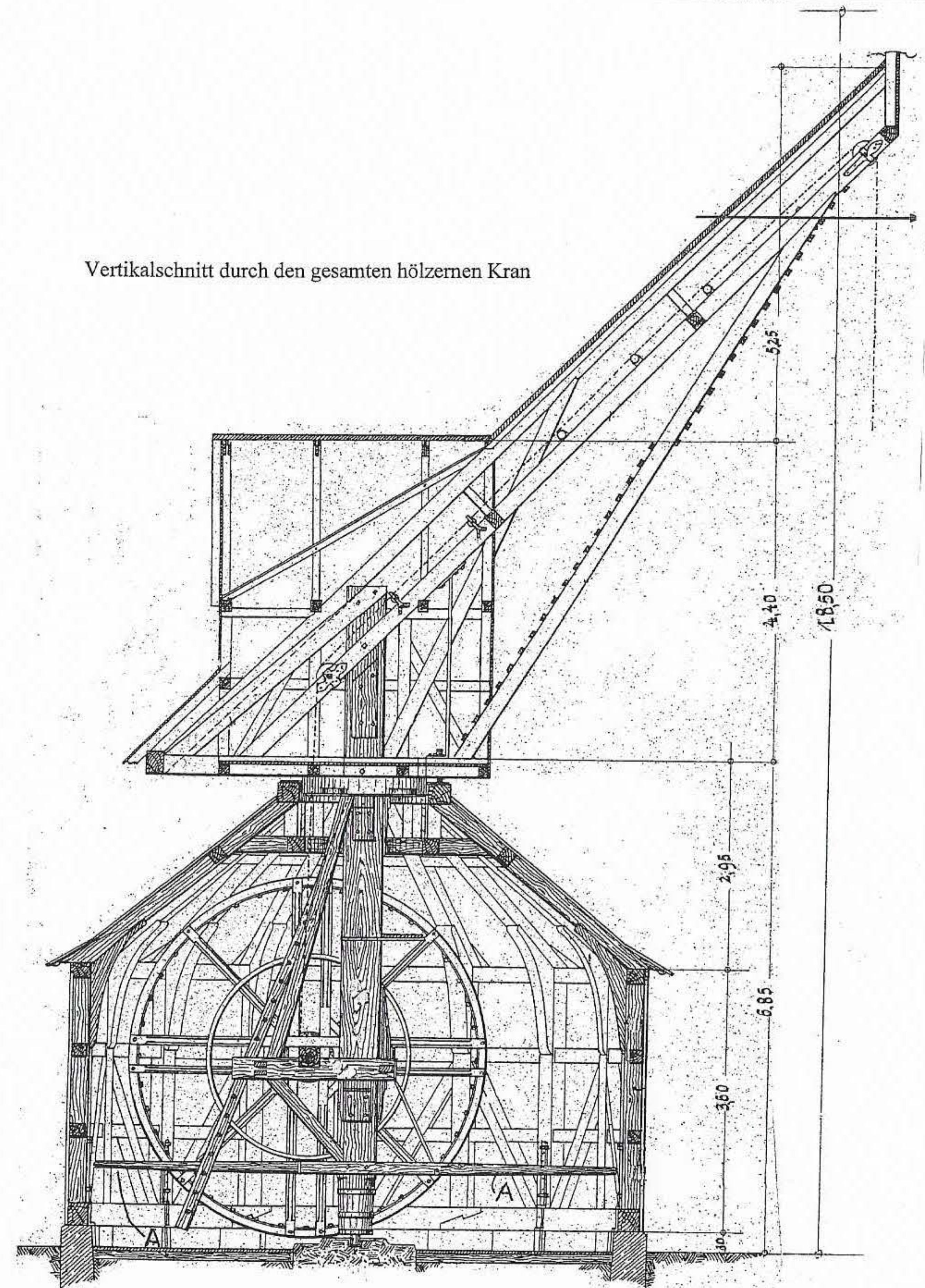
Tafel 2.2/1: Betriebs-Dampfmaschine in einer Seilerei

(1845)

Seitenansicht des ganzen Krans



Vertikalschnitt durch den gesamten hölzernen Kran



Bemerkung:

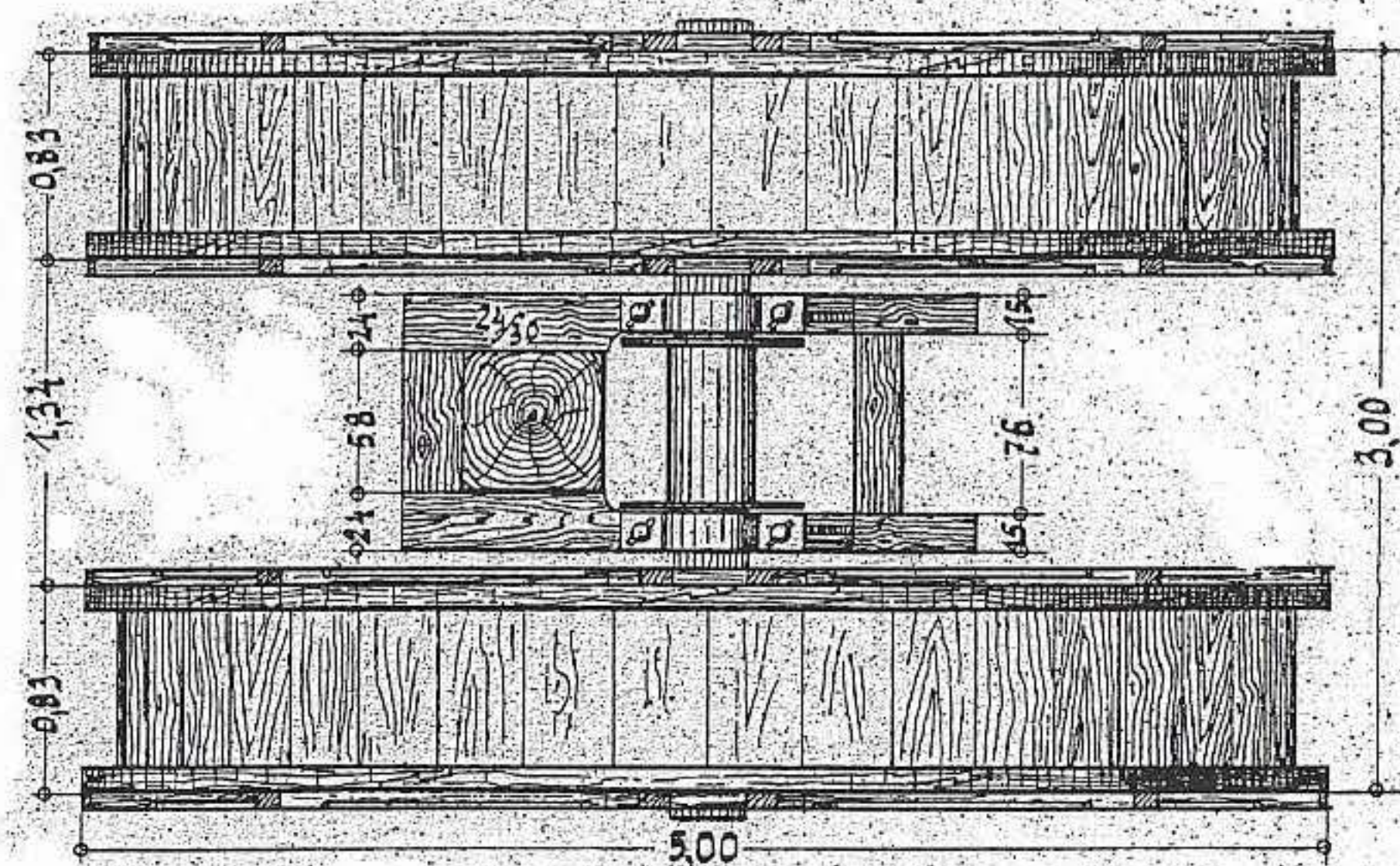
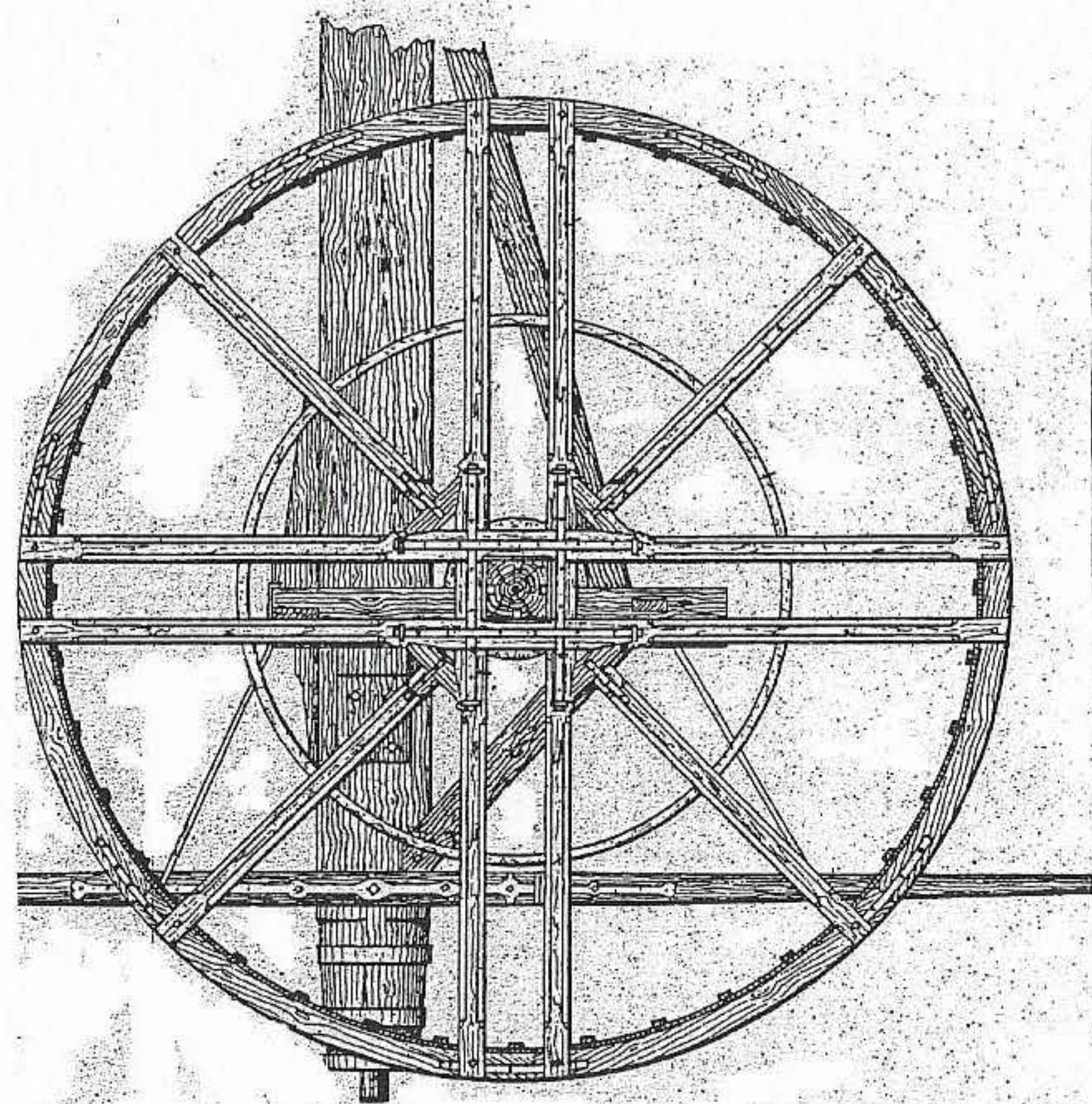
Der historische Hafenkran ist ein Beispiel für die Bauweise einer großen Maschine in der Zeit um 1800. Für den Aufbau ist typisch für die Holzfachwerkbauweise. Der Antrieb erfolgte durch Menschen. Die Abbildungen zeigen einen Ausschnitt aus einer Maßaufnahme. Das Original des ortsfesten Krans steht in Lüneburg. Der Zeichner ist nicht bekannt. Weitere technische Daten des Krans liegen nicht vor. Die maximale Tragfähigkeit lag bei etwa 9 Tonnen. Es gab ähnliche Holz-Konstruktionen auch auf Rädern verfahrbar. Der dargestellte Kran erfüllte zwei Funktionen:

- Heben und Senken von Lasten und
- Schwenken der Last vom Entladeort zum Abladeort.

Den Windenantrieb übernahmen zwei innenbeaufschlagte Treträder mit einem Durchmesser von 5 Metern. Sie waren von der äußeren Stirnseite aus für die Arbeitspersonen zugänglich. Zwischen den Treträdern lag die doppelte Lagerung der Tretradwelle. Die Trommel für das Zugmittel lag zwischen den Lagern. Als Zugmittel wurde kein Seil, sondern eine Gliederkette verwendet (Kettenwinde). Ein Grund dürften Sicherheitsüberlegungen gewesen sein. Zum Schwenken mussten das Giebelhaus mit Ausleger und die gesamte innere Tretradkonstruktion bewegt werden. Mindestens zwei Personen besorgten die Schwenkbewegung mit Hilfe von zwei langen Auslegern (A), die fest mit der zentralen Kransäule verbunden waren. Die Lagerung der Kransäule war wegen des großen Kippmomentes ein Problem. Als Ausgleich wurde ein steinernes Gegengewicht im Giebelhaus eingesetzt. Die stabile quadratische Kransäule wurde unten in einem radialen Loslager geführt. Das Festlager war oben. Es lief auf Rollen und besaß eine seitliche Führung zur Aufnahme von Radialkräften. Diese Bauweise erforderte ein sehr stabiles Kranhaus. Der Vorteil dieser Konstruktion war, dass der Boden des Kranhauses ohne Stolperstellen begehbar war. Die Größe des Kranhauses wurde durch die beiden Treträder und deren Platzbedarf beim Schwenken bestimmt. Das Kranhaus war über zwei Türen zugänglich.

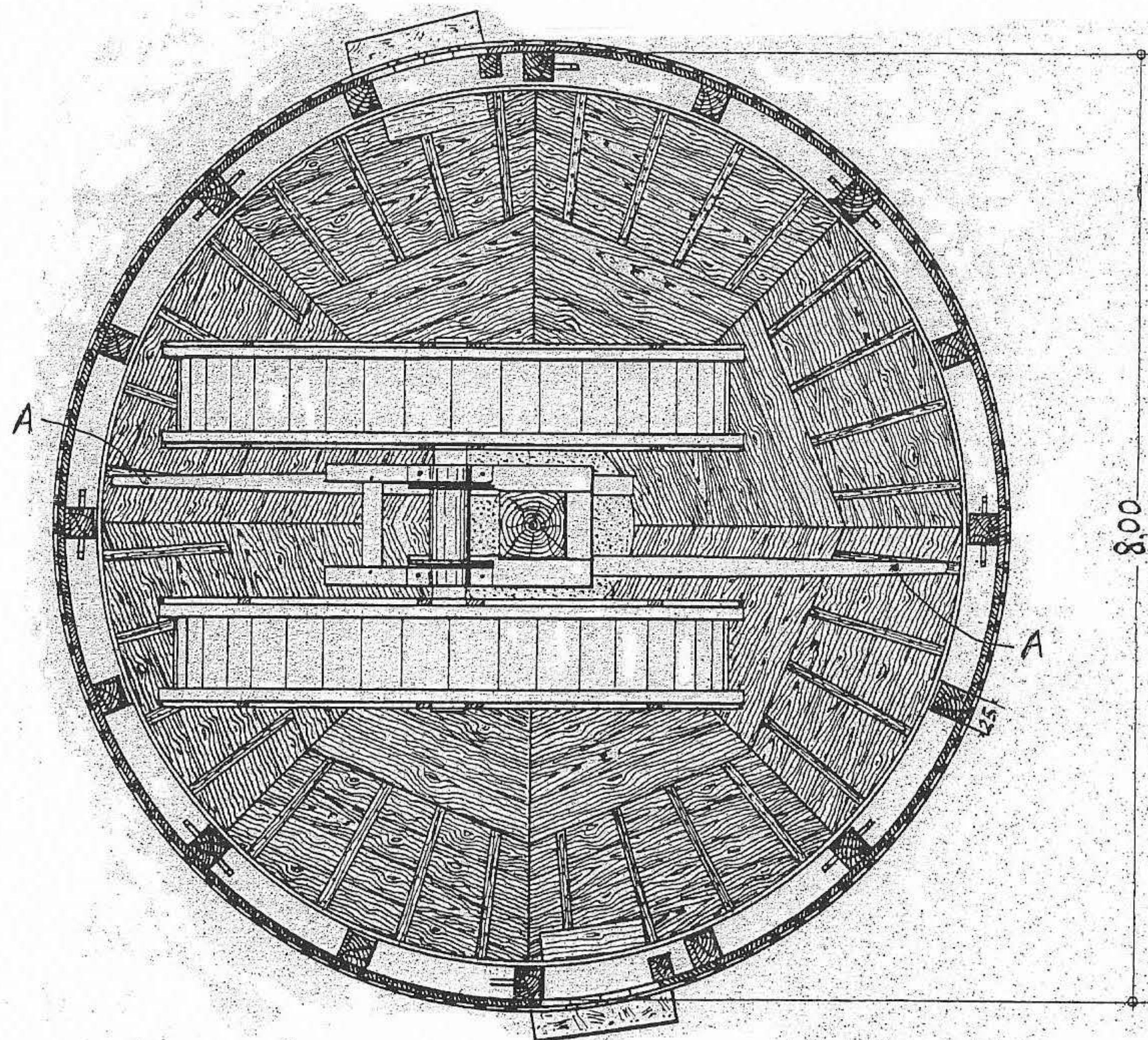
Tafel 2.2/2: Historischer Hafenkran
(Hersteller unbekannt. Baujahr 1797)

Seitenansicht des Tretrades



Draufsicht des Tretrades

Grundriss des Krans mit Treträdern und Kranhaus



Tafel 2.2/3: Historischer Hafenkran
(Hersteller unbekannt. Baujahr 1797. Darstellungen vergrößert)

2.3 Die ersten Dampfmaschinen im deutschsprachigen Raum

Die Nutzung von Dampf für die unterschiedlichsten Zwecke hat eine lange Geschichte, auch von Dampf unter höherem als dem atmosphärischen Druck. Schon im Altertum wurden Mechanismen eingesetzt, die mit Hilfe von Dampf mechanische Effekte erzeugen konnten. Diese Ideen wurden insbesondere in der Renaissance wieder aufgenommen. Erinnert sei in diesem Zusammenhang nur an einige Ideen des Leonardo da Vinci. Bei der Behandlung der ersten Dampfmaschinen im deutschsprachigen Raum kann man sich wieder auf die Phase nach 1700 beschränken. Die Darstellung dieser frühen Maschinen ist deshalb wichtig, da sie die Grundlage für die Entwicklung der ortsveränderlichen Kraftmaschinen mit Dampftrieb bilden. Deutlich wird dabei die Breite der Entwicklung. Ortsveränderlich bedeutete nicht nur verfahrbar, sondern auch verschiebbar, versetzbar und leicht demontierbar.

Anmerkung:

Eine Festlegung, wem die Ehre zukommt, die erste „Dampfmaschine“ erfunden zu haben, ist müßig. Zum einen scheitert das Unterfangen schon an dem Begriff „Dampfmaschine“, da schon weit vor dem Beginn unserer Zeitrechnung Mechanismen gebaut worden sind, die den Druck des Wasserdampfes zum Ausführen von allerlei mechanischen Effekten nutzten. Die meisten Mechanismen wurden für kultische Zwecke eingesetzt, ihre Funktionen galten als „wundersam“. Die Beschreibungen dieser Mechanismen sind sehr unvollständig oder nach heutiger Lesart unverständlich. Da mit Sicherheit nur ein kleiner Teil dieser frühen „Maschinen“ in die historischen Quellen Eingang gefunden hat, kann die Frage nach der ersten „Dampfmaschine“ oder deren Vorläufern unmöglich beantwortet werden.

Noch wesentlich kritischer sind die kulturellen Grenzen der historischen Zeitgenossen zu sehen. Was außerhalb des eigenen Kulturkreises geschah, wurde zumeist nicht wahrgenommen. Ein Beispiel ist die Erfindung der „Dampfmaschine“ des arabischen (?) Gelehrten Taki al-Din um 1550. Die funktionierende Maschine diente zum Antrieb diverser Mechanismen.

Auch eine engere Definition der Dampfmaschine, beispielsweise als Maschine, die die Wirkung des Dampfes in einem Kolben-Zylindersystem mit mechanischer Umsetzung zur Wirkung bringt, führt nicht weiter. Die frühen Dampfmaschinen zum Pumpen von Wasser arbeiteten anders.

In den stark national geprägten Gesellschaften des 18. und 19. Jahrhunderts war es üblich, bedeutende Erfindungen im eigenen nationalen Raum anzusiedeln. Das gilt natürlich auch für den deutschsprachigen Raum. So sind dann auch mehr oder weniger wahre Geschichten zur Erfindung der Dampfmaschine entstanden. Manche Erfindungen waren etwas inflationär gleichzeitig mehrfach gemacht worden. Je nach Gusto konnten sich die Zeitgenossen das aussuchen, was ihren Präferenzen entsprach. Besser ist es, sich die Namen der Personen ins Gedächtnis zu rufen, die einen Anteil daran hatten, dass die Dampfmaschine als universelle Kraftmaschine den Stand erreichen konnte, den wir heute im Nachhinein noch bewundern. Eine kleine Auswahl möge genügen:

- Heron des Älteren (um 215 v. Chr.). Er setzte Wasserdampf zur Erzeugung mechanischer Bewegung ein. Die bekannteste seiner Erfindungen ist der „Heronball“.
- Leonardo da Vinci (um 1480). Er beschrieb eine Vielzahl an Mechanismen zum Bewegen und Heben von Lasten, u.a. ein Kolben-Zylinder-System, bei dem der äußere Luftdruck für das Heben Verwendung fand.
- Taki al Din (um 1550). Bau einer funktionierenden Maschine mit Dampftrieb mit rotierender Abtriebsbewegung.
- Sal de Caus aus Frankreich (1615). Er beschrieb die Nutzung des Dampfes zur Förderung von Wasser.
- Giovanni Branca (um 1629). Der Dampfstrahl aus einer Düse trieb ein Schaufelrad an.
- Otto von Guericke (um 1650): Er schaffte die grundlegenden Kenntnisse über das Wesen des Luftdrucks und des Vakuums, die Voraussetzungen zum Bau atmosphärischer Dampfmaschinen.
- Marquis von Worcester (1663). Er beschrieb die Nutzung des Dampfes zur Wasserhebung.
- Ferdinand Verbiest (1678). Er beschrieb die Nutzung des Dampfes, und zwar nach dem Dampfstrahl-Turbinenrad-Prinzip, zum Antrieb von Wagen.
- Isaak Newton (um 1680). Er beschrieb einen Dampftrieb eines Wagens nach dem „Rückstoß-Prinzip“.
- James Moreland (um 1680): Er setzte die Dampfkraft zur Förderung von Wasser ein.
- Denis Papin (1690). Baute die ersten dampfbetriebenen Wasserhebungsmaschinen in Deutschland. Bau der ersten atmosphärischen Dampfmaschine, bei der die Kraft an eine drehende Welle abgegeben wurde.
- Savery (1698): Er baute u.a. kontinuierlich arbeitende dampfgetriebene Maschinen zur Förderung von Wasser.
- Th. Newcomen und J. Cawley (1705) entwickelten die mit einem Kolben arbeitende Dampfmaschinen weiter.

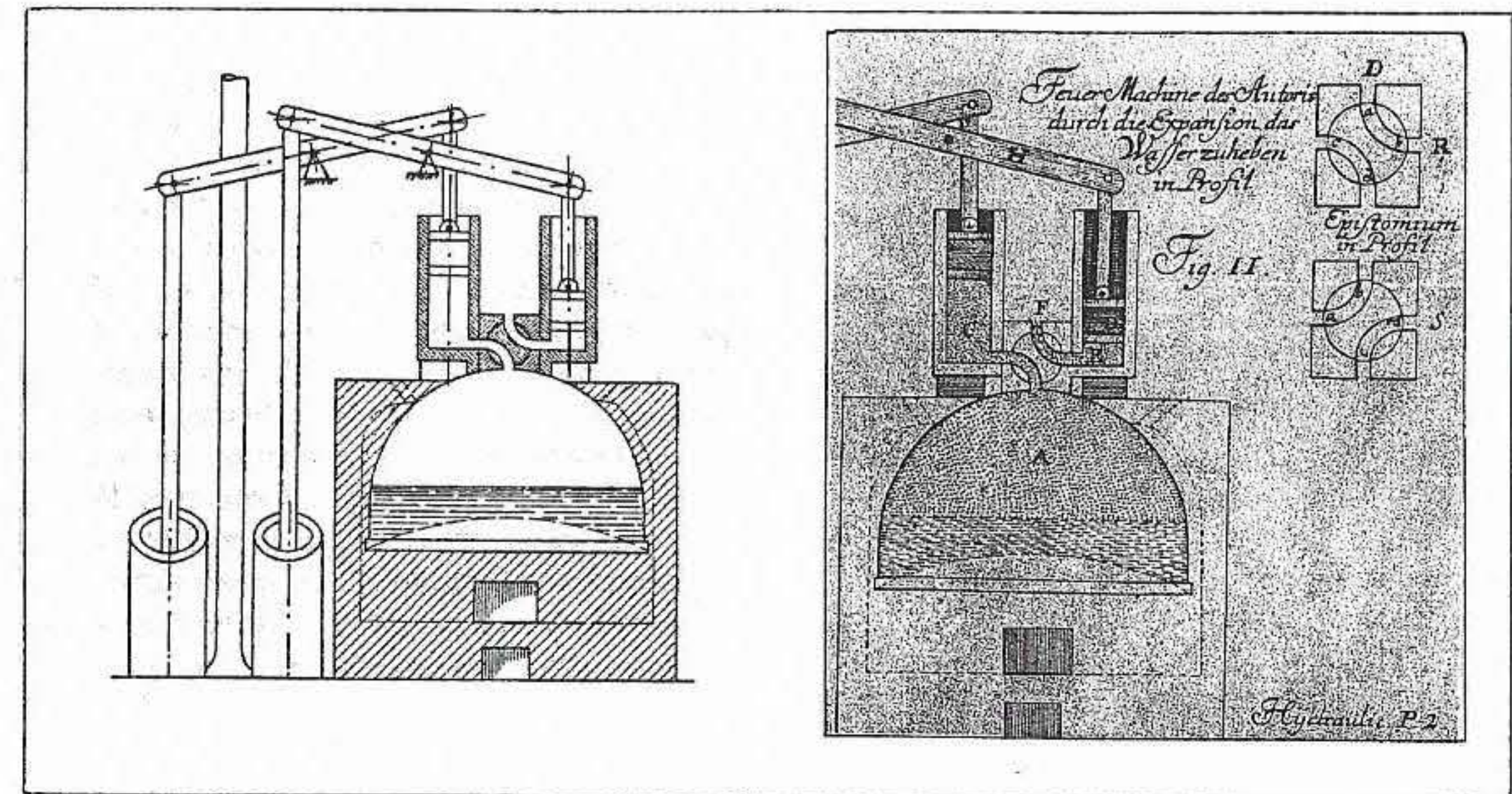


Bild 2.3/1: Prinzipskizze und Ausschnitt zur Hahnsteuerung aus dem Originalentwurf von J. Leupold zu der mit Überdruck arbeitende Dampfmaschine (1725)

- Jacob Leupold (1720). Herausragender Gelehrter der mechanischen Wissenschaften im deutschsprachigen Raum. Verfasser des „Theatrum machinarum“ beschreibt in seinem Werk u.a. auch Dampfmaschinen mit drehender Abtriebsbewegung. 1724 beschreibt er in seinem „Theatrum mach. hydr.“ den Bau einer „Hochdruck“-Dampfmaschine. Sie besaß zwei einfachwirkende Zylinder und war als Pumpmaschine vorgesehen. Der Abdampf ging ins Freie. Ein Hahn steuerte den Dampfwechsel.
 - Nicolas Cugnot (1769/70). Erbauer des ersten funktionsfähigen Dampf-Lastwagens.
 - J. Watt (1769 und später). Er verbesserte die Dampfmaschine entscheidend. In Stichworten: Kondensation, doppelwirkende Maschine, Expansion, rotierende Bewegung, Parallelogramm-Führung u.a.m.
 - J. Watt. Ab 1776 Einsatz von Niederdruck-Dampfmaschinen als Pumpmaschinen.
 - J. Watt. Ab 1782 Einsatz von Niederdruck-Dampfmaschinen mit Drehbewegung.
- Die Liste ließe sich noch um etliche Namen ergänzen. Einen vollständigen Überblick über die Entwicklung der Dampfmaschine findet man bei F. M. Feldhaus. Die Technik. München 1970, S. 181 ff.

Die Geschichte der Einführung der Dampfkraft in Deutschland ist, ohne den Namen von Dionysius Papin zu erwähnen, nicht vollständig. Papin wurde 1647 in Blois in Frankreich geboren. Er studierte Medizin in Paris, entdeckte aber schon in jener Zeit seine Vorliebe für technische und physikalische Wissenschaften. 1665 ging er nach England und war dort u.a. bei der Königlichen Gesellschaft für Kunst und Wissenschaft tätig. Nach der Aufhebung des Edikts von Nantes, konnte er als Hugenotte nicht mehr nach Frankreich zurück. Er fand 1687 eine Anstellung beim Landgrafen von Hessen als Professor der Mathematik an der Universität in Marburg. Schon in England hatte sich Papin mit der Wirkung des Wasserdampfes beschäftigt und das Potential für eine technische Nutzung erkannt. Auch Leibnitz und der Landgraf von Hessen beschäftigten sich zu jener Zeit mit Ideen, Wasser mit Hilfe des Feuers zu heben. In Marburg konstruierte Papin 1690 einen Apparat, der die Eigenschaften des Wasserdampfes als Kraftmaschine zu nutzen gestattete und zur Wasserhebung, als Antrieb für Schiffe u.a.m. eingesetzt werden konnte. Ein verkleinertes Modell der atmosphärischen Maschine war einige Zeit später in Funktion. Er beschrieb auch, wie die Kraft des Dampfkolbens auf eine rotierende Welle übertragen werden konnte. Gedacht war an einen Mechanismus mit mehreren Zylindern. Mit gezahnten Kolbenstangen sollte in ein Getriebe eingegriffen werden, das eine Welle mit entsprechenden Zahnrädern enthielt. Beim Kolbenaufgang drehten sich die Zahnräder mit Hilfe einer Klinke und eines Sperrrades lose mit, beim Kolbenniedergang war die Drehbewegung gesperrt und trieb die Welle an. Durch mehrere Zylinder wurde die Drehbewegung gleichmäßig. Damit war die Grundlage einer einfachen „Dampfmaschine“ mit rotierender Ausgangsbewegung geschaffen.

Die Wirkungsweise war noch sehr einfach (**Bild 2.3/2**). In einem Zylinder A konnte sich ein dichtschießender Dampfkolben B auf und ab bewegen. Der Kolben besaß ein verschließbares Loch D, durch welches nahe der unteren Kolbenstellung eine kleine Menge Wasser eingebracht wurde. Nach dem Verschließen des Lochs wurde der Zylinderboden erhitzt. Das eingeschlossene Wasser verdampfte und trieb den Kolben nach oben. In dieser Stellung wurde er mechanisch durch den Riegel C gesperrt und danach das Feuer entfernt. Der Dampf kondensierte und unter dem Kolben entstand ein „luftleerer Raum“. Der äußere Luftdruck trieb dann den Kolben mit großer Kraft nach unten. Diese Bewegung wurde mit Hilfe des Seiles E zum Betrieb einer Pumpe verwendet. Mit dieser Maschine wurden einige Versuche in größerem Maßstab durchgeführt. Doch die Ausführung wurde mit den technischen Mitteln jener Zeit und dem handwerklichen Können nicht sicher beherrscht. Die Idee wirkt aus heutiger Sicht etwas primitiv. Einen etwas anderen Eindruck gewinnt man wenn man berücksichtigt, dass Papin eine Maschine mit einem Zylinderdurchmesser von 610 mm und einem Hub von 1200 mm plante. Sie wäre in der Lage gewesen, bei jedem Arbeitswechsel ein Gewicht von etwa 3 Tonnen 1,2 Meter hoch zu heben. Wenn es gelänge, 10 Arbeitswechsel pro Stunde zu machen, würde die Maschine 30 Tonnen Wasser pro Stunde heben können.

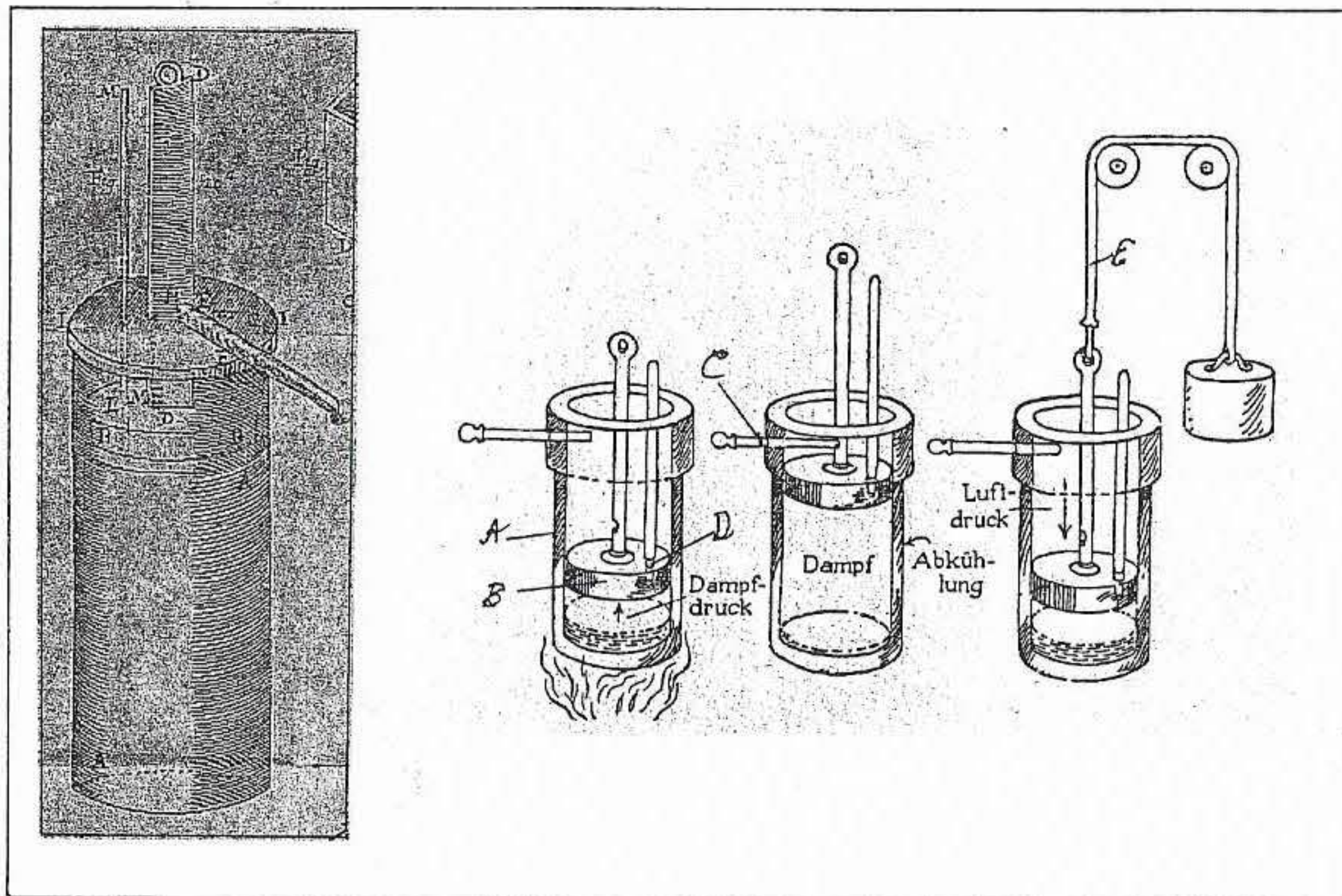


Bild 2.3/2: Originalskizze und Prinzipskizze der Dampfmaschine von Papin (um 1694)

Ob Papin mit einer „Pumpmaschine“ nach ähnlichem Schema 1698 versucht hat, Wasser aus der Fulda auf ein höheres Niveau zu fördern, ist nicht sicher. Diese Maschine soll aus einem etwa kugelförmigen Kupferkessel mit Sicherheitsventil und dem Pumpenteil bestanden haben. Der Dampf strömte wahrscheinlich über einen Hahn in den Zylinder. Ein Kolben fördert das Wasser. Die Steuerung des Mechanismus erfolgte über Ventile und Schwimmer.

Papins zweite Maschine aus dem Jahr 1706 war nachweislich betriebsfähig. Wie lange sie in Betrieb war ist strittig. Dauerhaft, d.h. mehrere Jahre, sicherlich nicht. Sie wurde als Dampfpumpe eingesetzt und war in der Lage, aus einem 40 Fuß hohen Steigrohr Wasser in „beliebiger Menge“ ausfließen zu lassen. Ihre Bauweise unterschied sich deutlich von der englischer Maschinen, z.B. der Maschine von Savery. Die Funktion ist am einfachsten aus der

Funktionsskizze (**Bild 2.3/3**) zu erkennen. Im Zylinder b läuft ein dichter Kolben c. Der Zylinder ist einerseits mit dem Kessel a und andererseits durch das Rohr h mit dem Wasserbehälter e und einer Art Windkessel f verbunden. In a wird Dampf mit größerem Überdruck erzeugt. Ist der Hahn d geschlossen, so dass kein Dampf oberhalb des Kolbens c gelangt, so wird durch die Klappe o kaltes Wasser aus e in den Zylinder b fließen. Der Kolben c steigt. Wird jetzt der Hahn d geöffnet, so drückt der eindringende Dampf den Kolben c herab. Die Klappe o schließt sich und das Wasser wird über die sich öffnende Klappe i in den Windkessel f befördert und über das Rohr g auf das höhere Niveau. Die Maschine arbeitete mit Überdruck. Ein kontinuierlicher Betrieb wird durch abwechselndes Öffnen und Schließen von d erreicht. Zur Wasserhaltung in Bergwerken war sie nicht geeignet, da die gesamte Anlage auf dem unteren Wasserniveau stand.

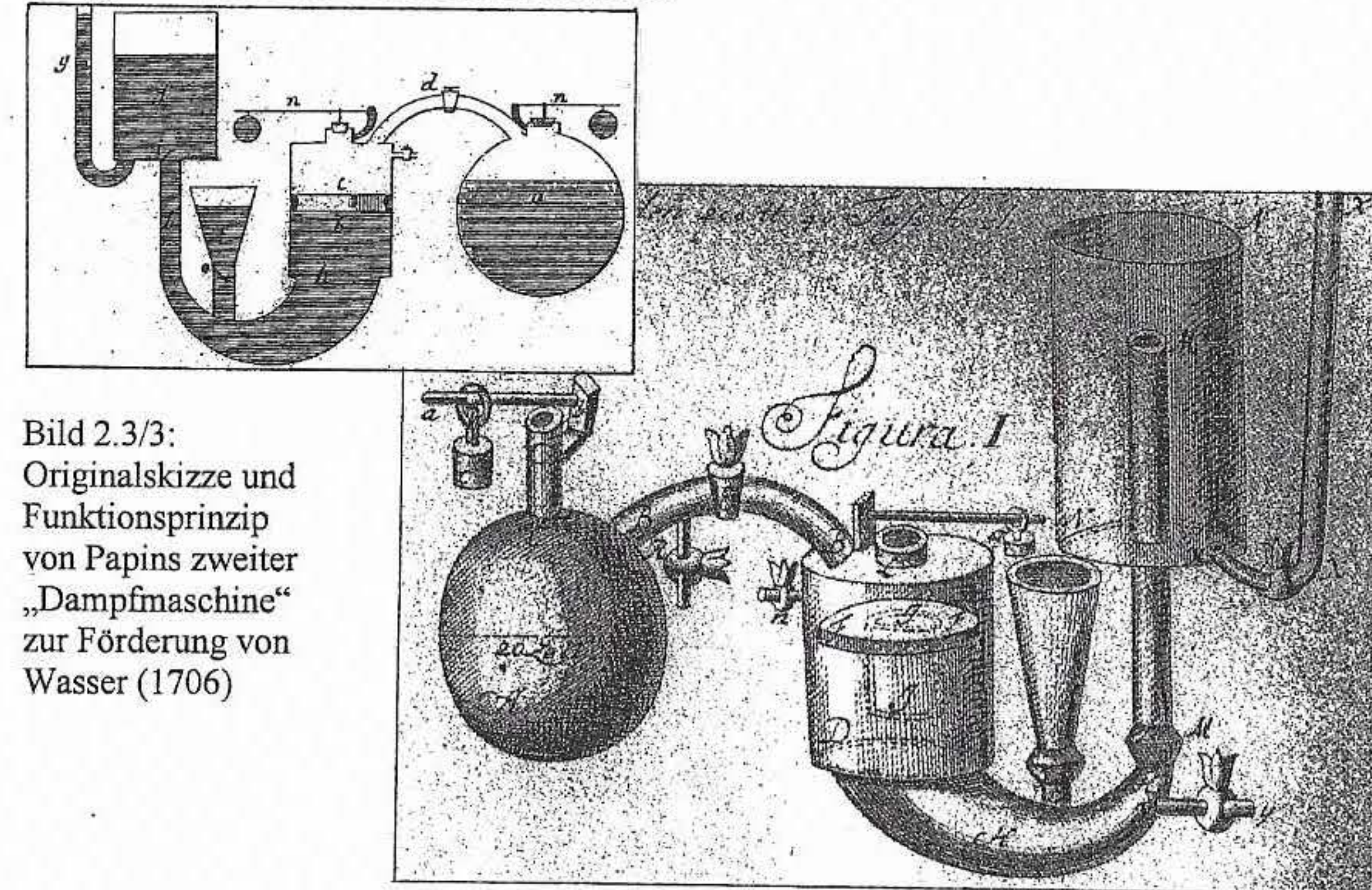


Bild 2.3/3:
Originalskizze und
Funktionsprinzip
von Papins zweiter
„Dampfmaschine“
zur Förderung von
Wasser (1706)

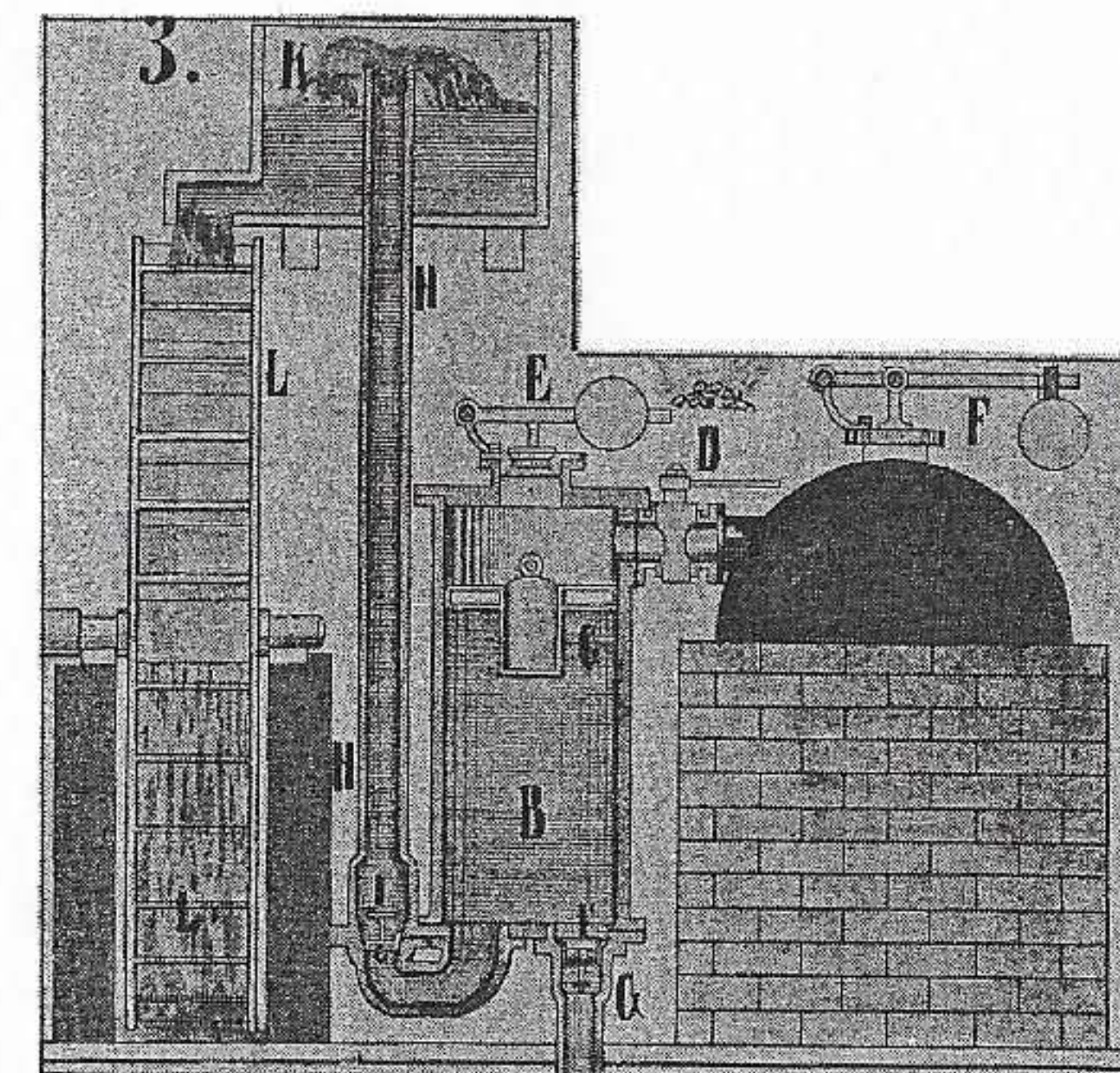


Bild 2.3/3a:
Skizze der indirekt
wirkenden Dampfmaschine
mit rotierender
Antriebsbewegung
von Papin aus dem Jahr
1707

Die Arbeiten von Papin wurden von einigen Historikern als frühe Experimentierarbeiten mit begrenztem praktischem Nutzen bewertet. Die Einschätzung ist äußerst „merkwürdig“. Alle Arbeiten der frühen Pioniere waren Versuche mit begrenztem Nutzen. Unabhängig davon ist durch neue technikgeschichtliche Forschungen belegt, dass die ersten Dampfmaschinen im deutschsprachigen Raum schon sehr früh, und zwar um 1715 im Einsatz waren.

| Jahr der Inbetriebnahme | Standort | Bauart | Erbauer | Bemerkung |
|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--|--|
| 1715 | Kassel | unbekannt | Weber | Maschine z. T. aus Engl. (?) ggf. verkleinertes Modell |
| 1722 | Kassel | Newcomen | Fischer von Erlachen | Englische Maschine |
| 1722 | Wien | Newcomen | Fischer von Erlachen | Von einheimischen Handwerkern hergestellt. |
| 1724 | Königsberg bei Schemnitz | atmosphärische Maschine | Isaac Potter | Englische Maschine |
| 1732 und 1735 | Schemnitz | atmosphärische Maschine | Fischer von Erlachen | z. T. eigene Herstellung |
| 1745 | Opperde bei Ballenstett | atmosphärische Maschine | Friedrich Kessler (Landbaumeister) | Eigene Herstellung. Auch unter der Bezeichnung „Masch. zu Bernburg a.d. Saale“ bekannt. Vermutlich nicht in Betrieb gewesen. |
| 1753 | Lintorf bei Ratingen | Newcomen | Kirchbaum | Zylinder aus England restl. Teile aus Lüttich |
| ab 1760 | Böhmen, ungarische Slowakei | Newcomen | Unbekannt, vermutlich von böhmischen Handwerkern gebaut. | Über ein Dutzend Maschinen in Betrieb. Allein in Schemnitz 7 Maschinen. |

Bild 2.3/4: Übersicht der ersten Dampfmaschinen im deutschsprachigen Raum

*Prospekt über die neue
Vertheilung der Kraft der Dampfmaschine
nachdem sie nicht mehr nur zur
Bewegung der Pumpen in den
Bergwerken allein zu gebrauchen
ist, sondern auch zur
Bewegung der
Schiffen dienen kann*

Prof. und Dr. J. B. L.
des Ingenieur und Architekten

Prof. und Dr. J. B. L.
des Ingenieur und Architekten

Bild 2.3/5: Perspektivische Skizze der „Feuer-Maschine“ aus Königsberg/Ungarn (1722)

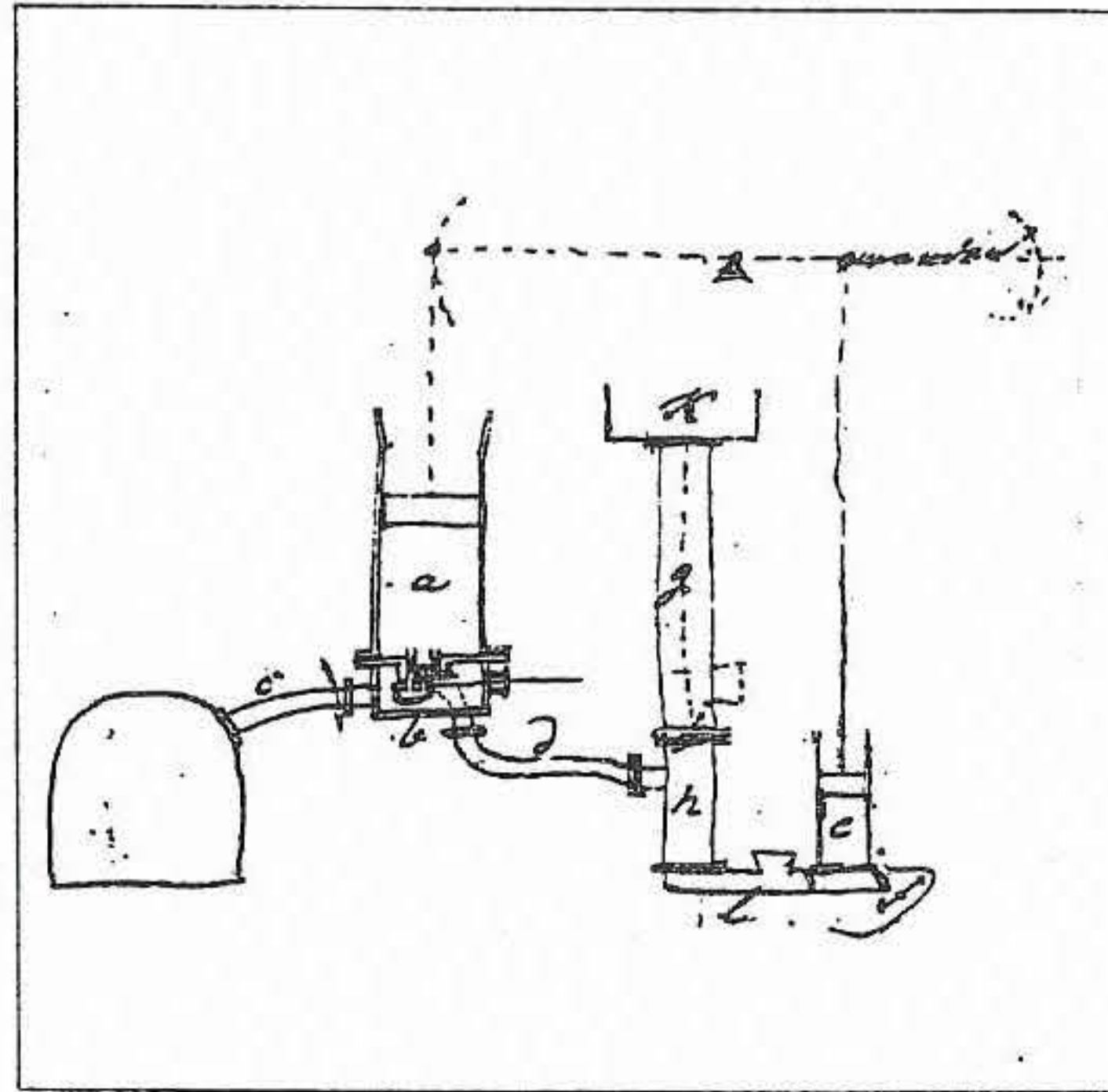


Bild 2.3/6:
Ergänzte Skizze (Nachzeichnung)
der ersten Dampfmaschine Preußens
von 1778/79
(Nach einer Umbauskizze des
Maschinensteigers Grund
aus dem Jahr 1822)

Die erste auf preußischem Gebiet arbeitende Dampfmaschine legte der Kriegsrat Abraham Gansauge 1778/79 auf eigene Kosten bei seinem Braunkohlentiefbau am nördlichen Ortsrand von Altenweddingen an, knapp 20 Kilometer südlich von Magdeburg in der Börde gelegen. (Technikgeschichte. Bd. 65, H. 2, S.97 ff.) Es war eine Newcomen-Maschine. Bemerkenswert ist die Herkunft. Nach derzeitigem Kenntnisstand stammte sie nicht aus England, sondern aus der ungarischen Slowakei. Dort waren schon um 1767 bei Schemnitz sieben Dampfmaschinen in Betrieb.

Die weiteren Entwicklungsschritte (Verlegung des Kondensationsvorgang aus dem Zylinder in einen separaten Kondensator, Anwendung des „Überdrucks“, doppelwirkende Maschinen u.a.m.) gehen im Wesentlichen auf James Watt zurück. Auch die ersten Expansionssteuerungen wurden von ihm zum Einsatz gebracht.

Die erste Dampfmaschine nach wattscher Bauart, eine einfach wirkende Niederdruckmaschine, wurde am 1785 für den Schacht „Friedrich Wilhelm“ (in einigen Quellen auch Schacht „König Friedrich“ genannt) des königlichen Kupferbergwerkes bei Hettstedt im Mansfeldischen in Betrieb genommen. Auch hier waren die Wasserzuflüsse so groß, dass mit „Roßkünsten“ der Tiefbau nicht mehr trocken gehalten werden konnte. Da einige Wasserläufe in der Umgebung vorhanden waren, fasste man zuerst die Anlage einer sogenannten „Radkunst“ ins Auge. Die Wassermengen für den Antrieb waren aber unzulänglich und die Entscheidung fiel auf eine „Feuermaschine“. Erbauer der Maschine war der Bergassessor Bückling. Die Funktionsweise und die Baupläne hatte man in England studiert. Am 23. August 1785 konnte sie in Betrieb genommen werden. Alle Teile stammten von einheimischen Herstellern. Der Dampfzylinder, wurde in der königlichen Geschützgießerei in Berlin aus Kanonenbronze gegossen. Nach einigen Umbauten war die Maschine bis zum Jahr 1794 auf dem Schacht in Betrieb. Der fortschreitende Abbau machte danach eine stärkere Maschine erforderlich. Die alte Feuermaschine wurde zerlegt und auf dem Hoffnungsschacht bei Löbejün wieder aufgestellt. Sie arbeitete dort von 1797 bis 1848. Um 1785 wurde auch die erste Dampfmaschine in Thüringen von Carl Besser gebaut. Sie diente zum Entwässern einer Vitriol-Grube in Mühlberg. Eine weitere Dampfmaschine in Preußen wurde am 4. April 1788 auf der Bleierzgrube Friedrich bei Tarnowitz in Oberschlesien in Betrieb genommen. Sie kam aus England.

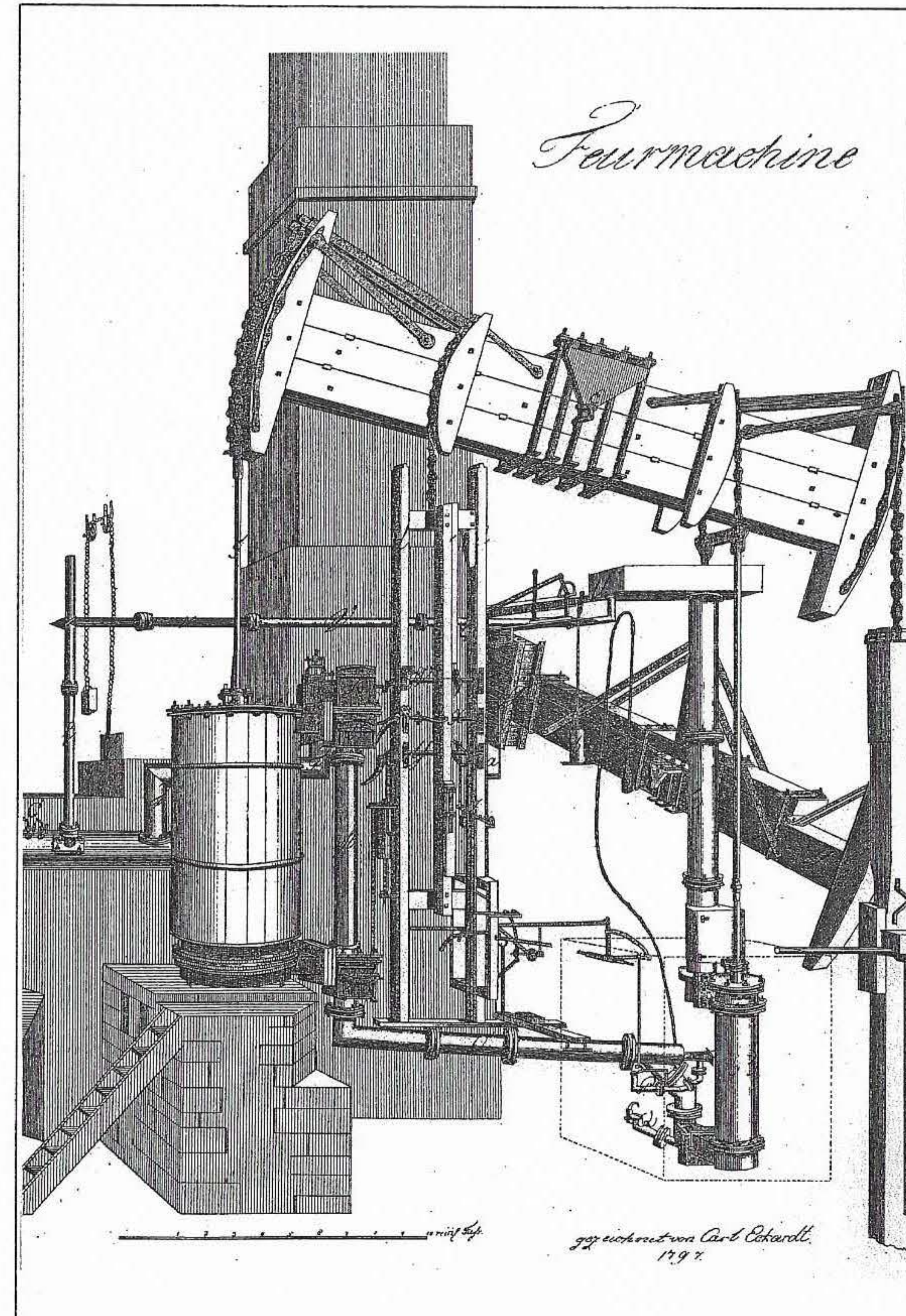


Bild 2.3/7: Historische Zeichnung der Feuermaschine des Friedrich-Wilhelm-Schachts bei Hettstedt von 1785 (Stich nach einer handkolorierten Originalzeichnung)

Dass die einheimischen Maschinenbauer nicht nur nach englischen Vorbildern gebaut haben, sondern auch sehr eigenständige Entwicklungen verfolgt haben, zeigt die Konstruktionszeichnung einer dampfgetriebenen Maschine aus Schlesien. Der Erfinder Resener aus Breslau wollte mit dieser Feuermaschine eine Grubenentwässerung betreiben. Sie funktionierte nach dem Prinzip des „Heronballs“. Gebaut worden ist sie vermutlich nicht.

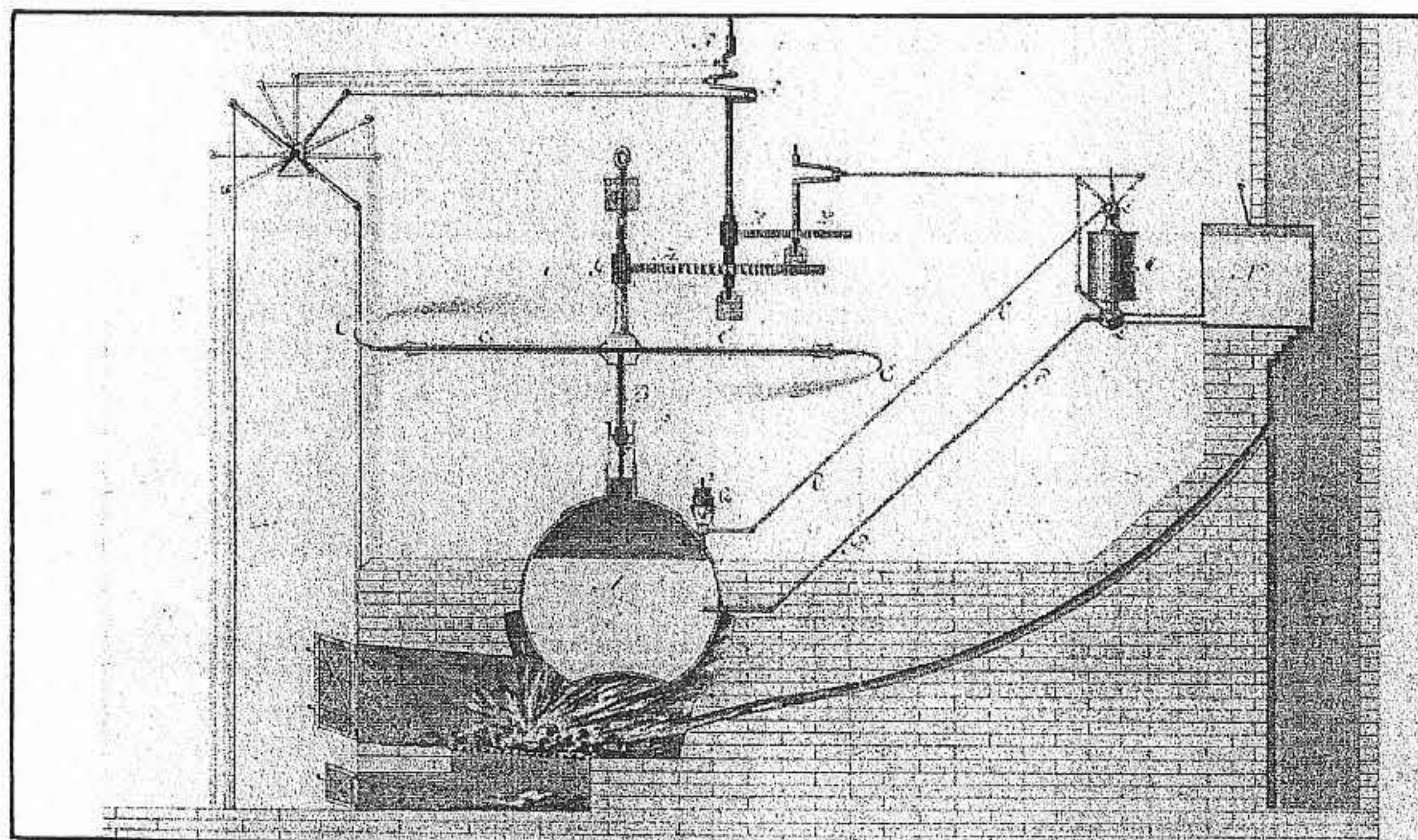


Bild 2.3/8: Feuermaschine zur Grubenentwässerung von Resener (1787)

Eine andere Dampfmaschine aus der Anfangsphase des Einsatzes derartiger Maschinen wurde ab etwa 1793 auf dem Gradierwerk in Schönebeck als Solepumpe eingesetzt. Gebaut wurde diese Wattsche Maschine von C. F. Bückling. Im Aachener Revier nahm die erste Dampfmaschine ebenfalls 1793 den Betrieb auf. Sie diente zur Entwässerung einer Grube in Eschweiler. 1801 ging eine Maschine auf der Zeche „Vollmond“ in Langendreers in Betrieb. Ab 1803 arbeitete eine Maschine auf der Romberg'schen Zeche „Wohlgemuth“. Gebaut worden ist sie um 1801 in Schlesien. Beim Bau vor Ort war der Zimmermann Franz Dinnendahl beteiligt. Dinnendahl gründete kurze Zeit später einen der ersten Maschinenbaubetriebe für die Dampfmaschinenfabrikation. August Friedrich Holzhausen stellte in seinen Werken in Malapane und Gleiwitz (Oberschlesien) zwischen 1794 und 1825 über 50 Dampfmaschinen her. Die erste Betriebsmaschine, also eine Kraftmaschine für Gewerbebetriebe, stand in der Kgl. Porzellanmanufaktur in Berlin. Englische Mechaniker hatten sie in Gleiwitz gebaut. Im Jahr 1800 nahm sie den Betrieb auf.

Ende des 18. Jahrhunderts konnte der Dampfdruck weiter gesteigert werden. Die Hochdruck-Dampfmaschine trat ihren Siegeszug an. Sie baute deutlich kompakter, brachte mehr Leistung, konnte ohne Kondensation betrieben werden und war, bezogen auf ihre Leistung, preiswerter in der Herstellung. Sie war eine Voraussetzung für den Einsatz der Dampftechnik in mobilen Maschinen. Mit der Hochdrucktechnik sind u.a. die Namen Richard Trevithick in England und Oliver Evens in den USA verbunden. Trevithick baute 1801 eine erste „Hochdruckmaschine“ in ein Fahrzeug ein. Evens hatte zwar schon 1784 die Konstruktion seiner Hochdruckmaschine abgeschlossen, gebaut wurde die Maschine aber erst 1812. Der Druck ging schon bis zu 8 Atmosphären und erforderte spezielle Kesselkonstruktionen. In Preußen war gut 10 Jahre später Ernst Alban aus Plau einer der Pioniere der Hochdruckmaschinen.

Anmerkung:

Bis auf die vereinzelt Einsätze auf Schiffen waren alle diese Maschinen für den stationären Betrieb vorgesehen. Mobile Dampfmaschinen, man bezeichnete sie damals auch als „wandelnde Wagen auf Chausseen“, „Selbstfahrer“ oder „Wagen der fortschaffenden Mechanik“ u.ä. wurden am Anfang der Entwicklung bestenfalls für die Beförderung von Personen erdacht. Eine Ausnahme war der allgemein bekannte Wagen von Nicolas Cugnot aus dem Jahr 1779. Das Fahrzeug (und ein verbesserter Nachfolger) sind gebaut worden und kurze Zeit gefahren. Der dreirädrige, schwere Frachtwagen war seiner Zeit weit voraus. Eine Weiterentwicklung hat es nicht gegeben. 1788 nahm in England Robert Fourness ein Patent auf einen vierrädrigen Dampfmaschinenwagen, der durch eine dreizylindrische Dampfmaschine angetrieben werden sollte. Mit den Mitteln der Zeit war das fortschrittliche Fahrzeug allerdings nicht zu bauen. 1803 stellte Richard Trevithick seine große dreirädrige Dampfkutsche der Öffentlichkeit vor. Sie hatte einen Heckantrieb und einen Kessel mit integriertem Zylinder. Der Dampfdruck lag schon bei beachtlichen 4 Atmosphären. Ab 1820 begann in England die Phase der großen Dampfbusse. Sie wurden mit begrenztem Erfolg kurze Zeit in London und im Liniendienst im Überlandverkehr eingesetzt.

Anmerkung:

Bei den „mobilen Dampfmaschinen“ ist die Situation für den deutschsprachigen Raum bisher wenig erforscht. Aus nicht näher bekannten Gründen haben sich fast alle Fachleute auf die Entwicklung in England konzentriert. Selbst ausgewiesenen Koryphäen streifen dieses Thema in ihren Publikationen nur am Rande. Daraus wurde etwas voreilig der Schluss gezogen, dass in Deutschland in dieser Zeit nur eine geringe Entwicklung stattgefunden hat. Das ist nicht zutreffend und etwas unverständlich, weil man nur in den zeitnahen regionalen Periodika und regionalen Archiven stöbern muss, um reichlich Material zu der Entwicklung in den deutschen Ländern zu finden. Eine chronologisch geordnete, sicherlich sehr unvollständige Auswahl an einheimischen Erbauern „mobiler Dampfmaschinen“ bis etwa 1850 ist im Folgenden in Stichworten wiedergegeben.

- 1808 Joseph Ritter von Baader erhält ein bayrisches Privileg auf einen Chausseedampfmaschinenwagen. Ein Wagen wurde mit finanzieller Unterstützung des bayrischen Königs gebaut. Der Wagen ist über einen Probebetrieb nicht hinausgekommen.
- 1814 Isaak de Rivas aus Zürich erhielt 1807 ein Privileg auf einen Dampfmaschinenantrieb für Chausseewagen. 1814 stellte er in Genf und Lyon einen vierrädrigen Dampfmaschinenwagen in Betrieb vor. Von dem Antrieb gibt es eine grobe Handskizze.
- 1815 Josef Božek aus Böhmen baute den oben erwähnten einsatzfähigen Dampfmaschinenwagen.
- 1816 C. A. Henschel aus Cassel stellte beim Kurfürsten von Hessen ein betriebsfähiges Modell eines Straßenfahrzeugs mit Dampfmaschinenantrieb vor. Er erhielt ein kurhessisches Privileg für seine Erfindung. Eine finanzielle Unterstützung zum Bau eines Fahrzeugs in natürlicher Größe lehnte der Kurfürst ab.
- 1816 Georg von Reichenbach baute einen Dampfmaschinenwagen „... zur Erleichterung des Transports auf den gemeinen Straßen ...“. Der Wagen soll eine oszillierende Maschine von 3 PS besessen haben. Genauere Informationen fehlen.
- 1819 Anton Heller aus München baute ein Modell eines Straßen-Dampfmaschinenwagens.
- 1820 Prof. Arzberger aus Wien baute einen Dampfmaschinenwagen, der nachweislich einige Fahrten in Wien absolviert hat. Es soll eine Art „Dampfkutsche“ gewesen sein. Ob es sich um eine eigenständige Entwicklung gehandelt hat ist unklar.
- 1829 Carl Andreas Bischof, ein Bergrat aus Dürrenberg, entwickelte und baute einen vierrädrigen Dampfmaschinenwagen mit Heckantrieb. Er ist in Betrieb gewesen. Von dem Fahrzeug gibt es eine Skizze, die 1830 von J.G. Backofen angefertigt worden ist.
- 1832 J.L.F. Ressel aus Wien, bekannt geworden als Erfinder der Schiffsschraube, erhielt 1830 ein österreichisches Privileg auf ein „Dampfmaschinenfuhrwerk“. Der Wagen ist 1832 fertiggestellt worden und in Betrieb gewesen. Basis war vermutlich ein hölzerner Fuhrwerkswagen.
- 1833 Johann Andreas Schubert, einer der Pioniere des Maschinenwesens in Sachsen, entwickelte als Lehrer an der Technischen Bildungsanstalt in Dresden einen Chausseedampfmaschinenwagen. E.F. Schneider, einer der Schüler Schuberts, übernahm als Abschlussarbeit seines Studiums den Bau eines verkleinerten Modells. Der Bau wurde in den mechanischen Werkstätten von Burger in Dresden begonnen. Es ist nicht sicher, ob der Wagen fertiggestellt worden ist.
- 1837 Emil Isensee aus Berlin erhielt ein preußisches Privileg auf ein Straßenfuhrwerk mit Dampfmaschinenantrieb. Das vierrädrige Fahrzeug hatte einen Stehkessel und einen Antrieb über ein Rädervorgelege.
- 1840 Carl Dietz, gebürtig aus Darmstadt, hatte in den 30er Jahren einige große Dampfzugmaschinen gebaut und in Paris erfolgreich zum Einsatz gebracht. 1840 versuchte er mit neuesten Dampfmaschinenwagen eine Konzession für den Betrieb in Bayern zu erhalten. Eine Betreiber-Gesellschaft sollte das notwendige Kapital aufbringen. Der Name der Gesellschaft war schon ausgewählt. „Bayrisch-pfälzische Straßendampfmaschinen-Gesellschaft“ sollte sie heißen. Die zuständigen Behörden verweigerten die Konzession.
- 1840 J.(?) Fuchs aus Leipzig, beschäftigt als Mechanicus an der dortigen Universität, stellte einen Dampfmaschinenwagen

in natürlicher Größe her. Der Wagen ist nachweislich gefahren. Leider verunglückte er aus unbekannten Gründen. Über die Ausführung des Fahrzeugs ist z.Zt. nichts bekannt.

- 1849 Die Maschinenfabrik von Harkott in Leipzig baute nach Plänen des Ingenieurs Joseph Bauer eine selbstfahrende landwirtschaftliche Maschine für die Bearbeitung des Bodens. Die Maschine wurde später in Böhmen kurze Zeit praktisch eingesetzt.

Anmerkung:

Die Ausführung der technischen Skizzen zu den Dampfmaschinen im 18. und auch noch 19. Jahrhundert war, je nach Verwendungszweck, sehr unterschiedlich. Allgemeine Regeln für die Darstellungen gab es noch nicht. Jeder Maschinenbauer fertigte seine Skizzen nach individuellem Vermögen und seinen Vorstellungen an. Manches mutet heute etwas abenteuerlich an. C. Matschoß berichtet beispielsweise von den Entwürfen zu der ersten großen Balanciermaschine der „Maschinenfabrik Nürnberg“ aus dem Jahr 1842: ... *Von der ersten größeren Maschine, die gebaut wurde, wird uns noch erzählt, wie sie entstanden war. E. hatte sie konstruiert, und zwar im Wirtshaus „Die Glocke“ zu Wörth. Im eifrigen Gespräch über die Maschine hatte er mit Kreide auf dem Wirtshaustisch die konstruktive Anordnung festgelegt. Hiernach wurden nachher mit Kohle auf Holz die Einzelteile aufgezeichnet und diese hölzernen Zeichnungen dann der Schmiede, der Modelltischlerei und Gießerei übergeben. Während diese Stücke schon in Arbeit waren, ging nun E. daran, etwas genauer wie bisher die endgültigen Formen festzulegen, so daß nunmehr der eigentliche Maschinenbauer, der Monteur, die nötigen Unterlagen bekam, um die aus den Werkstätten ihm übergebenen Einzelteile so zusammen zu passen, daß die Maschine arbeitsfähig wurde.* ...“. Der sehr unterschiedliche Stand in den Darstellungen dieses Kapitels sollte daher nicht überraschen. Für Druckzwecke wurden die Skizzen sorgfältiger gezeichnet. Die Darstellungen waren aber auch sehr unterschiedlich. Sie reichten von in etwa perspektivischen Skizzen, über Explosionszeichnungen bis zu Darstellungen, die den heute verwendeten technischen Zeichnungen schon sehr nahe kommen. Als Kupfer-, Stahl- oder auch Holzstiche wurden sie den entsprechenden Büchern zumeist als separate Anhänge (häufig als Falttafeln) angehängt. In aufwendigeren Druckerzeugnissen brachte man diese „technischen Zeichnungen“ oft als separate, großformatige Tafelbände heraus. Bei besonders hochwertigen Büchern waren die Zeichnungen handkoloriert.

Anmerkung

Die heute vorherrschende strikte Trennung zwischen den Künsten, Wissenschaften und der Technik gab es in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts nicht. In den Präsentationen von Kunst wurden wie selbstverständlich auch technische Exponate aufgenommen. Insbesondere in den Akademieausstellungen nahmen technische Modelle und Maschinen einen beachtlichen Raum ein. Als typisches Beispiel können die Ausstellungen der „Königlichen Akademie der bildenden Künste und mechanischen Wissenschaften“ in Berlin gelten. Allein die Zusammenfassung der beiden Gebiete wäre heute undenkbar und die Bezeichnung der Institution würde heute einen kulturellen Schock auslösen. Nach der Reform der Akademien durch Heinitz ab 1791 waren so viele technische herausragende Exponate zur Präsentation eingereicht worden, so dass schließlich eine eigene Abteilung für „Fabrik- und Gewerarbeiten“ eingerichtet werden musste.

Separate nationale Industrieausstellungen und Weltausstellungen gab es erst ab dem Ende des 18. Jahrhunderts. Die erste Industrieausstellung fand 1798 in Frankreich statt. Auf Veranlassung des zuständigen Ministers Francois-de-Neuf-chateau fand sie in kleinem Rahmen in Verbindung mit einem „Nationalfest“ statt. Napoleon erkannte den großen Wert dieser Präsentationen und sein Minister Chaptal gab auf den Ausstellungen in den Jahren 1801 und 1802 die Richtung aller zukünftigen Präsentationen vor. Aus allen Gegenden Frankreichs und aus allen „Industrien“ wurden die neuesten Produkte präsentiert. Geordnet waren sie zumeist nach ähnlichen Erzeugnissen oder Gewerben. Damit waren ein schneller Überblick und ein Vergleich der Erzeugnisse möglich. Weitere Ausstellungen fanden 1806 und danach 1819, 1823 und 1827 statt. Mit der Pariser Ausstellung von 1834 wurde die gesamte Präsentation aufgewertet. Die Zurschaustellung von nationaler Pracht und Reichtum waren ein wesentlicher Bestandteil geworden. Spätestens ab diesem Zeitpunkt waren die Ausstellungen gesellschaftliche Großereignisse.

Die ersten Industrieausstellungen in den deutschen Ländern fanden 1818 in Bayern statt, und zwar in Augsburg und Nürnberg. Im Dezember des gleichen Jahres folgte eine Ausstellung in München. Aber erst ab 1831 wurde durch eine königliche Order festgelegt, dass alle drei Jahre in der bayrischen Hauptstadt München eine übergreifende Industrieausstellung stattfinden sollte. Das Publikum in Bayern und auch in den anderen deutschen Ländern war von der Fülle der im eigenen Land hergestellten Waren überrascht. Es ist ein besonderes Merkmal dieser frühen Ausstellungen, dass die Erzeugnisse der eigenen Fabrikanten sowohl beim Publikum als auch beim Handel oft auf Ablehnung stießen. In den besitzenden Kreisen gab es einen großen Widerwillen gegen jede Art von „industriellen Unternehmungen“. Eine der wenigen Ausnahmen waren die „Eisenbahngeschäfte“ (Dinglers polytechn. Journal. Bd. 54, Nr. LXVI, S.393 ff.). In Preußen fand die erste Gewerbeausstellung als „Ausstellung vaterländischer Erzeugnisse“ im Jahr 1822 statt. In 13 Sälen des

Gewerbeinstituts an der Klosterstraße in Berlin wurden über 900 Exponate gezeigt. Der Erfolg war allerdings bescheiden. Das Publikum war an Kunstausstellungen gewöhnt, nicht aber an der ausschließlichen Präsentation von gewerblichen Erzeugnissen. Einige Hersteller scheuten auch die öffentliche Darstellung, da man vermutete, die Wettbewerber würden sich ungeniert an den Ideen der anderen bedienen. 1827 führte Beuth ebenfalls an der Klosterstraße eine zweite Gewerbeausstellung durch. 1844 fand in Berlin dann die große „Allgemeine deutsche Gewerbeausstellung“ statt. Initiiert wurde sie von der Polytechnischen Gesellschaft in Berlin. Der Raumbedarf war so groß, dass sie im Zeughaus stattfinden musste. Präsentiert wurden die Erzeugnisse nicht nach Ländern, sondern nach Produktgruppen. Für das Publikum war dadurch ein unmittelbarer Vergleich möglich. Trotz der anfänglichen Hemmnisse nahmen Industrieausstellungen eine rasante Entwicklung. In England gab es in den 30er Jahren über 600 von ihnen. Auch in den deutschen Ländern etablierten sich diese Ausstellungen zu wichtigen Plätzen des Informationsaustausches und der gesellschaftlichen Repräsentation. Die erste große Weltausstellung fand 1851 in London statt. Ihre Bauten, insbesondere der große „Kristallpalast“ von Joseph Paxton, stehen heute noch für eine gelungene Ausstellungsarchitektur. Der Palast wurde allerdings am Ausstellungsort abgebaut und außerhalb Londons in einem großen Park wieder neu errichtet. Die erste Weltausstellung in Paris fand 1855 statt, 1867 folgte die zweite. Im internationalen Vergleich hatten die Produkte aus den deutschen Ländern nicht immer einen guten Stand. Einen besonders negativen Höhepunkt stellte die Weltausstellung in Philadelphia 1876 da. Reuleaux, der bekannte Lehrer der technischen Wissenschaften und offizieller Bericht zur Ausstellung, informierte seinerzeit den preußischen Handelsminister in drastischer Weise über den misslungenen Auftritt der deutschen Aussteller. Seine deutlichen Worte waren: geschmack- und ideenlose Produkte, die Erzeugnisse seien im Vergleich mit den anderen Ausstellern billig und schlecht, aufdringlicher Nationalkitsch, germanisch-chauvinistisch und ähnliche Formulierungen wirkten aus dem Mund eines anerkannten Fachmanns im eigenen Land doch sehr aufrüttelnd.

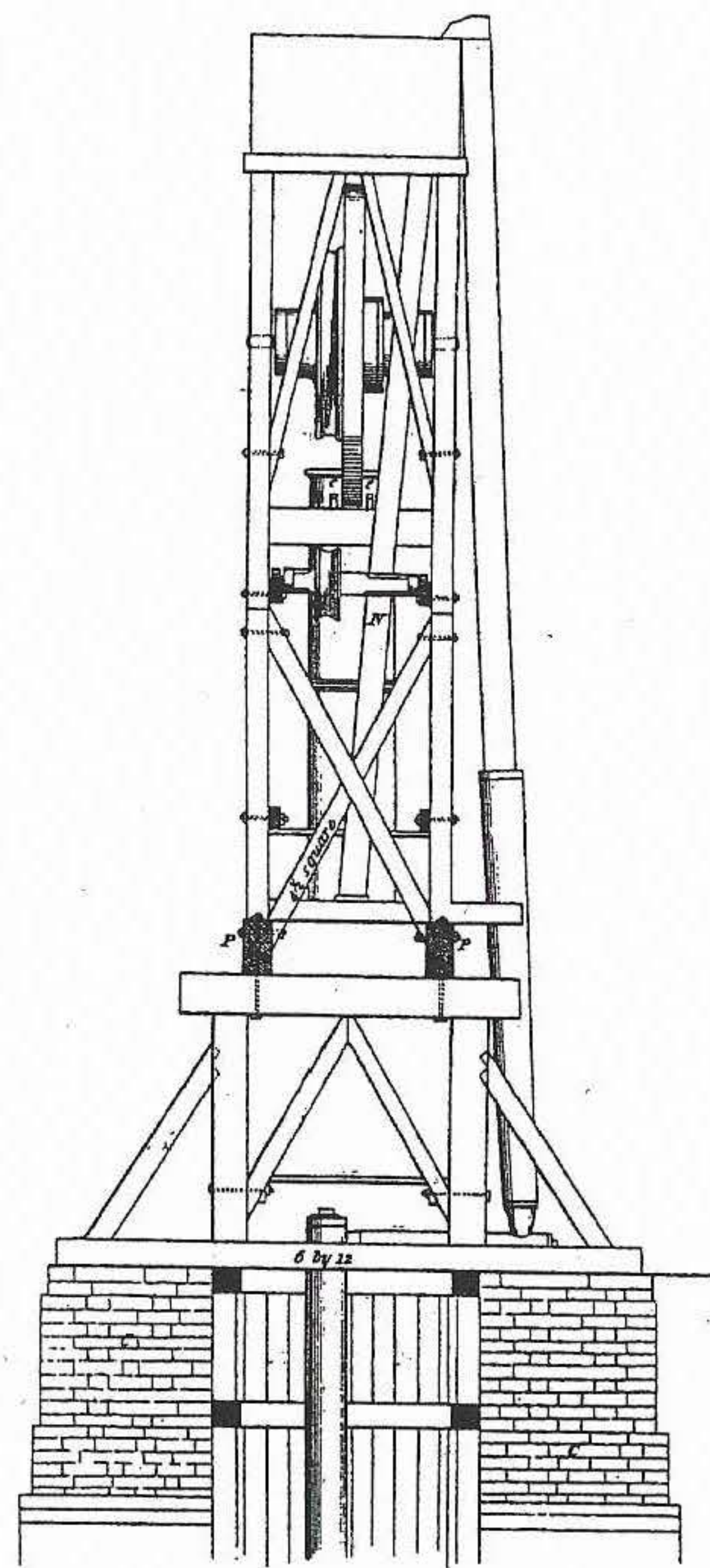
Anmerkung

Wenn man die erste Maschine aus der Übersicht Bild 2.3/4 nicht berücksichtigt, es kann sich bei ihr um ein verkleinertes „Modell“ gehandelt haben, so gilt als eine der frühesten Dampfmaschinen auf dem europäischen Kontinent eine Maschine in Belgien. In Jemeppe in der Nähe Lüttichs wurde sie 1721 in Betrieb genommen. Es war eine englische Maschine die auch von englischen Technikern aufgestellt worden war.

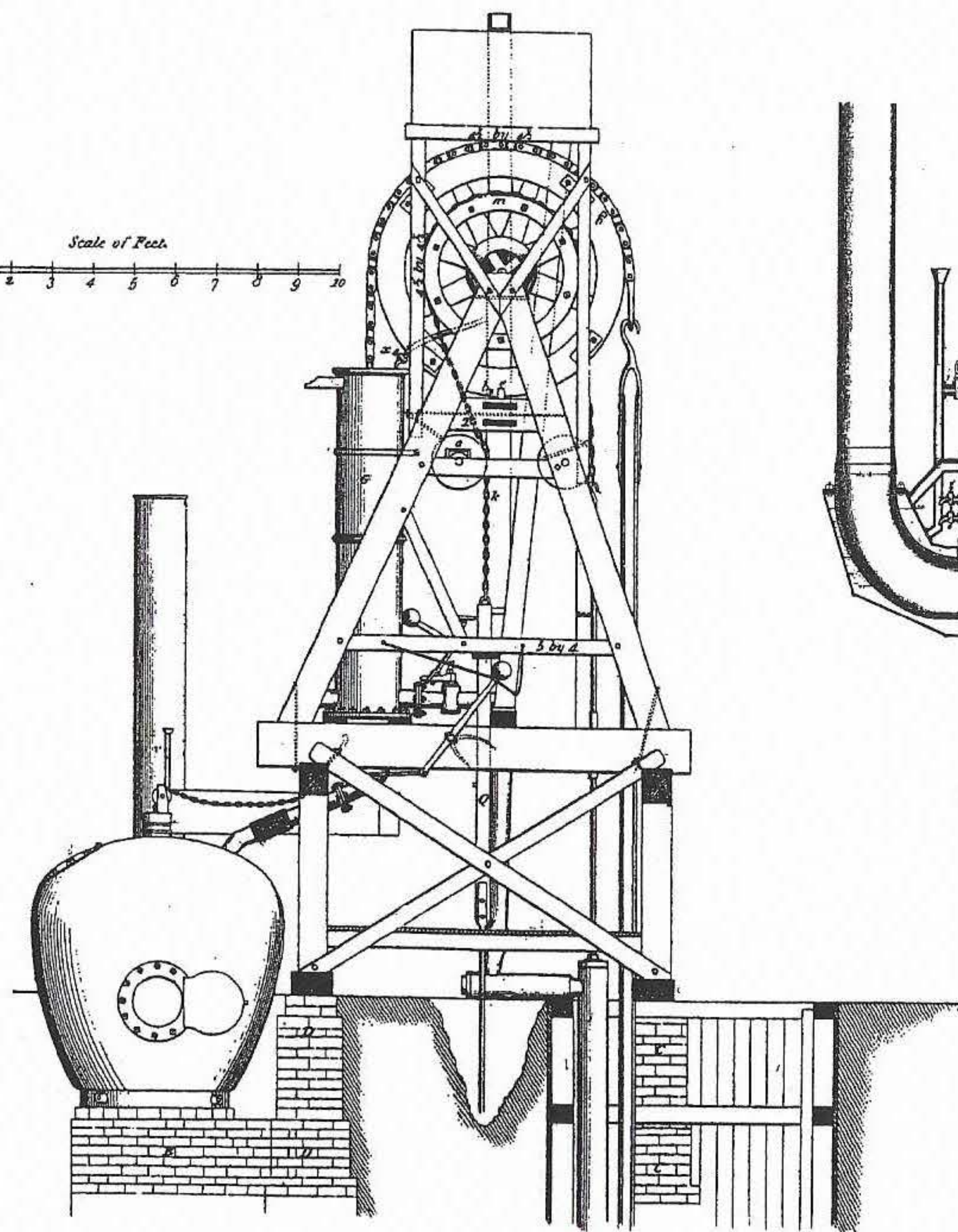
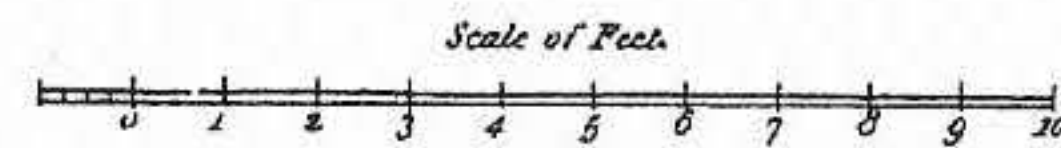
Anmerkung

Die Informationen zu Denis Papin und seinen Arbeiten sind in der historischen Literatur widersprüchlich. Franz M. Feldhaus schreibt in seinem Buch „Männer deutscher Tat“, München ca. 1936, S. 106 ff. zu der zweiten Maschine von Papin, die im Beisein des Landgrafen von Hessen vorgeführt wurde: „... Am 19. August 1706 berichtete Papin: Als man nun zum Versuch kam, sah man, daß das Wasser aus allen Verbindungsstellen heraustrat, und das geschah an der untersten in so starkem Strahl, daß seine Hoheit sich bald dahin aussprach, dieser Versuch könne nicht gelingen. Aber ich bat ihn ganz untertänigst, ein wenig zu warten, weil ich glaubte, daß die Maschine genug Wasser liefern würde, um es trotz der beträchtlichen Verluste in die Höhe zu bringen. Und wirklich, als die Versuche fortgesetzt wurden, sahen wir vier- oder fünfmal das Wasser bis zum Ende des Rohres steigen.“ Danach ist zu vermuten, dass die Maschine zwar funktionierte, aber nur kurzzeitig im Versuchsbetrieb gearbeitet hat.

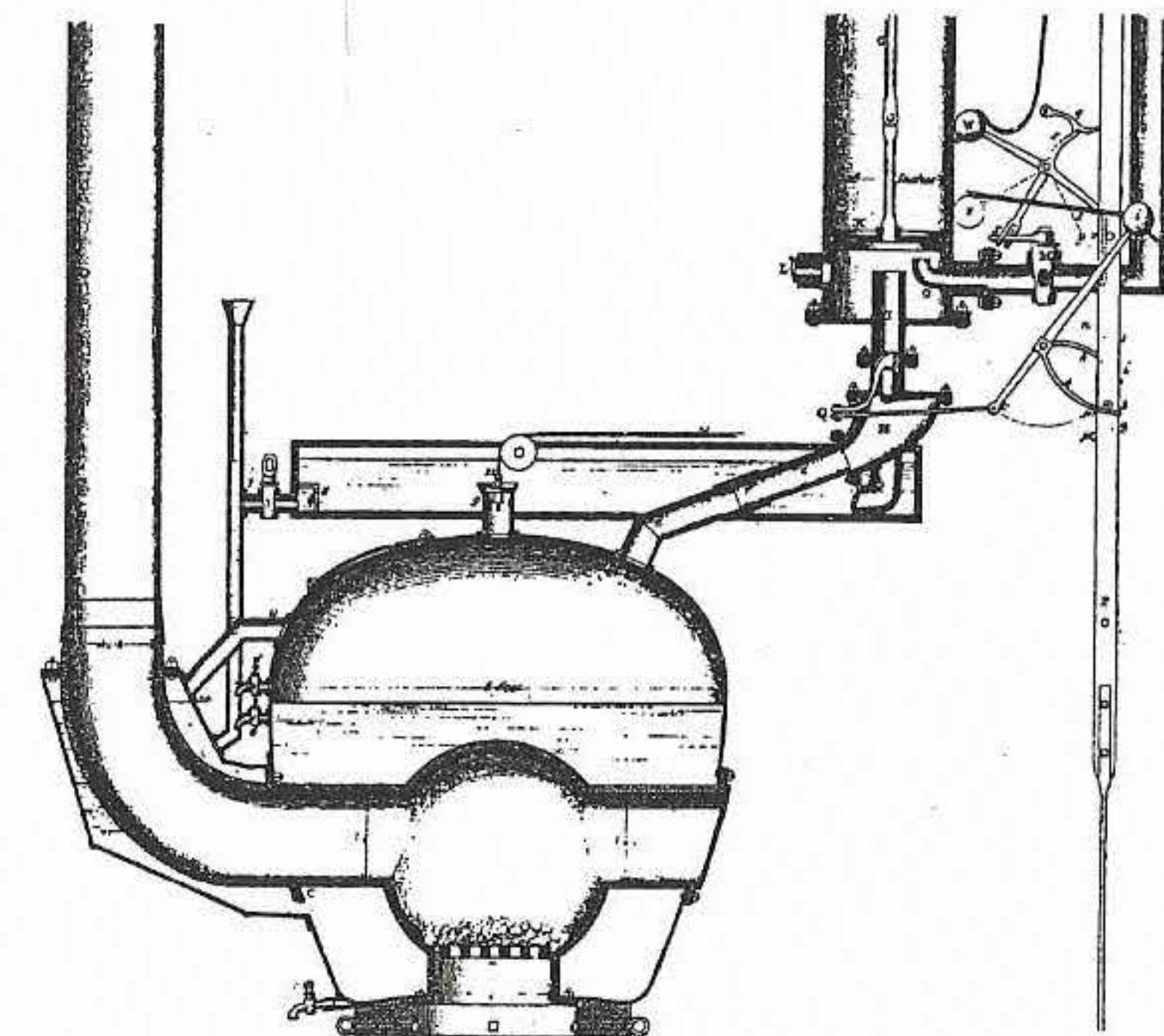
Bei Feldhaus findet sich auch eine andere Darstellung des Endes der von Papins Dampfschiff. Danach war: „... die Geschichte von der Zerstörung seines Dampfbootes ein Märchen. Papin, der um die Erlaubnis zum Befahren der Weser vergeblich eingekommen war, beharrte auf seinem Plan, mit einem Schaufelradschiff bis zur See zu fahren. Die Behörde schickte ihm deshalb ein Verbot, das das Befahren der Weser unter Hinweis auf die bestehenden Rechte der Schifferinnung untersagte. Papin jedoch, der eigenwillige Mann, wollte sich am zweiten Tage seiner Fahrt, am 25. September, die Einfahrt aus der Fulda in die Weser erzwingen, geriet deshalb mit den Schiffern in Streit, und infolge dessen wurde ihm sein Fahrzeug zerstört. ... Aus dem einfachen Schaufelradschiff wurde übrigens erst im Jahre 1833 in der von Piderits herausgegebenen Geschichte von Kassel ein Dampfboot gemacht, ohne das Piderits für diese Behauptung irgendeinen Grund angeführt hätte.



Seitenansicht



Vorderansicht



Schnitt durch den Kessel

Tafel 2.4/1: Transportable Dampfmaschine

(J. Smeaton, 1765)

Der Maschinentyp „fahrbare Lokomobile“, den wir heute aus der historischen Literatur kennen, mit zumeist vier Rädern, mit Kessel und Dampfmaschine als Einheit, hat eine lange Entwicklung durchlaufen. Auch die Möglichkeit eines Ortswechsels durch „verfahren“ war damals keine entscheidende Eigenschaft für den Einsatz der Maschinen. Noch 1851 vermerkt ein Bericht in Dingers Polytechnischem Journal (1851; Bd. 122; S. 401 ff.) zur Londoner Industrie-Ausstellung: „... Dagegen finden wir eine Unzahl kleiner Hochdruckmaschinen von 1 bis 6 oder 8 Pferdekraften, von denen viele im Gange sind und zum Betrieb der (unterschiedlichsten) ausgestellten Arbeitsmaschinen dienen. ... Es sind auf dieser Ausstellung eine Menge kleiner Hochdruckmaschinen vorhanden, welche speciell zum Gebrauche der Landwirthschaft bestimmt sind. Da die englischen Landwirthe nicht wie die unsrigen neben dem Ackerbau und der Viehzucht noch Brennereien, Brauereien, Stärke- und Zuckerfabriken betreiben, so können diese Maschinen auf den Gehöften nur zum Betrieb von Dreschmaschinen, Stroh- und Rübenschnidern, oder zum Schroten des Futterkorns dienen, und für diese Zwecke können sie unbedenklich an einem bestimmten Orte fest aufgestellt werden. ...“.

Was in diesem und vielen anderen Berichten wie selbstverständlich erwähnt wird ist, dass kein grundsätzlicher Unterschied zwischen den landwirtschaftlichen „Betriebsmaschinen“ und den übrigen gewerblichen Betriebsmaschinen gemacht wurde. Die Weiterentwicklung dieser „ortsfesten“ Maschinen bezeichnete man später als Halblokobile oder Industrielokobile. Der Vorteil einer Maschine, die leicht und mit einfachen Mitteln von einem Einsatzort zum anderen gebracht werden konnte, war aber nicht zu übersehen. Mitte der vierziger Jahre waren die ersten Hersteller so weit, dass sie einsatzfähige Kraftmaschinen auf Rädern anbieten konnten. Bekannte Hersteller waren: Garrett, Ransomes & Sims, Hornsby, Tuxford u.a. Auf der Londoner Ausstellung von 1851 waren schon 10 Firmen mit diesen Maschinen präsent.

Die Anforderungen an die neuen Kraftmaschinen änderten sich als man intensiver versuchte, nicht nur die Hofarbeiten maschinell zu unterstützen, sondern auch die Arbeiten auf dem Feld. Bei den Feldarbeiten waren seit alters her die Bodenkulturarbeiten die schwersten und langwierigsten. Da diese Arbeiten an verschiedenen Einsatzorten anfielen, benötigte man eine Kraftmaschine, bei der der Ortswechsel mit einfachen Mitteln vorgenommen werden konnte. Die Fixierung auf Maschinen mit Rädern trifft allerdings nicht die gesamte Breite der Entwicklung. Zum Wechseln des Einsatzortes gab es viele Möglichkeiten. „Schleifen“, also mit Kufen versehene, schlittenartige Hilfsmittel, Rollenbahnen aus Rundhölzern und anderes waren auf kurzen Strecken zum Bewegen schwerer Lasten durchaus üblich. Die Entwicklung der „mobilen“ Kraftmaschinen ist viel breiter verlaufen als häufig dargestellt wird. Auch die Differenzierung in Lokobile als Kraftmaschine und einer angetriebenen, separaten Arbeitsmaschine gab es durchgängig nicht. Bei vielen Maschinen waren Kraft- und Arbeitsmaschinen zusammengefasst. Diese Bauweise war nicht nur auf die Anfangsphase der Entwicklung beschränkt. Sie war, auch in Deutschland, während der gesamten Bauzeit dieser Maschinenkategorie vertreten. Wenn im Kapitel 3 eine Abgrenzung und Definition von „Lokobilen“ abgeleitet wird, muss die gesamte Breite dieser Entwicklung mit abgebildet werden.

Der nächste Entwicklungsschritt lag nahe. Mit zunehmender Verkleinerung der Kessel und Dampfmaschinen bei gesteigerter Leistung kam man in einen Größen- und Gewichtsbereich, in dem die Verwendung von Rahmengestellen möglich wurde. Kessel und Maschine wurden auf ein Rahmengestell gesetzt. Diese Einheit, ein grundlegendes Merkmal aller späteren Lokobile, konnte man dann verschieben, versetzen oder mit Hilfe eines Räderngestells verfahren. Im Bedarfsfall zog man die gesamte Einrichtung von Gespannen zum nächsten Einsatzort. Trevithick baute um 1812 eine kleine derartige Betriebsmaschine, die als Vorläufer einer Lokobile angesehen werden kann. Es war eine einzylindrige „Hochdruckmaschine“ mit integrierter einfacher Dreschmaschine auf einem einachsigen

Räderngestell. Der zylindrische, liegende Kessel war im Rahmengestell befestigt. Der stehende Zylinder war im Dampfdom untergebracht. Die Maschinenwelle lag hoch über dem Dampfdom. Die Maschine war relativ leicht und konnte von einem Pferd zum Einsatzort gezogen werden.

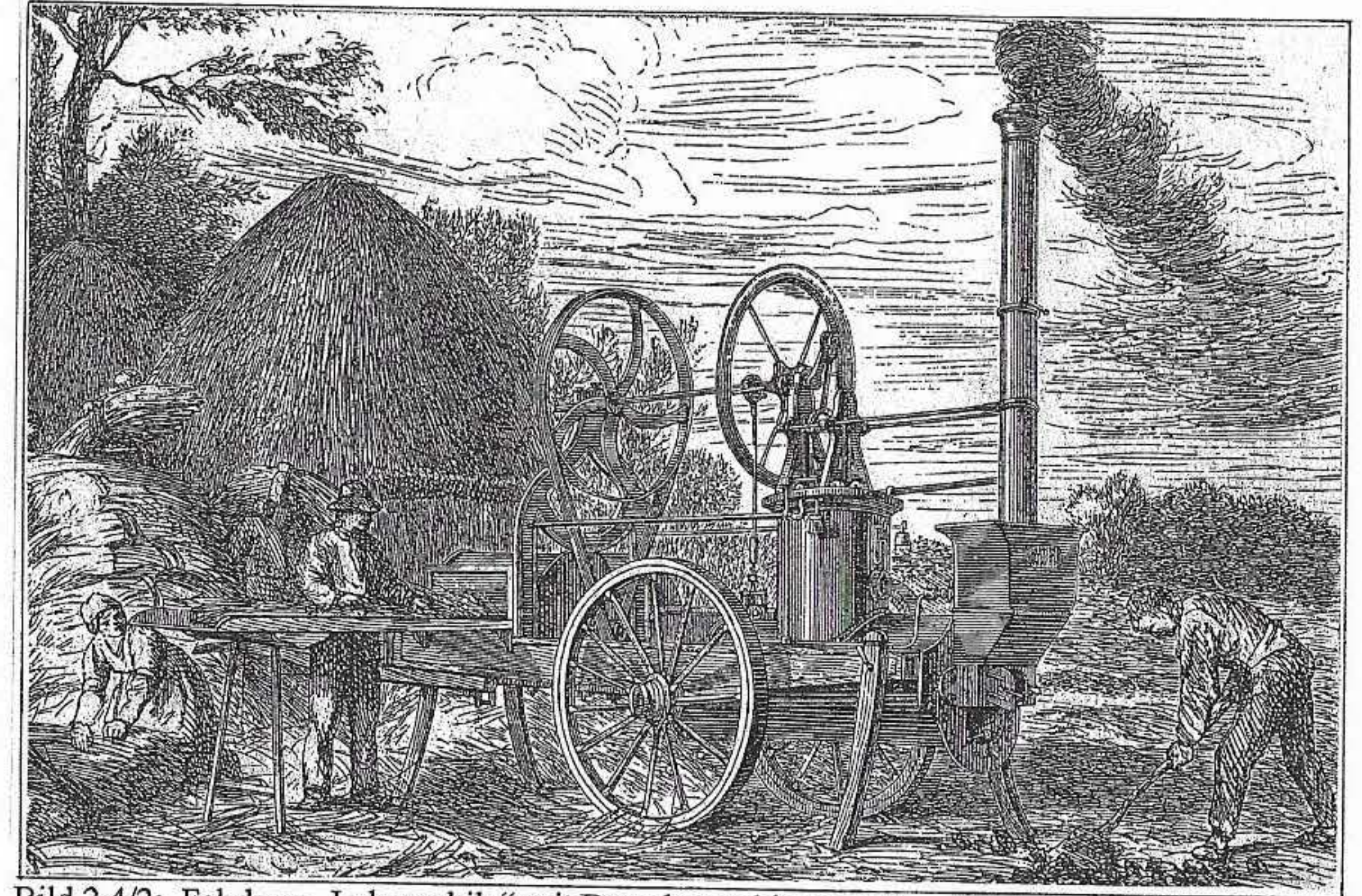


Bild 2.4/2: Fahrbare „Lokobile“ mit Dreschmaschine von Trevithick (um 1812)

In dieser Entwicklungsphase wurde eine Vielzahl an unterschiedlichen Maschinenbauarten eingesetzt, u.a. oszillierende Maschinen oder rotierende „Scheibenmaschinen“. In Kontinentaleuropa wurde in dieser Phase insbesondere in Frankreich sehr viel experimentiert. Alle gängigen Kesselkonstruktionen wurden mit allen erdenklichen Maschinenvarianten kombiniert. Stehkessel waren üblich. Zur gleichen Zeit begann man die Vorteile der Kesselkonstruktionen der eisernen Bahnen auch für die ortsbeweglichen landwirtschaftlichen Kraftmaschinen zu nutzen. Bei den eisernen Bahnen hatten sich Heizrohrkessel mit vorgehenden Heizrohren und Innenfeuerung in einer kastenförmigen Feuerbüchse und bewährt. Man bezeichnete sie auch als Feuerbüchsenkessel oder „Lokomotivkessel“. Neben dem Vorteil einer recht guten Verdampfungsleistung bauten sie sehr kompakt. Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil war, dass, trotz des komplizierten Kesselaufbaus, hinreichende Erfahrungen zum Bau der Kessel vorlagen und die Herstellung gut beherrscht wurden.

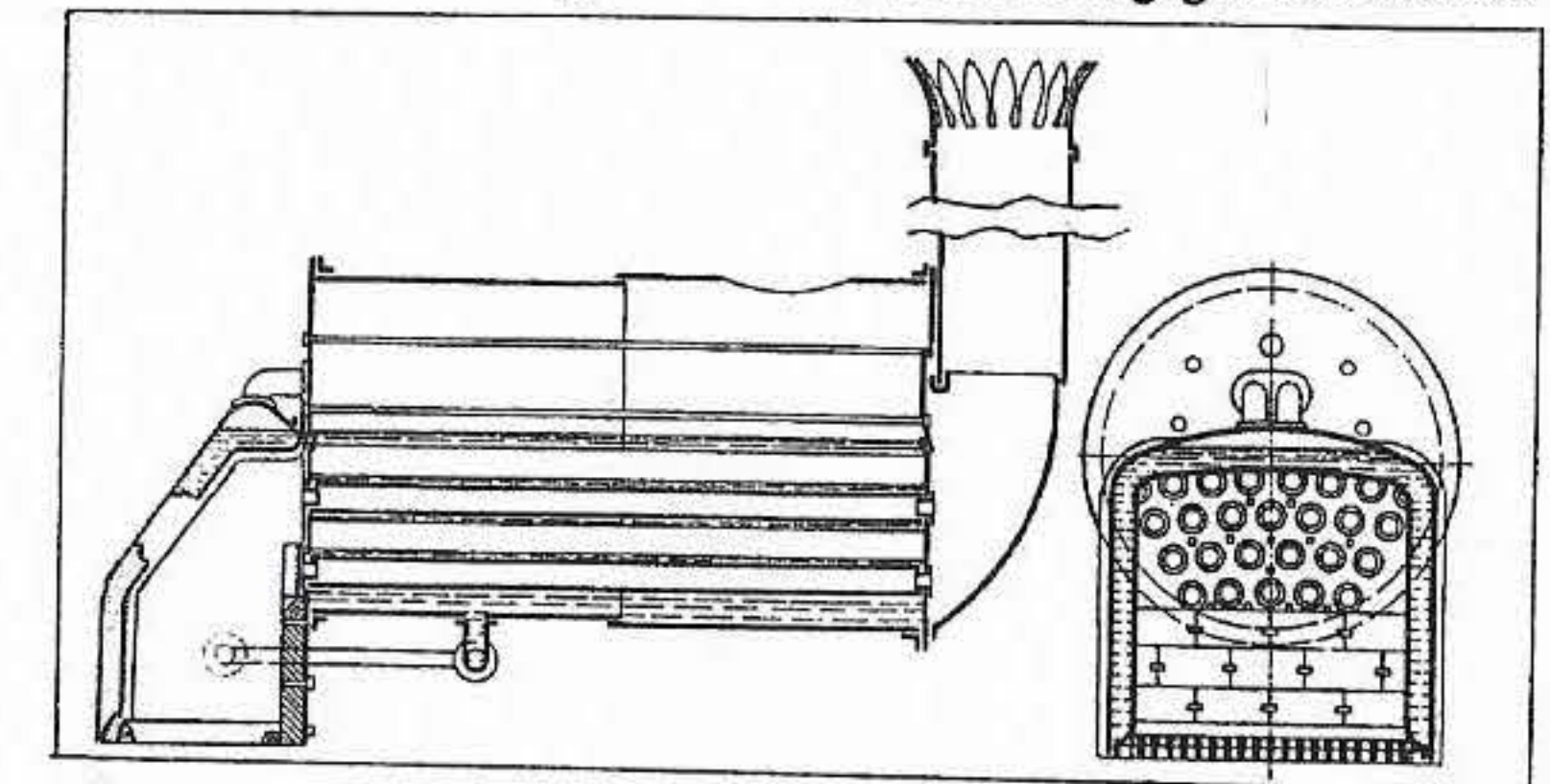


Bild 2.4/3:
Älterer „Lokomotivkessel“
mit vorgesetzter Feuerkiste
(Lokomotivkessel von
Stephensons „Rocket“ (1829))

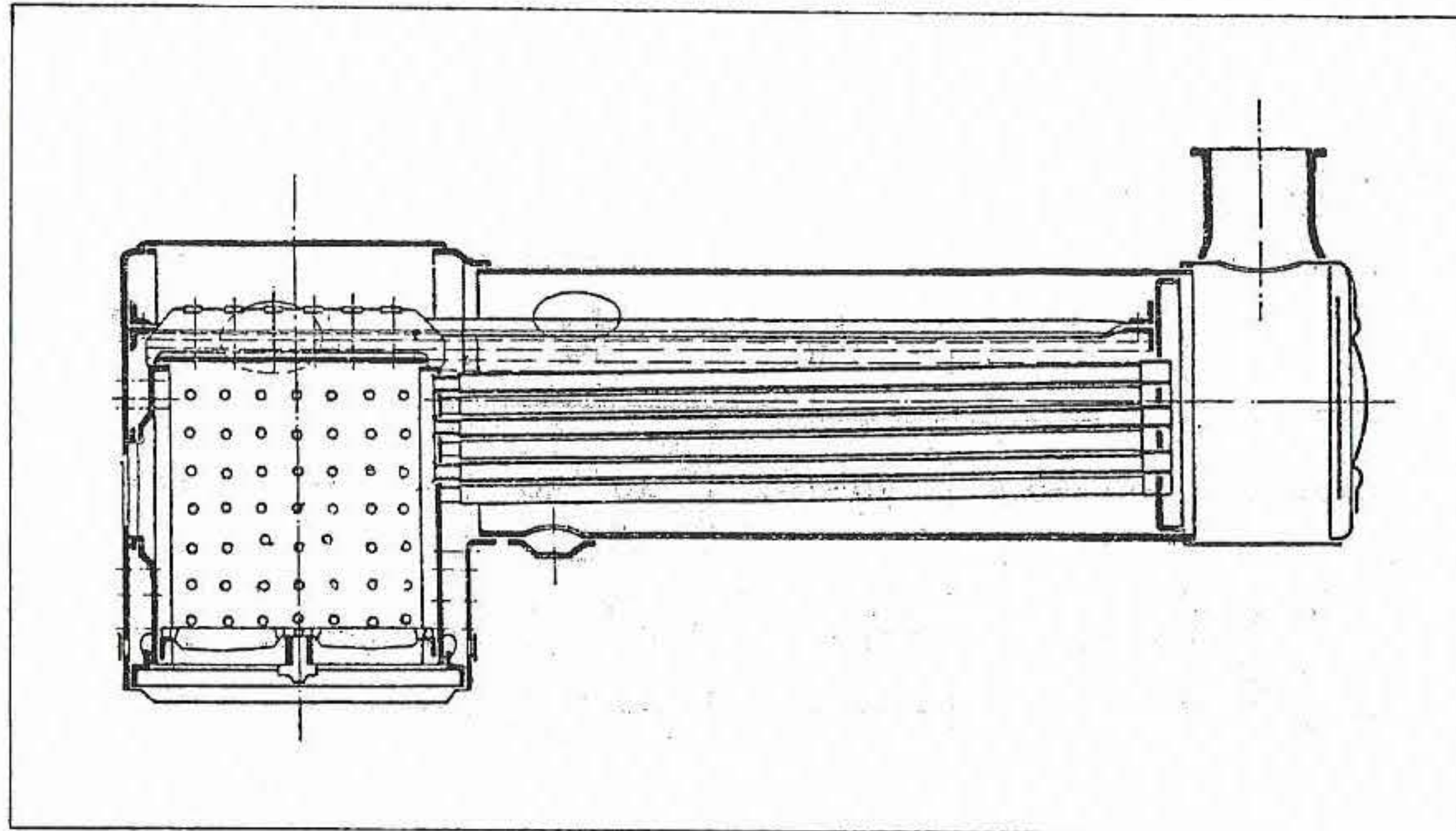


Bild 2.4/4: Lokomobilkessel mit kastenförmiger Feuerkiste und Innenfeuerung (um 1880)

Bei der Unterbringung der Dampfmaschine waren alle denkbaren Varianten vertreten. Bei liegendem Kessel waren die Maschinen vor oder hinter dem Kessel angeordnet, auch aufgesattelte oder unter dem Kessel liegende Maschinen gab es. Bei stehenden Kesseln waren die Dampfmaschinen an unterschiedlichen Stellen auf dem Rädergestell oder direkt am Kessel montiert. Auch die mobile Kraftmaschinen mit einem ortsveränderlichen Kesselteil und einen separaten ortsveränderlichen Maschinenteil wurden gebaut. Um 1830 stellte Gough in Salford eine der ersten praktisch einsetzbaren und fahrbaren dampfgetriebenen Kraftanlagen bestehend aus dem Kessel und der Maschine her. Sie hatte einen vertikalen Kessel und eine einfache Einzylinder-Maschine. Die kompakte Maschineneinheit war noch auf einem Holzrahmen montiert. Vier starke Räder ermöglichten das Fahren. Im Jahr 1840 wurde die erste Lokomobile in Liverpool der breiten Öffentlichkeit präsentiert. Die entsprechende Ausstellung war von der landwirtschaftlichen Gesellschaft organisiert worden. Howden baute seine erste Maschine vermutlich auch um 1840, Dean und Ransome & Sims folgten mit ihrer ersten um 1841. Die Lokomobile von A. Dean aus dem Jahr 1841 ist im **Bild 2.4/5** dargestellt. Sie besaß einen Stehkessel und die Zweizylindermaschine war vorne auf dem Rädergestell platziert.

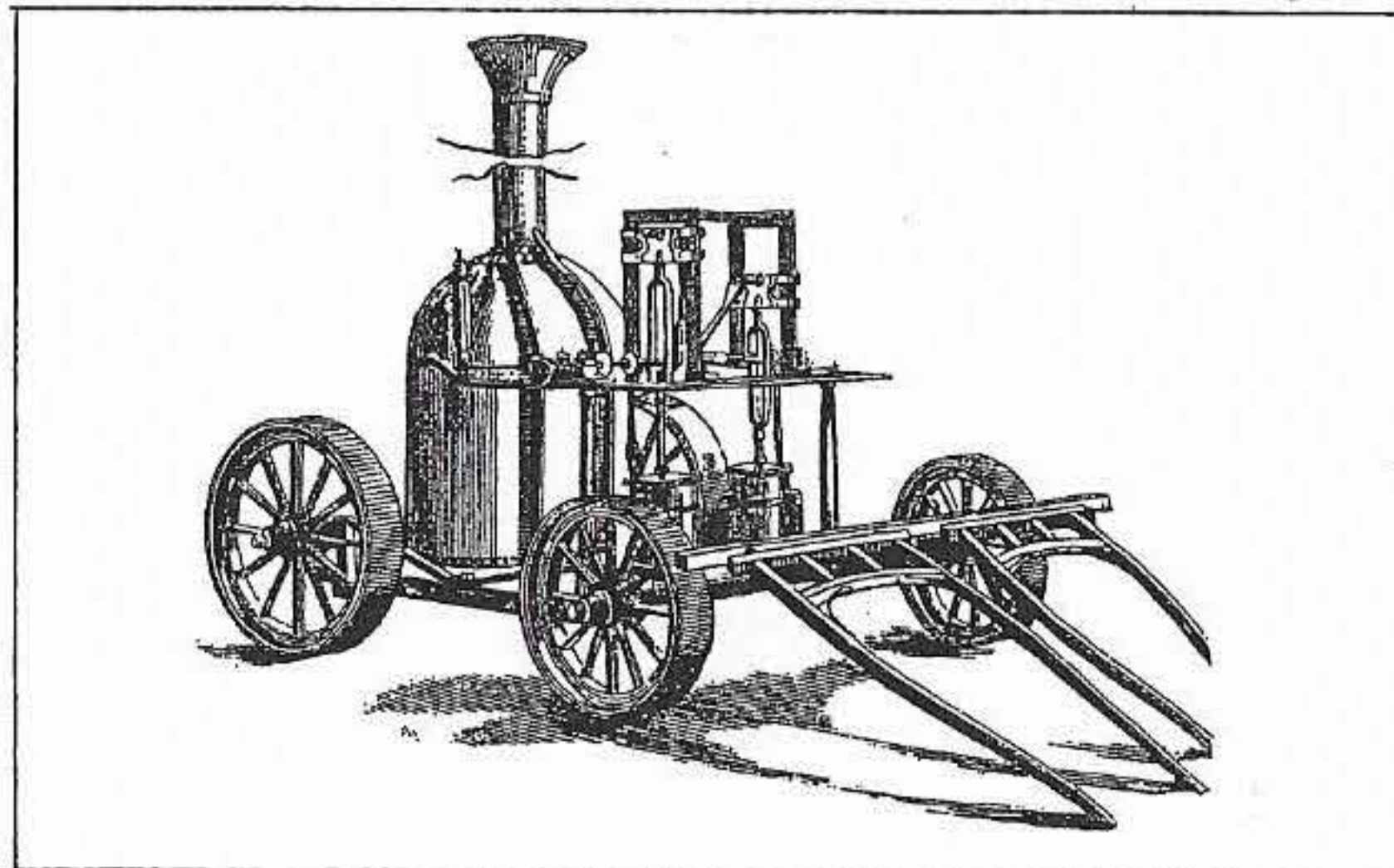


Bild 2.4/5:
Lokomobile von
A. Dean (1841)

Es gab auch Lokomobilen, bei denen eine Arbeitsmaschine integriert war. Beispielsweise ein fest angebauter oder abnehmbarer Dreschkasten. Diese Maschinen waren zwar „mobil“ aber nicht sehr flexibel im Einsatz. Die Ausführung von Ransome & Sims aus dem Jahr 1841 (**Bild 2.4/6**) besaß sogar einen einfachen Hilfsantrieb zum Fahren. Kurze Strecken konnten mit eigener Kraft zurückgelegt werden.

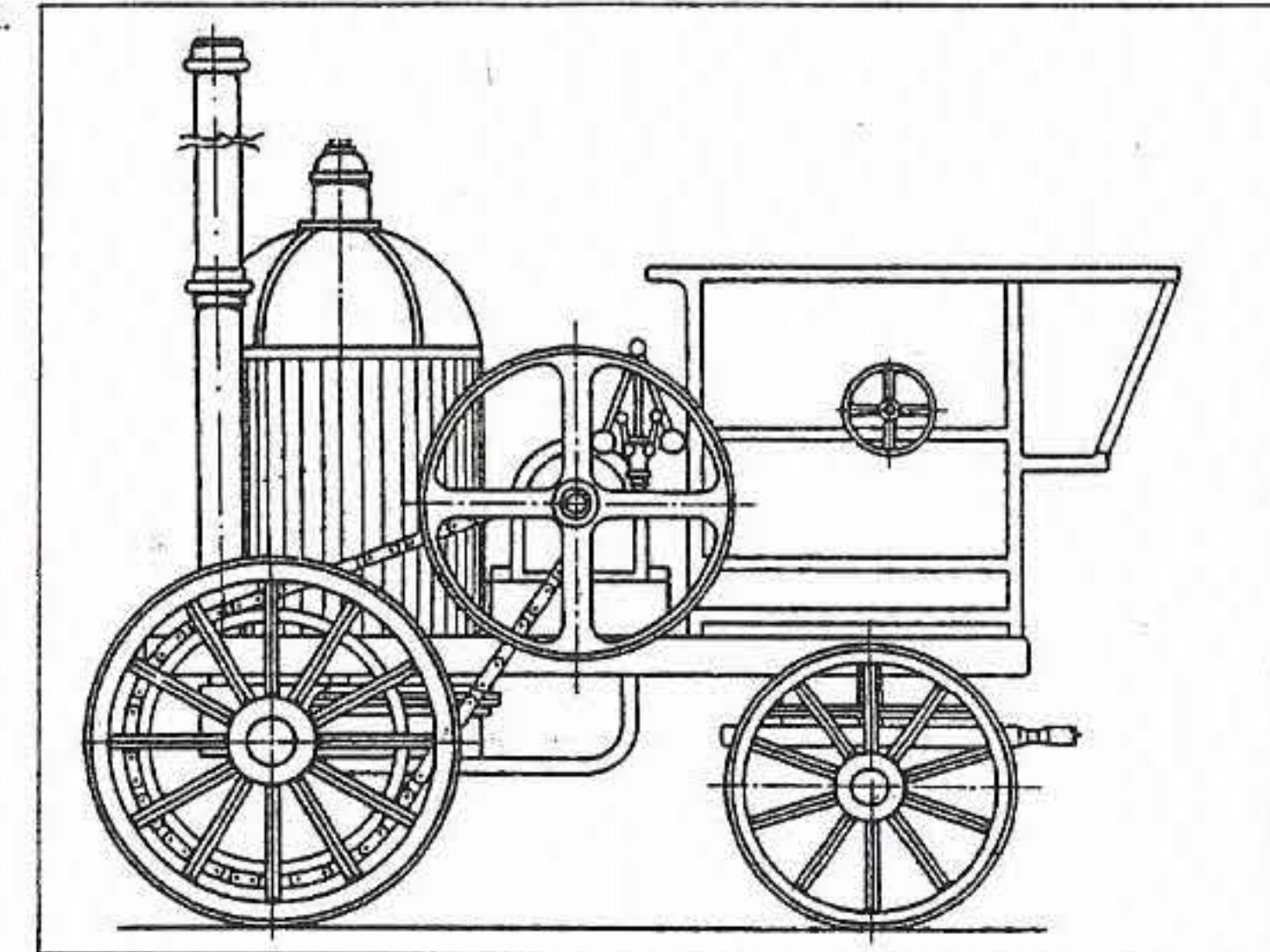


Bild 2.4/6:
Lokomobile mit Dreschkasten
von Ransome & Sims
mit Hilfsantrieb zum Fahren
kurzer Strecken (1841)

Tuxford & Son aus Bosten begannen 1842 Lokomobilen zu bauen. Sie hatte einen liegenden Kessel und als Antrieb eine aufgesattelte oszillierende Dampfmaschine. Eine Dreschmaschine war integriert. Einige Jahre später verließ man diese Bauweise (**Bild 2.4/7 und 2.4/8**). Die stehende Dampfmaschine war vorne in einem eisernen Kasten vor dem Kessel untergebracht. Eine typische Konstruktion des Herstellers. Der Kessel wies eine Besonderheit auf: die Feuerungsgase wurden zur besseren Ausnutzung rückgeführt. Im Heck der Lokomobile lag unten die Feuerbüchse mit der Feuertür und abgetrennt darüber die Rauchkammer mit dem Kamin.

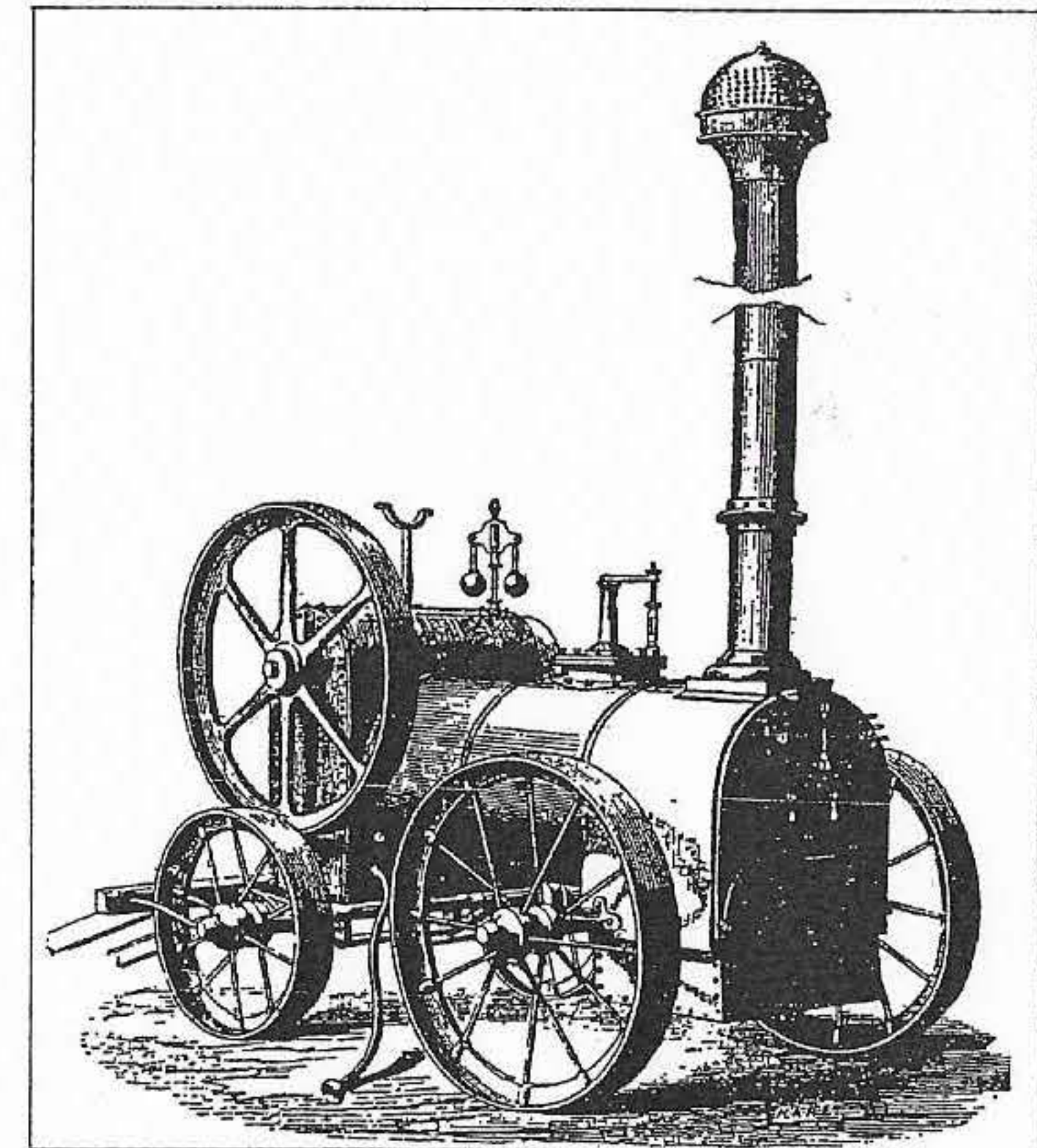


Bild 2.4/7:
Lokomobile von Tuxford & Son
(um 1848)

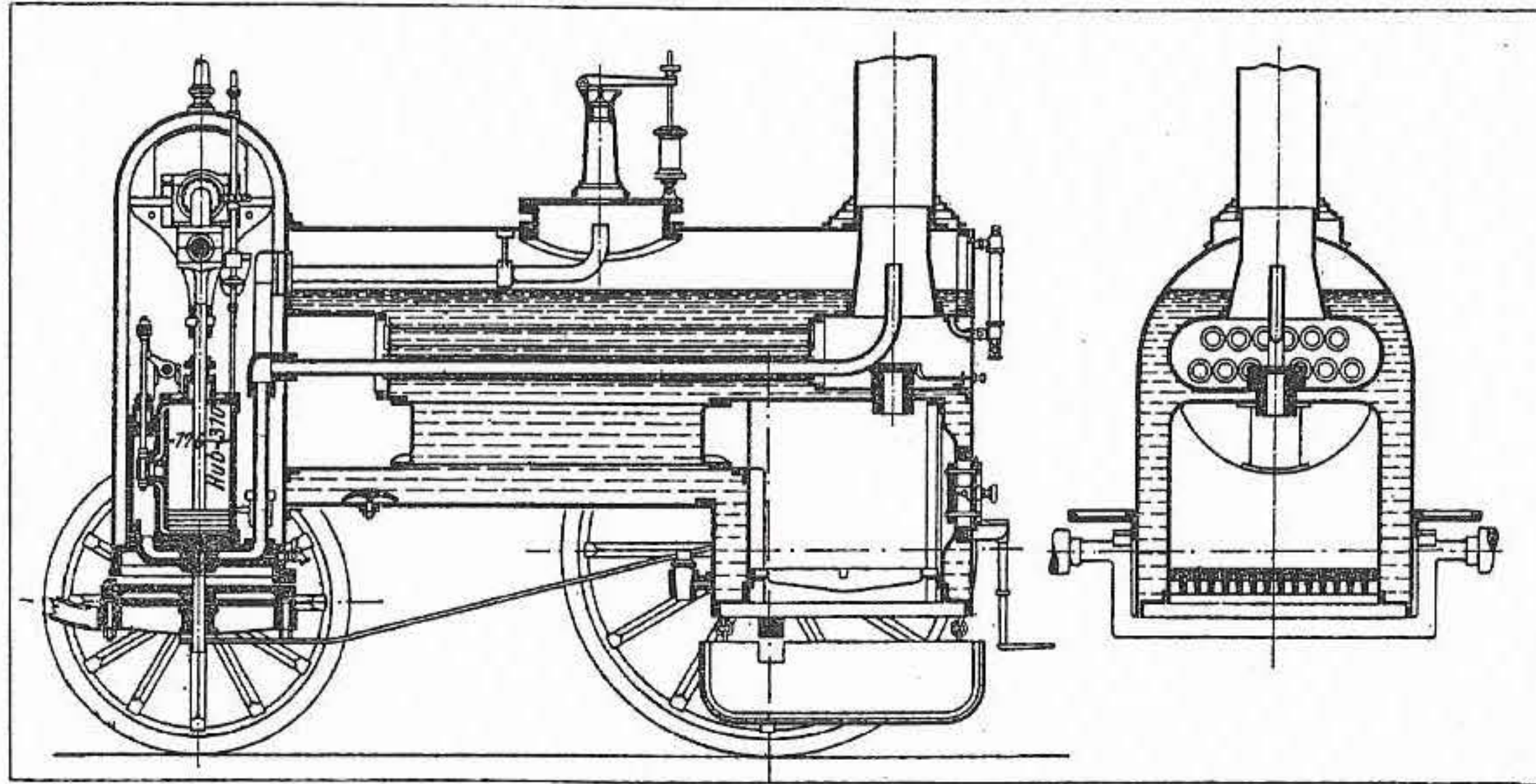


Bild 2.4/8: Längsschnitt durch die Maschine

Clayton, Shuttleworth & Co. in Lincoln bauten 1845 ihre erste Lokomobile. Eine Vielzahl an Unternehmen folgte. Die Rahmen und Räder waren am Anfang in gewohnter Manier aus Holz gefertigt. Die Leistungen lagen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts bei bis zu 8 PS. Die Drücke erreichten schon etwa 3 Atmosphären. Auf ein Rahmengestell wurde nach einiger Zeit verzichtet. Die Kessel waren mittig. In den nächsten 20 Jahren setzte sich bei Maschinen für die Landwirtschaft die bekannte, typische Form mit Lokomotivkessel und aufgesattelter Dampfmaschine durch. Die Bauweise ist im Prinzip bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts beibehalten worden.

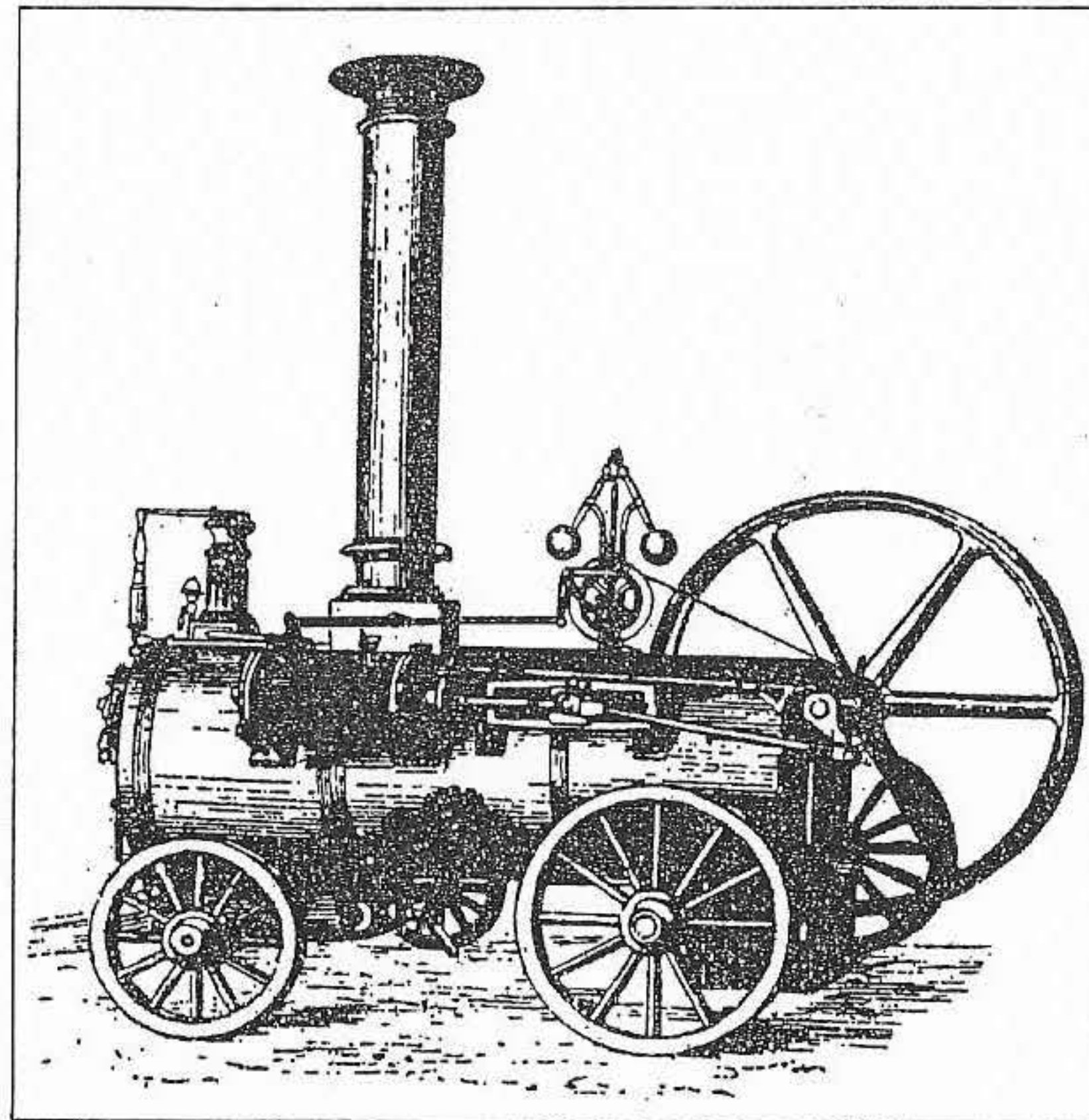


Bild 2.4/9:
Ältere Bauweise (um 1851)
englischer Lokomobilen
(Hersteller: Garrett)

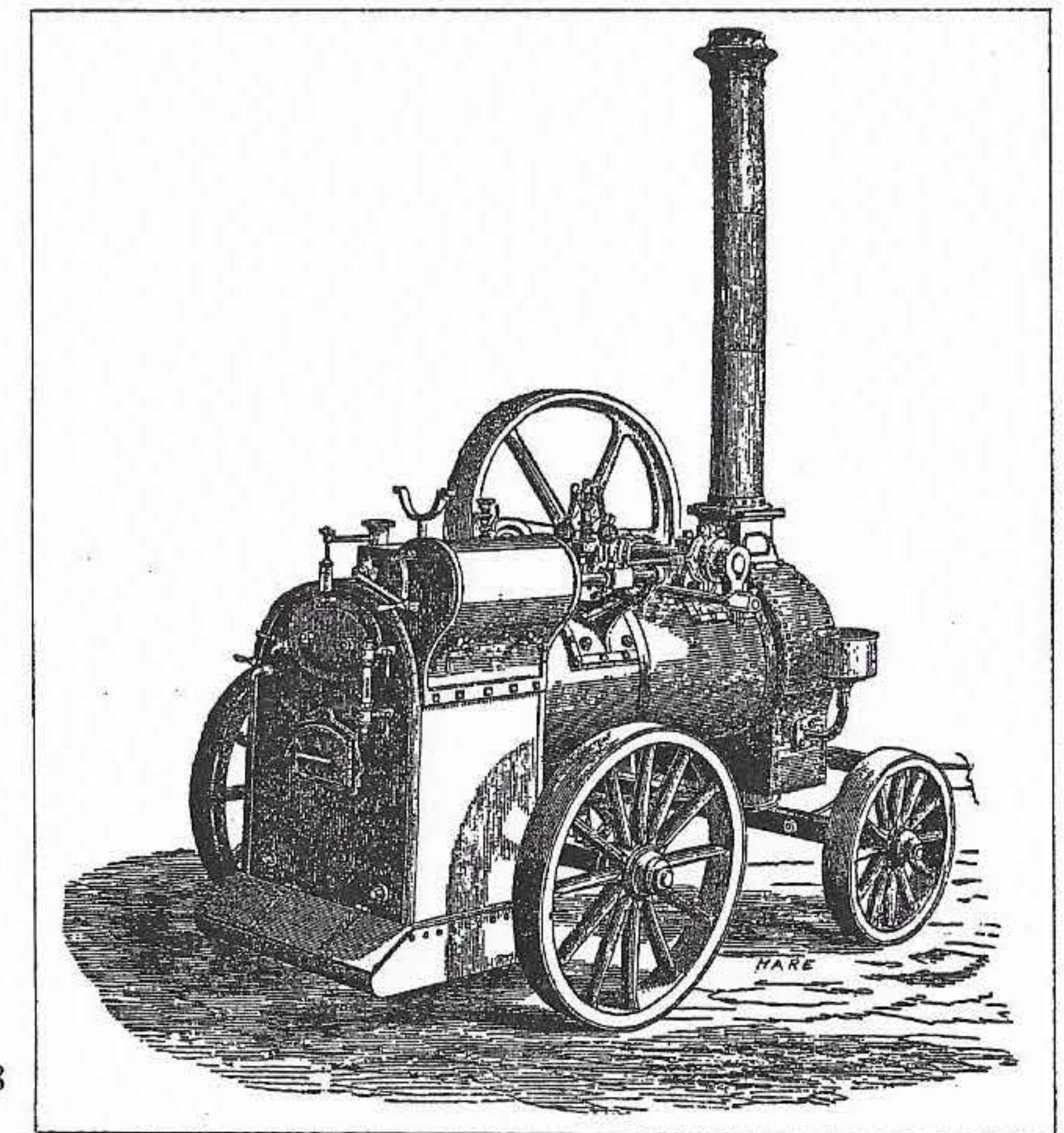


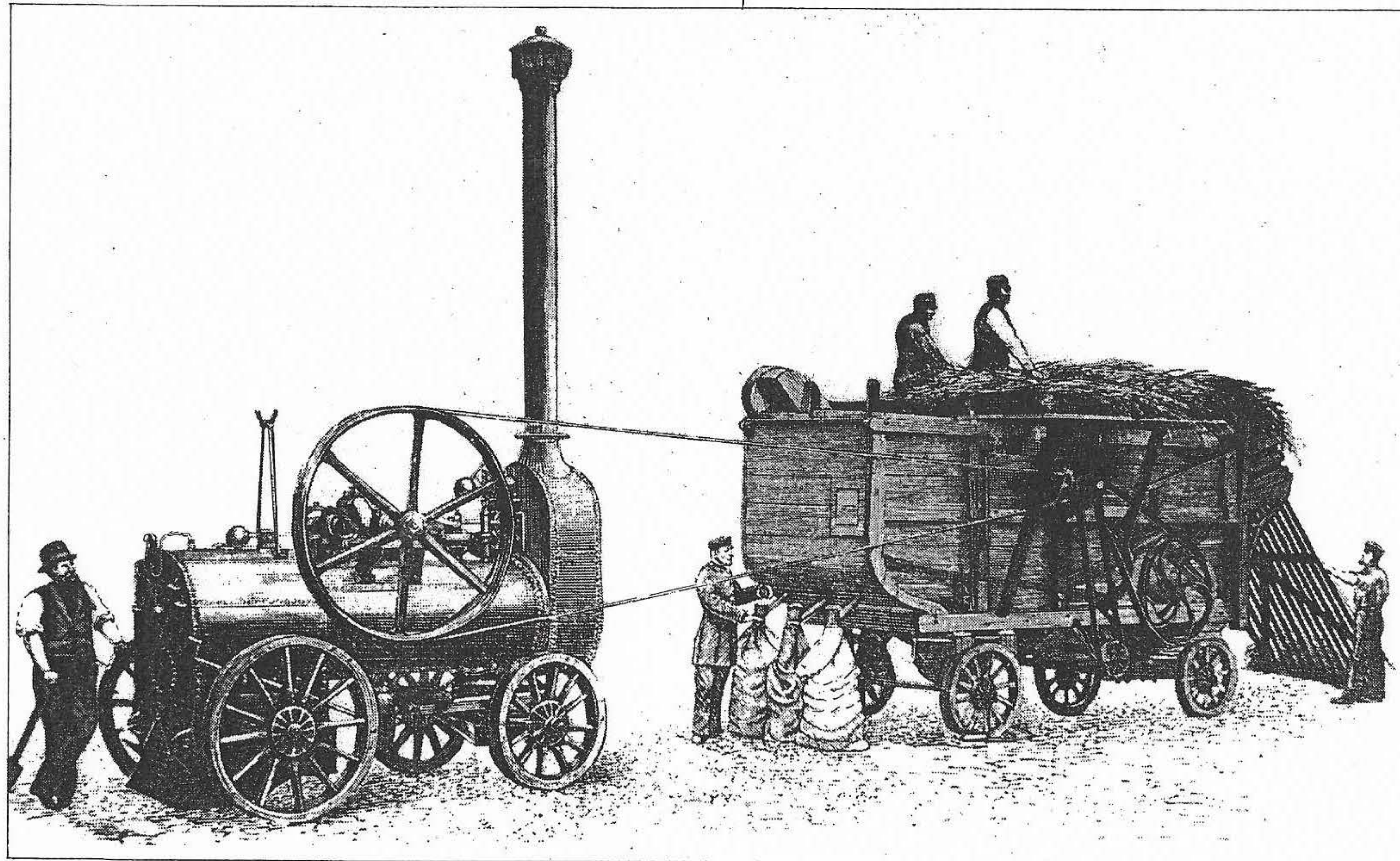
Bild 2.4/10:
Bauweise englischer
Lokomobilen um 1858
(Hersteller: Garrett)

Anmerkung:

Auf der allgemeinen Londoner Industrieausstellung von 1862, konnte man die sehr dynamische Entwicklung bei den landwirtschaftlichen Kraft- und Arbeitsmaschinen verfolgen. Neben den stationären landwirtschaftlichen Dampfmaschinen wurde eine Vielzahl an fahrbaren Lokomobilen gezeigt. Die Leistungen gingen schon bis zu beachtlichen 20 PS. Das Problem, praktisch nutzbare selbstfahrende Straßenfahrzeuge zu bauen, schien auch endlich gelöst. Straßenlokomotiven mit bis zu 40 PS wurden ausgestellt. An Ausstellern waren bei den Lokomobilen 18 englische, 6 französische, 2 belgische und 1 deutscher vertreten. Die von den englischen Herstellern produzierten Stückzahlen waren für damalige Verhältnisse außerordentlich hoch. Der führende Hersteller war mit weitem Abstand Clayton, Shuttleworth & Co. Seit der Firmengründung Ende der vierziger Jahre hatte das Unternehmen bis 1862 4700 Lokomobilen geliefert. Tuxford & Sons hatte in den letzten gut 10 Jahren 1090 Maschinen gebaut. Ransomes & Sims stellte auf der Londoner Ausstellung die Maschine mit der Nr. 704 aus. Die Firma baute in dieser Zeit 2 Maschinen pro Woche. Hornsby zeigte die Maschine mit der Nr. 400 aus, Garrett lag in ähnlicher Größenordnung, weitere Aussteller waren Berrett, Robey und einige kleinere Firmen.

Charakteristische Merkmale der englischen Maschinen waren:

- In der überwiegenden Zahl wurden Lokomotivkessel mit kastenförmiger, unten offener Feuerbüchse verwendet.
- Die Position des Zylinders war unterschiedlich, in der Rauchkammer, im Dampfdom, frei auf dem Rücken der Feuerbüchse – meist liegend.
- Die Steuerung erfolgte über Schieber und verstellbare Exzenter. Expansion meist größer als 50 % Zylinderfüllung.
- Die Hauptdampfzufuhr wurde nicht durch ein Ventil, sondern durch einen Schieber geregelt.
- Die Kreuzkopfführung lagerte einerseits am Zylinderdeckel, andererseits an einem auf dem Kessel befestigten Ständer. Die Führungen selbst bestanden aus zwei oder vier Leisten oder aus Rundführungen.
- Die Maschinenwellen hatten einseitige oder mittige Kurbeln.
- Alle Maschinen hatten einen Regulator.
- Die Räder waren aus Holz gebaut und mit eisernen Naben versehen.
- Dampfdruck 45 bis 60 Pfund/Quadratzoll, Drehzahl 100 bis 130 U/min, Heizfläche 18 bis 26 Quadratfuß.



Dreschen mit einer verfahrbare Lokomobile

Die Entwicklung in Frankreich

Die Anfänge der Entwicklung dampfgetriebener Kraftmaschinen verliefen in etwa parallel zu denen in England. In den technischen Ausführungen gab es allerdings größere Unterschiede. Man kann ohne Übertreibung von einem „französischen Stil“ sprechen. Charakteristisch für die französischen Maschinen waren: sehr unterschiedliche Bauarten, hohe Dampfdrücke, hohe Leistungen, zum Teil sehr leicht gebaute Lokomobilen, oft einachsige Rädergestelle. Besonders die Kesselkonstruktion wich von den üblichen „Lokomotivkesseln“ ab. Die Kessel bestanden oft aus einem senkrecht stehenden zylindrischen Vorkessel mit der Feuerbüchse und einem liegenden zylindrischen Kessel mit vorgehenden Rauchrohren. Der Dampfraum war immer sehr groß bemessen. Schon 1831 stellte Firma Hallette in D'Arras erste Lokomobilen eigener Konstruktion her, die auf zweiachsigen Rädergestellen von Zugtieren von einem Einsatzort zum anderen gezogen werden konnten. Bei der unsicheren Definition der Maschinenkategorie „Lokomobile“ ist es schwierig zu sagen, wer, nach heutigem Verständnis, die ersten fahrbaren Lokomobilen gebaut hat. Ein entscheidender Impuls zur Weiterentwicklung kam in den 1830er Jahren ebenfalls aus Frankreich. Einige Fabrikanten hatten dort begonnen, bei den dampfgetriebenen Kraftmaschinen alle hölzernen Elemente vollständig durch wesentlich höher belastbare Teile aus Eisen zu ersetzen, auch die Gestelle und Räder. Am Anfang waren die Maschinen zwar schwerer als die englischen, aber in Verlauf der Entwicklung verstand man es, die hohe Belastbarkeit des Werkstoffs „Eisen“ immer besser zu nutzen. Es entstanden außerordentlich kompakte und leichte ortsveränderliche Maschinen.

Um die Unterschiede in der Bauweise deutlich zu machen, soll eine dieser frühen „Lokomobilen“ genauer behandelt werden, und zwar die Maschine aus der mechanischen Werkstatt von A. Rouffet aus Paris (rue de l'Orme 12, place de la Bastille). Sie wurde zu ihrer Zeit als „tragbare Hochdruckdampfmaschine“ bezeichnet und war für die weitere Entwicklung richtungsweisend. Das Polytechnische Journal von Dingler stellte die Maschine mehrfach vor (1840; Bd. 75 und Bd. 77, Nr. XXXVIII, S. 161 ff.). In der **Tafel 2.4/2** ist die Seitenansicht und die Rückansicht dieser Maschine dargestellt und in der **Tafel 2.4/3** ein Längsschnitt durch die Maschine.

Die Maschine stand auf vier Füßen. Der Dampfkessel bestand aus zwei eisernen Zylindern (A, A), einem stehenden Teil mit der Feuerbüchse (B) und dem oben angeordneten Zylinder (M), sowie einem liegenden Teil mit den Rauchrohren (C, C). Die Feuerbüchse (B) war in der Form einer gusseisernen Glocke ausgeführt. Die Rauchrohrteile (C) waren angeflanscht. Der Kessel hatte „Zwangs zug“. Ein seitlich angebrachter Ventilator (D) sorgte für den Zug. Er wurde über einen Riemen von der Kurbelwelle angetrieben. Zum Anheizen konnte der Ventilator von der Maschine abgekoppelt werden und von Hand mittels der Kurbel (k) gedreht werden. Die Lokomobile benötigte keinen üblichen Kamin. Die angesaugten Feuerungsgase konnten einfach durch ein Ofenrohr (a) ins Freie geleitet werden. Das war ein großer Vorteil beim Betrieb in geschlossenen Räumen. Der stehende Zylinder war im Kesseldeckel integriert und ragte zur Hälfte in den Dampfraum. Die Maschine war einfach wirkend. Es war noch ein kleiner Balancier (L) vorhanden. Er hatte bei (g) durch eine Zugstange eine einseitige Lagerung. Die andere Seite war oberhalb des Zylinders mit der Rollenführung der Kolbenstange vereint. Die beiden Rollen liefen auf den Führungsbahnen (b). Ein großes Schwungrad (Z) sorgte für einen gleichmäßigen Gang. Die Speisepumpe (J) lag auf dem Kessel. Sie wurde vom Balancier direkt angetrieben. Zur Steuerung der Dampfwege dienten „Plattenventile“, die über Exzenter und Zugstangen direkt von der Kurbelwelle betätigt wurden.

Technische Daten der Lokomobile:

- Drehzahl der Kurbelwelle 60 U/min.
- Dampfdruck 4 atü (max. 6 atü).
- Leistung 1 ½ PS.

- Koksfeuerung (wegen des sehr geringen Rußeintrags in die schwer zu reinigenden Rauchrohre).
- Anheizzeit bis zum Sieden des Wassers 25 Minuten.
- Ventilatorumdrehzahl 240 U/min.
- Täglicher Verbrauch an Koks 100 kg
- Täglicher Verbrauch an Wasser 500 Liter.
- Preis: 2000 Fr.

Eine Lokomobile mit einachsigem Rädergestell stellte etwas später die Firma Lotz Fils de l'ainé in Nantes her. Sie war mit einer einfachen Dreschmaschine gekoppelt, konnte aber auch als eigenständige Maschine betrieben werden. Der Kessel war wieder aus zwei zylindrischen Teilkesseln gebaut. Der stehende Teil hatte eine zylindrische Feuerbüchse und vorgehende Rauchrohre, die zu einer Rauchkammer mit Kamin führten. Der stehende Zylinder lag im Dampfdom. Die Maschine hatte keinen Balancier sondern einen hoch liegenden Kurbeltrieb. Die Leistung war mit 3 PS deutlich höher als die anderer Maschinen.

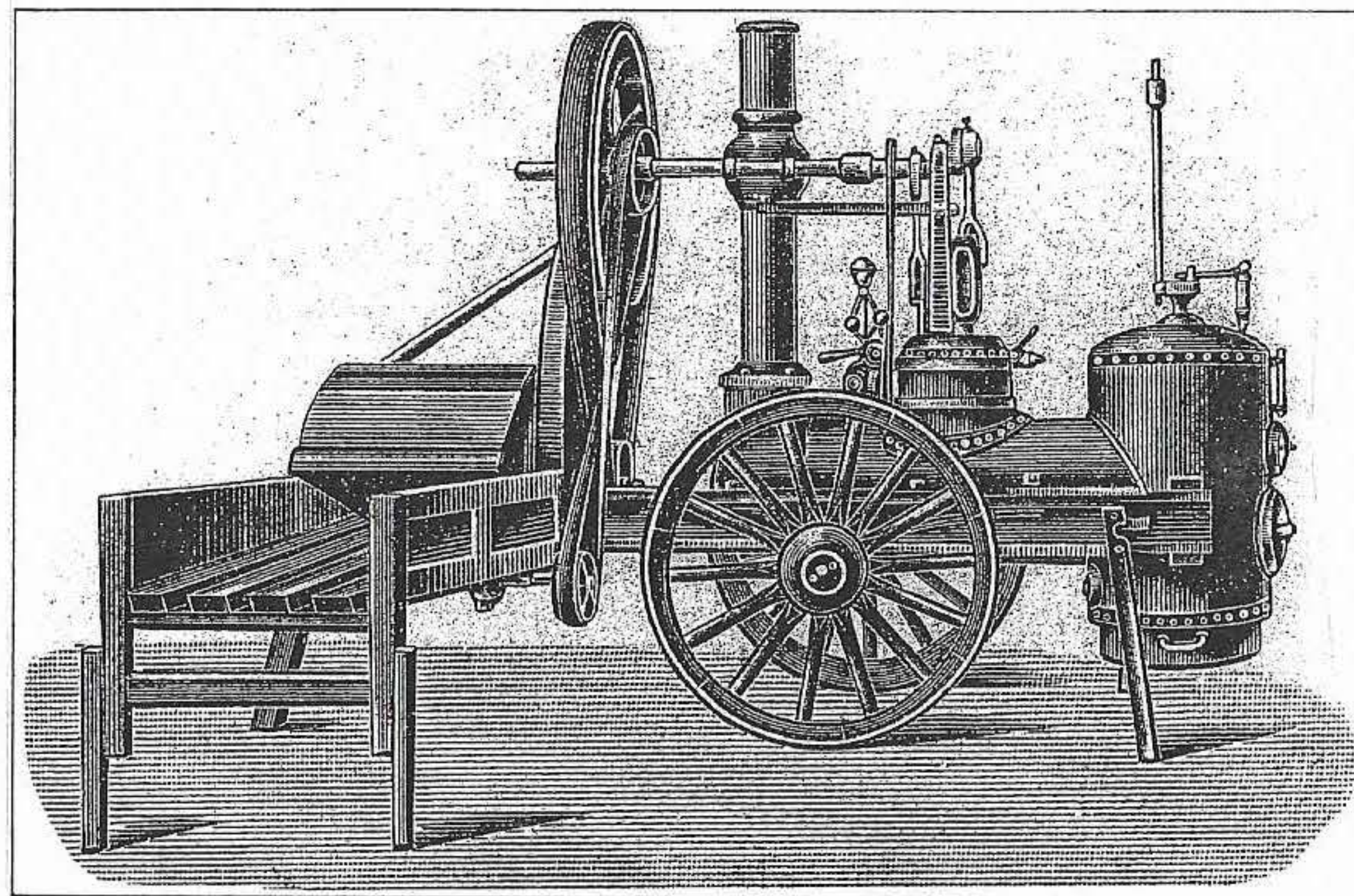
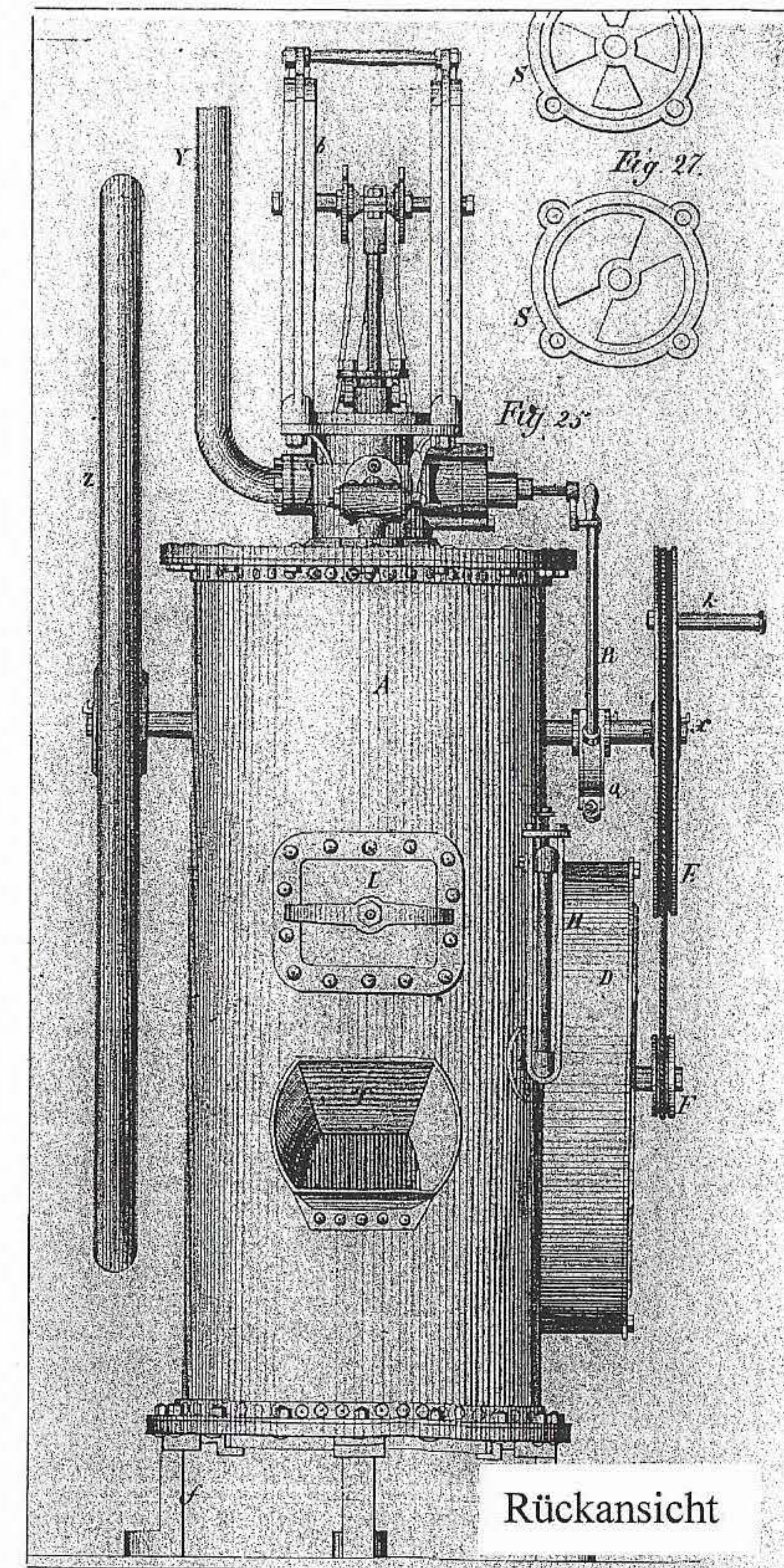
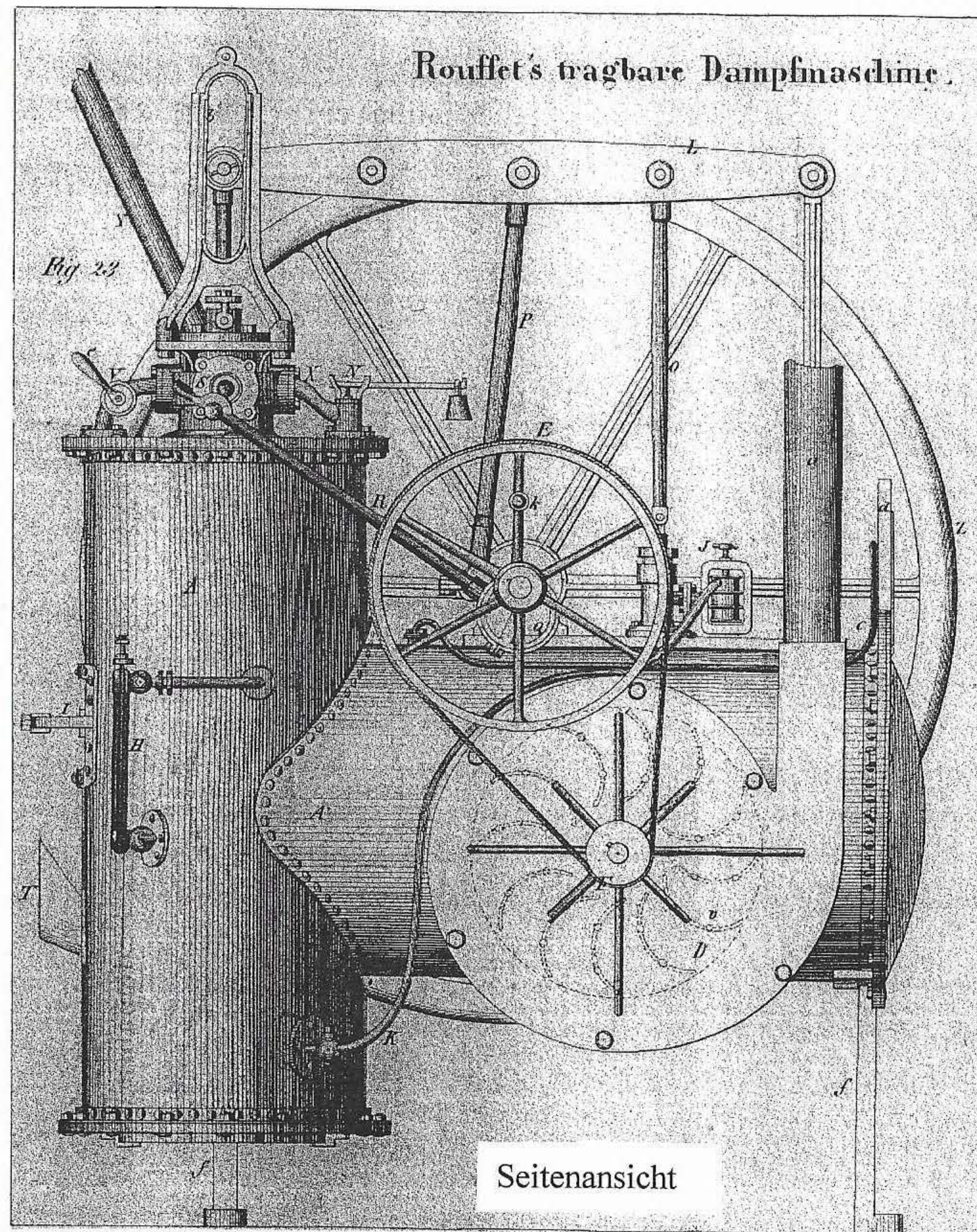


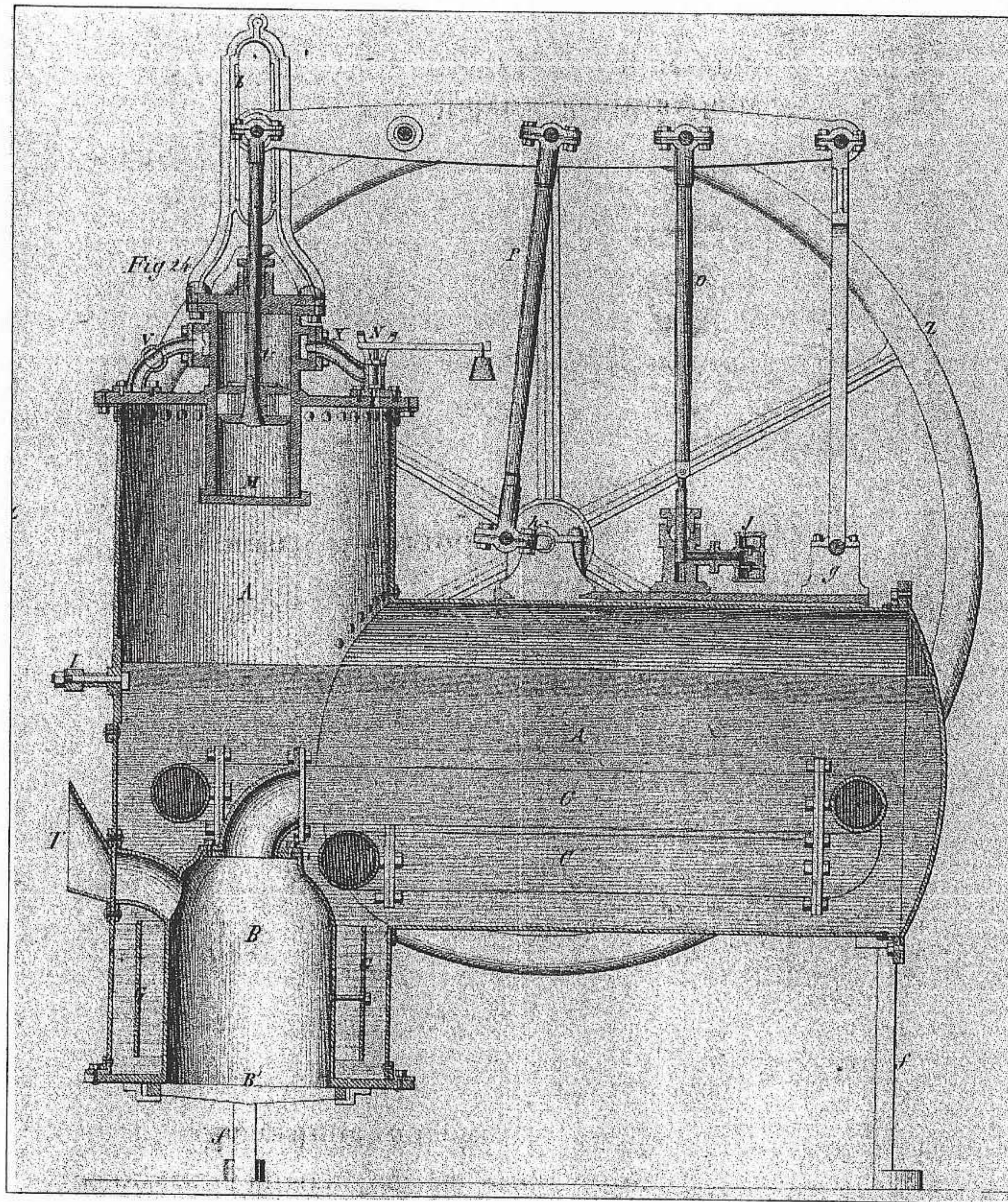
Bild 2.4/11: Einachsige Lokomobile mit Dreschmaschine von Lotz Fils de l'ainé (um 1845)

In Kontinentaleuropa stand Mitte des Jahrhunderts Frankreich beim Bau von Lokomobilen den englischen Herstellern in nichts nach. Auf der Pariser Weltausstellung von 1855 war etwa ein Dutzend französischer Lokomobilienhersteller vertreten, u.a. die Hersteller Calla und Rouffet aus Paris, Cumming aus Orléans, Renault & Comp. aus Nantes sowie Lotz de l'ainé auch aus Nantes, Gorgan & Cie. aus Paris. Allein die Unternehmen Calla und Lotz stellten bis 1860 über 700 Lokomobilen her.

Eine große einachsige Lokomobile aus dem Jahr 1858 ist in der **Tafel 2.4/4** dargestellt. Hergestellt wurde sie von Maldant & Comp. Die Lokomobile wies einige innovative Besonderheiten auf. Als erstes die Ausführung des Kessels. Er bestand aus drei zylindrischen Teilen, dem Außenkessel, einem zentrisch liegenden und wassergefülltem, großen Innenrohr und einem exzentrisch liegendem „Feuerbüchsen-Rohr“. Das Feuerbüchsen-Rohr war über die gesamte Kessellänge bis zur Rauchkammer geführt. Rost und Aschenkasten lagen wie



Tafel 2.4/2: Tragbare Hochdruckdampfmaschine
(A. Rouffet, Paris (um 1839))



Längsschnitt

Tafel 2.4/3: Tragbare Hochdruckdampfmaschine

(A. Rouffet, Paris (um 1839))

üblich hinten an der Heizerseite. Man erreichte dadurch durch diese Konstruktion mit einfachen Mitteln eine große Heizfläche und einen guten Wärmeübergang. Die einzylindrige Lokomobilmaschine lag seitlich versetzt auf dem Kessel. Eine weitere Besonderheit war die Maschinenausführung. Sie besaß als Kurbelmaschine keine Kreuzkopfführung. Der Kolben wurde im vorderen und hinteren Zylinderdeckel geführt. Auf einen Kreuzkopf konnte daher verzichtet werden. Die Maschine baute dadurch sehr kompakt. Die weiteren Merkmale waren typisch für viele französische Maschinen: leichte Bauweise, vollständige Ausstattung (mit Speisepumpe etc.), ganz aus Eisen gebaut, Verwendung hoher Drucke, hohe Leistung (etwa 9 PS). Die gesamte Lokomobile hatte nur eine Gabeldeichsel für das Verfahren mit Pferden, d.h., es reichte ein Pferd für den Transport aus.

In der **Tafel 2.4/5** ist die Lokomobile der Fabrik von Cochot aus dem Jahr 1863 dargestellt. Eine außerordentlich fortschrittliche Konstruktion. Sie war einachsrig, hatte aber einen Stehkessel. Die Feuerbüchse war sehr hoch gezogen und wies eine größere Zahl an quer liegenden, großen Wasserrohren (Quersiederrohr) auf. Die einzylindrige Lokomobilmaschine war hängend am Kessel befestigt. Sie hatte eine einfache Schiebersteuerung. Die Kurbelwelle mit Schwungrad lag oben. Die Schubstangenkräfte wurden durch einen Kreuzkopf aufgenommen. Ein Regulator wirkte auf eine Drosselklappe in der Frischdampfleitung. Die Maschinenspeisepumpe wurde über einen Exzenter direkt von der Kurbelwelle angetrieben. Zum Transport konnte eine Gabeldeichsel eingehängt werden. In den folgenden Bilder sind, chronologisch geordnet, einige typische französische Lokomobile wiedergegeben.

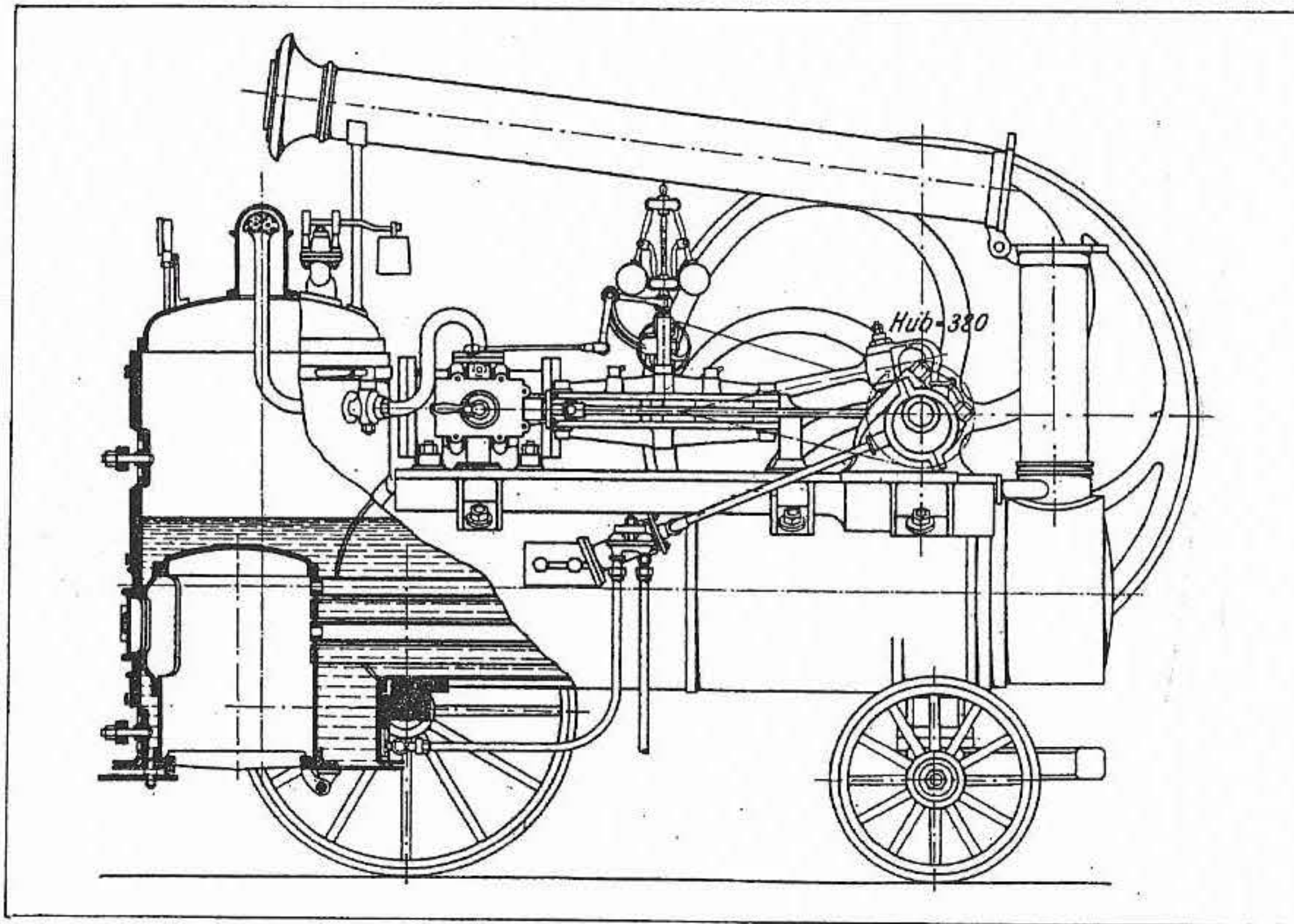


Bild 2.4/12: Lokomobile von Rouffet (um 1865)

Eine charakteristische Größe beim Vergleich von Lokomobilen aus unterschiedlichen Ländern war der sicher beherrschte Kesseldruck. Er bestimmte, mit einigen anderen Kenngrößen, im Wesentlichen die Leistung der Maschinen. In den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts lag der Kesseldruck bei fahrbaren Lokomobilen:

- bei englischen Maschinen bei 3,5 bis 4 at,
- bei französischen Maschinen bei bis zu 8 at,
- bei amerikanischen bei bis zu 6 at,
- und bei deutschen Maschinen ebenfalls bei bis etwa 6 at.

Ein Grund für die sichere Beherrschung höherer Kesseldrucke bei den französischen Maschinen lag in der Konstruktion der Kessel. Des Weiteren arbeiteten die französischen und insbesondere die amerikanischen Lokomobilen mit deutlich höheren Drehzahlen. Der Entwicklungsvorsprung bei den fahrbaren Lokomobilen aus England bestand noch bis Ende der 70er Jahre. Danach übernahmen sukzessiv die Hersteller aus den anderen Ländern die Führung.

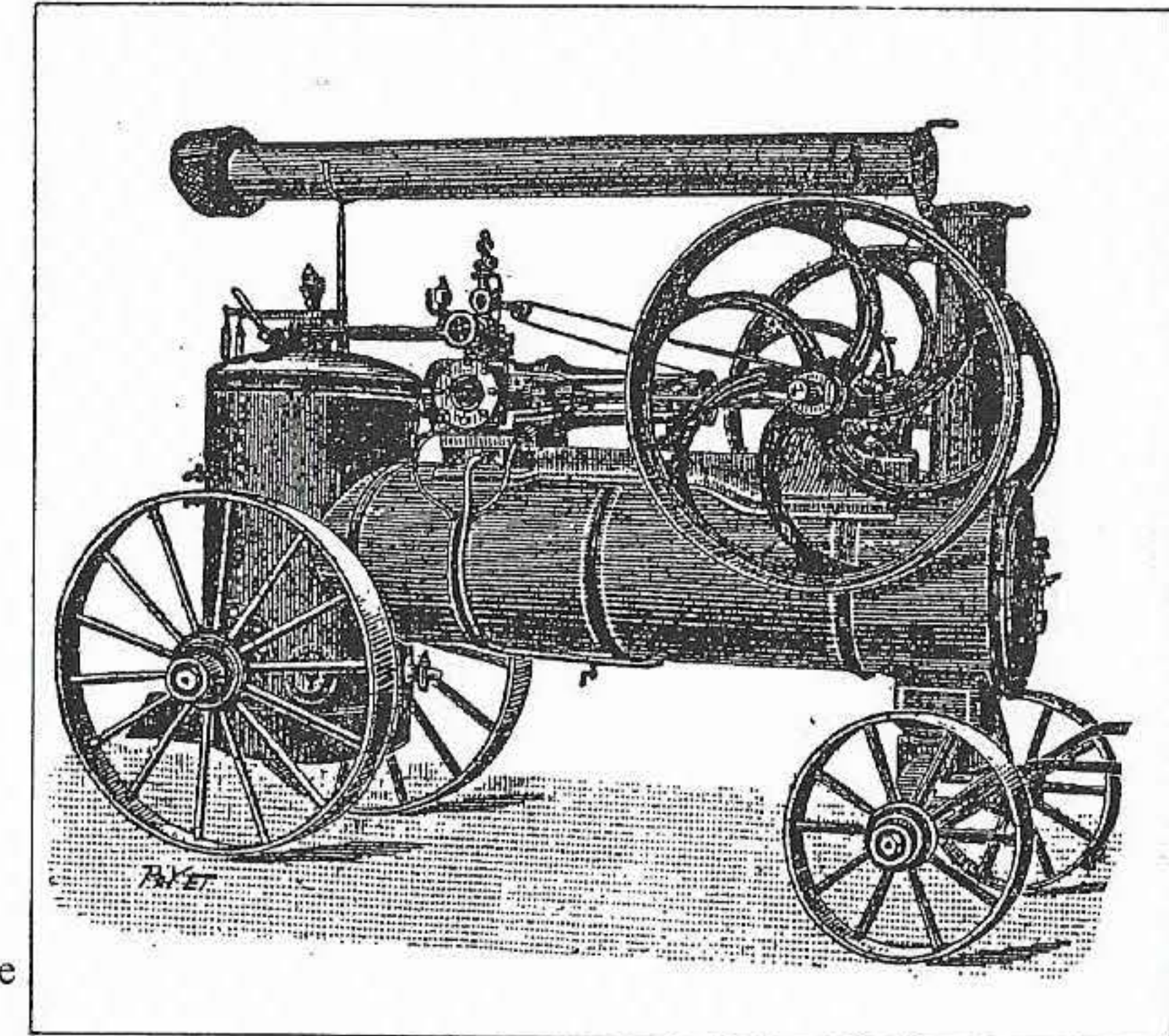
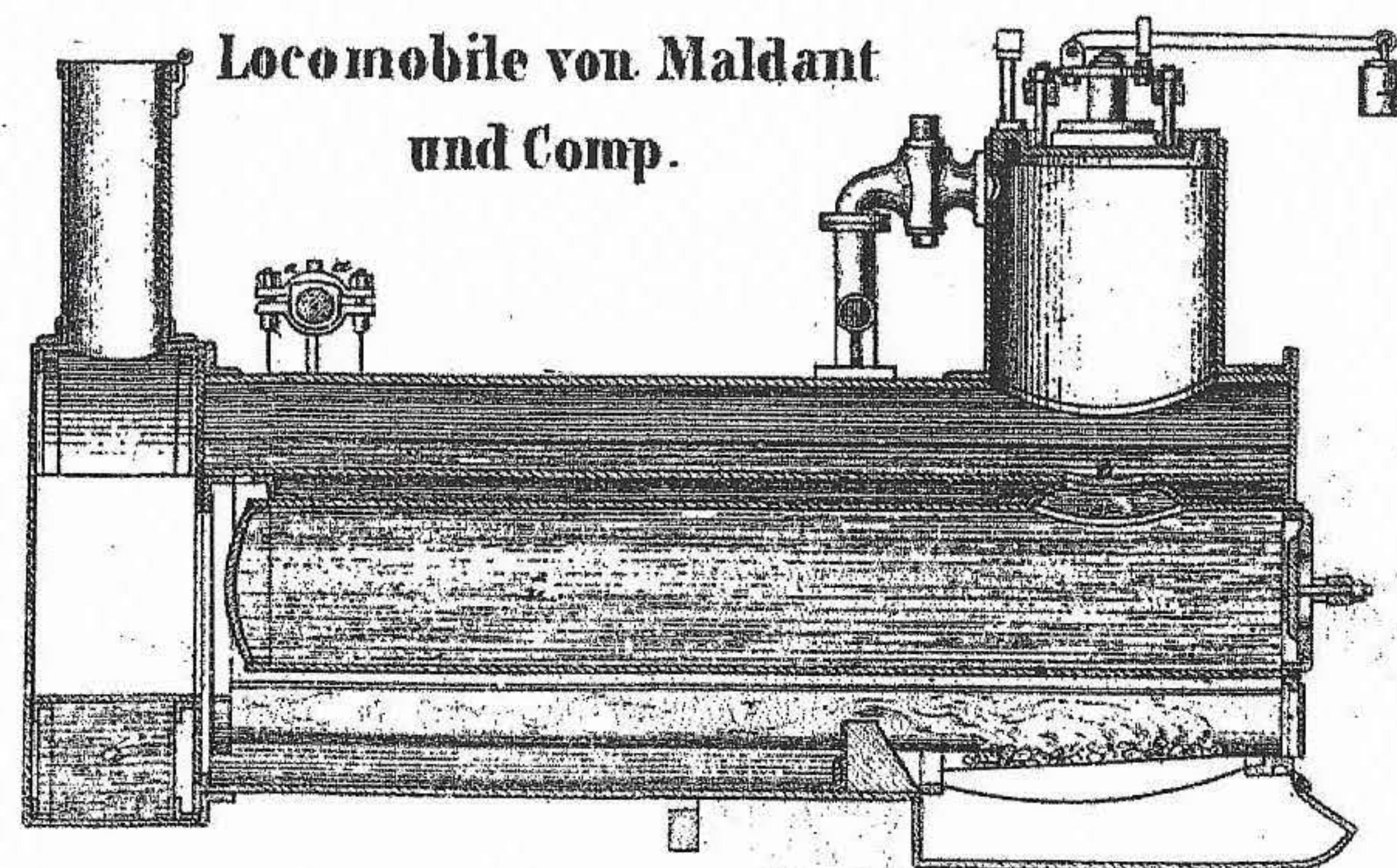
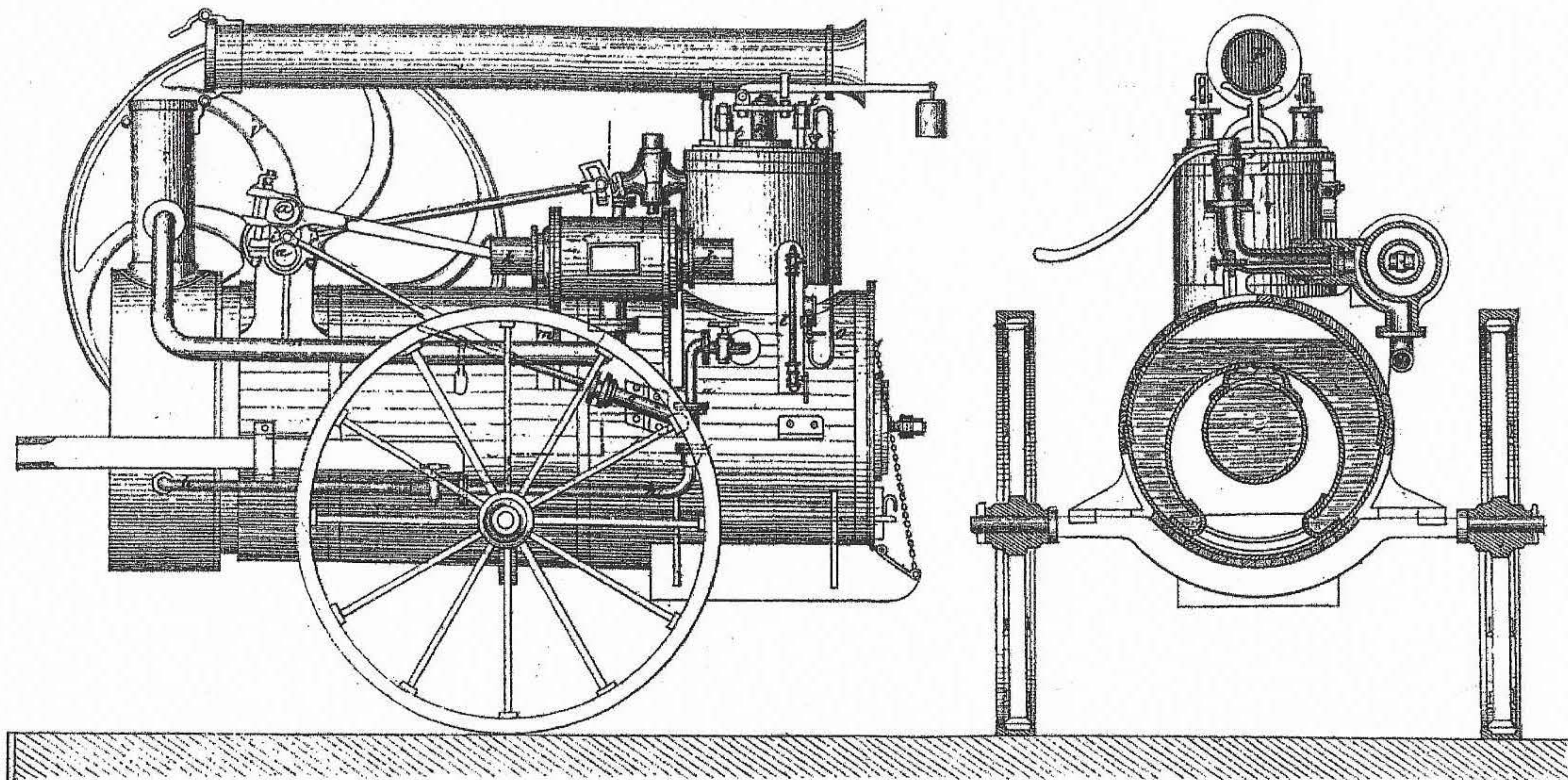


Bild 2.4/13:
Französische Lokomobile
(um 1882)

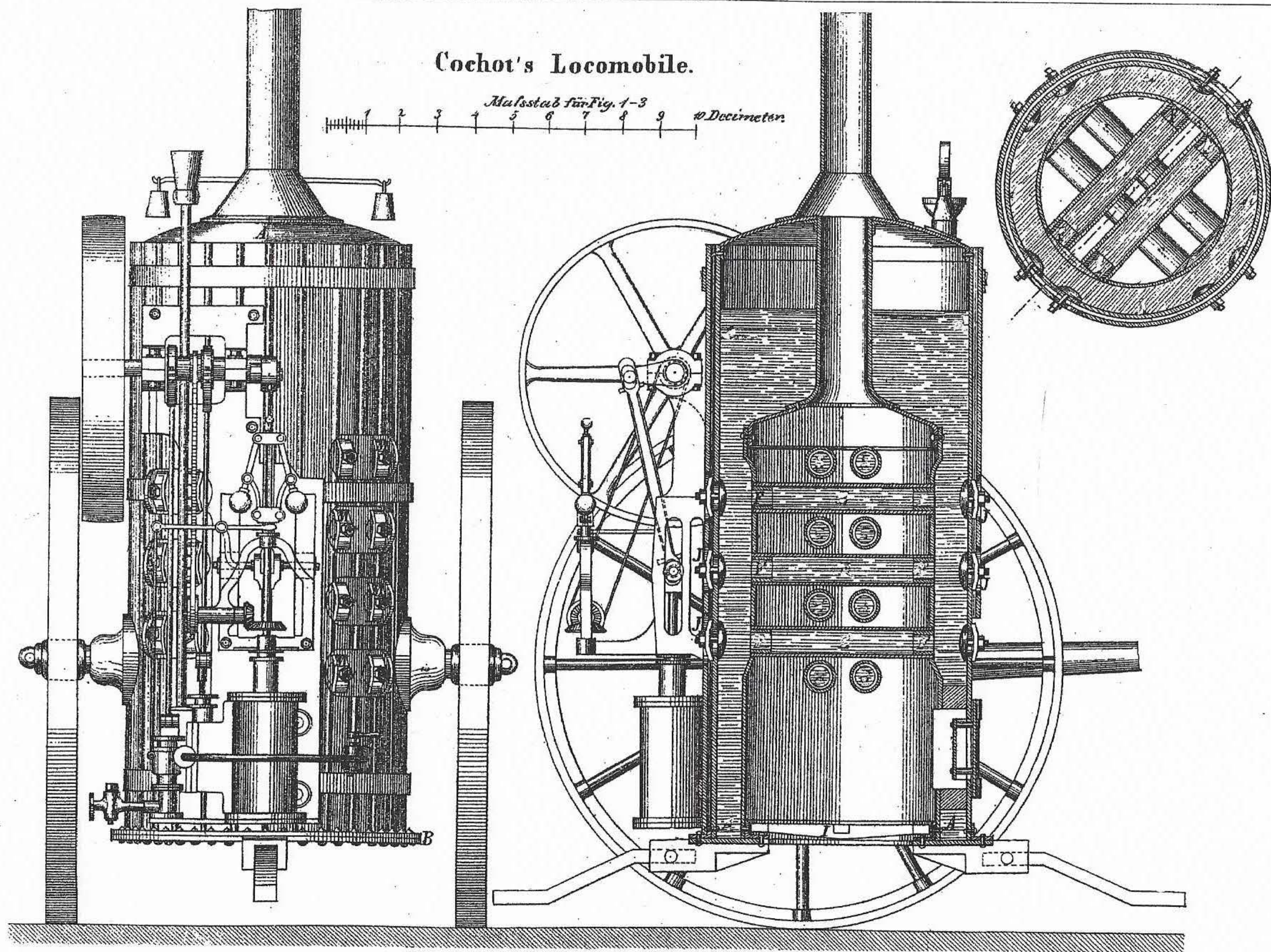
Anmerkung:

Die französischen Hersteller sind bei uns weitgehend unbekannt. Im Gegensatz zu den englischen mit ihren großen Exportanteilen, waren die französischen Maschinen primär im nationalen Umfeld und im französischsprachigen Ausland vertreten. Einige der wichtigsten französischen Hersteller waren (Stand 1860):

- Laurens et Thomas, Paris
- J. Cumming et Orleans
- L. Bréval, Paris
- Calla, Paris
- Albarent et Comp., Liancourt
- Malo, Belleville et Comp.
- Hallete, D'Arras
- Gorgan et Cie., Paris
- Maldant et Comp.
- Cochot (später Maldant et Comp.)
- A. Rouffet, Paris
- Lotz Fils de l'aine, Nantes
- Durenne Fils, Paris
- A. de Coster, Paris
- Barbier et Daubrèe, Clermont Ferrand
- Renault et Comp., Nantes
- J. F. Cail et Comp., Paris.



Tafel 2.4/4: Einachsige Lokomobile
(Maldant & Comp. (um 1858))



Tafel 2.4/5: Einachsige Lokomobile
(Cochot (um 1863))

2.5 Die ersten ortsveränderlichen Kraftmaschinen im deutschsprachigen Raum

Die Entwicklung von dampfgetriebenen Kraftmaschinen, die ihren Einsatzort wechseln konnten, ist ähnlich verlaufen wie die in England und Frankreich, nur mit einer Verzögerung von etwa 10 Jahren. Die Arbeiten der ausländischen Hersteller wurden sehr genau beobachtet. Die technischen Periodika berichteten eingehend über jede Neuerung. In Kontinentaleuropa gab es bei den Kraftmaschinen mit Dampftrieb und den sogenannten „Dampfselbstfahrern“ eine außerordentlich breite Entwicklung. Bei den ortsveränderlichen Kraftmaschinen aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts muss man den Begriff „Lokomobile“, wie schon im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, weiter fassen, sowohl bezüglich ihrer „Mobilität“ als auch ihrer technischen Ausführung. In der Übersicht (Bild 2.5/1) sind einige Ausführungsvarianten ortsveränderlicher Dampfmaschinen aufgeführt. Es können über 20 Maschinen- bzw. Fahrzeugkategorien unterschieden werden. Wenn man die Entwicklungen in Frankreich und Belgien mit berücksichtigt, kommen noch einige weitere hinzu. Es können drei Entwicklungssegmente unterschieden werden:

- ortsveränderliche Dampfmaschinen ohne eigenen Fahrtrieb,
- ortsveränderliche Dampfmaschinen mit eigenem Fahrtrieb und Antriebsfunktion,
- ortsveränderliche Dampfmaschinen mit eigenem Fahrtrieb, ohne Antriebsfunktionen.

Nur die erste Gruppe ist hier von Interesse. Das ist das Segment der „Lokomobilen“. Die wenigen Ausführungen, die mit einem Hilfsantrieb zum Fahren kurzer Wegstrecken ausgerüstet waren, werden dieser Gruppe zugeordnet. In der zweiten Gruppe sind die Maschinen vertreten, die sowohl Fahr- und Antriebsaufgaben erfüllen konnten. Es waren Universalmaschinen mit dem Einsatzschwerpunkt „Landwirtschaft“. Die dritte Gruppe ist nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt. In ihr findet man das gesamte Spektrum der dampfgetriebenen Selbstfahrer wieder. Der Antrieb von Arbeitsmaschinen war bei den meisten Fahrzeugen nicht vorgesehen.

Mit zunehmender Verkleinerung der Maschinen wurde das ursprünglich mittragende gemauerte Maschinenhaus durch eine Rahmenkonstruktion aus Holz ersetzt. Die Maschinen konnten ab diesem Zeitpunkt unabhängig von der Gebäudekonstruktion eingesetzt werden. Mit der weiteren Verkleinerung und Leistungssteigerung entstand aus dem Holzgestell das eiserne Maschinengestell. Noch lange erinnerten die Maschinensäulen und Traversen an Vorbilder aus der Architektur. Der Dampfkessel rückte näher an die Maschine. Man baute das, was zweckbezogen benötigt wurde. Den Gedanken, Maschine und Kessel zusammen zu legen, hatten die Hersteller in England und Frankreich schon erfolgreich umgesetzt. Diese Ausführungen waren auch in den deutschen Ländern bekannt. Die einfachste Form einer ortsveränderlichen Kraftmaschine ist eine zerlegbare Maschine. Auch diese ursprüngliche Variante ist Anfang des 19. Jahrhunderts von einigen deutschen Herstellern gebaut worden. Allerdings war nur die Maschine selbst mit ihrem Holzgestell zerlegbar. Der Dampfkessel war dem Stand der Technik entsprechend, „immobil“. Die Maschine wurde zum Kessel gebracht. Beispielsweise baute der sächsische Maschinendirektor Christian Brendel (1776 – 1861) um 1807 so eine Maschine, die einfach auseinanderzunehmen war und an einem anderen Ort leicht wieder aufgestellt werden konnte. Brendel war einer der Pioniere des Dampfzeitalters. Er hatte die Bergakademie in Freiberg besucht und war danach zu einer zweijährigen Studienreise nach England aufgebrochen. 1811 wurde er Kunstmeister auf der Saline Dürrenberg, danach Leiter des Bergmaschinenwesens in Freiberg. Ab 1817 unterstellte man ihm als Maschinendirektor das gesamte sächsische Maschinenwesen. Die Betriebsmaschine von Brendel war speziell für ihre „ortsveränderliche Funktion“ entworfen worden. Die fortschrittliche Balanciermaschine war doppelwirkend und besaß einen stehenden Zylinder. Die Abtriebsbewegung war eine Drehbewegung. Die Maschine konnte nicht nur zur Wasserhaltung eingesetzt werden, sondern auch für andere Antriebsaufgaben.

| Lfd. Nr. | Maschinenkategorie | Erläuterung | Bemerkung |
|--|--|---|---|
| Antriebsmaschinen ohne eigenen Fahrtrieb, Kraftmaschinen | | | |
| 1 | Ortsveränderliche Dampfmasch. | Frühe Bauweise. Maschine mit zerlegbarem Rahmengestell. Mit Balancier oder Kurbeltrieb. Kessel separat, häufig stationär (freistehend oder eingemauert) | |
| 2 | Ortsveränderliche Betriebsmaschine | Wie 1. Kessel noch separat, aber auch versetzbar | |
| 3 | Lokomobile auf Rädern (übliche Ausführung) | Kleinere, im Allgemeinen nicht selbstfahrende Antriebsmaschine. Kessel und Maschine meist eine Einheit. Meist zweiachsige, Aufgesattelte Ein- oder Zweizylindermaschinen. Liegender Kessel unterschiedlicher Bauart. Transport durch vorgespannte Pferde oder Zugmaschine. | Meistgebaute Maschinenkategorie. |
| 4 | Lokomobile mit stehendem Kessel und Rädern | Meist kleinere Maschinen. Sehr viele, sehr unterschiedliche Konstruktionen. Stehende oder liegende Maschinen, meist Einzylinder. Sehr oft einachsige. Transport d. Personen oder Pferde. | |
| 4 | Lokomobile auf Rädern (übliche Ausführung) mit Hilfsantrieb | Wie 3. Zusätzlich meist ein Rad oder eine Achse angetrieben. Hilfsantrieb meist direkt von der Kurbelwelle. | Lokomobile konnte kurze Strecken mit eigener Kraft zurücklegen. |
| 5 | Lokomobile auf Tragfüßen (Halblokomobile) | Meist wie 3. Gesamte Maschine konnte versetzt werden. Lokomobilmaschine meist aufgesattelt, aber auch unter dem Kessel liegend angeordnet. | |
| 6 | Lokomobile auf Rahmengestell oder Kufen (Halblokomobile) | Meist wie 3. Gesamte Maschine konnte verschoben werden. | Verschiebbar bei kurzen Strecken. |
| 7 | Lokomobile auf Rädern zum Befahren von Gleisen | Wie 3. Keine Lenkung. | |
| 8 | Kombinierte Maschinen (Lokomobile und integrierte Arbeitsmaschine) | Meist fahrbare Lokomobile auf Rädern. Sehr große Zahl an Ausführungsvarianten: Dampfdrescher, Dampfpumpen, Dampfwinden, Dampfsteinbrecher, Dampf-Beleuchtungswagen usw. | |
| 9 | Ortsveränderliche Dampfmotoren, Gewerbemaschinen u.a.m. | Meist Dampfkessel und Maschine integriert. Besondere Kessel, auch Schnellverdampfer. Oft besondere Dampfmaschinenausführungen. Ges. Maschine auf Sockel gebaut, versetzbar. | Bezeichnung uneinheitlich. Sehr viele Hersteller. |
| 10 | Ortsveränderliche Kleindampfmaschinen, Hausmaschinen u.a.m. | Kleine Leistungen. Betrieb in geschlossenen Räumen, Rauchabzug über Ofenrohr u.ä. Einfachste Bedienung. Oft flüssige Brennstoffe. Maschine versetzbar, einige auch tragbar. Kessel und Maschine meist integriert. | Bezeichnung uneinheitlich. |
| 11 | Ortsveränderliche Kleinst-Dampfmaschinen | Sehr kleine Leistungen. Allgemein flüssige Brennstoffe. Betrieb in geschlossenen Räumen. Kein Rauchabzug nötig. Einfachste Ausführungen. Auch tragbare Maschinen. | Bezeichnung uneinheitlich. |
| 12 | Ortsveränderliche Dampfmaschinen (Sonderkonstruktionen) | Einzelausführung, je nach Bedarf. Sehr große Vielfalt. | |
| Maschinen mit eigenem Antrieb (Dampfselbstf.) und gesondert Antriebsfunktion (Riementrieb, Seiltrieb, Gelenkwelle u.a.m.) | | | |
| 1 | Dampfschlepper Dampf-Straßenlokomotive | Dampfselbstfahrer, zweiachsige mit allg. vier (seltener drei) Rädern. Vorderräder deutlich kleiner als die angetriebenen Hinterräder. Oft Einzylindermaschinen. Allg. liegender Lokomotivkessel. Niedrige Fahrgeschwindigkeit. Einsatzzweck: universell einsetzbar Zugmaschine. Antrieb von stationären Maschinen über Riementrieb. | Häufig mit Bauchtank (Bellytank) zur Vergrößerung der Einsatzzeit. Häufig mit Seilwinden ausgerüstet. |
| 2 | Dampftraktoren | Kleinere, leichte Dampfselbstfahrer. Zweiachsige, vier Räder. Hintere angetriebene Räder deutlich größer und breiter als vordere Räder. Ein- oder Zweizylindermaschinen. Liegender Lokomotivkessel. Antrieb von stationären Maschinen über Riemenscheibe, Seiltrieb oder Gelenkwelle. Häufig mit Seilwinde ausgestattet. | Häufig mit Bauchtank (Bellytank) zur Vergrößerung der Einsatzzeit. |
| 3 | Dampfzugmaschinen | Große, selbstfahrende Maschine (siehe Bild 2.5/1, Teil 2) | Selten als Kraftmaschine. |

Bild 2.5/1: Übersicht der Ausführungen ortsveränderlicher Dampfmaschinen (Teil 1)

Die erste Dampfmaschine baute Reichenbach für die königlich bayrische Münze schon 1803. Es war eine Maschine mittlerer Größe. Der Kolbendurchmesser lag bei 102 mm, der Hub betrug 306 mm. Die Drehzahl war 150 U/min. Die Leistung kann nur grob geschätzt werden. Vermutlich lag sie bei 5 bis 7 PS.

Georg von Reichenbach hat in der Zeit zwischen 1802 und 1820 mehrere kleinere Hochdruckdampfmaschinen gebaut. Von einer anderen Maschine liegt eine sehr genau gearbeitete anschauliche Skizze vor (Bild 2.5/2a). Die Dampfmaschine war durch den Ersatz des Balanciers durch ein Joch noch kompakter gebaut als die Maschine im Bild 2.5/2. Der Zylinder stand wieder senkrecht. Am Ende der Kolbenstange war ein stabiles Joch befestigt. Das Joch wurde in zwei seitlichen Führungen geführt. Vom Joch gingen zwei seitlich liegende, lange Pleuelstangen zu den beiden äußeren Stirnkurbeln einer Welle. Die Kurbeln hatten keinen Versatz. In der Mitte der Welle war ein Zahnrad befestigt. Die Drehbewegung wurde mit einer Zahnradübersetzung auf die Schwungradwelle geleitet. Durch die höhere Drehzahl der Schwungradwelle lief die Maschine relativ ruhig. Entsprechend den Möglichkeiten der Zeit war das gesamte Maschinengestell aus stabilen Holzbalken hergestellt worden. Nur die hoch beanspruchten Maschinenteile waren aus Eisen. Der Dampfdruck lag wieder bei ca. 8 atm. Weitere technische Daten fehlen. Die Maschine hatte eine Maschinenspeisepumpe und zur Konstanthaltung der Drehzahl bei Belastungsschwankungen einen Fliehkraftregulator, mit dem die Dampfzufuhr verändert werden konnte.

Der Kessel war eine separate Baugruppe. Dampfmaschine und Kessel konnten getrennt voneinander versetzt werden. Über den inneren Aufbau des zylinderförmigen Kessels ist nichts bekannt. Er dürfte eine Festbrennstofffeuerung besessen haben. Die Heizgase wurden über einen Kamin abgeführt. Dazu reichte ein übliches, aufsteckbares Kaminrohr aus Blech.

Bemerkung:

Um 1810 begannen einige einheimische Hersteller die Technik der Dampfmaschinen zu verkleinern. Die großen, teuren und sehr schweren Maschinen üblicher Bauart waren nur für einen Teil der Unternehmen mit einem entsprechend hohen Bedarf an Antriebsenergie geeignet. Das Gros der Betriebe waren aber Kleinhersteller, Handwerksbetrieb und mittelständische Unternehmen. Für diese Betriebe waren kompakte, einfache, preiswerte und sichere Dampfmaschinen erforderlich. Einige Dampfmaschinenhersteller versuchten dieses Feld zu erobern. Vorherrschend in diesen kleineren Unternehmen waren Antriebe mit Wasser- oder Windkraft und alle Arten von Göpeln mit „menschlichen oder tierischen Antrieben“. Bei sehr kleinen Bedarfen an Antriebsenergie waren Handkurbelantriebe weit verbreitet. Es gab eine Berufsgruppe, die Leirer oder Leindreher, die im Bedarfsfall angemietet werden konnten. Die Eroberung dieses Kraftmaschinenfeldes war am Anfang des 19. Jahrhunderts nicht von Erfolg gekrönt. Die Technik war zu teuer und nicht zuverlässig genug. 60 Jahre später übernahmen die Klein-Dampfmaschinen, Gewerbemotoren, „Hausmaschinen“ u.ä. als universell einsetzbare Klein-Kraftmaschinen erfolgreich diese Aufgaben. Sie wurden, bis zum Siegeszug des elektrischen Antriebs, in sehr großen Stückzahlen hergestellt.

Bemerkung:

Von Reichenbach war im deutschsprachigen Raum einer der Pioniere, der die Bedeutung von Kraftmaschinen kleiner Leistung für den Handel und eine Vielzahl an Gewerbegebieten erkannte. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts entwickelte und baute er seine ersten Maschinen. Als Kraftmaschinen kamen in dieser Zeit nur Dampfmaschinen in Betracht. Die im Einsatz befindlichen Ausführungen waren Großmaschinen mit voluminösen Dampfkesseln, oft in Gebäuden eingemauert, und großen, schweren Maschinen. Von Reichenbach löste sich als einer der ersten von diesen Vorstellungen und entwickelte kleine, leichte Maschinen. Das besondere war die spezielle Anpassung an die Anforderungen der Nutzer. Die Maschinen sollten keine Fundamente benötigen, auch nicht die Kessel. Sie sollten leicht von einem Ort zum andern transportiert werden können. Sie mussten einfach im Aufbau, robust und preiswert sein.

Die Lösung waren einfache Gestellmaschinen, Dampfmaschine und Kessel waren getrennt auf eigenen, hölzernen Gestellen aufgebaut. Sie konnten leicht einzeln transportiert werden. Als Dampfmaschinen setzte er meist Einzylindermaschinen mit direkt über eine Pleuelstange angetriebener Pleuelzapfenwelle ein. Die Kessel wiesen verschiedene Bauarten auf, von stehenden, zylindrischen Kleinkesseln bis zu liegenden Zylinderkesseln mit rechteckigen Kesselschließungen. Der Kesseldruck lag bei einigen Atmosphären.

Die erste Maschine wurde 1803 für die bayrische Münze gebaut. Sie diente zum Antrieb eines Prägestocks für Thalerstücke. 1809 entstand eine weitere Maschine für die Universität Landshut. Sie wurde dort für Schulungszwecke eingesetzt. 1812 ging eine weitere Maschine nach Paris.

Erwähnenswert ist, dass von Reichenbach 1816 eine Hochdruck-Dampfmaschine mit oszillierenden Zylindern für den Einbau in Straßenfahrzeuge entwickelte. Die Einzelteile der Maschine wurden in der Werkstatt von Reichenbach gebaut. Ob sie fertiggestellt worden ist und als Antrieb in einem Wagen diente ist nicht sicher.

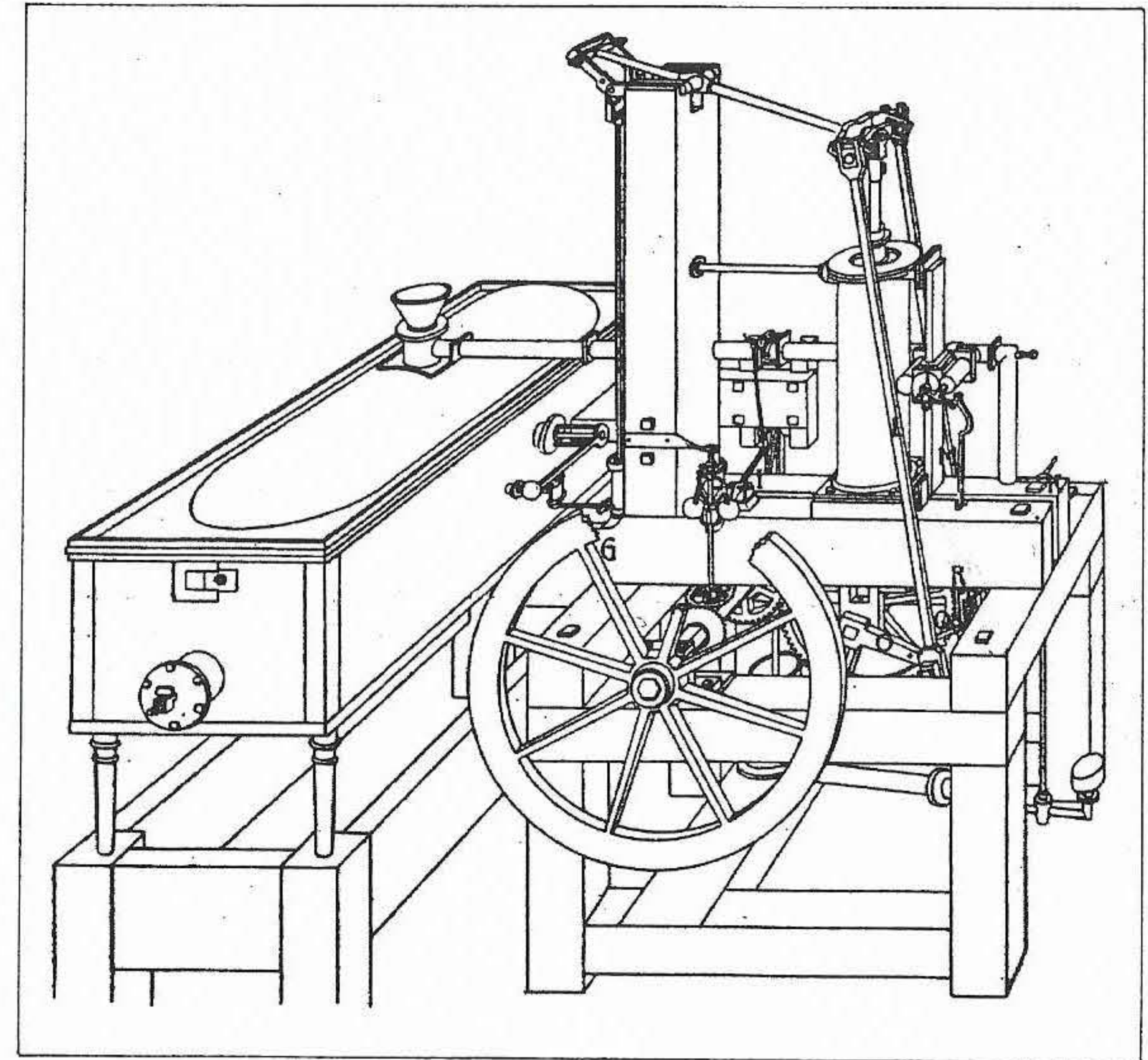


Bild 2.5/2.1: Perspektivische Skizze einer Dampfmaschine von Reichenbach (um 1809)

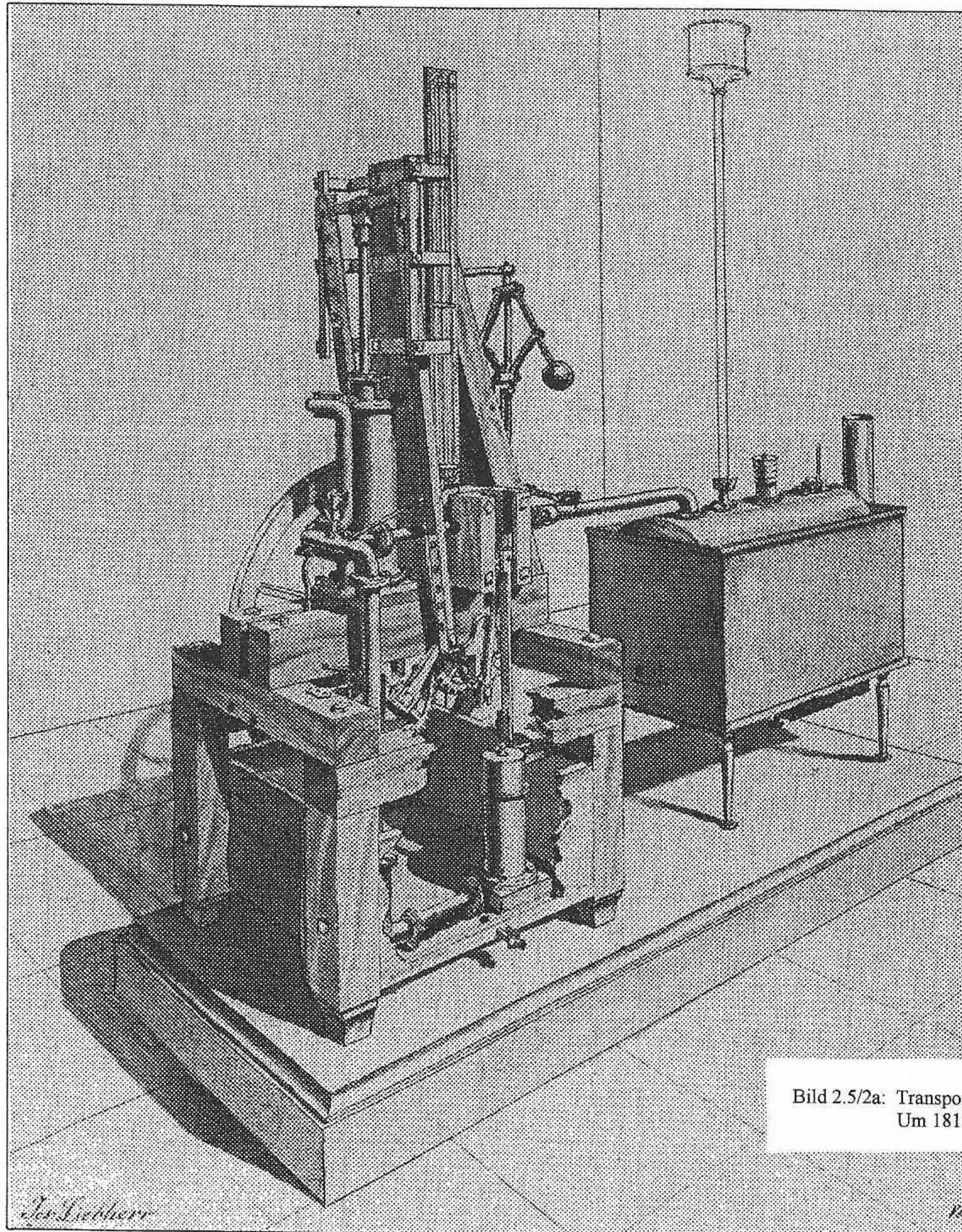


Bild 2.5/2a: Transportable Hochdruck-Dampfmaschine von Reichenbach (und Liebherr)
Um 1815

| Maschinen mit eigenem Antrieb (Dampfselbstfahrer) aber ohne gesonderte Antriebsfunktion | | | |
|---|--|---|---|
| 1 | Dampfzugmaschine | Dampfselbstfahrer, zwei- oder dreiachsig. Mehrzylindermaschinen, unterschiedliche Bauarten. Unterschiedliche Kesselkonstruktionen (auch Stehkessel). Fest- oder Flüssigbrennstoffe. Höhere Leistungen. Höhere Fahrgeschwindigkeit. | Gezogen wurden alle üblichen, vorhandenen Anhängewagen. Selten mit gesondertem Abtrieb versehen. |
| 2 | Dampf-Straßenzug | Schwere Dampfselbstfahrer in spezieller Ausrichtung auf den Betrieb als Straßenzug. Zugmaschine und auch die Wagen sind auf den speziellen Einsatz in dem jeweiligen Straßenzug angepasst. Zugmaschine und Wagen sind ein aufeinander abgestimmtes System. | Gezogen werden 4 bis 10 Wagen. |
| 3 | Dampf-Vorspannschlepper (Automobiler Vorspannwagen) | Dampfselbstfahrer, meist zweiachsig mit vier allg. gleich großen Rädern. Aufnahmen für aufzusattelnde Anhängewagen über der hinteren Achse. Üblich sind mehrzylindrige Maschinen höherer Leistung. Höhere Fahrgeschwindigkeiten. | Gebaut: ab Ende des 19. Jahrhunderts. |
| 4 | Dampfwalze | Dampfselbstfahrer, zweiachsig. Räder als breite Walzen ausgebildet. Bauarten: Dreiradwalzen. Allgemein liegende Lokomotivkessel. Zweiradwalzen (französische Walzen). Oft mit Stehkesseln. | Zweiradwalzen werden auch als Tandemwalze bezeichnet. |
| 5 | Dampffluglokomotive | Große Dampfselbstfahrer mit zwei Achsen. Hintere Achse angetrieben. Große verbreiterte Hinterräder mit Traktionshilfen zum Fahren auf dem Acker. Meist Zweizylindermaschinen. Meist verlängerte Lokomotivkessel mit Windentrommel unter dem Kessel. | Fahrzeug mit sehr leistungsfähigen Windesystemen ausgerüstet. Seillängen bis 500 m. |
| 6 | Dampfplastwagen | Dampfselbstfahrer, zweiachsig (selten dreiachsig) mit in etwa gleich großen Rädern. Oft Antrieb der Hinterräder. Fahrzeug und Ladefläche bilden eine Einheit. Ladefläche durchgehend eben. Anhängerbetrieb üblich. Meist Mehrzylindermaschinen, häufig in Unterfluranordnung. Unterschiedliche Kesselkonstruktionen. | Viele Sonderausführungen (Kippaufbauten, Fassaufbauten, offene oder geschlossene Aufbauten u.s.w.) |
| 7 | Dampfbus | Dampfselbstfahrer, zweiachsig mit in etwa gleich großen Rädern an der Vorder- und Hinterachse. Oft Antrieb der Hinterräder. Fahrzeug und Passagierkabine bilden eine Einheit. Passagierbereich durchgängig eben. Kabine häufig mit Perron. Meist Mehrzylindermaschinen. | |
| 8 | Dampf-Automobil (Dampf-Sportwagen, Motorwagen) | Leichtere, kleinere zweiachsiger Dampfselbstfahrer für den Verkehr auf befestigten Straßen. Antrieb meist auf die Hinterräder. Fahrzeugachsen gefedert. Hohe Geschwindigkeiten. Häufig mehrzylindrige Hochdruckmaschinen als Antrieb. Sehr unterschiedl. Kesselbauarten (Sofortverdampfer ua.). Oft Feuerung mit Flüssigbrennstoffen. | Ab 1880 bei den französischen Fahrzeugen Einmannbedienung üblich (Übergang zum modernen Automobil). |
| 9 | Dampf-Feuerwehr (Dampfspritzen, Dampf-Feuerspritzen, Automobile Dampfspritzen) | Dampfselbstfahrer als Feuerwehrfahrzeug. Meist zweiachsig. Unterschiedlichste Konstruktionen. Schnell auf-heizbare Kessel. Leistungsfähige Wasserpumpen. Gespannzug oder selbstfahrend. | |
| 10 | Dampf-Raupenfahrzeuge | Dampfselbstfahrer mit Raupenfahrwerken als - Raupenschlepper - Planierraupen - Straßenbaumaschinen u.a.m. | |
| 11 | Dampf-Bodenbearbeitungsmaschinen | Maschinen zur Bearbeitung des Bodens in der Landwirtschaft. Arbeiten meist im „direkten Gang“. | Sehr unterschiedliche Ausführungen. - Bodengrabmaschinen - Bodenfräsmaschinen |
| 12 | Dampfgetriebene Sondermaschinen (selbstfahrend) | Dampfselbstfahrer für spezielle Einsatzzwecke. Z.B.: - Fahrbare Kranwagen, Straßenreinigung u.a.m. - Fahrzeuge mit besonderen Radkonstruktionen, - Fahrzeuge für den wahlweisen Betrieb auf Straßen und Gleisen, - Fahrzeuge für besondere Güter. | Sehr viele unterschiedliche Ausführungen |

Bild 2.5/1: Übersicht der Ausführungen ortsveränderlicher Dampfmaschinen (Teil 2)

Der Dampfzylinder stand auf einem großen, gusseisernen Gestell. Die Kurbelwelle lag unter dem Zylinder. An den beiden seitlichen Stirnkurbeln waren große Gegengewichte zur Erzeugung eines ruhigen Ganges befestigt. Die Kolbenkraft wurde auf einen Balancier übertragen und dann direkt weiter auf die Kurbeln. Die Kolbenstangenführung war eine Besonderheit. Evens in den USA hatte eine ähnliche Konstruktion gebaut. Es ist nicht sicher, ob Brendel sie unabhängig davon mit erfunden hat oder sie aus seinem Englandsaufenthalt kannte. Zur Steuerung der Dampfverteilung wurden über Gestänge an zwei Punkten am Balancier die entsprechenden Bewegungen abgenommen. Außergewöhnlich war auch die Lage des Schwungrades, es lag waagerecht. Über ein Kegelradpaar mit großer Übersetzung wurde es von der Kurbelwelle angetrieben. Durch die höhere Drehzahl konnte es relativ klein gehalten werden, ein Vorteil bei einer ortsveränderlichen Maschine. Die Arbeitswelle wurde durch ein Stirnradvorgelege angetrieben. In der **Tafel 2.5/1** ist eine Skizze der Maschine wiedergegeben (in Anlehnung an Matschoss, C.: Die Entw. der D.-Masch. Bd. 2, S.492 ff.). Ein anderes Konzept verfolgte Georg Friedrich von Reichenbach (1771 – 1826). Reichenbach war ein erfolgreicher Instrumentenbauer und Kunstmeister. Einen Namen machte er sich mit dem Bau von Wassersäulenmaschinen und der Planung und Ausführung der Wasserversorgung der Stadt Augsburg. Reichenbach erkannte schon früh, dass mit den üblichen Niederdruck-Dampfmaschinen (mit Drücken unter 2 at) keine großen Leistungen zu erreichen waren. Die Maschinen waren viel zu groß, zu teuer und im Betrieb nicht wirtschaftlich genug. Er entwickelte eine Hochdruckmaschine mit einem für damalige Verhältnisse sehr hohem Druck von 8 at. Er schreibt dazu: „... Die Maschine solle ... von jedem nur wenig Bemittelten nach seinen Bedürfnissen angeschafft, ohne Beschwerden von einem Ort zum anderen gebracht und im Gange erhalten werden“. Also eine einfache, preiswerte, ortsveränderliche Maschine. Sie wurde schon im Abschnitt 2.1 kurz erwähnt (Bild 2.1/3). Neu war u.a., dass der Dampfkessel von Anfang an mit in das Konzept einbezogen worden war. Er war außerordentlich kompakt. Das Traggerüst der Maschine war aus Holz und hochgesetzt. Der Dampfzylinder stand auf dem Gerüst. Der „Balancier“ war sehr leicht gebaut und diente primär zur „Führung“ der Kolbenstange. Über ein Stirnradpaar mit Übersetzung wurde das Schwungrad angetrieben. Auch diese Maschine kann man mit Einschränkungen als Vorläufer der Lokomobilen ansehen, speziell der Halblokomobilen.

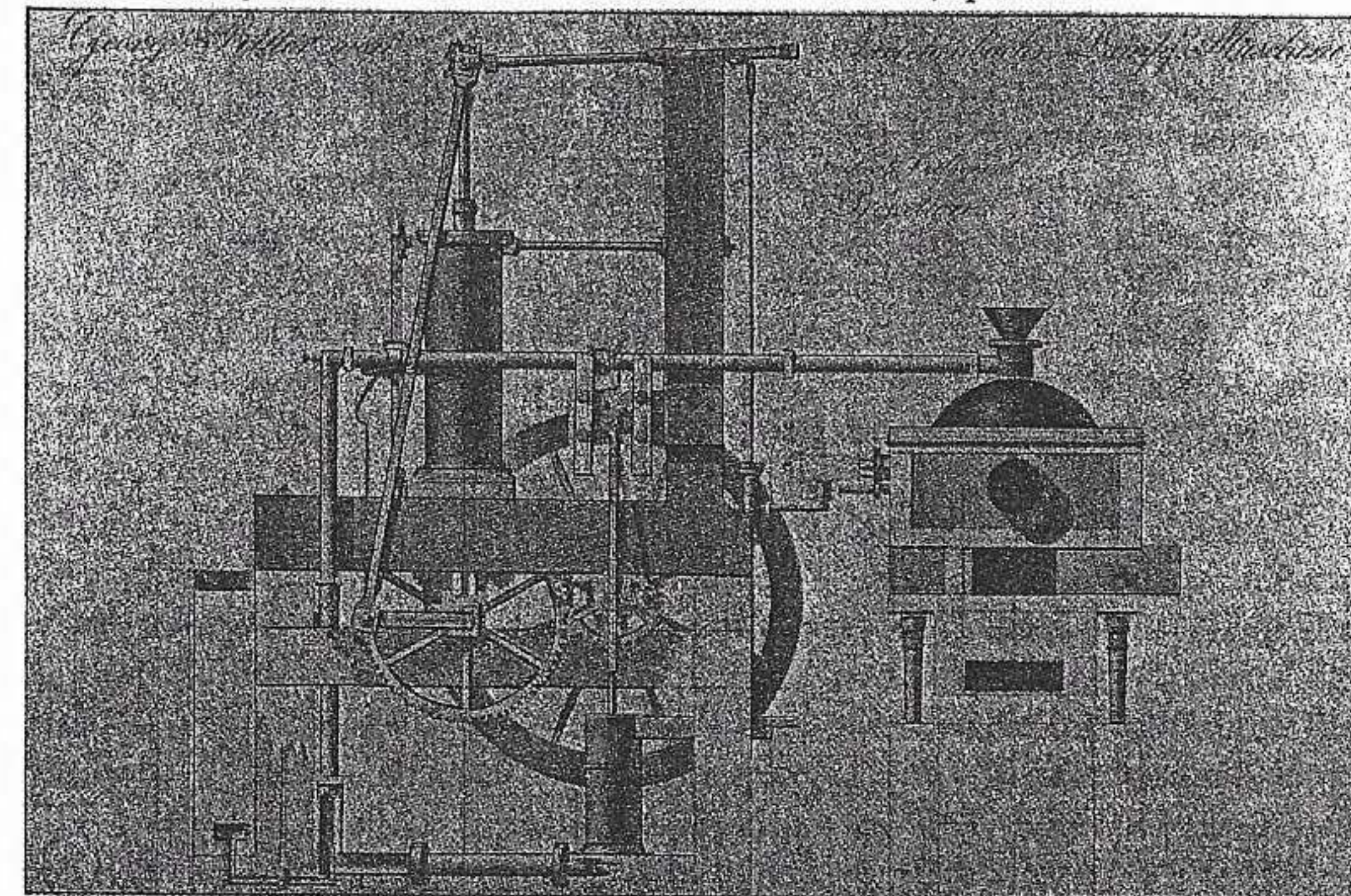
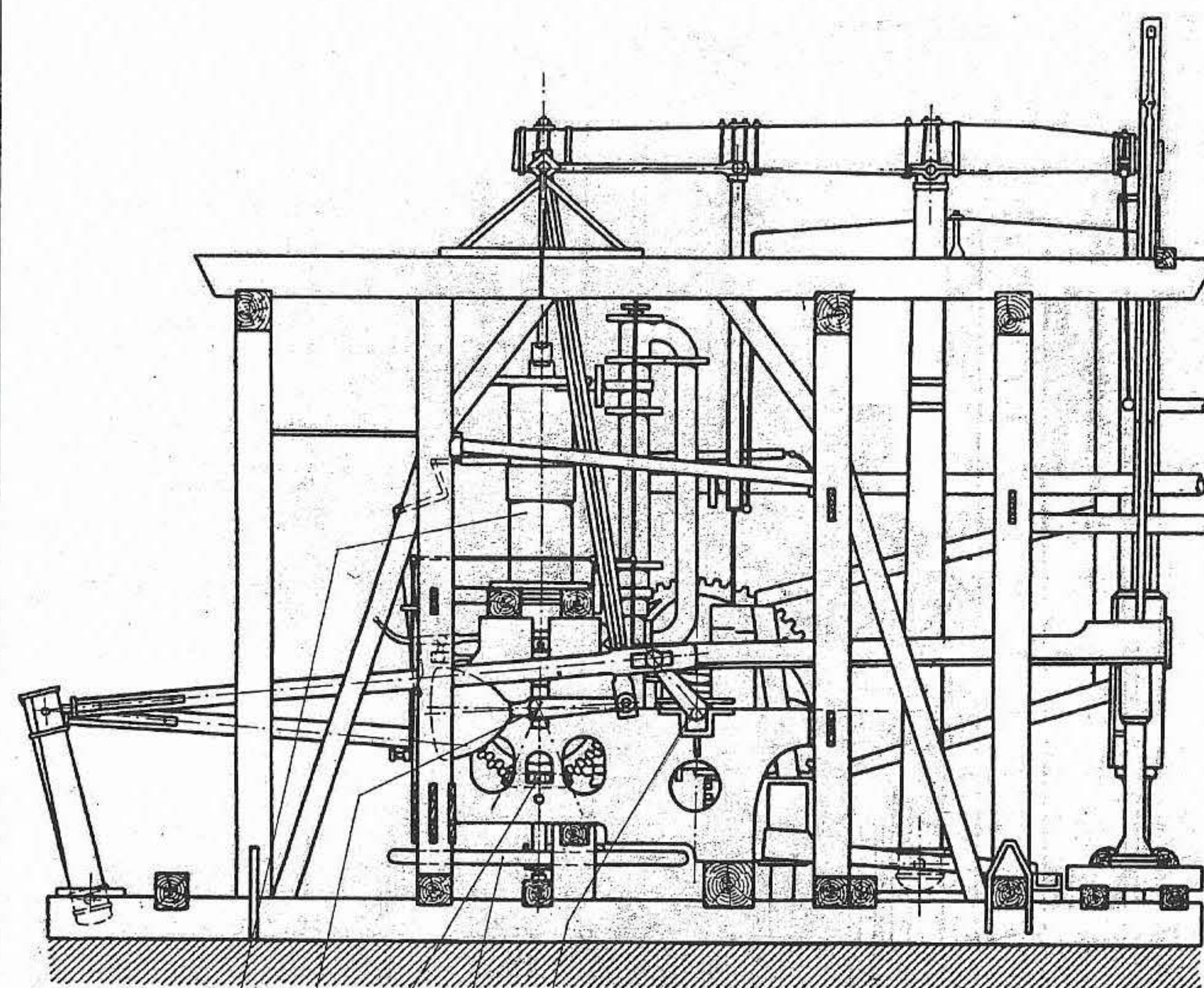


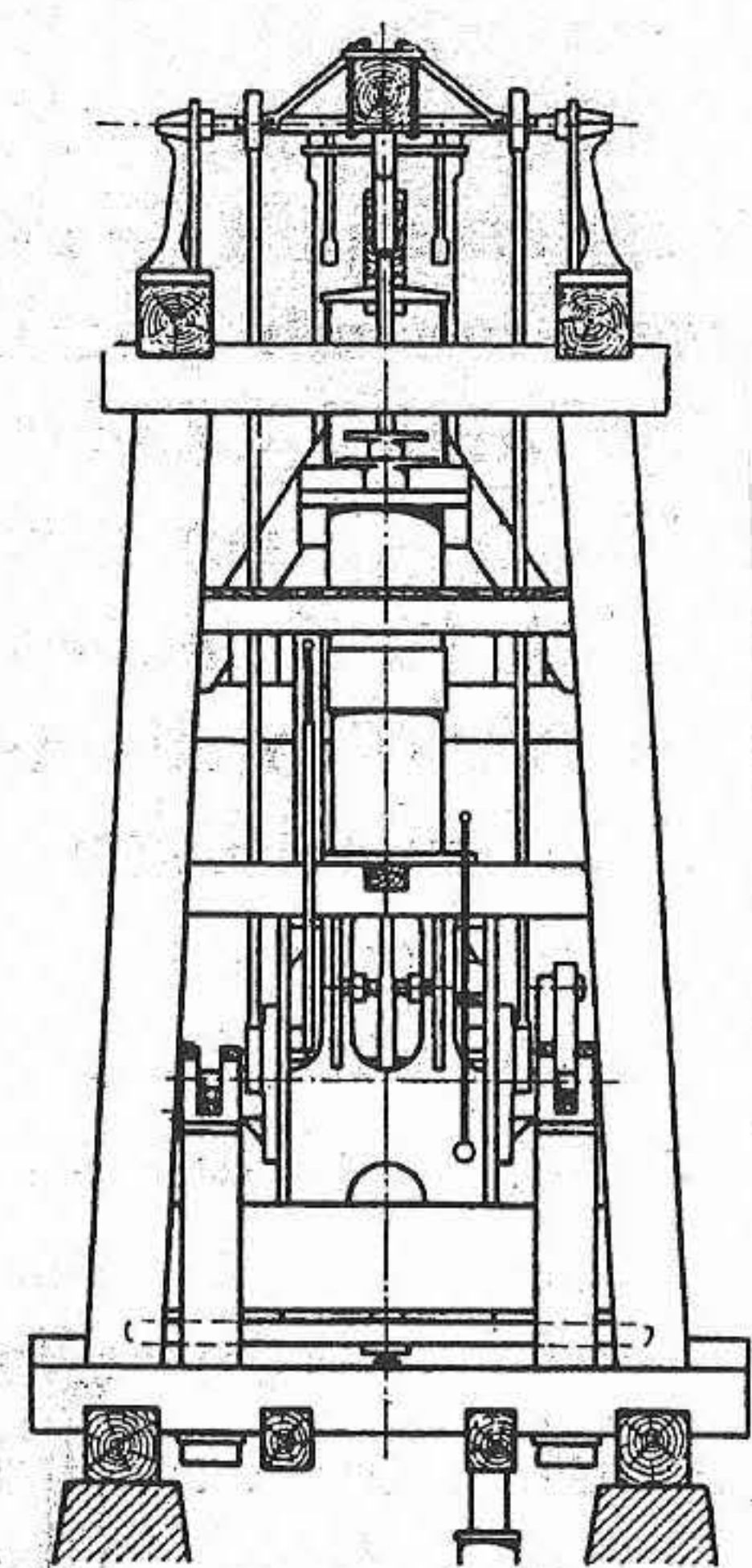
Bild 2.5/2: Hochdruckmaschine von Reichenbach (1815)



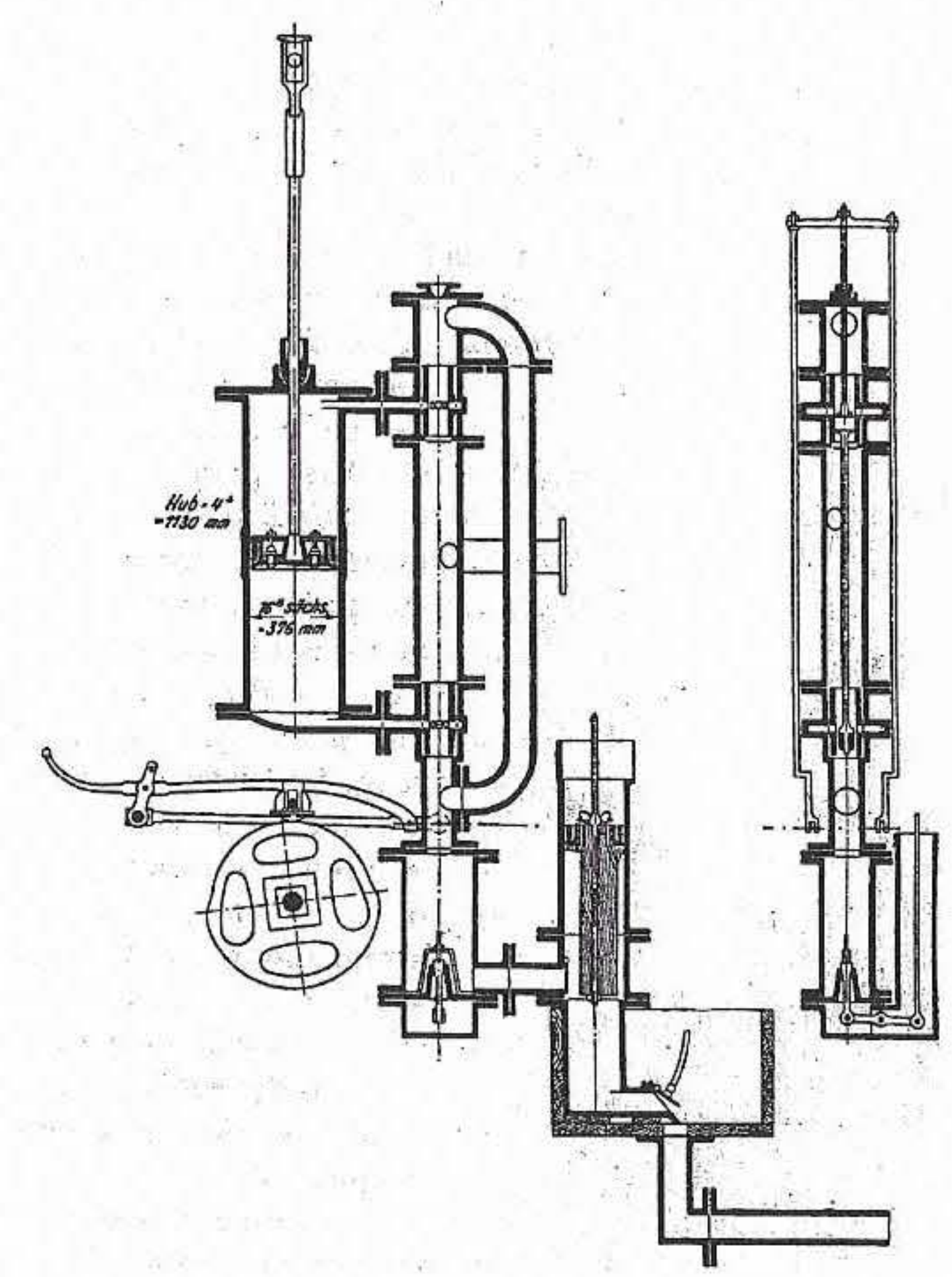
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 Fuß deutsch.
0 0,5 1 2 3 m

Zylinder
Kurbelwelle
Kegelradgetriebe
Schwungrad
Vorgelegewelle

Vorderansicht



Seitenansicht



Einzelheiten der Steuerung

Tafel 2.5/1: Ortsveränderliche Dampfmaschine von Brendel
(1807)

Einen guten Überblick über den technischen Stand der dampfgetriebenen Kraftmaschinen jener Zeit boten die großen Industrieausstellungen und Leistungsschauen, beispielsweise die in London 1851. Auf der 2. Weltausstellung in Paris im Jahr 1855 stellten die französischen Hersteller eine Reihe sehr fortschrittlicher Lokomobilen aus. Auf der großen internationale „Londoner Industrie-Ausstellung“ 1862 und auf der „Internationalen landwirtschaftlichen Ausstellung“ in Hamburg 1863 konnte der Entwicklungsstand der Maschinen ebenfalls besichtigt werden. Auf der Londoner Ausstellung von 1862 war nur ein einziger Hersteller aus dem Gebiet des Deutschen Zollvereins mit einer Lokomobile vertreten, und zwar die „Cölner Maschinenbau-Aktiengesellschaft“, auf der Hamburger Ausstellung waren es schon ein halbes Dutzend. Die **Tafel 2.5/2** zeigt eine Ansicht der Hamburger Ausstellung von 1863 aus der „Illustrierten Zeitung“ vom 29. Aug. 1863. Um einen Eindruck von dem Grad der Verbreitung der neuen Maschinen zu bekommen, ist ein Blick auf eine amtliche Statistik aufschlussreich. Betrachtet man nur allein die in Preußen eingesetzten Lokomobilen, in den „Königl. Preuß. Korrespondenzen“, Berlin 1904, Nr. 42 sowie 1905, Nr. 12 sind einige Werte zu finden, so ergibt sich die im **Bild 2.5/3** gezeigte Verteilung. Es wurden Maschinen erfasst, die man zum Erfassungszeitpunkt üblicherweise als „Lokomobilen“ bezeichnete, und zwar aus allen Einsatzbereichen der Landwirtschaft. Leider wurde in der Phase vor 1870 keine vollständige Erhebung durchgeführt, die angegebenen Werte sind Schätzungen. Es ist davon auszugehen, dass am Anfang der Einsatz von Lokomobilen nur sehr zögernd erfolgte, zur Jahrhundertwende ihren Höhepunkt erreichte und danach rasch zurückging. Die Lokomobilen wurden durch Verbrennungs- und Elektromotoren verdrängt. In den anderen deutschen Ländern dürften die Verhältnisse ähnlich gewesen sein.

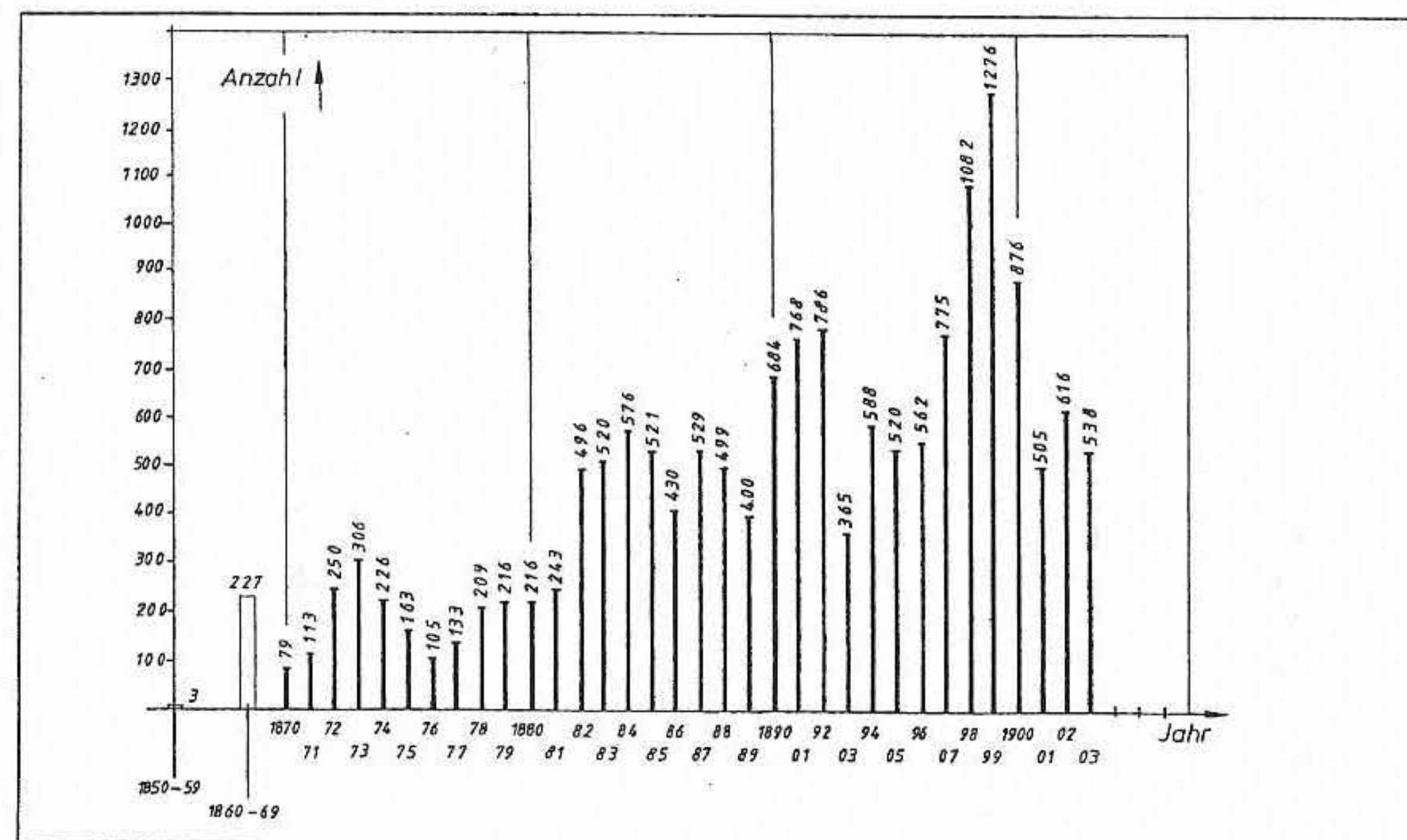


Bild 2.5/3: Anzahl der in Preußen eingesetzten Lokomobilen

Anmerkung:

Die in der **Tafel 2.5/2** dargestellte Situation ist hoch interessant. Im Bild ist rechts eine Lokomobile üblicher Bauart mit Lokomotivkessel und aufgesattelter Maschine abgebildet. Anhand der Bauart ist leider der Hersteller nicht zu erkennen. Im Vordergrund links sieht man eine „lenkbare Straßenlokomotive“ in Fahrt. Nach den Ausstellungsunterlagen handelt es sich um eine englische Maschine von Aveling & Porter. Etwas zurückgesetzt, rechts in der Mitte ist eine „Straßenlokomotive mit Boydellschen Patenträdern“ ebenfalls in Fahrt zu sehen. Sie wurde von Ch. Burrell gebaut. Kaum zu erkennen, ganz links, etwas verdeckt, ist eine Maschine mit stehendem Kessel abgebildet, die zwei Wasserfontänen abgibt. Es handelte sich dabei um eine der ersten einheimischen Dampfspritzen. Sie wurde von Georg Egestorff, Hannover-Linden, gebaut.

Die ersten Lokomobilen einheimischer Fabrikanten entstanden Ende in den 40er Jahre des 19. Jahrhunderts. Das ist, insbesondere im Vergleich mit den frühen englischen und französischen Herstellern, bemerkenswert. In den meisten Publikationen zur Entwicklung der Lokomobilen wird der Zeitpunkt über 10 Jahre später angesetzt. Die Ergebnisse der durchgeführten Recherchen sind allerdings eindeutig. Anfänglich orientierte man sich noch an englischen und französischen Konstruktionen. Aber schon nach kurzer Zeit nahm man die Entwicklung sehr fortschrittlicher Maschinen eigener Konstruktion auf. Die Kreativität der Ingenieure in den 50er und 60er Jahren löste nicht bei allen Fachleuten Begeisterung aus. In der Zeitschrift „Der Practische Maschinen-Constructeur“ von 1863, S. 166 ff. schreibt ein ausgewiesener Dampfmaschinenfachmann: „Schließlich kann ich mir nicht versagen, auch über das Unwesen zu sprechen, welches in neuerer Zeit von Seiten einer großen Anzahl an Fabrikanten und Ingenieuren getrieben wird, indem sie in industriellen Publikationen in marktschreierischer Weise ... imaginäre Vorteile ihrer Lokomobilen anpreisen ... Ich bin ein Feind aller mechanischen Künsteleien, ... dazu zählen die so vielfach und vielgestaltig auftauchenden Lokomobilen, deren eine immer compendiöser und vorteilhafter sein soll als die andere...“. Einige Konstruktionen stellten nach dieser Einschätzung, vorsichtig formuliert, nicht unbedingt eine Verbesserung dar. Die nachfolgenden Beispiele von Lokomobilen sollen einen kurzen, chronologischen Überblick über die Entwicklung der Lokomobilen einheimischer Hersteller und ihrer Bauarten geben. Die Bilder sprechen für sich. Genauere Beschreibungen sind in den Kapiteln 13 ff. aufgeführt.

Ernst Alban aus Neubrandenburg, der bekannte Pionier der Hochdruck-Dampfmaschine, hatte 1840 in Plau am See ein Maschinenbauanstalt gegründet und dort auch den Bau von Lokomobilen eigener Konstruktion in Angriff genommen. Am Anfang wurden vermutlich nur Versuchsmaschinen gebaut. Nachweislich sind danach, und zwar ab 1847/48, in geringer Stückzahl Maschinen im Leistungsbereich von 4 PS (später bis 12 PS) hergestellt worden.

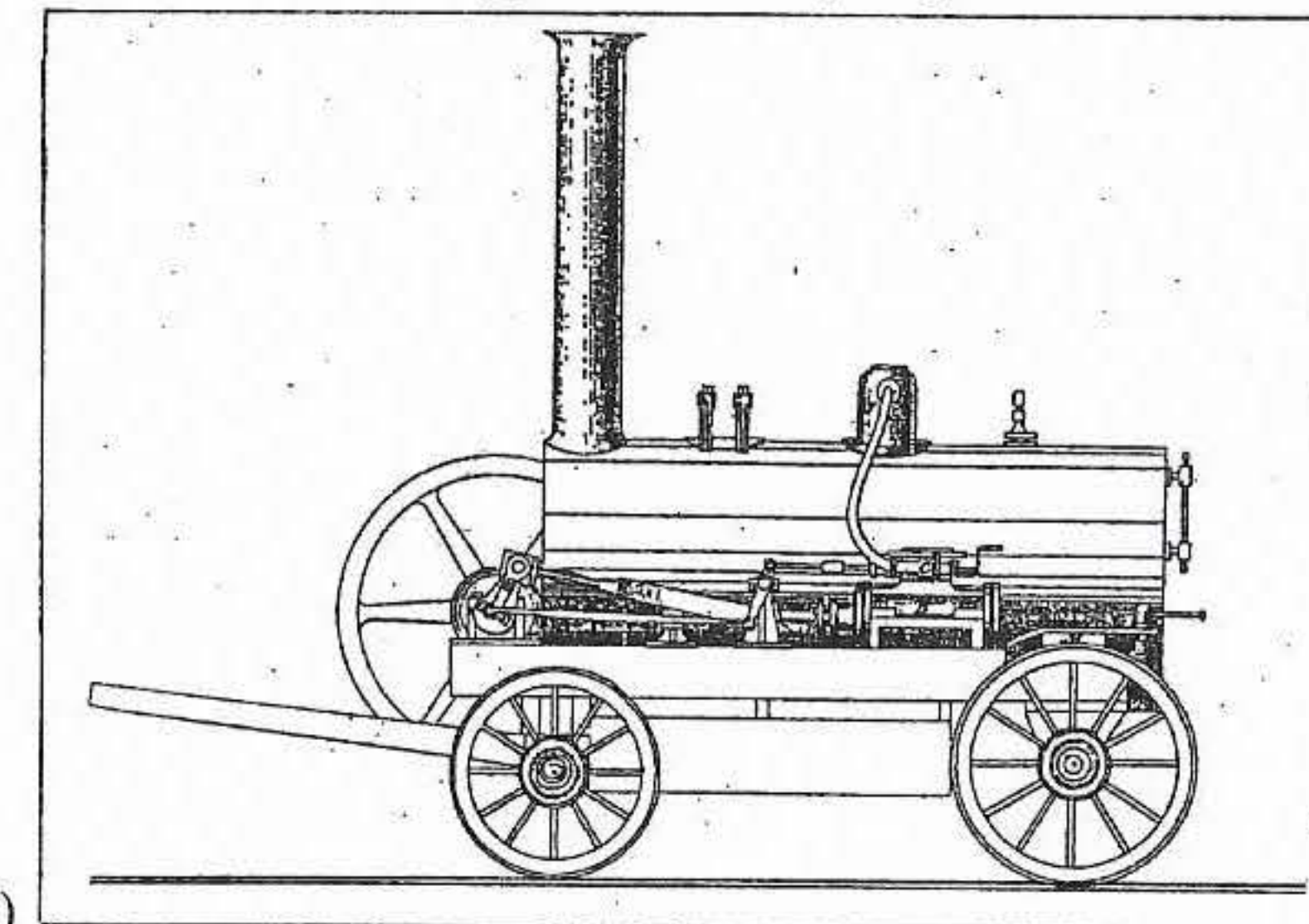
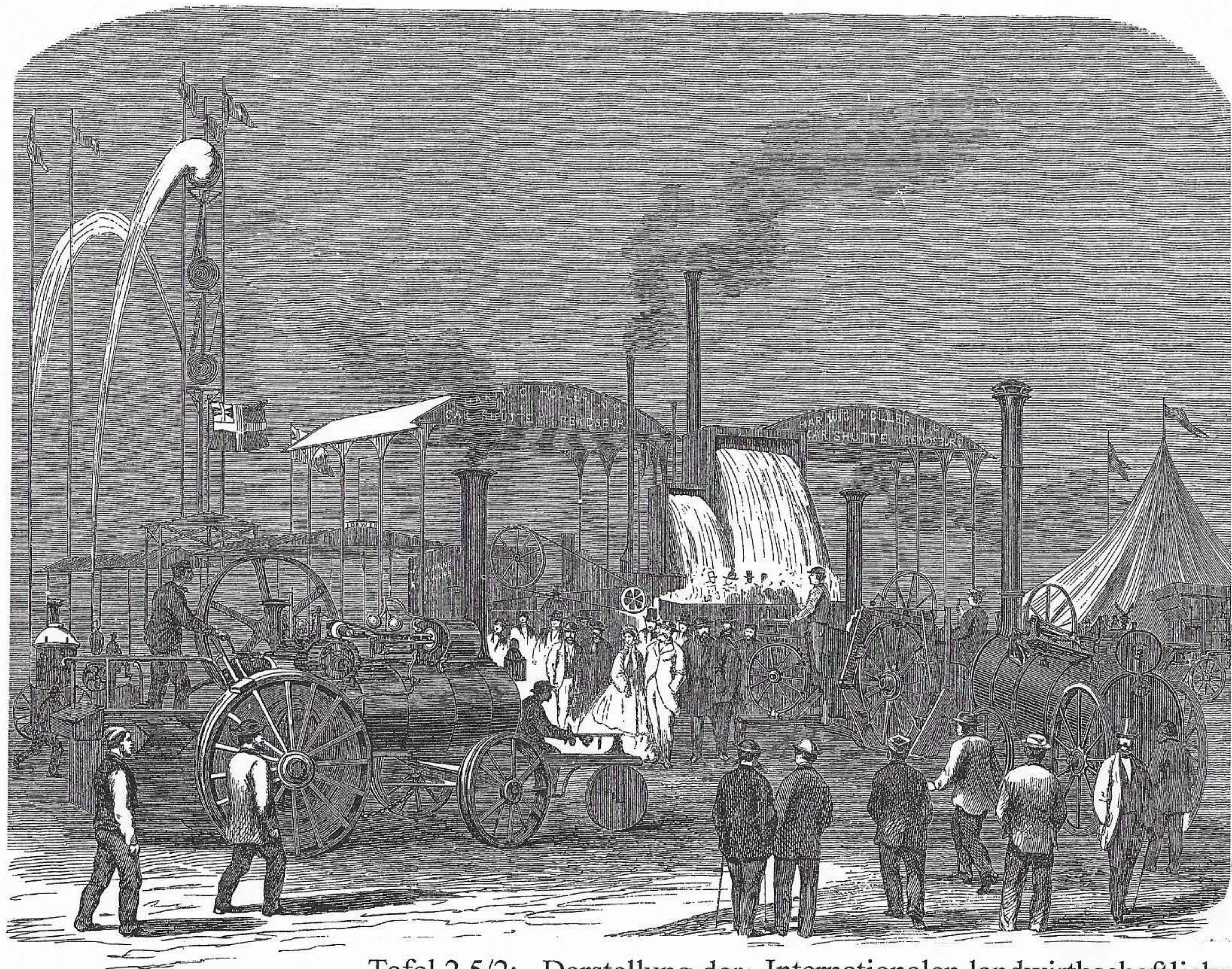


Bild 2.5/4:
Zeitgenössische Skizze
einer Lokomobile
von Ernst Alban (um 1847/48)

Ebenfalls einer der ersten Hersteller von Lokomobilen war die Maschinenfabrik von Carl Theodor Hoppe aus Berlin. Auf der Berliner Gewerbeausstellung von 1845 hatte er schon eine kleine, kompakte Dampfmaschine mit oszillierenden Zylindern präsentiert. Ab 1848 stellte Hoppe Kessel-Maschinen-Einheiten auf Standfüßen (später bezeichnete man sie als Halblokomobilen) und auf Rädern her. Hoppe setzte als erster Hersteller einen „Kessel mit zylindrischer Feuerbüchse und ausziehbarem Innenteil“ ein. Das Vereinfachte die Herstellung des Kessels und Erleichterte die Kesselreinigung erheblich.



Tafel 2.5/2: Darstellung der „Internationalen landwirthschaftlichen Ausstellung“ in Hamburg 1863

(Quelle: Illustrierte Zeitung, Nr. 1052 vom 29. August 1863)

Einer der Maschinenmeister bei Hoppe war Gotthilf Kuhn. Er gründete 1851 mit dem erworbenen Kenntnissen und der Unterstützung von Hoppe in Stuttgart-Berg eine eigene Maschinenfabrik mit Kesselschmiede und Gießerei. Einige Jahre später entstanden auch bei Kuhn die ersten Lokomobilen.

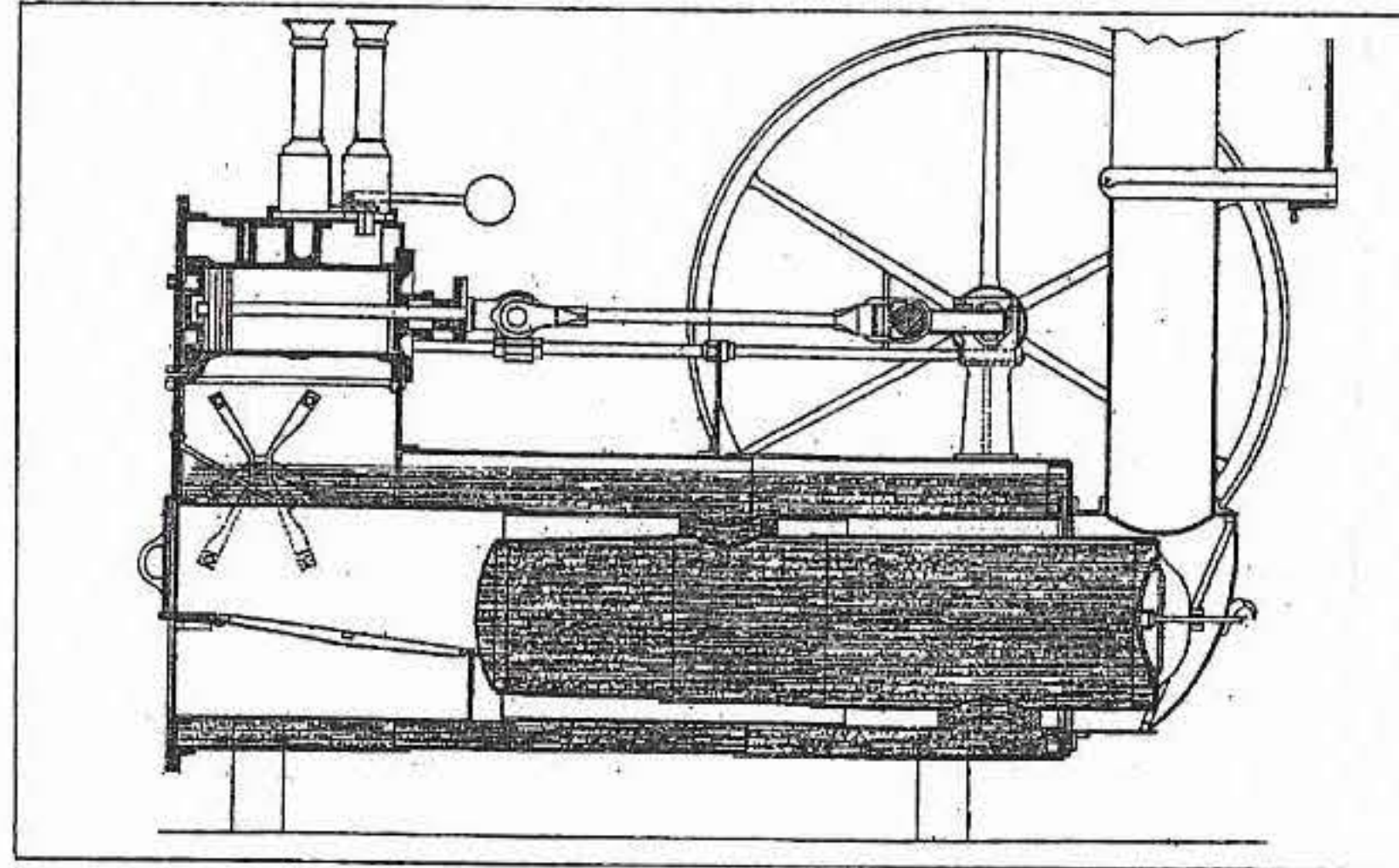


Bild 2.5/5:
Transportable Lokomobile
von Hoppe (1850)

F. Wöhlert hatte seine Maschinenfabrik schon 1842 in Berlin gegründet und größere Dampfmaschinen und ab 1848 auch Lokomotiven gebaut. Um 1852 begann Wöhlert mit dem Bau von Lokomobilen. Die gefertigten Stückzahlen waren gering, aber Wöhlert versuchte mit diesen Maschinen sich die Kenntnisse über den Bau kleinerer Dampfmaschinenanlagen anzueignen.

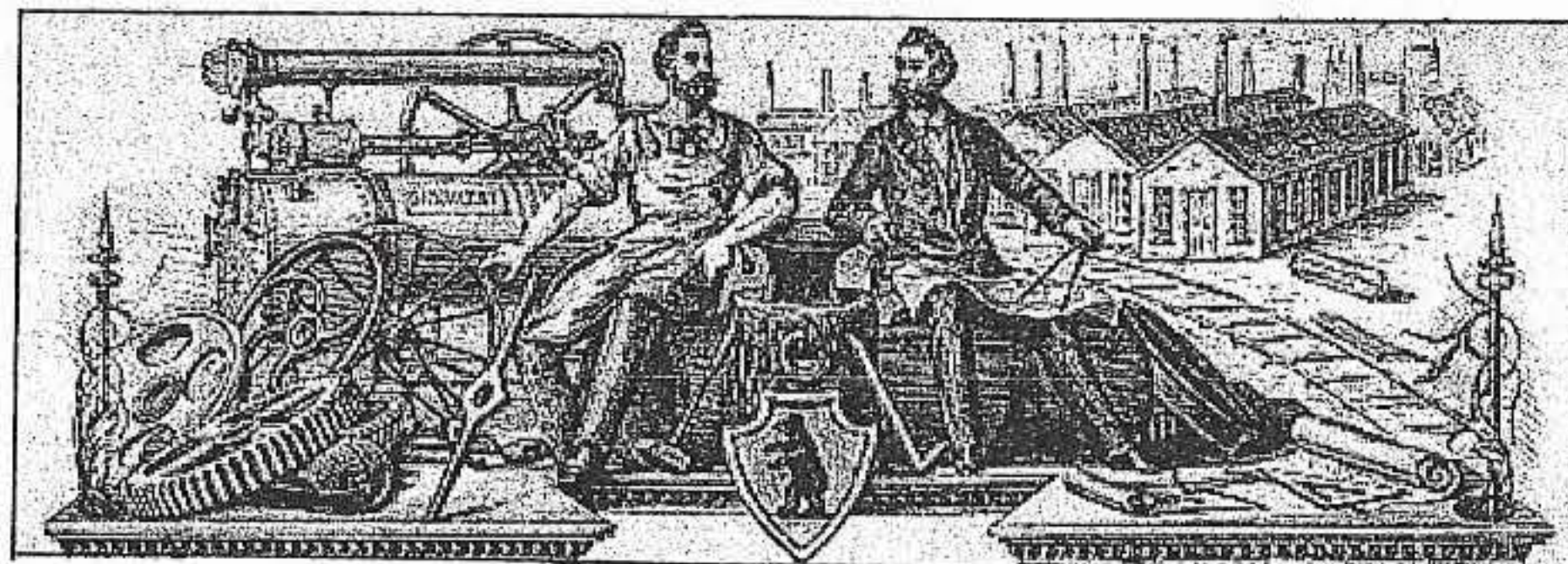


Bild 2.5/6: Kopf einer Firmenschrift von Wöhlert mit Lokomobile

Fahrbare Lokomobile stellte ab 1850 die C. Reichenbach'sche Maschinen-Fabrik aus Augsburg her. Die schweren Maschinen mit Lokomotivkessel und aufgesattelter Maschine wiesen als Besonderheit eine gerade Kurbelwelle auf. Der Dampfzylinder war seitlich so weit versetzt, dass eine Stirnkurbel zum Einsatz kommen konnte.

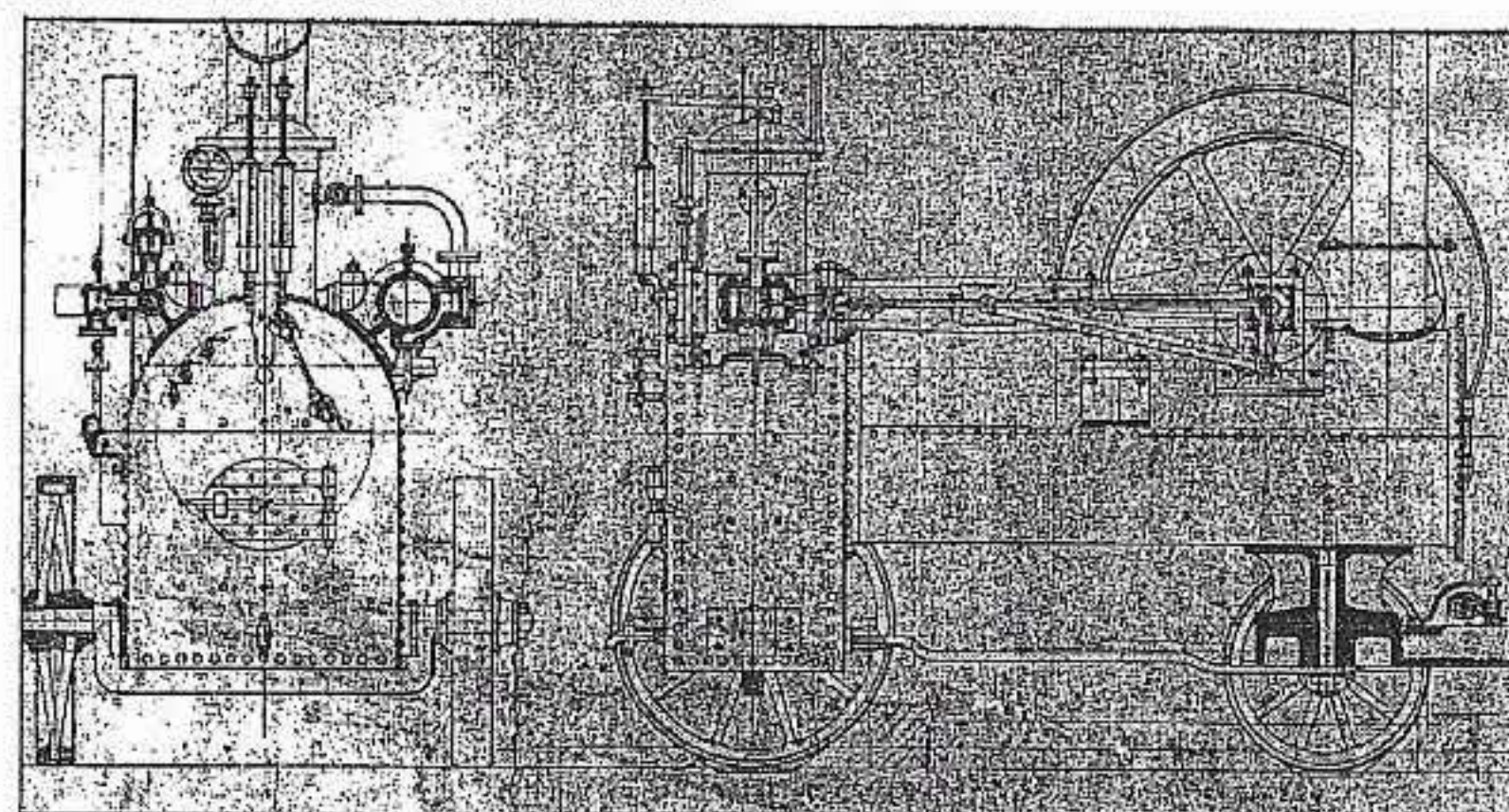


Bild 2.5/7:
Fahrbare Lokomobile der
C. Reichenbach'schen
Maschinen-Fabrik (um 1855)

Die Maschinenfabrik von C. Spatzier aus Berlin begann um 1862 mit dem Bau von fahrbaren Lokomobilen. Die Kessel besaßen eine sehr große, zylindrische Feuerbüchse. Der Innenteil der Kessels konnte herausgezogen werden. Außergewöhnlich war die Ausführung der Kolbenstangenführung.

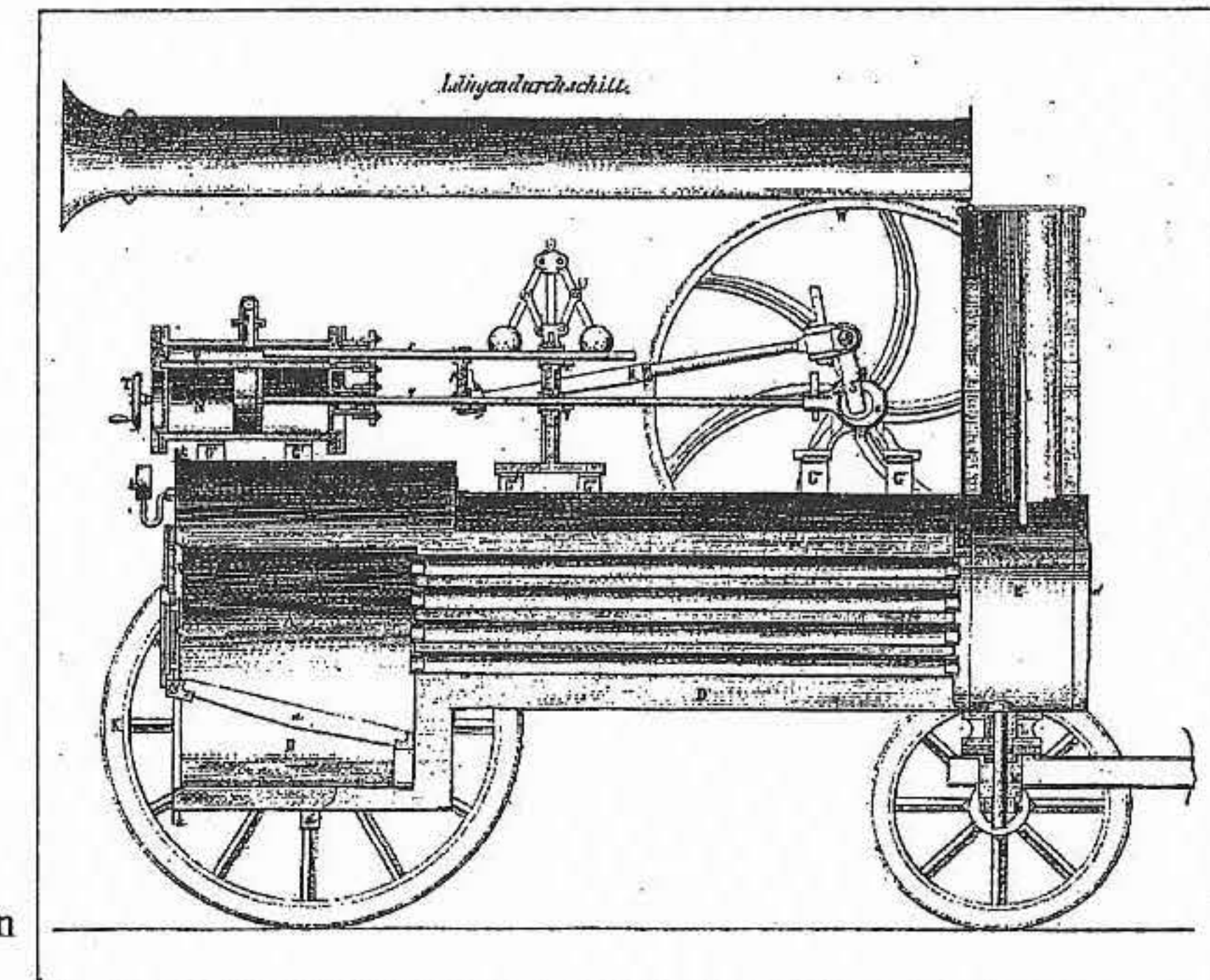


Bild 2.5/8:
Fahrbare Lokomobile
der Maschinenfabrik von
C. Spatzier (um 1862)

Die Lokomobilen von A. Stigler, München, wiesen eine Besonderheit auf. Stigler entwickelte und baute Lokomobilen ohne herkömmliche Kurbeltriebwerke. Ein Schleifengetriebe sorgte für die Umsetzung der hin- und hergehenden Kolbenbewegung in eine Rotation. Durch diese Konstruktion baute das gesamte Triebwerk sehr kompakt. Durch den geringen Abstand zwischen Zylinder und Schwungradachse konnte der gesamte Antrieb, einschließlich Dampfdom, in einem einzigen Gußteil untergebracht werden.

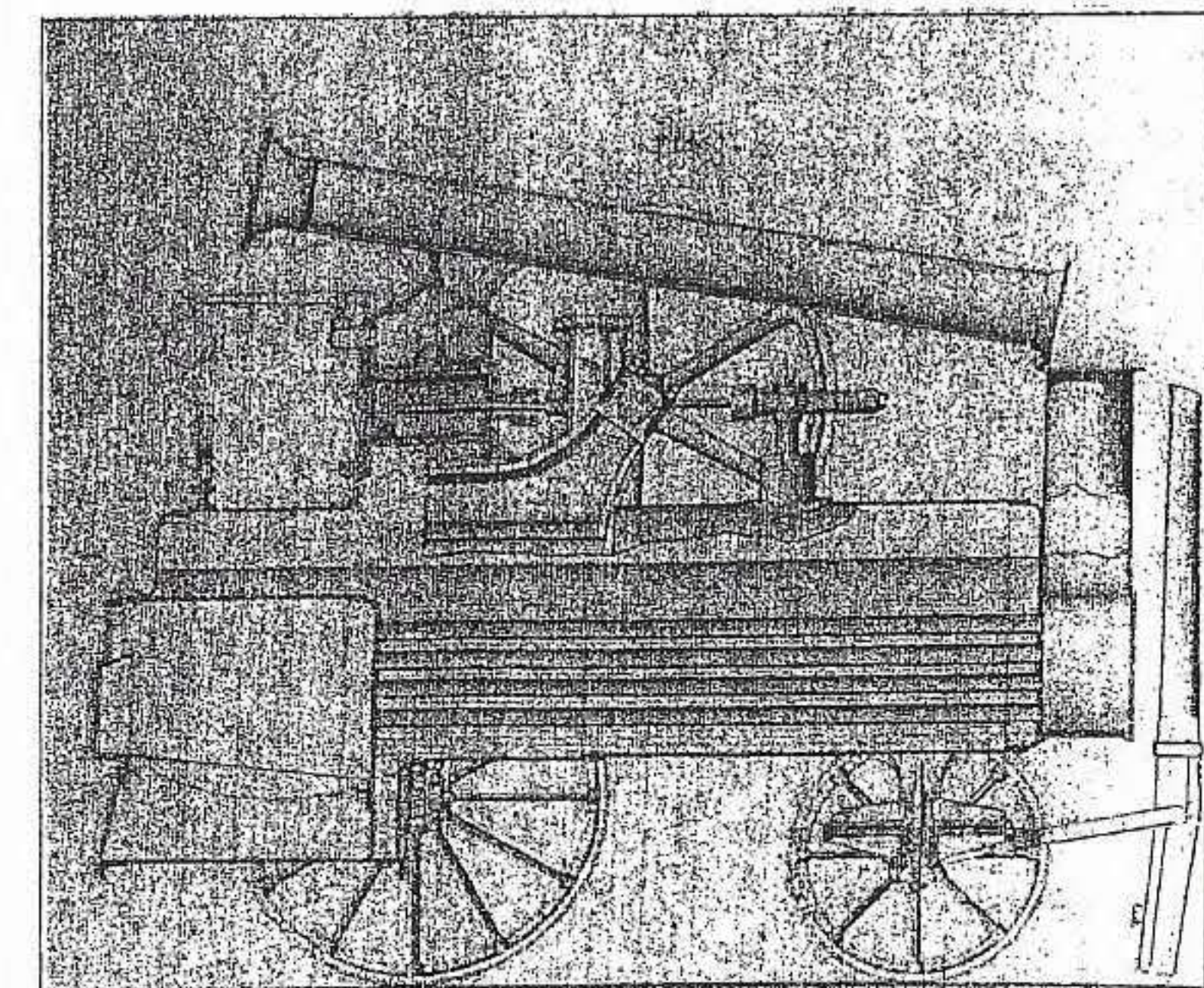


Bild 2.5/9:
Fahrbare Lokomobile
von A. Stigler (um 1865)

Die Maschinenfabrik von A. Borsig, Berlin, baute ab etwa 1858 Lokomobilen. Im Bild ist eine Lokomobile aus dem Jahr 1864 dargestellt. Die Leistung lag bei 6 bis 8 PS. Das Besondere bei dieser Maschine war die Vorwärmung. Die Rauchgase wurden zurückgeleitet und umströmten von außen sowohl den Kessel als auch den Dampfzylinder. Der Kamin befand sich daher über dem Dampfzylinder. Die Maschine war aufgesattelt. Die Kurbelwelle befand sich sehr weit vorne, über der „Rauchkammer“.

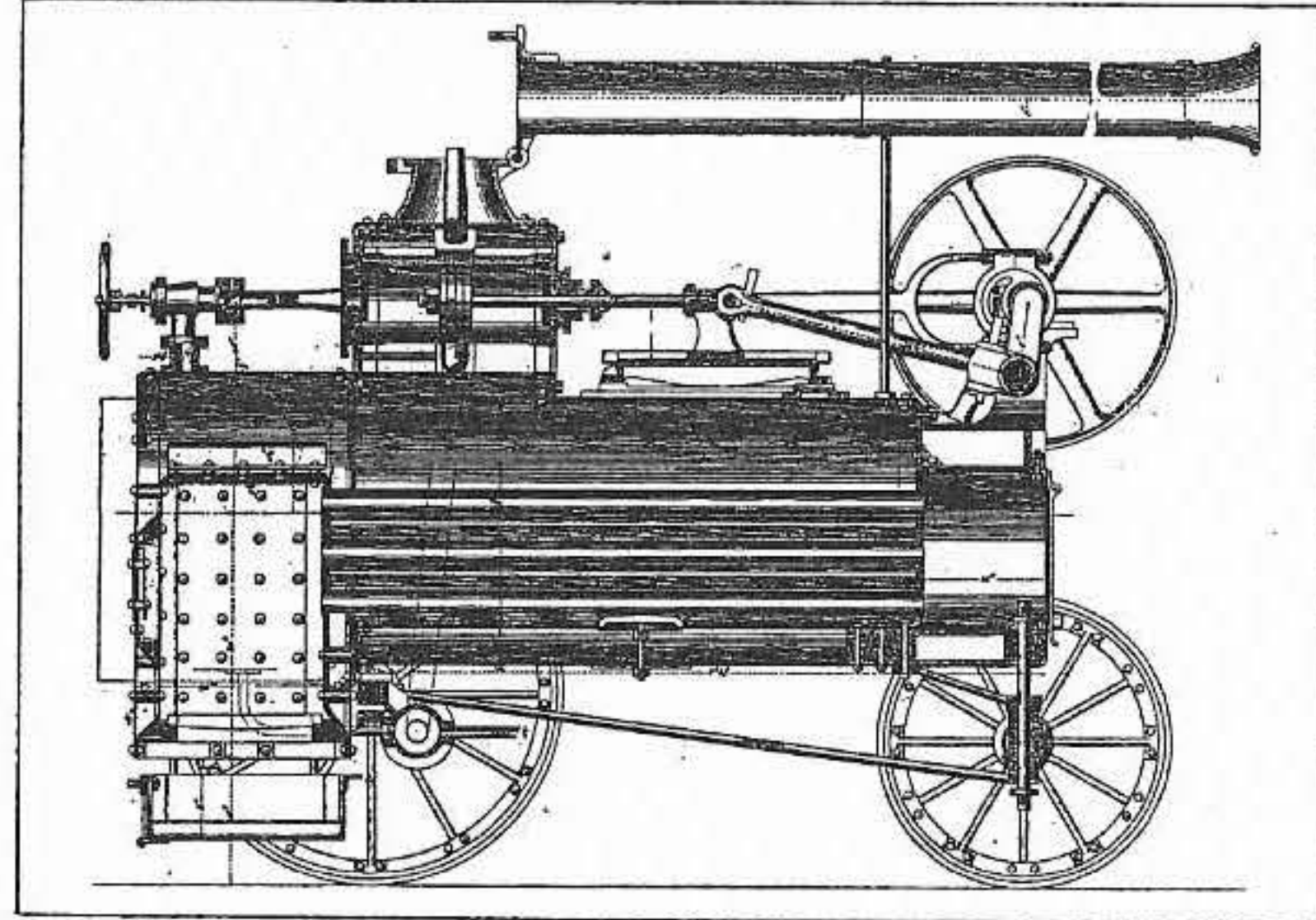


Bild 2.5/10:
Lokomobile von Borsig
mit Speisewasservorwärmer
(1864)

Die Maschinenfabrik von Hambruch, Vollbaum & Co, Elbing, baute, neben der üblichen Bauweise mit Lokomotivkessel und zweiachsigem Rädergestell, auch sehr ausgefallene Lokomobilen. Sie waren einachsige. Zielsetzung war es, eine möglichst einfache, robuste und preiswerte Maschine zu bauen. Die Triebachse war gleichzeitig Fahrachse, die Schwungräder waren gleichzeitig „Fahrräder“. Die Maschine konnte mit Hilfe von vier Druckschrauben an den Ecken angehoben werden. Die Leistung der Maschine betrug 3 bis 4 PS.

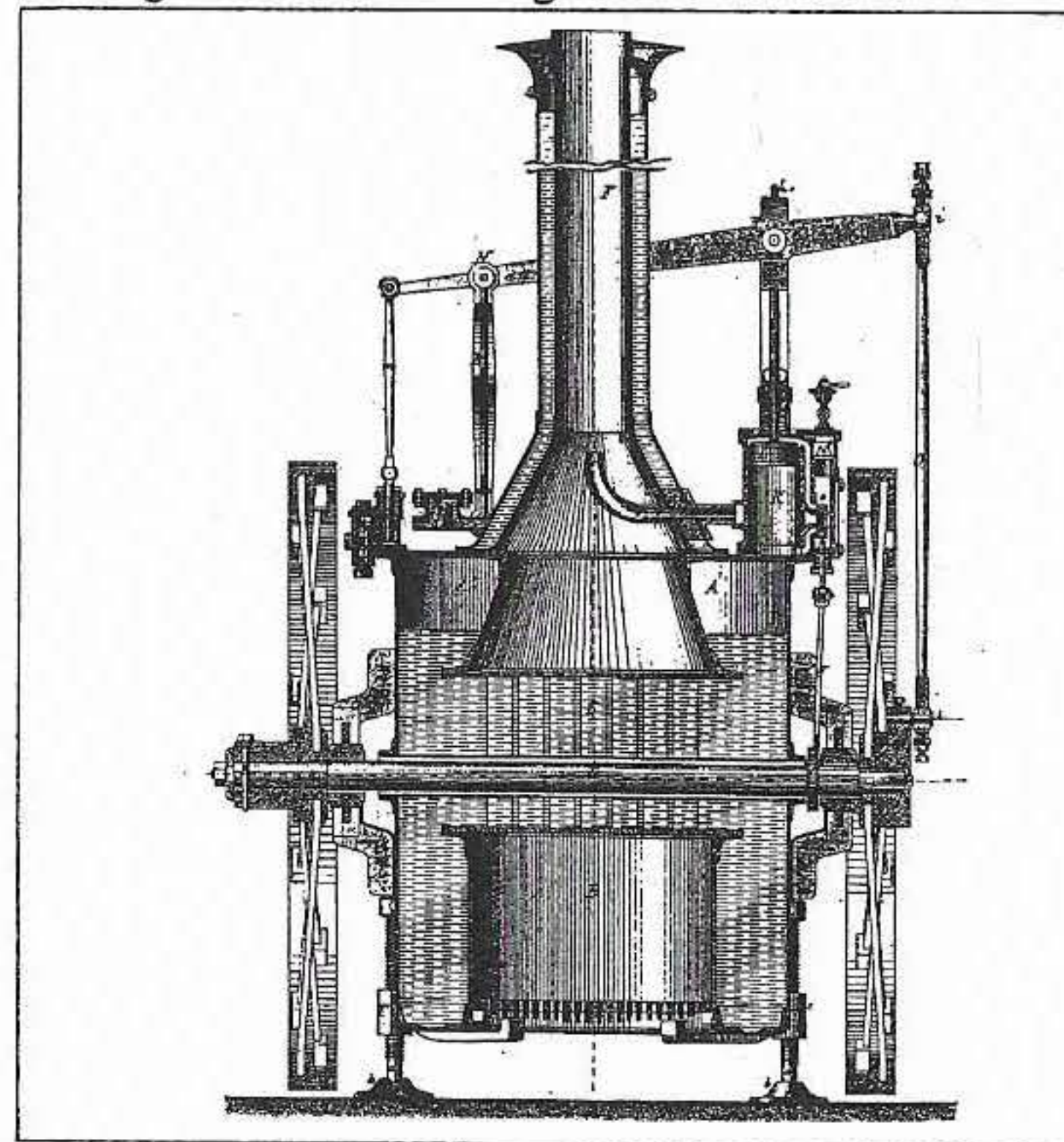


Bild 2.5/11:
Lokomobile
von Hambruch, Vollbaum & Co
(um 1865)

Die Firma Friedrich & Jaffé, Wien, stellte für kleine Leistungen fahrbare Kraftmaschinen mit patentiertem Dampftrieb her. Basis für diese Lokomobilen waren Kleindampfmaschinen, die man mit einfachen Rädergestellen ausgestattet hatte. Der Kessel war ein schnellverdampfender Wasserrohrkessel. Der Zylinder lag Dampfraum. Diese mobilen Dampfkraftmaschinen unterschieden sich ganz wesentlich von der üblichen Lokomobilbauweise. Es gab eine Vielzahl derartiger Konstruktionen. Einige setzten anstelle der Dampfmaschinen auch schnelllaufende „Dampfmaschinen“ ein.

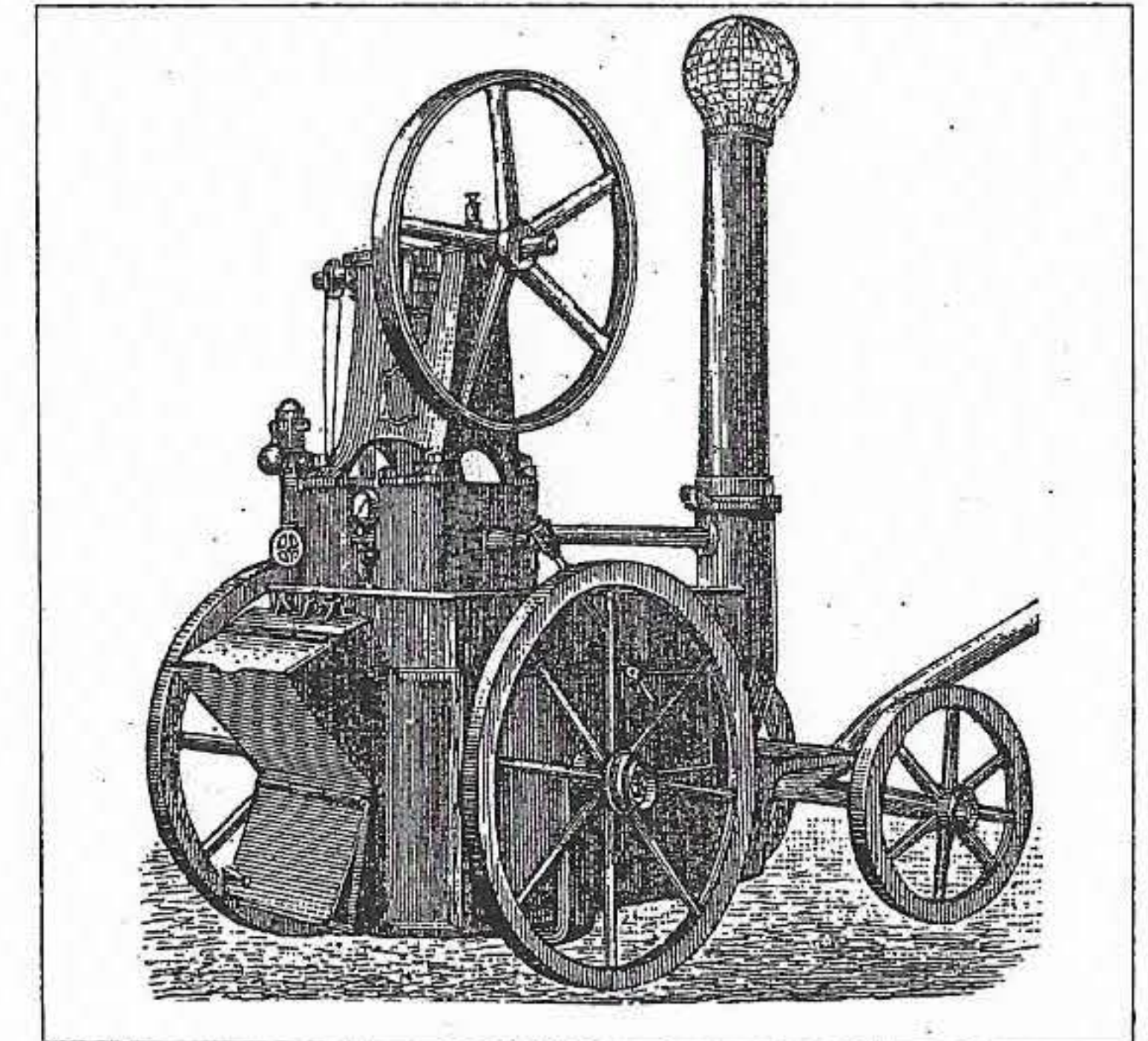


Bild 2.5/12:
Mobiler Friedrich-Dampfmaschine
(1868)

Die Maschinenfabrik von Behne und Siegel, Schönebeck, stellte Lokomobilen her, die anstelle einer üblichen Dampfmaschine einen schnelllaufenden Dampfmaschine besaßen. Der Motor war patentiert. Der Hersteller baute auch Maschinen mit fest eingebauter Pumpe.

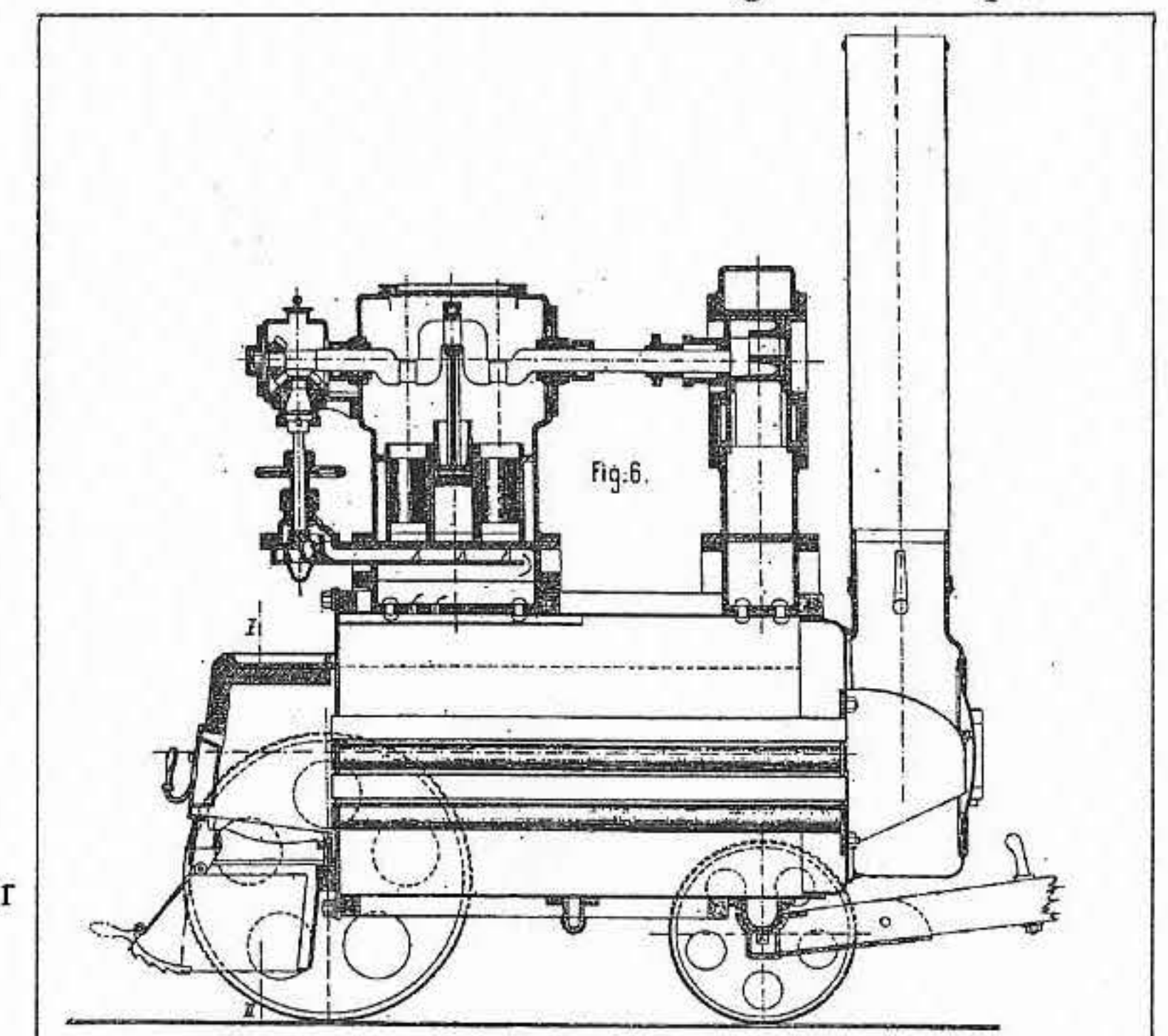


Bild 2.5/13:
Lokomobile
von Behne und Siegel
mit Dreizylinder-Dampfmaschine
und Pumpe
(um 1876)

Die Maschinen- und Röhrenfabrik von Johannes Haag, Augsburg, baute unterschiedliche Lokomobilen, u.a. auch Maschinen für den Betrieb auf Schienen. Es gab eine Reihe weiterer Hersteller, die schienenengebundene Lokomobilen gebaut haben.

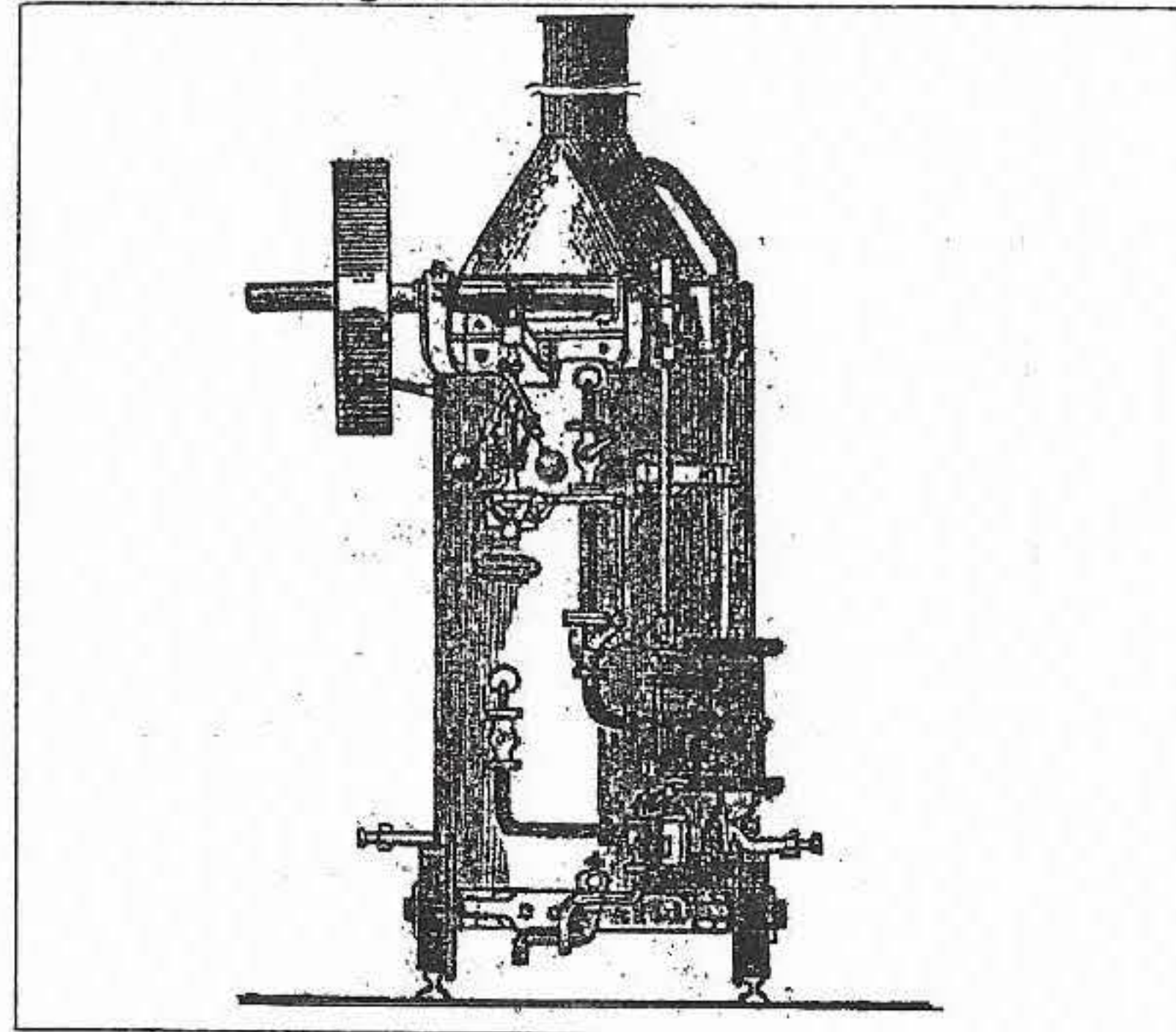


Bild 2.5/14:
Schienengebundene
Lokomobile von Haag
(um 1877)

Es gab Maschinen, die an Stelle der schweren Rauchrohrkessel leichte, schneller aufheizbare Wasserrohrkessel einsetzten. Eine weitere Entwicklung betraf die Form der Feuerbüchsen bei Lokomotivkesseln. Eine Reihe von Herstellern ging von kastenförmigen Feuerbüchsen zu zylindrischen über. Das vereinfachte die Herstellung und machte die Kessel sicherer. Der schwer zu reinigende Rauchrohrteil konnte bei diesen Kesseln zur Reinigung herausgezogen werden. Durch die Steigerung der Betriebsdrücke und den Einsatz von Überhitzern wurden die Wirkungsgrade deutlich verbessert. Bei den Dampfmaschinen konnte durch moderne Steuerungen das Drehzahlniveau und die Leistung stark heraufgesetzt werden. Die höheren Drücke führten zum Einsatz der ersten Verbundmaschinen mit Hoch- und Niederdruckzylindern bei Lokomobilen. Die Liste der Innovationen ließe sich noch lange fortsetzen.

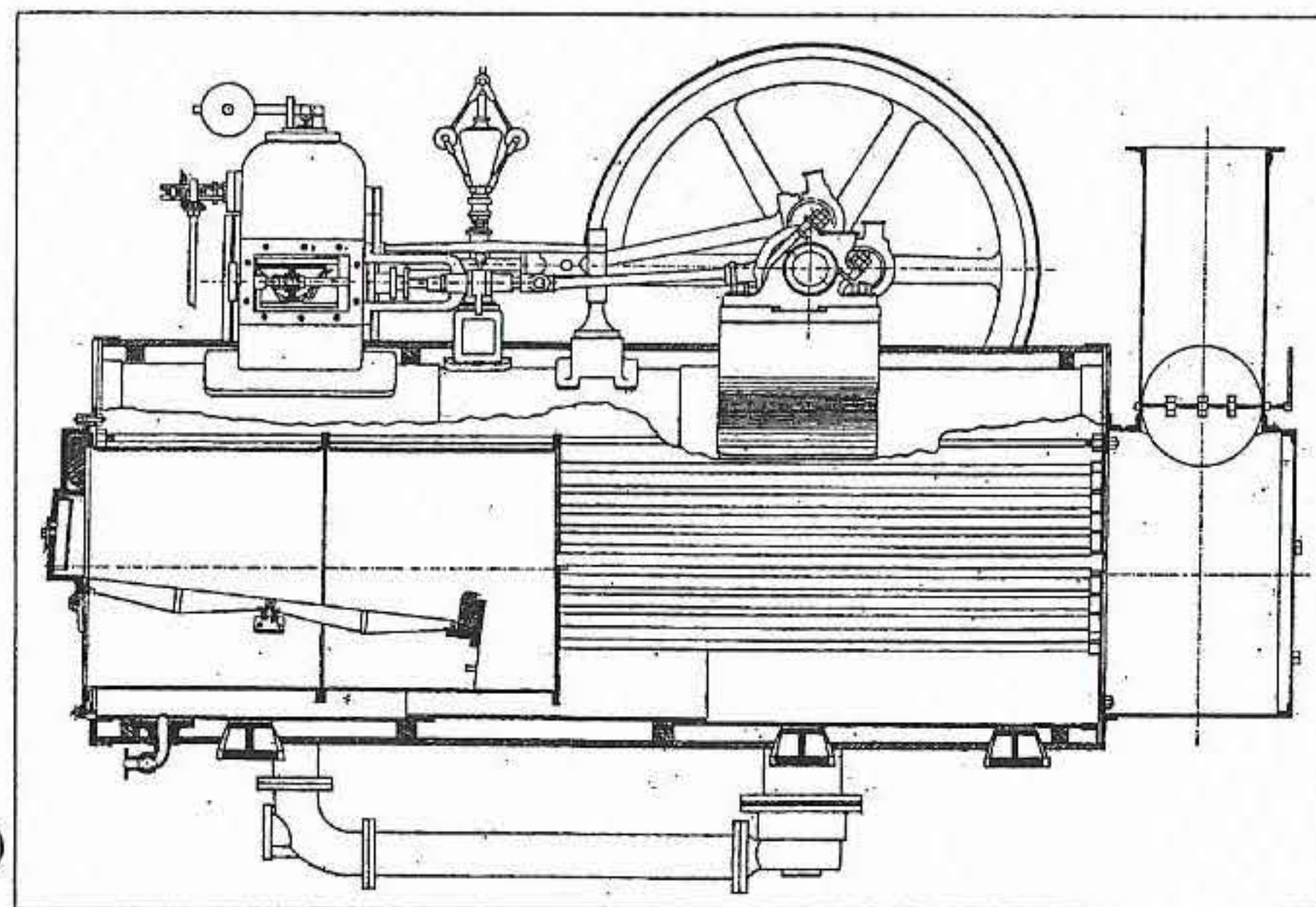


Bild 2.5/15:
Halblokomobile
(Compoundmaschine)
von R. Wolf (1890)

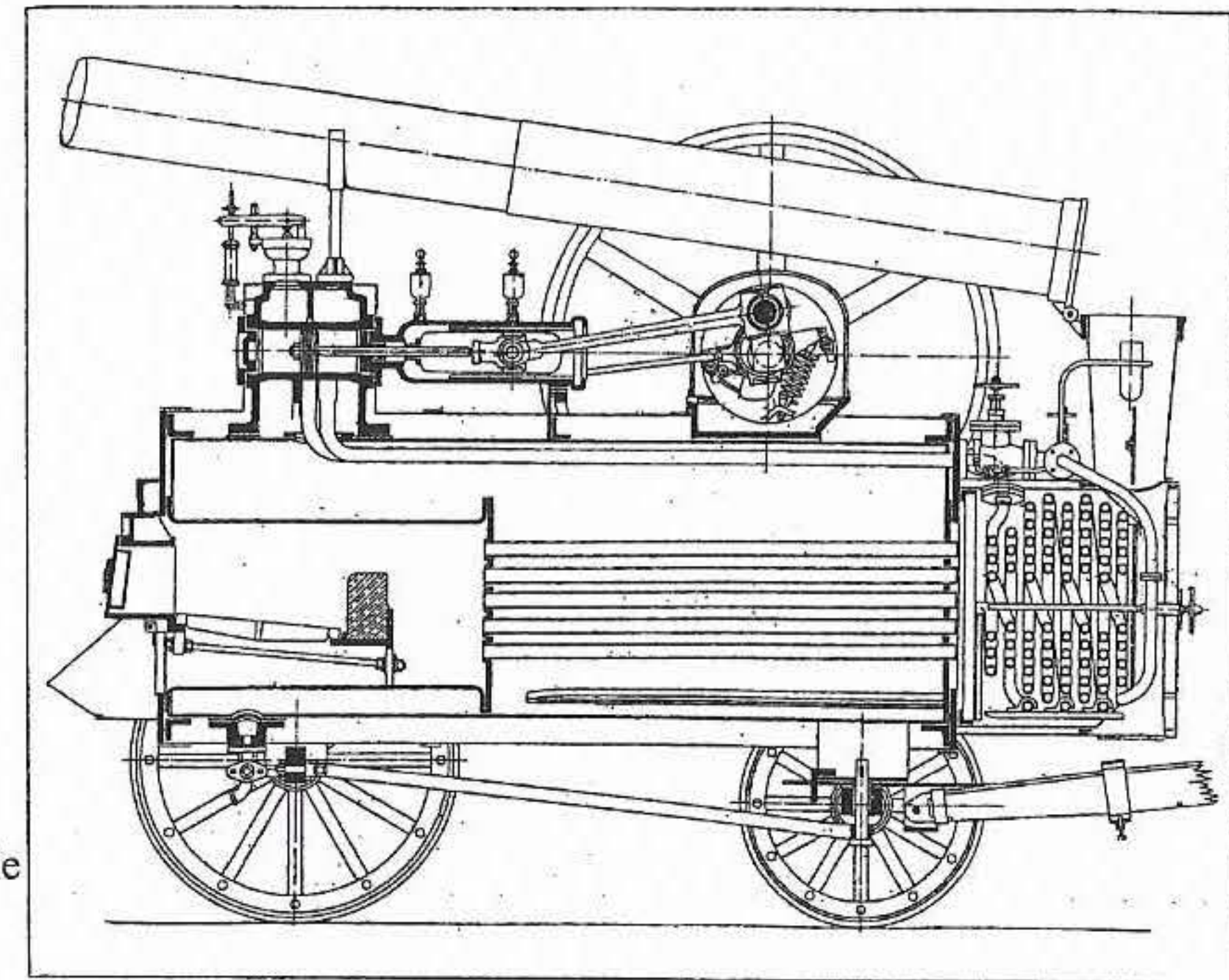


Bild 2.5/16:
Fahrbare
Heißdampf-Lokomobile
von R. Wolf
(1902)

Einen Endpunkt der Entwicklung bei den Lokomobilen stellten die modernen Maschinen dar, die in den 1920er Jahren gebaut worden sind. Trotz des Wettbewerbs mit dem Verbrennungsmotor und dem elektrischen Antrieben behaupteten sich die Lokomobilen in einigen Einsatzgebieten. Sie waren wirtschaftlich im Einsatz, robust und überlastsicher. Zwei Beispiele von Lokomobilen der Firma Henschel & Sohn aus Kassel sollen stellvertretend den Stand dokumentieren.

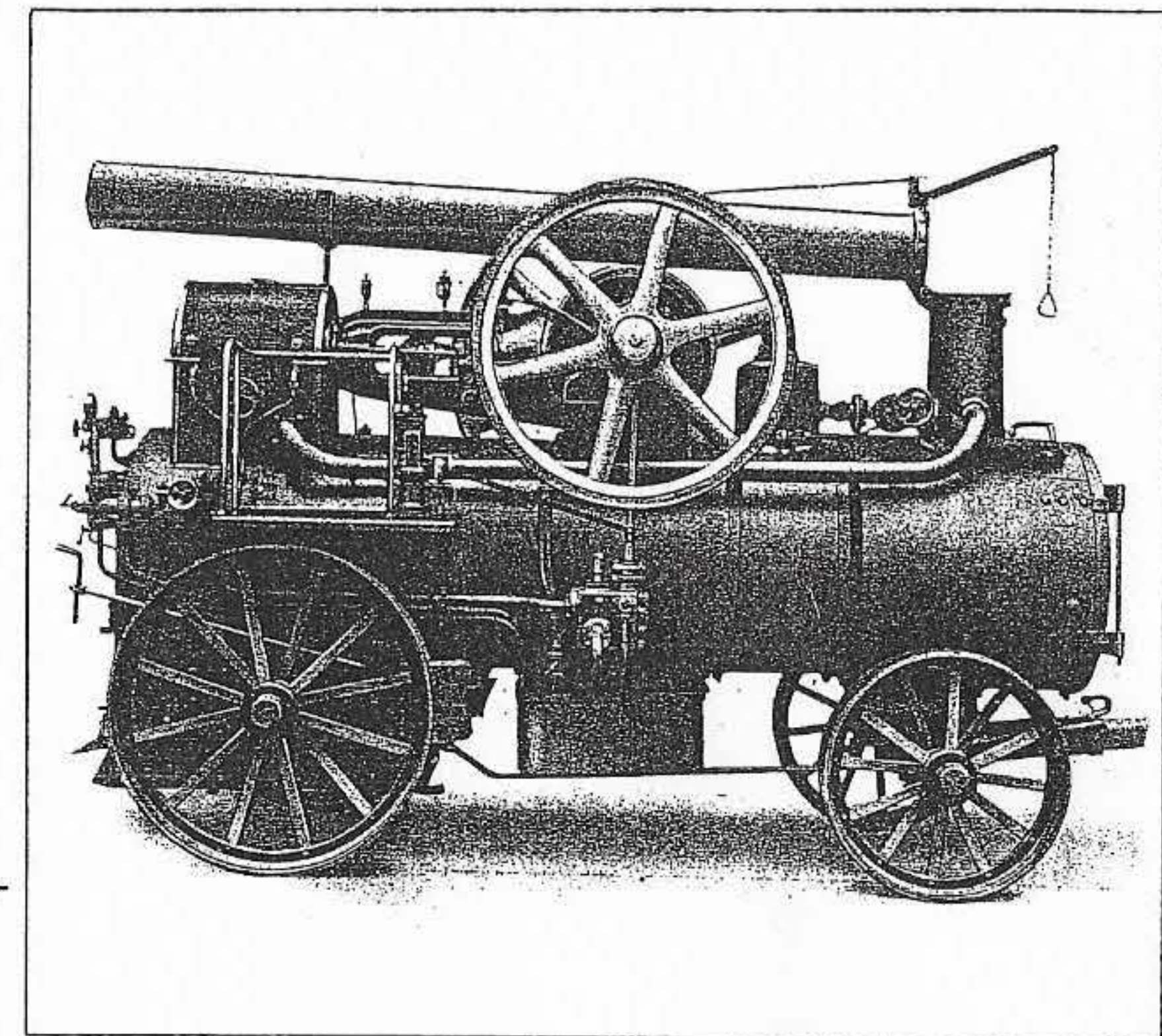


Bild 2.5/17:
Moderne fahrbare
Heißdampf-Einzyylinder-
Lokomobile von
Henschel & Sohn
(1927)

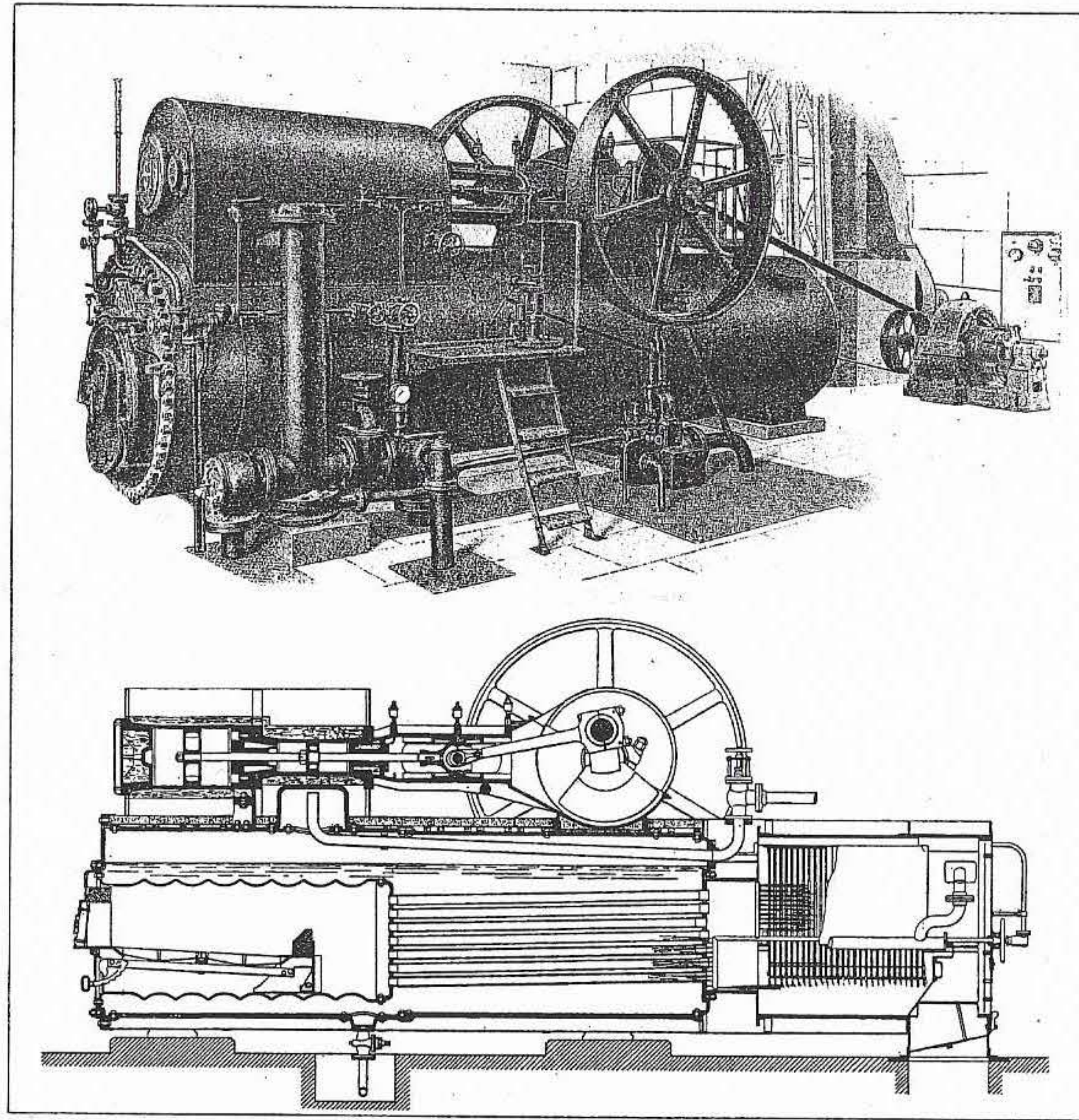


Bild 2.5/ 18: Moderne Heißdampf-Tandem-Lokomobile mit Kondensation
von Henschel & Sohn (1928)

Die dargestellten Lokomobile stellen nur eine kleine Auswahl von dem dar, was wirklich gebaut worden ist. Es sind auch nicht alle hergestellten Bauarten aufgeführt. Für einen ersten Eindruck über die ortsveränderlichen Kraftmaschinen mit Dampftrieb, die im deutschsprachigen Raum gebaut worden sind, möge das reichen. Eine vollständige Übersicht der Hersteller von Lokomobilen und anderen ortsveränderlichen Kraftmaschinen ist im Kapitel 4 zu finden. In den Kapiteln 13 ff. wird dann auf die verschiedenen Bauarten näher eingegangen.

Bemerkung:

Die Entwicklung der ortsveränderlichen Dampfmaschinen, von den in mehreren Teilen „tragbaren“ Maschinen, den „transportablen“ Halblokomobilen zu den verfahrbaren (eigentlichen) Lokomobilen, verlief nicht gradlinig. Der entscheidende Schritt, nämlich Kessel und Maschine zu einer Einheit zusammenzufassen, war zwar plausibel, brachte aber einige Probleme mit sich. Ein Problem war das immense Gewicht. Insbesondere die aufgesattelten Dampfmaschinen waren sehr massiv gebaut und entsprechend schwer. Am Anfang setzte man die Kessel und Maschinen auf stabile, hölzerne Rahmengestelle. Achsen und Räder nahm man von den Wagen der Schwerlastfuhrwerke. Ein anderes Problem ergab sich durch das Einsatzgebiet der Lokomobilen. Die gesamte Technik lag frei und war den Witterungseinflüssen ausgesetzt. In den frühen Phasen der der Entwicklung statteten einige Hersteller daher ihre verfahrbaren Lokomobilen mit vollständig geschlossenen „Maschinenhäusern“ aus. Das folgende Bild zeigt eine solche Ausführung. Die schwere Maschine war auf einem hölzernen Rahmen gesetzt worden, die Achsen und Räder waren sehr stabil gehalten und über die Technik baute man ein geschlossenes „Maschinenhaus“.

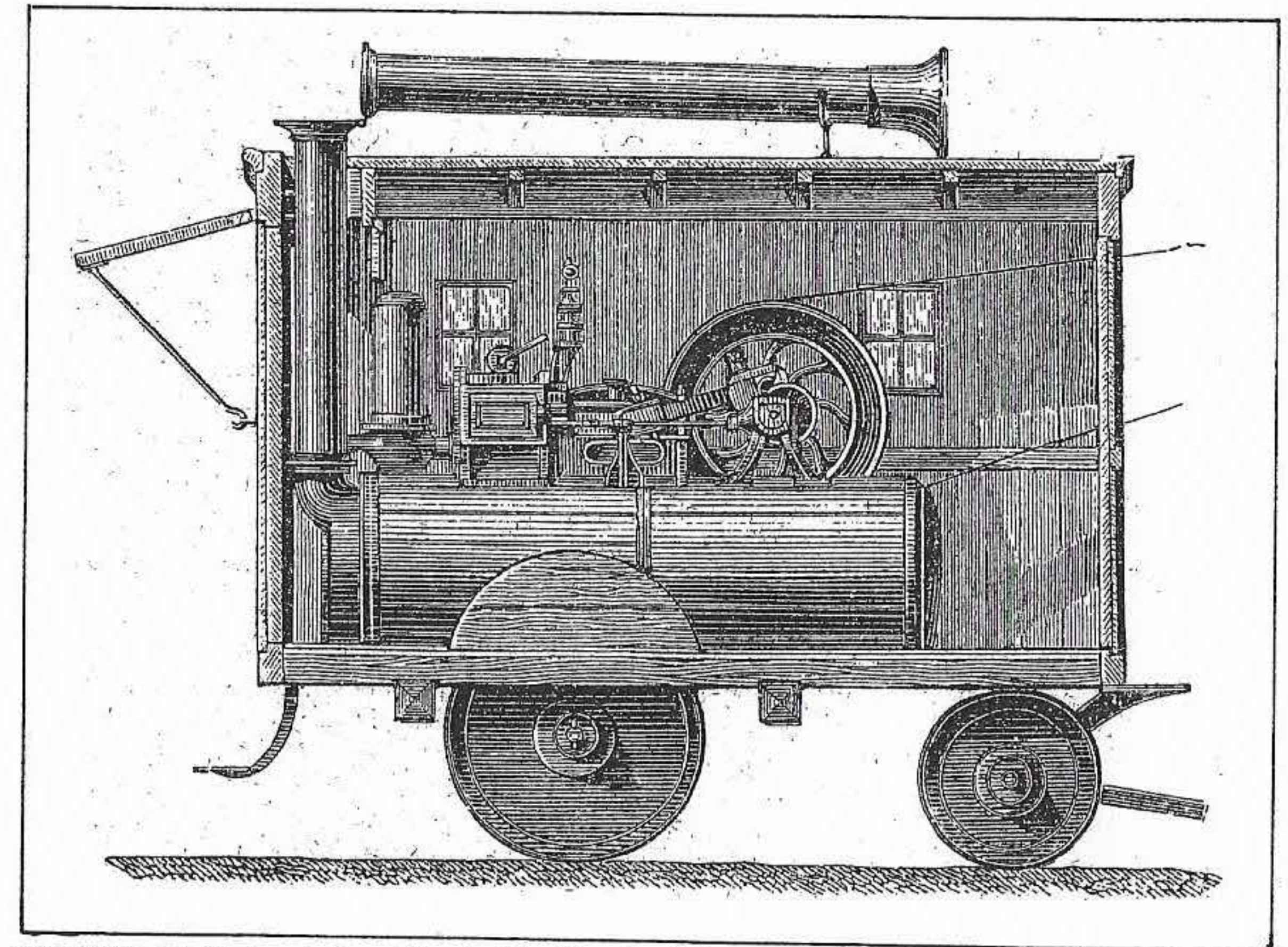


Bild 2.5/20: Verfahrbare Lokomobile mit „Maschinenhaus“ (um 1855)

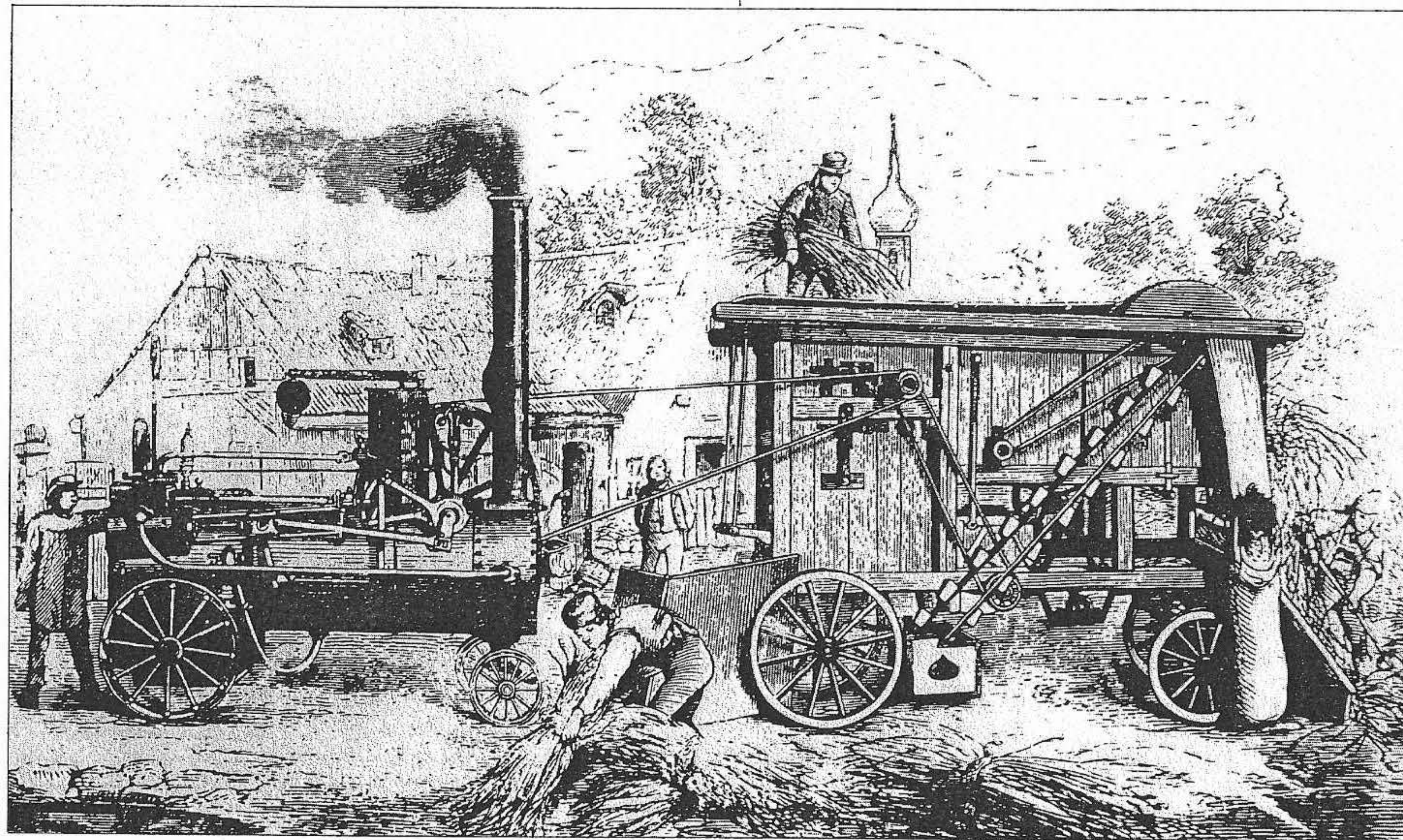


Bild 2.5/19: Lokomobile beim Antrieb einer Dreschmaschine (um 1864)

3. VERSUCH EINER ABGRENZUNG

3.1 Betrachtungsrahmen

Die Beantwortung der Frage, was unter ortsveränderlichen Kraftmaschinen mit Dampftrieb und Lokomobilen zu verstehen ist, erscheint nach den Ausführungen zur Entwicklungsgeschichte im Kapitel 2 nicht ganz einfach zu sein. Die Konzentration auf die zu Beginn des 20. Jahrhunderts, also fast am Ende der Entwicklung, unter dieser Kategorie zusammengefassten Maschinen gibt nur einen kleinen Teil der gebauten Vielfalt wieder. Bei einer Beschränkung auf die üblicherweise in der Landwirtschaft eingesetzt fahrbaren zweiachsigen Lokomobilen und die bedingt ortsveränderlichen Halblokomobilen erfasst man zwar einen Großteil der Maschinen, aber längst nicht alle. Ein Teil der frühen Varianten und neueren mobilen „Gewerbemaschinen“ würde aus dem Betrachtungsrahmen herausfallen. Erschwert wird eine brauchbare Definition noch dadurch, dass sich im Laufe der langen Entwicklungsgeschichte die Bezeichnungen für gleiche Maschinentypen mehrfach geändert haben. Auch die Betrachtung des Kunstwortes „Lokomobile“ führt nicht weiter. Es wurde aus zwei lateinischen Worten zusammengesetzt: „locus“ für „Ort“ und „mobilis“ steht für „beweglich“. Der Begriff soll eine Kraftmaschine kennzeichnen, die auf beliebige Art und Weise von einem Ort zum anderen bewegt werden kann, nicht mehr.

Eine allgemeingültige Definition muss alle in der fast 150 Jahre dauernden Geschichte der „mobilen Kraftmaschinen mit Dampftrieb“ entwickelten Varianten berücksichtigen. Bei einem konkreten Objekt ist bei der Vielfalt der Ausführungen eine Zuordnung nicht immer eindeutig möglich. Der Betrachtungsumfang erweitert sich ferner durch die Berücksichtigung einiger ursprünglicher Bauarten. Beispielsweise war, wie schon geschildert, eine Trennung von dampfgetriebenen Kraftmaschinen und den Arbeitsmaschinen nicht immer vorhanden. Kraft- und Arbeitsmaschine waren oft zu einer Einheit zusammengefasst. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts, als die technische Seite der dampfgetriebenen Kraftmaschinen weitgehend ausgereift war, fand die Integration von Dampfmaschinen mit beliebigen Arbeitsmaschinen zu einer ortsveränderlichen Einheit in Kontinentaleuropa eine außerordentlich große Verbreitung. Auch diese Maschinen müssen bei einer vollständigen Betrachtung mit aufgenommen werden, da sie im Allgemeinen auch als reine Kraftmaschine für beliebige Antriebsaufgaben eingesetzt werden konnten.

Eine weitere Betrachtungsdimension ist der Leistungsbereich der „Lokomobilen“. Dabei bereitet nicht der Leistungsbereich „nach oben“ ein Problem, sondern der „nach unten“. Große Halblokomobilen erreichten Leistungen bis 1000 PS. Es ist offensichtlich, dass es sich bei diesen Maschinen, bei denen Kessel und Dampfmaschine zu einer Einheit zusammengefasst waren, um typische „Lokomobilen“ gehandelt hat. Eine Ortsveränderung war bei diesen großen Maschinen sehr selten. Schwieriger wird es bei Maschinen kleiner und sehr kleiner Leistung, also im Leistungsbereich von einigen PS bis weit unter 1 PS. Ihr Einsatz war z.T. in geschlossenen Räumen möglich. Als Kamin reichte ein normales Ofenrohr. Maschinen sehr kleiner Leistung, mit z.B. Spiritusfeuerung, benötigten nicht einmal ein Ofenrohr zur Ableitung der Feuerungsgase, sie wurden einfach in den geschlossenen Raum geleitet. Auch diese dampfgetriebenen Kraftmaschinen sollen hier berücksichtigt werden.

Die nächste Schwierigkeit bereiten die Funktionsprinzipien der gebauten ortsveränderlichen, dampfgetriebenen Kraftmaschinen. Die Fixierung auf übliche stehende oder liegende Kessel und Kolben-Zylinder-Triebwerken verengt die Betrachtung unzulässig. Maschinen mit schnelllaufenden Dampfmotoren, Dampfmaschinen mit rotierenden Elementen, oszillierende Maschinen u.a.m. müssen bei der Behandlung ortsveränderlicher Kraftmaschinen mit berücksichtigt werden. Das gilt auch für andere Kesselbauarten, z.B. spezielle Wasserrohrkessel, schnellverdampfende Kessel, Sofortverdampfer u.a.m.

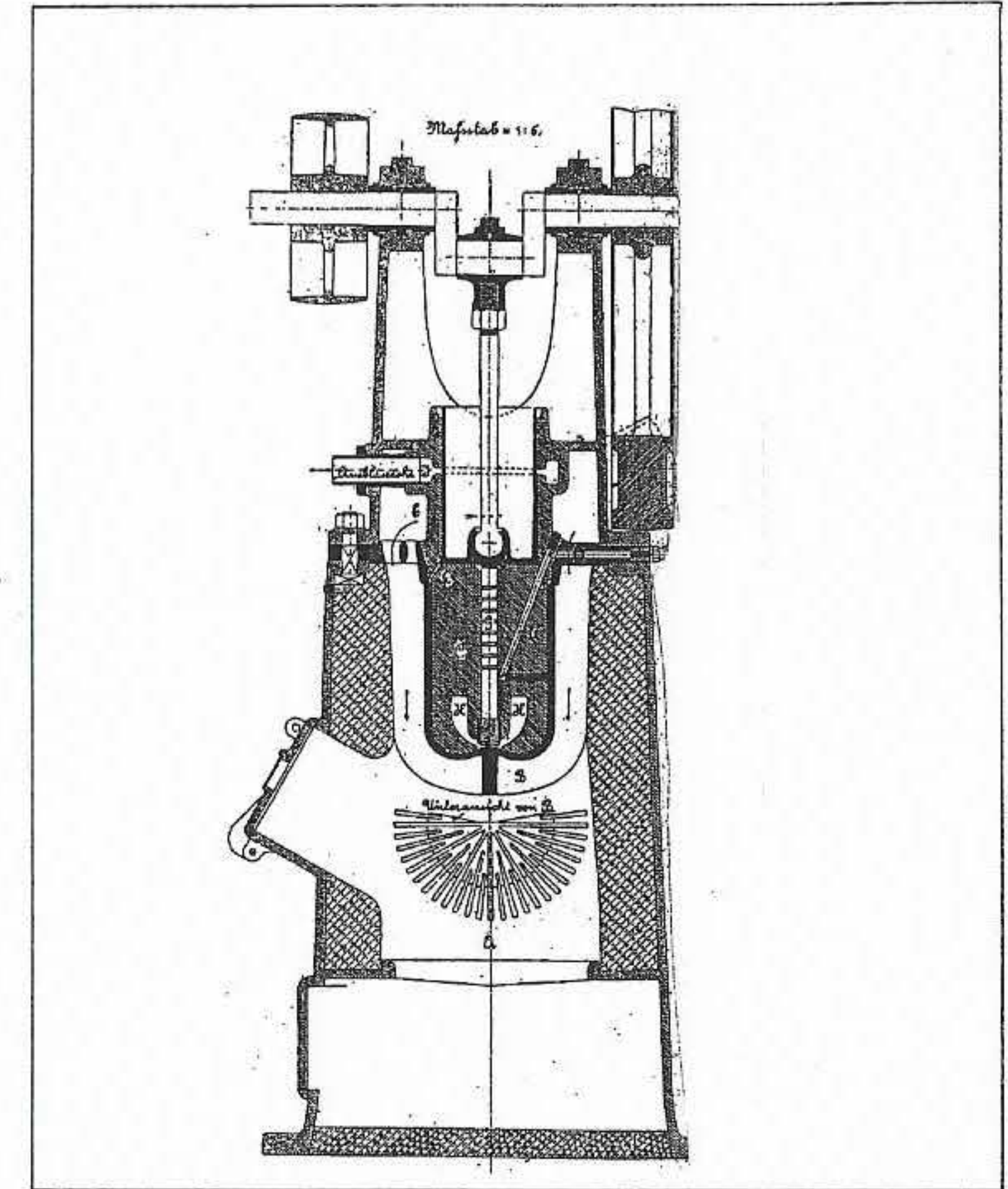


Bild 3.1/1:
„Gewerbemotor“ von
W. Schmidt mit
Sofortverdampfer und
einfach wirkender
Einzylinder-Maschine
(um 1883)

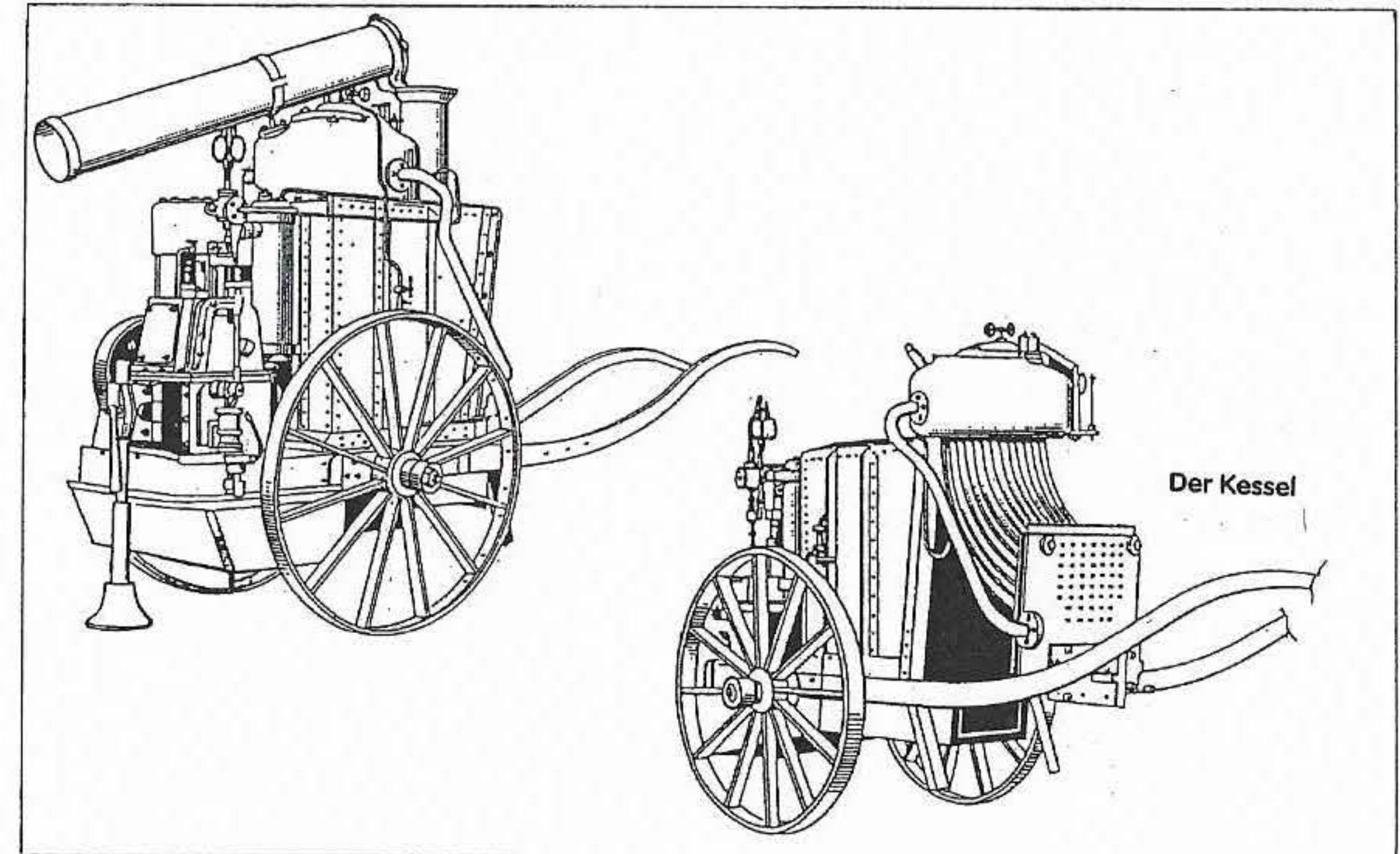


Bild 3.1/2: Lokomobile als einachsige, ortsveränderliche Kraftmaschine mit Dampftrieb. Mit Wasserrohrkessel und stehender Einzylindermaschine im Heck (im Bild ist der Wasserrohrteil des Kessels herausgezogen gezeichnet).

3.2 Kraftmaschinen und Lokomobilen

Mit dem Kenntnisstand von heute ist es einfach, eine umfassende und allgemeingültige Definition dieser Maschinenkategorie zu entwickeln. Aber eine nachträglich, abstrakte Formulierung wirkt im historischen Kontext nicht authentisch. Besser ist es, zeitnahe Definitionen zu verwenden. Das Problem dabei ist, dass in der langen Entwicklungsgeschichte sich die Anforderungen an diese Kraftmaschinen ständig geändert haben und damit sehr häufig völlig neue Bauarten entwickelt werden mussten. Viele Definitionen galten nur für ein begrenztes Entwicklungssegment. Beispielsweise wurden Lokomobilen, nach dem Abschluss der ersten technischen Konsolidierungsphase um 1865, in einem „Dampfkesselgesetz“ so definiert: „Unter Lokomobilen werden diejenigen Dampfmaschinen verstanden, welche sich leicht von einem Orte zum anderen transportieren lassen, keines Bauwerks bedürfen, um an einem gegebenen Orte in Gang gesetzt zu werden, und in der That nur zeitweilig an jedem Stationspunkte angewendet werden“. Mit jedem weiteren Entwicklungssegment wurden neue Definitionen erforderlich. In den technischen Periodika und Lexika findet man zeitbezogen eine Fülle an Beispielen für diese angepassten Definitionen. Um alle Maschinenvarianten abzubilden wurden die Beschreibungen immer umfangreicher. Im großen „Brockhaus“ aus dem Jahr 1885 werden beispielsweise die Lokomobilen in folgender Weise schon sehr umfassend beschrieben:

„Lokomobilen nennt man im allgemeinen solche Dampfmaschinen, bei welchen Dampfkessel und Maschine in konstruktiver Hinsicht ein Ganzes bilden, sodaß beide gleichzeitig und im Zusammenhang von einem Ort zum anderen versetzt werden können und nach dieser Versetzung sofort wieder betriebsfähig sind. Den höchsten Grad der Transportabilität erfordern die in der Landwirtschaft und den mit diesen verbundenen Gewerbezweigen zu verwendenden Lokomobilen, auch fahrbare Dampfmaschinen genannt. Dieselben ruhen auf einem Wagengestell mit großen, breiten Rädern“

Eine andere Klasse der Lokomobilen bilden diejenigen transportablen Dampfmaschinen, welche meist in Städten für die Zwecke der Kleinindustrie Verwendung finden.“

Endlich werden vielfach transportable Dampfmaschinen für spezielle Zwecke in der Weise gebaut, daß sie mit einer Arbeitsmaschine, welche sie treiben sollen, als ein Ganzes konstruiert werden. Es ist dies der Fall bei Dampfspritzen, Dampfkranen, Dampfpumpen u.s.w.“

Anders steht es mit dem Bau der auch als Halblokomobilen bezeichneten transportablen Dampfmaschinen. Obwohl man diese Maschinen „transportabel“ nennt, ist doch die Transportabilität keineswegs ihre am meisten hervortretende Eigenschaft. Dieselbe besteht vielmehr in ihrer kompdiösen Form, welche Raumersparnis, leichte Aufstellung und geringe Anschaffungskosten zur Folge hat. Diese drei Eigenschaften machen die transportable Dampfmaschine zu einem sehr geeigneten Motor für die Kleinindustrie in den Städten, während man in allen Fällen, wo es sich um öftere Veränderung des Standorts handelt, eine auf Rädern ruhende Lokomobile anschaffen wird. ...“

Das ist schon eine umfassende und präzise Definition von Lokomobilen aller Art. Sie wird hier übernommen. Wie die „Zusammenfassung zu einem Ganzen“ ausgeführt worden ist, bleibt frei. Die Kesselbauarten sind nicht festgelegt. Bauliche Maßnahmen sind keine Restriktion. Alle Bauarten bei den Lokomobilmaschinen können erfasst werden. Die Art der Feuerung ist beliebig. Die Brennstoffe sind nicht festgelegt. Es können Flüssigbrennstoffe, gasförmige Brennstoffe oder Festbrennstoffe verwendet werden. Wie der

Antrieb der angeschlossenen Arbeitsmaschinen erfolgt ist ebenfalls offen gelassen (Riemen, Gelenkwelle, Seiltrieb u.a.m.). Auch die getrennte Nutzung der beiden Lokomobilfunktionen, zum einen die Erzeugung von Dampf und zum anderen die Erzeugung einer Antriebsbewegung sind in der Definition nicht ausgeschlossen. In einigen Fällen in der Landwirtschaft und im Baugewerbe wurde der Dampf der Lokomobile zeitweise als „Prozessdampf“ genutzt, die Maschinenfunktion wurde nicht benötigt oder nur als „Hilfsenergie“. Ähnliche Fälle gab es beim Betrieb der Lokomobilmaschine mit Fremddampf.

Als ein Zugeständnis an die Entwicklung nach 1885 ist nur eine Präzisierung bei den Maschinen notwendig, die im dritten Absatz erwähnt sind, den Dampfspritzen, Dampfkranen u.ä. Bei einigen dieser Maschinen sind im Entwicklungsverlauf völlig eigenständige Gattungen entstanden. Bei den Dampfspritzen ist das offensichtlich. Aus der Kombination von mobilen Dampfkesseln und Maschine mit direkt gekuppelter Pumpe entstanden sehr früh die ersten Dampfspritzen. Es gab sie für den Gespannzug und später auch mit Fahrtrieb durch eine Dampfmaschine. Die speziellen Anforderungen an diese Maschinen führten rasch zu Entwicklung einer völlig eigenständigen Maschinenkategorie. Diese Maschinen und die, bei denen sich völlig eigenständige Konstruktionen entwickelt haben, werden hier nicht als „Lokomobilen“ betrachtet. Entscheidend für diese Ausgrenzung ist, dass sie als Kraftmaschinen nicht zu verwenden waren. Einen ähnlichen Entwicklungsprozess gab es bei den Dampfkranen, Maschinen zur Herstellung von Gräben u.a.m., die hier auch nicht weiter behandelt werden.

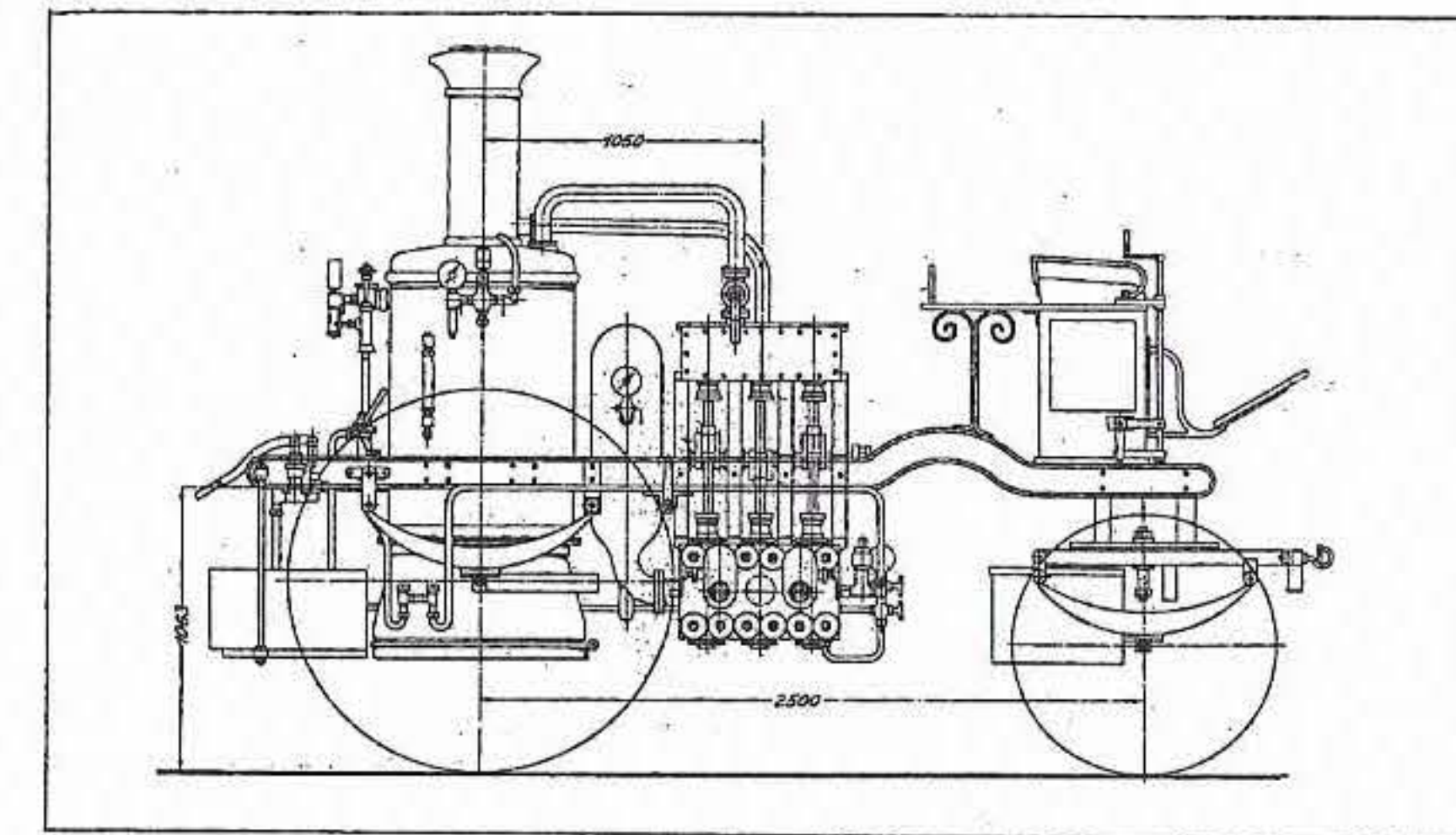


Bild 3.2/1:
Dampfspritze für den
Gespannzug
von J. Beduwe (1901)

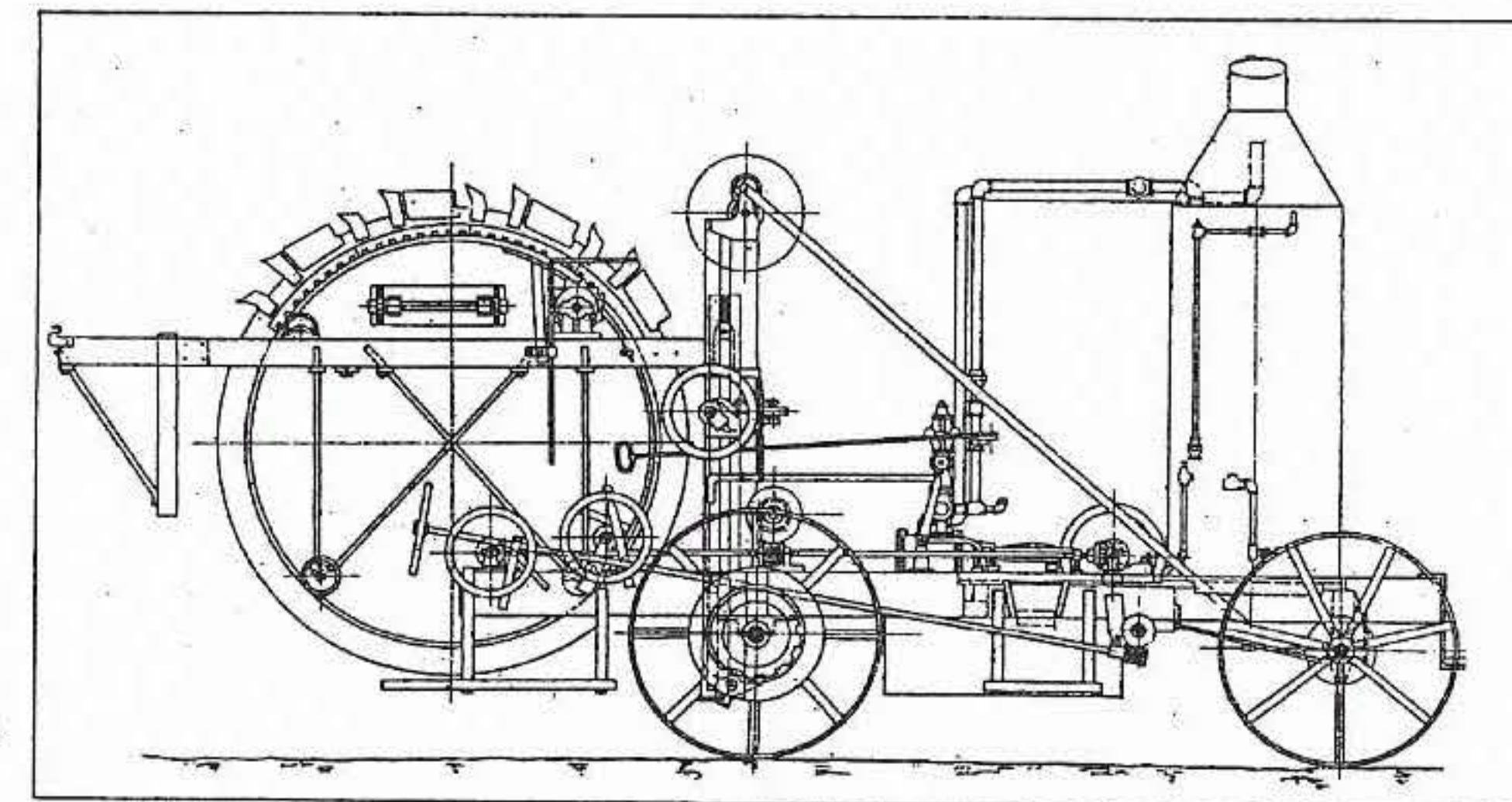


Bild 3.2/2:
Maschine zur
Herstellung von
Gräben (1908)

Eine weitere Abgrenzung ist bei den Maschinen erforderlich, die dauerhaft nur zur Dampferzeugung eingesetzt wurden. Sie besaßen keine Kraftmaschinen. Der Antrieb einer Arbeitsmaschine war nicht vorgesehen. Auch derartige Maschinen, die äußerlich den üblichen Lokomobilen ähnlich waren, wurden in vielen Ausführungen gebaut. Sie dienten beispielsweise zur Reinigung und Desinfektion mit Dampf, zum Zerstäuben von anderen Substanzen oder zum Aufbereiten von belastetem Wasser.

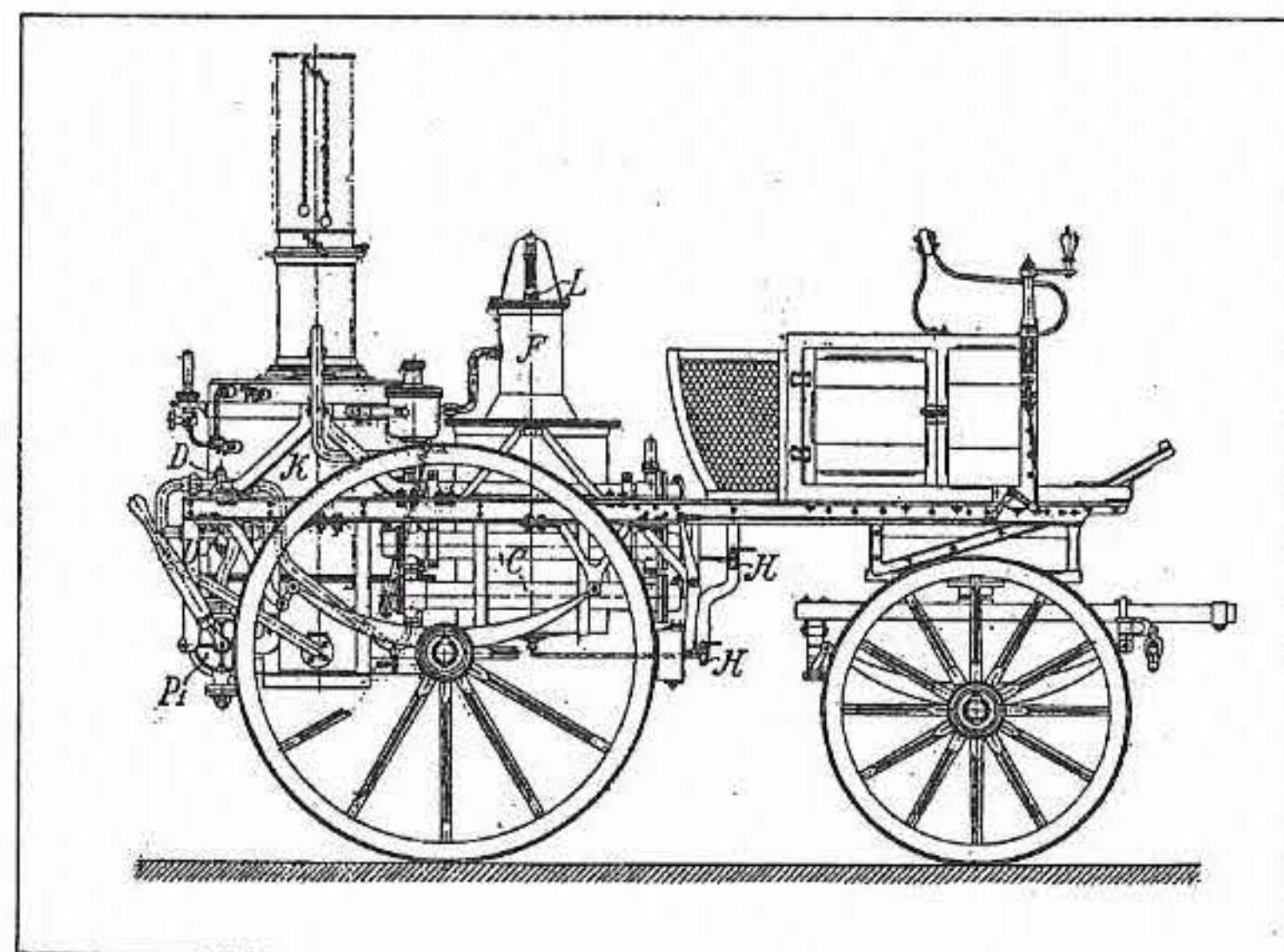


Bild 3.2/3:
Fahrbarer Trinkwasserbereiter
(1906)

In einigen Publikationen und von einigen Firmen werden auch selbstfahrende Formen, die als Kraftmaschine eingesetzt werden konnten, als Lokomobilen bezeichnet, z.B.: Dampfschlepper, Dampfpfluglokomotiven usw. Die Firma Lanz bezeichnete ihre Dampfschlepper beispielsweise als Zuglokomobilen. Da diese Maschinenkategorien in ihren Hauptfunktionen nicht als Kraftmaschine für Antriebszwecke eingesetzt wurden, sondern für Transportaufgaben, werden sie hier nicht aufgenommen. Bei den in der Landwirtschaft eingesetzten Lokomobilen gab es allerdings auch Maschinen, die mit Hilfe eines eigenen, einfachen Antriebs sich selbst über kürzere Strecken bewegen konnten. Bei diesen Maschinen ist der Charakter einer Kraftmaschine erhalten geblieben. Sie werden mit behandelt.

Eine naheliegende Abgrenzung der Lokomobilen zu anderen ortsveränderlichen Antriebsmaschinen ist das Merkmal der konstruktiven Einheit von Dampfkessel und Dampfmaschine. Kessel und Maschine bzw. Kessel, Maschine und Fahrgestell waren auf irgendeine Weise unlösbar miteinander verbunden, sie waren „ein Ganzes“, zu einer Einheit zusammengefasst. Diese kompakte Bauweise war einer der großen Vorteile der Lokomobilen. Für viele Maschinen trifft das zu, aber es gab auch Ausführungen, bei denen diese „Einheit“ bewusst verlassen wurde. Insbesondere dann, wenn Arbeitsmaschinen in der Lokomobile integriert waren. Ein Beispiel soll die Bauweise erläutern. Im **Bild 3.2/4** ist die Skizze einer Lokomobile von Lanz wiedergegeben, bei der die gesamte Maschineneinheit abnehmbar auf einem Sockel aufgebaut war. Die Lokomobile konnte in üblicher Manier betrieben werden oder mit separat aufgestellte Dampfmaschine. Die Dampfversorgung der Maschine erfolgte dabei über Gelenkrohre.

Verbreitet war die Aufteilung von Dampfkessel und Dampfmaschine auch bei Maschinen mit integrierter Arbeitsmaschine. Es gab beispielsweise mobile Sägen zum Fällen von Bäumen, die als Einheit zum Einsatzort gefahren wurden. Vor Ort trennte man Dampfkessel und die Dampfmaschine mit angebaute Säge. Der „Sägeteil“ war über eine Dampfleitung mit dem Kessel verbunden und wurde von Baum zu Baum versetzt.

Bild 3.2/4:
Lokomobile mit
getrennt einsetzbarer
Dampfmaschine (1923)

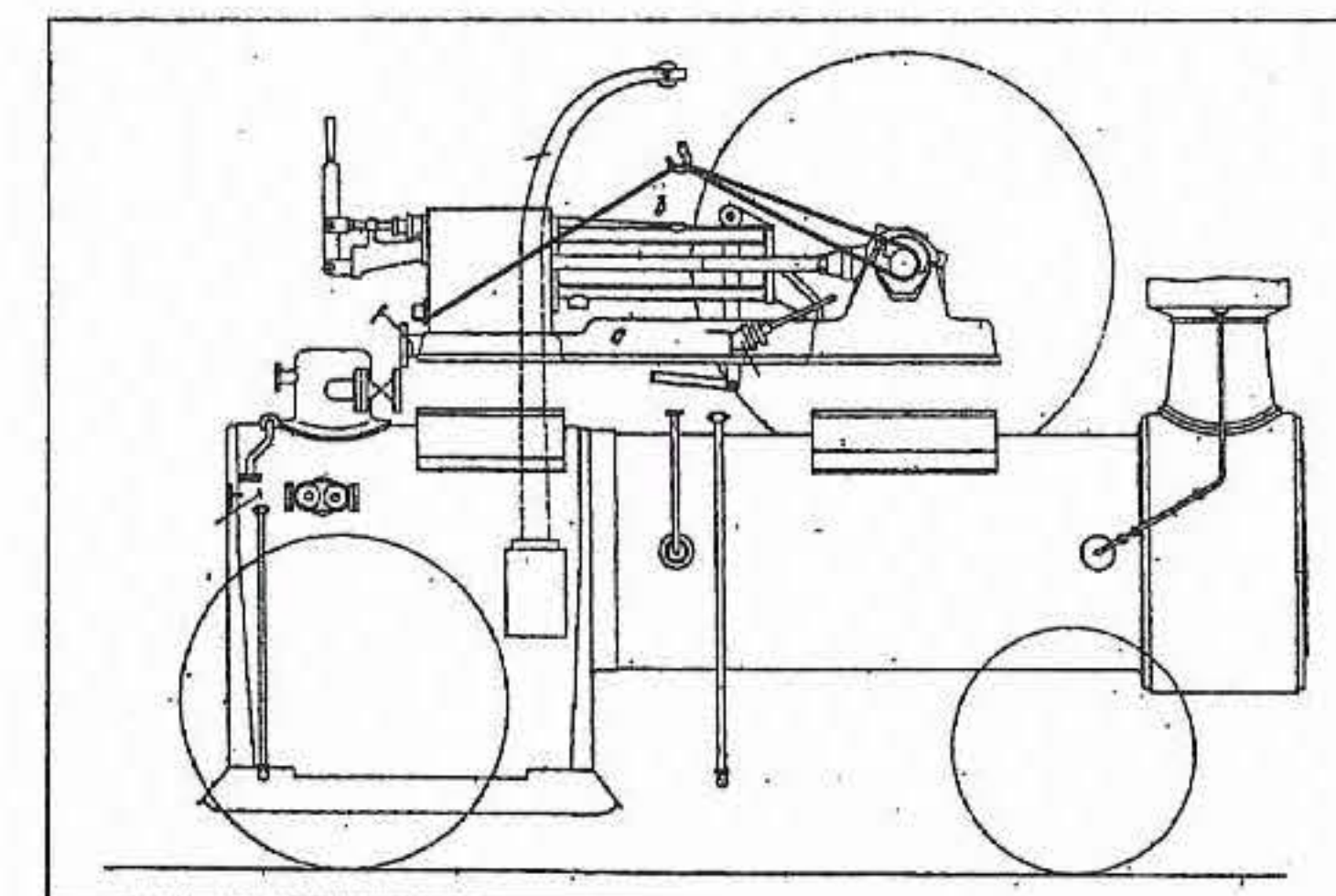
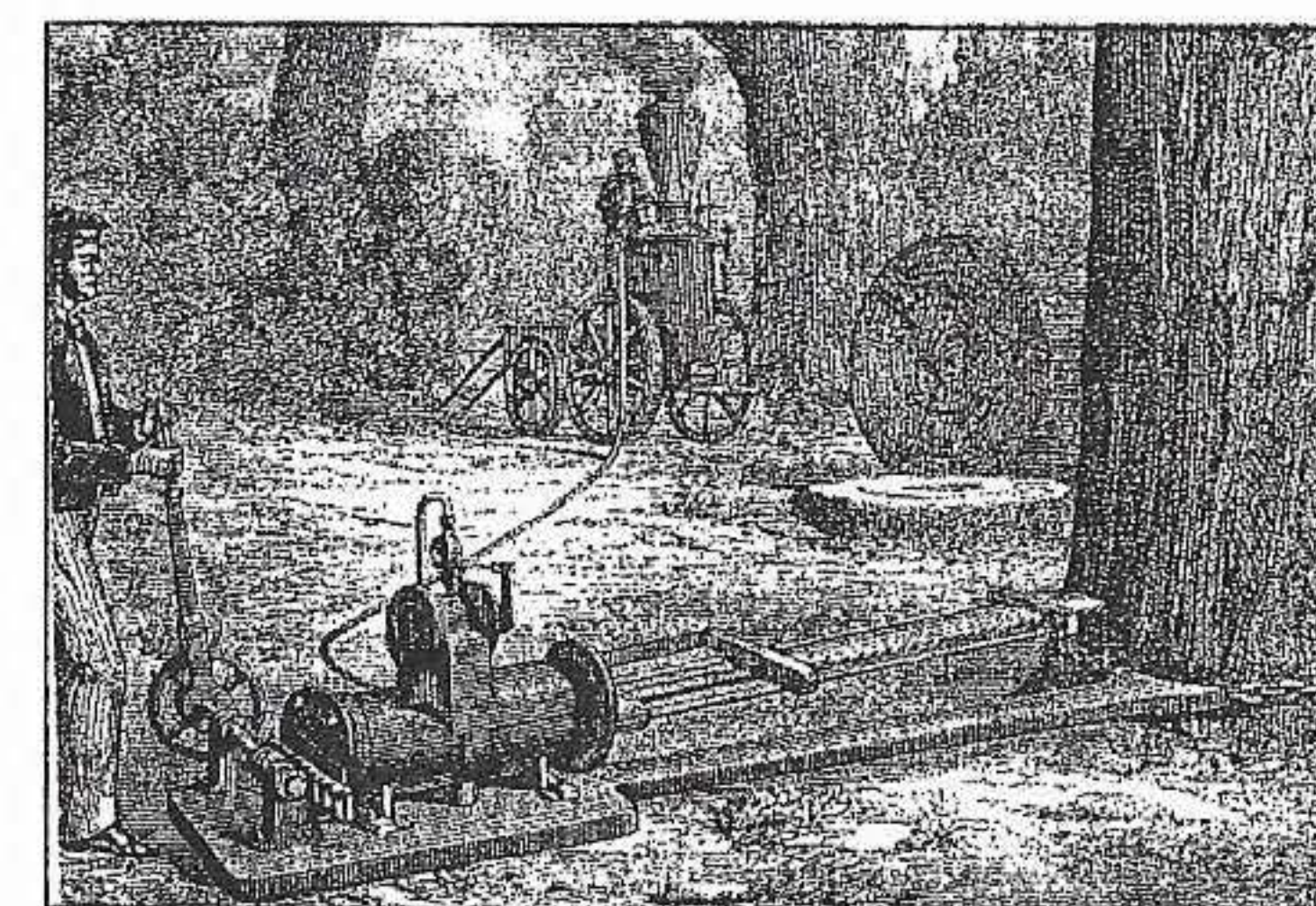


Bild 3.2/5:
Lokomobile als
Sägemaschine beim Fällen
eines Baumes (1879)



In der Bezeichnung „Lokomobile“ ist das Wort „mobil“, beweglich, enthalten. Im Allgemeinen wird die Antriebskraft bei Lokomobilen nur vorübergehend benötigt. Die Maschine wird nach geleisteter Arbeit zum nächsten Einsatzort gebracht. Wie erwähnt, war die ursprünglichste Art, eine Maschine ortsveränderlich zu machen, sie einfach zu „zerlegen“. Maschinen, die schnell und einfach zu zerlegen waren, sind gezielt konstruiert und gebaut worden. Bei einigen Ausführungen war zur Aufstellung auch kein eigenes Fundament erforderlich. Es ist eine Ermessensfrage, ob man sie zu den Lokomobilen zählen soll. Hier werden sie als Vorformen der Lokomobilen behandelt und daher nicht im Detail dargestellt. Etwas anders ist die Situation bei den Maschinen, bei denen die Ortsveränderung durch „schieben oder ziehen“ erreicht wurde. Natürlich war das nur bei relativ kurzen Entfernungen praktikabel. Größere Entfernungen konnten auf diese Art nur im Winter bei Eis oder Schnee zurückgelegt werden. Die Lokomobilen ruhten auf einem stabilen Kufengestell. Die Gleitbalken waren aus Holz. In historischer Sicht ist bei dieser Variante das alte physikalische Prinzip der „Schleife“ oder des „Schlitten“ eingesetzt worden. Auch bei dieser Ausführung ist der Übergang zu den Lokomobilen mit Rädern fließend. Die übliche Bezeichnung für alle diese Maschinen war „Halblokomobilen“. Später nannte man sie auch „Industrielokomobilen“. Die Zuordnung dieser Maschinen wird in der Literatur unterschiedlich gehandhabt. Einige Autoren zählen die Halblokomobilen beispielsweise zu den stationären Maschinen. In dieser Arbeit werden sie entsprechend der vorgenannten Definition von 1885 den Lokomobilen zugeordnet. Natürlich wurden bei Bedarf zur Verringerung der Zugkraft beim Ortswechsel Rundhölzer unter die Kufen gelegt. Das führte dann im Verlauf der weiteren Entwicklung zu Lokomobilen mit sehr kleinen fest eingebauten

4. ÜBERSICHT DER HERSTELLER VON LOKOMOBILEN IM DEUTSCHSPRACHIGEN RAUM

4.1 Quellenlage und Vollständigkeit

Eine Übersicht der Hersteller von Lokomobilen und anderen ortsveränderlichen Kraftmaschinen muss die unterschiedlichsten Bauarten und die Zeitspanne von Beginn des 19. Jahrhunderts bis in die 30er Jahre des 20. Jahrhunderts umfassen. Die Fülle der in diesem Zeitraum in Erscheinung tretenden Hersteller und einzelnen Personen, die nur wenige Maschinen gebaut haben, ist immens. Die nachfolgende Übersicht gibt den Stand wieder, der bis dato aus der Fachliteratur und zeitnahen historischen Quellen ermittelt werden konnte. Als zeitnahen Quellen wurden in erster Linie die bekannten technische Periodika und Branchenverzeichnisse ausgewertet. In der **Tafel 4.1/1** sind einige dieser Periodika, die seinerzeit über technische Entwicklungen auf dem Gebiet der Kraftmaschinen berichteten, mit ihren repräsentativen „Kopfspiegeln“ wiedergegeben. Insgesamt ist in einigen Dutzend überregionalen Zeitschriften über die technische Entwicklung informiert worden.

Die Übersicht der „Lokomobilienhersteller“ im Abschnitt 4.2 kann aus mehreren Gründen nicht vollständig sein. Ein großer Teil der regional publizierten Periodika ist verloren gegangen oder konnte nur in Teilen erhalten werden. Viele Maschinen von kleinen Herstellern, die nur im unmittelbaren lokalen Umfeld oft nur wenige Maschinen verkauft haben, tauchen in den zeitnahen technischen Quellen gar nicht auf. Sie fehlen daher auch in der Übersicht. Auch von den Herstellern, die nur kurze Zeit produziert haben, ist an Informationen fast nichts mehr erhalten geblieben. Nach einer groben Abschätzung sind in etwa 2/3 der einheimischen Hersteller in der Liste erfasst. Trotzdem ist die große Zahl von über 130 Betrieben, die Lokomobile in allen erdenklichen Ausführungen gebaut haben, überraschend. Es gab am Anfang der Entwicklung Phasen mit einer sehr großen Entwicklungsbreite. Nicht alle Fachleute und Nutzer der Maschinen waren begeistert von dem überbordenden Erfindergeist. Maschinen, die sich in der Praxis nicht bewährten, verschwanden meist nach kurzer Zeit. Trotzdem sind auch diese nicht erfolgreichen Entwicklungen für den technischen Fortschritt von Bedeutung. Erst durch diese „Auslese“ wurde gelernt und ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess in Gang gesetzt.

Die Angaben zu den technischen Merkmalen und den Bauarten der Maschinen sind in der Übersicht nur stichwortartig gehalten. Sie beziehen sich nur auf die am Anfang der jeweiligen Entwicklung hergestellten Maschinen. Es ist nicht die Entwicklungshistorie der Hersteller aufgenommen worden. Informationen, bei denen ein (?) oder (??) nachgestellt ist, sind unsicher bzw. sehr unsicher.

Der Entwicklungsrückstand der einheimischen Lokomobilienfabrikanten zu den führenden Herstellern in England, den USA und Frankreich ist Mitte des 19. Jahrhunderts geringer als oft dargestellt. Schon ab etwa 1840 wurden in den deutschen Ländern Lokomobile unterschiedlicher Art hergestellt. Einen großen Unterschied gab es aber bei den gebauten Stückzahlen. Viele einheimische Hersteller sind über den Bau weniger Maschinen nicht hinaus gekommen. Ortsveränderliche Kraftmaschinen haben sich am Anfang nur sehr zögernd verbreitet. Die Akzeptanz war weder bei den Anwendern noch bei der Bevölkerung vorhanden. In vielen deutschen Ländern musste die Administration die Verbreitung der neuen Technik massiv unterstützen. So beispielsweise in Preußen, wo durch königliche Order die Beschaffung und der Bau dieser neuartigen Maschinen gefördert wurde. In Preußens stellten die Behörden den frühen Dampfmaschinenherstellern günstige Ansiedlungsflächen für ihre Fabriken zur Verfügung und förderte die Gründung durch Kredite und großzügige Genehmigungen. Trotzdem muss daran erinnert werden, dass es Probleme gab die ersten mit staatlichen Mitteln gebauten Maschinen in Gewerbebetrieben unterzubringen. Selbst bei kostenloser Zurverfügungstellung gab es erhebliche Bedenken gegen diese neuen Maschinen.

Handbuch der Dampfmaschinenlehre

für
Techniker und Freunde der Mechanik.

Von
Dr. Christoph Bernoulli,
ordentl. Professor der industriellen Wissenschaften an der Universität zu Basel.

Dritte, gänzlich umgearbeitete Auflage.

Mit 9 Steindrucktafeln.



Stuttgart und Ulbingen.
J. G. Cotta'scher Verlag.
1847

Bild 4.1/1: Titelblatt eines frühen Fachbuches zum Thema „Dampfmaschinen“.
(Bernoulli, Chr.: Handbuch der Dampfmaschinenlehre. Das Buch wurde 1847 schon in der dritten Auflage gedruckt.)

4.2 Übersicht der Lokomobilienhersteller und Hersteller von anderen ortsveränderlichen Kraftmaschinen (bis etwa 1900)

| Lfd. Nr. | Herstellung ab | Hersteller | Bauarten Technische Merkmale | Bemerkung |
|----------|----------------|---|--|---|
| 1 | um 1844 (?) | Ernst Alban Maschinenbauanstalt Plau a. See (Mecklenburg) | Kessel und Maschine auf hölzernem Traggestell, liegender Kessel. Einzylindermaschine seitlich längs liegend. Traggestell auf üblichem Rädergestell eines Fuhrwerkswagens montiert. Leistungen: 4 bis 12 PS. Bauarten: - Lok. auf Rädergestellen. | Beginn der Entwicklungsarbeiten an Lokomobilen um 1840 unmittelbar nach der Unternehmensgründung in Plau. Ab 1847/48 Lokomobilen in geringer Stückzahl gebaut. |
| 2 | um 1847 | August Borsig G.m.b.H. Maschinenbauanstalt Berlin-Tegel | Liegende Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Speisewasservorwärmer eingebaut. Eisernes Fahrwerk und eiserne Räder. Leistungen am Anfang: bis 8 PS. Bauarten: - Lok. m. Rädergestell - Baulokomobilen | Am Anfang evtl. nur Versuchsmaschinen gebaut. Ab etwa 1855 kontinuierliche Herstellung von Lokomobilen. |
| 3 | um 1847 | C. A. Henschel Maschinenfabrik Cassel | Ausführung und Bauart nicht bekannt. Evtl. nur Versuchsmaschine gebaut (?) | Henschel baute noch bis 1930 sehr moderne Heißdampf-Lokomobilen. |
| 4 | 1848 | Carl Theodor Hoppe Maschinenfabrik Berlin | Liegender Kessel eigene Konstruktion (z. T. ausziehbare Röhrenkessel), hoher Kesseldruck (Hochdruckm.). Einzylindermaschine aufgesattelt. Leistungen am Anfang: bis 10 PS (?) Bauarten: - Lok. auf Rädergestell - Halbloklokomobilen | Geringe Stückzahlen. |
| 5 | um 1850 | C. Reichenbach'sche Maschinenfabrik Augsburg | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine seitlich aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Besonderheit: Kurbelwelle ohne Kröpfung (Scheibenkurbel seitlich). |
| 6 | 1851 | Gotthilf Kuhn Maschinen- und Kesselfabrik, Stuttgart-Berg | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Ab 1858 Lokomobile in kleinen Serien gebaut. |
| 7 | 1852 | F. Wöhlert, Maschinenfabrik und Eisengießerei Berlin | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Bau einzelner Lokomobilen. |
| 8 | 1854 | Union-Gießerei Lokomotivfabrik und Maschinenbauanstalt Königsberg (Ostpr.) | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | |
| 9 | 1855 | Maschinenfabrik Plaul Magdeburg | Ausführung nicht bekannt. Evtl. nur Versuchsmaschine gebaut. | Keine weitere Herstellung. |
| 10 | 1857 | Maffei'schen Eisenwerke (später: Lokomotivfabrik J.A. Maffei, München) Hirschau | Kessel- und Maschinenausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | 1857 - 1862 wurden 5 Lokomobilen gebaut. Es sind auch fahrbare Dampfkessel für Dampfsägen und Maschinen zum Pflügen nach dem Einmaschinensystem mit Seiltrieb hergestellt worden. |
| 11 | 1858 | Maschinenbau-Gesellschaft Heilbronn (MGH), Heilbronn | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halbloklokomobilen | Z.T. Maschinen mit zylindrischer Feuerbüchse und herausziehbarem Rauchrohrteil Erste Lok. (4 PS) im Königl. Hofkammeramt in Stuttgart eingesetzt. |

| | | | | |
|----|---------|--|---|--|
| 12 | 1860 | J. Piedboeuf Maschinen- und Kesselfabrik Aachen | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 13 | um 1860 | W. Runde Maschinenfabrik Hannover | Ausführung nicht bekannt. Bauarten: - Lok. auf Rädergestellen. | Vermutlich nur einzelne Lok. gebaut. |
| 14 | um 1860 | Friedrich und Jaffé Maschinenfabrik Wien | „Stehender“ Dampfkessel mit z.T. im Kessel integrierem stehendem Zylinder (Dampfmotor). Einzylindermaschine, Kurbelwelle und Schwungrad oben. Bauarten: - Lok. auf Rädergestellen. - Halbloklokomobilen | Patentierter Dampfmotor. Kesseldampfmaschine. Lizenzvergabe an weitere Unternehmen. |
| 15 | um 1860 | Demeuse-Houget & Co Maschinenfabrik Aachen | Ausführung nicht bekannt. Leistungen bis 40 PS. Bauarten: - Lok. auf Rädergestellen. | |
| 16 | um 1860 | H. Cegielski Lokomotiv- und Maschinenfabrik Posen | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 17 | um 1860 | Maschinenfabrik von Aurig & Gaul, Magdeburg | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | Vorstellung der Maschinen auf der Maschinenausstellung in Stettin. |
| 18 | um 1860 | Carl Beermann Maschinenbauanstalt Berlin | Ausführung nicht bekannt. Bauarten: - Lok. auf Rädergestellen | |
| 19 | um 1860 | Berliner Union Eisengießerei u. Maschinenfabrik Berlin | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | vorm. M. Webers (?) |
| 20 | 1861 | Reudnitzer Maschinenfabrik Reudnitz bei Leipzig | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 21 | um 1861 | G. H. Ruffer Maschinenfabrik Breslau | Liegender Kessel mit zyl. Feuerbüchse u. großem Feuerrohr. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | |
| 22 | um 1861 | C. Schmidt & Comp. Maschinenfabrik Breslau | Liegender Kessel mit großem, mittleren „Feuerrohr“. Einzylindermaschine aufgesattelt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | |
| 23 | 1862 | Cöln Maschinenbau-Aktiengesellschaft, Cöln | Kessel und liegende Maschine sind auf einer Grundplatte mit Rädergestell montiert. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Auf der Industrieausstellung London 1862 präsentierte das Unternehmen als einziger Hersteller aus dem Gebiet des deutschen Zollvereins eine fahrbare Lokomobile. |
| 24 | 1862 | R. Wolf, Maschinenfabrik Magdeburg-Buckau | Liegender Kessel, zylindrische Feuerbüchse, herausziehbare Rauchrohrteil. Aufgesattelte Maschine (meist Einzylindermaschinen). Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halbloklokomobile | Höhere Dampfdrücke. Einführung der Verbundmaschine bei Lokomobilen, Einsatz von Überhitzern u.a. Innovationen |
| 25 | 1862 | Gebr. Sulzer Maschinenfabriken Winterthur (Schweiz) | Kleindampfmaschine mit oben liegender Einzylindermaschine (Gewerbemotoren, Kesseldampfmaschinen). Leistungen bis 4 PS. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halbloklokomobile | Später auch Masch. mit liegendem Kessel und Zweizylindermaschinen gebaut. Leistungen bis 100 PS. |
| 26 | um 1862 | C. Spatzier Maschinenfabrik und Eisengießerei Berlin | Liegender Kessel mit zylindrischer Feuerbüchse. Einzylindermaschine aufgesattelt. Leistung ca. 8 PS. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Herausziehbarer Innenkessel. |
| 27 | um 1862 | M. Webers Maschinenfabrik und Kesselschmiede Berlin | Stehkessel mit seitlicher, hängender Maschine. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halbloklokomobile | Ab 1869 auch Lok. mit liegendem Kessel und „rückgängigen Feuerzügen“ gebaut. |

| | | | | |
|----|-------------|---|--|--|
| 28 | um 1862 | G. C. Freund & Co Maschinenfabrik Berlin (Später: Berliner Aktienges. für Eisengießerei u. Maschinenfabrikation) | Lokomobilen auf Basis von Dampfmaschinen. Kessel u. Maschine eine Einheit. Kleine Leistungen. Einfache Rädergestelle. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 29 | um 1862 | Seele & Co Maschinenfabrik Braunschweig | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 30 | 1863 | Georg Egestorff Eisengießerei und Maschinenfabrik, Hannover-Linden | Liegender Kessel mit zylindrischer Feuerbüchse oder Lokomotivbauweise. Aufgesattelte Ein- oder Zweizylindermaschine. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile. | Evtl. auch schon vor 1863 Lok. gebaut. Zwei (?) Baureihen werden gebaut. Einzykl.-Masch. bis 6 PS Zweizykl.-Masch. bis 20 PS. |
| 31 | 1863 (?) | R. Sack Landmaschinenfabrik Plagwitz bei Leipzig | Vermutlich liegender Kessel mit aufgesattelter Maschine. Erste Versuchsmaschinen gebaut. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Ab etwa 1880 Lok. in kleinen Serien gebaut. |
| 32 | 1863 | H. Jahn Maschinenfabrik, Eisengießerei und Kesselschmiede Arnsdorf | Liegender Kessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Besonderheit: „... Zylinder in der Rauchbüchse untergebracht“. |
| 33 | um 1863 | Maschinenfabrik Bosson Eupen | Liegender Kessel mit „rückgängigen Feuerzügen“. Aufgesattelte Maschine, meist Einzykl.-Maschinen. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile. | |
| 34 | um 1863 | Brod & Stiehler Maschinenfabrik, Eisengießerei & Kesselschmiede Zwickau | Vermutlich: Lokomobilen üblicher Bauart. Nur wenige Maschinen gebaut. | |
| 35 | um 1863 | Goetjes Bergmann & Co Maschinenfabrik Reudnitz bei Leipzig | Liegender Kessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Leistungen bis ca. 8 PS. |
| 36 | um 1863 | Julius Soeding Maschinenfabrik Hörde bei Dortmund | Zwei Bauweisen: - Liegender Lokomotivkessel mit aufgesattelter Maschine. Zweischsiges Rädergestell. - Stehender Rauchrohrkessel mit seitlich liegender Maschine (?). Einachsiges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf ein- bzw. zweischsigem Rädergestell. | |
| 37 | um 1863 | W. Trietzoh & Co Maschinenfabrik Berlin | Liegender Lokomotivkessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | |
| 38 | 1863/64 | R. A. Wens & Co Maschinenbauanstalt Berlin | Liegender Lokomotivkessel. Ein- bzw. Zweizylindermaschine aufgesattelt, doppeltes Schwungrad. Leistungen bis 12 PS. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Sehr große Rostfläche (auch für Torf- und Holzfeuerung). |
| 39 | 1864 | Maschinenfabrik Mielisch Schwedt | Ausführung nicht bekannt. Leistungen bis 10 PS (?). Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Präsentation auf der „Industrie- u. Gewerbeausstell.“ in Stettin 1864. |
| 40 | 1864 | Wischer, Maschinenfabrik Stargard in Pommern | Liegender Kessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Besonderheit der Lok.: Dampfzylinder ist in der Rauchkammer untergebracht |
| 41 | 1864 | Louis Schwartzkopff Eisengießerei und Maschinenfabrik Berlin | Liegender Kessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Präsentation auf der „Industrie- u. Gewerbeausstell.“ in Stettin 1864. |
| 42 | 1864 | H. F. Eckert Landwirtsch. Geräte u. Maschinen Berlin-Friedrichsberg | Liegender Kessel in Lokomotivbauart. Kessel u. Maschine auf einer Grundplatte montiert. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Maschine auch für Drahtseilbetrieb eingerichtet. |
| 43 | 1864 | Maschinenfabrik Labahn Greifswald | Ausführung nicht bekannt. Leistungen bis 8 PS. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | |

| | | | | |
|----|---------|--|---|---|
| 44 | 1864 | Maschinenfabrik Hambruch, Vollbaum & Co, Elbing | Stehender Röhrenkessel. Seitlich am Kessel angebrachte hängende Einzykl.maschine. Einachsiges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | Bau von einachsigen Lokomobilen eigener Konstruktion. Schwungradachse ist gleich- zeitig Fahrachse. |
| 45 | 1864 | Mitscher & Perels, Fabrik für landwirtschaftliche Maschinen, Berlin | Liegender Kessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Leistung: bis ca. 16 PS. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Es werden zwei Baureihen unterschiedlicher Leistung (bis 10 PS bzw. bis 16 PS) hergestellt. |
| 46 | 1865 | Maschinenfabrik von Luther & Peters, Wolfenbüttel | Stehkessel und Maschine sind getrennt voneinander auf einer Grundplatte montiert. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile (?) | |
| 47 | 1865 | M. Joachimsthal Maschinenfabrik Frankfurt a. d. Oder | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 48 | 1865 | A. Knoevenagel Maschinenfabrik, Eisengießerei und Kesselschmiede Hannover | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile | |
| 49 | 1865 | A. Stigler Maschinenfabrik München (?) | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzykl.maschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Besonderheit: Maschine ohne Kurbeltrieb, Anwendung eines Schleifenmechanismus. |
| 49 | um 1865 | Ch. Hagans Eisengießerei und Maschinenfabrik Erfurt | Vermutlich: liegender Kessel Einzykl.maschine aufgesattelt Bauart: - Lok. auf Rädergestell (?) - Halblokomobile | |
| 50 | um 1865 | Aron & Gollnow Maschinenfabrik Grabow bei Stettin | Zwei Ausführungen: - Maschinen mit stehendem Röhrenkessel und stehender Masch. - Maschinen mit liegendem Kessel und liegender Maschine. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Kessel und Maschine einzeln auf gemeinsamen Rahmen. Übliche Rädergestelle. |
| 51 | um 1865 | Kessler & Sohn Maschinenfabrik Greifswald | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Zweizylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Besonderheit: Zwei Speisepumpen als Feuerspritze einsetzbar |
| 52 | 1866 | Luther & Peters Maschinenfabrik Wolfenbüttel | Stehkessel. Maschine getrennt auf einer gemeinsamen Grundplatte. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 53 | um 1867 | Darmstädter Maschinenfabrik A. G. Darmstadt | Liegender Kessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Stehkessel mit seitlich angebrachter hängender Maschine. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Sondermaschine auf Rädergestell | Sondermaschinen: - dampfgetriebene Pumpen - dampfgetriebene Winden uam. |
| 54 | um 1867 | L. Kornemann Maschinenfabrik Chemnitz | Stehender Röhrenkessel. Separat stehend Einzykl.maschine auf einer Grundplatte montiert. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Maschine patentiert. |
| 55 | um 1867 | Pauksoh & Freund Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft und Dampfkessefabrik Landsberg a. d. Warthe | Stehender Wasserrohrkessel. Liegende Maschine vor dem Kessel. Leistung: bis 6 PS. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 56 | um 1868 | Maschinenfabrik Januschuk Schweidnitz | Liegender Kessel. Einzykl.maschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 57 | um 1868 | Maschinenfabrik Behne und Siegel, Schönebeck | Lieg. Kessel eigener Konstruktion. Antriebsmaschine: stehender, dreizylindriger, schnelllaufender Dampfmotor. Bauarten: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile (?) | Bau von Lokomobilen vollständig eigener Konstruktion mit patentiertem Dreizylinder- Dampfmotoren |

| | | | | |
|----|---------|--|--|--|
| 58 | 1869 | Köbner & Kanty Maschinenbauanstalt Breslau | Stehender Kessel mit Field'schen Röhren. Stehende Ein- bzw. Zweizylindermaschinen. Bauarten: - Lok. auf Rädergestell | |
| 59 | 1869 | Joh. Haag Maschinen- und Röhrenfabrik Augsburg | Stehender Röhrenkessel. Seitlich angebrachte, hängende Maschine. Meist Einzylindermaschinen. Rädergestelle für das Fahren auf Straßen und Schienen! Bauarten: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobilen (?) | Dampfmaschinen auch mit oszillierendem Zylinder. Diverse Patente. |
| 60 | 1869 | Menck & Hambrock Maschinen- und Dampfkesselfabrik Ottensen bei Altona | Stehkessel. Maschine seitlich am Kessel hängend. Kessel und Maschine auf einer Grundplatte montiert. Unterschiedliche Rädergestelle. Bauarten: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobilen | Winden, Fördermaschinen, Hassel uam. Rädergestelle auch mit sehr kleinen Eisenrädern für feste Industrieböden. Rädergestelle auch ohne Lenkachse. |
| 70 | um 1869 | Sievers & Comp. Maschinenfabrik Kalk bei Deutz | Ausführung nicht genau bekannt. Vermutlich Stehkessel mit seitlich angeordneter, stehender Maschine. Leistungen bis 30 PS. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 71 | um 1870 | Ernst Förster & Co Maschinenfabrik, Kesselschmiede und Eisengießerei Magdeburg-Neustadt | Liegender Kessel, ausziehbarer Röhrenkessel. Aufgesattelte Maschine, meist Einzyl.-Maschinen. Bauarten: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobilen | |
| 72 | um 1870 | Locknitzer Dampfmaschinenwerke Locknitz bei Stettin | Fahrbare „Kesseldampfmaschinen“ System Friedrich. Bauarten: - Lok. auf Rädergestell | |
| 73 | um 1872 | Scharrer & Gross Maschinenfabrik, Eisengießerei und Kesselschmiede Nürnberg | Stehender Kessel. Maschine seitlich auf gemeinsamer Grundplatte. Leistungen bis 10 PS (selten mehr). Bauarten: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobilen | Auch Lok. mit Dampfmaschinen als Antriebsmaschine gebaut. Kesseldampfmaschinen. Auch Lok. mit liegenden Kesseln gebaut. |
| 74 | um 1872 | Escher und Wyss Maschinenbauanstalt Zürich (Schweiz) | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Sondermaschinen auf Rädergestellen | Sondermaschinen: - dampfgetriebene Generatorwagen uam. |
| 75 | 1878 | F. Dehne Landmaschinenfabrik Halberstadt | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 76 | um 1878 | E. D. Rinck Maschinenfabrik Eupen | Liegender Kessel mit Rückführung der Feuerungsgase. Einzylindermaschine aufgesattelt. Bauart: - Halblokomobilen - Lok. auf Rädergestell (??) | Auch Maschinen mit größeren Leistungen gebaut. |
| 77 | um 1878 | Feodor Siegel Maschinenfabrik, Eisengießerei und Kesselschmiede Schönebeck a.d. Elbe | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine, Zyl. über der Feuerbüchse. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Lok. als Sondermaschinen | Es wurden auch Lok. mit patentierten, schnelllaufenden Dreizyl.-Dampfmaschinen gebaut. Lok. als Sondermaschinen: - Lok. als Pumpenmaschine - uam. |
| 78 | um 1879 | Fr. Rämisch Maschinenfabrik Koslin (Pommern) | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 79 | 1879 | Heinrich Lanz Maschinenfabrik Mannheim | Stehender Röhrenkessel. Seitlich hängende Einzylindermaschine. Bauarten: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobilen | Später alle Arten von Lokomotiven gebaut. Moderne Maschinen. Leistungen bis 1000 PS. |
| 80 | 1880 | Gebr. J. & C. Lossen Maschinenfabrik Darmstadt | Kessel-Sonderbauweise Einzylindermaschine auf dem Kessel. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile | Kesseldampfmaschine mit Rädergestell. Dampfzeuger „unexplodierbar“. |

| | | | | |
|----|---------|---|--|---|
| 81 | um 1880 | Wm. Platz & Söhne Fabrik landw. Maschinen, Eisengießerei und Kesselschmiede Weinheim (Baden) | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Auch Lok. mit ausziehbaren Röhrenkesseln gebaut. |
| 82 | um 1880 | Ernst Eisner Maschinenfabrik Stargard (Pommern) | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 83 | um 1880 | G. Hoffmeister Maschinenfabrik Wien | Kessel-Sonderbauweise. Stehende Einzylindermaschine auf dem Kessel. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile | Patentierter Dampfmotor. Kesseldampfmaschine. Maschinen auf einfache Rädergestelle gesetzt. Vergabe von Lizenzen. |
| 84 | um 1880 | Gebr. Eppe (Karl und Magnus Eppe) Maschinenfabrik und Eisengießerei Augsburg | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 85 | um 1880 | R. Dollberg Maschinenfabrikation Rostock | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Seitlich auf der Feuerbüchse liegender Zylinder. |
| 86 | um 1880 | G. Bausch Maschinenfabrik Cannstadt | Stehkessel. Liegende Einzylindermaschine, neben dem Kessel, Rädergestell mit sehr kleinen Vorderrädern. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile | |
| 87 | um 1880 | Brauner & Klasek k.u.k. priv. Maschinenfabrik Wien | Stehkessel. Einzylindermaschine auf dem Kessel. Zylinder im Kessel untergebracht. Einfaches Rädergestell. Kleine Leistungen bis ca. 6 PS. | Grundkonstruktion als Dampfmotor ausgeführt. |
| 88 | um 1880 | Eduard Busch Maschinenfabrik Wuppertal-Elberfeld | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 89 | um 1880 | Gebrüder Decker & Co Maschinenfabrik, Kesselschmiede, Eisen- und Gelbgießerei Cannstadt | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 90 | um 1880 | Joseph Geub Dampfmaschinen- und Lokomotivenfabrik Köln | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 91 | um 1880 | Hallesche Maschinenfabrik und Eisengießerei Halle (Saale) | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell (vermutlich) | |
| 92 | um 1880 | Mecklenburgische Maschinen- und Wagenbau-A.-G. Güstrow | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 93 | um 1880 | E. Möhle & Söhne Maschinenbauanstalt und Kesselschmiede Löbau (Sachsen) | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell. | |
| 94 | um 1880 | Siemens & Halske Telegraphenbauanstalt, Maschinenfabrik Berlin | Lok. als dampfgetriebene Beleuchtungswagen. Bauart: - Lok. als Sondermaschine. | Dampftrieb vermutlich zugekauft. |
| 95 | um 1881 | Maschinenfabrik Oerlikon Oerlikon (Schweiz) | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Lok. als Sondermaschine | Z. B.: - fahrbare Generatorwagen mit Dampftrieb - uam. |
| 96 | um 1883 | Leipzig-Reutnitzer Maschinenfabrik & Eisengießerei Reudnitz bei Leipzig | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |

| | | | | |
|-----|-------------|--|--|--|
| 97 | 1883 (?) | Wilhelm Schmidt (keine weiteren Daten bekannt) | Sofortverdampfender Kessel. Einzylindermasch. (einfach wirkend). Kleindampfmaschine, Leistung 1 PS. | Evtl. tragbar Maschine (?) 1888 Herstellung von Maschinen mit 2 PS. Verwendung von Rädergestellen ist nicht sicher (?) |
| 98 | 1884 | Maschinenbau-Gesellschaft Karlsruhe Karlsruhe | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Z.T. mit Speisewasservorwärmung. Vorder- und Hinterräder relativ klein und gleich groß. |
| 99 | um 1885 | Grauhe, Gockel & Cie. Maschinenfabrik Lahnstein | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 100 | 1886 | Umrath & Comp. Vereinigte Fabriken landw. Maschinen Brandeis a.d. Elbe | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 101 | um 1886 | Victor Lwowski Maschinenfabrik und Eisengießerei Halle a.d. Saale | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 102 | um 1886 | Kroll & Busch Memeler Dampfmaschinen-, Kessel- und Lokomobilfabrik Memel (Ostpreußen) | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile | |
| 103 | 1889 | F. Wickerle Maschinenfabrik Prag (?) | Stehende Rauchrohrkessel. Stehende Einzylindermaschine. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile (?) | Auch Lok. mit liegenden Lokomotivkesseln und aufgesattelter Maschine gebaut. |
| 104 | 1889 | Epple und Buxbaum Vereinigte Fabriken landw. Masch. Augsburg | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Hoher Kesseldruck (bis 10 atm). Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell - Halblokomobile (?) | |
| 105 | 1890 | Arndt & Marichal Maschinenfabrik Aachen (Später: Aachener Dampfmaschinen-Fabrik) | Lokomobilbauarten nicht bekannt. Vermutlich: Stehkessel mit Dampfmaschinen als Antriebsmaschine. | Hersteller bekannt durch seine Dampfmaschinen. |
| 106 | 1890 | C. & E. Fein Maschinenfabrik Karlsruhe, Stuttgart | Herstellung fahrbarer Sondermaschinen mit Dampfmaschinen. Bauarten: - fahrbare Sondermaschinen | Sondermaschinen: - dampfgetriebene Beleuchtungswagen uam. |
| 107 | um 1890 | F. Zimmermann & Co. Fabrik landw. Maschinen Halle a.d. Saale | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 108 | um 1890 | O. & R. Wilberg Maschinenfabrik Magdeburg | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 109 | um 1890 | Moritz Jahr Maschinenbauanstalt, Eisengießerei & Kesselschmiede Gera | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 110 | um 1890 | Memeler Dampfmaschinen-, Kessel- und Lokomobilfabrik Memel (Ostpr.) | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 111 | um 1890 | Petzold & Co Maschinenfabrik, Eisengießerei und Kesselschmiede Berlin | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 112 | um 1890 | L. Schäfer Dampfmaschinen- und Lokomobilfabrik Halle a.d. Saale | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |

| | | | | |
|-----|---------|---|---|---|
| 113 | um 1890 | Joh. Petermann & Co Maschinenfabrik, Eisengießerei und Kesselschmiede Warendorf (Westf.) | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 114 | um 1890 | A. Horstmann Maschinen- und Dampfkesselfabrik Stargard | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 115 | um 1890 | H. & R. Lamberts Maschinenfabrik Aachen | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 116 | um 1890 | Gebr. Höcker Maschinenfabrik und Eisengießerei Budapest (Österr.-Ungarn) | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Kessel mit Rauchrückführung. |
| 117 | um 1890 | Hofherr und Schrantz Maschinenfabrik Wien | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 118 | um 1890 | Christiansen & Meyer Maschinenfabrik und Kesselschmiede Hamburg-Harburg | Ausführung nicht bekannt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 119 | um 1890 | Joh. G. Behrisch Eisengießerei und Maschinenfabrik Löbau | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 120 | um 1890 | M. Behahn Maschinenfabrik und Eisengießerei Schärding, Brunnenthal (Österr.) | Liegender Kessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 121 | um 1890 | Actienfabrik landw. Maschinen und Ackergeräte Regenwalde (Pommern) | Vermutlich: Lokomobil üblicher Bauart, nur wenige Maschinen gebaut. | |
| 122 | um 1890 | Assmann & Ketner Maschinenfabrik Cannstadt a. Neckar (später Assmann & Stockder) | Liegender Kessel, zyl. Feuerbüchse (ausziehbare Röhrenkessel). Meist Einzylindermasch., aufgesattelt. Vierrädrig. Bauarten: - fahrbare Lokomobile - Halblokomobile | Um 1893 auch Bau von fahrbaren Beleuchtungswagen. Kessel, Dampftrieb und Generator auf einem Rädergestell montiert. |
| 123 | um 1890 | Theodor Buschhoff Maschinenfabrik Ahlen in Westf. | Vermutlich: Lokomobil üblicher Bauart, nur wenige Maschinen gebaut. | Es ist nicht sicher, ob die Maschinen vollständig von Buschhoff gebaut worden sind. |
| 124 | um 1890 | H. Koetz Maschinenfabrik, Eisengießerei und Kesselschmiede Nicolai (Oberschlesien) | Ausführung und Bauart nicht bekannt. | |
| 125 | um 1890 | Th. Lindner Maschinenfabrik und Kesselschmiede Nauen | Ausführung nicht bekannt. Bauarten: - fahrbare Lokomobile - Halblokomobile | |
| 126 | 1892 | Max Orenstein Märkische Maschinenfabrik Schlachtensee bei Berlin | Liegender Kessel. (Lokomotivbauweise). Dampfmaschine aufgesattelt. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 127 | um 1895 | A. Niedlich & Co Maschinenfabrik und Eisengießerei Breslau | Ausführung nicht bekannt. Bauarten: - fahrbare Lokomobile | |
| 128 | 1896 | Schranz und Rodiger Maschinenfabrik Wien | Stehender Kessel. Hängende Einzyl.-Maschine seitlich am Kessel. Kurbelwellenlagerung auf gemeinsamer Grundplatte. Bauart: - Lok. auf nRädern (?) - Halblokomobile | „Kesseldampfmaschine“. Sehr einfache Rädergestelle. |
| 129 | um 1896 | Maschinenfabrik Badenia Weinheim (Baden) | Liegender Kessel. Dampfmaschine aufgesattelt. Große Leistungen. Bauart: - Lok. auf Rädern - Halblokomobile | Halblokomobile auch als Großmaschinen gebaut. |

| | | | | |
|-----------------|---------|---|--|---|
| 130 | um 1896 | Ernst Buchholz Maschinenfabrik (?) Berlin | Stehender Röhrenkessel. Stehende Compoundmaschine. Abdampfkondensation. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 131 | um 1900 | August Dauber Maschinenfabrik Jauer (Schlesien) | Vermutlich: Lokomobilen üblicher Bauart, nur wenige Maschinen gebaut. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | |
| 132 | um 1900 | Esterer A.G. Maschinenfabrik und Eisengießerei Altötting | Liegender Kessel in Lokomotivbauweise. Hoher Kesseldruck (bis 12 atm). Einzylindermaschine aufgesattelt. Vierrädriges Rädergestell. Bauart: - Lok. auf Rädergestell | Doppelschwungrad. Sehr kleine Vorderräder. |
| 133 | um 1902 | Th. Flöther Maschinenbauanstalt und Eisengießerei Gassen (Lausitz) | Liegender Lokomotivkessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Leistungen bis 24 PS. Bauart: - fahrbare Lokomobile | |
| 134 | um 1902 | A. Bauer Maschinenbauanstalt Cannstatt | Liegender Lokomotivkessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Bauart: - fahrbare Lokomobile | Vermutlich nur wenige Maschinen gebaut. |
| 135 | 1903 | Gebr. Hagedorn Maschinenfabrik Warendorf (Westf.) | Liegender Lokomotivkessel. Einzylindermaschine aufgesattelt. Bauart: - fahrbare Lokomobile | |
| 136 | um 1910 | King & Co Maschinenfabrik u. Kesselschmiede Zürich (Schweiz) | Kessel mit konischen Enden, Feuerbüchse annähernd zylindrisch, Verbundmaschine nicht aufgesattelt seitlich vorne, unter dem Kessel, Kessel nicht mittragend, tragendes Element: stabiler Rahmen | *Völlig eigenständige Konstrukt. Einsatzgebiet speziell für Walzarbeiten im Gebirge (bei Arbeiten in Steigungen und Gefällen bleibt die Feuerbüchse immer mit Wasser bedeckt). |
| Nachtrag | | | | |
| 137 | um 1870 | Berliner Union Maschinenfabrik u. Kesselschmiede Berlin | Liegender Lokomotivkessel, Ein- und Zweizylindermaschinen (aufgesattelt, 8 bis 20 PS), variable Expansion. | |
| | | | | |
| | | | | |

Anmerkung:

Einen guten Einblick in Situation der frühen einheimischen Hersteller von Lokomobilen und den technischen Besonderheiten der Maschinen bis Mitte der 1860er Jahre findet man bei: *Perels, E.: Die Fortschritte auf dem Gebiet des landwirthschaftlichen Maschinenwesens. Berlin 1865.* Perels hat in diesem Bericht den Stand der gezeigten Lokomobilen auf den ersten großen Maschinenausstellungen in Breslau, Stettin, Cöln und Dresden zusammengefasst. Diese Ausstellungen hatten zwar nicht den internationalen Charakter der großen Londoner Ausstellung 1862 oder den der Hamburger Ausstellung von 1863, aber die einheimischen Hersteller waren in großer Zahl erschienen. Perels konnte wegen der Fülle an Maschinen nur die namentlich nennen, die technisch herausragende Merkmale aufwiesen.

Das waren:

Borsig; Schwartzkopff; Hambruch, Vollbaum & Co; Henschel & Sohn; R. A. Wens & Co; Maschinenbaugesellschaft Carlsruhe; Bosson & Co; G. H. Ruffer; C. Schmidt & Co; M. Webers; Thomas & Laurens; H. F. Eckard; W. Trietsch & Co; J. Pintus & Co; Aurig & Gaul; M. Joachimsthal aus Frankfurt/O.; J. Soeding; Darmstädter Maschinen-Fabrik; Cölnische Maschinenbau-Actien-Gesellschaft; H. Jahn; C. Wischer; R. Wolf.

Zu einigen Maschinen enthält der Bericht auch detaillierte technische Angaben.

4.3 Gegenüberstellung einiger fahrbarer Lokomobilen

Die folgenden Gegenüberstellungen zeigen nur einen Ausschnitt aus dem sehr umfangreichen Feld der fahrbaren, zweiachsigen Lokomobilen mit „Lokomotivkesseln“. Es ist der Zeitraum 1916 bis etwa 1920 abgebildet. Die Datenlage ist nicht in allen Aspekten vollständig. Um einen besseren Vergleich zu ermöglichen, sind die einzelnen Informationen der Hersteller in Tabellen zusammengefasst worden.

In der **Tafel 4.3/1** ist eine Gegenüberstellung fahrbarer Lokomobilen von zwei englischen Herstellern mit einem einheimischen Hersteller, der Firma Henschel & Sohn, dargestellt. Die Lokomobilen hatten alle „Lokomotivkessel“ und aufgesattelte Maschinen. Die Feuerbüchse war zum Verfeuern eines großen Brennstoffspektrums bei allen vergrößert. Man bezeichnete diese Lokomobilen auch als Kolonialmaschinen. Der überwiegende Teil der Maschinen waren Satteldampfmaschinen. Einige Lokomobilen von Henschel besaßen einen Überhitzer. Auffällig ist, dass die Maschinen von Henschel ab den mittleren Leistungen (ca. 15 PSe) deutlich leichter waren. Ferner wird ein anderes Konstruktionsprinzip erkennbar. Bei den englischen Wettbewerbern waren die Drücke niedriger, die Drehzahlen deutlich geringer (bei einigen vergleichbaren Maschinen lagen sie bei der Hälfte) und die Zylinder entsprechend größer. Etwas verkürzt kann man zusammenfassen: die englischen Maschinen waren Langsamläufer, schwerer und teurer. Die einheimischen Maschinen waren leichtere Schnellläufer, und sie waren preiswerter. Auffällig ist ferner, dass diese Eigenschaften nicht durch Abstriche bei der Überlastsicherheit erreicht wurden, im Gegenteil. Bei einigen Maschinen lag die vorübergehende Höchstleistung die von der Lokomobile abgefordert werden konnte beim Doppelten der Normalleistung.

In der **Tafel 4.3/2** ist eine Auswahl an Maschinen von vier einheimischen Herstellern im Normalleistungsbereich von 11 bis 40 PSe dargestellt worden. Es handelt sich bei den Maschinen um Satteldampfausführungen. Auffällig ist bei fast allen Daten, dass sie relativ eng zusammenliegen. Die Maschinen von Lanz sind tendenziell schwerer gebaut als die der Wettbewerber. Die Maschinenfabrik von R. Wolf verfolgte bei ihren Lokomobilen einen etwas anderen Weg als die Konkurrenz. Die Drehzahlen waren höher, bei vergleichbarer Leistung waren die Zylinderabmessungen kleiner und die Maschinen waren leichter. Das machte sich in einem etwas geringeren Preis bemerkbar. Die Maschinen von Badenia waren im Vergleich zu den anderen Wettbewerbern im preislich oberen Segment. Aus dem einfachen Vergleich geht allerdings nicht hervor, dass Maschinen von Badenia auch vollständiger ausgestattet waren. Ein weiteres Merkmal der Lokomobilen von Wolf und Henschel war der etwas höhere Kesseldruck.

Anmerkung:

Interessant sind in den folgenden Tafeln die angegebenen Leistungswerte der Maschinen. Es war in der Praxis bei Lokomobilen in Deutschland üblich, die effektive (wirklich nutzbare) Leistung anzugeben. Da die Maschinen erheblich überlastet werden konnten, haben sich drei Angaben für die effektive Leistung eingebürgert:

- die Normalleistung (ununterbrochen abrufbare Leistung ohne besondere „Anstrengung“ der Feuerung),
- die größte Dauerleistung (ununterbrochen abrufbare Leistung mit besondere „Anstrengung“ der Feuerung),
- die vorübergehende Höchstleistung (zeitweise erreichbare Leistung mit intensiver Feuerung).

Bei englischen Maschinen waren andere Leistungsangaben üblich. Beispielsweise die Angabe einer „nominellen“ Leistung oder „effektiven“ Leistung. Sie wichen von den oben angegebenen Werten ab. Die unterschiedlichen Angaben führten des Öfteren zu Missverständnissen.

| Hersteller | Modell | Land | Leistung in effek. PS (PSe) | | | Leistung in PS nom. | Gewicht (netto) (kg) | Heiz- dampf (H) Satt- dampf (S) | Kessel- über- druck (kg/cm²) | Schwungrad | | Dreh- zahl n (U/min) | Zylinder- durch- messer d (mm) | Hub s (mm) | Preis (Pfund) |
|-------------|----------|------|-----------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|--------------------------------|--|---|-------------------------|--------------------|---------------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| | | | normal | größte Dauer- leistg. | vorüber- gehende Höchst- leistg. | | | | | Durchmesser (mm) | Breite (mm) | | | | |
| Robey | Orca b | GB | 6 | | 8 | 2,0 | 1980 | S | | 914 | 102 | 200 | 121 | 203 | 250,- |
| Clayton&Sh. | Aaronite | GB | 6 | 7,5 | 8,5 | 2,5 | 2130 | S | 8,4 | 1220 | 127 | 180 | 139 | 230 | 291,- |
| Robey | Orced | GB | 7 | | 10 | 2,5 | 2385 | S | | 1016 | 114 | 200 | 133 | 203 | 277,- |
| Henschel | SF01 | D | 7 | 9 | 12 | 3,0 | 2400 | S | 10 | 1050 | 130 | 280 | 115 | 160 | 270,- |
| Robey | Orchi | GB | 9 | | 12 | 3,0 | 2740 | S | | 1067 | 127 | 180 | 152 | 230 | 306,- |
| Clayton&Sh. | Abacus | GB | 8 | 9,5 | 10,5 | 3,0 | 2430 | S | 8,4 | 1220 | 127 | 180 | 158 | 230 | 325,- |
| Henschel | LF01 | D | 8 | 10 | 15 | 3,0 | 2600 | H | 10 | 1050 | 130 | 300 | 115 | 160 | 284,- |
| Robey | Oreik | GB | 12 | | 16 | 4,0 | 3350 | S | | 1220 | 152 | 160 | 178 | 254 | 347,- |
| Clayton&Sh. | Abatable | GB | 11 | 13 | 14,5 | 4,0 | 3300 | S | 8,4 | 1300 | 152 | 165 | 178 | 254 | 368,- |
| Henschel | SF01 | D | 10 | 13 | 17 | 4,0 | 2850 | S | 10 | 1050 | 160 | 280 | 130 | 180 | 294,- |
| Henschel | LF02 | D | 11 | 14 | 21 | 4,0 | 3050 | H | 10 | 1050 | 160 | 300 | 130 | 180 | 309,- |
| Robey | Orcol | GB | 14 | | 20 | 5,0 | 4320 | S | | 1370 | 178 | 160 | 191 | 254 | 376,- |
| Clayton&Sh. | Abaction | GB | 13,5 | 16 | 18 | 5,0 | 4000 | S | 8,4 | 1300 | 182 | 165 | 197 | 254 | 395,- |
| Henschel | SF1 | D | 13 | 17 | 24 | 5,0 | 3300 | S | 12 | 1150 | 180 | 250 | 140 | 200 | 319,- |
| Robey | Orcum | GB | 16 | | 24 | 6,0 | 4820 | S | | 1473 | 230 | 140 | 216 | 305 | 407,- |
| Clayton&Sh. | Abdicate | GB | 16 | 19 | 21 | 6,0 | 4300 | S | 8,4 | 1530 | 178 | 140 | 216 | 305 | 427,- |
| Henschel | LF1 | D | 15 | 20 | 27 | 5,0 | 3600 | H | 12 | 1150 | 180 | 280 | 140 | 200 | 338,- |
| Robey | Ordas | GB | 19 | | 28 | 7,0 | 5385 | S | | 1473 | 230 | 140 | 230 | 305 | 436,- |
| Henschel | SF2 | D | 16 | 21 | 32 | 6,0 | 3800 | S | 12 | 1150 | 200 | 250 | 150 | 220 | 339,- |
| Clayton&Sh. | Abdomen | GB | 18 | 22 | 25 | 7,0 | 4900 | S | 8,4 | 1530 | 178 | 140 | 230 | 305 | 461,- |
| Robay | Ordan | GB | 21 | | 32 | 8,0 | 5900 | S | | 1473 | 230 | 140 | 254 | 305 | 468,- |
| Henschel | LF2 | D | 20 | 26 | 35 | 6,0 | 4200 | H | 12 | 1150 | 200 | 280 | 150 | 220 | 364,- |
| Henschel | SF3 | D | 21 | 27 | 40 | 8,0 | 4600 | S | 12 | 1200 | 230 | 230 | 165 | 250 | 388,- |
| Clayton&Sh. | Abductor | GB | 24 | 28 | 31 | 8,0 | 5200 | S | 8,4 | 1530 | 178 | 140 | 254 | 305 | 493,- |
| Robey | Ordil | GB | 28 | | 40 | 10,0 | 7450 | S | | 1600 | 254 | 130 | 279 | 356 | 534,- |
| Henschel | LF3 | D | 26 | 34 | 46 | 8,0 | 5000 | H | 12 | 1200 | 230 | 270 | 165 | 250 | 418,- |
| Henschel | SF4 | D | 26 | 34 | 50 | 10,0 | 5395 | S | 12 | 1200 | 260 | 230 | 175 | 280 | 442,- |
| Clayton&Sh. | Abear | GB | 30 | 35 | 39 | 10,0 | 6150 | S | 8,4 | 1676 | 203 | 127 | 279 | 356 | 565,- |
| Robey | Ordorm | GB | 33 | | 48 | 12,0 | 8485 | S | | 1676 | 279 | 120 | 305 | 406 | 612,- |
| Henschel | SF5 | D | 32 | 42 | 58 | 12,0 | 6400 | S | 12 | 1300 | 300 | 220 | 185 | 300 | 492,- |
| Henschel | LF4 | D | 34 | 44 | 58 | 10,0 | 5795 | H | 12 | 1200 | 260 | 270 | 175 | 280 | 472,- |
| Clayton&Sh. | Abjectly | GB | 38 | 48 | 50 | 12,0 | 6800 | S | 8,4 | 1676 | 2003 | 227 | 305 | 356 | 653,- |
| Robey | Ordul | GB | 41 | | 60 | 15,0 | 11580 | S | | 1830 | 305 | 110 | 330 | 457 | 723,- |
| Henschel | LF5 | D | 44 | 54 | 70 | 12,0 | 6900 | H | 12 | 1300 | 300 | 270 | 185 | 300 | 526,- |
| Clayton&Sh. | Ajurat. | GB | 46 | 55 | 60 | 14,0 | 9100 | S | 8,4 | 1830 | 230 | 116 | 330 | 406 | 740,- |

Tafel 4.3/1: Gegenüberstellung fahrbarer Lokomobilen

Vergleich: Henschel-Maschinen mit einigen englischen

(Auswahl nach Unterlagen der Fa. Henschel & Sohn)

| Hersteller | Modell | Leistung in effek. PS (PSe) | | | Gewicht (kg) | Verbrauch je PSe und Stunde | | Heiz- fläche Kessel (m²) | Kessel- über- druck (kg/cm²) | Beanspruchung je m² Heizfläche bei größter Dauerleistung (kg/m² Std.) | Dreh- zahl n U/min) | Zylinder- durch- messer d (mm) | Hub s (mm) | Kolben- geschw. v (m/s) | $(d^2\pi/4) \cdot p \cdot s \cdot n$ (kgm/min) | Preis (Mark) |
|------------|--------|-----------------------------|-----------------------------|---|-----------------|--------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---|------------------------------|--|------------------|----------------------------------|---|-----------------|
| | | normal | größte Dauer- leistg. | vorüber- gehende Höchst- leistg. | | Dampf (kg) | Kohle (kg) | | | | | | | | | |
| Lanz | ZFC | 11 | 13 | 18 | 3600 | | | | 10 | | | | | | | 7140,- |
| Badenia | Decel | 12 | 16 | 24 | 3190 | | | | | | | | | | | 7160,- |
| Henschel | S1 | 12 | 16 | 22 | 3300 | 12,5 | 1,52 | 7,65 | 12 | 26,1 | 280 | 140 | 200 | 1,866 | 10,13 | 6700,- |
| Henschel | L1 | 14 | 18 | 25 | 3600 | 10,8 | 1,32 | 7,65 | 12 | 25,4 | 280 | 140 | 200 | 1,866 | 10,13 | |
| Badenia | Edel | 14 | 18 | 25 | 3400 | | | | 10 | | | | | | | 7520,- |
| Lanz | ZEC | 15 | 19 | 26 | 4400 | | | | 12 | | | | | | | 7950,- |
| Henschel | S2 | 16 | 21 | 32 | 3800 | 12,2 | 1,49 | 9,67 | 12 | 26,5 | 260 | 150 | 220 | 1,906 | 11,86 | 7300,- |
| Wolf | LF1b | 17 | 22 | 29 | 3800 | 12,1 | 1,6 | 9,72 | 10 | 17,4 | 300 | 140 | 260 | 2,600 | 11,75 | 7010,- |
| Henschel | L2 | 18 | 23 | 33 | 4100 | 10,5 | 1,28 | 9,67 | 12 | 25,0 | 260 | 150 | 220 | 1,906 | 11,86 | |
| Lanz | ZHC | 18 | 23 | 32 | 5350 | | | | 10 | | | | | | | 8555,- |
| Badenia | Gefel | 20 | 26 | 40 | 4400 | | | | | | | | | | | 8590,- |
| Henschel | S3 | 20 | 26 | 40 | 4600 | 12,0 | 1,47 | 11,82 | 12 | 26,4 | 250 | 165 | 250 | 2,082 | 15,63 | 8000,- |
| Wolf | LF2b | 21 | 27 | 36 | 4300 | 12,0 | 1,58 | 11,94 | 10 | 27,0 | 300 | 150 | 280 | 2,800 | 14,50 | 7575,- |
| Lanz | LQSC | 24 | 30 | 41 | 4800 | | | | 10 | | | | | | | 9400,- |
| Henschel | L3 | 23 | 30 | 42 | 4950 | 10,2 | 1,25 | 11,82 | 12 | 25,9 | 250 | 165 | 250 | 2,082 | 15,63 | |
| Badenia | Hegel | 25 | 32 | 42 | 4900 | | | | | | | | | | | 9500,- |
| Wolf | LF3b | 26 | 33 | 44 | 5000 | 11,9 | 1,57 | 15,05 | 10 | 26,0 | 300 | 160 | 300 | 3,00 | 17,64 | 8620,- |
| Henschel | S4 | 25 | 33 | 50 | 5400 | 11,8 | 1,44 | 14,16 | 12 | 27,5 | 250 | 175 | 280 | 2,336 | 19,70 | 8800,- |
| Lanz | LRSC | 28 | 35 | 50 | 5750 | | | | 10 | | | | | | | 10055,- |
| Henschel | L4 | 28 | 36 | 52 | 5800 | 10,0 | 1,22 | 14,16 | 12 | 25,4 | 250 | 175 | 280 | 2,336 | 19,70 | |
| Badenia | Kehel | 30 | 40 | 53 | 5500 | | | | | | | | | | | 10710,- |
| Wolf | LF4b | 33 | 40 | 54 | 5700 | 11,8 | 1,56 | 17,50 | 10 | 27,0 | 300 | 175 | 320 | 3,20 | 22,50 | 9580,- |
| Henschel | S5 | 30 | 40 | 60 | 6200 | 11,7 | 1,43 | 18,00 | 12 | 26,0 | 250 | 185 | 300 | 2,50 | 23,61 | 9500,- |
| Lanz | LTSC | 34 | 43 | 60 | | | | | 10 | | | | | | | 11565,- |
| Henschel | L5 | 38 | 50 | 65 | 6700 | 9,8 | 1,20 | 18,00 | 12 | 27,2 | 250 | 185 | 300 | 2,50 | 23,61 | |
| Lanz | LUSC | 40 | 50 | 70 | | | | | 10 | | | | | | | 13170,- |

Tafel 4.3/2: Gegenüberstellung fahrbarer Lokomobilen

Sattdampfmaschinen mit Lokomotivkesseln

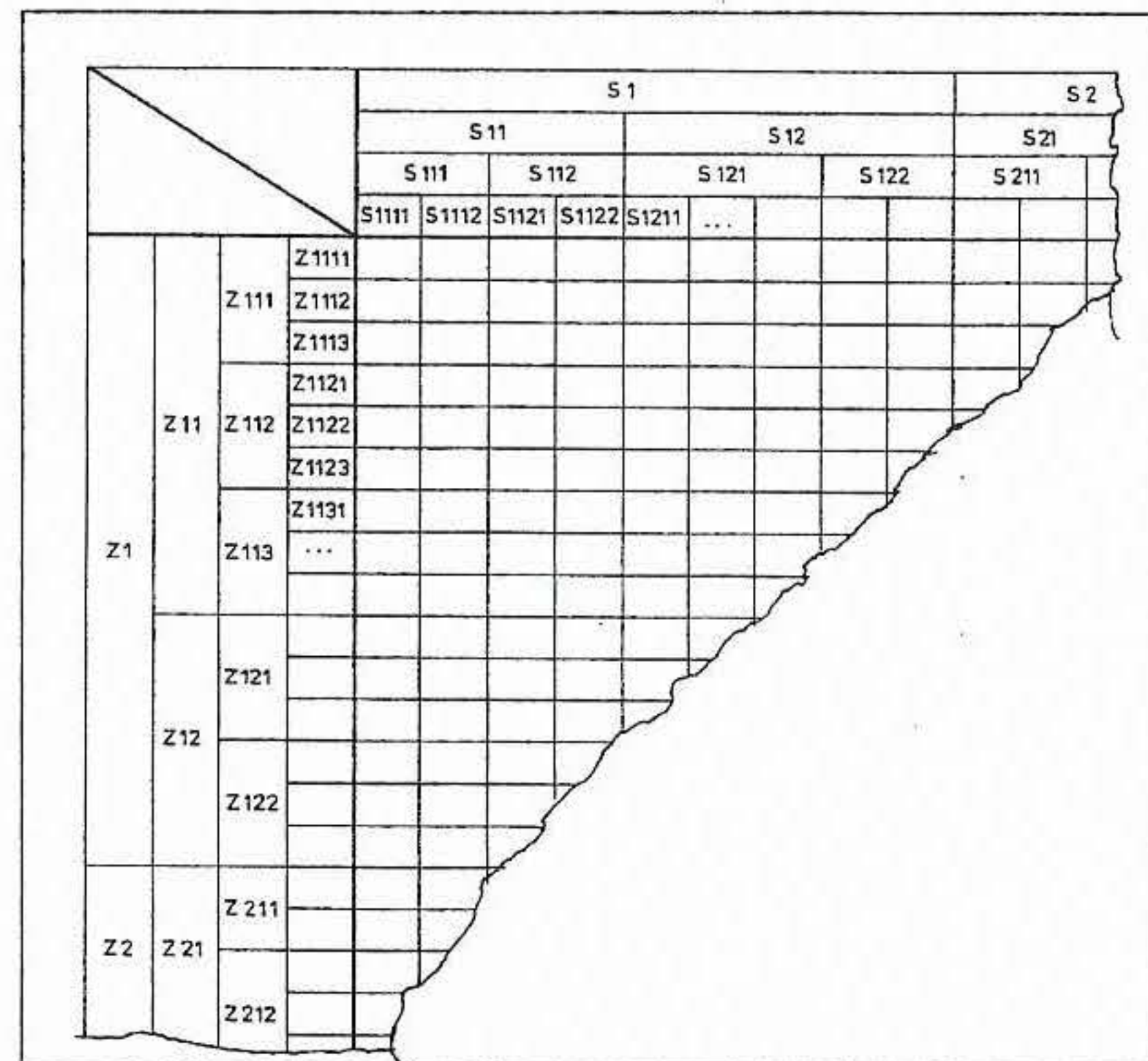
(Auswahl nach Unterlagen der Fa. Henschel & Sohn)

5. DIE MORPHOLOGIE DER ORTSVERÄNDERLICHEN KRAFTMASCHINEN UND LOKOMOBILEN

5.1 Vielfalt und Ordnung

Um eine Ordnung in die Fülle der bisher aufgeführten Maschinenarten und Ausführungsvarianten zu bringen ist eine systematische Strukturierung notwendig. Aus der historischen Literatur sind umfassende Ordnungssysteme bei Lokomobilen nicht bekannt. In einigen historischen Quellen werden Lokomobilen nach einzelnen technischen Ausführungsmerkmalen geordnet, beispielsweise nach Kesselbauarten, nach Art der Ortsveränderung, nach Anzahl der Fahrachsen u.a.m. Eine umfassende Übersicht ist damit allerdings nicht möglich. Die fehlende Ordnung ist verständlich, da praktisch im gesamten Entwicklungszeitraum immer weiter entwickelt worden ist und immer neue Varianten entstanden sind. Im Nachhinein ist dieses Ordnungssystem einfacher zu erstellen. Es bieten sich dabei die Verfahren der Morphologie an. Die Morphologie gestattet, umfangreiche Lösungsfelder nach festgelegten Kriterien zu strukturieren. Man kann morphologische Verfahren in zwei Bereichen anwenden. Zum einen als Problemlösungsverfahren. Dabei werden in einer mehrdimensionalen Matrix durch die Kombination unterschiedlicher Merkmalkategorien neue Lösungen generiert. Zum anderen, quasi als Umkehrung, wird in einem vorliegenden Variantenfeld durch eine Analyse gemeinsamer Merkmale ein morphologisches System gesucht. Beim zweiten Fall wird meist in einem zweidimensionalen Ordnungsschema, der morphologischen Matrix, gearbeitet. Die eine Dimension des Schemas, analog zur x-Achse in einem Koordinatensystem, bilden die Benennungen der Spalten. Man bezeichnet sie auch als „ordnende Gesichtspunkte für die Spaltenbenennung“. Die andere Dimension der Matrix, sie entspricht der y-Achse, bezeichnet die Zeilen und die „ordnenden Gesichtspunkte für die Zeilenbenennung“. Die einzelnen Parameter in den Dimensionen des Schemas können mehrstufig gegliedert werden. Bei komplizierten Strukturierungen, beispielsweise bei den Lokomobilen, ist das im Allgemeinen erforderlich.

Bild 5.1/1:
Grundprinzip einer
morphologischen Matrix
mit mehrstufiger
Parametergliederung.



Die Schwierigkeit besteht nun darin, die Merkmale in beiden Dimensionen so zu wählen, dass alle realisierten (und denkbaren) Lösungen in dem Schema eindeutig erfasst werden. Da jedes Feld eines morphologischen Schemas eine eindeutige Lösungskombination repräsentiert, sind in den beiden Dimensionen unterschiedliche, sowie geeignete und umfassende Parameterarten zu wählen. Bei der Fülle allgemeiner und technischer Merkmale der Lokomobilen ist das schwierig. Einige Parameter scheiden aus methodischen Erwägungen schon zu Beginn aus. Beispielsweise scheidet als Ordnungsmerkmal das unterschiedliche Einsatzgebiete der Maschinen aus. Eine Strukturierung nach den Einsatzgebieten der Lokomobilen hätte zwar einen besonderen Reiz, aber eine eindeutige Zuordnung ist damit nicht möglich. Lokomobilen zeichneten sich durch ihre Einsatzflexibilität aus. Ähnliche Probleme gäbe es bei einer Strukturierung nach Maschinenleistungen. Auch hier sind die Überschneidungen sehr groß. Lokomobilen mit liegendem Kessel und aufgesattelter Maschine gab es beispielsweise von den kleinsten Leistungen bis zu den größten Halblokomobilen mit Leistungen um 1000 PS. Bei den „Lokomobilen“ mit sehr kleiner Leistung weichen die technischen Konzeptionen deutlich von den üblichen Lokomobilen ab. Zwar sind diese Maschinen, also die vielen Hausmaschinen, die mobilen Gewerbemaschinen u.ä. in ihrem prinzipiellen Aufbau vergleichbar mit ihren großen Verwandten, sie sind allerdings viel einfacher im Aufbau. Das betrifft alle Merkmale, von den Maschinenausführungen, den Kesselbauarten usw. Die Ordnungsparameter müssen systematisch entwickelt werden.

Anmerkung:

Das Wort Morphologie ist aus dem Griechischen abgeleitet. Im allgemeinen Sprachgebrauch bezeichnet der Begriff die Lehre von den Formen und ihren Ordnungen, ihren Bildungen und Umbildungen. In der Heuristik und Technik hat der Begriff Mitte der 40er Jahre des 20. Jahrhunderts im Zusammenhang mit den Lehren des Schweizer Fritz Zwicky Eingang gefunden. Zwicky beschäftigte sich allgemein mit der Gestalt und Struktur von Problemfeldern. Komplexe Probleme haben nie nur eine Lösung. Eines seiner Ziele war die systematische Lösung von Problemen durch Ermittlung möglichst aller sinnvollen Lösungen und die rationale Auswahl der besten. Die Verfahren der Morphologie haben breiten Eingang als Kreativitätstechniken und als Hilfen bei der Lösung von Problemen gefunden. Charakteristisch für die Morphologischen Verfahren sind Ordnungsschemata mit Merkmalhierarchien, die abstrakt durch deutlich unterschiedliche Kategorien eine Lösungsmatrix oder einen Lösungsraum bilden. Der Prozess ist der einer Synthese. In diesem Kapitel wird der umgekehrte Weg benutzt. Eine große Lösungsvielfalt ist gegeben, die ordnenden Gesichtspunkte, die systematische Struktur wird gesucht. Der Prozess ist der einer Analyse.

5.2 Ordnungsparameter des morphologischen Systems

5.2.1 Allgemeine Ordnungsparameter der Lokomobilen und anderer ortsveränderlicher Kraftmaschinen

Unabhängig davon, ob die einzelnen Parameter als „ordnende Gesichtspunkte für die Spaltenbenennung“ oder für die „Zeilenbenennung“ verwendet werden, können die bisher erkennbaren Merkmale der Lokomobilen in Parametergruppen geordnet werden. Aus diesen Gruppen werden später die Dimensionen des morphologischen Systems abgeleitet.

1. Parametergruppe: Art der Ortsveränderung
 - zerlegbar, in einzelnen Teilen oder Baugruppen transportierbar, (Diese Vorform der ortsveränderlichen Kraftmaschinen wird hier nicht betrachtet.)
 - selbstfahrende Lokomobilen (Hilfsantrieb der Räder),
 - nicht selbstfahrende, aber fahrbare Lokomobilen für den Gespannzug, Vorspann mit Zugmaschine u. a. m.,
 - verschiebbar, ziehbar auf z. B. Kufengestellen (spätere Bezeichnung: Halblokomobilen),
 - versetzbar mit mechanischen Hilfsmitteln (spätere Bezeichnung: Halblokomobilen),
 - tragbar durch Personen.
2. Parametergruppe: Anzahl der Achsen (bei fahrbaren Ausführungen)
 - einachsige Lokomobilen,
 - zweiachsige Lokomobilen.
3. Parametergruppe: „Lenkbarkeit“ bei fahrbaren Lokomobilen (bei zweiachsiger Ausführg.)
 - lenkbar (durch bewegliches Vordergestell/Drehgestell),
 - nicht lenkbar (kein Vordergestell).
4. Parametergruppe: Art und Umfang der Baueinheit
 - Maschine und Kessel (und Fahrwerk) eine Einheit,
 - Maschine, Kessel und Arbeitsmaschine eine Einheit,
 - Kessel und Maschine getrennt (jeder Teil ortsveränderlich),
 - Kessel ein Teil, Maschine und Arbeitsmaschine ein Teil (jeder Teil ortsveränderlich),
 - Kessel und Maschine in mehreren Teilen ortsveränderlich,
 - Kessel und Maschine in Einzelteilen (oder mehreren Baugruppen) ortsveränderlich,
 - Sonderbauarten.
5. Parametergruppe: Art des „Fahrwegs“ bei fahrbaren Lokomobilen
 - Fahren auf Straßen und Wegen,
 - Fahren auf Gleisen,
 - kombiniert oder sonstige Fahrbahnen.
6. Parametergruppe: Technischen Grundbauart (Package der Lokomobile)
 - Lokomobilen mit Traggestellen, liegende Kessel nicht mittragend, Maschine auf dem Kessel, seitlich, vorne oder hinten am Kessel,
 - Lokomobile mit Traggestellen, stehen. Kessel nicht mittragend, Maschine seitlich, vorne oder hinten am Kessel,
 - Lokomobilen mit tragenden, liegenden Kesseln und aufgesattelten Maschinen,
 - Lokomobilen mit tragenden, liegenden Kesseln und vorne, seitlich oder hinten liegenden Maschinen,
 - Lokomobilen mit tragenden, liegenden Kesseln und unter dem Kessel liegenden Maschinen,
 - Lokomobilen mit stehenden Kesseln und am Kessel angebauten stehenden (hängenden) Maschinen,
 - Lokomobilen mit stehenden Kesseln und auf dem Kessel angeordneten Maschinen,
 - Lokomobilen mit stehenden Kesseln und auf dem Kesselsockel unterschiedlich angeordneten Maschinen,
 - Lokomobilen mit „im Kessel“ integrierten Maschinen,
 - Lokomobilen mit schnellverdampfenden Kessel und schnelllaufenden Dampfmaschinen,
7. Parametergruppe: Kesselbauarten
 - liegender Heizrohrkessel (Rauchrohrkessel),
 - liegender Heizrohrkessel mit Feuerbüchse, Lokomotivkessel,
 - liegender Flammrohrkessel,
 - Sonderbauarten liegender Kessel (z. B. mit rückkehrenden Zügen u. a. m.),
 - stehender Heizrohrkessel,
 - Sonderbauarten stehender Kessel,
 - Wasserrohrkessel,
 - Schnellverdampfer,
 - Sofortverdampfer,
 - Sonderbauarten.

8. Parametergruppe: Art der Feuerung
 - Vorfeuerung mit Planrost (z. B. Feuerkiste vor dem Kessel angeordnet),
 - Vorfeuerung mit Treppenrost (z. B. selbsttätige Beschickung u. ä.),
 - Vorfeuerung für besondere Brennstoffe (z. B. selbsttätige Beschickung für Strohfeuerungen u. ä.),
 - Vorfeuerungen für automatischen Betrieb
 - Innenfeuerung mit Planrost (z. B. im Kessel liegende Flammrohre mit Planrost u. ä.)
 - Innenfeuerung mit Treppenrost (z. B. selbsttätige Beschickung u. ä.),
 - Innenfeuerungen für besondere Brennstoffe (z. B. für Strohfeuerungen u. ä.),
 - Kombinierte Feuerungen, Sonderformen.
9. Parametergruppe: Art des Brennstoffs
 - Feste Brennstoffe,
 - Flüssige Brennstoffe,
 - Gasförmige Brennstoffe.
10. Parametergruppe: Technischen Merkmalen der Dampfmaschinen
 - Einzylindermaschinen (einfach wirkend, doppelt wirkend),
 - Mehrzylindermaschinen (einfach wirkend, doppelt wirkend),
 - Verbundmaschinen,
 - Oszillierende Maschinen (unterschiedlichste Bauarten),
 - Dampfmaschinen, Schnellläufer,
 - Sonderbauarten,
 - Flachschiebersteuerung,
 - Rundschiebersteuerung,
 - Ventilsteuerung,
 - u. a. m.
11. Parametergruppe: Form der Abgabe der Nutzleistung
 - mechanisch über Riementrieb,
 - mechanisch über Seiltrieb,
 - mechanisch über eine Winde,
 - mechanisch über Gelenkwelle,
 - andere mechanische Übertragungen,
 - Abgabe von Dampf (Prozessdampf u. ä.),
 - Kombinationen: mechanische Energie und Dampf.
11. Parametergruppe: Höhe der Leistung
 - Klein-Kraftmaschinen,
 - Gewerbemaschinen (mittlere Leistungen),
 - Übliche Lokomobilen (mittlere und höhere Leistungen),
 - Übliche Halblokomobilen (hohe Leistungen),
 - Groß-Lokomobilen (sehr hohe Leistungen bis ca. 1000 PS).
12. Parametergruppe: Verwendungszweck, Einsatzgebiet
 - Landwirtschaft,
 - Forstwirtschaft,
 - usw. (nicht abgrenzbar).

Es gibt noch einige andere Gliederungsgesichtspunkte. Aus dieser Fülle muss durch geschickte Wahl ein einfaches, eindeutiges, zweidimensionales Ordnungssystem entwickelt werden. Es muss probiert werden, ob die versuchte Variante alle Bauarten ortsveränderlicher Kraftmaschinen und Lokomobilenbauarten erfassen kann.

Die Feinheit der Strukturierung in beiden Dimensionen des morphologischen Systems der Lokomobilen kann sehr weit getrieben werden. Allerdings wird das System dann sehr unübersichtlich und eine Vielzahl an Lösungsfeldern wird nicht besetzt, da die definierten Maschinen keinen oder nur geringen Nutzwert besitzen. Hier soll bewusst auf letzte Feinheit verzichtet werden. Es reicht für die Zwecke dieses Buches, aus der vorgefundenen Vielfalt in die wesentlichen Ausführungsgruppen zu extrahieren.

5.2.2 Ordnende Gesichtspunkte für die Spaltenbenennung

Als geeigneter Parameter hat sich nach einigen Versuchen die „Art der Ortsveränderung“, die Art und Weise, wie die „Mobilität“ der Lokomobile erreicht wird, herausgestellt. Im Folgenden werden die einzelnen Parameter kurz erläutert und eine typische Ausführung anhand eines Beispiels dargestellt.

1. Ortsveränderung durch selbstfahrende Lokomobile

Bei Lokomobilen, die häufig den Einsatzort wechseln mussten und bei denen die Entfernungen von einem Einsatzort zum nächsten nicht groß waren, setzte man auch selbstfahrende Maschinen ein. Die Möglichkeit zum Selbstfahren auf Wegen und in leichtem Gelände ist meist durch einen einfachen Hilfsantrieb erreicht worden. Ein Rad wurde angetrieben. Dieser Hilfsantrieb reichte zum Fahren kurzer Strecken und zum Manövrieren aus. Die Lokomobile war bei der „Ortsveränderung“ nicht auf die Hilfe von Gespannen angewiesen. Größere Entfernungen mussten allerdings mit Hilfe eines Vorspanns (Zugtiere oder Schlepper) zurückgelegt werden.

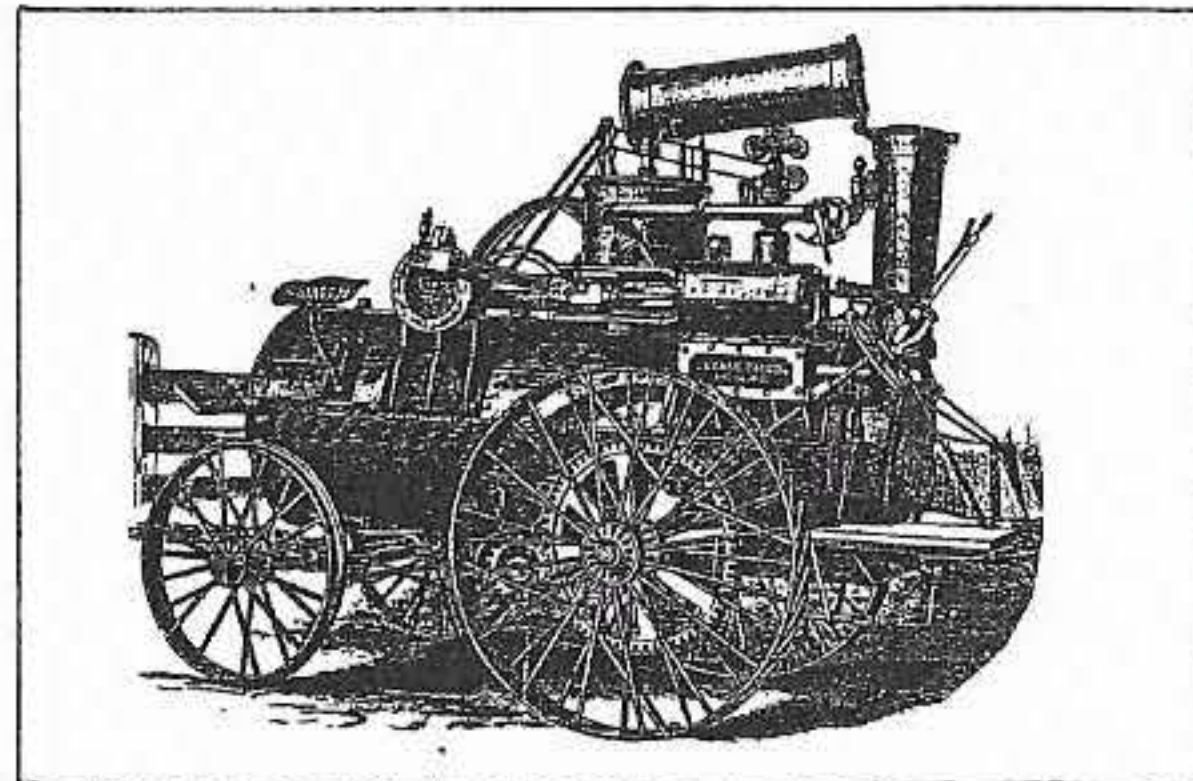


Bild 5.2.2/1:
Lokomobile mit Hilfsantrieb

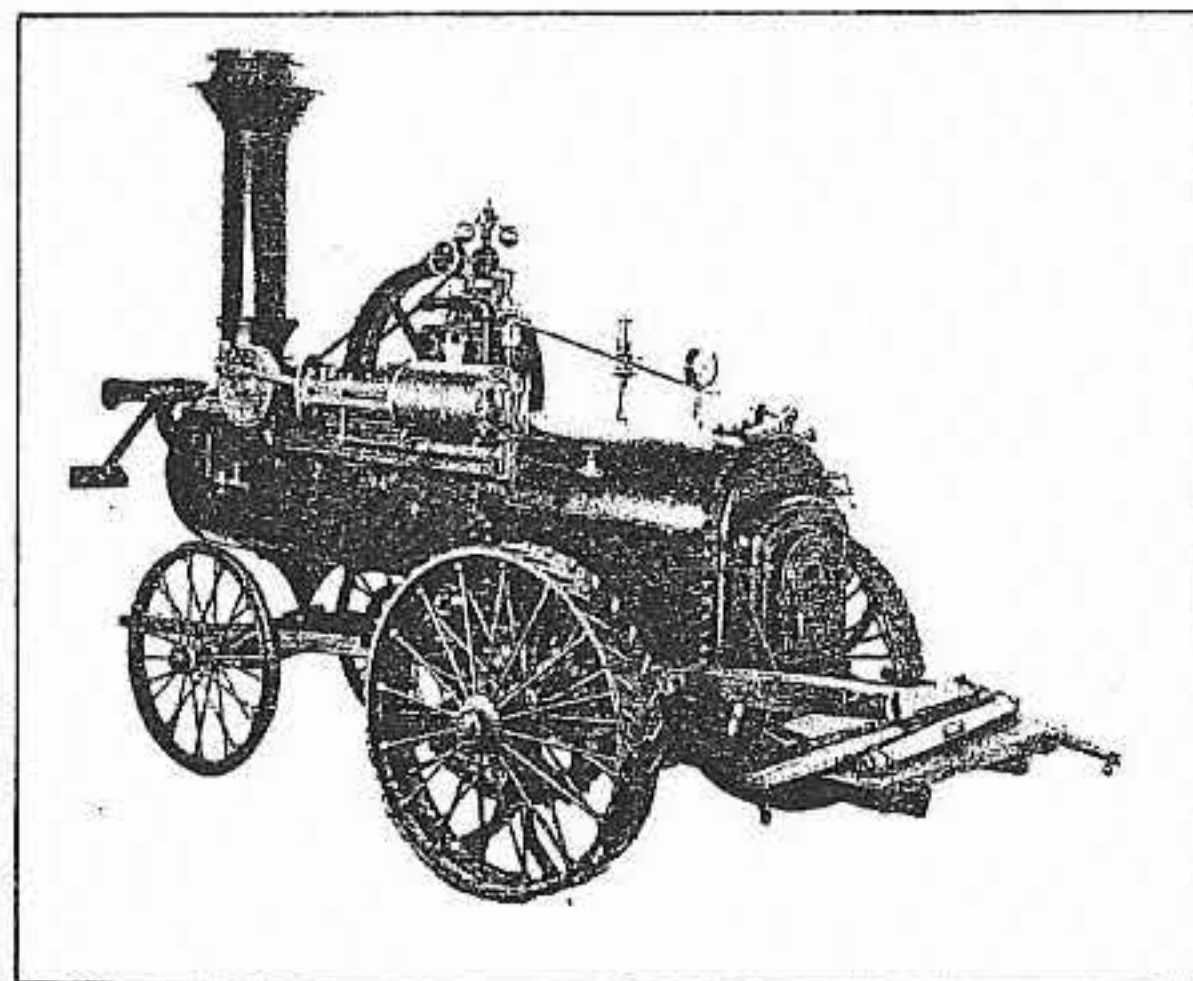


Bild 5.2.2/2:
Grenzfall: „Lokomobile“ mit Hilfsantrieb
(zum Fahren längerer Strecken war die Maschine nicht geeignet, es fehlten sowohl der Wasservorrat als auch der Vorrat für das Brennmaterial)

2. Ortsveränderung durch Verfahren der Lokomobile mit Hilfe eines Vorspanns

Diese nicht selbstfahrenden Maschinen wurden bei häufig wechselndem Einsatzort eingesetzt, wenn die Entfernungen größer waren. Sie waren ein- oder zweiachsig, hatten stehende oder liegende Kessel. Die zweiachsigen Maschinen mit liegendem Kessel stellen die übliche Bauweise bei Lokomobilen dar. Nicht alle besaßen eine Lenkung. Als Vorspann kamen im Allgemeinen Zugtiere zum Einsatz, später auch Zugmaschinen aller Art. Die Lokomobilen konnten auf Wegen, Chausseen, festen Hallenböden und im Gelände bewegt werden. Es sind in einer Vielzahl an Ausführungen gebaut worden.

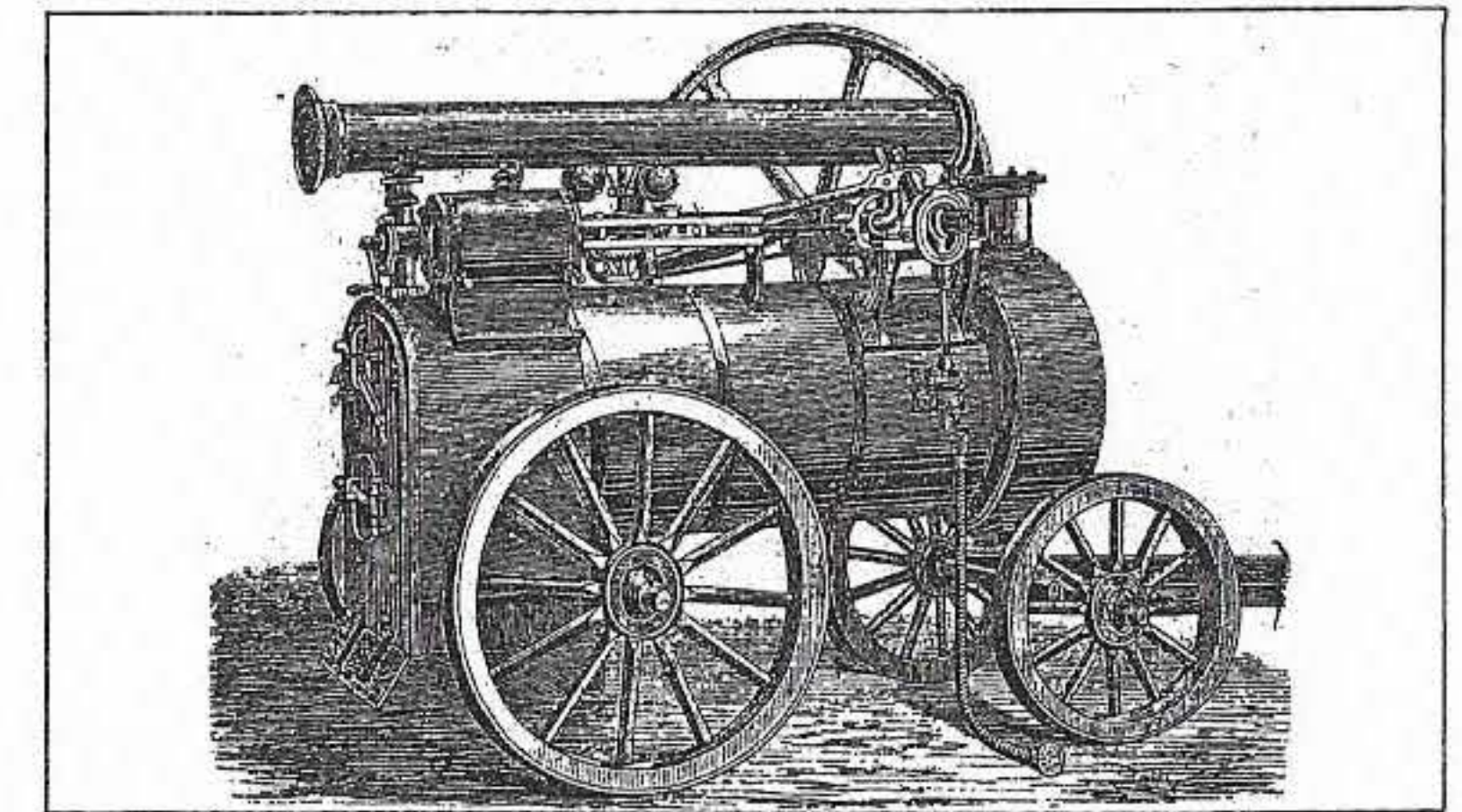


Bild 5.2.2/3:
Fahrbare Lokomobile
üblicher Bauart

3. Ortsveränderung durch Verfahren der Lokomobile auf Gleisen

Anstelle eines komplizierten Rädergestells sind Lokomobilen auch mit einfachen Laufrädern für den Betrieb auf Gleisen ausgestattet worden. Sie kamen vorwiegend in Handels- und Industriebetrieben zur Anwendung, wenn ein eigenes Gleissystem vorhanden war. Sehr häufig besaßen die Maschinen Stehkessel und stehenden Dampfmaschinen.

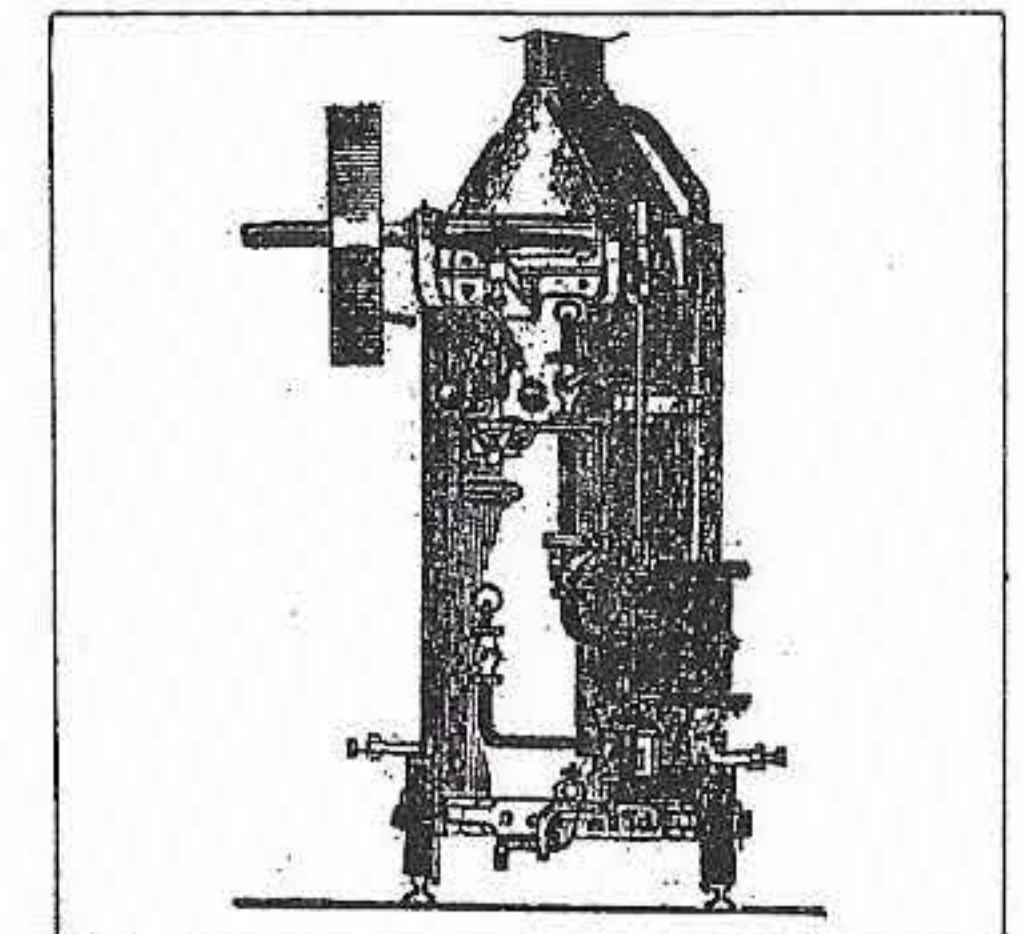


Bild 5.2.2/4: Auf Schienen fahrbare Lokomobile
(Kesseldampfmaschine) mit Stehkessel

4. Ortsveränderung durch Verschieben der Lokomobile

Wenn die Ortsveränderung sehr selten notwendig und die Entfernungen zum nächsten Einsatzort sehr gering war, dann verzichtete man oft auf die aufwendigen Fahrgestelle. Die Einheit aus Dampfmaschine und Kessel ruhte auf einem stabilen Kufengestell. Über kurze Entfernungen konnte die Lokomobile mit einem Vorspann (Zugtiere oder Zugmaschine) auf geeigneten Wegen gezogen werden. Aus historischer Sicht entsprach das dem Prinzip der alten „Schleifen“ bzw. des „Schlittens“. In schwierigen Passagen legte man „Rollhölzer“ unter die Kufen. Die übliche Bezeichnung für diese Ausführung war „Halblokomobile“.

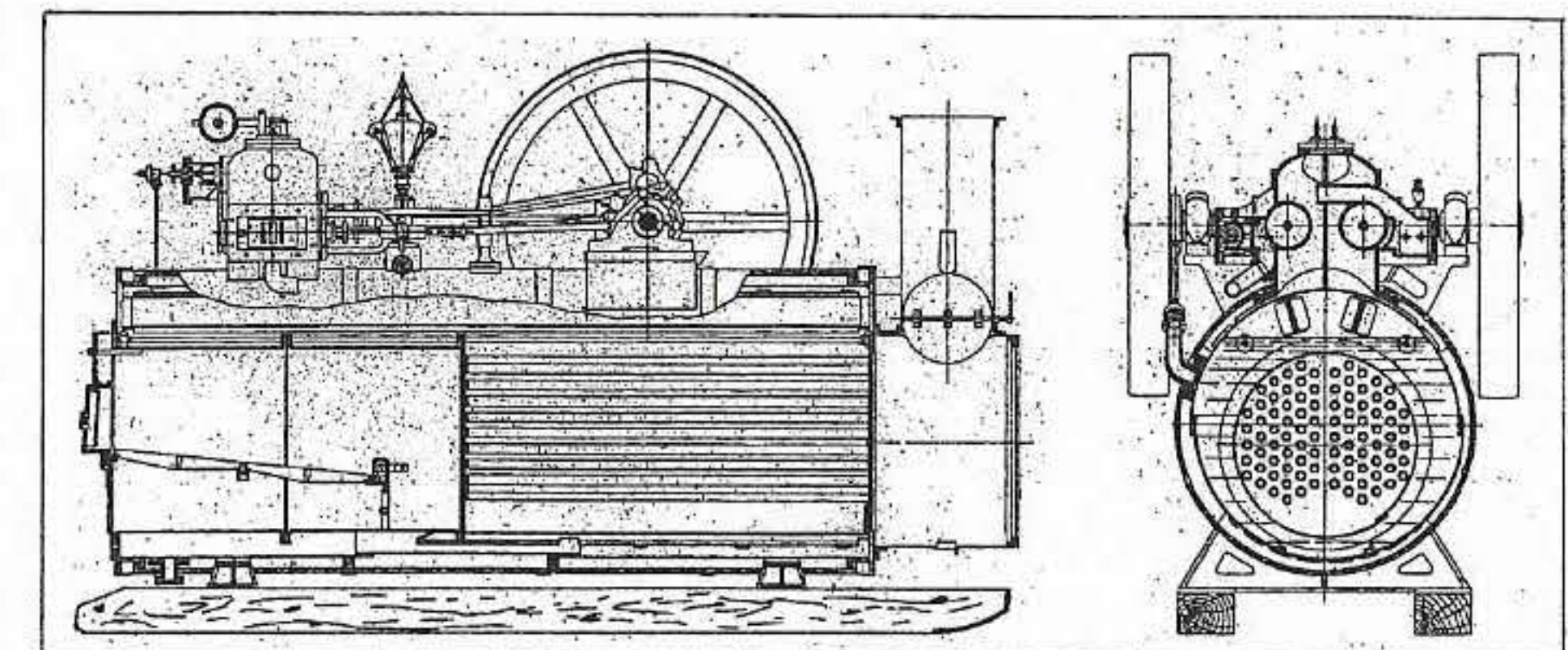


Bild 5.2.2/5:
Lokomobile
auf Kufengestell

5. Ortsveränderung durch Versetzen der Lokomobile (mit mechanischen Hilfsmitteln)

Bei versetzbaren Maschinen kam eine Ortsveränderung selten vor. Die Lokomobile stand auf einzelnen Füßen, einem Rahmengestell oder einem Sockel. Zur Ortsveränderung benötigte man mechanische Hilfsmittel. Die Lokomobile wurde mit Hebezeugen angehoben, auf einen Schwerlastanhänger gesetzt und zum neuen Einsatzort beförderte. Sie werden in der Literatur üblicherweise als „Halblokomobilen“ oder „Industrielokomobilen“ bezeichnet. Maschinen mittlerer Leistung benötigten meist kein gesondertes Fundament. Größere Halblokomobilen benötigten zum Betrieb besondere Fundamente mit entsprechenden Unterflurbereichen.

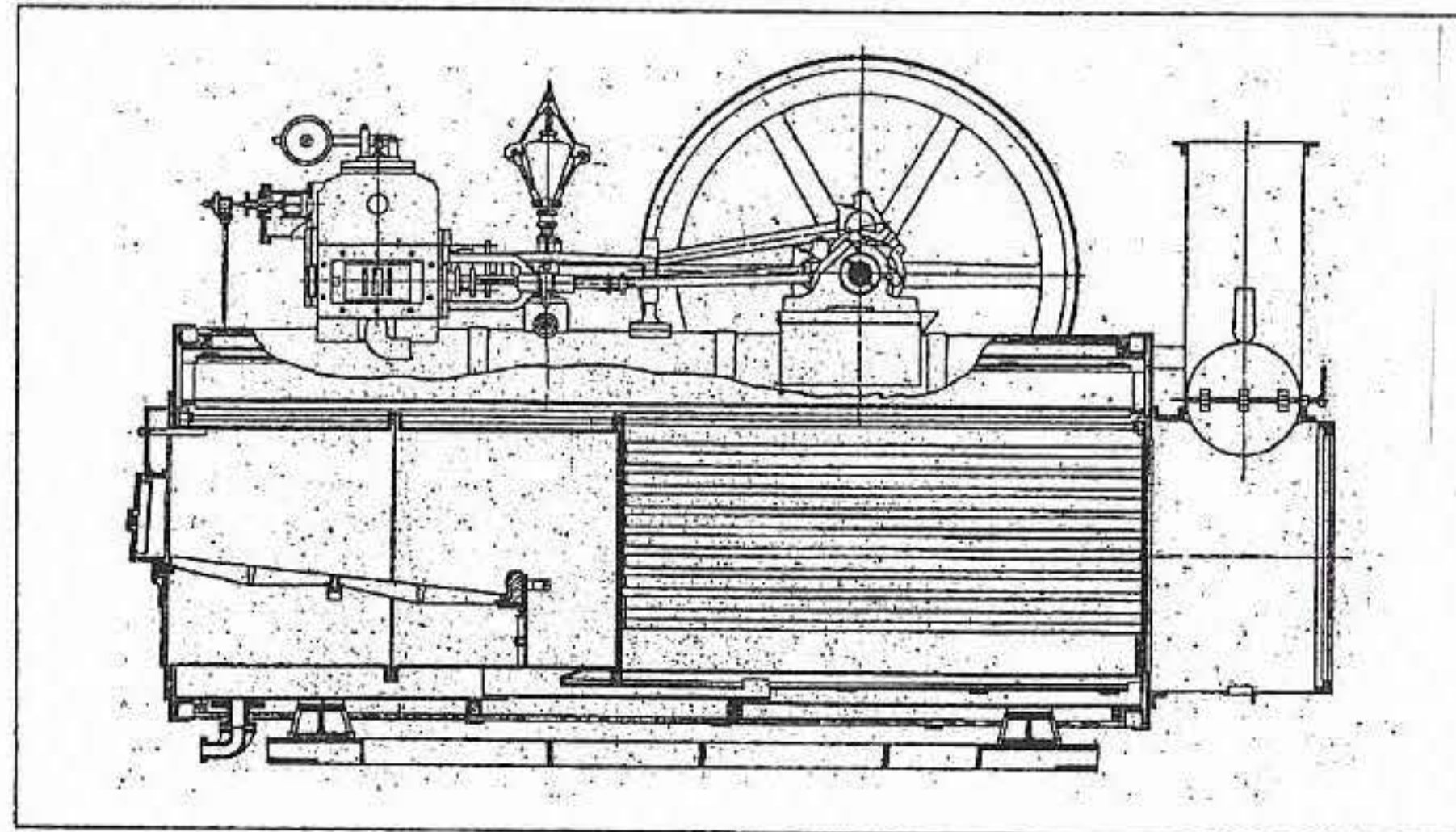


Bild 5.2.2/6:
Lokomobile
auf Rahmengestell

6. Ortsveränderung durch Tragen der Lokomobile (durch Personen)

Diese Form der „Lokomobilen“ ist bei dampfgetriebenen Kraftmaschinen sehr kleiner Leistung eingesetzt worden. Die übliche Bezeichnung für diese Ausführung war „Hausmaschine“ oder „Klein-Dampfmaschine“. Zur Ortsveränderung wurden zwei bis vier Personen benötigt. Viele dieser „Hausmaschinen“ besaßen schnellverdampfende Kessel und eine Feuerung mit flüssigen Brennstoffen. Die Heizgase konnten über ein Ofenrohr abgeleitet werden.

Anmerkung:

Der Begriff „tragbar“ im Zusammenhang mit ortsveränderlichen Kraftmaschinen wurde in der zeitgenössischen Literatur sehr weit gefasst. Beispielsweise wurde um 1870 die unten abgebildete „Halblokomobile“ als tragbar bezeichnet. Der Begriff betraf wahrscheinlich mehr die einfache Art der Aufstellung als das Gewicht.

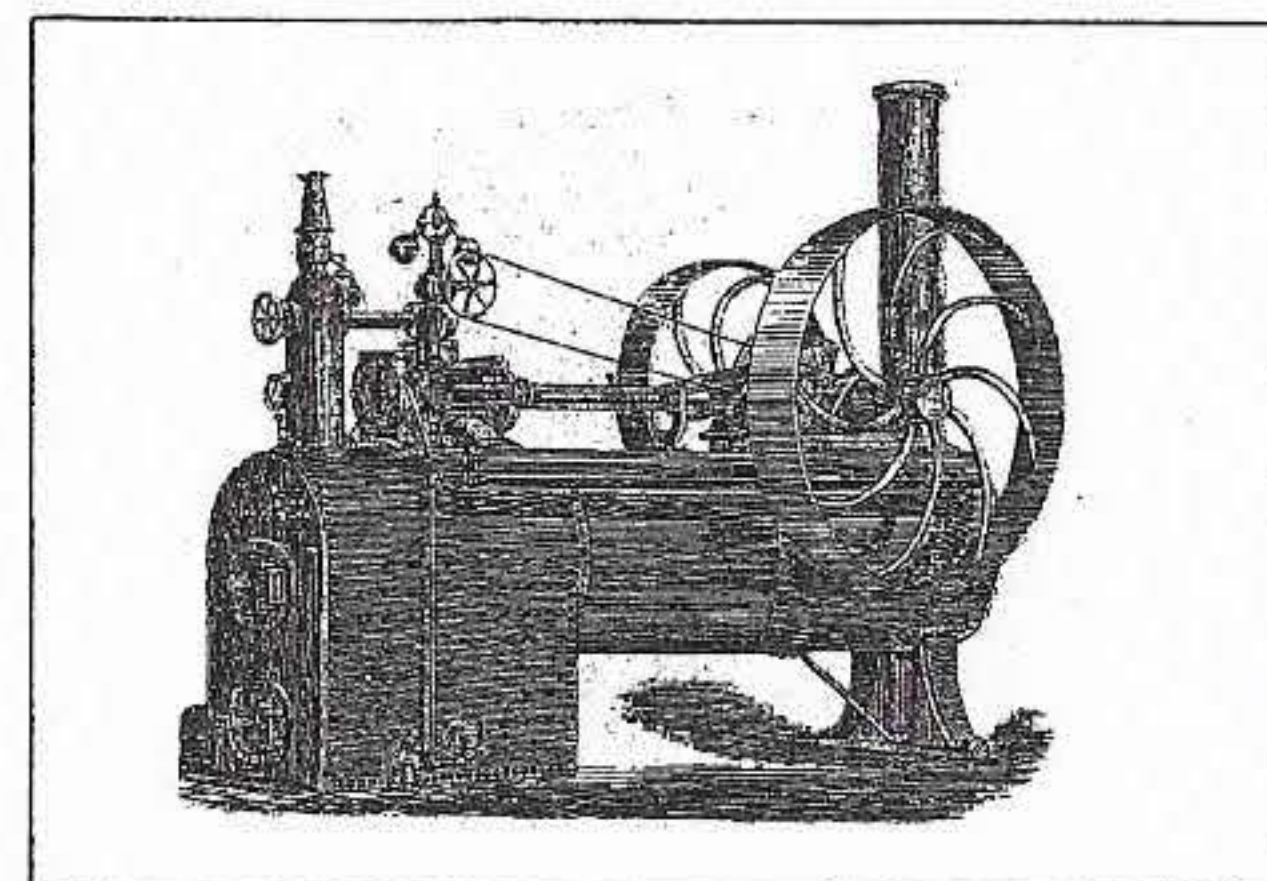


Bild 5.2.2/7:
„Tragbare“ Lokomobile um 1870
(heute übliche Bezeichnung:
Halblokomobile)

Bemerkung:

Die verschiedenen Arten der Ortsveränderung findet man, mit einiger Verzögerung, auch bei „Lokomobilen“ mit anderen Antriebsenergien, beispielsweise den verfahrbaren Kraftmaschinen mit elektrischen Antrieben oder denen mit Explosionsmotoren. Das folgende Beispiel zeigt eine große „Lokomobile“ der Motorenfabrik Oberursel (Oberursel b. Frankfurt) mit Antrieb durch einen Explosionsmotor. Die Maschine war nicht nur in der Lage, mit eigener Kraft kleinere Distanzen zurückzulegen, sondern auch größere Entfernungen. Sie konnte als Zugmaschine eingesetzt werden und als stationäre Kraftmaschine für beliebige Antriebsaufgaben. Der Antrieb der Arbeitsmaschinen erfolgte, wie bei Lokomobilen üblich, durch einen Riementrieb. Des Weiteren bestand die Möglichkeit, mit Hilfe eines leistungsstarken Seiltriebs Bodenkulturarbeiten im „indirekten Gang“ durchzuführen. Die schwere Maschine lief dabei nicht über den Acker, sondern zog ein Bodenkulturgerät mit dem Seil. Als Zugmaschine war sie auch auf wenig befestigten Wegen und beliebigem, festem Untergrund einsetzbar. Raddurchmesser und Radbreite waren entsprechend ausgelegt. Angetrieben wurden die hinteren Räder. Sie besaßen aufgesetzte Leisten als Traktionshilfen. Das gesamte Fahrgestell war so stabil gebaut, dass beispielsweise auch Seilkräfte quer zur Fahrtrichtung aufgenommen werden konnten.

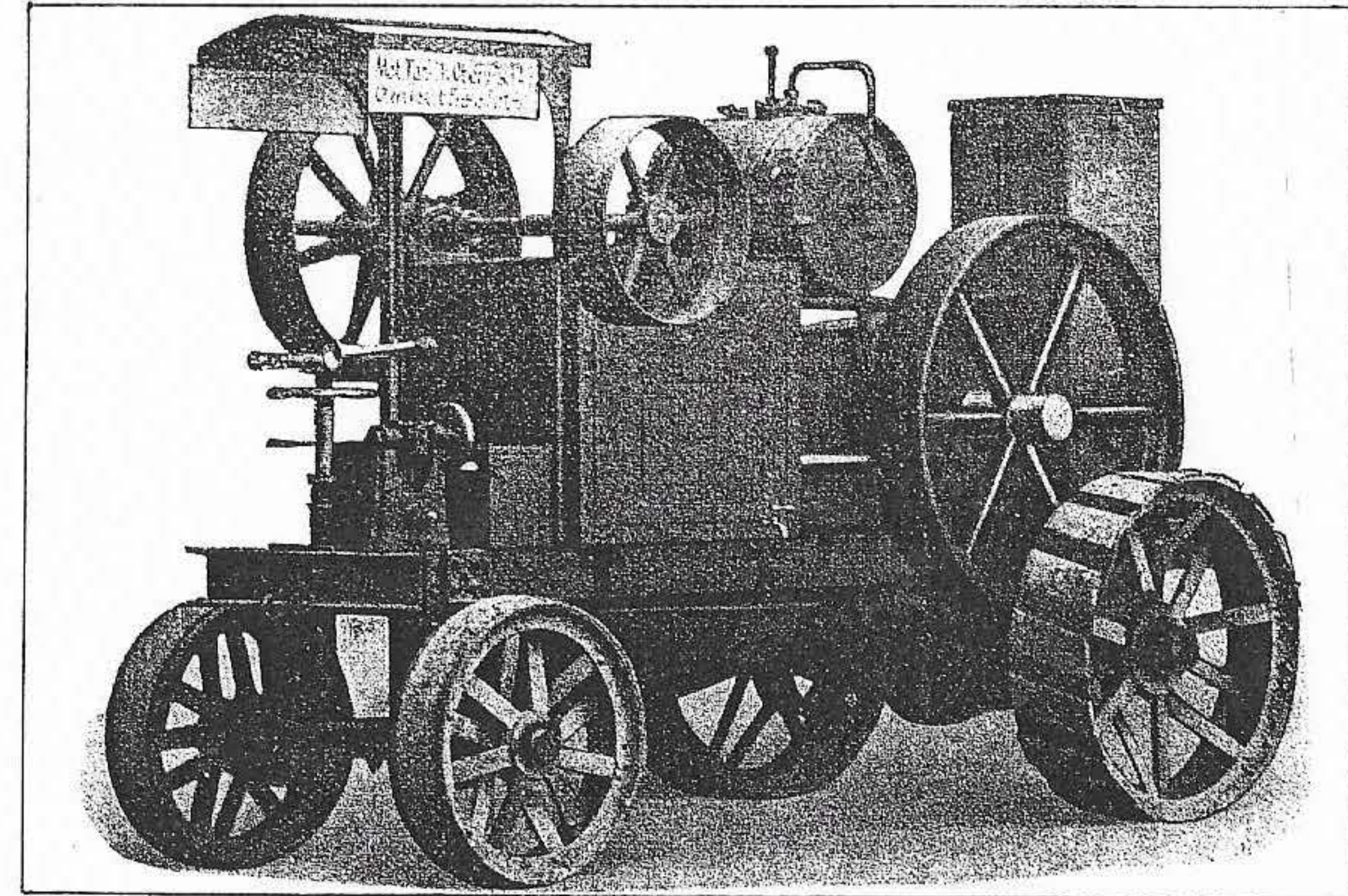


Bild 5.2.2/8: „Lokomobile“ der Oberurseler Motorenfabrik (um 1906)

Eine leichte „Lokomobile“ für den Gespannzug zeigt das nächste Bild. Diese „Motorlokomobile“ vom Typ „GNOM“ hatte einen einzylindrigen Petroleummotor. Die Arbeitsmaschinen wurden über einen Riementrieb angetrieben.

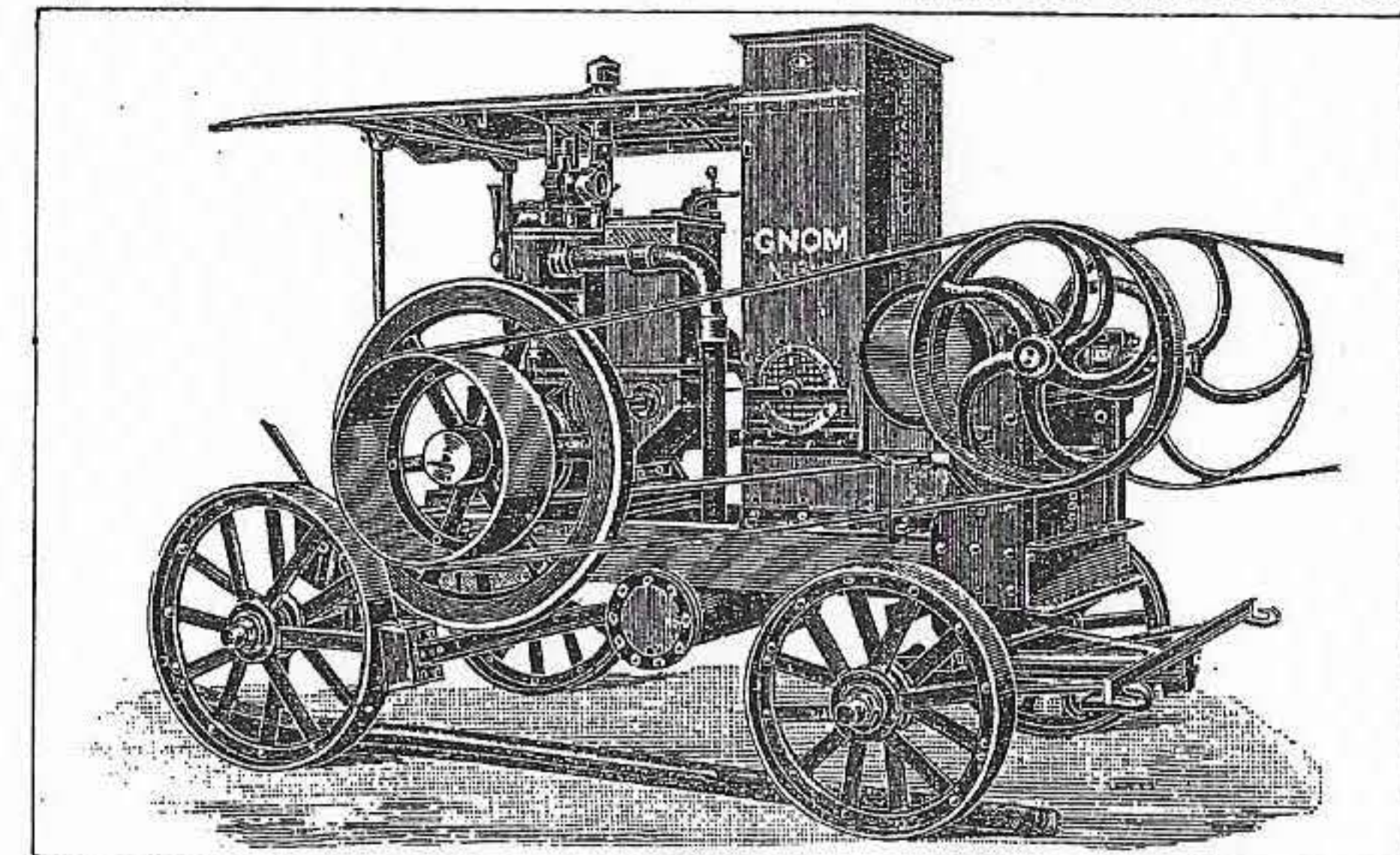


Bild 5.2.2/9:
„Motorlokomobile“
für den Gespannzug
(um 1902)

5.2.3 Ord nende Gesichtspunkte für die Zeilenbenennung

Als geeigneter, übergeordneter Parameter hat sich die „Art der maschinellen Einheit“ von Kessel, Dampfmaschine und ggf. auch Arbeitsmaschine erwiesen. Die Einheit von Kessel und Maschine war ein charakteristisches Merkmal bei Lokomobilen. Das heißt allerdings nicht, dass diese Einheit nicht „lösbar“ sein konnte. Dieser Gesichtspunkt deckt alle erdenklichen Bauarten an Lokomobilen und ortsveränderlichen Kraftmaschinen ab. Des Weiteren ist es in dieser Ordnung möglich, auch die frühen Formen und späteren Sonderbauarten der Maschinen zu berücksichtigen.

1. Der Dampfkessel und die Lokomobilmaschine bilden eine funktionale Einheit.

Die beiden Hauptbaugruppen, Dampfkessel und Dampfmaschine, sind untrennbar miteinander verbunden. Die Lage der Lokomobilmaschine ist nicht festgelegt. Wenn die Maschine fahrbar ist, sind die Fahrwerksteile fest mit der restlichen Maschine verbunden. Das ist die übliche Bauweise. Sie ist typisch für die allgemein bekannten Lokomobilen. Es können beliebige Arbeitsmaschinen angetrieben werden. Die Abtriebsenergie ist mechanisch.

2. Der Dampfkessel, die Lokomobilmaschine und die Arbeitsmaschine bilden eine Einheit.

In diesem Feld gibt es unterschiedliche Ausführungen. Es gibt Maschinen, bei denen die drei Hauptbaugruppen eine Maschineneinheit bilden. Die Dampfmaschine treibt im Wesentlichen nur die Arbeitsmaschine an, die in der Lokomobile integriert ist. Über einen zusätzlichen Hilfsantrieb können ggf. aber auch andere Geräte angetrieben werden. Zu dieser Gruppe gehören auch Variante, bei denen die drei Hauptbaugruppen zwar auch zu eine Einheit zusammengefasst sind, aber die Arbeitsmaschine im Bedarfsfall abgenommen und dort aufgestellt werden kann, wo es je nach Funktion, sinnvoll ist. Kennzeichnend ist, dass eine spezielle Arbeitsmaschine angetrieben wird. Diese Ausführung besitzt nur eine begrenzte Flexibilität.

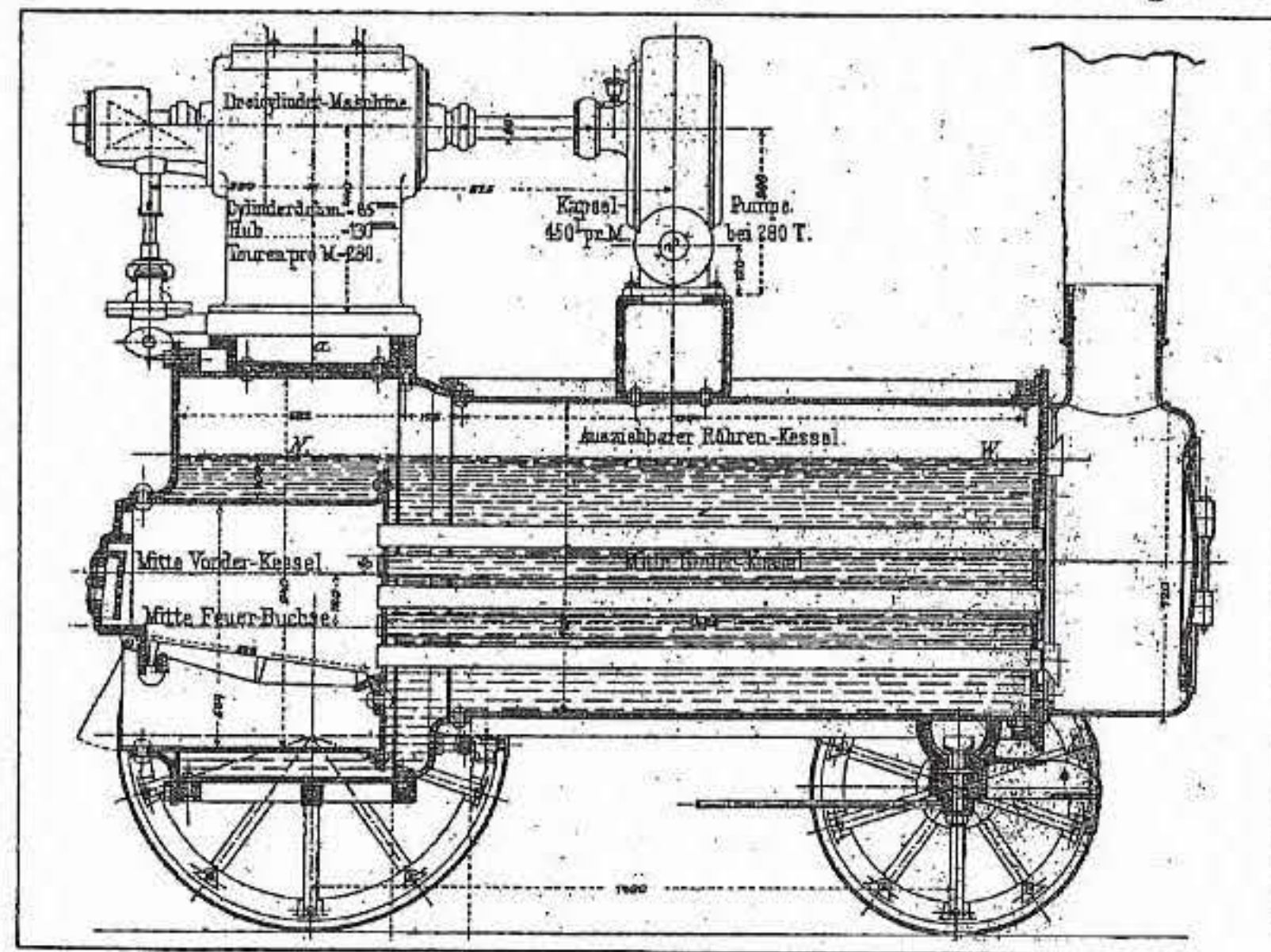


Bild 5.2.3/1:
Beispiel einer Lokomobile
als Pumpmaschine

3. Der Dampfkessel und die Lokomobilmaschine sind als zwei getrennte Baugruppen ausgeführt.

Das ist der Grenzfall einer „Lokomobile“. Der Dampfkessel ist eine ortsveränderliche Einheit und die separate Lokomobilmaschine ebenfalls. Der Kessel ist oft auf einem Rädergestell verfahrbar, die eigenständige Maschine wird häufig als versetzbare Einheit ausgeführt. Sie sind über Dampfleitungen verbunden. Es können unterschiedliche Arbeitsmaschinen angetrieben werden. Die Abtriebsenergie ist mechanisch.

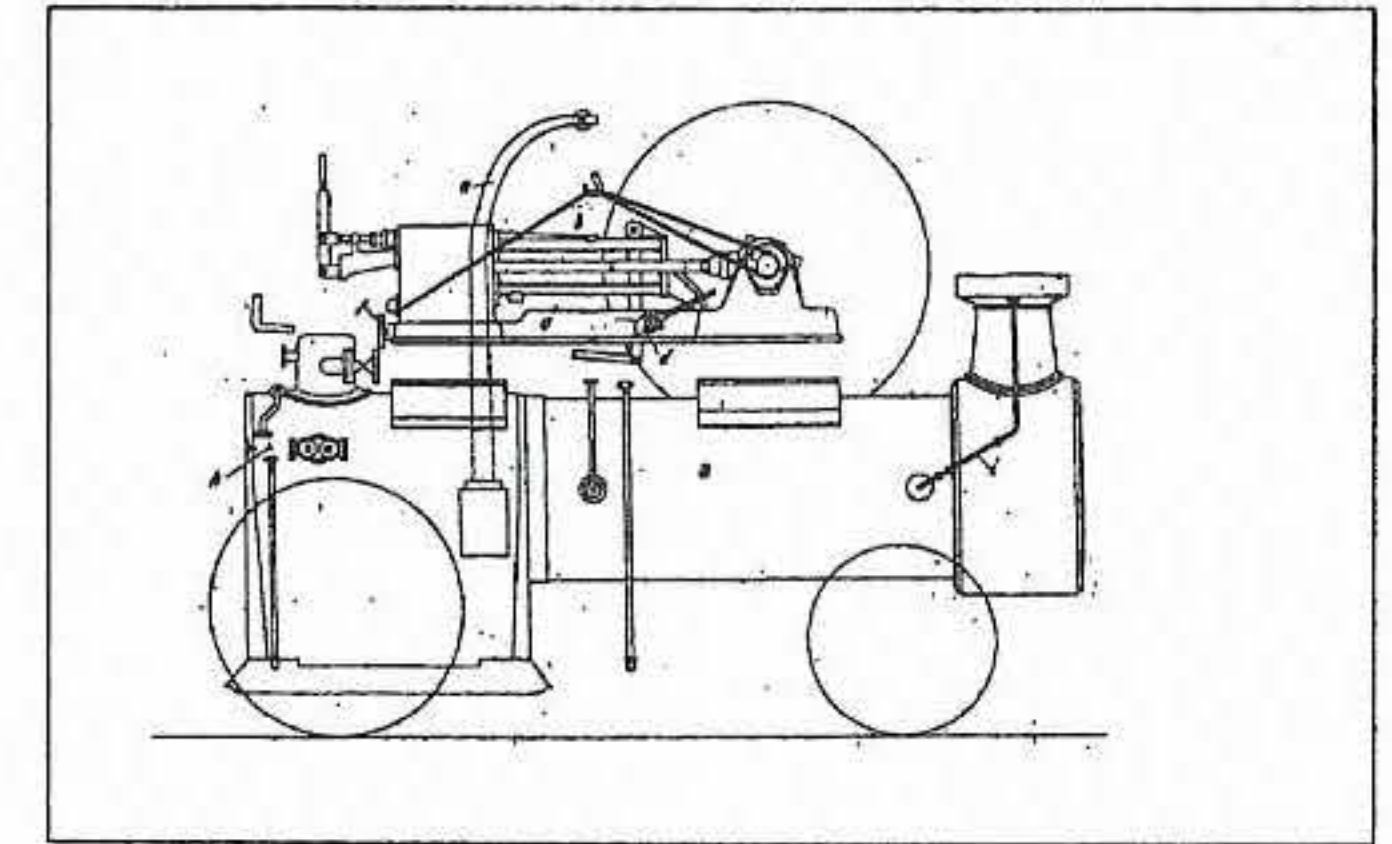


Bild 5.2.3/2:
Beispiel einer „Lokomobile“
aus zwei getrennten Baueinheiten

4. Der Dampfkessel ist eine separate Baugruppe, Dampfmaschine und Arbeitsmaschine bilden die zweite separate Einheit.

Das ist ebenfalls ein Grenzfall einer „Lokomobile“. Der Kessel ist bei dieser Variante meist auf einem Rädergestell verfahrbar. Die Dampfmaschine und die Arbeitsmaschine sind auf unterschiedliche Arten ortsveränderlich ausgeführt. Ein Beispiel für diese Gruppe sind Sägemaschinen zum Fällen von Bäumen, bei denen der Dampfkessel meist auf einem Rädergestell stand und ein Dampfzylinder („Dampfmaschine“) die Säge direkt antrieb (siehe Bild 3.2/5).

5. Sonderbauarten

Es gibt eine große Anzahl an Sonderbauarten bei den Lokomobilen und ortsveränderlichen Kraftmaschinen. Häufig sind sie als „Einheit“ ortsveränderlich. Entwickelt worden sind diese Sonderbauarten für ganz spezielle Aufgabengebiete. Ein verbreitetes Gebiet ist die Mitnutzung des Dampfes für spezielle Antriebsaufgaben. Ein Beispiel sind Ausführungen, bei denen der Dampfkessel und die Dampfmaschine zwar eine funktionale Einheit bilden, aber neben der Nutzung der mechanischen Energie zum Antrieb einer Arbeitsmaschine auch die Energie des Dampfes verwendet wird. Es können nur spezielle Arbeitsmaschinen angeschlossen werden. Bekannt aus diesem Feld sind Rammen, bei denen die mechanische Energie zum Heben der Rammpfähle genutzt wird und die Dampfenergie zum Betrieb eines Rammenkopfes.

6. Dampfkessel und Dampfmaschine in mehreren Teilen ortsveränderlich

Maschinen dieser Kategorie zählen nicht mehr zu den Lokomobilen im eigentlichen Sinne. Die „Lokomobile“ ist dabei in mehreren „Hauptbaugruppen“ zerlegbar, die dann von einem Einsatzort zum nächsten gebracht werden. Bei größeren Halblokomoilen gab es in seltenen Fällen derartige Ausführungen.

7. Dampfkessel und Dampfmaschine in Einzelteilen (Baugruppen) ortsveränderlich

Diese Ausführung zählt zu den Vorformen der Lokomobilen. Im engeren Sinne zählt sie nicht mehr zu den Lokomobilen. Am Anfang der Entwicklung hat man Maschinen gezielt so gebaut, dass sie mit einfachen Mitteln schnell zerlegt werden konnten. Man bezeichnete sie als „transportable“ Maschinen. Die zum Betrieb notwendigen Kessel waren zumeist ortsfest eingemauert. Man brachte die Maschine in Einzelteilen zum neuen Einsatzort und verband sie mit dem vorhandenen Kessel. Der Vollständigkeit wegen wird diese Variante hier mit aufgenommen.

5.3 Das morphologische System der Lokomobilen und anderer ortsveränderlicher Kraftmaschinen

Die Vielzahl an unterschiedlichen Objektmerkmalen der Lokomobilen und ortsveränderlichen Kraftmaschinen erfordert theoretisch eine vier- bis fünfstufige Parametergliederung des morphologischen Systems. Auf diese Vollständigkeit wurde verzichtet. Ein derartiges System würde zwar hunderte von Ausführungsvarianten abbilden, aber es wäre sehr unübersichtlich und schlecht zu handhaben. Dem eigentlichen Zweck, nämlich eine einfache aber möglichst vollständige Übersicht über alle Maschinenbauarten zu ermöglichen, würde es zuwiderlaufen. Wie eine tiefergehende Parametergliederung aussehen könnte, ist auszugsweise für eine Zeile eines morphologischen Systems mit dem ordnenden Gesichtspunkt „Dampfkessel und Dampfmaschine eine Einheit“ unten wiedergegeben.

| Integration der Maschinenbaugruppen | Ortsveränderung | | | | 2. Stehende Dampfkessel | | | | | | | |
|--|--|--------------------------------------|-------------------------|---|-------------------------|----------------|-------------------|--------------|--------------------|----------------|-------------------|--------------|
| | Art der Fahrbahn | Anzahl der Achsen | Art der Ortsveränderung | | 2.1 Feuerbüchsenkessel | | | | 2.2 Heizrohrkessel | | | |
| | | | | | 2.1.1 DM auf DK | 2.1.2 DM am DK | 2.1.3 DM neben DK | 2.1.4 Sonst. | 2.2.1 DM auf DK | 2.2.2 DM am DK | 2.2.3 DM neben DK | 2.2.4 Sonst. |
| 1. Dampfkessel und Dampfmaschine eine Einheit (Antrieb beliebiger Arbeitsmasch.) | 1.1 Ortsveränd. im Gelände, auf befestigtem Grund, Wegen, Straßen u.ä. | 1.1.1 Fahrbar auf einem Rädergestell | 1.1.1.1 Eine Achse | Verfahrbar | | | | | | | | |
| | | | | Verfahrbar mit Hilfsantrieb | | | | | | | | |
| | | | | Sonstige | | | | | | | | |
| | | | 1.1.1.2 Zwei Achsen | Verfahrbar mit Lenkung | | | | | | | | |
| | | | | Verfahrbar mit Lenkung und Hilfsantrieb | | | | | | | | |
| | | | | Verfahrbar ohne Lenkung | | | | | | | | |
| | | | | Sonstige | | | | | | | | |
| | | 1.1.2 Nicht fahrbar | 1.1.2.1 Keine | Verschiebbar auf Kufengestell (Schleifen) | | | | | | | | |
| | | 1.1.3 Nicht fahrbar | 1.1.3.1 Keine | Versetzbar (Rahmengestell) | | | | | | | | |
| | | 1.1.4 Andere | 1.1.4.1 Andere | Alle Varianten | | | | | | | | |
| | 1.2 Ortsveränd. auf Schienen | 1.2.1 Fahrbar auf einem Rädergestell | 1.2.1.1 Zwei Achsen | Verfahrbar | | | | | | | | |
| | | | | Verfahrbar mit Hilfsantrieb | | | | | | | | |
| | 1.3 Ortsveränd. auf anderen Bahnen | 1.3.1 Alle Varianten | 1.2.1.2 Andere | Sonstige | | | | | | | | |
| | | | | Alle Varianten | | | | | | | | |
| | | | 1.3.1.1 Alle Varianten | | | | | | | | | |

einzelnen Felder der Matrix die Gliederungsnummern der Kapitel bzw. Abschnitte eingetragen, in denen die jeweilige Maschinengruppe dargestellt wird. Felder, in denen keine Kapitelnummern aufgeführt sind (Feld durchgestrichen), kennzeichnen Bauarten, die in Deutschland nicht gebaut worden sind bzw. deren Bau funktional nicht sinnvoll war.

Bild 5.3/1: Beispiel einer fünfstufigen Parametergliederung für die Zeilenbenennung „Dampfkessel und Dampfmaschine eine Einheit“ (Ausschnitt)

Jedes Feld der Matrix steht für eine Maschinenart. Es ist wohl unmittelbar deutlich, dass eine derartige Differenzierung nicht sinnvoll ist. In der **Tafel 5.3/1** ist das hier verwendete vereinfachte System für die maschinenbezogene Strukturierung des Themas wiedergegeben. Jedes Feld dieser Hauptmorphologie steht für eine bestimmte Gruppe an Maschinen und jedes Feld wird in den Kapiteln 14 ff. einzeln behandelt. Zur besseren Orientierung sind in die

| | | | Parametergruppe: A r t d e r O r t s v e r ä n d e r u n g | | | | | | | | |
|---|--|--|---|---|--------------------|--|--|----------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| | | | Selbstfahrend auf Wegen, Straßen u.a.m. (Rädergestell) | Verfahrbar auf Wegen, Straßen u.a.m. mit Hilfe eines Vorspanns (Rädergestell) | | Verfahrbar auf Gleisen mit Hilfe eines Vorspanns oder durch Schieben von Hand | Verschiebbar in ebenem Gelände, auf Wegen u.a.m. (Kufengestell, Schleifen) | | Versetzbar (Tragfüße, Tragrahmen) | | Tragbar, Sonstige Arten |
| | | | 1 | 2 | | 3 | 4 | | 5 | | 6 |
| | | | | 2.1 einachsige | 2.2 zweiachsige | | 4.1 gleitend | 4.2 rollend | 5.1 ohne Fun- dament | 5.2 mit Fun- dament | |
| P a r a m e t e r g r u p p e | M a s c h i n e | | | | | | | | | | |

Tafel 5.3/1: Morphologisches System der Lokomobilen
und anderer ortsveränderlicher Kraftmaschinen

Anmerkung:

Die Übergänge zwischen den einzelnen Maschinenkategorien der Dampfselbstfahrer und den Lokomobilen waren fließend. Bei den verfahrbaren Lokomobilen auf Rädern wird das besonders deutlich. Hier kann man die Grenzen zwischen den Dampfschleppern, Dampftraktoren u.a. nicht immer eindeutig ziehen. Gut erkennbar wird das an einer direkten Gegenüberstellung einzelner Maschinen. Einige Typen wurden schon im Abschnitt 5.2.2 gezeigt. Im Einzelnen zeigt die Gegenüberstellung:

Bild 1: Verfahrbare Lokomobile in Standardbauweise auf einem Räderngestell.

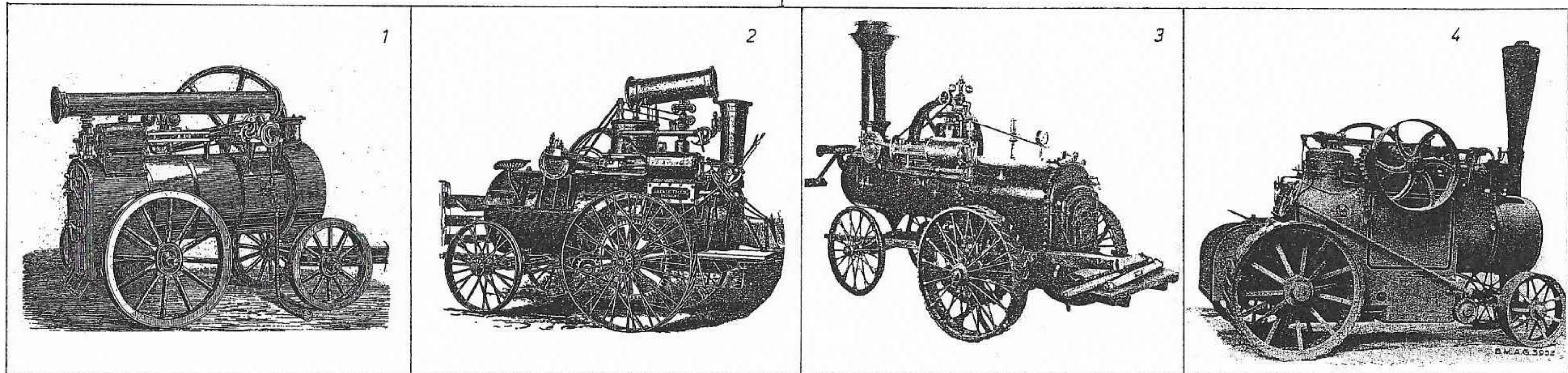
Bild 2: Verfahrbare Lokomobile mit einfachem Hilfsantrieb zum Selbstfahren über kurze Strecken.

Kein Vorrat an Brennmaterialien, kein Vorrat an Wasser.

Bild 3: Verfahrbare (selbstfahrende) „Lokomobile“ mit technisch aufwendigerem Hilfsantrieb. Zum Fahren längerer Strecken bedingt geeignet. Kein Vorrat an Brennmaterialien, kein Vorrat an Wasser.

Große Strecken mussten mit Gespannen oder Dampfschleppern bewältigt werden (im Bild ist das Zuggeschirr erkennbar).

Bild 4: Selbstfahrender „Dampfschlepper“ von Schwartzkopff, Berlin. Die Maschine wurde seinerzeit als „Lokomobile“ angeboten. Ein Wassertank lag unter dem Kessel. Kein Vorrat an Brennmaterial. Die Maschine war hinten offen. Das Feuergeschränk war frei zugänglich. Die Feuerung konnte im Bedarfsfall von einem separaten Tender beschickt werden. Nur dann konnten größere Strecken gefahren werden.



6. DIE BRENNMATERIALIEN

6.1 Bemerkung

Das übliche Brennmaterial bei fahrbaren Lokomobilen, Halblokomobilen und den meisten anderen ortsveränderlichen Kraftmaschinen waren feste Brennstoffe. Flüssige Brennstoffe haben nur bei Halblokomobilen eine geringe Verbreitung gefunden. Bei einigen ortsveränderlichen Kraftmaschinen kleiner und sehr kleiner Leistung (Gewerbemaschinen, Hausmaschinen) waren flüssige Brennstoffe weiter verbreitet. Der Einsatz gasförmiger Stoffe beschränkte sich auf spezielle Halblokomobilen und größere Gewerbemaschinen, wenn brennbares Gas, beispielsweise als Prozessgas, günstig vorhanden war. Die bei den Lokomobilen eingesetzten festen Brennstoffe waren im Wesentlichen von den regionalen Gegebenheiten am Einsatzort der Maschinen abhängig. Bei den fahrbaren Lokomobilen, die als Kraftmaschinen an wechselnden Orten eingesetzt wurden, war die aktuelle Verfügbarkeit der Brennstoffe entscheidend. Es wurde alles verfeuert, was vor Ort gerade vorhanden war. Der große Vorteil dieser Lokomobilen war, dass ihre Feuerungen nicht exakt auf ein Material ausgelegt waren. Die Flexibilität hatte natürlich Grenzen. Bei minderwertigen Brennstoffen konnten Probleme auftreten: die Roste waren nicht optimal, der Feuerraum zu klein, der Zug nicht ausreichend, die zugeführte Luftmenge zu gering u.a.m. Da eine absolut vollständige Ausnutzung des Energiegehalts des Brennmaterials aber nicht verlangt wurde, konnte durch geschickte Feuerung durch den Heizer immer noch eine brauchbare Leistung der Lokomobile erreicht werden. Ein ganz entscheidender Faktor waren darüber hinaus die Kosten der Brennmaterialien. Um eine gute Rentabilität zu erzielen versuchte man die vor Ort verfügbaren, brennbaren Abfallstoffe zu verfeuern bzw. den hochwertigeren Brennstoffen beizumischen. Bei Halblokomobilen, insbesondere bei den größeren Maschinen, lagen die Verhältnisse völlig anders. Es wurde meist eine Brennstoffart verfeuert. Der Betrieb lief kontinuierlich über längere Zeit. Die Maschinenleistung wurde weitgehend konstant abgerufen. Die Feuerungen waren auf gute Verbrennungswirkungsgrade ausgelegt. Die Wirtschaftlichkeit war eine ganz wesentliche Größe. Halblokomobilen standen z.T. im unmittelbaren Wettbewerb mit guten stationären Anlagen. Der Gesamtwirkungsgrad guter Halblokomobilen lag, bei deutlich geringeren Anschaffungskosten, zu Beginn des 20. Jahrhunderts fast auf dem Niveau der besten stationären Anlagen.

Bei den Brennmaterialien wurden grundsätzlich drei Arten unterschieden:

1. Natürliche Sorten (brennbaren feste, flüssige und gasförmige Stoffe).
2. Verkohlte Sorten (alle Kokse, Holzkohle, Torfkohle u.a.m.).
3. Vergaste Sorten (Koksofengas, Gichtgas, Generatorgas u.a.m.).

Es war in der Praxis üblich, die Brennstoffe nach ihrem Heizwert (Brennwert) zu bewerten. Er war ein Maß für die bei vollkommener Verbrennung freiwerdende Energie. Heizwerte wurden in Kalorimetern unter definierten Verbrennungsbedingungen ermittelt. Im Folgenden werden die im historischen Bezug gültigen Einheiten verwendet, also beispielsweise für die Energie kgm, Gewicht kg usw. Die Wärmeenergie oder Wärmemenge wurde in Wärmeeinheiten gemessen. Als Wärmeeinheit galt diejenige Wärmemenge, die erforderlich war, um die Temperatur von 1 kg Wasser um 1 °C (genau von 14,5 auf 15,5 °C) zu erhöhen. Die Abkürzung für die Wärmeeinheit war „WE“. Um beispielsweise die 1000 kg Wasser von 15 auf 100 °C zu erwärmen sind $1000 \times 85 = 85000$ WE notwendig.

Die wärmetechnisch charakteristische Größe unterschiedlicher Brennmaterialien war deren Heizwert.

$$\text{Heizwert } H = \frac{\text{Betrag der bei der Verbrennung freiwerdenden Wärmeenergie (in WE)}}{\text{Masse des eingesetzten Brennstoffs (in kg)}}$$

Wenn beispielsweise 1 kg Steinkohle den Heizwert $H = 5000$ WE haben, so benötigte man für die Erwärmung der oben angegebenen Wassermenge $85000 : 5000 = 17$ kg Steinkohle.

Das mechanische Wärmeäquivalent war definiert: $1 \text{ WE} = 427 \text{ kgm}$.

6.2 Feste Brennstoffe

An festen Brennstoffen wurde insbesondere bei fahrbaren Lokomobilen alles eingesetzt, was verfügbar war. Einige der Materialien sind heute nicht mehr bekannt. Übliche Brennstoffe waren: Steinkohlen, Kokse, Holz, Torf, Stroh und Lohe sowie alle vorhandenen brennbaren „vegetabilische und rezente“ Reststoffe.

Die eingesetzten Brennstoffe unterschieden sich stark in ihren Brennwerten. Durch eine entsprechende „Führung“ der Feuerung (man sprach von normaler, angestrenzter und höchst angestrenzter Feuerung) konnten die Unterschiede zum Teil ausgeglichen werden. Problematischer war das unterschiedliche Verbrennungsverhalten. Ein Problembereich war die Reaktionskinetik. Einige Stoffe brannten sehr schnell mit intensiver Flamme ab und ihre Verbrennung war schwer zu steuern. Die Luftführung und Luftmenge war stark unterschiedlich. Ein weiterer Unterschied ergab sich durch die Art und Menge der Verbrennungsrückstände und die flüchtigen Bestandteile im Rauch. Zum einen war die Verschlackung des Rostes brennstoffabhängig und zum anderen die Menge der nicht verbrennbaren Rückstände, die als kleine Partikel oder Asche in den Aschekasten fielen. Brennstoff- und verbrennungsabhängig wurden in den Heizgasen u.a. feste Bestandteile (flüchtige Bestandteile) mitgeführt, die zu Ablagerungen an den wärmebeaufschlagten Flächen führten und den Wirkungsgrad der Feuerung verringern konnten. Der Aschegehalt musste bei der Bemessung des Feuerraums und der von den Heizgasen durchströmten Teile der Maschine berücksichtigt werden. Bei Brennstoffen mit erhöhtem Schwefelanteil konnte es nach kurzer Zeit auch zu „Korrosionserscheinungen“ kommen. Der Feuerraum und die wesentlichen Parameter der Feuerung mussten an das Brennmaterial angepasst werden.

Eine generelle Verbesserung der Brennstoffe konnte durch eine entsprechende Aufbereitung vor ihrem Einsatz erreicht werden. Bei einigen Brennstoffen waren das Zerkleinern, Sortieren und Trocknen in vorgeschalteten Einrichtungen üblich. Bei Kohlen wurde die sogenannte Förderkohle, die direkt aus der Förderstrecke stammte, immer nachbehandelt. Ballast musste entfernt werden, sie wurde gewaschen, nach Stückgröße sortiert und ggf. zerkleinert.

Bei festen Brennstoffen war es in der Praxis üblich, die Temperatur des Feuers im Feuerbett nach den allgemeinen Glühfarben abzuschätzen. Mit viel Erfahrung war das hinreichend genau möglich. Nach Pouillet sind den Glühfarben folgende Temperaturen zugeordnet:

| | |
|--------------------------|-----------|
| - dunkle Rotglut: | 700 ° C, |
| - kirschfarbene Rotglut: | 850 ° C, |
| - Hellrotglut: | 950 ° C, |
| - Gelbglut: | 1100 ° C, |
| - Weißglut: | 1300 ° C, |
| - Helle Weißglut: | 1400 ° C, |
| - Blendende Weißglut: | 1500 ° C. |

Steinkohle

Steinkohlen sind durch allmähliche Zersetzung organischer Stoffe über einen erdgeschichtlich sehr langen Zeitraum entstanden. Die Zersetzung erfolgte unter hohem Druck und bei höheren Temperaturen. Flüchtige Bestandteile wurden als Gase ausgeschieden. Zurück blieb ein Stoff mit hohem Kohlenstoffanteil. Für die Einteilung der Kohlen gab es in der langen Nutzungsgeschichte die unterschiedlichsten Systeme.

a) Nach der Beschaffenheit beim und nach dem Verfeuern unterschied man:

- Sand- oder Magerkohle (große Stücke zerfallen, kleine backen nicht zusammen, nach der Verbrennung fast pulverisiert),
- Sinterkohle (große Stücke fallen nicht auseinander, kleine backen nicht zusammen, bläht nicht auf, nach der Verbrennung bleibt Masse aus kleinen Stücke),

- Fett- oder Backkohle (große Stücke fallen nicht auseinander, kleine backen zusammen, zusammenschmelzend, stark aufblähend).
- b) Nach dem Flammenbild bei der Verbrennung unterschied man:
 - kurzflammige Kohle (gasarme, ältere Kohle),
 - langflammige Kohle (gasreiche, jüngere Kohle).
- c) Nach dem Verwendungszweck teilte man ein:
 - Gas- oder Flammkohle,
 - Schmiedekohle,
 - Heizkohle
 - u.a.m.
- d) Nach dem Aussehen und Verhalten beim Brennen:
 - Glanzkohle, Pechkohle (sie bildet den Anthrazit, sie ist tiefschwarz, glänzend, spröde, fast glatter Bruch, backend, aufgehend beim Brennen, kurze Flamme, hinterlässt am wenigsten Asche, hat den höchsten Kohlenstoffgehalt),
 - Anthrazit (bildet sich aus Glanzkohle, ähnliche Eigenschaften, schwer entzündlich, verbrennt nur bei gutem Zug, verbrennt mit kurzer, rauchloser Flamme),
 - Mattkohle (grauschwarz bis bräunlich, wenig glänzend bis glanzlos, nicht spröde, flachmuscheliger Bruch, sintert, wenig backend, weniger Kohlenstoff als Glanzkohle, höherer Wassergehalt, leicht entzündlich, brennt mit langer leuchtender Flamme),
 - Cannelkohle (grau, glanzlos, sintert, sehr wenig backend),
 - Sandkohle oder magere Kohle (mattglänzend, streifiger Bruch, verbrennt ganz zu Asche, kurze Flamme),
 - Backkohle, fette Kohle (glänzend, würfelig Bruch, mittlerer Kohlenstoffgehalt, bläht sich im Feuerraum auf, backt zu Kuchen zusammen, entwickelt viel Gas und große Hitze, brennt mit langer weißer Flamme),
 - Sinterkohle, halbfette Kohle (Eigenschaften liegen zwischen Sandkohle und Backkohle, sehr gut für Kesselfeuerungen geeignet),
 - Brandschiefer (grau- oder bräunlichschwarz, tonschieferhaltig),
 - Faserkohle (grau- bis samtschwarz, leicht glänzend, abfärbend, deutliche Faserstruktur).
- e) Nach der Korngröße, die einzelnen Abgrenzungen waren regional sehr unterschiedlich:
 - Stückkohlen, Grobkohlen (Stückgröße bis Mannsfaustgröße),
 - Würfelkohlen (von Mannsfaustgröße bis Kindsfaustgröße),
 - Nusskohlen (von Kindsfaustgröße bis Wallnußgröße),
 - Nussgrußkohlen oder Grieskohlen (Stückgröße 2 cm und darunter),
 - Fein- oder Staubkohlen,
 - Kleinkohle ist eine Mischung aus Würfel-, Nuss- und Grieskohle,
 - als Förderkohle wird ein Gemenge aus allen Kohlenarten bezeichnet, wie sie aus der Grube geliefert wird.
- f) Nach dem Gehalt an vergasbaren Bestandteilen (entspricht in etwa dem Alter der Kohle):
 - gasreiche (junge) Sandkohle; 40 bis 50 % vergasbare Teile,
 - gasarme (alte) Sandkohle (Anthrazit); 5 bis 10 % vergasbare Teile,
 - gasreiche (junge) Sinterkohle; 40 bis 45 % vergasbare Teile,
 - gasarme (alte) Sinterkohle; 10 bis 15 % vergasbare Teile,
 - gasreiche (junge) Backkohle; 35 bis 40 % vergasbare Teile,
 - gasarme (alte) Backkohle; 15 bis 35 % vergasbare Teile,

Die Qualität der Steinkohle war sehr stark von der Lagerstätte abhängig. Die Lagerstätte und das geologische Alter der Kohle korrespondierten. Die Verunreinigungen, der Wassergehalt und die Stückgröße (Körnung) beeinflussten den Heizwert erheblich. Steinkohlen enthalten nach der Gewinnung wenig Wasser, etwa 2 %, später, nach der Lagerung, 5 bis 8 %. Der

Aschegehalt war mäßig und lag bei 5 bis 7 %. Die Stückgröße beeinflusste, durch ihre spezifische Oberfläche (gemessen in m^2/kg), die Verbrennung stark. Die Qualität der Steinkohlen teilte man nach dem Gehalt an vergasbaren Bestandteilen ein. Er schwankte zwischen 10 und 50 %. Als Durchschnittswerte für den Heizwert galten je kg Kohle:

| Brennstoff | Heizwert (WE/kg) | Bemerkung |
|-------------------------|------------------|------------------------------|
| Anthrazit | 7800 | |
| Westfälische Steinkohle | 7300 - 7500 | |
| Ruhrkohle | 7100 | |
| Schlesische Kohle | 6600 - 6900 | entspr. der Saarkohle |
| Sächsische Steinkohle | 6500 | entspr. mittlerer Steinkohle |
| Oberbayr. Steinkohle | 5200 | |
| Geringe Steinkohle | 4800 | |
| Steinkohlenbriketts | 7600 | |

Bild 6.2/1: Heizwerte unterschiedlicher Steinkohlen

Steinkohlen verändern während des Verbrennungsprozesses ihre Struktur stark. Umgangssprachlich beschrieb man die Veränderungen beispielsweise mit: „...wird zu Backkohle, dann geht sie zu Sinterkohle über und wird danach zu feinkrümeliger Sandkohle...“. Der Heizer beschrieb damit das, was er bei der Verbrennung beobachten konnte. Bei Backkohle nahm das Volumen bei der Verbrennung zu und fiel dann wieder zusammen. Die zusammengebackenen Stücke konnten den Rost verstopfen und die Brennlufzufuhr verringern.

Das Feuer musste genau beobachtet werden. Der Rost war regelmäßig zu reinigen. Die Flammen brannten in dieser Phase hoch. Die Sinterkohle verringerte ihr Volumen beim Verbrennen weiter, sie schrumpfte zusammen. Die Flammen brannten niedriger. Sandkohle zerfiel bei der Feuerung weiter in kleine und kleinste Stücke. Sie fielen z.T. durch den Rost oder verstopften die freie Rostfläche. Das Feuerbett glühte nur noch, es gab kaum Flammen.

Braunkohle

Braunkohlen sind durch Zersetzung organischen Materials (meist Pflanzen) entstanden. Ihr Alter war wesentlich geringer als das der Steinkohlen. Braunkohlen brannten mit langer, qualmender Flamme. Auch bei der Braunkohle gab es unterschiedliche Unterscheidungssysteme.

- a) Nach dem Aussehen konnten unterschieden werden:
 - gemeine (oder muschelige) Braunkohle (dunkelbraun, fast schwarz, hoher Heizwert),
 - Lignit-Braunkohle (braune Farbe, faseriger Bruch, geringer Wassergehalt),
 - erdige Braunkohle (hellbraune Farbe, zerfällt leicht, hoher Wassergehalt),
 - Pechkohle (sehr dunkles braun, sehr fest, hoher Heizwert).
- b) Nach dem Verwendungszweck:
 - Feuerkohlen (für allgemeine Verfeuerung),
 - Schmelzkohlen (für die trockene Destillation).

Qualität und Heizwert waren, wie bei der Steinkohle, stark von den Lagerstätten abhängig. Insbesondere der Wassergehalt schwankte enorm. Bei hochwertiger, böhmischer Braunkohle lag der Wassergehalt bei 22 %. Bei minderwertiger Kohle konnte er beim doppelten Wert liegen.

| Brennstoff | Heizwert (WE/kg) | Bemerkung |
|--------------------------|------------------|--------------------------|
| Pechkohle (Braunkohle) | 5400 - 7000 | Revier Böhmen |
| Böhmische Braunkohle | 4200 - 5600 | |
| Westfälische Braunkohle | 2800 - 3200 | Revier Halle |
| Alte deutsche Braunkohle | 2600 | |
| Mittlere Braunkohle | 2500 | Revier Zeitz, Bitterfeld |
| Lausitzer Braunkohle | 2200 | |
| Kölner Braunkohle | 1900 | |
| Geringe Braunkohle | 1700 - 1800 | Oberpfalz, Unterfranken |
| Braunkohlenbriketts | 4500 - 5300 | |

Bild 6.2/2: Heizwerte unterschiedlicher Braunkohlen

Koks

Koks wurde durch Erhitzen der Steinkohle unter Luftabschluss gewonnen. Als Nebenprodukte fiel bei der Gewinnung in Kokereien brennbares Gas und sogenannte „Koksderivate“ an. Bei der Leuchtgasgewinnung war die Gasgewinnung das Hauptprodukt. Koks fiel als Nebenprodukt an.

Steinkohlenkokse waren sehr hochwertige Brennstoffe und entsprechend teuer. Sie konnten, an der Luft gelagert, 5 bis 10 % Wasser enthalten. Der Aschegehalt lag bei 8 bis 14 %. Bei Lokomobilen wurden sie selten eingesetzt. Der durchschnittliche Heizwert je kg betrug bei Gaskoks ca. 6800 WE.

Braunkohlenkokse, umgangssprachlich auch als Grude bezeichnet, sowie Torfkokse wurden als Brennstoff bei Lokomobilen nicht verwendet.

| Brennstoff | Heizwert (WE/kg) | Bemerkung |
|--------------------------|------------------|--------------|
| Zechenkoks (lufttrocken) | 7200 | |
| Gaskoks (lufttrocken) | 7100 | |
| Koks (lufttrocken) | 7000 | |
| Koks (nass) | 5400 | Freilagerung |
| Koksgries | 5200 | |
| Koksaschebrikett | 6100 | mit Teerpech |

Bild 6.2/3: Heizwerte unterschiedlicher Kokse

Holz

Holz war als regionaler Brennstoff überall verfügbar und relativ preiswert. Der Heizwert von Holz schwankte extrem. Er war abhängig von der Holzart, der Größe der verfeuerten Stücke und der Holzfeuchte. Der Wassergehalt betrug bei frisch gefälltem Holz bis zu 45 %, je nach Holzart. Buchenholz enthielt am wenigsten Wasser, Pappel und Weide am meisten. Lufttrockenes Holz enthielt bis zu 20 % Wasser.

Durch den hohen Wassergehalt und die spezifischen Holzbestandteile war bei Rostfeuerungen eine „Verpechung“ der Roststäbe nicht zu vermeiden. Das Entfernen der Pechschicht war mühsam. Der Aschegehalt lag relativ niedrig bei 1,5 bis 3 %. Holz wurde allgemein in groben Scheiden oder Aststücken verfeuert. Länge ca. 40 bis 50 cm. Bei Holzfeuerung wurden auch minderwertige Reste (Rinden, kleinteilige Äste, Teile von Stumpen, Außenstücke, Sägespäne etc.) beigemischt.

Holz verbrannte schnell und im Rauch wurden viele feste Partikel mitgerissen (Funkenflug, Brandgefahr). Für den Heizwert können nur grobe Durchschnittswerte angegeben werden:

| Brennstoff | Heizwert (WE/kg) | Bemerkung |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------------|
| Holz (lagertrocken) | 3000 - 3500 | bis 4400 bei sehr guter Verbrennung |
| Holz (ungetrocknet, feucht) | 2000 | |
| Holzkohle | bis 8100 | |

Bild 6.2/4: Heizwerte von Holz

Holzkohle hatte zwar einen sehr hohen Heizwert, war aber aufgrund seines hohen Preises und des beim Einsatz in Lokomobilen nur begrenzt steuerbaren Verbrennungsprozesse nicht wirtschaftlich.

Torf

Der Brennstoff war dort verbreitet, wo in größerem Umfang Moorkultivierung betrieben wurde. Die Qualität des Torfes war stark vom Abbaugbiet und der Art des Moores abhängig. Die Unterschiede machten sich deutlich in der Farbe und im Gewicht bemerkbar. Es wurde eine Vielzahl an Sorten unterschieden, z.B. Faser- oder Wurzelortf (junge Torfform), Specktorf (ältere Torfform), Pechtorf (ältester Torf). Der Wassergehalt lag bei lufttrockenem Torf bei 15 bis 35 %. Der Aschegehalt betrug bis zu 30 %. In vielen Fällen war damit eine Grenze erreicht, bei der sich ein Brennmaterial in Lokomobilen nicht mehr zweckmäßig verfeuern lies. In der Praxis lag diese Grenze bei ca. 20 % Aschegehalt. Als übliche Durchschnittswerte für den Heizwert von Torf galten:

| Brennstoff | Heizwert (WE/kg) | Bemerkung |
|------------------------------------|------------------|---|
| Torf (sehr hochwertig, erste Güte) | 3400 | sehr gut getrocknet |
| Torf (mittlerer Güte) | 3100 | gut getrocknet |
| Schwarztorf (Pechtorf, feucht) | 2000 | leicht feucht |
| Torf (gepresst) | 3800 | trocken |
| Torf (minderwertig) | 1600 | |
| Torfkoks | 3200 | nicht als Brennmaterial bei Lokomobilen verwendet |

Bild 6.2/5: Heizwerte von Torf

Stroh und Maisstängel

Stroh war als Abfallprodukt beim Dreschen zur Feuerung von Lokomobilen in der Landwirtschaft beliebt. Getrocknete Maisabfälle wurden ebenfalls gerne verheizt. Beide Materialien erforderten allerdings einen großen Feuerraum und wegen ihrer geringen Heizwerte bei großem Brennstoffvolumen ggf. spezielle Zufuhreinrichtungen. Die Heizfläche des Kessels sollte nach Möglichkeit auch größer sein als bei der Verfeuerung anderer fester Brennstoffe. Stroh hinterließ beim Verbrennen glasartige Schlacke, die schwer zu beseitigen waren. Der Rauch enthielt viel flüchtiges Material (Brandgefahr). Die besten Ergebnisse erzielt man beim Verbrennen von kurzen Halmen (Streu). Das Alter des Materials spielte bei der Verbrennung auch eine Rolle. Altes Material brannte besser und besaß einen höheren Heizwert. Ein Grund dafür war die Verdichtung des Materials durch die lange Lagerung. Der Heizwert war stark feuchtigkeitsabhängig. Der durchschnittliche Heizwert bei gut getrocknetem und gelagertem Material lag bei 1500 WE/kg.

Lohe

Lohe ist gemahlene Eichenrinde, die wegen ihres Gerbsäuregehaltes in der Lederfabrikation zum Gerben verwendet wurde. Die Erschöpfte Lohe wurde in einem besonderen Prozess in

Ziegelform gepresst und vollständig getrocknet. Diese als Lohkuchen oder Lohballen bezeichneten Stücke wurden als Brennstoffe verwendet. Das Brennmaterial war preiswert, hatte aber nur einen geringen Heizwert. Bezüglich des Feuerraums und der Heizfläche gilt das bei Stroh gesagte. Vollständig trockene Lohe hatte etwa 1000 bis 1300 WE/kg.

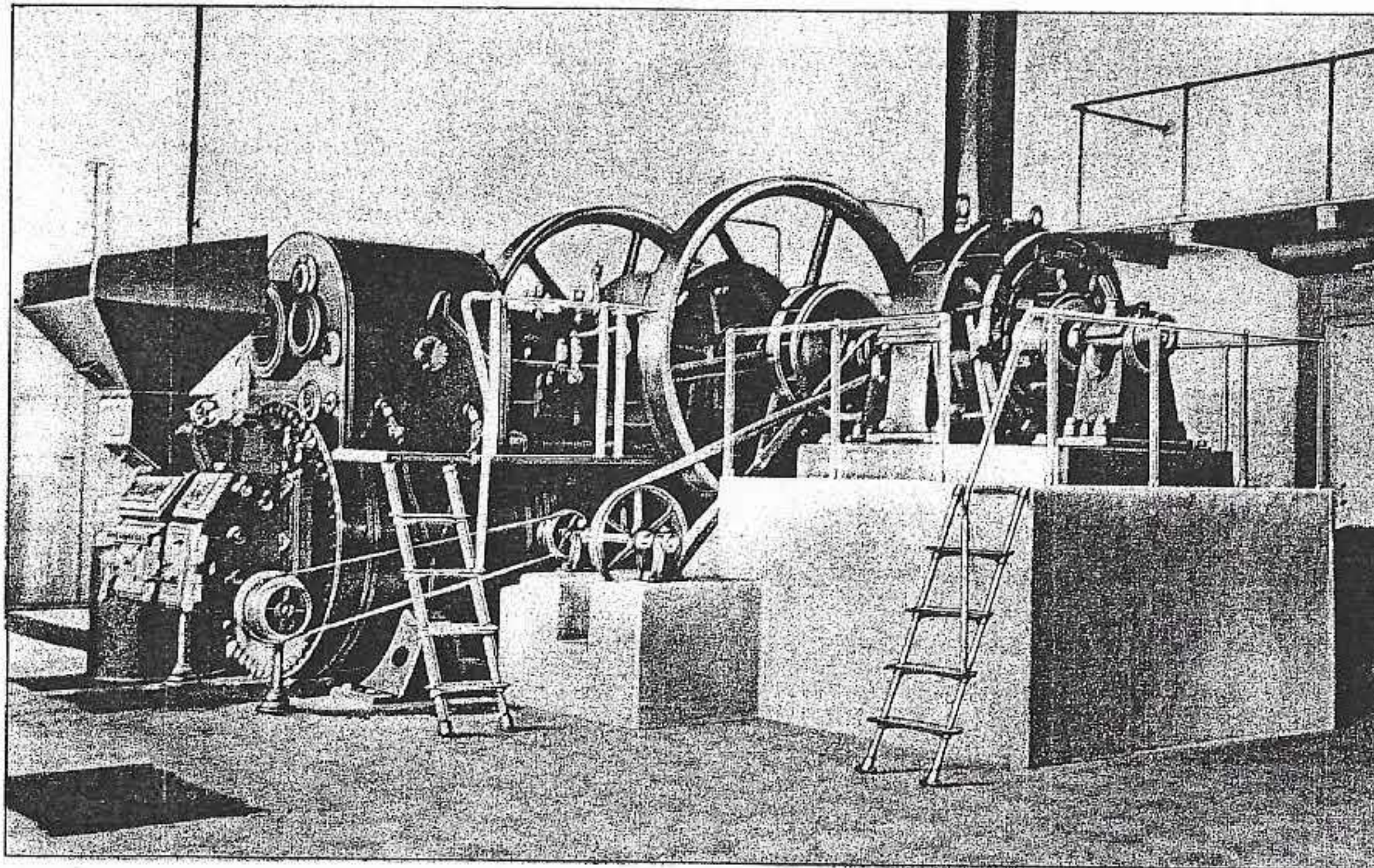


Bild 6.2/6: Halblokomobile mit Steinkohlefeuerung und selbsttätiger Rostbeschickung (Energiezentrale von Brod in Mähren (Österr./Ungarn) um 1910)

Anmerkung:

Das oben genannte Spektrum an festen Brennmaterialien umfasst nur die Stoffe, die in Deutschland und in anderen entwickelten Industriestaaten eingesetzt worden sind. Lokomobilen wurden auch in größerer Zahl in Südamerika, Afrika, Asien und Australien genutzt. Diese Maschinen bezeichnete man umgangssprachlich als „Kolonialmaschinen“. Sie waren meist sehr einfach und robust gebaut. Viele waren, um den Transport in unwegsamem Gelände zu ermöglichen, zerlegbar.

Bei diesen Maschinen waren die Feuerungen anders ausgelegt. An Brennmaterialien mussten alle brennbaren „vegetabilische Substanzen“ verfeuert werden können, die regional vorhanden waren. Es kamen zum Einsatz:

- Abfälle der Reisernte,
- Hirsereste und andere Reste regionaler Getreidesorten,
- Zuckerrohrstengel (getrocknet und zerkleinert),
- Fruchtreste aller Art,
- „Ölkuchen“ aller Art (gepresste Abfälle der Ölgewinnung aus Pflanzen)
- u.a.m.

Anmerkung:

Am Ende des 19. Jahrhunderts kamen auch staubförmige Brennmaterialien in Gebrauch, meist Kohlenstaub. Er wurde auf besonderen Mühlen durch Zermahlen von Kohlenstücken hergestellt. Der Kohlenstaub war sehr fein. Beim Sieben auf einem Sieb mit 900 Maschen pro qcm durfte kein Rückstand liegenbleiben. Wenn der Kohlenstaub fein verteilt mit Brennluft in einen glühenden Feuerraum gefördert (z.B. mit einem Schleuderrad) wird, verbrennt er sofort. Trotz einiger Vorteile, wie Wegfall des Rosts und der Beschickung, gute Regulierung, rauchfreie Verbrennung, jede Kohle verwertbar, hat die Kohlenstaubfeuerung bei Halblokomobilen keine Rolle gespielt.

Anmerkung:

Briketts waren zu Beginn des 20. Jahrhunderts ein verbreiteter Brennstoff bei Kleinf Feuerungen, primär beim Hausbrand. In Lokomobilen wurden sie selten verwendet. Briketts waren aus Kohlenstaub geformte Presskohlen. Kohlenstaub war ein Reststoff bei der Kohleförderung und neigte wegen seiner großen reaktiven Oberfläche in Verbindung mit der Luft zu Explosionen. Durch das Pressen wurde das Material stark verdichtet und die Oberfläche verkleinert. Briketts nahmen daher auch bei Freilagerung wenig Feuchtigkeit auf. Darüber hinaus waren sie relativ preiswert.

Der Name leitet sich aus dem französischen „brique“ für Ziegelstein ab. Briketts gab es in den unterschiedlichsten Formen, z.B. als Nuss- oder Eierbriketts, als quaderförmige Stücke oder in runden Formen. Üblich waren, je nach Hersteller, unterschiedliche Größen und Formen. Die Größen orientierten sich an den Anforderungen der Kleinf Feuerungen.

Als Basismaterial kamen sowohl Braunkohlen als auch Steinkohlen zum Einsatz. Bei Braunkohlenbriketts wurde der Kohlenstaub bzw. die zerkleinerte Kohle ohne Bindemittel gepresst. Bei Steinkohlenbriketts wurden mit Steinkohlenteer gebunden.

Briketts gab es in speziellen Größen z.B. für Schiffsfeuerungen oder zur Feuerung in Lokomotiven.

Im Zusammenhang mit Lokomobilen wird in einigen Quellen die Feuerung mit „Dampf-Briketts“ erwähnt. Das waren in speziellen Pressen geformte, quaderförmige Briketts, die etwa um das Fünffache größer waren als beim Hausbrand. Die Größen waren an die leistungsstarken Feuerungen von Lokomobilen angepasst. Sie brannten länger, gleichmäßiger im Stück und hielten die Hitze besser als kleinteilige Kohlen. Sie neigten durch das Pressen und die geschlossene Oberfläche beim Brand auch nicht zum „Krümeln“ und frühzeitigen Durchfallen durch den Rost. „Dampf-Briketts“ besaßen oft eine eingepresste Kerbe zum Teilen in zwei Stücke. Zum Einsatz kamen sie bei großen Lokomobilen mit entsprechend ausgestattetem Feuerraum. Die Beschickung erfolgte in der Regel manuell.

Anmerkung:

Die Basis jeder technischen Feuerung ist der Verbrennungsprozess. Dieser komplexe Prozess umfasst thermische, physikalische, chemische, eine Vielzahl technischer Parameter u.a.m. Die wissenschaftlich fundierte Theorie des Verbrennungsprozesses ist, obwohl für den technischen Fortschritt entscheidend, relativ jung. Im 18. Jahrhundert wurde das Fehlen einer brauchbaren Theorie immer mehr zu einem zentralen Problem. Eine Reihe bedeutender Wissenschaftler haben sich mit der Erforschung des Verbrennungsprozesses beschäftigt. Die Vielzahl der Ideen und Erklärungsansätze führte aber nicht zu einer geschlossenen Theorie. Es gab wenige, in der Praxis umsetzbare Ergebnisse. Von der Auslegung einer Feuerung war man noch sehr weit entfernt. Die Vorstellungen bewegten sich um den unbestimmten Begriff der „Brennbaren Erde“. Erst G. E. Stahl entwickelte zu Beginn des 18. Jahrhunderts eine etwas umfassendere Theorie. Seine Überlegungen fasste er in der damals weit verbreiteten „Phlogistontheorie“ zusammen. Stahl ersetzte die „brennbare Erde“ durch einen besonderen Stoff, der in brennbaren Materialien vorhanden sein sollte. Ein Material, das viel „Phlogiston“ enthielt, konnte dieses an andere Stoffe abgeben. Beim Schmelzen von Metallen entwich das „Phlogiston“ des Brennmaterials, beispielsweise einer Holzkohle, und gab es an den Metallkalk ab. Durch die Phlogistonaufnahme wurde dann die Umwandlung des Metallkalks in Metall vollzogen. Diese Theorie war eine Zeit lang weit verbreitet. Der Reaktionsmechanismus aus Reduktion und exothermer Oxydation konnte in Grenzen beschrieben werden. Trotzdem gab es große Differenzen zwischen der Theorie und den Ergebnissen in der Praxis. Als man begann, quantitative Beziehungen näher zu untersuchen, wurde diese Theorie zunehmend unbrauchbar.

Den entscheidenden Schritt bei der Überwindung der „Phlogistontheorie“ machte der französische Gelehrte A. L. Lavoisier. Er löste die Widersprüchlichkeiten der alten Theorie durch einen völlig neuen Ansatz mit dem Energieprinzip als Kernelement auf.

6.3 Flüssige Brennstoffe

Flüssige Brennstoffe wurden primär bei größeren Halblokomobilen verwendet. Natürliche Vorkommen an Erdöl waren nur in Nordamerika und im Südosten Europas erschlossen. Die einheimischen Fördermengen waren unbedeutend. Erdöl wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in kleineren Raffinerien, sogenannten „Petroleumraffinerien“ weiterverarbeitet. Die Gewinnung anderer Treibstoffe, beispielsweise Schweröle für Feuerungszwecke, stand bei diesen Anlagen nicht im Vordergrund. Erst mit der Verbreitung des Verbrennungsmotors wurden Großanlagen in Betrieb genommen, die ein großes Spektrum an flüssigen Brennstoffen erzeugten. Schwerölfeuerungen für Lokomobilen wurden dadurch im 20. Jahrhundert wirtschaftlich.

Ebenfalls in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden die Kokserzeugung und die Erzeugung von Stadtgas durch „trockene Destillation“ von Kohlen forciert. Dabei fielen in größerem Umfang meist zähflüssige Reststoffe ab, die einen nutzbaren Brennwert besaßen. Zur unmittelbaren Verbrennung waren sie nicht immer geeignet. Sie mussten vorher erwärmt und zerstäubt werden. Auch bei den unterschiedlichen Raffinations- und Destillationsprozessen, die bei der Verarbeitung von Naturstoffen zu technisch nutzbaren Produkten angewendet wurden, fielen zähflüssige und brennbare „Abfallstoffe“ an. Sie mussten ebenfalls vor der Verbrennung aufbereitet werden. Alle diese Stoffe waren Mischungen aus einer großen Zahl unterschiedliche Kohlenwasserstoffe.

Hochwertige Brennstoffe, wie Petroleum, Spiritus, Terpentinöl, Benzin, Benzol, Gasolin, Ligroin, Äthylalkohol u.a.m., kamen bei üblichen Lokomobilen nicht zum Einsatz. Sie waren zu teuer. Nur bei Klein-Kraftmaschinen geringer Leistung sind diese Brennstoffe verwendet worden. Vor 1900 wurden „minderwertige Teeröle“ u.ä. Stoffe nur selten für Feuerungen eingesetzt. Mit dem Ausbau der Erdölraffinerien im 20. Jahrhundert fielen diese brennbaren Stoffe aber in größeren Mengen an. Sie wurden mit speziellen Brennern in Halblokomobilen verfeuert.

Die wesentlichen Vorteile flüssiger Brennstoffe waren: hoher Heizwert, einfachere „Beschickung“ durch Rohrleitungen, wenig Schlacken und Aschen, die Feuerung war gut zu steuern und zu automatisieren, geringe Bedienkosten (ein Heizer konnte bis zu 6 Feuerungen bedienen), keine Roste, schnelle Betriebsbereitschaft und, nach dem Aufbau entsprechender Raffineriekapazitäten, geringer Preis des Brennstoffes.

Die Nachteile waren: anfänglich geringe Verfügbarkeit, Vorwärmung notwendig, zur Inbetriebsetzung besonderes Feuer notwendig, höherer Schwefelgehalt (Korrosionsgefahr an den Heizflächen), Zerstäuber und Brenner empfindlich, Belastung der Abluft hoch, Verpuffungsgefahr in den Rauchrohren u.a.m.

Rohöle (Heizöl)

Bei der Raffination von Ölen aus natürlichen Quellen (Erdöl) fielen unterschiedliche flüssige Zwischenstoffe an, die als hochwertige Brennstoffe nicht geeignet waren. Beim Einsatz in Halblokomobilen wurden primär diese minderwertigen Rohöle in Form schwerer und extra schwerer Rohöle verwendet. Ihr Heizwert war stark vom Förderort abhängig. Er lag bei einheimischen Ölen zwischen 9000 und 10000 WE, bei rumänischen Ölen bei ca. 9900 und bei nordamerikanischen Ölen bei 9300 bis 10100 WE je kg Öl.

Masut

Masut war die Bezeichnung eines speziellen Destillationsrückstands bei der Erdölverarbeitung, und zwar bei der Petroleumdestillation. Es war eine dicke, zähflüssige, dunkle, schwarzbraune Flüssigkeit - ähnlich den dunklen, zähflüssigen Zylinderölen. Der Kohlenstoffanteil lag im Durchschnitt bei 88 %. Masut wurde vielfach für Feuerungszwecke genutzt und auch als Schmiermittel verwendet. Bei natürlicher Verbrennung entstand eine

stark qualmende Flamme, vorgeheizt und fein zerstäubt brannte es fast rauchfrei. Der Heizwert von Masut lag bei 10500 WE.

Teeröl

Teer und Teeröle sind das dickflüssige, dunkle, öartige und z.T. harzige Produkt der trockenen Destillation organischer Stoffe. Man unterschied, je nach Viskosität, leichte Teeröle und schwere Teeröle. Als organische Ausgangsstoffe wurden bei der Teeröldestillation verwendet:

- Holz (meist minderwertige Holzreste, Krummholz und Wurzelstöcke).

Es wurde trocken in Öfen oder Retorten destilliert. Als Destillationssubstrate fielen neben dem Teer an: Teeröle, Kreosot, Aceton u.a.m.

- Steinkohle

Sie wurde zur Koks und zur Gaserzeugung (u.a. Stadtgas) trocken destilliert. Neben großen Mengen an Steinkohlenteer fielen dabei noch eine Reihe flüssiger und zähflüssiger Stoffe, die sogenannten Teeröle, an. Die stofflichen Ergebnisse bei der Steinkohlendestillation waren stark von der Destillationstemperatur abhängig. Bei der Gaserzeugung wurden hohe Temperaturen eingesetzt. An weiterverwendbaren Brennstoffen fielen dabei Benzole, Naphtha und Naphthalinöl, Phenol, Anthracen u.a.m. an. Wurde bei niedrigen Temperaturen destilliert, fiel vorwiegend Methan an. Auch der Steinkohlenteer wurde häufig weiterverarbeitet. Beispielsweise zu Benzol, Naphthalin und Anthracen. Steinkohlenteeröle hatten einen Heizwert von 9000 bis 9500 WE.

- Braunkohle

Die trockene Destillation von Braunkohle in sogenannten Teerschwelereien wurde bei relativ niedrigen Temperaturen durchgeführt. Neben dem Braunkohlenteer fielen noch Paraffine und diverse Teeröle an. Die Bedeutung der Braunkohlendestillation war gering. Der Heizwert der Teeröle ging bis 9900 WE.

- Naphtha

Naphtha war die ursprüngliche Bezeichnung für verschiedene Ätherarten. Danach wurde die Bezeichnung als Sammelname für verschiedene, minderwertige Raffinationsprodukte verwendet, die in Zwischenstufen der Raffinationsprozesse der Steinkohlendestillation anfielen. Beispielsweise setzten sich bei der Raffination des Petroleums entzündliche Anteile ab, die als Lampenbrennöl nicht zu verwenden waren. Die Abgrenzung von Naphtha zu anderen Brennstoffen, beispielsweise leichten Teerölen aus der trockenen Destillation der Steinkohle, war nicht immer eindeutig. Unter dem Sammelname Naphtha findet man: Petroleumnaphtha, Gasolin, Rhigolen u.a.m. Der Heizwert der Stoffe lag bei 8000 – 9500 WE.

- Vegetabilische Öle

Als Brennmaterial für Lokomobilen waren sie in geringem Umfang nur bei Klein-Kraftmaschinen im Einsatz. Die Öle wurden aus Ölpflanzen durch mechanische Prozesse oder durch Extraktion mit entsprechenden Lösungsmitteln gewonnen. Es gab sie in unterschiedlichen Sortenbezeichnungen mit unterschiedlichen Heizwerten. Rüböl hatte beispielsweise einen Heizwert von 9300 WE, Baumöl von 11200 WE.

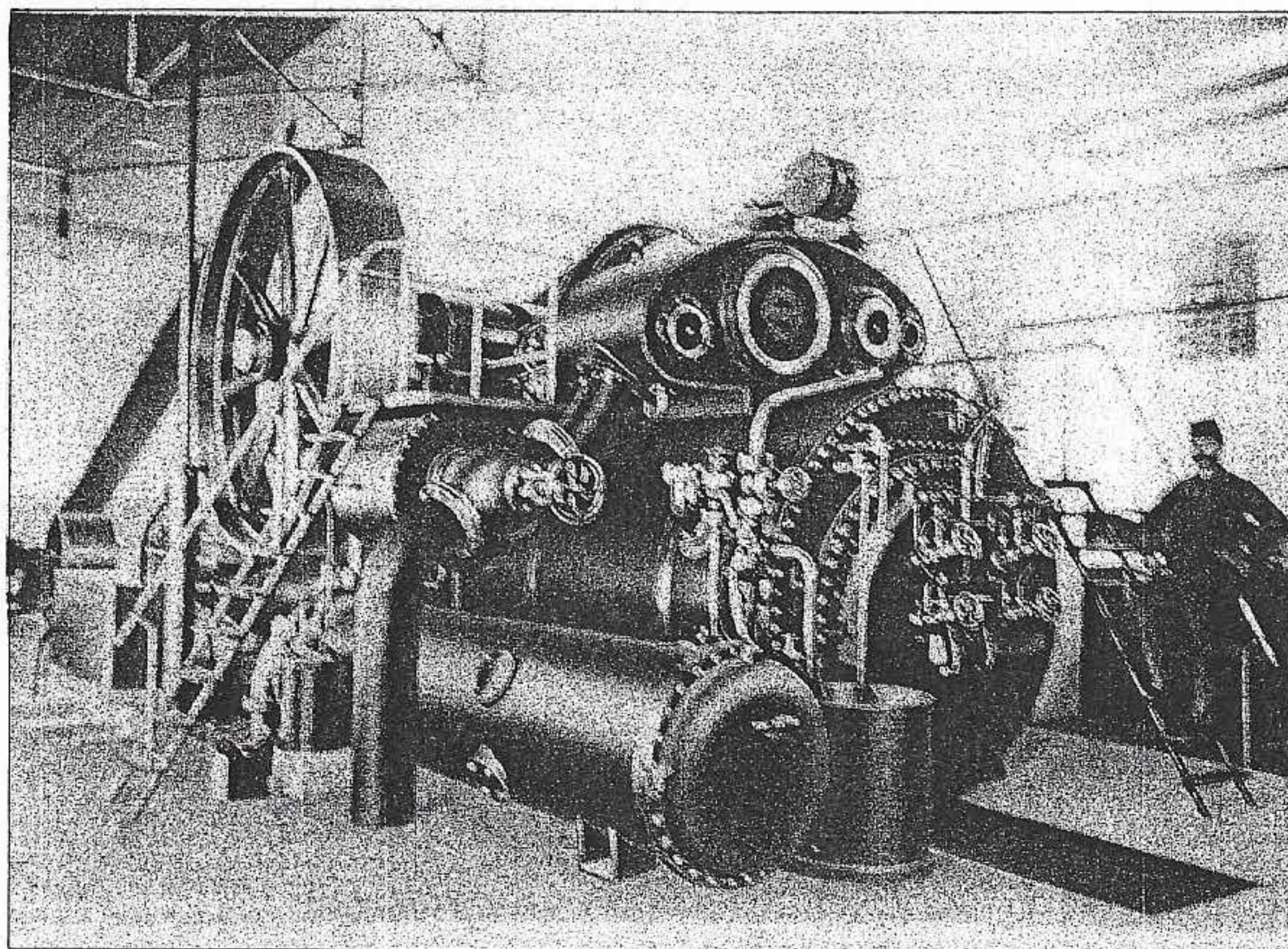


Bild 6.3/1: 400 PS-Hochdruck-Verbundlokomobile von R. Wolf mit Rohpetroleumfeuerung (Elektrische Zentrale der Straßenbahn von Saloniki, Griechenland (1920))

Petroleum

Gewonnen durch Destillation des natürlichen Erdöls in Raffinerien (siehe Massut). Ab 1859 für Beleuchtungszwecke weit verbreitet. Hauptexporteur USA. Raffiniertes Petroleum hat ein spezifisches Gewicht von 0,81, Siedepunkt ca. 180 bis 300 °C. Auch als konsistentere Petroleumsorten verwendet (Globöl, Kaiseröl, Phönixöl u.a.m.).

Benzin

Bezeichnung für ein breites Spektrum an flüssigen Brennstoffen, das durch Destillation aus Rohpetroleum gewonnen wurde. Unterschiedliche Handelssorten, die in zwei Gruppen gegliedert werden können: Leichtbenzin und Schwerbenzin. Ähnliche Eigenschaften wie Benzol.

Ergin

Handelsname eines flüssigen Brennstoffs, der aus einheimischer Kohle gewonnen wurde. Erzeugung in speziellen Anlagen (Ergin-Anlagen). Preiswert, als Ersatz für Brennstoffe auf Erdölbasis gedacht.

Spiritus

Aus einheimischen Pflanzen durch Gärung gewonnener flüssiger Brennstoff. Gewonnen aus stark zucker- oder stärkehaltigen Pflanzen (Kartoffeln, Getreide u.ä.). Relativ preiswert. Geringer Heizwert (3/4 von Benzol).

Benzolspiritus

Benzol mit Spirituszusatz zur Senkung des Erstarrungspunktes. Verfeuerung des Brennstoffes bei niedrigen Temperaturen ohne Anwärmung.

Anmerkung:

Neben den genannten drei Gruppen an flüssigen Brennstoffen gab es noch eine Vielzahl anderer Substanzen, die in Einzelfällen bei Lokomobilen verfeuert wurden. Eine einheitliche Bezeichnung für gleiche oder weitgehend ähnliche Brennstoffe gab es noch nicht. Einige Bezeichnungen wurden von einzelnen Firmen nur als Handelsname verwendet. Sie heben sich im Laufe der Zeit für bestimmte Brennstoffgruppen durchgesetzt. Achtung: es war üblich, flüssige Brennstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften zu mischen und unter festen Handelsbezeichnungen zu verkaufen. Eine genaue Zuordnung der Inhaltsstoffe ist heute nicht mehr möglich. Eine gewisse Verbreitung haben folgende flüssige Brennstoffe gefunden:

Benzol

Einheimisches Erzeugnis, das durch die Verkokung von Steinkohle gewonnen wurde. Bei der Verbrennung stark rußbildend. Verschiedene Sorten, z.B.: Rohbenzol (ab 1913 im Handel), Rohbenzol II (mit Zusätzen zur Herabsetzung des Gefrierpunktes), Solvent-Naphta u.a.m.

Autin

Handelsname für Benzol eines einheimischen Herstellers.

Citin

Bei der Steinkohlendestillation anfallender Brennstoff. Eigenschaften ähnlich Naphta.

6.4 Gasförmige Brennstoffe

Bei fahrbaren Lokomobilen und ortsveränderlichen Klein-Kraftmaschinen spielten gasförmige Brennstoffe keine Rolle. In einigen Fällen wurden Halblokomobilen mit Gasfeuerungen ausgestattet. Der Einsatz von Heizgas war auf die Orte beschränkt, an denen diese Brennstoffe zur Verfügung standen, beispielsweise als Gichtgas (Generatorgas), Mischgas (Dowsongas), Leuchtgas etc. Naturgas als Brenngas war in Deutschland ohne Bedeutung. Es gab nur einzelne Anwendungen von Grubengas bei Kesselheizungen (beispielsweise auf der Grube Frankenholz bei Mittelbexbach). Die eingesetzten Gase waren immer Mischungen einer Vielzahl unterschiedliche Kohlenwasserstoffe. Sie enthielten immer eine gewisse Menge an Fremdstoffen in Form fester Partikel und Schwebstoffen (beispielsweise Staub, Schwefel).

Kraft- oder Generatorgas

Das Gas wurde durch Vergasen von festen Brennstoffen beispielsweise Steinkohle, Braunkohle, Torf, Holz u.a.m. mittels Luft (und Wasserdampf) in Gasgeneratoren erzeugt. Das zu vergasende Brennmaterial wurde in einen schachtförmigen Ofen (Generator) gefüllt, am Rost gezündet und Luft hindurch geblasen oder gesaugt, und zwar mit so hoher Geschwindigkeit, dass eine vollständige Verbrennung nicht in Gang kam. Das durch die unvollständige Verbrennung entstandene Gas war brennbar. Man unterschied:

- Luftgas (Nur Luft und Kohlenstoff nahmen an der unvollständigen Verbrennung teil.).
- Wassergas (Das Gas wurde in speziellen, diskontinuierlich arbeitenden Generatoren erzeugt. Wasserdampf wurde dabei über glühenden Kohlenstoff (Koks) geleitet. Das dabei entstandene Gas enthielt bis zu 50 % Kohlenstoff. In Deutschland fand es bei Kesselheizungen Verwendung.
- Kraftgas, Mischgas (Dieses Gas wurde durch eine Verbindung des Luft- mit dem Wassergasverfahrens gewonnen.).

Gichtgas

Das Gas fiel in Eisenhüttenbetrieben beim Hochofenprozess in großen Mengen an. Zwar war der Heizwert durch den hohen Stickstoffanteil von z. T. über 60 % gering, aber die Kosten für das Gas waren außerordentlich gering. Es wurde oft zur Kesselheizung verwendet.

Koksofengas

Das Gas wurde als Nebenprodukt bei der Koksherstellung, insbesondere bei der Hüttenkoksherstellung, gewonnen.

Grubengas

Dieses natürliche Gas trat beim Abbau von Kohle in Bergwerken aus den Kohleschichten aus.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts unterschied man bei Gasen, die zur industriellen Verfeuerung genutzt wurden, zwei Gruppen:

- „Armgame“ mit niedrigerem Heizwert und vielen Fremdstoffen (Ballaststoffe),
- „Reichgame“ mit hohem Heizwert und geringem Anteil an Fremdstoffen.

Armgame waren Gichtgame, Generatorgame u.ä. mit einem Heizwert bis ca. 2500 kcal/m³. Als Reichgame galten Raffineriegame, Koksofengas, Leuchtgas und später Erdgas u.a.m. Der Heizwerte dieser Gase waren hoch. Im Allgemeinen lagen sie über 3000 kcal/m³.

| Brennstoff | Heizwert (WE/kg) | Heizwert (kcal/m ³) |
|----------------------------------|------------------|---------------------------------|
| Kraftgas (Luftgas) | 850 - 1050 | |
| Kraftgas (Wassergas) | 2500 | |
| Kraftgas aus Anthrazit | | 1300 |
| Kraftgas aus Braunkohle | | 1200 |
| Kraftgas aus Koks | | 1180 |
| Mischgas (Luftgas und Wassergas) | | 1100 - 1200 |
| Gichtgas | 710 | 900 |
| Koksofengas | 10000 | 4800 |
| Leuchtgas | 12000 | 5000 |

Bild 6.4/1: Heizwert unterschiedlicher Gase

Die Vorteile der Gasfeuerung waren: gute Steuerbarkeit der Verbrennung, kein Anheizen notwendig, einfacher Aufbau des Feuerraumes, geringer Bedienungsaufwand.

Nachteile der Gasfeuerung: geringe Verfügbarkeit der Brenngase, als Nebenprodukte von anderen Prozessen schwankte ihre Qualität (Heizwert) stark, Explosionsgefahr.

Vor allem die Explosionsgefahr war im praktischen Betrieb sehr hinderlich. Es mussten umfangreiche Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden. Insbesondere in der Anheizphase konnte es in der Feuerstelle zur Ansammlung von Knallgasgemischen kommen.

Anmerkung

Der geringe Einsatz von gasförmigen Brennstoffen bei Dampfanlagen hatte auch einen technischen Grund. Ende des 19. Jahrhunderts kamen in größerem Umfang Gaskraftmaschinen als Antriebsmaschinen zum Einsatz. Diese Explosionsmotoren nutzten Brenngase durch die Verbrennung im Brennraum des Zylinders direkt. Voraussetzung war eine hinreichende Qualität der Brenngase. Eine Verfeuerung in Dampfkesseln, die Verdampfung von Wasser und die Umwandlung der thermischen Energie des Dampfes in mechanische Energie in einer Dampfmaschine waren zu aufwendig und unwirtschaftlich.

Anmerkung

In einzelnen Fällen wurden bei Halblokomobilen auch gesondert erzeugte Kraftgase zur Kesselfeuerung verwendet. In der Regel war die Verwendung dieser Gase nur dann wirtschaftlich, wenn es noch für andere Zwecke genutzt werden konnte. Es gab eine Vielzahl an Verfahren zur Gewinnung der Kraftgase. Ein Verfahren war die sogenannte „Wassergas-Gewinnung“. Man erzeugte es, indem man Luft und Wasserdampf gleichzeitig durch eine Schicht aus glühendem Koks oder Kohle leitete. Es gab zwei Anlagenausführungen:

- Anlagen mit besonders zu heizendem Hochdruck-Dampfkesseln und
- Anlagen ohne Dampfkessel.

Eine Anlage der ersten Gruppe zeigt das nachfolgende Bild. Im kleinen Dampfkessel a wird überhitzter Dampf erzeugt. Mit Hilfe des Gebläses i werden der Dampf und eine bestimmte Menge Luft unter den Rost des Schachtofens (Generator) l geblasen. Der Brennstoff wird durch einen luftdicht verschließbaren Fülltrichter mit doppeltem Verschluss (Deckel b und Ventil c) zugeführt. Nach dem Anheizen tritt das Gas durch das Rohr f aus. Der Vorwäscher g reinigt das Rohgas mit Hilfe eines Wasserbades, h ist ein Sägemehltreiber und k ein abschließender Feinreiniger (Skrubber).

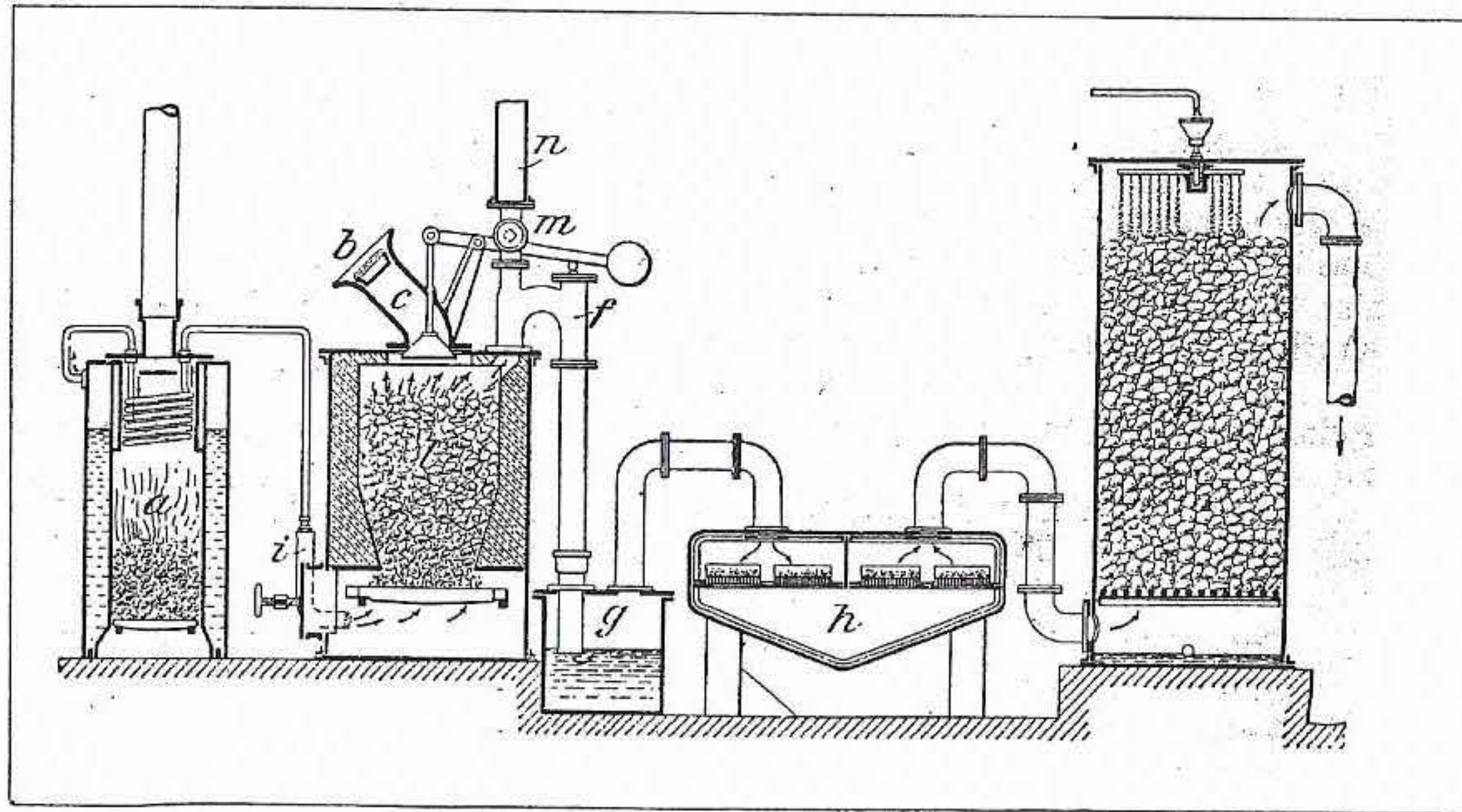


Bild 6.4/2: Druckgasanlage mit Dampfkessel (um 1900)

Anmerkung

In Betrieben der Holzverarbeitenden Gewerbe fielen in großen Mengen Restholz und Sägespäne an. Aus diesen konnten mit Hilfe geeigneter Anlagen brennbare Gase (Holzgase) gewonnen werden. Wenn in den Betrieben diese Gase z.B. primär zum Heizen von Trocknern verwendet wurden, konnten überschüssige Mengen als Feuerungsgase für Halblokomobilen eingesetzt werden. Ein Beispiel für eine Holzgasanlage zeigt Bild 6.4/3. Eine genaue Beschreibung ist nicht notwendig. Der linke Teil der Anlage diente zur Vergasung des Holzes, der rechte Teil zur Reinigung und Kühlung des Gases.

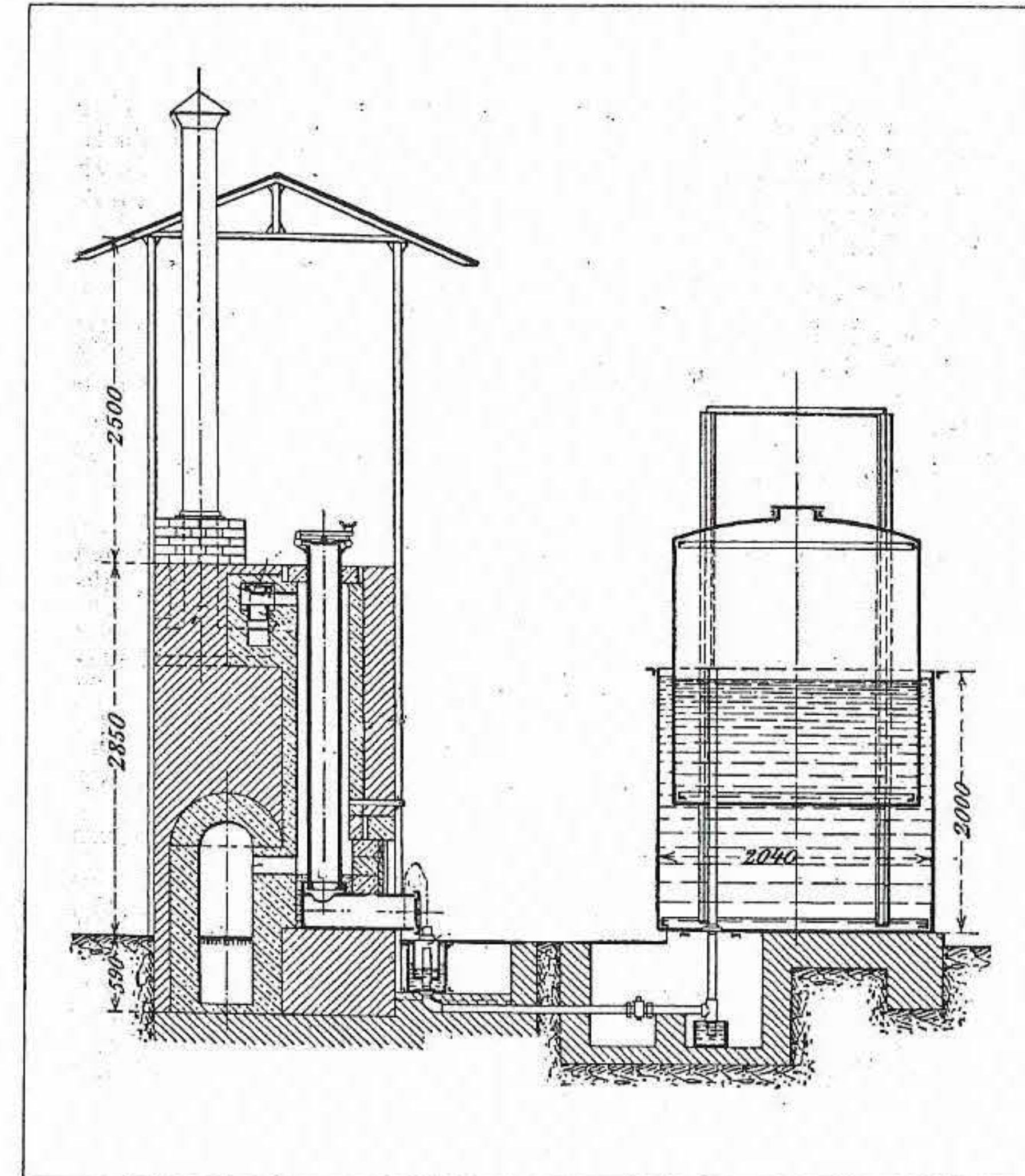


Bild 6.4/3:
Anlage zur Vergasung
von Holzabfall

7. DIE FEUERUNGEN

7.1 Der allgemeine Verbrennungsprozess

Der Verbrennungsprozess, also der Prozess der chemischen Reaktion bestimmter Stoffe mit Sauerstoff unter Freisetzung von größeren Mengen thermischer Energie (exotherme Reaktionen), ist unter realen Verhältnissen sehr komplex. Es dauerte lange, bis das grundlegende Verständnis für die Abläufe in Verbrennungsprozessen entwickelt worden war. Und es dauerte nochmal Jahrzehnte, bis man die wesentlichen technischen Parameter zur Steuerung dieses Prozesses zielgerichtet einsetzen konnte. Vereinfacht verstand man bei einer technischen Feuerung unter einer Verbrennung der üblichen Brennstoffe die Verbindung von Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H) und Schwefel (S) mit Sauerstoff (O) unter Wärme- und Lichtentwicklung. Der Gehalt an Kohlenstoff war ein Maß für die Güte des Brennstoffes. Zur Einleitung einer Verbrennung musste wenigstens ein Teil des Brennstoffes auf eine brennstoffspezifische Temperatur gebracht werden, die sogenannte Entzündungstemperatur. Sie schwankt, je nach Zusammensetzung des Brennstoffes, in weiten Grenzen. Bei hinreichender Sauerstoffzufuhr verband sich ein Teil Kohlenstoff mit zwei Teilen Sauerstoff zu einem nicht brennbaren Gas Kohlendioxyd. Dabei wurden je kg Kohlenstoff 8080 WE frei („vollkommene Verbrennung“). Bei nicht genügender Sauerstoffzufuhr verband sich nur jeweils ein Teil Sauerstoff und Kohlenstoff zu dem brennbaren Gas Kohlenoxyd. Dabei wurden nur 2470 WE frei und beim Verbrennen des Kohlenoxyds 2440 WE. Die übliche Bezeichnung für diesen Prozess war „unvollkommene Verbrennung“. Dieser zweistufige Prozessablauf war der Grund für die besondere Bedeutung der Luftführung bei technischen Feuerungen. Ohne genügende Sauerstoffzufuhr war die erzeugte Wärmemenge bei gleichem Brennstoff viel geringer. Bei realen Rostfeuerungen waren die Verhältnisse komplizierter. Es fand zunächst eine teilweise Vergasung des Brennstoffes unterhalb der Entzündungstemperatur statt. Die entstandenen komplexen Gasgemische waren sehr leicht brennbar. Bei genügender Temperatur und entsprechender Sauerstoffzufuhr brannte das Gas weiter. Direkt oberhalb des Rostes wurde im Feuerbett die Entzündungstemperatur überschritten. Dort liefen dann die oben zuerst angedeuteten Prozesse kontinuierlich ab.

Entscheidend bei technischen Verbrennungsprozessen war die Geschwindigkeit des Prozessablaufs. Die Reaktionsgeschwindigkeit der beteiligten chemischen Elemente musste langsam sein, um in Grenzen gesteuert werden zu können (Reaktionskinetik). An dieser Stelle ist es nicht erforderlich, auf molekularchemische Grundlagen einzugehen. Das prinzipielle soll dargestellt werden. Es war aus der Erfahrung unmittelbar plausibel, dass die Verbrennung von Kohlen mit einer anderen Kinetik ablief als beispielsweise die Verbrennung von Stroh. Alle technisch gestaltbaren Parameter einer Feuerung, die Größe des Feuerraums, der Rost, die Luftführung etc. mussten diese Einflüsse berücksichtigen.

Der Verbrennungsprozess läuft nach einem konstanten Schema ab. Eine Startreaktion schafft die Bedingungen für die Verbrennung (Zündung). Die nachfolgenden Reaktionsketten werden in Gang gesetzt und laufen eine Zeit lang unter kontrollierten Bedingungen unter Abgabe thermischer Energie ab (der Verbrennungsprozess im engeren Sinne). Der Kettenabbruch durch Verringern der Sauerstoffzufuhr, Reduzierung der Brennstoffmenge u.a.m. führt zum allmählichen Prozessende (Verlöschen). In der praktischen Umsetzung war für die Erreichung der Entzündungstemperatur ein Vorheizen oder Anheizen notwendig. Weiterhin musste eine ausreichend hohe Temperatur während der Verbrennung gehalten werden, damit die chemischen Prozesse kontinuierlich ablaufen konnten. Das erforderte eine genaue Luftführung und einen kontinuierlichen Einsatz des Brennstoffes. Bei zu niedriger Temperatur verbrannten die entstehenden Gase nur unvollständig. Nach der Verbrennung befanden sich noch brennbare Bestandteile (z. B. Kohlenmonoxyd, Wasserstoff, Methan

u.a.m. sowie feste Partikel in Form von Kohlenstoff oder Schwefel) im Rauch. Der Wirkungsgrad der Feuerung sank stark ab. Es war thermisch und wirtschaftlich günstig, wenn der Verbrennungsprozess auf einem hohen Temperaturniveau ablief und tendenziell mit ausreichender, aber nicht zu viel Luft ein guter Verbrennungsprozess in Gang gehalten wurde. Bei Festbrennstoffen galt das sowohl für die mit einer Flamme brennenden gasförmigen Bestandteile als auch für die glühenden Partien des Feuerbetts. Das war auch die Erklärung dafür, warum beispielsweise bei geöffneter Feuertür und massiver Luftzufuhr die Verbrennung zurückging. Das Flammenbild der Brennstoffe hing wesentlich vom Wasserstoffgehalt ab. Brennstoffe mit wenig Wasserstoff brannten mit kurzer blauer Flamme, wasserstoffreiche Stoffe brannten mit langer weißlich-gelber bis gelbroter Flamme. Die Länge der sich zeigenden Flamme war darüber hinaus vom Verhältnis des Kohlenstoffs (C) zum Wasserstoffs (H) abhängig. Je größer das Verhältnis war, umso kleiner zeigte sich die Flammenlänge. Bei Holz lag das Verhältnis bei etwa $C/H = 8/1$, bei Anthrazit lag es bei $35/1$. Holz brannte daher mit sehr langer Flamme.

Die Höhe der Temperatur bei der technischen Verbrennung war von vielen Einflussgrößen abhängig. Genaue Werte konnten sinnvollerweise nur durch direkte Messungen ermittelt werden. In erster Linie war die Temperatur vom Brennstoff abhängig. Bei festen Brennstoffen war die Zahl der weiteren Einflussgrößen hoch. Angefangen bei der Art der Feuerbüchse, über die Luftführung bis zu individuellen Einflüssen durch den Heizer reicht das Spektrum. Die historischen Angaben zur Temperatur realer Feuerungen reichten von 700°C bis fast 1500°C . Die realen Verbrennungstemperaturen lagen deutlich unter denen, die unter den idealen Bedingungen einer „vollständiger Verbrennung“ erreicht wurden.

| Festbrennstoff | Art der Feuerung | Verbrennungstemperatur in $^{\circ}\text{C}$ | Bemerkung |
|----------------|------------------|--|---|
| Steinkohle | Innenfeuerung | 1000 - 1250 | |
| Steinkohle | Unterfeuerung | 1100 - 1300 | |
| Steinkohle | Vorfeuerung | 1250 - 1500 | |
| Braunkohle | | 700 - 1400 | Stark vom Alter der Braunkohle abhängig |
| Torf | | 700 - 1200 | |
| Holz | | 700 - 1100 | |

Bild 7.1/1: Beispiele für Verbrennungstemperaturen bei offener Feuerung (Stand: 1912)

| Festbrennstoff | Verbrennungstemperatur in $^{\circ}\text{C}$ | Bemerkung |
|-------------------------------------|--|---|
| Steinkohle (Anthrazit) | 2730 | |
| Steinkohle (minderwert., Backkohle) | 2660 | |
| Braunkohle | 2200 - 2450 | Stark vom Alter der Braunkohle abhängig |
| Torf | 2150 | lufttrocken |
| Holz | 1970 | lufttrocken |

Bild 7.1/2: Beispiele für Verbrennungstemperaturen bei „vollständiger Verbrennung“

Die Reaktionsenergie bei Verbrennungsprozessen konnte unter Zugrundelegung definierter Rahmenbedingungen berechnet werden. Für die Praxis waren Messungen der Reaktionsenergie wichtiger. Hierbei wurde das Brennstoffmaterial mit dem Sauerstoff der Luft in einem kalorimetrischen Gefäß verbrannt und die freigesetzte Wärmeenergie bei der vollkommenen Verbrennung gemessen. Man sprach von einem charakteristischen „Brennwert“ oder „Heizwert“ eines Brennstoffes. Damit konnten unterschiedliche Brennstoffe sehr einfach verglichen und einfache Feuerungen näherungsweise ausgelegt werden. In der Technik war es üblich, wie im Kapitel 6 erwähnt, diese Wärmeenergie in Wärmeeinheiten (WE) anzugeben. Der Wert war natürlich brennstoffabhängig und wurde immer auf 1 kg Brennstoff bezogen. Bei der praktischen Verbrennung konnte dieser

theoretische Heizwert nicht erreicht werden. Die Verluste wurden durch den Wirkungsgrad der Feuerung berücksichtigt. Im Einzelnen waren folgende Verluste zu berücksichtigen:

- unverbranntes Material (z.B. Rostdurchfall): 1 bis 3 %,
- unvollkommene Verbrennung: 1 bis 7 %,
- falsche Luft: 2 bis 5 %,
- nasses Brennmaterial (bei Festbrennstoffen): 3 bis 5 %.

Weitere und größere Verluste traten beim Wärmeübergang von der Heizfläche zum Kesselwasser auf. Diese wurden im Wirkungsgrad der Heizfläche zusammengefasst. Verluste traten auf durch:

- Wärmeinhalt der Abgase (ohne Vorwärmer): 10 bis 20 %,
- Wärmeinhalt der Abgase (mit Vorwärmer): 5 bis 10 %,
- Wärmeleitung und -strahlung an die Umgebung: 4 bis 8 %.

Der Gesamtwirkungsgrad lag in der Praxis bei ortsveränderlichen Kessel $\eta = 0,4$ bis $0,6$ bezogen auf das eingesetzte Brennmaterial.

Die Luftmenge (l), die zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff theoretisch erforderlich war, konnte mit Hilfe stöchiometrischer Gleichungen berechnet werden. Diese theoretische Luftmenge reichte in der Praxis zur völligen Verbrennung aber nicht aus, da unabhängig von der Brennstoffart, die brennbaren Gase nie ganz innig mit der zugeführten Luft vermischt waren. Es wurde daher immer mit einem gewissen Luftüberschuss gearbeitet. Zur Abschätzung der notwendigen Luftmenge waren Tabellen und Faustformeln verbreitet. Dabei wurden theoretischen Werte durch Faktoren ergänzt, die den Luftüberschuss (n) bei der realen Verbrennung berücksichtigten. Die Werte waren brennstoffabhängig. Als Näherungswerte galten beispielsweise:

n = 1,3 bis 1,5 bei deutscher Braunkohle,

n = 1,7 bis 1,9 bei Steinkohle.

Ähnliche Vorgehensweisen waren für die Abschätzung der gesamten Verbrennungsgasmenge (G) üblich, die bei der Verbrennung von 1 kg Brennstoff entstanden.

| | Heizwert | n | L = v x l | G (cbm) |
|---------------------|----------|-----|-----------|---------------|
| Gute Steinkohle | 7500 WE | 1,0 | 7,8 cbm | 1,3 - 1,4 x L |
| | | 1,5 | 11,7 cbm | |
| | | 2,0 | 15,6 cbm | |
| Mittlere Steinkohle | 6600 WE | 1,0 | 6,7 cbm | 1,4 - 1,5 x L |
| | | 1,5 | 10,3 cbm | |
| | | 2,0 | 13,7 cbm | |
| Geringe Steinkohle | 4800 WE | 1,0 | 5,0 cbm | 1,5 - 1,6 x L |
| | | 1,5 | 7,4 cbm | |
| | | 2,0 | 9,9 cbm | |

Bild 7.1/3: Verbrennungsgasmenngen bei Steinkohle (Auszug, bezogen auf 0° C und 1 atm)

Ähnlich wie die Behandlung der Feuerung selbst, ist auch die Ermittlung von „Heizwerten“ der unterschiedlichen Brennmaterialien einem langen Erkenntnisprozess gefolgt. Sehr lange haben sich einfache „Faustformeln“ gehalten. Um die Werte für den praktischen Gebrauch einfach handhabbar zu machen, hat man in vielen Fällen die spezifischen „Wärmewerte“ nicht in Energieeinheiten je kg Material angegeben, sondern gleich auf die erzeugbare Dampfmenge in kg bezogen, unabhängig von allen Rahmenbedingungen. Diese Größe wurde auch als „Verdampfungsziffer“ oder „Verdampfungszahl“ bezeichnet. In manchen Quellen findet man auch die Bezeichnung „Brennstoffleistung“.

| Brennstoff | Verdampfungsziffer (kg Dampf/kg Brennstoff) | max. Verdampfungsziffer (kg Dampf/kg Brennstoff) | Bemerkung |
|---------------------------|---|--|----------------|
| Steinkohle (Schwarzkohle) | 6 - 8 | 10 | trockene Kohle |
| Koks | 4,5 - 8 | 9-10 | |
| Braunkohle | 2,5 - 4 | 5 | |
| Torf | 1,5 - 3 | 3,5 | trocken |

| | | | |
|-------|-----------|-----|-----------------|
| Holz | 2,5 - 3,5 | 4,5 | lagertrocken |
| Stroh | 1,5 - 2 | 2,5 | je nach Feuchte |
| Lohe | 1,0 - 1,2 | 1,4 | trocken |

Bild 7.1/4: Verdampfungsziffer verschiedener Brennstoffe

Ein weiterer praktischer Wertfaktor für die Beurteilung von Brennmaterialien war die „Heizkraft“. Sie ist nicht zu verwechseln mit dem „Heizwert“. Die „Heizkraft“ gibt die Zahl der Wärmeeinheiten an, die von 1 kg Brennstoff innerhalb einer gewissen Zeit entwickelt werden kann. Sie ist abhängig von der Geschwindigkeit, mit der ein bestimmter Brennstoff verbrennt.

Noch einfacher waren Werte zu handhaben, die gleich eine Umrechnung der Menge des eingesetzten Brennmaterials in die zu erwartende Leistung gestatten. Diese relativen Werte, bezogen auf 1 kg Brennstoff und die zu erwartende Leistung in PS und Stunde, waren allerdings nur für eine sehr grobe Abschätzung geeignet. Häufig wurden auch die reziproken Werte verwendet. Mit ihnen konnte man die pro PS und Stunde verbrauchte Menge an Brennmaterial in kg abschätzen.

| Brennstoff | Verbrauch des Brennstoffes pro PS und Stunde (in kg) | Bemerkung |
|---------------------------|--|------------------------|
| Steinkohle (Schwarzkohle) | 3 - 4 | trocken |
| Koks | 3,5 - 5 | |
| Braunkohle | 4 - 5 | |
| Torf | 6 - 9 | trocken |
| Holz | 7 - 10 | lagertrocken: 5 - 8 kg |
| Stroh | 10 - 14 | |
| Lohe | über 18 | |

Bild 7.1/5: Leistungskennwerte von Brennmaterialien (Auszug)

Eine andere Kennzahl bei Feuerungen mit festen Brennstoffen war die stündlich auf 1 qm Rostfläche verbrannte Brennstoffmenge m_R in kg/Std. Bei Lokomobilen lag der Wert bei:

- Steinkohle: $m_R = 300$ bis 400 kg/Std (bei einem Wirkungsgrad der Feuerung von ca. 80 %),
- Koks: $m_R = 200$ bis 270 kg/Std,
- Braunkohle: $m_R = 450$ bis 800 kg/Std,
- Holz und Torf: $m_R = 370$ bis 600 kg/Std.

Diese einfachen Abschätzungswerte reichten in vielen Fällen für eine Einsatzplanung der Lokomobilen aus. In der Praxis wechselte bei fahrbaren Maschinen die Art und Qualität des Brennmaterials häufig. Eine exakte Berechnung der Verbrauchswerte war nicht üblich. Im Verlauf der weiteren Entwicklung wurden insbesondere bei den Halblokomobilen die Maschinenleistungen deutlich gesteigert. Diese Maschinen traten damit in unmittelbarem Wettbewerb zu den großen stationären Dampfanlagen. In diesen Fällen waren die genauen Kenntnisse über die Verbrauchswerte und damit über den Gesamtwirkungsgrad für die Wirtschaftlichkeit entscheidend. Zum Ende des 19. Jahrhundert waren die wärmetechnischen Grundlagen so weit entwickelt, dass sichere Aussagen über diese Werte gemacht werden konnten. Eine Normierung der Brennmaterial-Sorten, ihrer Heizwerte und systematische Vergleiche von Verbrauchswerten ausgeführten Anlagen führten dazu, dass sichere Aussagen über die zu erwartenden Bedarfe an Brennmaterialien in der Entwurfsphase der Maschinen gemacht werden konnten.

Alle diese Werte sind durch die Erfahrungen beim Einsatz von Lokomobilen und anderen Dampfmaschinen entstanden. Die sehr unterschiedlichen Rahmenbedingungen und Einflussgrößen bei der Gewinnung der Werte sind nicht dokumentiert. Die in der historischen Literatur aufgeführten Größen schwanken daher stark, teilweise widersprechen sie sich auch.

| | Heizwert | Gute Steinkohle | Gute Braunkohle | Geringe Braunkohle | Bemerkungen |
|---|--|--|---|---|---|
| | | > 7000 | > 4000 | > 2700 Kal. | |
| a) Sehr gute Ausnutzung der Kohle angestrebt | auf 1 qm Rostfläche „ 1 qm Heizfläche „ 1 kg Kohle Schornsteinquerschnitt | 50 10 9—9,5 $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{4}$ | 80 10 ≥ 5 $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{4}$ | bis 150 kg Kohle/Std. 10 kg Dampf/Std. 3—3,3 kg bis $\frac{1}{4}$ der Rostfläche | Kessel mit sehr wirksamen Heizflächen können höher beansprucht werden; Wasserrohrkessel bis 35 kg Dampf/qm Heizfläche |
| b) Gute Ausnutzung der Kohle angestrebt | auf 1 qm Rostfläche „ 1 qm Heizfläche „ 1 kg Kohle | 75 17 8 | 120 17 4,5 | bis 220 kg Kohle/Std. 17 kg Dampf/Std. 2,5—3 kg Dampf | Sehr wirksame Heizflächen liefern reichlich 20 kg Dampf/Std. |
| c) Mäßige Ausnutzung der Kohle angestrebt | auf 1 qm Rostfläche „ 1 qm Heizfläche „ 1 kg Kohle | 90 24 7 | 150 24 3,8 | bis 270 kg Kohle/Std. 24 kg Dampf/Std. 2,5 kg Dampf | Sehr wirksame Heizflächen liefern 28 kg Dampf/Std. |
| d) Keine gute Ausnutzung der Kohle angestrebt | auf 1 qm Rostfläche „ 1 qm Heizfläche „ 1 kg Kohle | 100 30 6 | 180 30 3,3 | bis 300 kg Kohle/Std. 30 kg Dampf/Std. 2,2 kg Dampf | Sehr wirksame Heizflächen liefern noch 36 kg Dampf/Std. |

Bild 7.2.1/1: Beispiel einer Tabelle zur Abschätzung von Leistungswerten bei Feuerung mit festen Brennstoffen (1914)

Eine andere in der Praxis verbreitete Vorgehensweise bei der Auslegung oder Abschätzung einer Feuerung war die Nutzung von Kenngrößen. Diese relativen Größen verbanden einige relevante Parameter miteinander. Basis für diese Größen waren Ergebnisse ausgeführter Anlagen. Die Werte schwankten je nach verwendeten Quellen erheblich. Ein Erfahrungswert war beispielsweise, dass die Intensität der Feuerung sehr großen Einfluss auf die erzeugte Dampfmenge besaß. Man unterschied vier Betriebsarten:

- sehr mäßiger Betrieb (es wurde wenig Brennmaterial nachgelegt),
- mäßiger Betrieb (es wurde im üblichen Rahmen Brennmaterial nachgelegt),
- flotter Betrieb (es wurde viel Brennmaterial nachgelegt),
- forcierter Betrieb (es wurde, wie bei Lokomobilen üblich, sehr viel Brennmaterial nachgelegt).

Eine Kenngröße für die Intensität der Feuerung war der Forcierungsgrad:

$$\text{Forcierungsgrad} = \frac{\text{Brennmaterialverbrauch je Stunde}}{\text{Heizfläche in qm}} = \frac{B}{H}$$

Eine weitere wichtige Kenngröße war die Anstrengung des Kessels:

$$\text{Anstrengung} = \frac{\text{Dampfmenge je Stunde}}{\text{Heizfläche in qm}} = \frac{D}{H}$$

Je mehr Brennmaterial man unter ein und demselben Kessel verfeuerte oder je kleiner man bei derselben Brennmaterialmenge die Heizfläche des Kessels wählte, d.h. je höher der Forcierungsgrad war, desto mehr ging man nach und nach in die intensiveren Betriebsarten über. Der Wirkungsgrad der gesamten Kesselanlage sank mit zunehmender Forcierung deutlich.

| Art des Betriebes | Forcierungsgrad $\frac{B}{H}$ | | Wirkungsgrad der Kesselanlage η | Leistung des Brennmaterials $\frac{D}{B}$ | | Anstrengung des Kessels $\frac{D}{H}$ |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---|---------------------|---------------------------------------|
| | Mittlere Steinkohle | Mittlere Braunkohle | | Mittlere Steinkohle | Mittlere Braunkohle | |
| sehr mässig | 1 | 1,75 | 0,7 bis 0,8 | 8,75 bis 10 | 5,25 bis 6 | 9 bis 12 |
| mässig | 2 | 3,5 | 0,6 „ 0,7 | 7,5 „ 8,75 | 4,5 „ 5,25 | 12 „ 17 |
| flott | 3 | 5 | 0,5 „ 0,6 | 6,25 „ 7,5 | 3,75 „ 4,5 | 18 „ 23 |
| forcirt (Lokomobilen) | 5 | 8,5 | 0,4 „ 0,5 | 5 „ 6,25 | 3 „ 3,75 | 24 „ 30 |

Bild 7.2.1/2: Intensität, Forcierungsgrad und Anstrengung der Feuerung

| Der Kessel ist | Brennstoff | Stündlich auf 1 m ² Heizfläche | | Stündlich Brennstoff- verbrauch auf 1 m ² Rostfläche in kg | 1 kg Brenn- stoff erzeugt Dampf in kg |
|------------------------|----------------------|--|---|--|--|
| | | Brenn- stoffver- brauch in kg | er- zeugte Dampf- menge in kg | | |
| stark geschont | Steinkohle | 1,2 | 10 | 50 | 9 |
| | Braunkohle | 3,0 | | 100 | 3,4 |
| | Koks | 2 | | 40 | 8 |
| | Torf | 2,5 | | 70 | 3,5 |
| | Holz | | | 70 | 4,5 |
| | Lohe | | | 60 | 4,20 |
| | Sägespäne | 2,4 | | 60 | 4,25 |
| normal | Steinkohle | 2,0 | 16 | 70—95 | 8 |
| | Braunkohle | 5,5 | | 100—200 | 3 |
| | Koks | 4 | | 50 | 7 |
| | Torf | 4,5 | | 90 | 2,75 |
| | Holz | | | 90 | 4 |
| | Lohe | | | 75 | 3,70 |
| | Sägespäne | 4,25 | | 75 | 3,75 |
| etwas an- gestrengt | Steinkohle | 3,3 | 23 | 80—100 | 7 |
| | Braunkohle | 8,5 | | 120—300 | 2,5 |
| | Koks | 6 | | 60 | 6 |
| | Torf | 6,5 | | 100 | 2 |
| | Holz | | | 100 | 3 |
| | Lohe | | | 100 | 2,70 |
| | Sägespäne | 6,25 | | 100 | 2,75 |
| forziert | Steinkohle | 5 | 30 | 110 | 6 |
| | Braunkohle | 12,0 | | 200—400 | 2,2 |
| | Koks | 7,5 | | 75 | 5 |
| | Torf | 8 | | 120 | 1,75 |
| | Holz | | | 120 | 2 |
| | Lohe | | | 130 | 1,7 |
| | Sägespäne | 7,75 | | 150—200 | 2 |

Bild 7.2.1/3: Intensität, Brennstoffverbrauch und Dampfmenge (Werte um 1920)

Anmerkung:

Im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Feuerungsarten wird häufig auch der Begriff „Halbgasfeuerungen“ verwendet. Damit ist nicht die Luftführung in der Verbrennungszone mit gezieltem Einsatz von „Unter- und Seitenluft“ gemeint. Bei Halbgasfeuerungen wird das Brennmaterial beispielsweise in einer Vorfeuerung teils vergast teils verbrannt und danach durch entsprechende Luftzufuhr von unten vollständig verbrannt. Die sogenannten „Vollgasfeuerungen“ hatten bei Lokomobilen keine Bedeutung. Bei ihnen wurde das Brennmaterial meist in einem gesonderten Generator vollständig vergast und dann im Feuerraum verbrannt.

7.2.2 Die Hauptteile der Feuerung

In der Technik war es üblich, mit dem Begriff „Feuerung“ auch die baulichen Elemente der Feuerung zu bezeichnen. Diese Elemente waren von der Bauart des Kessels abhängig. Bei ortsveränderlichen Kraftmaschinen und Lokomobilen gehörten bei Verfeuerung von Festbrennstoffen folgende Bauelemente zur Feuerung:

- die innere Feuerbüchse (Feuerraum, Verbrennungskammer),
- der Rost,
- die Rostträger ggf. mit Schürplatte (Vorplatte als Verbindung zwischen Feuertür und Rost),
- die Feuerbrücke (je nach Kesselbauart notwendiger, hinterer Abschluss des Rostes),
- das Feuergeschränk (Abschluss der Feuerbüchse zum Heizer mit Heiz- oder Feuertür und ggf. Schürplatte),
- der Aschenfall (Aschenraum unterhalb des Rostes) mit Aschenbehälter,
- die Aschenfallklappen bzw. Aschenfalltür.

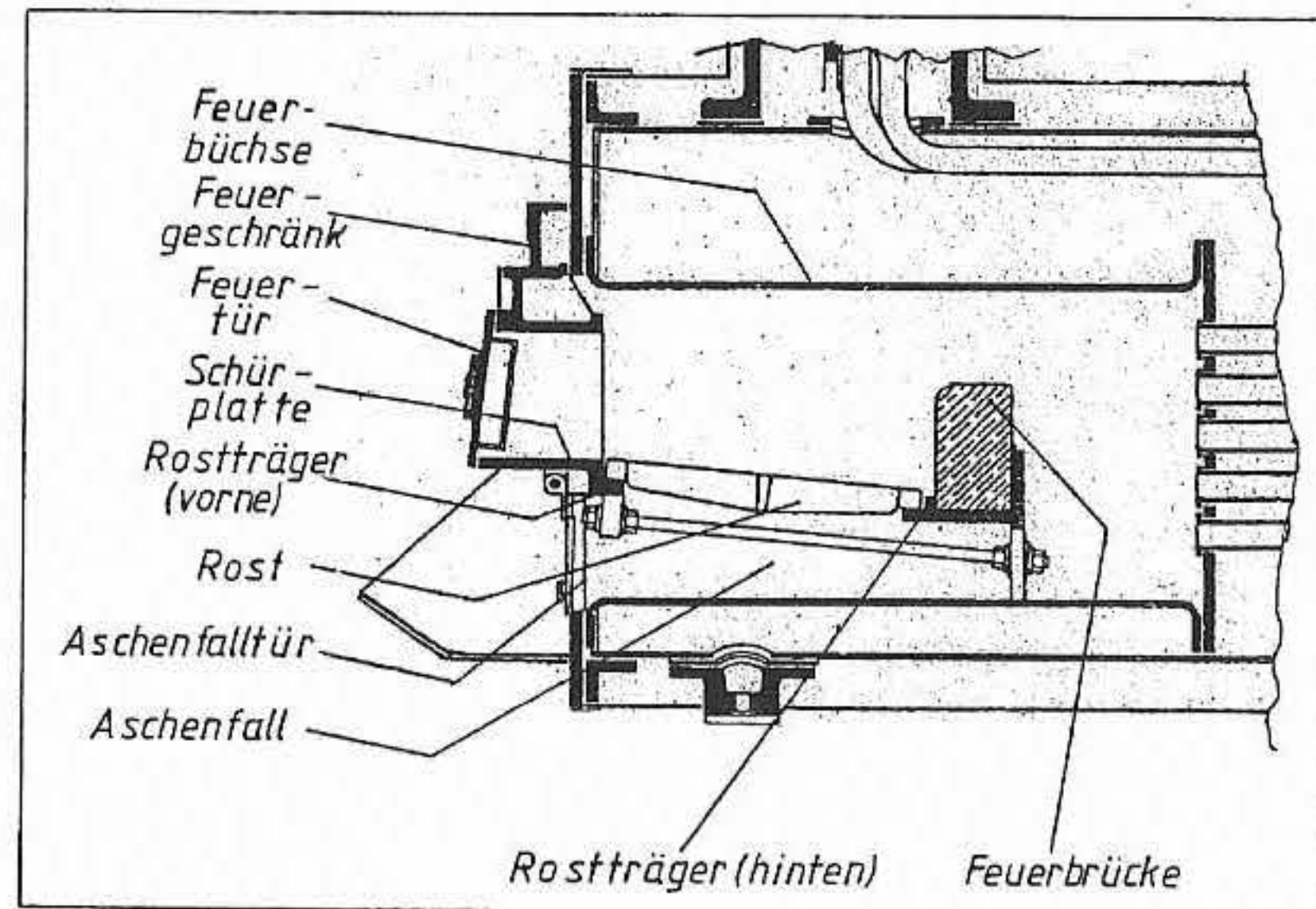


Bild 7.2.2/1:
Hauptteile der Feuerung

Die innere Feuerbüchse begrenzte den Feuerraum. Sie bestand meist aus Schmiedeeisen, selten aus Kupfer. Die einzelnen Teile waren vernietet. Die Formen waren unterschiedlich. Der Feuerraum musste so groß sein, dass sich das Feuer gut entfalten konnte. Die Größe war vom jeweils verwendeten Brennmaterial bzw. vom Brennmaterialspektrum abhängig. Wichtig war, dass der Abstand zwischen Rost und Decke der inneren Feuerbüchse genügend groß war. Dieses Maß war vom Brennmaterial, dessen Flammenbild und wesentlich von der Verbrennungskinetik abhängig. Weiterhin spielte die Dicke des Feuerbetts eine Rolle. Die Feuerbüchse musste so groß sein, dass ein Beschicken sowie das Schüren des Feuers ohne Einschränkung möglich waren.

Die Feuerbrücke begrenzte als hinterer Abschluss des Rostes den Feuerraum zur Kessel­seite und sorgt dafür, dass Teile des Brennstoffs durch den Zug nicht über das Rostende hinaus in die Flamm- oder Rauchrohre mit gerissen wurden. Sie verhindert auch ein Durchschlagen der Flammen. Des Weiteren sorgte sie für eine bessere Vermischung der Heizgase und förderte eine vollständigere Verbrennung. Die Feuerbrücke verteilt auch die Feuerungshitze gleichmäßig im Feuerraum. Insbesondere sorgte sie am Ende des Rostes für einen senkrechten Zug der Heizgase durch das Feuerbett. Sie lag etwas vor der hinteren „Kesselwand“. Der Träger der Feuerbrücke wurde aus Gusseisen hergestellt. Eiserne Feuerbrücken verschlissen sehr schnell. Im Allgemeinen wurde die eigentliche Feuerbrücke aus feuerfesten Steinen 20 bis 30 cm hochgemauert. Auch bei fahrbaren Maschinen werden gemauerte Feuerbrücken verwendet. Feuerbrücken wurden nicht bei allen Maschinen verwendet.

Das Feuergeschränk schloss die Feuerbüchse zur Heizerseite ab. Es bestand meist aus einer gusseisernen Frontplatte (bei Innenfeuerungen wurde sie Rahmen genannt) und Türen (z.B. der Heiz- oder Feuertür und der Aschenfalltür). Der Heiztürrahmen und ggf. die Vorplatte (Schürplatte) zur Erleichterung der Beschickung mit Brennmaterial war integriert. Die Heiztür war bei kleinen Lokomobilen einflügelig, bei großen Halblokomobilen auch zweiflügelig. Sie musste luftdicht abschließen und so klein wie möglich gehalten werden, damit beim Nachfeuern möglichst wenig unkontrollierte Luft in den Feuerraum gelangte. Sie sollte sich rasch öffnen und rasch schließen lassen. In der **Tafel 7.2.2/1** ist die Originalzeichnung einer Feuertür mit einem leicht zu handhabenden Feuertürverschluss wiedergegeben. Die Unterkante der Tür lag im Allgemeinen ca. 30 bis 40 cm über dem Rost. Durch die Heiz- oder Feuertür wurde das frische Brennmaterial aufgegeben und auf dem Feuerbett verteilt. Die Tür musste der Breite des Rostes angepasst sein (je nach Rostbreite ein- oder zweiflügelig). Die Tür konnte mit einer rasch verschließbaren „Schauöffnung“ (Rosette, Schieber etc.) versehen sein. Sie diente zur Einstellung der Oberluft, zur Kühlung der Schutzplatte und zur Beobachtung der Feuerung selbst. Durch die Feuertür wurde das Feuer geschürt, der Rost gereinigt und abgeschlackt. An der Innenseite der Feuertür konnte eine Schutzplatte aus Eisen angebracht sein. Sie verringerte als Wärmeschild die Wärmeableitung zur Heizerseite. Wenn die Feuerung für „Oberluft“ eingerichtet war, dient diese Platte auch zur Vorwärmung dieser Luft. Weiterhin verhinderte die Platte ein Verziehen oder ein Reißen der Heiztür. Bei einigen Ausführungen war die Aschenfallklappe bzw. Aschenfalltür Bestandteil des Feuergeschränks. In der **Tafel 7.2.2/2** ist die detaillierte Konstruktionszeichnung eines Feuergeschränks mit Rost und Feuerbrücke der Ascherslebener Maschinenbau-Aktiengesellschaft wiedergegeben. Die Feuerbrücke ist noch nicht gemauert. Das Feuergeschränk war für einen Flammrohrkessel von 70 bis 75 cm Durchmesser geeignet oder, in etwas abgewandelter Form, für eine zylindrische Feuerbüchse.

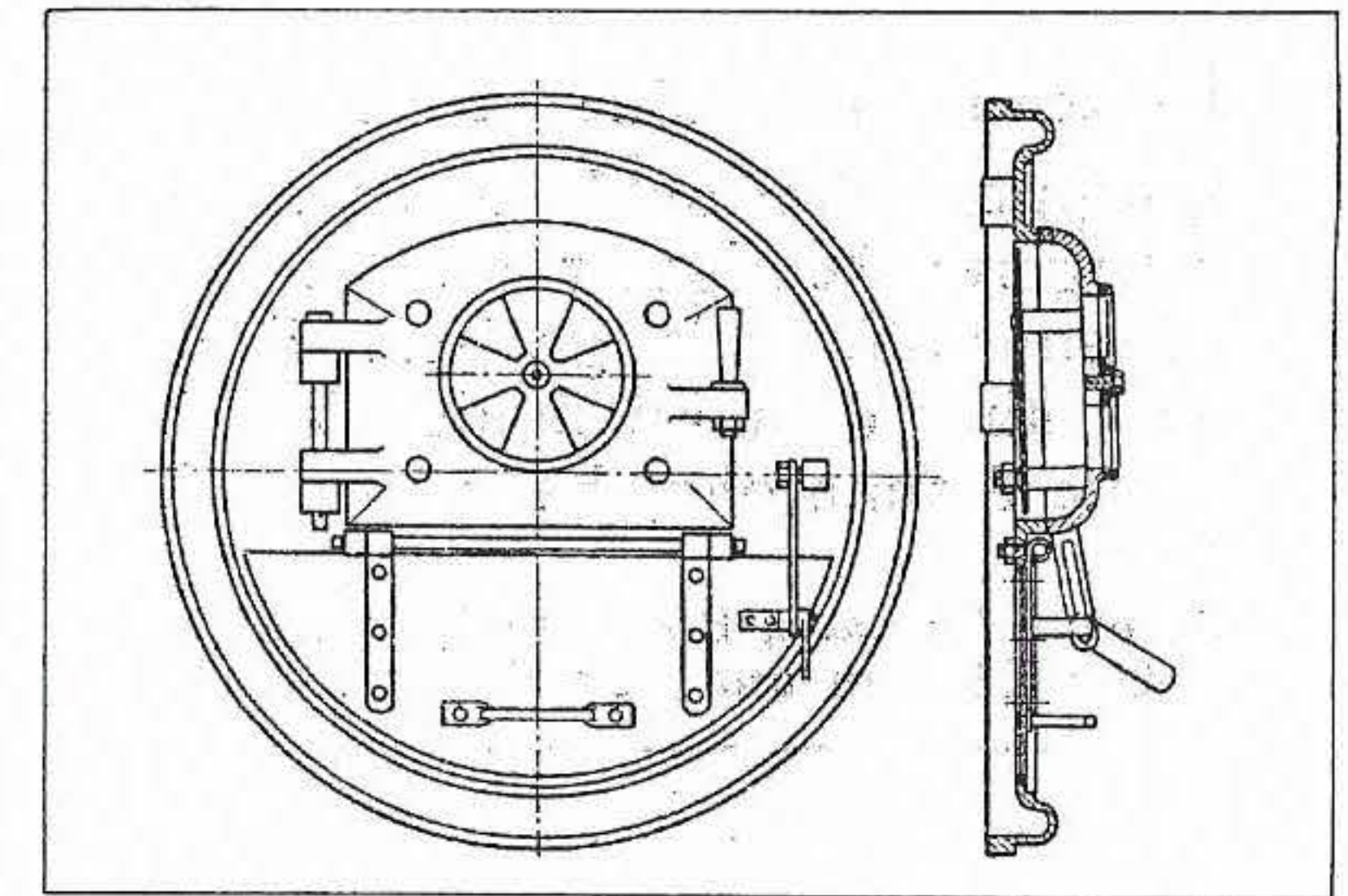
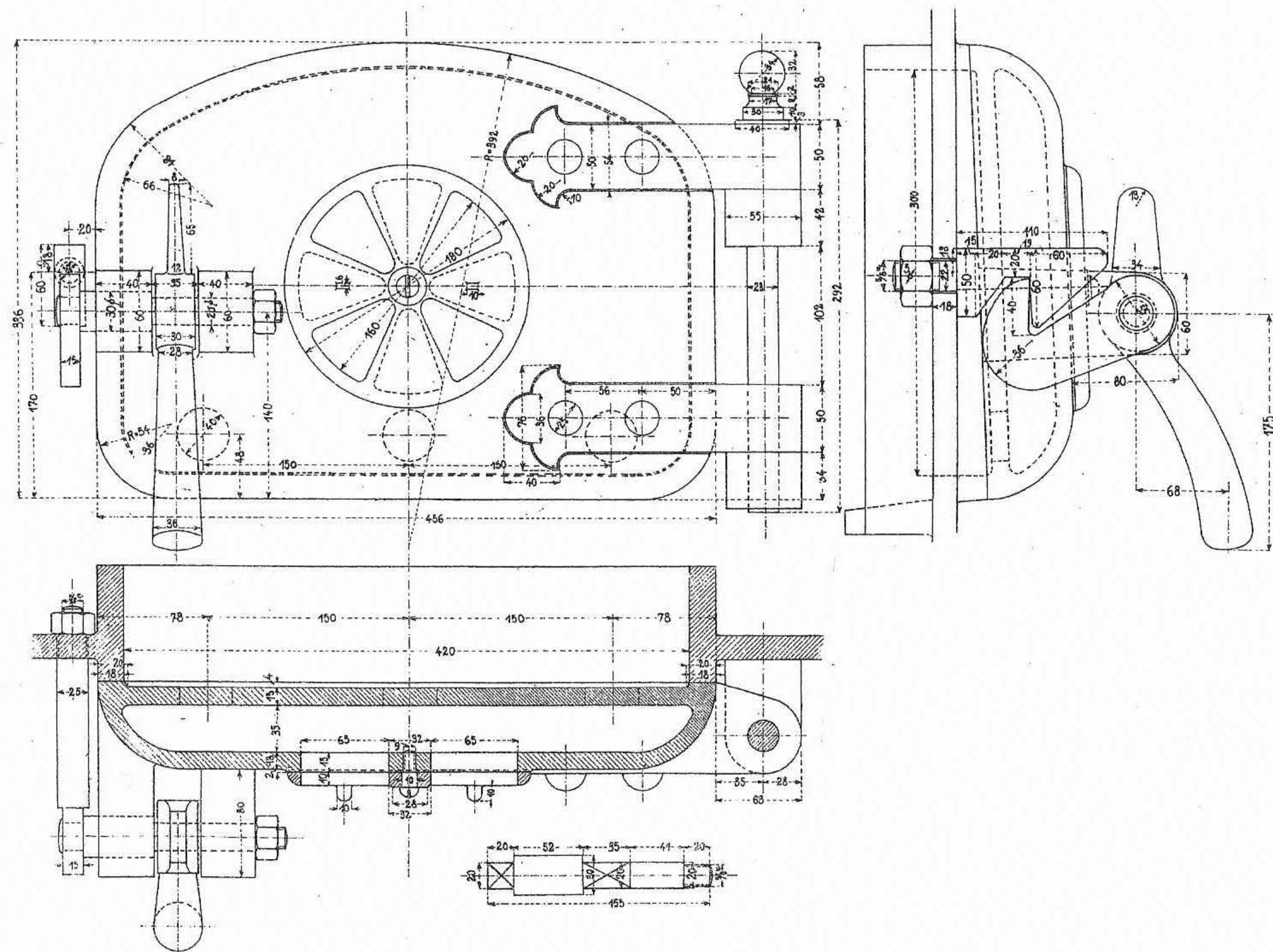
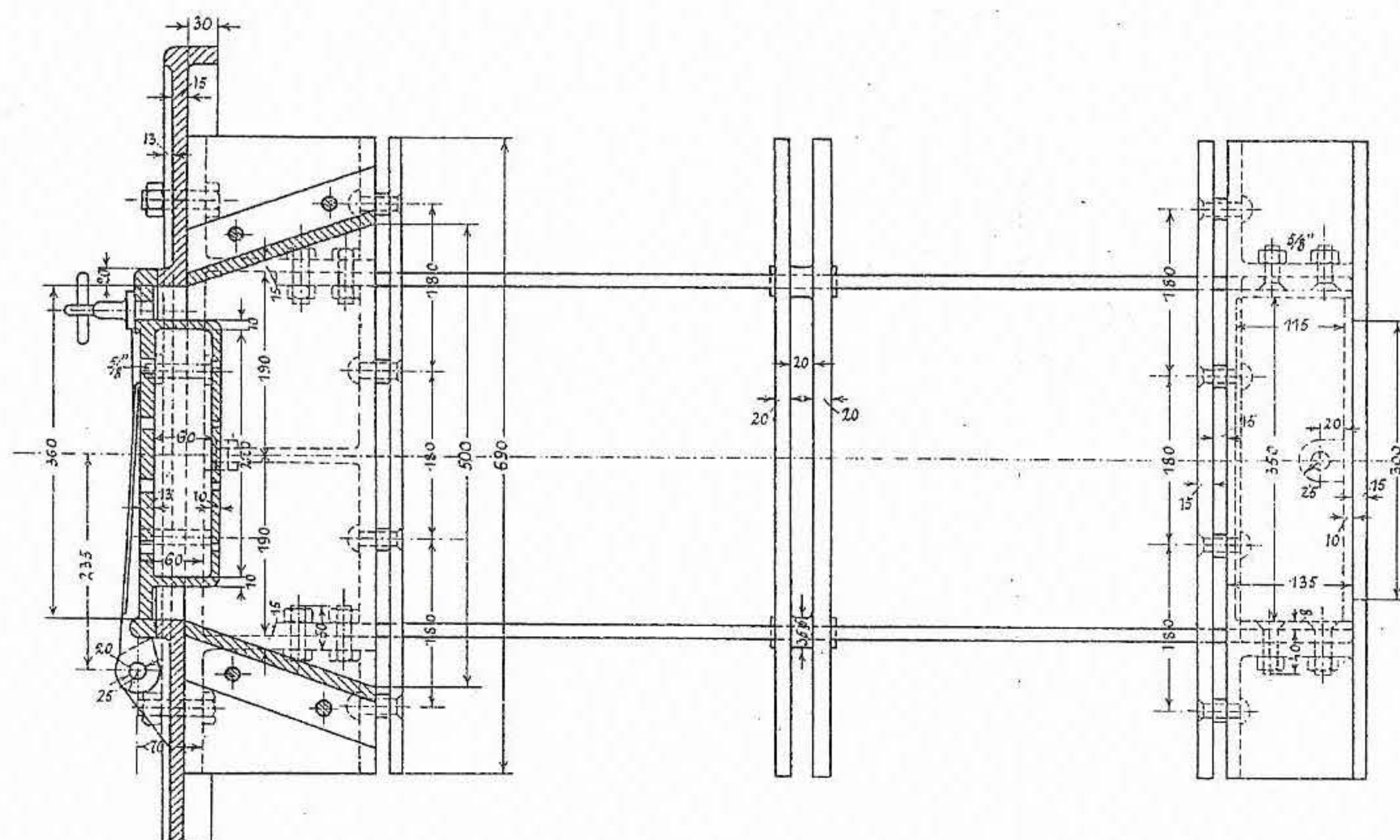
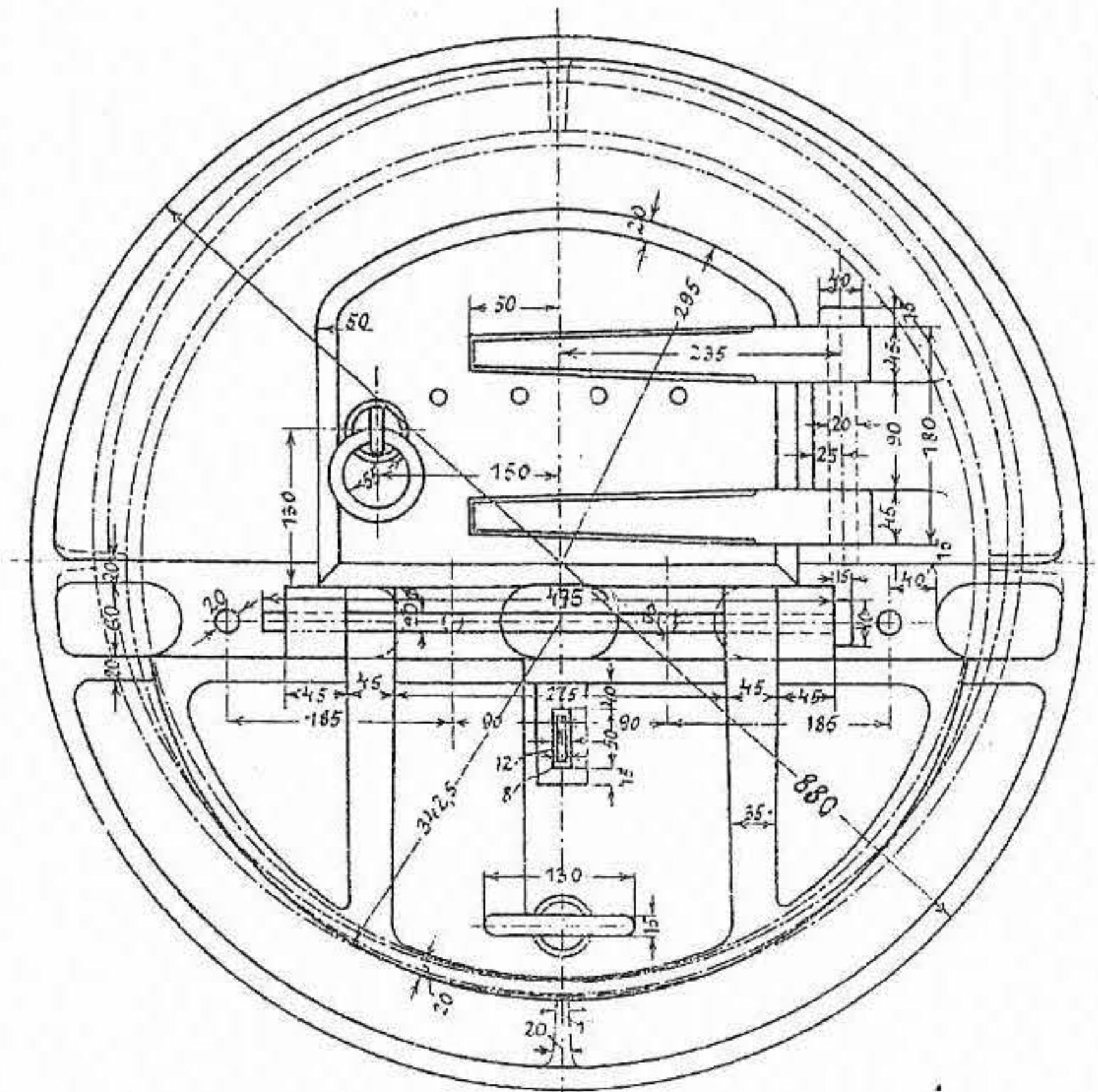
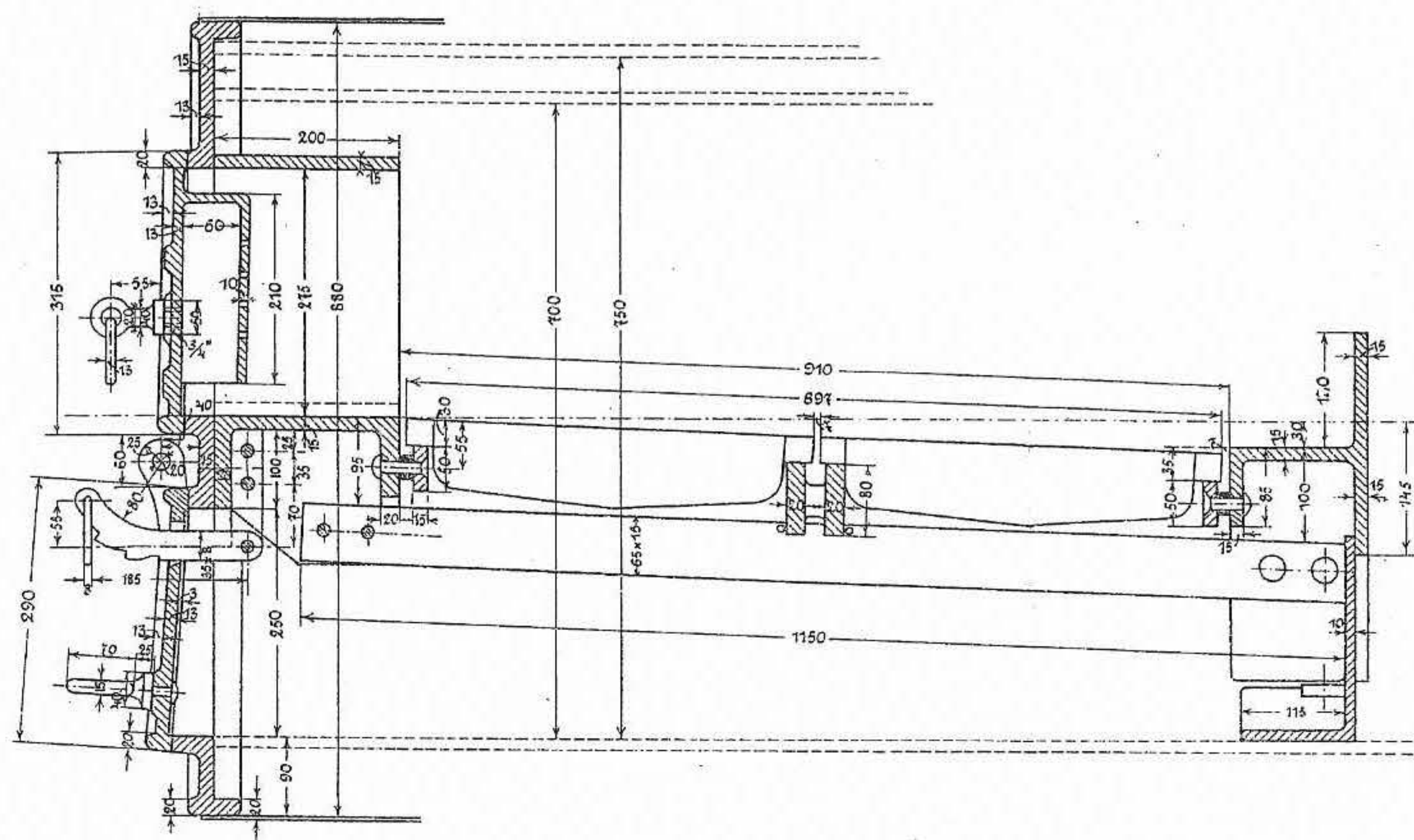


Bild 7.2.2/2:
Feuergeschränk
eines Flammrohrkessels
(um 1910)

Der Aschenfall (Aschenbehälter) lag unter dem Rost und fing die festen Rückstände der Verbrennung auf. Er schloss den Raum unter der Feuerung luftdicht ab. Zur Zugregulierung war im Allgemeinen eine in einem Scharnier drehbare Klappe (Aschenfallklappe) vorhanden. Sie konnte auch als ein- oder zweiflügelig Tür ausgeführt sein. Die Tür oder Klappe musste nach dem Zuklappen luftdicht schließen. Sie war in beliebigen Stellen durch Zahnsegmente oder Ketten arretierbar. Andere Konstruktionen arbeiteten mit Luftschlitzen und Schiebern. Zwischen Rostunterseite und dem Aschenfall musste genügend Abstand sein, da die zur Verbrennung notwendige Luft von unten an den Rost geführt wurde.



Tafel 7.2.2/1: Feuertür einer Halblokomobile mit Vorfeuerung
(1918)



Tafel 7.2.2/2:

Feuerung einer Halblokomobile

für 880 mm - Flammrohre
bzw. zylindrische Feuerbüchsen mit $D = 880$ mm

(1902)

Anmerkung:

In der rauen betrieblichen Praxis waren die Angaben der Maschinenhersteller zur zweckmäßigen Feuerung einfacher und knapper. Insbesondere bei kleineren Lokomobilen verließ man sich auf die Erfahrungen der Maschinenführer. Ein Beispiel aus der Betriebsanleitung einer Lokomobile der Firma R. Wolf zeigt das sehr deutlich.

R. WOLF A.-G. MAGDEBURG-BUCKAU

II. Heizmaterial.

Hierfür wird meist das billigst zu beschaffende Brennmaterial verwendet, obgleich sich dieses in Wirklichkeit oft teurer stellt als besseres, im Ankauf zwar teureres, im Verbrauch dagegen wesentlich sparsameres Material. Dies muß eben ausprobiert werden.

Dem zur Verwendung gelangenden Heizmaterial muß der Rost jeweils angepaßt sein, da sich die verschiedenen Arten und Qualitäten des Heizmaterials nicht auf ein und demselben Rost verheizen lassen.

Für gewöhnliche Steinkohlen wird in der Regel ein Planrost mit nicht zu engen Spalten gewählt.

Für trockene gute Braunkohlen in Stücken genügt in den meisten Fällen der gleiche Rost. Bei geringen Braunkohlen muß der Rost vergrößert werden.

Für staubförmige Steinkohle ist eine ganz besondere Rosteinrichtung erforderlich, da hier starker Zug nötig ist.

Für feuchte Braunkohlen, gemischt oder feinkörnig, sowie für Sägespäne und feuchte Lohe ist ein Treppenrost nötig.

Für trockene kurze Holzabfälle, gemischt mit etwas Sägespänen, aus mechanischen Tischlereien genügt ein etwas engerer, verlängerter Planrost, der aber eine entsprechende Lage erhalten muß.

Für Heizung mit langen Scheiten, Rindenstücken usw. muß der Planrost neben einer etwas anderen Lage noch eine entsprechende Verlängerung erfahren, sogenannte Planrostfeuerung.

Im übrigen ist die erste Bedingung für eine sparsame Heizung, daß der Rost bei jedem Brennmaterial, zu jeder Zeit unbedingt auf seiner ganzen Fläche gleichmäßig mit glühendem Material bedeckt gehalten wird, so daß nirgends der Rost frei liegt und keine kalte Luft in den Feuerraum eintreten kann. Dabei darf aber das Feuer auch nicht durch Aufwerfen von zu viel frischem Brennmaterial erstickt werden.

Wird diese Hauptregel nicht streng beachtet, dann ist trotz großer Mühe schlecht Dampf zu halten, es stellt sich sehr leicht Rohrrinnen ein, und es gibt keine genügend hohe Überhitzung, dabei steigt der Verbrauch an Heizmaterial unverhältnismäßig.

7.2.3 Die Feuerungsarten

7.2.3.1 Unterscheidungsmerkmale

Der Feuerraum und die Art der Feuerung hatten entscheidenden Einfluss auf die Ausnutzung des Brennmaterials. Die Vielzahl an Feuerungen mit Festbrennstoffen bei Lokomobilen und anderen dampfgetriebenen Kraftmaschinen konnten nach unterschiedlichen Kriterien eingeteilt werden. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale waren:

- Lage des Feuerbettes zum Kessel,
- Grad der Vollkommenheit der Verbrennung (z.B. abschätzbar am Umfang der Rauchbildung),
- Art der Luftführung bei der Verbrennung,
- Art der Beschickung mit Brennstoffen.

Darüber hinaus gab es noch weitere, untergeordnete Unterscheidungsmerkmale, wie z.B. die Ausführung des Rostes (Planrost, leichte Schrägroste, steile Schrägroste, Treppenroste u.a.m.). Üblich bei den fahrbaren Lokomobilen waren Plan- und leichte Schrägroste. Steile Schrägroste, beispielsweise wie bei der Tenbrink-Feuerung, oder andere Ausführungen waren selten. Sie kamen bei großen Halblokomobilen zum Einsatz. Da es zwischen diesen Unterscheidungsmerkmalen viele Überschneidungen und unterschiedliche Kombinationen gab, wird im Folgenden nur auf das wesentliche Merkmal „Lage des Feuerbettes“ eingegangen.

7.2.3.2 Lage des Feuerbettes

Die Lage des Feuerbettes (und damit des Rostes) zum Kessel war für den technischen Aufbau der Lokomobilen entscheidend. Es war das wichtigste Differenzierungsmerkmal bei den Feuerungsarten. Bei den Kesseln für Lokomobilen unterschied man:

- Kessel mit Vorfeuerung,
- Kessel mit Innenfeuerung,
- Kessel mit kombinierter Feuerung,
- Kessel mit Außen- oder Unterfeuerung.

Bei den Kesseln der anderen ortsveränderlichen Kraftmaschinen ist diese Differenzierung nur zum Teil anwendbar. Insbesondere bei Maschinen kleiner Leistung waren Feuerungsarten im Einsatz, die sehr stark an die jeweiligen Betriebs- und Einsatzbedingungen angepasst waren. Sie werden bei der Darstellung der Maschinen mit behandelt.

Vorfeuerung

Bei der Vorfeuerung waren die Feuerungseinrichtungen, u.a. die Feuerbüchse mit dem Feuerbett, Rost und Aschenfall vor dem Kessel platziert. Die Einheit war meist an der Stirnfläche des Kessels angeschraubt oder angenietet. Es fand nur eine geringe Wärmeleitung zum Kessel statt. Vorfeuerungen hatten einige wärmetechnische Nachteile und der Bauaufwand für die vorgesetzte Feuerungseinrichtung war höher. Der große Vorteil der Vorfeuerung war, dass der Kessel sehr einfach gehalten werden konnte. Weiterhin waren die Form und Größe des Feuerraums unabhängig von den Restriktionen des Kessels. In Versuchen hatte man festgestellt, dass die Verbrennung in einem größeren Raum vollständiger erfolgte als in einem kleinen. Bei einigen Kesselbauarten, beispielsweise bei Flammrohrkesseln mit Innenfeuerung, war der Feuerraum prinzipbedingt beengt. Bei Vorfeuerungen konnte dieser Raum problemlos deutlich größer gemacht werden. Etwa dreimal größere Feuerräume waren üblich. Eine Anpassung an das Brennmaterial tangierte die Kesselausführung nicht. Die Feuertemperaturen waren hoch und gleichmäßig. Der

Wirkungsgrad der Vorfeuerung war wegen der Wärmeableitung an die Umgebung auch bei gut isolierten Feuerungen kleiner als bei Innenfeuerungen. Bei kleineren Lokomobilen war die Vorfeuerung zumeist als gusseiserner Kasten mit Ausmauerung aus feuerfesten Steinen vor dem eigentlichen Rauchrohrkessel platziert. Es gab auch Ausführungen ohne Ausmauerung. Der Feuerungswirkungsgrad war hierbei allerdings sehr gering. Vorfeuerungen wurden am Anfang der Entwicklung bei Lokomobilen häufiger eingesetzt. Sie sind im Verlauf der weiteren Entwicklung bei fahrbaren Maschinen fast vollständig verschwunden. Sie wurden ersetzt durch im Kessel integrierten Feuerungen. Bei Halblokomobilen waren Vorfeuerungen verbreitet. Mit Schräg- oder Treppenrost ausgestattet, konnte die zur Verbrennung notwendige große Rostfläche bei minderwertigem Brennmaterial gut untergebracht werden. Lokomobilen mit derartigen Vorfeuerungen konnten mit Holzabfällen, Torf, feuchter Braunkohle, Lohe und anderen vegetabilischen Substanzen beheizt werden.

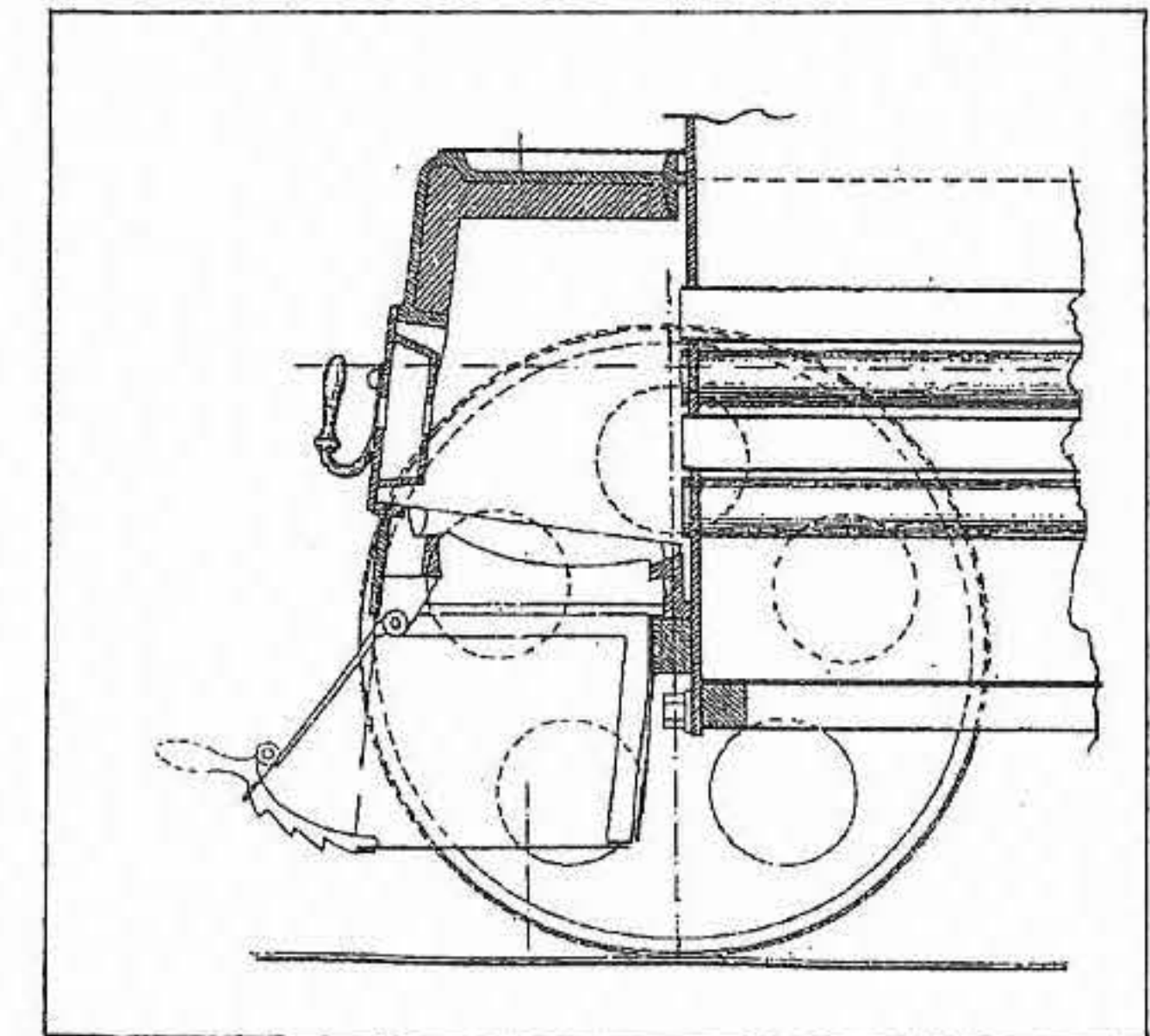


Bild 7.2.3.2/1:
Beispiel einer Vorfeuerung bei
einer kleinen fahrbaren Lokomobile
der Maschinenfabrik Behne und Siegel
(1876)

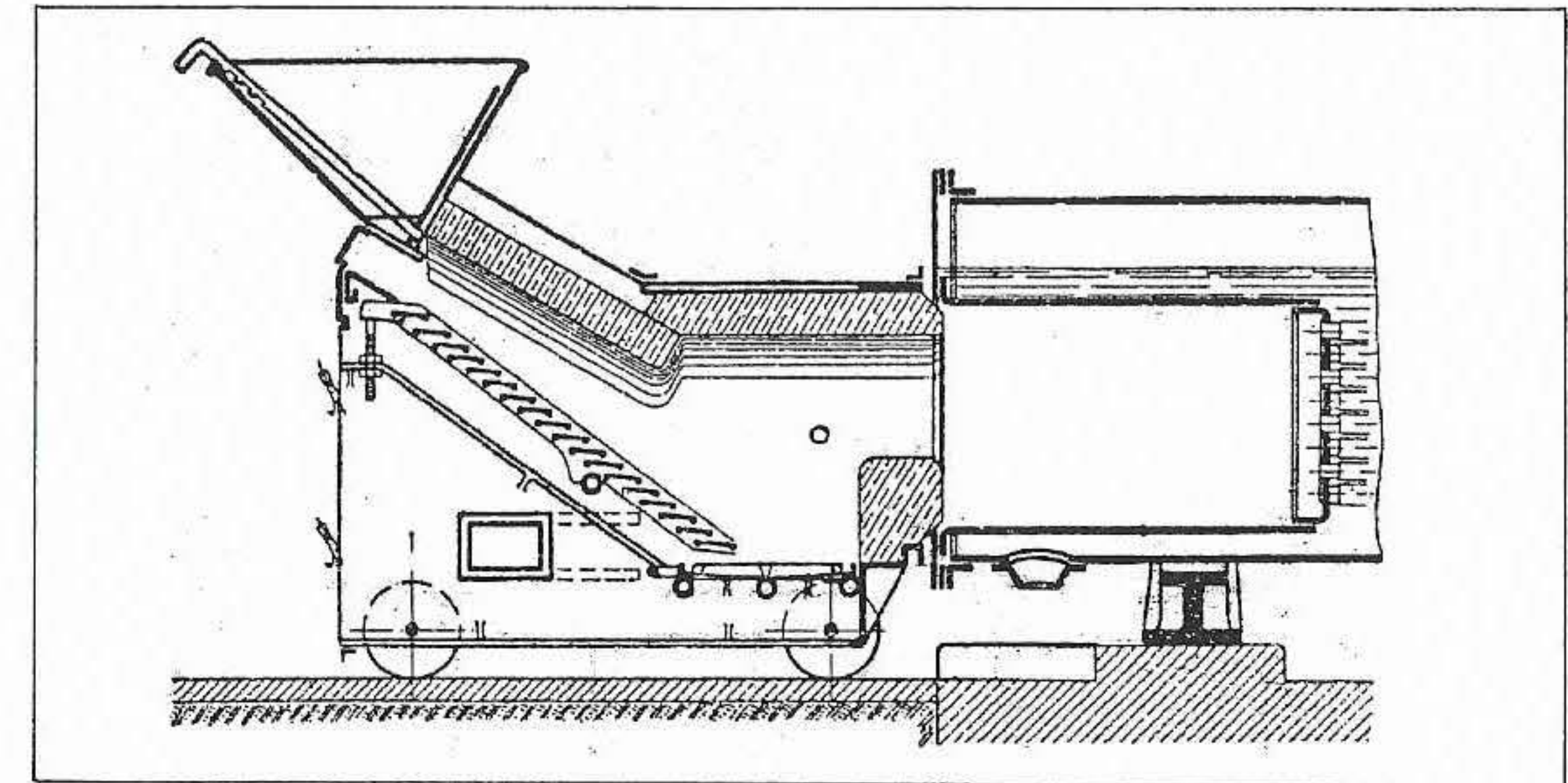
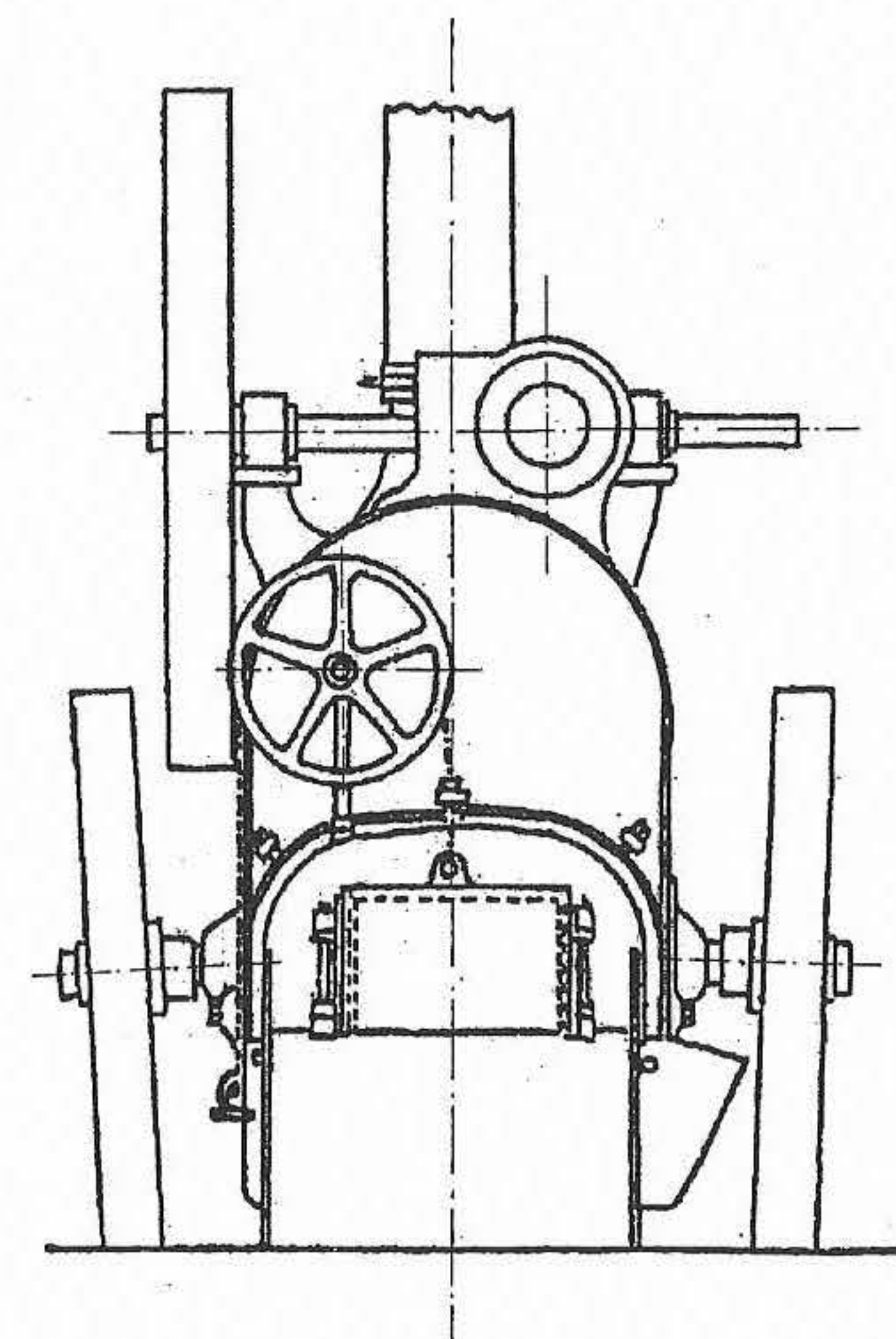
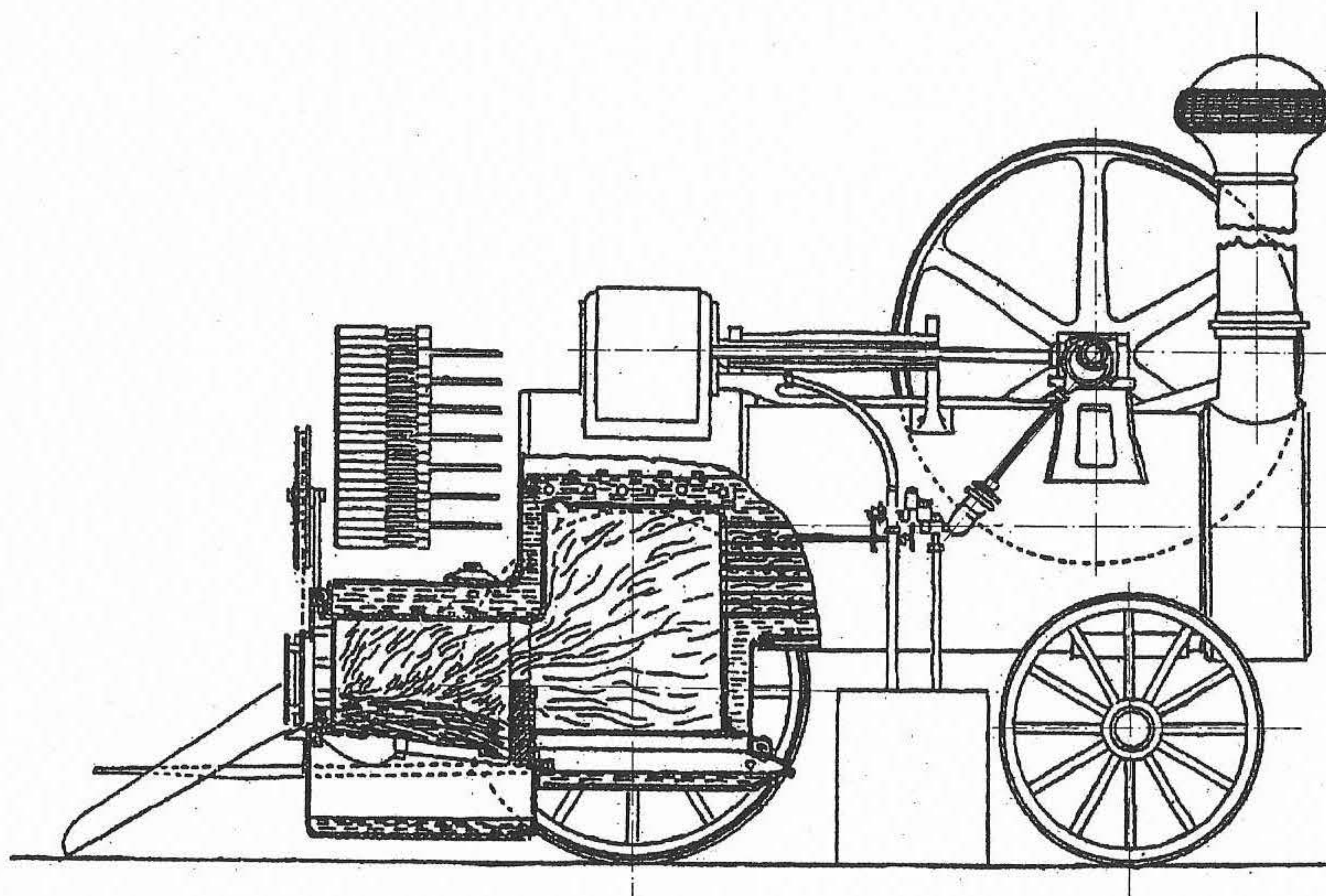


Bild 7.2.3.2/2: Beispiel für eine Vorfeuerung mit Treppenrost bei einer Halblokomobile mit Feuerbüchsenkessel (um 1910)



Tafel 7.2.3/1: Vorfeuerung für Stroh bei einer verfahrbaren Lokomobile (1923)

(Besonders angepasste Feuerbüchse, Feuerbüchse der Lokomobile ohne Rost, vorgesetzte Feuerbüchse für die Strohfeuerung wasserummantelt mit Spezialrost, Schnellbetätigung der großen Feuertür)

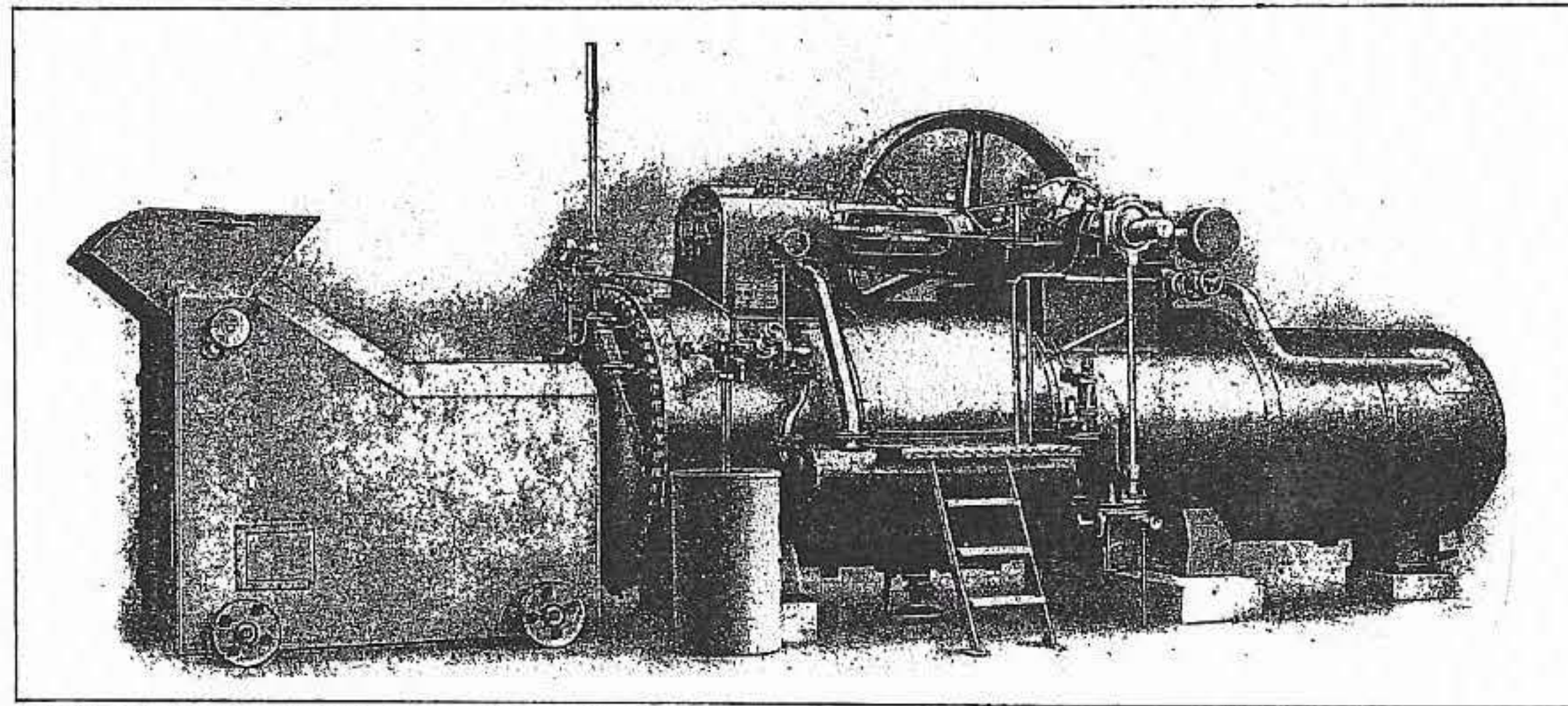


Bild 7.2.3.2/3: Halblokomobile mit Vorfeuerung zur Verbrennung von Reisstroh (Henschel & Sohn, Kassel (um 1922 in Brasilien))

Innenfeuerung

Die Feuerungseinrichtungen waren bei dieser Feuerung in den Hauptkessel integriert. Innenfeuerungen gab es bei Flammrohr- und Feuerbüchsenkesseln. Die Feuerbüchse konnte unterschiedliche Formen haben (zylindrisch liegend oder stehend, kastenförmig u.a.m.). Sie war fast vollständig vom Kesselwasser umschlossen. Dadurch konnte die Wärme sehr gut an das umgebende Kesselwasser abgegeben werden. Der Feuerungswirkungsgrad war dementsprechend groß. Im Allgemeinen wurde ein Planrost oder ein leichtes Schrägrost (schräges Planrost) verwendet. Ein schräger Rost erleichterte die Feuerbedienung. Die Rostneigung lag bei etwa 1 : 20. Im Allgemeinen wurde am Ende des Rostes eine möglichst hohe Feuerbrücke gesetzt. Sie war meist aus feuerfesten Steinen gemauert und ihre Temperatur lag fast auf dem Niveau des Feuerbetts. Noch nicht verbrannte Gase wurden spätestens beim Vorbeistreichen an der Feuerbrücke gezündet. Die Feuerbrücke verteilte die Feuerungshitze gleichmäßiger und verhinderte ein Durchschlagen der Flammen in das Flammrohr. Durch den geneigten Rost wurde auch erreicht, dass bei höheren Feuerbrücken der Querschnitt zwischen Feuerbrücke und Flammrohr genügend groß (etwa 1/8 der Rostfläche) war. Da die Größe der Rostfläche begrenzt war, eignete sich die Innenfeuerung vornehmlich für höherwertige Brennstoffe.

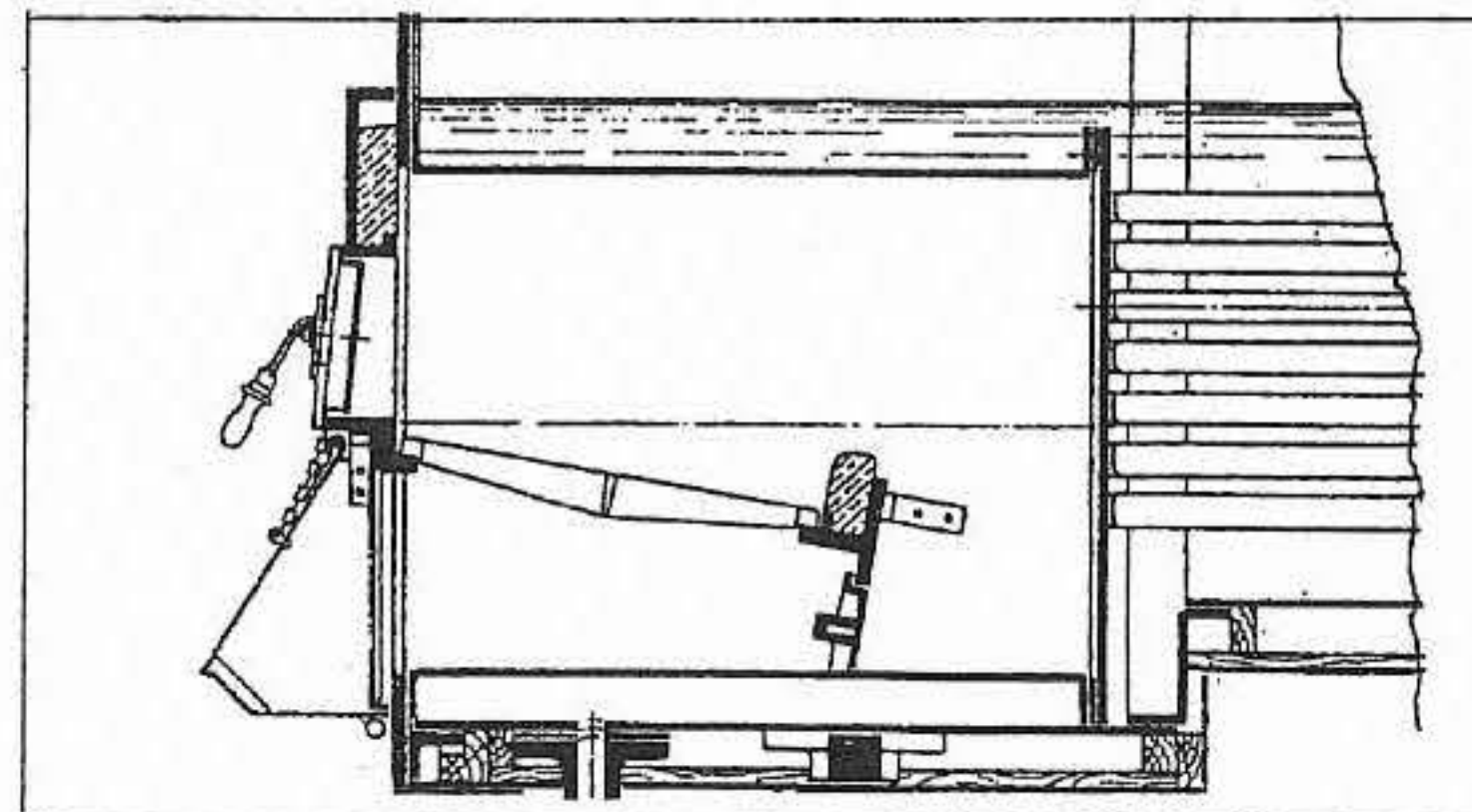


Bild 7.2.3.2/4: Übliche Innenfeuerung bei einer fahrbaren Lokomobile mit zylindrischer Feuerbüchse (1880)

Bei Innenfeuerungen gab es eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Verbrennung zu steuern. Ein Beispiel ist die patentierte „Kowitzkefeuerung“. Bei ihr wurden der Zug der Heizgase (Oberluft) und die Unterluftmenge gesteuert. Zur Beeinflussung des Heizgasstromes zu den

Rauchrohren diente ein spezieller Feuerbrückeneinsatz mit Kanälen zur Unterlufteinleitung. Die Unterluftmenge konnte von der Seite des Feuergeschränks aus über einen Hebel und Klappen eingestellt werden. Die Verbrennung lief dann vollkommener ab.

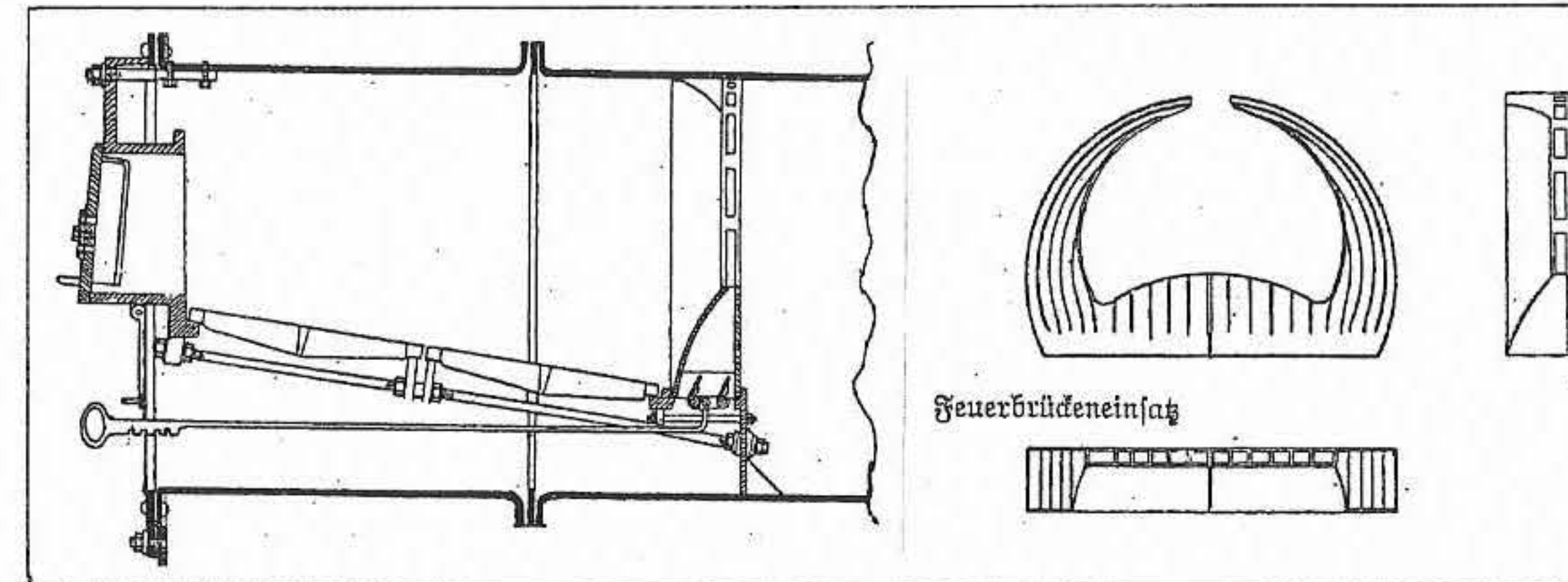


Bild 7.2.3.2/5: Innenfeuerung der Maschinenfabrik Kowitzke & Co. (1906)

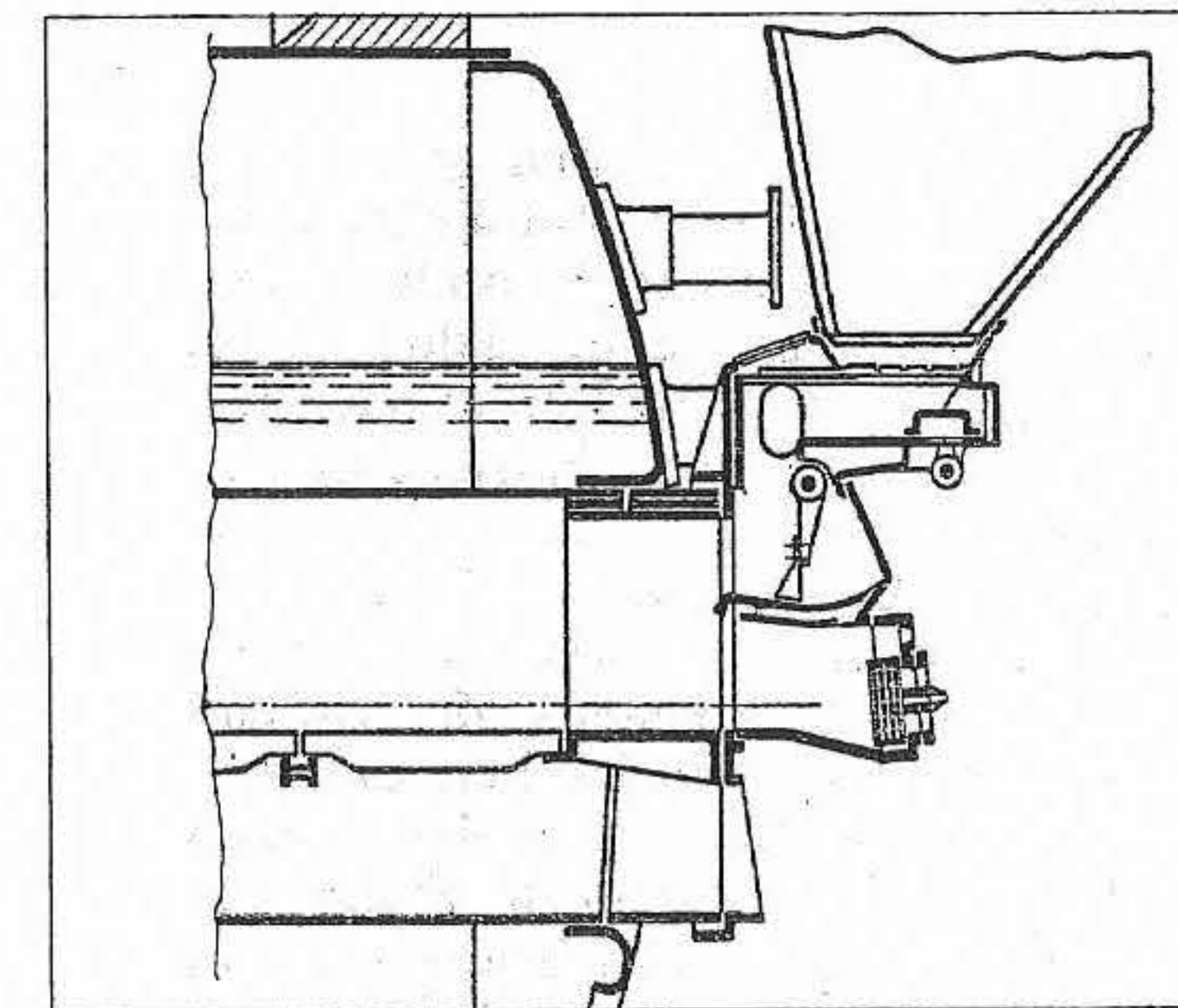


Bild 7.2.3.2/6: Beispiel für eine Innenfeuerung bei einer Halblokomobile mit Flammrohrkessel mit selbsttätiger Zufuhr der Kohle durch „Schleuderfeuerung“ (um 1910)

Kombinierte Feuerung

Bei liegenden Kesseln mit zylindrischer Feuerbüchse war die Fläche zur Unterbringung größerer Roste begrenzt. Sollten bei diesen Kesseln, bei unveränderter Grundbauweise, minderwertige Brennstoffe verfeuert werden, so verlängerte man die Feuerbüchse durch einen entsprechenden Kasten nach vorne. Es handelte sich in diesen Fällen um eine Kombination aus Vorfeuerung und Innenfeuerung. Man bezeichnete diese Bauweise auch als verlängerte Feuerung.

Außenfeuerungen (Unterfeuerung)

Der Feuerraum lag bei dieser Feuerungsart unter dem Kessel und war sorgfältig nach außen isoliert. Unterfeuerungen wurden bei Zylinderkesseln und Wasserrohrkesseln eingesetzt. Bei den üblichen Lokomobilen, auch bei Halblokomobilen, kamen sie in der Praxis nicht vor. Bei einigen sogenannten Gewerbemotoren, Klein-Kraftmaschinen u.ä. kamen besondere Bauarten von Wasserrohrkessel zum Einsatz. Diese Kessel besaßen häufig eine Außenfeuerung. Der Feuerungsbereich war nach außen gut isoliert.

7.2.3.3 Grad der Vollkommenheit der Verbrennung

Der Grad der Ausnutzung des Brennstoffes ließ sich grob am Umfang der Rauchentwicklung einer Feuerung bewerten. Natürlich spielte die Art des Brennmaterials auch eine Rolle und musste bei der Beurteilung berücksichtigt werden. Die Rauchentwicklung war ohne messtechnische Hilfe, leichter als beispielsweise die Geruchsentwicklung, gut zu bewerten. Aus Erfahrung wusste man, dass raucharme oder rauchlose Feuerungen die besten Feuerungswirkungsgrade besaßen. Dieser Stand war nur zu erreichen, wenn alle bei der Verbrennung entstehenden Gase durch das glühende Feuerbett gezogen wurden. Es wurden unterschieden:

- stark rauchbildende Feuerungen,
- rauchschwache Feuerungen,
- rauchlose Feuerungen.

Die bei fahrbaren Lokomobilen eingesetzten Feuerungen waren in den meisten Fällen stark rauchbildend. Es überwiegen einfache und robuste Rostfeuerungen mit Planrosten oder leichten Schrägrosten. Bei ihnen wurde beim Beschicken der kalte Brennstoff auf das Feuerbett gegeben. Dabei sank die Verbrennungstemperatur und ein Teil der brennbaren Gase entwich ungenutzt durch den Kamin. Der reine Feuerungswirkungsgrad lag bei etwa 50 %. Auch weiterentwickelte Schrägrostfeuerungen änderten an den grundlegenden Nachteilen nicht viel.

Bei den rauchschwachen Feuerungen versuchte man, so wenig wie möglich kalte Luft in den Feuerraum zu lassen und den kalten Brennstoff so zuzuführen, dass bei seiner Erhitzung wenigstens der größte Teil der sich entwickelnden Heizgase durch oder über das Feuerbett gezogen werden. Es gab eine Vielzahl an unterschiedlichen Verfahren. Sie basierten aber fast alle auf dem Prinzip der Rostfeuerung. Einige rauchschwache Feuerungen wurden bei Lokomobilen eingesetzt.

Bei den rauchlosen Feuerungen wurde der frische Brennstoff von unten zugeführt, er lag unter dem Feuerbett. Die Abkühlung des Feuerraums wird dadurch weitgehend vermieden und alle brennbaren Gase werden zur fast vollständigen Verbrennung durch das Feuerbett gezogen. Diese Feuerungen benötigen besondere Brennräume, spezielle Roste und ggf. besondere Beschickungseinrichtungen. Einige bekannte rauchlose Feuerungen sind die von Wegener, von Schulz u.a. Man bezeichnete sie auch als Unterschubfeuerungen. Bei Halblokomobilen sind sie in einigen Fällen zum Einsatz gekommen.

7.2.3.4 Art der Verbrennungsluftführung

Damit ist nicht die bei Lokomobilen übliche Steuerung der Verbrennungsluft durch einige Klappen am Aschekasten u.ä. gemeint, sondern beispielsweise die Aufteilung der Verbrennungsluft in eine Unterluft (Primärluft) und eine Oberluft (Sekundärluft). Bei Kesseln mit hohen Anforderungen an den Wirkungsgrad der Feuerung, beispielsweise bei Dampfwagen, war die Aufteilung der Brennluftströme üblich. Üblich war eine Zweiteilung. Von unten, unter dem Rost, wurde die sogenannte „Erstluft“ als Unterluft zugeführt, über dem Feuerbett dann die „Zweitluft“. Zur Zweitluftzufuhr diente bei stehenden Kesseln meist eine Ringleitung mit Düsen. Beide Luftmengen waren einstellbar. Die Zweitluft wurde sehr häufig vorgeheizt. Das Ziel war es, durch den Zweitlufteinsatz die sich entwickelnden brennbaren Gase möglichst vollständig zu nutzen ohne das einfache Prinzip des Planrostes zu verlassen. Bei fahrbaren Lokomobilen hatte diese Feuerung keine Bedeutung. Der bauliche Aufwand war zu groß und im rauen Lokomobilbetrieb war die Technik zu empfindlich. Bei Halblokomobilen und Kesseldampfmaschinen wurde diese Feuerung in einzelnen Fällen verwendet. Insbesondere konnten damit die nach dem Beschicken entstehenden Schwelgase

fast vollständig verbrannt werden. Die Oberluftzufuhr lief im Allgemeinen nicht kontinuierlich mit.

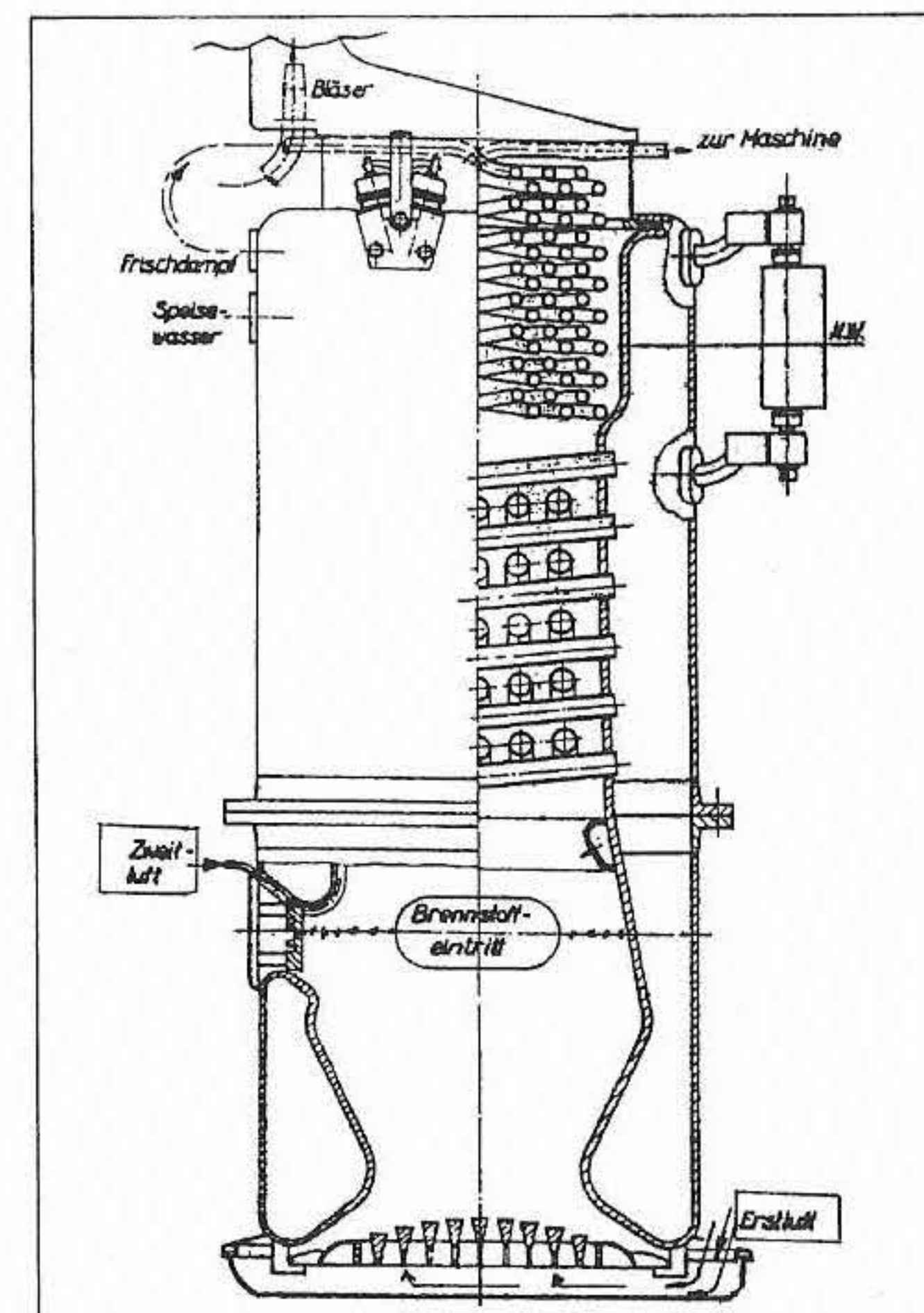


Bild 7.2.3.4/1:
Stehender Hochleistungskessel
eines Dampfselbstfahrers mit geteilter
Brennluftzufuhr durch Erstluftzufuhr
unter dem Rost und Zweitluftzufuhr
über dem Feuerbett

Bei großen Halblokomobilen kamen aufgeteilte Brennluftführungen unterschiedlicher Bauart zum Einsatz. Ein Beispiel ist die sogenannte „Oberluftfeuerungen“. Ein Teil der Luft wurde wie üblich unter dem Rost über den Aschenfall zugeführt, ein anderer Teil „als Oberluft“ über dem Feuerbett. Bei der Topfschen Oberluftfeuerungen (J. A. Topf & Söhne, Erfurt) wurde die Oberluft durch eine separate Klappe a mit eigener Mechanik zugeführt. Die Klappenöffnung war an das Öffnen der Heiztür gekoppelt. Um zu vermeiden, dass kalte Oberluft die Temperatur im Feuerraum senkte, war ein langer Aufheizkanal im Feuerraum untergebracht. Die Oberluft sorgte für eine vollständigere Ausnutzung der brennbaren Gase. Ähnliche Feuerungen gab es von mehreren Herstellern (z.B. Müller & Korte aus Pankow u.a.).

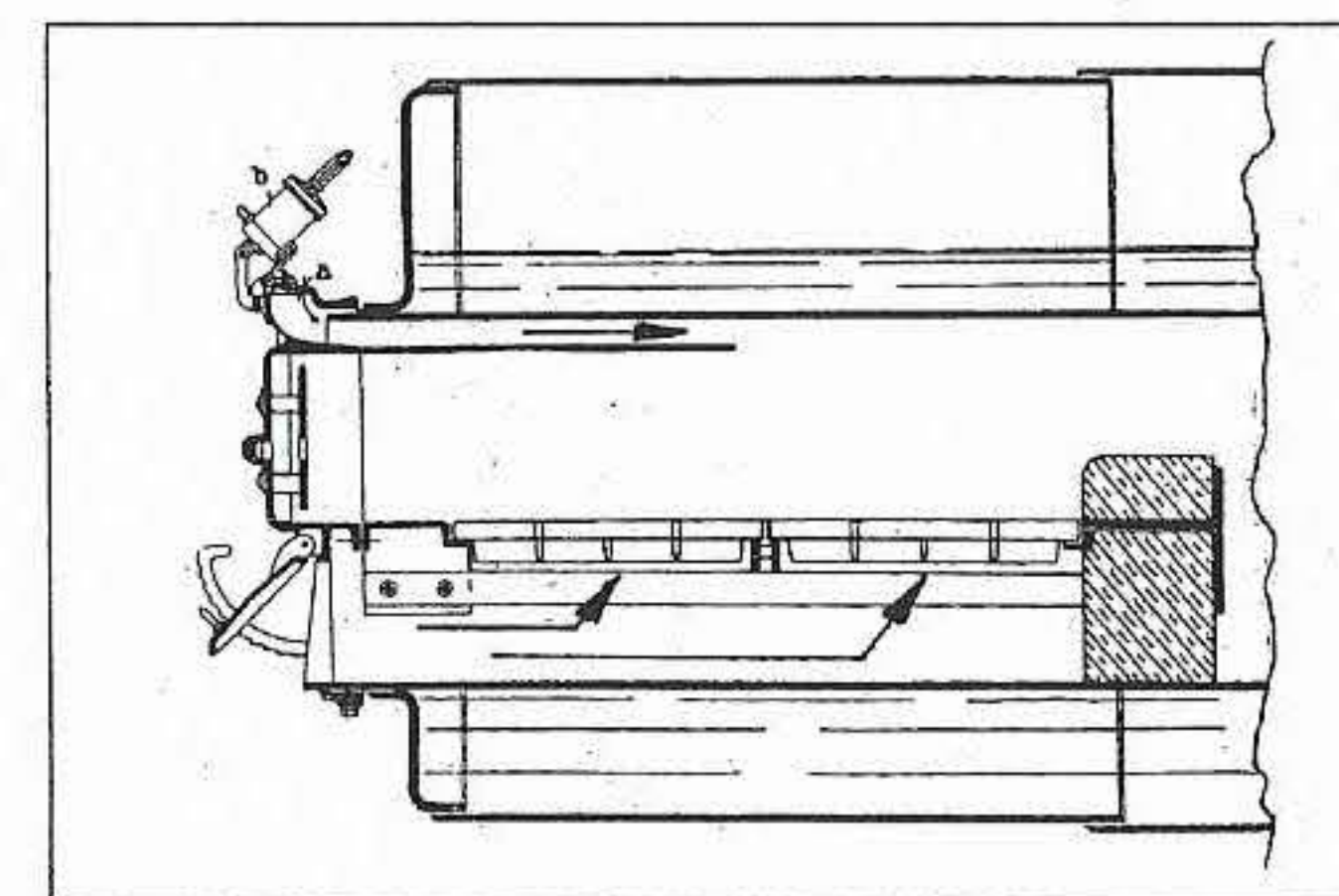


Bild 7.2.3.4/2:
Topfsche Oberluftfeuerungen
an einem Flammrohrkessel (1902)

Anmerkung:

Bei fahrbaren Lokomobilen war eine weitere Art der Beeinflussung Feuerung durch besondere Führung der Heizgase im Feuerraum weit verbreitet. Die Führung übernahmen Feuerschilde, Heizplatten, verlängerte Feuerbrücken u.ä. Es wurde zwar nicht die Verbrennungsluft direkt geführt, aber dem Ziel, eine vollständigere Verbrennung zu erreichen, konnte man durch einfache Maßnahmen näher kommen. Einige Beispiele werden in den folgenden Bildern vorgestellt.

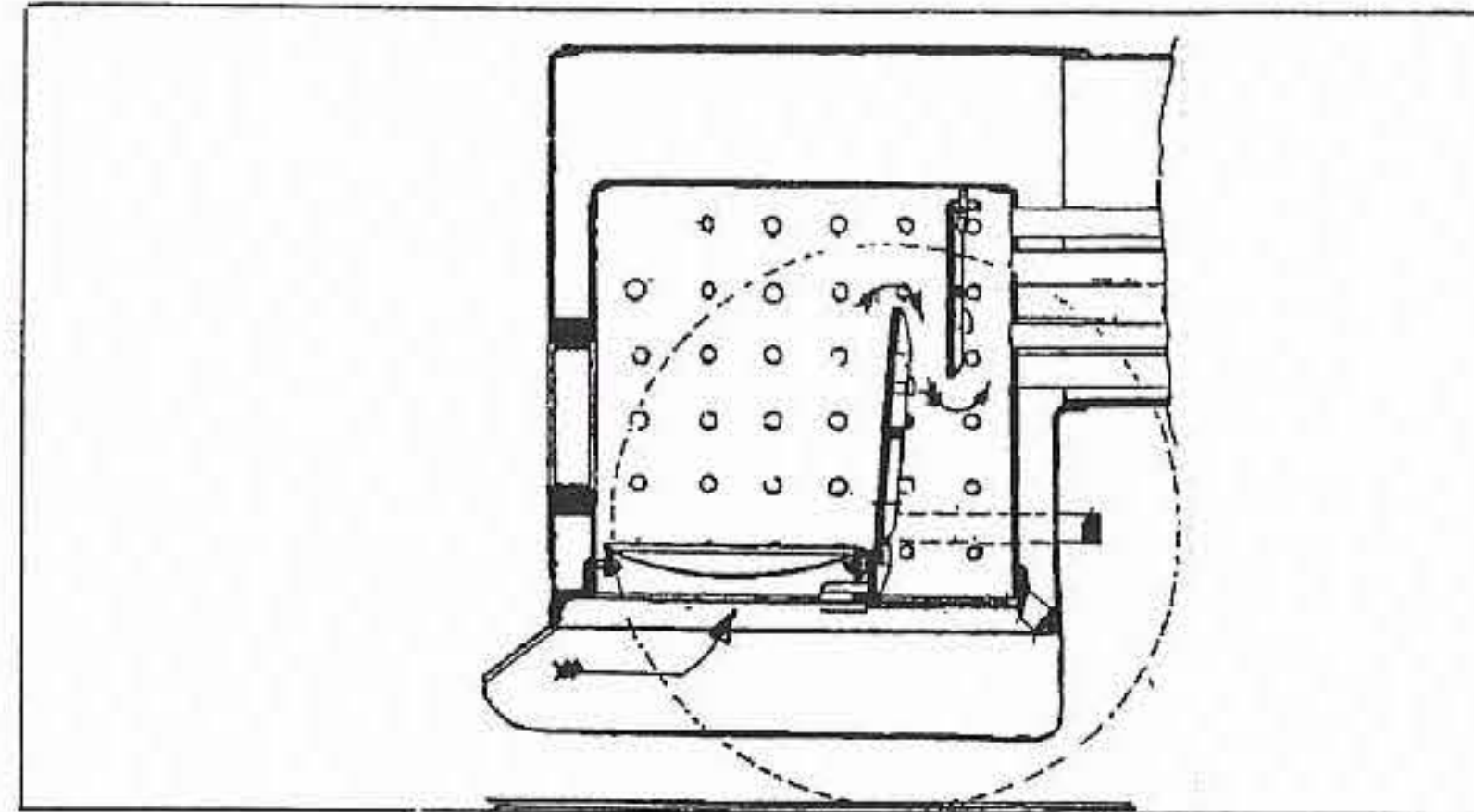


Bild 7.2.3.4/3:
Mehrfache Umlenkung der
Heizgase im Feuerraum

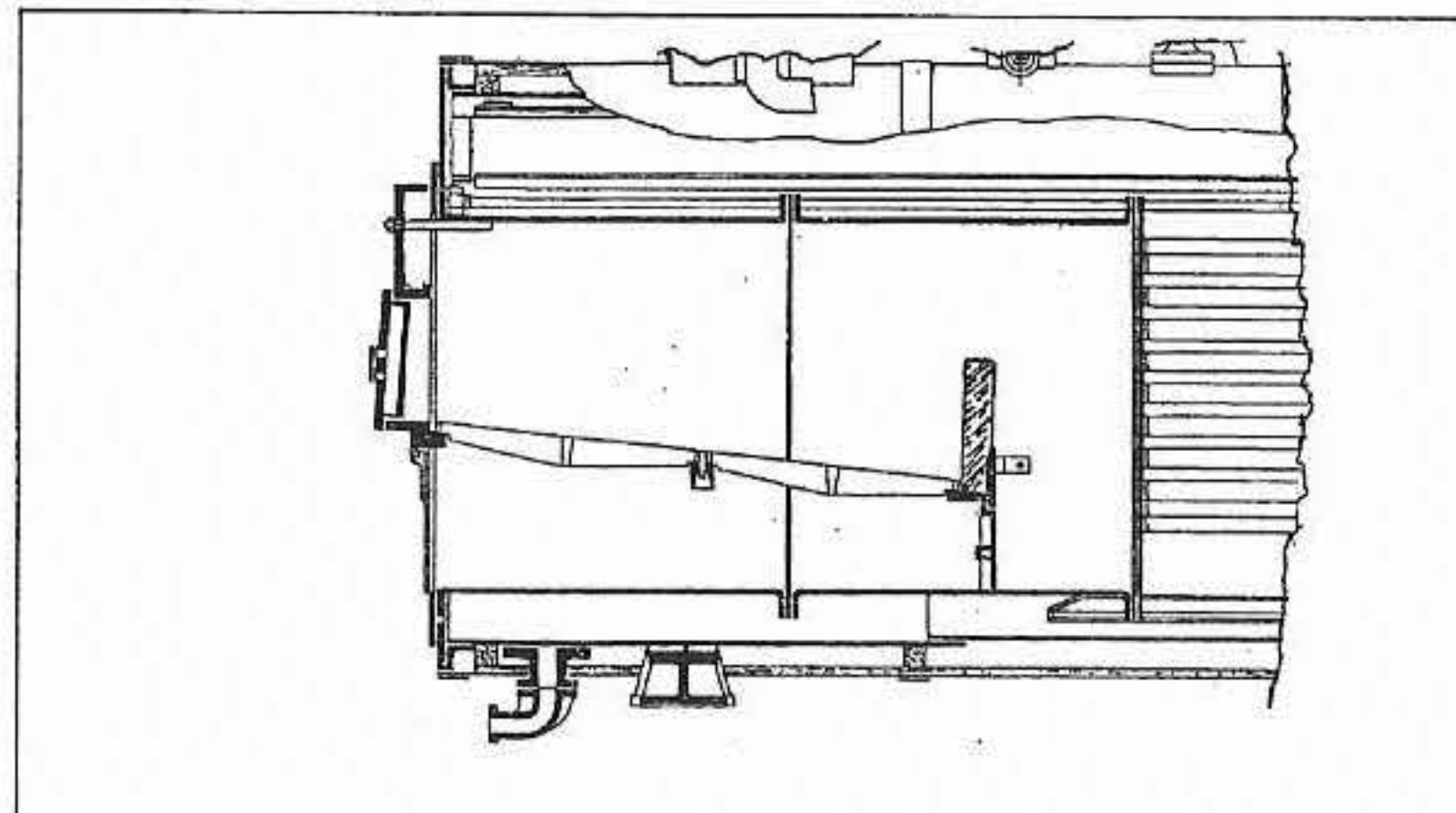


Bild 7.2.3.4/4:
Verwendung sehr hoher
Feuerbrücken

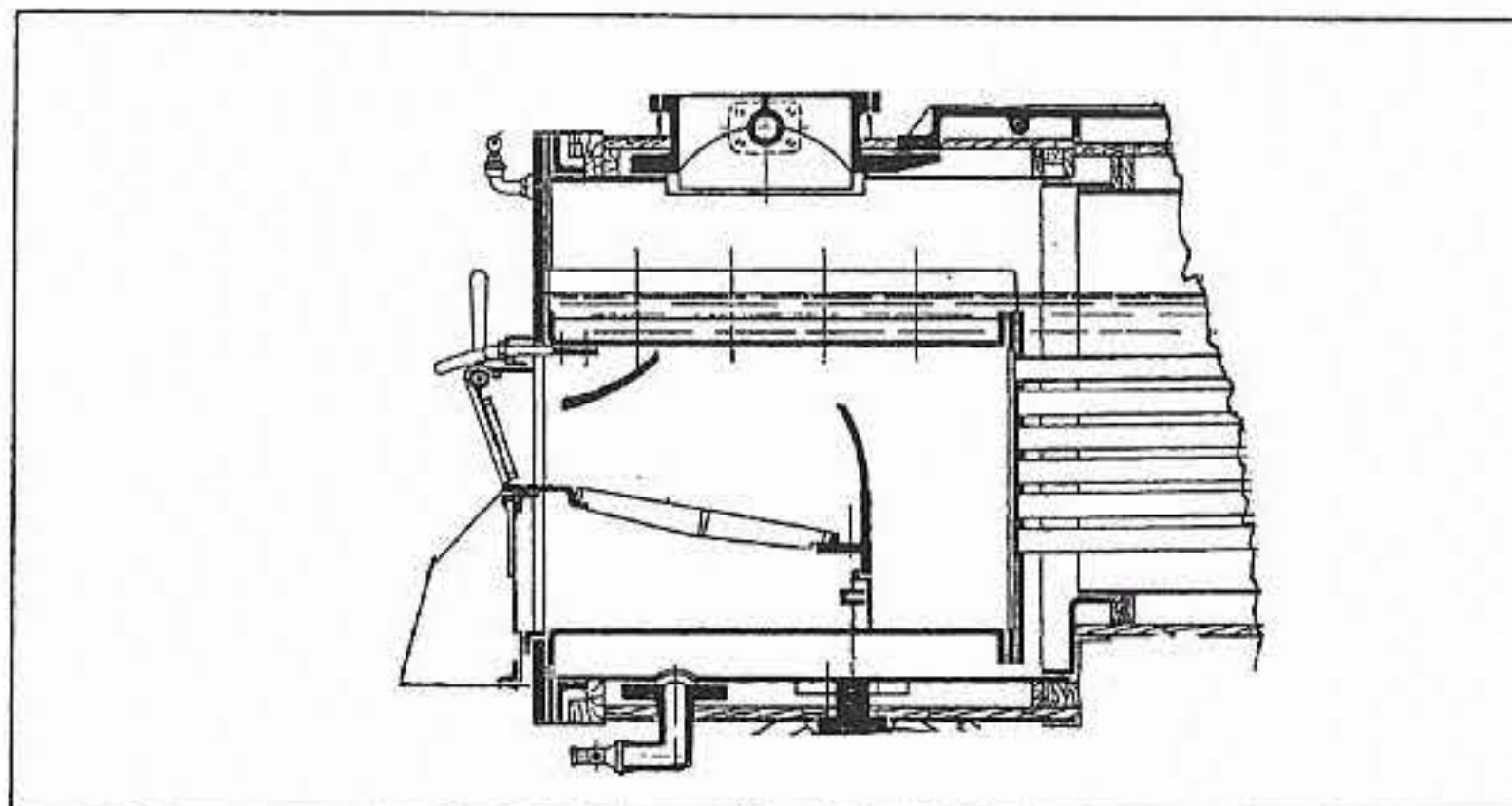


Bild 7.2.3.4/3:
Einbau von Hitzeschilden
in den Feuerraum

7.2.3.5 Art der Beschickung mit Brennstoffen

Bei fahrbaren Lokomobilen wurde der feste Brennstoff von Hand zugegeben. Nur bei Brennstoffen mit einem sehr geringen Heizwert gab es Einrichtungen zur Beschickung, wenn eine manuelle Zufuhr zu aufwendig wurde. Bei Halblokomobilen wurden die unterschiedlichsten Beschickungseinrichtungen (Einrichtungen zur Brennstoffzufuhr) verwendet. Sie werden anhand einiger Beispiele bei der Beschreibung der Maschinen mit aufgenommen.

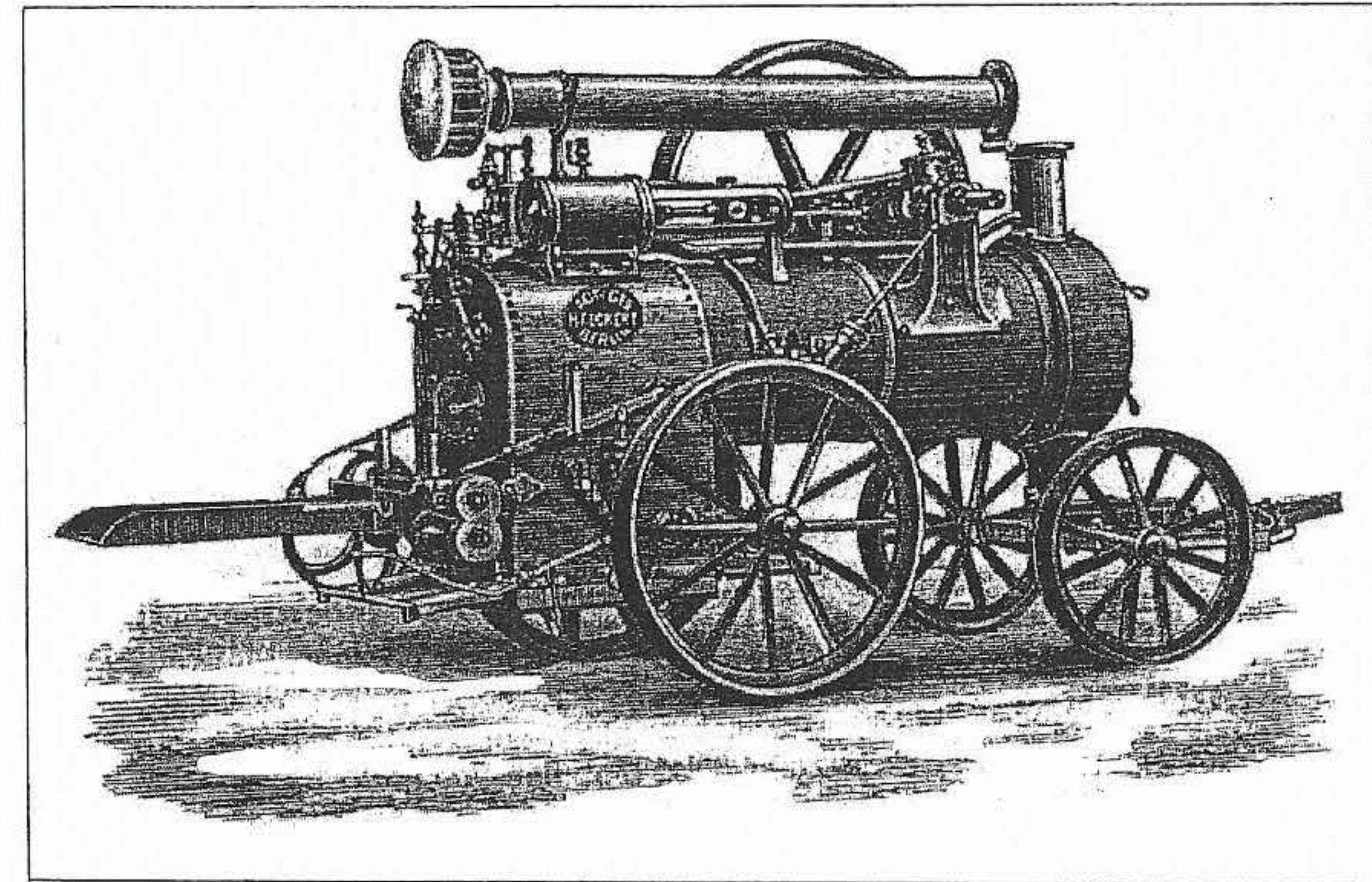


Bild 7.2.3.5/1: Beschickungseinrichtung mit mechanischem Antrieb für Strohfeuerung bei einer fahrbaren Lokomobile der Maschinenfabrik von Eckert, Berlin (um 1870)

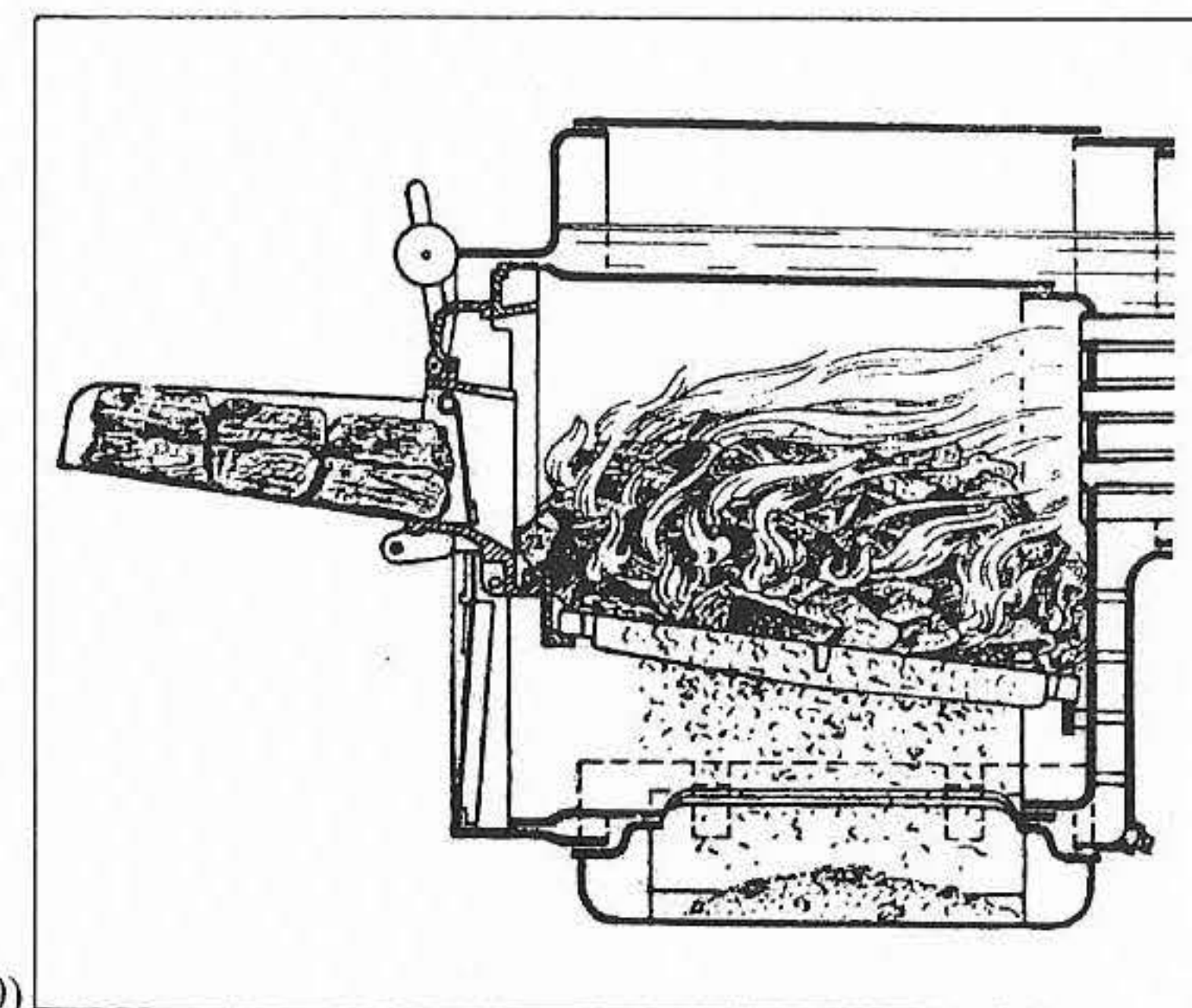


Bild 7.2.3.5/2:
Beschickungshilfe ohne Antrieb
(Torffeuerung, R. Wolf, um 1910)

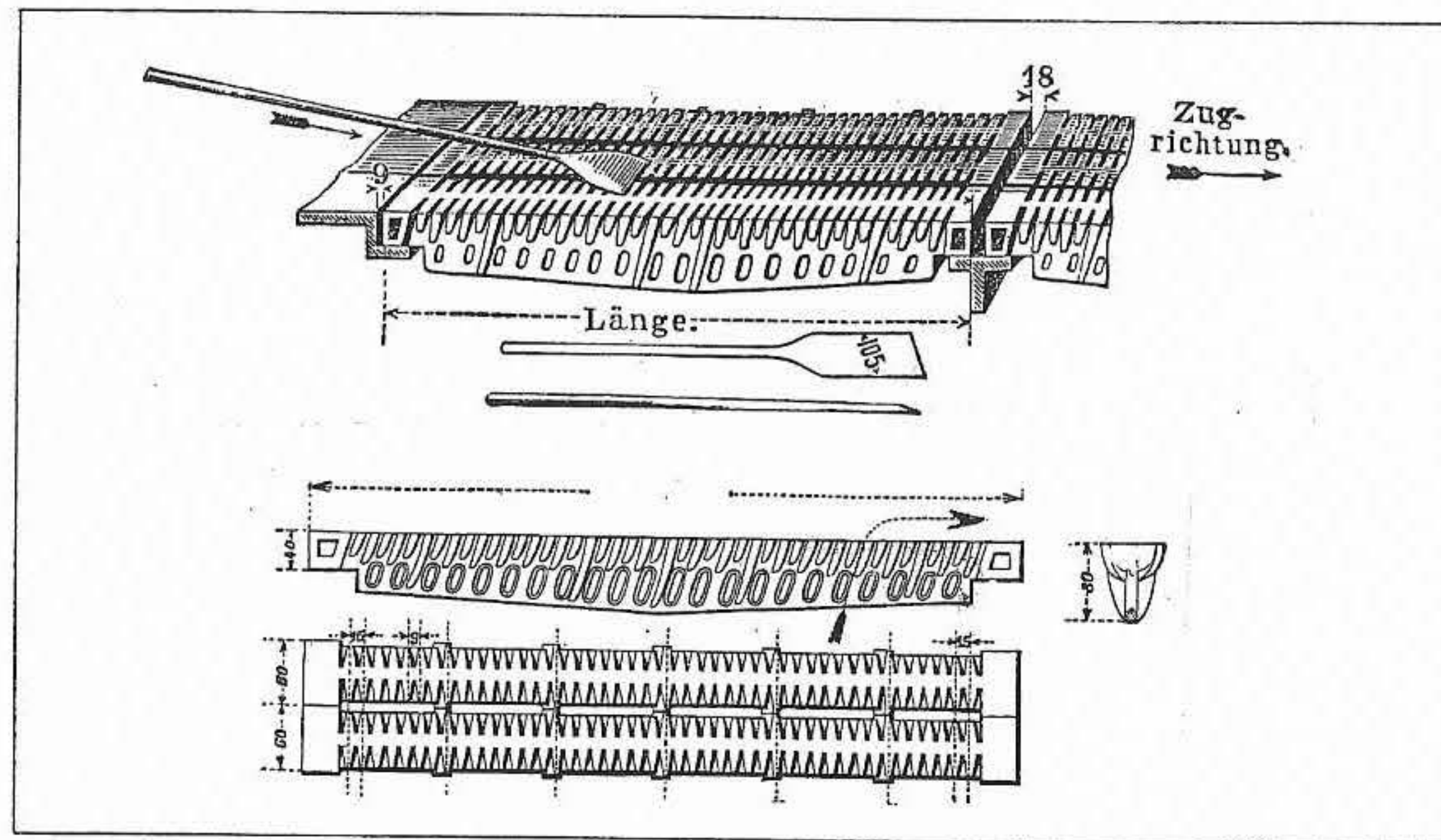


Bild 7.2.4/2: Planroststab „System Ludwig“ des Grusonwerks, Magdeburg-Buckau (1903)

Schrägroste, Steilroste und Treppenroste

Bei fahrbaren Lokomobilen wurden diese Konstruktionen sehr selten verwendet. Bei Halblokomobilen häufiger. Die einzelnen Bauarten werden bei der Beschreibung ausgeführter Maschinen näher erläutert.

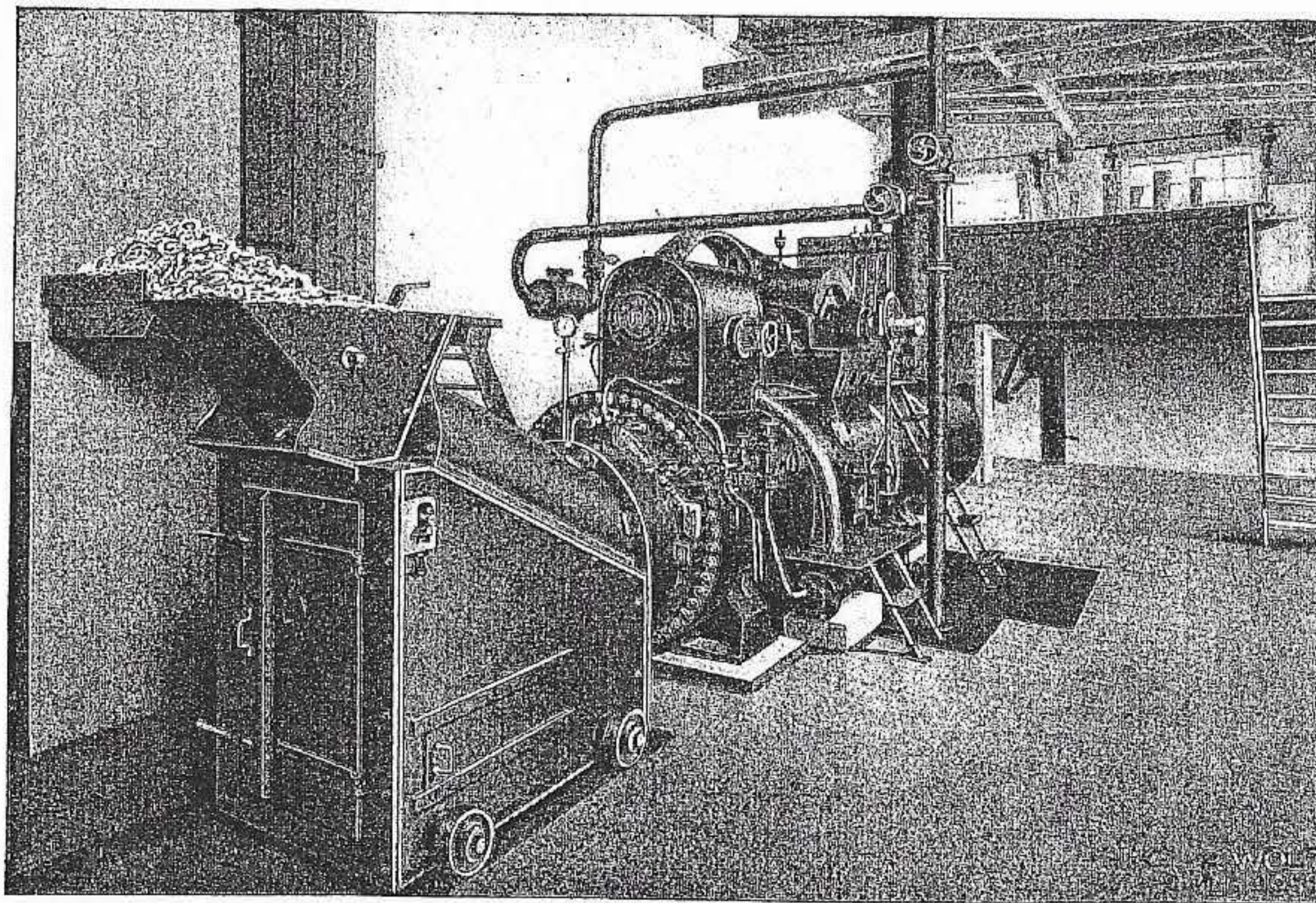


Bild 7.2.4/3: Beispiel einer Treppenrost-Vorfeuerung für Holzabfälle bei einer Halblokomobile von 70 PS (Maschinenfabrik von R. Wolf, 1920)

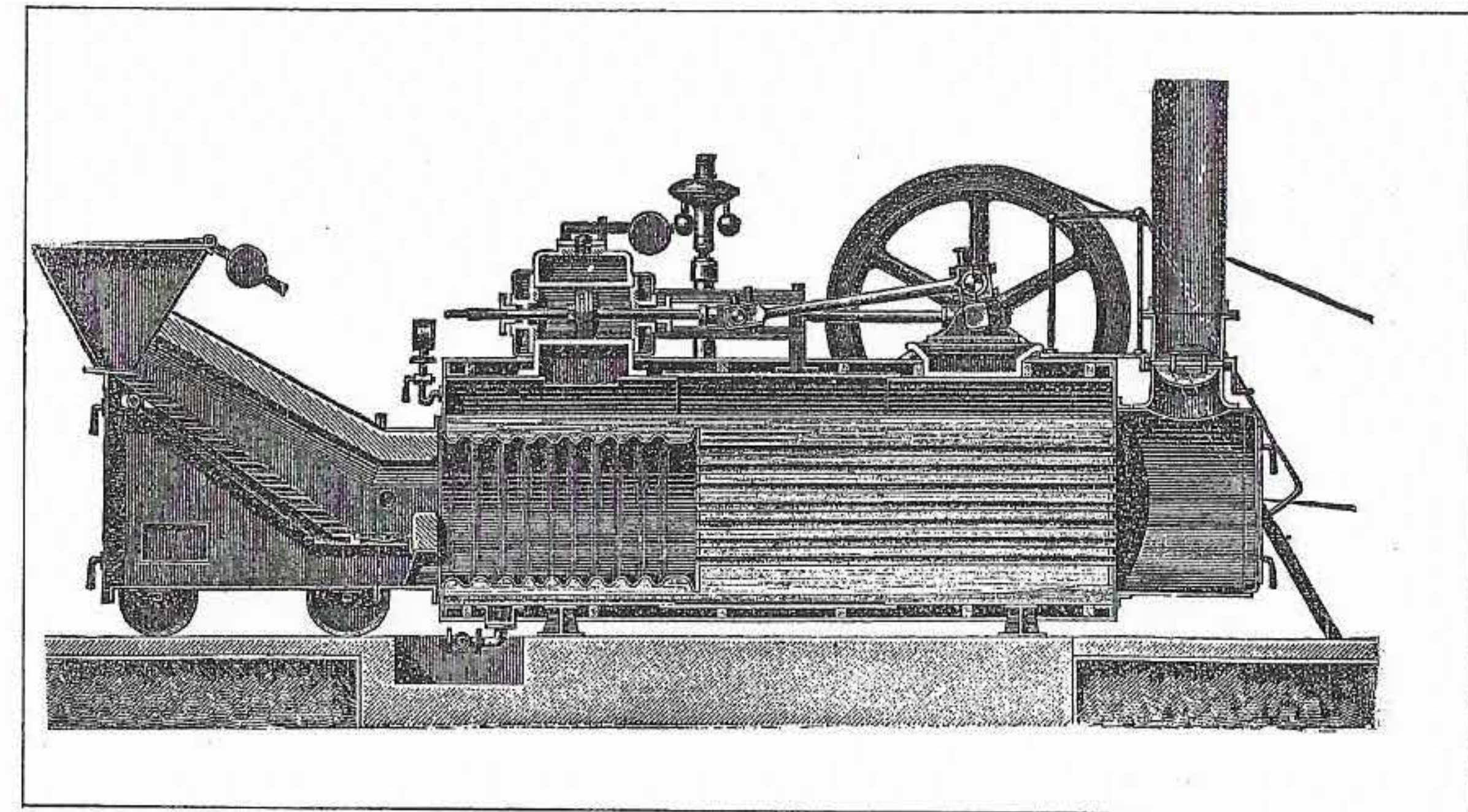


Bild 7.2.4/4: Treppenrost-Vorfeuerung einer Halblokomobile im Schnitt (um 1910)

Auslegung von Rostfeuerungen (Planroste und leichte Schrägroste) für Kohlen und Kokse

Größe der Rostfläche:

Sie richtete sich im Wesentlichen nach der Art des Brennstoffs und der stündlich auf 1 m² zu verbrennenden Brennstoffmenge. Zur Bestimmung der Rostfläche gab es eine Vielzahl an Erfahrungswerten mit unterschiedlichsten Bezugsgrößen. Die Auslegung mit diesen Näherungsformeln führte, je nach Stand der Technik, oft zu widersprüchlichen Ergebnissen. Zwei Beispiele sollen hier genügen. Um 1880 schlug Redtenbacher, ein angesehener Hochschullehrer und Mitbegründer der Maschinenwissenschaften in Deutschland, beispielsweise die einfache Beziehung vor:

$$Ar = \frac{P}{10} = \frac{Mst}{50}$$

Ar - Rostfläche in m²
P - Leistung der Lokomobile in PS
Mst - die pro Stunde zu verbrennende Kohlenmenge in kg

Um 1900 wurde beispielsweise bei Steinkohlenfeuerung vorgeschlagen:

$$\frac{Mst}{Ar} = 70 \quad \text{bei „mäßigem“ Betrieb}$$

$$\frac{Mst}{Ar} = 100 \quad \text{bei „flottem“ Betrieb (Lokomobilen)}$$

$$\frac{Mst}{Ar} = 150 \quad \text{bei „angestregtem“ Betrieb.}$$

Bei der Beschickung des Rostes mit Brennstoff können unterschiedliche Mengen zugesetzt werden. Die Schichtdicke an kaltem Material auf dem Feuerbett wird dadurch mal dünner oder dicker. Bei entsprechender Anpassung der Luftzufuhr wird dann auf dem Rost pro Zeiteinheit mehr oder weniger Brennstoff verbrannt, d.h. mehr oder weniger Energie erzeugt. Ein versierter Heizer konnte damit, mit entsprechendem zeitlichem Verzug durch die thermische Trägheit aller beteiligten Elemente, die Feuerung an die abgeforderte Leistung der Lokomobile anpassen. Bei größeren Schichtdicken kalten Materials konnte der Luftdurchgang erschwert sein. Der Luftzug musste vergrößert werden. Das hatte u.U. zur Folge, dass der Teil unverbrannter Gase stieg, der ungenutzt durch den Schornstein abzog. Bei dünneren Schichten wurde der aufgelegte Brennstoff von der Brennluft zu schnell durchströmt. Der Zug muss zurückgenommen werden. Die offene Rostfläche sollte, je nach Brennstoff und Größe der Stücke, möglichst groß sein. Die ausgeführten Grenzen der freien Rostfläche lagen bei speziellen Patentrosten bei ca. 50 % der gesamten Rostfläche. Vergleiche von Verhältniswerten, beispielsweise von Gesamtrostfläche zu offener Rostfläche, waren zur Abstimmung an unterschiedliche Brennstoffmaterialien (Art, Korngröße, Eigenschaften bei der Verbrennung) gebräuchlich. Bei Roststäben waren folgende Werte üblich:

| | Breite des Rostspaltes (mm) | Breite des Roststabes (mm) | Verhältnis: freie Rostfl./ges. Rostfl. |
|---|-----------------------------|----------------------------|--|
| Steinkohle (fett) | 8 (6 – 10) | 20 | 2/7 |
| Steinkohle (stark backend und schlackend) | bis 12 | bis 24 | 3/7 |
| Steinkohle (mager) | 6 | 15 | 2/7 |
| Kohlen (insbes. Kleinkohle) | 4 bis 6 | 10 | 3/7 |
| Kohlengrus | 3 | bis 12 | 1/7 |
| Koks | 8 | 24 | 1/4 |
| Braunkohle (erdig, klein) | 5 | 14 | 2/7 |
| Braunkohle (grob, Klötze) | 8 | 18 | 2/7 |

Bild 7.2.4/5: Gebräuchliche Abmessungen von Roststäben

Rostfeuerungen für Holz und Torf

Bei diesen Brennstoffen galt im Prinzip das bei der Rostfeuerung für Kohlen und Kokse gesagte. Die Abschätzung von Redtenbacher für die Rostfläche lautete:

$$Ar = \frac{P}{10} = \frac{Mh}{250}$$

Ar - Rostfläche in m²
P - Leistung der Lokomobile
Mh - die pro Stunde zu verbrennende Holzmenge

Die aus der Erfahrung gewonnen Werte für die Geometrie der Roststäbe kann der Tabelle entnommen werden.

| | Breite des Rostspaltes (mm) | Breite des Roststabes (mm) | Verhältnis: freie Rostfl./ges. Rostfl. |
|----------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| Holz | 8 und mehr | 24 | 1/5 (bis 1/4) |
| Sägespäne, Kleinholz | 4 - 7 | 20 | |
| Torf | 6 | 24 | 1/4 |

Bild 7.2.4/6: Gebräuchliche Abmessungen von Roststäben

Rostfeuerungen für Stroh und andere Vegetabilien

Bei den in der Landwirtschaft eingesetzten fahrbaren Lokomobilen war insbesondere in der Dreschzeit die Verfeuerung von Stroh üblich. Des Weiteren fielen in den Erntekampagnen große Mengen an Reststoffen an, z.B. Maisstengel, Blatt- und Krautabfälle etc., die, gut getrocknet, als Brennmaterial verwendet werden konnten. Wegen des geringen Heizwerts und des großen Volumens wäre eigentlich die Verwendung von Lokomobilen mit angepasstem Feuerraum und vergrößerter Heizfläche (etwa um 1/3 vergrößert) erforderlich. In der Praxis blieb das Theorie. Nur bei den sogenannten „Kolonialmaschinen“ passte man von Anfang an die Feuerung an die zu erwartenden minderwertigen Brennmaterialien (Reisstroh, Zuckerrohrreste etc.) an. Lokomobilen, die ausschließlich auf die Feuerung mit Kohlen eingerichtet waren, konnten mit Stroheuerung nicht betrieben werden. Es wurden oft Maschinen eingesetzt, die sowohl Kohlen als auch Stroh verfeuern konnten. Die Feuerbüchsen waren leicht vergrößert, die Roste wurden angepasst. Die Roststäbe lagen weit auseinander (6 bis 12cm). Häufig wurden zum Vorwärmen des Strohes Vorderroste mit etwas geringerem Abstand der Roststäbe eingesetzt. Dieser Kompromiss war natürlich mit einigen Nachteilen verbunden. Bei Stroheuerungen musste das Brennmaterial möglichst gleichmäßig in den Feuerraum zugeführt werden. Im ungünstigsten Fall, bei übermäßiger Zufuhr, erstickte das Feuer. Beim Einsatz zu großer Mengen in kurzer Zeit verbrannten die Heizgase sehr unvollständig und zogen größtenteils ungenutzt und stark rauchend durch den Kamin ab. Bei Beschickung von Hand durch den Heizer war die untere Kante der Heiztür auf dem Niveau des Rostes. Das Brennmaterial wurde mit langen Forken in den Feuerraum geschoben. Beim Verbrennen von Stroh entstand viel Asche und Schlacke. Um zu verhindern, dass Reste davon beispielsweise in die Rauchrohre gelangten, setzte man ein oder zwei Feuerbrücken oder eiserne Schirme ein. Diese mussten wegen der hohen Belastung oft gewechselt werden. Der Aschenkasten war bei Stroheuerung im Vergleich zur Kohlenfeuerung deutlich vergrößert. Beim Entleeren war Vorsicht geboten, da die Asche noch viel nicht verbranntes Material enthalten konnte (Feuergesfahr). Die Beschickung bei Stroheuerung war sehr arbeitsintensiv. Hinzu kam, dass durch den hohen Anteil an Schlacke und festen Rückständen im Feuerraum, der Rost und die Rauchrohre mehrmals am Tag gereinigt werden mussten. Bei Lokomobilen mit größerer Leistung setzte man häufig Beschickungseinrichtungen ein, die das Stroh gleichmäßig und selbsttätig in den Brennraum förderten. Bei diesen Einrichtungen lag die untere Kante der Feuertür oft über dem Rost. Einige weitere Beschickungseinrichtungen werden später bei der Behandlung der Maschinen erläutert.

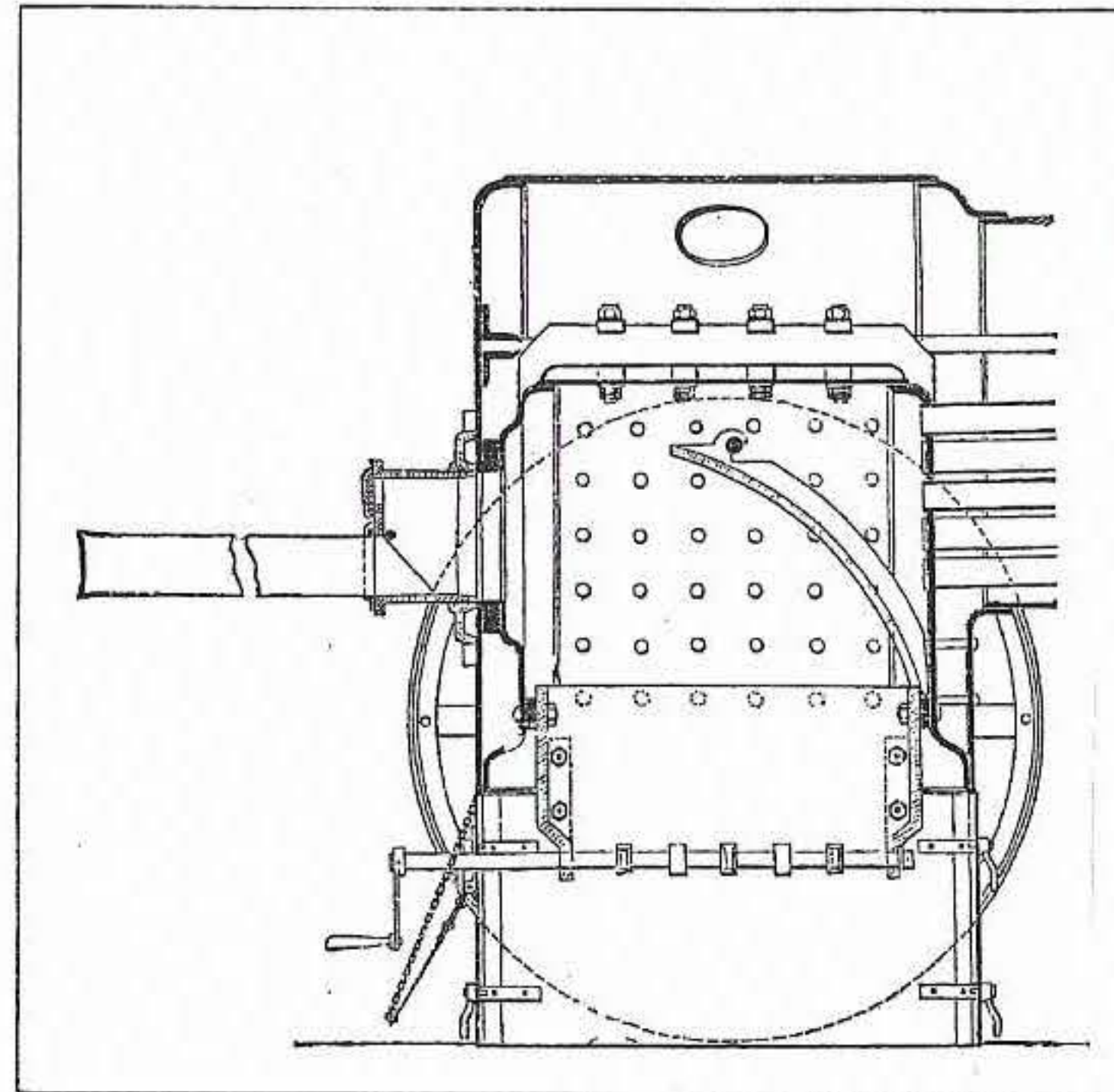


Bild 7.2.4/7:
Feuerraum einer Strohfeuerung
mit Abschirmung der Rauchrohre

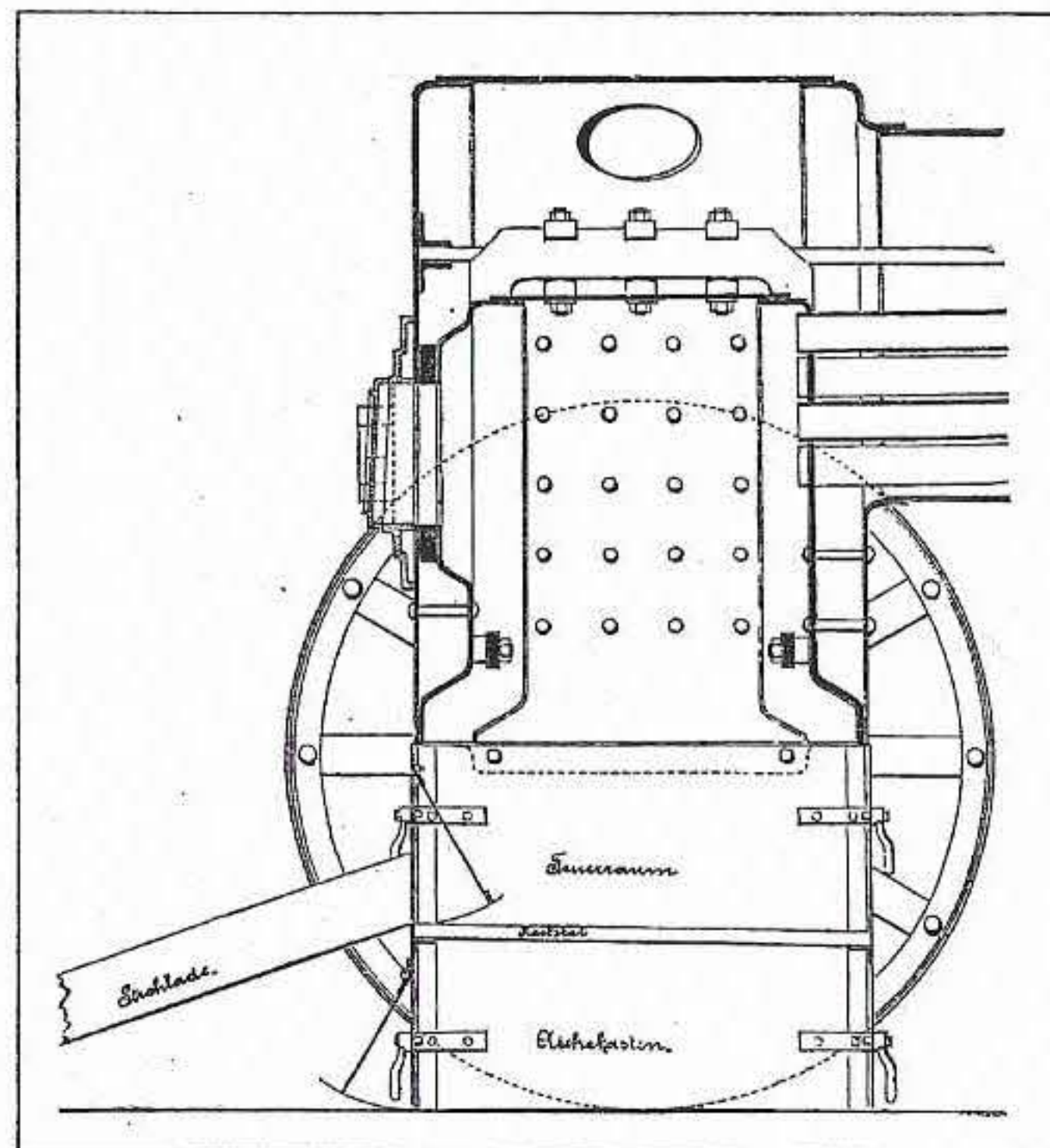


Bild 7.2.4/8:
Feuerraum einer Strohfeuerung
mit untenliegender Zufuhr des Strohs

Viele Hersteller gingen im Laufe der Zeit dazu über, die im praktischen Einsatz gewonnenen Erfahrungen mit ihren Maschinen systematisch zu sammeln, auszuwerten und ihren Neukunden zur Verfügung zu stellen. Diese Zusammenstellungen dienten beispielsweise bei gegebenem Brennmaterial zur Auswahl der geeigneten Feuerung, der Roste u.a.m. Im Bild 7.2.4/9 ist so eine Zusammenfassung für Halblokomobilen bestimmter Bauart der Maschinenfabrik von Henschel & Sohn wiedergegeben. Es wurde einer Werbebroschüre des Herstellers entnommen.

HENSCHEL & SOHN G. m. b. H. / CASSEL

Verwendungsübersicht der Feuerungen der ortsfesten Henschel-Lokomobilen für feste Brennstoffe

| Lfd. Nr. | Brennstoff | Planrost-Innen-Feuerung | Planrost-Vorbau | Planrost-Vorfeuerung auf Rollen fahrbar | Treppenrost-Vorfeuerung in Oberflur-Anordnung nur bis einschl. Kessel 11 in Unterflur-Anordnung nur ab Kessel 5 |
|----------|--|---|--|--|--|
| a | b | c | d | e | f |
| 1 | Anthrazit | gegebenenfalls mit Unterwind | | | |
| 2 | Gas- und Hüttenkoks | gegebenenfalls mit verlängert. Rost | für kleinere Kessel | | |
| 3 | Steinkohle | | geringwertige als Beimischung zu Brennst. nach 9 | | |
| 4 | Steinkohlenbriketts | zerkleinerte | | als Zusatz zu Brennstoffen nach 8—14 wie Torf, Holz usw. | Zulässig: als Zusatz in geringen Mengen zu nassen Brennstoffen nach 7—11 |
| 5 | Braunkohlen, böhmische | hochwertige Sorten | | | |
| 6 | Braunkohlen-Briketts | verlängerter Rost | | | |
| 7 | Braunkohlen, deutsche | | lignitische | stückige von mind. 3000 WE. | klare bis zu Stücken in Faustgröße von höchstens 3000 WE Heizwert |
| 8 | Torf | | lufttrock. in Stücken bis Faustgröße | Ziegelgröße | Roh- und Abfalltorf mit höchstens 50% Feuchtigkeitgehalt, kleinstückig |
| 9 | Holz, Schwarzen, stückige Abfälle, Säumlinge, Latten, Borken | lufttrock. max 30% Feuchtigkeit * mehr als 30% Feuchtigkeit | 20—30 cm lang | lange Scheite | Noch zulässig: kleine Stücke bis Handgröße als Zusatz in geringen Mengen zu Sägespänen nach 11 |
| 10 | Hobel- u. Frässpäne (lufttrocken) * | | 20—30 cm lang für größere Kessel | für kleinere Kessel | Ungesiegt: Größere Abfälle, Schwarzen, Säumlinge, Bretter, Latten |
| 11 | Sägespäne | lufttrock. max 30% Feuchtigkeit * mehr als 30% Feuchtigkeit | größere, längere | | Noch zulässig: Kurze Späne bis zur Größe eines halben Fingers als Zusatz in gering. Meng. zu Sägespänen nach 11 |
| 12 | Reisig u. sperriges Material | | Zulässig: 30% Sägespäne mit Brennstoffen nach 9 und 10 gut vermischt | | lufttrocken von weichen Hölzern (Tannen und Kiefern) |
| 13 | Scheit u. Klobenholz (lufttrocken) * | | für größere Kessel | für kleinere Kessel | Noch zulässig: Sägemehl u. Sägespäne harter Hölzer, deren kleinstückige Holzabfälle, Stein-, Braunkohle, Brikettsgras, lufttrock. Torf beizumengen sind. |
| 14 | Zuckerrohr, Bagasse, Schilf, Hirse, Maisstroh | | | frisch geschlagen | |
| 15 | Anderweitige Brennstoffe | Holzkohle | Abfälle von Jute u. Hanf, Kurzstroh, Rübenstroh, Pflanzenerückstände | für kleinere Kessel | Kakao- Kaffee- Hirse- Reiseschalen, Loh mit höchst 60% Feuchtigkeitgehalt, Buchweizensamenschalen |

Anmerkungen:

Die für den betreffenden Brennstoff besonders geeignete Feuerung ist durch gekennzeichnet.

* Mit sehr feuchtem Holz und nassen Sägespänen (z. B. von Flößholz oder vereisten Stämmen) kann der Dampfdruck nicht gehalten werden. Bei mehr als 30% Feuchtigkeitgehalt sind trockene Späne oder feinkörnige Kohlen beizumengen.

Bild 7.2.4/9: Zusammenstellung zur Auswahl der Feuerung bei Halblokomobilen
(Fa. Henschel & Sohn, Cassel (um 1924))