



Ruhrkohlen-Handbuch

**Ein Hilfsbuch für den industriellen Verbraucher
von festen Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und
Saarbergbaues**

Herausgegeben vom
Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikat

Dritte, erweiterte Auflage
Mit 101 Abbildungen im Text
und 51 Tafeln



Berlin
Verlag von Julius Springer
1937

ISBN-13: 978-3-642-98909-4

e-ISBN-13: 978-3-642-99724-2

DOI: 10.1007/978-3-642-99724-2

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

Copyright 1937 by Rheinisch-Westfälisches Kohlen-Syndikat, Essen.

Vorwort zur ersten Auflage.

Der von Einzelfirmen und industriellen Verbänden unternommene Versuch, ihre umfangreichen Erfahrungen über die Eigenschaften und die Verwendung ihrer Erzeugnisse in Form von Anhaltszahlen einem weiteren Kreise zugänglich zu machen, hat sich als praktisch brauchbar erwiesen. Deshalb bestimmten uns Anregungen aus dem Kreise der industriellen Verbraucher von Ruhrbrennstoffen, unsere wärmetechnische Abteilung ebenfalls mit der Zusammenstellung eines Werkes über die Eigenschaften von Kohlen, Koks und Briketts des rheinisch-westfälischen Steinkohlenreviers und die Verwendung dieser Brennstoffe in industriellen Feuerungsanlagen zu beauftragen. In dem vorliegenden

Ruhrkohlen-Handbuch,

in dem die in unseren bisherigen Veröffentlichungen enthaltenen Angaben wesentlich erweitert wurden, gewann der Plan Gestalt.

Für die Ausgestaltung des Handbuches sind uns von sachverständiger Seite manche wertvollen Hinweise gegeben worden, für die wir auch an dieser Stelle unseren Dank aussprechen. Jede Anregung und Kritik wird uns auch weiterhin willkommen sein, damit das vorliegende Buch seinem Zweck, zur Förderung der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Feuerungsanlagen beizutragen, immer näher gebracht wird.

E s s e n , im Dezember 1929.

**Rheinisch-Westfälisches
Kohlen-Syndikat.**

Vorwort zur zweiten, erweiterten Auflage.

Die erste, im Jahre 1930 durch einen unveränderten Neudruck erhöhte Auflage unseres Ruhrkohlen-Handbuches war nach kurzer Zeit vergriffen. Die freundliche Aufnahme des Buches durch Wissenschaft und Praxis und die anhaltende weitere Nachfrage veranlaßten uns, die vorliegende zweite Auflage herauszugeben, die mit Rücksicht auf die Fortschritte der Feuerungstechnik erheblich erweitert wurde.

Für die vielseitigen Anregungen, die uns hierzu aus dem Kreise von Hochschullehrern und Betriebsleitern zuzugingen, wiederholen wir an dieser Stelle unseren Dank. Wir übergeben die Neuauflage der Öffentlichkeit in der Hoffnung, daß sie wiederum ihre Aufgabe, ein wertvolles Hilfsmittel bei allen feuerungstechnischen Arbeiten zu sein, erfüllen möge.

Essen, im April 1932.

**Rheinisch-Westfälisches
Kohlen-Syndikat.**

Vorwort zur dritten, erweiterten Auflage.

Seit der Herausgabe der zweiten Auflage unseres Handbuches sind die Zechen des Aachener und Saarbergbaues unserem Syndikat beigetreten. In der vorliegenden 3. Auflage wurden daher zum ersten Male die Erzeugnisse dieser beiden Steinkohlenreviere aufgenommen. Wir haben trotzdem den bisherigen Titel des Buches

„Ruhrkohlen-Handbuch“

beibehalten, da er sich im Fachschrifttum eingeführt hat. In dem neuen Untertitel haben wir auf die Erweiterung des Inhaltes hingewiesen.

Wir waren bemüht, den Inhalt noch mehr als bisher auf die Bedürfnisse des Betriebes abzustellen. Für die Anregungen, die uns hierzu aus allen Fachkreisen zuzingen, wiederholen wir an dieser Stelle unseren Dank. Wir übergeben die 3. Auflage der Öffentlichkeit in der Hoffnung, daß sie die gleiche freundliche Aufnahme seitens der Wissenschaft und der Praxis finden möge wie die früheren Auflagen.

Essen, im Dezember 1937.

**Rheinisch-Westfälisches
Kohlen-Syndikat.**

Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

Physikalische und chemische Zahlentafeln.

| | Seite |
|---|-------|
| 1. Einheiten (Kurzzeichen) DIN 1301 | 17 |
| 2. Erläuterungen technischer Bezeichnungen | 18 |
| 3. Maßsysteme verschiedener Länder | 22 |
| 4. Atomgewichte | 32 |
| 5. Spezifisches Gewicht und Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen | 33 |
| 6. Sättigungsdruck des Wasserdampfes | 34 |
| 7. Zustandsgrößen des gesättigten Wasserdampfes | 37 |
| 8. Spezifisches Gewicht des überhitzten Wasserdampfes | 43 |
| 9. Wärmehalt des überhitzten Wasserdampfes | 44 |
| 10. Dampfspeicherung | 48 |
| 11. Normkubikmetergewicht von Gasen und Dämpfen | 50 |
| 12. Raumgewicht von Luft | 51 |
| 13. Mittlere spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen in kcal/Nm ³ °C bei verschiedenen Temperaturen und konstantem Druck | 52 |
| 14. Mittlere spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen in kcal/kg °C bei verschiedenen Temperaturen und konstantem Druck | 53 |
| 15. Wärmehalt von Gasen und Dämpfen in kcal/Nm ³ bei verschiedenen Temperaturen und konstantem Druck | 54 |
| 16. Wärmehalt von Gasen und Dämpfen in kcal/kg bei verschiedenen Temperaturen und konstantem Druck | 55 |
| 17. Oberer und unterer Heizwert verschiedener Stoffe | 56 |

| | |
|---|----|
| 18. Hilfstafeln zur Berechnung des Heizwertes von Brenngasen: | |
| a) Wasserstoff | 57 |
| b) Kohlenoxyd | 58 |
| c) Methan | 59 |
| d) Schwere Kohlenwasserstoffe | 59 |

Zweiter Teil.

Meßtechnik.

| | |
|---|----|
| I. Mengemessung: | |
| 1. Berechnung von Blenden | 61 |
| a) Berechnungsbeispiel für Luft | 66 |
| b) Berechnungsbeispiel für gereinigtes Generatorgas aus Anthrazit | 67 |
| c) Berechnungsbeispiel für Dampf | 69 |
| d) Berechnungsbeispiel für Wasser | 70 |
| 2. Ausführung der Blenden: | |
| a) Allgemeines | 71 |
| b) Ausführung der Blende | 71 |
| c) Einbau der Blende | 72 |
| d) Verbindung von Blende und Meßgerät | 77 |
| 3. Anzeigegeräte | 77 |
| 4. Geräte mit fortlaufender Aufzeichnung | 80 |
| II. Temperaturmessung: | |
| 1. Siede- bzw. Schmelzpunkte verschiedener Stoffe | 81 |
| 2. Geräte für Temperaturmessung: | |
| a) Flüssigkeitsthermometer | 82 |
| b) Flüssigkeits-Federthermometer | 86 |
| c) Dehnungsthermometer | 86 |
| d) Elektrische Widerstandsthermometer | 86 |
| e) Thermoelemente und Durchflußpyrometer | 87 |
| f) Temperaturschätzung nach der Glühfarbe | 90 |
| g) Gesamtstrahlungs-pyrometer | 90 |
| h) Teilstrahlungs-pyrometer | 90 |
| i) Segerkegel | 90 |

Dritter Teil.

Eigenschaften der Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

| | Seite |
|---|-------|
| 1. Allgemeine Einteilung der Steinkohlenarten nach dem Verhalten bei der Verkokung | 93 |
| 2. Kennzeichnung und Vorkommen der deutschen Steinkohlenarten | 93 |
| 3. Einteilung der Steinkohlenarten des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues nach dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen | 94 |
| 4. Schematische Darstellung einer Steinkohlenaufbereitungsanlage | 98 |
| 5. Mittlere Körnungen der Brennstoffe des Ruhr- und Aachener Reviers | 99 |
| 6. Mittlere Körnungen der Saarbrennstoffe | 102 |
| 7. Mittlere Asche- und Wassergehalte der Ruhr- und Aachener Brennstoffe | 103 |
| 8. Mittlere Asche- und Wassergehalte der Saarbrennstoffe | 103 |
| 9. Untere Heizwerte der Ruhr- und Aachener Kohlen in Abhängigkeit von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bezogen auf Reinkohle | 104 |
| 10. Untere Heizwerte der Reinkohlen (asche- und wasserfreie Substanz) der Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues in Abhängigkeit von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen | 105 |
| 11. Errechnung des Heizwertes der Rohkohlen (asche- und wasserhaltige Substanz) | 106 |
| 12. Untere Heizwerte der wichtigsten Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues | 107 |
| 13. Abhängigkeit der Gehalte an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und disponiblen Wasserstoff der Ruhr- und Aachener Kohlen von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bezogen auf Reinkohle | 108 |

| | Seite |
|--|-------|
| 14. Chemische Zusammensetzung der Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues bezogen auf Reinkohle | 109 |
| 15. Normblätter über die Prüfung fester Brennstoffe | 109 |
| 16. Lagerung von Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saar- bergbaues: | |
| a) Allgemeines | 110 |
| b) Durchführung der Lagerung | 110 |
| c) Lagerung im Freien | 111 |
| d) Silo- und Bunkerlagerung | 112 |

Vierter Teil.

Verbrennung von Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

| | |
|---|-----|
| 1. Luftbedarf, Abgasmenge, Abgaszusammensetzung und Verbrennungstemperatur | 115 |
| 2. Ermittlung der Luftüberschußzahl bei vollkommener Ver- brennung | 124 |
| 3. Verluste durch fühlbare Wärme der Abgase | 125 |
| 4. Verluste durch unvollkommene Verbrennung | 129 |
| 5. Verluste durch Brennbares in den Rückständen | 131 |
| 6. Verluste durch Strahlung und Leitung | 131 |
| 7. Beispiel zur Ermittlung des Wärmehaushaltes aus einem Verdampfungsversuch | 131 |

Fünfter Teil.

Betrieb von Dampfkesselfeuerungen mit Brenn- stoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

I. Allgemeines über Rostfeuerungen:

| | |
|---|-----|
| 1. Schema der wichtigsten Feuerungssysteme für Stein- kohlen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues | 139 |
|---|-----|

| | Seite |
|--|-------|
| 2. Schichthöhen auf dem Rost | 140 |
| 3. Regelung der Verbrennungsluft | 140 |
| 4. Roststab-Ausbildung | 143 |
| 5. Werkstoffe für Roststäbe | 145 |
| 6. Rostkühlung | 147 |
| 7. Verhältnis von Rostfläche zu Heizfläche | 150 |

II. Planrostfeuerungen :

| | |
|--|-------|
| 1. Feuerbeschickung | 151 |
| 2. Bearbeitung des Feuers | 153 |
| 3. Abschlacken | 155 |
| 4. Höchste Dauerleistungen bei Planrosten | 157 |
| 5. Ergebnisse von Verdampfungsversuchen mit Brennstoffen des Ruhr- und Aachener Bergbaues an Dampfkesseln mit Planrostfeuerungen | 156/7 |

III. Wanderrostfeuerungen :

| | |
|---|-------|
| 1. Ausführung von Wanderrostfeuerungen | 158 |
| 2. Betrieb von Wanderrosten | 162 |
| 3. Höchste Dauerleistungen bei Wanderrosten | 164 |
| 4. Ergebnisse von Verdampfungsversuchen mit Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues an Dampfkessel- anlagen mit Wanderrostfeuerungen | 164/5 |

IV. Kohlenstaubfeuerungen :

| | |
|--|-------|
| 1. Aufbereitung des Kohlenstaubes, Mahlfeinheit | 165 |
| 2. Verbrennung des Kohlenstaubes | 166 |
| 3. Richtlinien für den Bau und Betrieb von Kohlenstaub- anlagen | 167 |
| 4. Ergebnisse von Verdampfungsversuchen mit Brennstoffen des Ruhrbergbaues an Dampfkesselanlagen mit Staub- feuerung | 166/7 |

V. Zugerzeugung :

| | |
|--|-----|
| 1. Natürlicher Zug durch Schornsteine | 168 |
| 2. Künstlicher Zug durch Saugzugventilatoren | 174 |

Sechster Teil.

Entgasung von Kohlen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

| | |
|--|-------|
| I. Kohlenauswahl: | Seite |
| 1. Allgemeines | 177 |
| 2. Mischen und Mahlen | 177 |
| 3. Schüttgewicht der Kohle in der Ofenkammer | 179 |
| II. Kokszeugung: | |
| 1. Kokskörnungen und -bezeichnungen | 182 |
| 2. Aschegehalt des Koks in Abhängigkeit vom Gehalt der Steinkohle an flüchtigen Bestandteilen für verschiedene Aschegehalte der Steinkohle | 183 |
| 3. Koks-Festigkeitsprüfungen | 184 |
| 4. Koks-Festigkeit: | |
| a) Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der eingesetzten Kohle | 184 |
| b) Einfluß der Körnung der Kohle | 184 |
| c) Einfluß der Kammerbreite und Verkokungstemperatur | 185 |
| d) Einfluß der Kohlenmischung | 186 |
| III. Gaserzeugung: | |
| 1. Gasausbeute, Gasheizwert und Gaswertzahl | 186 |
| 2. Einfluß der Ofentemperatur auf Ausbeute, Heizwert und Zusammensetzung des Gases | 188 |
| 3. Mischgas, Streckgas | 190 |
| 4. Gasausbeuten bei Entgasung von Ruhr-, Aachener und Saarkohlen | 196 |
| 5. Richtlinien für die Gasbeschaffenheit | 197 |
| 6. Übliche Gas-Heizwerte im Ausland | 197 |
| 7. Mittlere Zusammensetzung, spezifisches Gewicht, Heizwert und Luftbedarf technischer Gase | 198 |
| 8. Umrechnung eines abgelesenen Gasvolumens auf den Normzustand | 199 |
| 9. Umrechnung eines abgelesenen Gasvolumens auf ein anderes Volumen | 199 |

| | Seite |
|---|-------|
| 10. Reduktion des Barometerstandes auf 0° | 200 |
| 11. Berechnung des Auftriebes von Gasen | 201 |

IV. Wärmetechnische Anhaltzahlen für Entgasungsöfen:

| | |
|--|----------|
| 1. Mittlere spezifische Wärme von Koks | 201 |
| 2. Wärmeleitzahlen von geschütteten Kohlen und Koks in Abhängigkeit von der Temperatur | 202 |
| 3. Temperaturanstieg in der Mittelebene einer Kokskammer | 203 |
| 4. Abhängigkeit der Betriebszeit von der Heizzugtemperatur und der Ofenbreite bei gleicher Koks- endtemperatur | 204 |
| 5. Einfluß der Kammerwandstärke auf die Garungszeit | 205 |
| 6. Verkokungswärme für 1 kg Trockenkohle bei einer Koks- endtemperatur von 950° | 206 |
| 7. Änderung des Unterfeuerungs-aufwandes von Ofenbatte- rien in Abhängigkeit von der Belastung | 207, 208 |
| 8. Wärmestrombild eines Stadtgaswerkes | 209 |
| 9. Ausbeute an Tief- und Hochtemperaturteer aus Stein- kohlen bezogen auf Reinkohle | 210 |
| 10. Verteilung des Stickstoffes der Kohle bei der Entgasung | 210 |

Siebenter Teil.

Vergasung von Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

| | |
|---|-----|
| 1. Für Vergasungszwecke geeignete Brennstoffarten | 211 |
| 2. Gaserzeugerbauarten: | |
| a) Festrostgaserzeuger | 211 |
| b) Rostlose Gaserzeuger mit Windhaube | 213 |
| c) Drehrostgaserzeuger | 214 |
| 3. Beschickungsvorrichtungen für Gaserzeuger | 214 |
| 4. Gebläse für Gaserzeuger | 217 |
| 5. Regler für Gaserzeuger: | |
| a) Regler für den Dampfzusatz | 218 |
| b) Regler für den Gasdruck | 218 |

| | |
|---|-----|
| 6. Reinigungsanlagen für Generatorgas: | |
| a) Trockene Entstaubung | 219 |
| b) Nasse Gasreinigung | 222 |
| c) Gasentschwefelung | 223 |
| 7. Größen der Gaserzeuger | 224 |
| 8. Normale Gaserzeugerbelastungen | 225 |
| 9. Schüttung im Rundschachtgaserzeuger | 226 |
| 10. Wind- und Dampfbedarf, Gasausbeute je kg Kohle | 226 |
| 11. Beispiele für Zusammensetzung und Heizwert von Generatorgas | 227 |
| 12. Temperatur, Wasser- und Teergehalt des Gases | 228 |
| 13. Temperaturabfall strömender Gase in Leitungen und Kanälen | 228 |
| 14. Berechnung der zur Verbrennung eines Gases theoretisch notwendigen Luftmenge und der Verbrennungsprodukte | 228 |
| 15. Berechnung des Raumgewichtes von Gasen | 230 |
| 16. Berechnung der Gasausbeute nach dem Kohlenstoffhaushalt | 230 |
| 17. Beispiel für die Berechnung des Wärmehaushaltes eines Gaserzeugers | 231 |
| 18. Beispiele für den Wärmehaushalt von Gaserzeugern für verschiedene Brennstoffe | 232 |
| 19. Betrieb von Gaserzeugern: | |
| A. Inbetriebnahme von Gaserzeugern | 233 |
| B. Überwachung und Bedienung der Gaserzeuger: | |
| a) Allgemeines über Messungen an Gaserzeugern | 234 |
| b) Druckmessungen | 235 |
| c) Temperaturmessungen | 237 |
| d) Untersuchung der Gaszusammensetzung | 239 |
| e) Bestimmung von Feuchtigkeit und Teer im Gas | 243 |
| f) Messung der Schichthöhe der einzelnen Zonen im Gaserzeuger | 243 |
| g) Brennstoffaufgabe | 246 |
| C. Stillsetzen von Gaserzeugern | 247 |
| 20. Kraftgas | 247 |
| 21. Brenner für Generatorgas | 248 |
| a) Rohgasbrenner | 248 |
| b) Reingasbrenner | 251 |

Achter Teil.

Verwendung von Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues in Industrieöfen.

| | Seite |
|--|-------|
| 1. Wärmeübergangszahlen der Ofenaußenwände | 255 |
| 2. Wärmeverluste bei verschiedenen Ofeninnenwandtempe- raturen | 255 |
| 3. Wandverluste über der Herdfläche von Stoß- und Glühöfen | 256 |
| 4. Wandverluste über der Herdflächenbelastung von Stoß-, Roll- und Glühöfen | 256 |
| 5. Wärmehalte verschiedener Stoffe | 257 |
| 6. Brennstoffverbrauch von Siemens-Martin-Öfen | 257 |
| 7. Der Gießereischachtofen: | |
| A. Stoffmengen | 257 |
| B. Messungen zur Betriebskontrolle | 258 |
| C. Fehler im Schmelzbetrieb | 259 |
| 8. Arbeitstemperaturen in der Eisenindustrie | 260 |
| 9. Anhaltszahlen für Leistung und Wärmeverbrauch von Glasschmelzöfen | 261 |
| 10. Brennstoffverbrauch für verschiedene keramische Er- zeugnisse | 262 |
| 11. Temperaturverlauf eines Glattbrandes von Porzellan im 65 m ³ -Rundofen | 263 |
| 12. Temperaturverlauf eines Glüh- und eines Glattbrandes von Steingut im Rundofen | 264 |
| 13. Temperaturverlauf eines Garbrandes von gesinterter fein- keramischer Masse in einem Gastunnelofen | 265 |
| 14. Temperaturverlauf eines Bleiglasurbrandes in einem Tunnelofen mit indirekter Beheizung | 266 |
| 15. Wärmehaushalt eines Mendheim-Ofens | 266 |
| 16. Brennstoffverbrauch von Öfen der Kalkindustrie | 270 |
| 17. Brennstoffverbrauch von Öfen der Zementindustrie | 271 |
| 18. Arbeitstemperaturen in der keramischen Industrie | 272 |
| 19. Arbeitstemperaturen in der Kalk-, Zement- und feuerfesten Industrie | 272 |

Neunter Teil.

Feuerfeste Baustoffe.

| | Seite |
|--|-------|
| I. Allgemeines über feuerfeste Baustoffe: | |
| 1. Begriffsbestimmung | 273 |
| 2. Natürliche feuerfeste Baustoffe | 274 |
| 3. Künstliche feuerfeste Baustoffe | 274 |
| a) Schamotte | 275 |
| b) Quarzschamotte | 278 |
| c) Silika | 279 |
| d) Sondererzeugnisse | 284 |
| f) Mörtel, Stampf- und Anstrichmassen | 284 |
| II. Die Verwendung feuerfester Baustoffe: | |
| 1. Allgemeines | 286 |
| 2. Feuerfeste Steine für Koks- und Gasöfen | 287 |
| 3. Feuerfeste Steine für Gaserzeuger | 288 |
| 4. Feuerfeste Steine für Dampfkesselfeuerungen | 288 |
| 5. Feuerfeste Isolierstoffe | 290 |
| III. Deutsche Normen über feuerfeste Baustoffe | |
| | 291 |

Zehnter Teil.

Schrifttum über Brennstoffchemie, Wärmewirtschaft und Betriebswirtschaft.

| | |
|--|-----|
| 1. Chemie der Brennstoffe | 293 |
| 2. Feuerungstechnik | 294 |
| 3. Wärmewirtschaft | 295 |
| 4. Dampfkesselbetrieb | 296 |
| 5. Gaserzeugung | 297 |
| 6. Industrieöfenbetrieb | 298 |
| 7. Meßtechnik, Überwachung, Untersuchungen | 299 |
| 8. Zeitschriften | 300 |

Elfter Teil.

Sachverzeichnis.

Erster Teil.

**Physikalische und chemische
Zahlentafeln.**

1. Einheiten.

Kurzzeichen.

DIN 1301.*)

| | | | | | |
|-----------------|-------------------|---|-----------------------------|------|----------------|
| m | Meter | dm ³ | Kubikdezimeter | ° | Celsiusgrad |
| km | Kilometer | cm ³ | Kubikzentimeter | cal | Kalorie |
| dm | Dezimeter | mm ³ | Kubikmillimeter | | (Grammkalorie) |
| cm | Zentimeter | | | kcal | Kilokalorie |
| mm | Millimeter | t | Tonne | A | Ampere |
| μ | Mikron | g | Gramm | V | Volt |
| | | kg | Kilogramm | Ω | Ohm |
| a | Ar | dg | Dezigramm | S | Siemens |
| ha | Hektar | cg | Zentigramm | C | Coulomb |
| m ² | Quadratmeter | mg | Milligramm | J | Joule |
| km ² | Quadratkilometer | | | W | Watt |
| dm ² | Quadratdezimeter | U | Umdrehung | F | Farad |
| cm ² | Quadratzentimeter | h | Stunde | H | Henry |
| mm ² | Quadratmillimeter | m | Minute | mA | Milliampere |
| l | Liter | min | Minute (allein- stehend) | kW | Kilowatt |
| hl | Hektoliter | s | Sekunde | MW | Megawatt |
| dl | Deziliter | Uhrzeit: | Zeichen h, m, s erhöht | μF | Mikrofarad |
| cl | Zentiliter | | | MΩ | Megohm |
| ml | Milliliter | Beispiel: | | kVA | Kilovoltampere |
| m ³ | Kubikmeter | 2 ^h 25 ^m 3 ^s | | Ah | Amperestunde |
| | | | | kWh | Kilowattstunde |

Vorsätze zur Bezeichnung von Vielfachen und Teilen der Einheiten:

| | | | | | |
|---|--------|--|---|--------|---|
| T | Tera- | = 10 ¹² = 1 000 000 000 000 | d | Dezi- | = 10 ⁻¹ = 0,1 |
| G | Giga- | = 10 ⁹ = 1 000 000 000 | c | Centi- | = 10 ⁻² = 0,01 |
| M | Mega- | = 10 ⁶ = 1 000 000 | m | Milli- | = 10 ⁻³ = 0,001 |
| k | Kilo- | = 10 ³ = 1 000 | μ | Mikro- | = 10 ⁻⁶ = 0,000 001 |
| h | Hekto- | = 10 ² = 100 | n | Nano- | = 10 ⁻⁹ = 0,000 000 001 |
| D | Deka- | = 10 ¹ = 10 | p | Pico- | = 10 ⁻¹² = 0,000 000 000 001 |

(Beispiel: 1 nF (Nanofarad) = 10⁻⁹ F = 0,000 000 001 F)

Ausschuß für Einheiten und Formelgrößen (AEF)

Außer den oben aufgeführten Einheitszeichen für Flächen und Räume, deren Anwendung der AEF empfiehlt, weil sie international verständlich sind und von der Wissenschaft bevorzugt werden, sind in Deutschland folgende Zeichen gesetzlich zulässig:

| | | | |
|-----|-------------------|-----|-----------------|
| qm | Quadratmeter | cbm | Kubikmeter |
| qkm | Quadratkilometer | cdm | Kubikdezimeter |
| qdm | Quadratdezimeter | ccm | Kubikzentimeter |
| qcm | Quadratzentimeter | cmm | Kubikmillimeter |
| qmm | Quadratmillimeter | | |

Mathematische Zeichen siehe DIN 1302 Blatt 1 und 2

Vektorzeichen siehe DIN 1303

Formelzeichen siehe DIN 1304

3. Ausg., März 1933

*) Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4. Beuth-Verlag GmbH., Berlin.

2. Erläuterungen technischer Bezeichnungen.

1. Das *gesetzliche Maß der Temperatur* (t) ist die 100teilige thermodynamische Skala; sie ist der Celsiusskala praktisch gleich. Die Festpunkte des Celsiusthermometers liegen beim Gefrierpunkt (0°) und beim Siedepunkt des Wassers (100°) unter dem Druck von 760 mm QS. Ein Grad (1°) am Quecksilberthermometer ist der hundertste Teil des Abstandes dieser Festpunkte.

Die Temperatur, gerechnet von einem Ausgangspunkte, der 273° unter dem Nullpunkt der Celsiusskala liegt, heißt die „absolute Temperatur“ (T); ihr Nullpunkt ist der absolute Nullpunkt. Als wahrscheinlichster Wert des absoluten Nullpunktes kann man —273,2° annehmen; für Berechnungen verwendet man gewöhnlich den abgerundeten Wert —273°.

2. Der *Druck von Gasen und Dämpfen* wird gemessen
in kg/m², kg/cm², Pfund/Qu.-Zoll, in Atmosphären,
in Millimeter (oder Meter) Wassersäule (WS),
und in Millimeter Quecksilbersäule (QS).

1 metrische (technische) Atmosphäre (at) wird durch den Druck einer 735,5 mm hohen Quecksilbersäule (gleich 735,5 Torr) dargestellt, wenn das spezifische Gewicht des Quecksilbers den Normalwert

$$\gamma_n = 13,596 \text{ und die Erdbeschleunigung den Normalwert}$$

$$g_n = 980,665 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2} \text{ besitzt.}$$

$$\text{at} = 1 \text{ kg/cm}^2 = 735,5 \text{ mm QS von } 0^\circ$$

$$= 10,000 \text{ m WS von } + 4^\circ$$

$$= 0,968 \text{ physikalische Atmosphären (Atm).}$$

1 physikalische Atmosphäre (Atm) ist gleich dem Normdruck 760 Torr, d. i. der Druck einer 760 mm hohen Quecksilbersäule von 0°, wenn das spezifische Gewicht des Quecksilbers den Normalwert

$$\gamma_n = 13,596 \text{ und die Schwerebeschleunigung den Normalwert}$$

$$g_n = 980,665 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-2} \text{ besitzt.}$$

$$1 \text{ Atm} = 760 \text{ mm QS von } 0^\circ (= 762 \text{ mm QS von } 15^\circ)$$

$$= 10,333 \text{ m WS von } + 4^\circ$$

$$= 1,0333 \text{ at.}$$

$$1 \text{ mm WS von } + 4^\circ = 1 \text{ kg/m}^2 = 0,07355 \text{ mm QS von } 0^\circ,$$

$$1 \text{ mm QS} = 13,596 \text{ mm WS} = 0,0013596 \text{ at}$$

$$= 0,0013158 \text{ Atm.}$$

ata = Atmosphäre absolut;
 atü = Atmosphäre Überdruck;
 atu = Atmosphäre Unterdruck.

3. Als *Einheit des Gewichtes* ist die Kraft festgelegt worden, die 1 kg Masse unter dem Einfluß der Anziehungskraft der Erde auf dem 45. Breitengrade in Meereshöhe ausübt. Sie wird 1 Kilogramm (kg) genannt.

4. Das *Volumen von Gasen und Dämpfen* wird technisch in Kubikmetern (m³) gemessen. Ein Normkubikmeter (Nm³) ist 1 m³ trockenes Gas, bezogen auf 0° und 760 mm QS. Für Gasgemische mit Wasserdampf benutzt man ebenfalls, abweichend von dem Normblatt DIN 1871 den Ausdruck Normkubikmeter; unter dieser Bedingung stellt er eine reine Gewichtsangabe dar.

Das Gewicht von Gasen und Dämpfen wird technisch in kg gemessen. Unter spezifischem Gewicht versteht man technisch das Gewicht von 1 Nm³ in kg gleich Normkubikmetergewicht (kg/Nm³).

Der reziproke Wert ist das spezifische Volumen, d. i. der Rauminhalt von 1 kg in Nm³ (Nm³/kg).

Nach Vorstehendem ist technisch das spezifische Gewicht gleich dem Raumgewicht.

Das Molekularvolumen eines Gases oder gesättigten Dampfes ist der Quotient aus

$$\frac{\text{Molekulargewicht}}{\text{spezifisches Gewicht}}$$

und beträgt für ein dem Boyle-Mariotteschen Gesetz streng folgendes Idealgas 22,414 Nm³ bei Rechnung mit kg als Gewichtseinheit und Nm³ als Volumeneinheit (Avogadrosche Konstante). Die meisten Gase zeigen geringe Abweichungen von diesem Wert; für die Praxis rechnet man mit 22,4 Nm³.

5. Als *gesetzliche Wärmeeinheit* gilt nach Normblatt DIN 1309 die Kilokalorie (kcal), d. i. die Wärme, durch die 1 kg Wasser bei 1 at Druck von 14,5° auf 15,5° erwärmt wird.

Die spezifische Wärme eines beliebigen Stoffes

$$\frac{\text{kcal}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{kg}} \quad \text{bzw.} \quad \frac{\text{kcal}}{^{\circ}\text{C} \cdot \text{Nm}^3}$$

ist die Wärmemenge in kcal, die gebraucht wird, um die Temperatur von 1 kg des Körpers bzw. 1 Nm³ bei Gasen um 1° zu erhöhen. Man unterscheidet wahre und mittlere spezifische Wärme. Die wahre spezifische Wärme ist diejenige, die ein Körper bei einer bestimmten Temperatur besitzt. Die mittlere spezifische Wärme dagegen ist der Mittelwert der spezifischen Wärme von 0° bis zur Bezugstemperatur.

Während die spezifischen Wärmen fester und flüssiger Körper von den äußeren Umständen bei der Erwärmung oder Abkühlung, insbesondere von Änderungen des Druckes und des Volumens weniger abhängig sind, zeigen die spezifischen Wärmen gasförmiger Körper sehr große Abhängigkeit davon. Je nachdem, ob die Erwärmung bei konstantem Druck oder bei konstantem Volumen erfolgt, unterscheiden sich die spezifischen Wärmen gasförmiger Körper (spezifische Wärme bei konstantem Druck c_p bzw. spezifische Wärme bei konstantem Volumen c_v).

Die spezifische Wärme bei konstantem Druck ist um $\frac{1,985}{m}$ größer als die bei konstantem Volumen; dabei bedeutet m das Molekulargewicht. Für feuerungstechnische Rechnungen kommt nur die mittlere spezifische Wärme bei konstantem Druck in Frage.

6. Der *obere Heizwert* (Verbrennungswärme) H_o eines Brennstoffes ist diejenige Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung der Gewichtseinheit (kg) bzw. Volumeneinheit im Normzustand (Nm³) des Brennstoffes verfügbar wird, wenn nach der Verbrennung die Verbrennungserzeugnisse auf die Ausgangstemperatur abgekühlt werden und das bei der Verbrennung gebildete Wasser sich in flüssigem Zustand befindet.

Der *untere Heizwert* H_u eines Brennstoffes ist diejenige Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung der Gewichtseinheit (kg) bzw. Volumeneinheit im Normzustand (Nm³) des Brennstoffes verfügbar wird, wenn nach der Verbrennung die Verbrennungserzeugnisse auf die Ausgangstemperatur abgekühlt werden und das bei der Verbrennung gebildete Wasser sich in dampfförmigem Zustand befindet.

Außerdem müssen sowohl beim oberen als auch beim unteren Heizwert die Verbrennungserzeugnisse von Kohlenstoff und Schwefel

sowie deren Verbindungen restlos als Kohlendioxyd und Schwefeldioxyd in gasförmigem Zustande vorhanden sein.

Ein Unterschied zwischen oberem und unterem Heizwert ist demnach nur bei wasserstoffhaltigen Brennstoffen vorhanden, und zwar ist der untere Heizwert um die Verdampfungswärme des im Brennstoff vorhandenen und bei der Verbrennung zusätzlich gebildeten Wassers niedriger:

$$H_u = H_o - \frac{(9H + W) \cdot L}{100}$$

Darin bedeuten:

H = Wasserstoffgehalt des Brennstoffes in Gewichtsprozenten.

W = Wassergehalt des Brennstoffes in Gewichtsprozenten.

L = Verdampfungswärme des Wassers bei 0° (597 kcal/kg) für gasförmige Brennstoffe nach Normblatt DIN 1872 bzw.

L = Verdampfungswärme des Wassers bei 20° (585 kcal/kg) für feste und flüssige Brennstoffe nach Normblatt DIN DVM 3716.

Wenn als Ausgangs- und Endtemperatur der Verbrennung 20° angenommen werden, so liegt die Änderung des Heizwertes gegenüber einer Ausgangs- und Endtemperatur von 0° im allgemeinen innerhalb der Meßgenauigkeit.

Das Verbrennungswasser kann mit den Abgasen aus den Feuerungen und Verbrennungsmotoren in der Regel nur dampfförmig entweichen, so daß weder dessen Verdampfungs- noch Flüssigkeitswärme nutzbar gemacht werden kann.

7. Als Normaldampf gilt *Sattdampf* von 1 ata, der aus Wasser von 0° erzeugt wurde. Seine Erzeugungswärme beträgt rund 640 kcal/kg.

8. Die bei *Verdampfungsversuchen an Dampfkesselanlagen* ermittelte Verdampfungszahl gibt an, wieviel kg Betriebsdampf durch die Verbrennung von 1 kg Brennstoff erzeugt wurden. Für Vergleichszwecke ist eine Umrechnung dieser Zahl auf Normaldampf üblich (Normalverdampfungszahl).

9. Preis der *Million Wärmeeinheiten* einer Brennstoffsorte (ihr sog. Wärmepreis P_Q) von H_u kcal/kg unterem Heizwert und einem Tonnenpreis von P RM/t:

$$P_Q = \frac{P \cdot 1000}{H_u} \text{ RM/1 Million kcal}$$

10. Preis P_M der Tonne Betriebsdampf in RM/t bei Erzielung einer Verdampfungszahl z mit einer Brennstoffsorte zum Tonnenpreis von P RM/t:

$$P_M = \frac{P}{z} \text{ RM/t}$$

Der Preis der Tonne Normaldampf in RM/t ergibt sich sinngemäß durch Division des Brennstoffpreises in RM/t mit der Normalverdampfungszahl.

Die so berechneten Dampfpreise stellen natürlich nur ihren Brennstoffanteil dar, zu dem die übrigen Kosten der Dampferzeugung vor allem an Kapitaldienst, Löhnen und Gehältern sowie Instandhaltung hinzukommen.

11. Konstanten.

Ausdehnungskoeffizient der Gase je Grad = $\frac{1}{273} = 0,003665$.

Basis der natürlichen Logarithmen $e = 2,7182818$.

Ludolphsche Zahl $\pi = 3,1415926$.

Siedepunkt destillierten Wassers

bei 760 mm QS 100° , bei 1 ata $99,1^\circ$.

3. Maßsysteme verschiedener Länder.¹⁾

a) Längenmaße, Flächenmaße, Raummaße, Gewichte²⁾.

| Deutsches Reich | 1/n | | 1/n |
|---|-----|--|---------|
| (Deutsche Maß- und Gewichtsordnung vom 8. Nov. 1911, Fassung vom 21. Febr. 1930) | | 1 deutsche Landmeile = 7,5 km | 0,133 3 |
| 1 Meter (m) zu 10 Dezimeter (dm) und zu 10 Zentimeter (cm) zu 10 Millimeter (mm). | | 1 geographische Meile (15 = 1 Äquator-Grad) = 7,420 438 54 km | 0,134 8 |
| 1 Mikron (μ) = 0,001 mm | | 1 deutsche (und französische) Seemeile (60 = 1 Meridian-Grad) = 1,852 km | 0,540 0 |
| 1 Millimikron ($m\mu$) = 0,001 μ | | 1 Faden = 1,829 m | 0,546 7 |
| 1 Kilometer (km) = 1000 m | | 1 Kabel zu 120 Faden = 0,22 km | 4,545 |

¹⁾ Nach „Hütte“, 26. Auflage Bd. I. Berlin 1936.

²⁾ In den Tafeln sind alle Maß- und Gewichtseinheiten durch eine Vergleichszahl n auf das metrische System bezogen. In den Spalten $1/n$ sind die reziproken Werte der Vergleichszahlen angegeben. Es bedeutet also n die Anzahl metrischer Einheiten, die der betreffenden Maßeinheit entsprechen, und $1/n$ die Anzahl der betreffenden Maßeinheiten, die der metrischen Einheit entsprechen.

3. Maßsysteme verschiedener Länder (Fortsetzung)

| | 1/n | | 1/n |
|--|-----------|--|-----------|
| 1 Äquator-Grad = 111,306 6 km | 0,008 984 | 1 internationales Karat = 0,2051 g | 4,875 7 |
| 1 Meridian-Grad = 111,120 6 km | 0,009 | Großbritannien | |
| Flächenmaße | | | |
| 1 Quadratmeter (m ²) zu 100 Quadratdezimeter (dm ²) zu 100 Quadratcentimeter (cm ²) zu 100 Quadratmilli- meter (mm ²) | | Längenmaße | |
| 1 Hektar (ha) zu 100 Ar (a) zu 100 m ² | | 1 Zoll (inch, in.) (16- oder 12teilig ¹⁾) = 25,399 956 mm | 0,039 37 |
| 1 Quadratkilometer (km ²) = 100 ha | | 1 Fuß (foot, ft.) = 12 Zoll = 0,304 799 736 m | 3,280 8 |
| 1 geographische Quadrat- meile = 55,062 91 km ² | 0,018 16 | 1 Yard (yd.) = 3 Fuß = 0,914 399 2 m | 1,093 6 |
| Raummaße | | | |
| 1 Kubikmeter (m ³) (in man- chen Gegenden Ster ge- nannt) zu 1000 Kubikdezi- meter (dm ³) oder Liter (l) zu 1000 Kubikcentimeter (cm ³) zu 1000 Kubikmilli- meter (mm ³) | | 1 Fathom = 6 Fuß = 1,828 798 m | 0,546 8 |
| 1 Hektoliter (hl) = 100 l | | 1 Pole (Rute) = 16,5 Fuß = 5,029 2 m | 0,198 8 |
| 1 Liter = 1000 Milliliter (ml) | | 1 Chain = 100 Links = 792 Zoll = 20,1168 m | 0,049 7 |
| 1 Scheffel = 0,5 hl (nicht mehr amtlich) | 2,0 | 1 Statute Mile = 8 Furlongs = 8 · 220 Yards = 1760 · 3 Fuß = 1,609 342 6 km | 0,621 4 |
| 1 Oxhoft = 2,20 hl | 0,454 5 | 1 gewöhnliche engl. Meile (London mile) = 5000 Fuß = 1,523 999 km | 0,656 2 |
| 1 Stückfuß zu 7½ Ohm = 12,0 hl | 0,083 3 | 1 Nautical Mile (Knot) = 6080 Fuß = 1,853 18 km | 0,539 6 |
| 1 Tonne (Schiffsmaß) = 2,12 m ³ | 0,471 7 | Kaufmännisch: 12 Yards = 11 m | |
| Gewichte | | | |
| 1 Kilogramm (kg) = 1000 Gramm (g) zu 1000 Milligramm (mg) | | 3 Meilen nennt man eine League | |
| 1 Hektogramm = 100 Gramm | | Mil, Hand, Span s. Vereinigte Staaten | |
| 1 kg = 2 (alte) Zoll-Pfund | 0,5 | Flächenmaße | |
| 1 Tonne (t) (früher zu 20 Zentner) = 1000 kg | 0,001 | 1 Qu.-Zoll (sq. in.) = 6,4516 cm ² | 0,155 0 |
| 1 Doppelzentner (dz) = 100 kg | 0,01 | 1 Qu.-Fuß (sq. ft.) = 0,092 90 m ² | 10,763 9 |
| 1 Schiffslast zu 2 Tonnen = 2000 kg | 0,000 5 | 1 Qu.-Yard (sq. yd.) = 0,8361 m ² | 1,196 0 |
| 1 (metrisches) Karat (k) = 0,2 g | 5,0 | 1 Qu.-Pole = 25,293 m ² | 0,039 5 |
| | | 1 Acre = 160 Qu.-Poles = 4840 Qu.-Yards = 4046,85 m ² | 0,000 247 |
| | | 1 Qu.-Meile (sq. mile) = 640 Acres = 2,59 km ² | 0,386 1 |
| | | 1 Circular inch = π/4 sq. inch = 0,7854 sq. inch = 5,067 107 cm ² | 0,19735 |

¹⁾ Bei Umrechnungen auf die technische Bezugstemperatur von 20°: 1 Zoll = 25,400 000 mm.

3. Maßsysteme verschiedener Länder (Fortsetzung)

| | 1/n | | 1/n |
|--|------------|---|-----------|
| 1 Circular mil = 1/1 000 000 Circular inch = 0,000 506 71 mm ² | 1973,5 | | |
| R a u m m a ß e | | | |
| 1 Kub.-Zoll (cu. in.) = 16,3870 cm ³ | 0,061 02 | | |
| 1 Kub.-Fuß (cu. ft.) = 0,028 317 m ³ | 35,314 8 | | |
| 1 Kub.-Yard (cu. yd.) = 0,7646 m ³ | 1,308 0 | | |
| 1 Register-Ton = 100 Kub.-Fuß = 2,832 m ³ | 0,353 2 | | |
| 1 Ocean-Ton = 40 Kub.-Fuß = 1,1327 m ³ | 0,882 9 | | |
| 1 Imperial-Gallon = 4 Quarts = 8 Pints = 32 Gills = 277,260 Kub.-Zoll = 4,545 96 l | 0,220 0 | | |
| 1 alter (Winchester-) Gallon = 231 Kub.-Zoll = ⁵ / ₈ Imp. Gall = 3,785 4421 | 0,264 3 | | |
| 1 Bushel = 8 Gallons (zu 4,543 46 l) = 36,347 68 l | 0,027 512 | | |
| 1 Last = 10 Quarters = 10 · 8 Bushels = 80 · 4 Peks = 320 · 2 Gallons = 29,078 144 hl | 0,034 4 | | |
| 1 Barrel = 2 Kilderkin = 2 · 2 Firkin = 4 · 9 Gallons = 1,6365 hl | 0,611 0 | | |
| 1 Anker ¹⁾ = 10 Imp. Gallons von 1824 = 0,454 35 hl | 2,200 9 | | |
| 1 Tun ¹⁾ = 2 Pipes (Butts) = 2 · 2 Hogsheads = 4 · 63 Gallons = 11,45 hl | 0,087 3 | | |
| 1 Puncheon ¹⁾ = ² / ₃ Pipe = 2 Tierce = 1,333 Hogs- heads = 84 Gallons = 3,8 hl | 0,263 2 | | |
| G e w i c h t e | | | |
| 1 Pfd. avoirdupois (lb.) (Han- delsgewicht) = 16 Ounces = 16 · 16 Drams = 7000 Troygrains = 0,45359244 kg | 2,204 6223 | | |
| 1 Troypfund (Gold-, Silber-, Münz- und Apothekerge- gewicht) = 12 Ounces = 12 · 20 Pennyweights (dw.) = 5760 Troygrains = 0,37324195 kg | 2,679 23 | | |
| | | 1 Schiffston (short ton) = 2000 Pfund (lbs.) = 0,9071853 t | 1,102 31 |
| | | 1 Ton (long ton) = 20 Hun- dred-(cent-)weights = 20 · 4 Quarters = 80 · 28 Pfund (2240 lbs.) = 1,016 047 t | 0,984 206 |
| | | 1 Centweight (cwt.) = 112 Pfund = 50,80235 kg | 0,019 68 |
| | | 1 Ounce (oz.) = ¹ / ₁₆ Pfund = 28,349 5 g | 0,035 27 |
| | | 1 Troygrain = 0,064 799 g | 15,432 4 |
| | | 1 Ounce = ¹ / ₁₂ Troypfd. = 31,103 496 g | 0,032 151 |
| Vereinigte Staaten von Amerika | | | |
| (Amtlich das englische Maß und Gewicht mit einigen Ab- änderungen; s. a. Großbri- tannien. Das metrische Maß und Gewicht sind zugelassen.) | | | |
| L ä n g e n m a ß e | | | |
| Nach der Mendenhall-Order von 1893 ist als Grundmaß festgelegt: | | | |
| | | 1 Yard (bei 16 ² / ₃ °) = 3600/3937 m = 0,914 401 8 m (bei 0°) | 1,093 6 |
| | | 1 Fuß = ¹ / ₃ Yard = 0,304 800 6 m | 3,280 8 |
| | | 1 Zoll = ¹ / ₁₂ Fuß = 25,400 051 mm ²⁾ | 0,039 37 |
| | | 1 Mil = ¹ / ₁₀₀₀ Zoll = 0,025 400 05 mm | 39,370 1 |
| | | 1 Hand = 4 Zoll = 10,1602 cm | 0,098 4 |
| | | 1 Span = 9 Zoll = 22,860 04 cm | 0,043 7 |
| | | 1 Fathom = 2 Yards = 1,828 803 6 m | 0,546 8 |
| | | 1 Pole = 5,5 Yards = 5,029 209 9 m | 0,198 8 |
| | | 1 Chain = 22 Yards = 20,1168 m | 0,049,7 |

¹⁾ Diese Bier- und Spirituosenmaße sind von Ort zu Ort verschieden.

²⁾ für technische Messungen und Bezugstemperatur 20°: 1 Zoll = 45,400 000 mm.

3. Maßsysteme verschiedener Länder (Fortsetzung)

| | 1/n | ferner wie in England: | 1/n |
|--|----------|--|-----------|
| 1 Statute Mile = 8 Furlongs = 1760 Yards = 5280 Fuß = 1,609 347 km | 0,621 7 | 1 Register Ton = 100 Kub.- Fuß = 2,8317 m ³ | 0,353 2 |
| 1 Nautical Mile = 1,85496 km | 0,539 1 | 1 Ocean Ton = 40 Kub.-Fuß = 1,1327 m ³ | 0,882 9 |
| 1 Military Pace = 0,7620 m | 1,312 3 | | |
| Flächenmaße | | | |
| 1 Qu.-Yard = 0,836 130 78 m ² | 1,196 0 | 1 Hundredweight häufig = 4 Quarters = 100 Pfund = 45,359 24 kg | 0,022 05 |
| 1 Qu.-Fuß = 9,290 342 dm ² | 0,107 6 | 1 Quintal = 220,46 Pfund ≈ 100 kg | 0,01 |
| 1 Qu.-Zoll = 6,451 625 8 cm ² | 0,155 0 | 1 Millier = 2204,6 Pfund ≈ 1000 kg | 0,001 |
| 1 Qu.-Pole = 25,292 93 m ² | 0,039 54 | 1 Pfund Avoirdupois 16 Ounces = 16 · 16 Drams = 7000 Troygrains | 2,2046223 |
| 1 Acre = 40,4687 a | 0,024 7 | 1 Troypfund = 12 Ounces = 12 · 12 Pennyweights = 5760 Troygrains | 2,679 23 |
| 1 Section (Sq. Mile) = 2,5899 km ² | 0,386 1 | 1 Short Ton = 2000 Pfund = 0,907 185 3 t | 1,102 31 |
| 1 Township = 36 Sections = 93,236 km ² | 0,010 73 | 1 Long Ton = 20 Hundred- weights = 20 · 4 Quaters = 80 · 28 Pfund = 1,016 047 t | 0,984 206 |
| Circular inch, circular mil s. Großbritannien. | | 1 Hundredweight = 112 Pfund = 50,802 35 kg | 0,019 68 |
| Raummaße | | | |
| 1 Kub.-Yard = 0,764 572 917 m ³ | 1,307 9 | 1 Ounce = ¹ / ₁₆ Pfund Av. = 347,5 Troygrains = 28,349 5 g | 0,035 27 |
| 1 Kub.-Fuß = 28,317 013 8 dm ³ | 0,035 32 | 1 Ounce = ¹ / ₁₂ Troypfund = 480 Troygrains = 31,103 496 g | 0,032 151 |
| 1 Kub.-Zoll = 16,387 162 3 cm ³ | 0,061 02 | 1 Troygrain = 0,064 799 g | 15,432 4 |
| 1 Fluid Ounce = 29,57 cm ³ | 0,033 82 | | |
| 1 Fluid Dram = 3,697 cm ³ | 0,270 5 | | |
| 1 Gallon = 231 Kub.-Zoll = 3,785 442 l | 0,264 2 | | |
| 1 Quart = ¹ / ₄ Gall. = 0,946 36 l | 1,056 7 | | |
| 1 Bushel = 0,352 42 hl | 2,837 5 | | |
| 1 Barrel = 31,5 Gallons = 1,192 414 hl | 0,838 6 | | |
| 1 Petroleum-Gallon = 3,779 94 l | 0,264 6 | | |
| 1 Petrol.-Barrel = 42 Petrol.- Gallons = 1,587 58 hl | 0,629 9 | | |

b) Vergleichs- und Verwandlungstabellen zusammengesetzter Einheiten.

| | 1/n |
|---|----------|
| 1 Pfund/yard (lb./yd.) = 0,49606 kg/m | 2,015 9 |
| 1 Pfund/Fuß (lb./ft.) = 1,48817 kg/m | 0,671 97 |
| 1 Pfund/Zoll (lb./in.) = 0,17858 kg/cm | 5,599 7 |
| 1 Tonne/Quadratzoll (ton/sq. inch) = 157,488 kg/cm ² | 0,006 35 |
| 1 Pfund/Quadratfuß (lb./sq. ft.) = 4,8824 kg/m ² | 0,204 8 |
| 1 Pfund/Quadratzoll (lb./sq. inch) = 0,07031 kg/cm ² | 14,223 |
| 1 Pfund/Quadratzoll (lb./sq. inch) = 51,713 mm QS | 0,019 34 |
| 1 Zoll QS = 345,328 mm WS = 0,0345 at | 28,958 |
| 1 Zoll QS = 0,0334 Atm (phys.) | 29,921 |
| 1 Pfund/Kubikfuß (lb./cu. ft.) = 16,0185 kg/m ³ | 0,062 4 |
| 1 Pfund/Kubikzoll (lb./cu. in.) = 0,02768 kg/cm ³ | 36,127 |

c) Vergleich von Arbeitseinheiten.

| | Erg | Joule Wattsekunde | Meter- kilogramm | Engl. Fußpfund | Pferde- stärken- stunde | Horse- powerstunde |
|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1 Erg | 1 | $0,9995 \cdot 10^{-7}$ | $1,0198 \cdot 10^{-8}$ | $7,3760 \cdot 10^{-8}$ | $3,7769 \cdot 10^{-14}$ | $3,7752 \cdot 10^{-14}$ |
| 1 Joule | $1,00051 \cdot 10^7$ | 1 | $1,0203 \cdot 10^{-1}$ | $7,3798 \cdot 10^{-1}$ | $3,7788 \cdot 10^{-7}$ | $3,7272 \cdot 10^{-7}$ |
| 1 mkg | $9,8062 \cdot 10^7$ | 9,8013 | 1 | 7,2330 | $3,7037 \cdot 10^{-6}$ | $3,6529 \cdot 10^{-6}$ |
| 1 Fuß- pfund | $1,3558 \cdot 10^7$ | 1,3551 | 0,1383 | 1 | $5,1206 \cdot 10^{-7}$ | $5,0505 \cdot 10^{-7}$ |
| 1 PSh | $2,6477 \cdot 10^{13}$ | $2,6464 \cdot 10^6$ | $2,7000 \cdot 10^5$ | $1,9529 \cdot 10^6$ | 1 | 0,9863 |
| 1 HPh | $2,6844 \cdot 10^{13}$ | $2,6830 \cdot 10^6$ | $2,7375 \cdot 10^5$ | $1,9800 \cdot 10^6$ | 1,0139 | 1 |
| 1 kWh | $3,6018 \cdot 10^{13}$ | $3,6000 \cdot 10^6$ | $3,6731 \cdot 10^5$ | $2,6567 \cdot 10^6$ | 1,3604 | 1,3418 |
| 1 kcal | $4,1863 \cdot 10^{10}$ | $4,1842 \cdot 10^{3*}$ | $4,2690 \cdot 10^2$ | $3,0878 \cdot 10^3$ | $1,5811 \cdot 10^{-3}$ | $1,5595 \cdot 10^{-3}$ |
| 1 BTU | $1,0549 \cdot 10^{10}$ | $1,0544 \cdot 10^3$ | $1,0758 \cdot 10^2$ | $7,7812 \cdot 10^2$ | $3,9844 \cdot 10^{-4}$ | $3,9299 \cdot 10^{-4}$ |
| 1 Liter- atm. | $1,0133 \cdot 10^9$ | $1,0128 \cdot 10^2$ | $1,0333 \cdot 10$ | $7,4739 \cdot 10$ | $3,8270 \cdot 10^{-5}$ | $3,7745 \cdot 10^{-5}$ |
| R | $8,313 \cdot 10^7$ | 8,309 | $8,481 \cdot 10^{-1}$ | 6,1343 | $3,141 \cdot 10^{-6}$ | $3,0981 \cdot 10^{-6}$ |

*) In Deutschland 4184 gesetzlich festgelegt.

| | Kilowatt- stunde | Kilo- kalorie | British Thermal Unit | Liter- atmosphäre | Gas- konstante R |
|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 Erg | $2,7763 \cdot 10^{-14}$ | $2,3887 \cdot 10^{-11}$ | $9,4790 \cdot 10^{-11}$ | $9,869 \cdot 10^{-10}$ | $1,2029 \cdot 10^{-8}$ |
| 1 Joule | $2,7778 \cdot 10^{-7}$ | $2,3899 \cdot 10^{-4}$ | $9,4837 \cdot 10^{-4}$ | $9,874 \cdot 10^{-3}$ | $1,2035 \cdot 10^{-1}$ |
| 1 mkg | $2,7225 \cdot 10^{-6}$ | $2,3425 \cdot 10^{-3}$ | $9,2956 \cdot 10^{-3}$ | $9,678 \cdot 10^{-2}$ | 1,1791 |
| 1 Fußpfund | $3,7647 \cdot 10^{-7}$ | $3,2386 \cdot 10^{-4}$ | $1,2852 \cdot 10^{-3}$ | $1,3378 \cdot 10^{-2}$ | $1,6302 \cdot 10^{-1}$ |

| | | | | | |
|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1 PSh | 0,7351 | $6,3247 \cdot 10^2$ | $2,5098 \cdot 10^3$ | $2,6130 \cdot 10^4$ | $3,1837 \cdot 10^5$ |
| 1 HP ^h | 0,7453 | $6,4124 \cdot 10^2$ | $2,5446 \cdot 10^3$ | $2,6493 \cdot 10^4$ | $3,2278 \cdot 10^5$ |
| 1 kW ^h | 1 | $8,6038 \cdot 10^{2*})$ | $3,4142 \cdot 10^3$ | $3,5547 \cdot 10^4$ | $4,3308 \cdot 10^5$ |
| 1 kcal | $1,1623 \cdot 10^{-3}$ | 1 | 3,9683 | $4,131 \cdot 10$ | $5,0352 \cdot 10^2$ |
| 1 BTU | $2,9289 \cdot 10^{-4}$ | 0,252 | 1 | $1,0411 \cdot 10$ | $1,2689 \cdot 10^3$ |
| 1 Literatm. | $2,8132 \cdot 10^{-5}$ | $2,4205 \cdot 10^{-2}$ | $9,6052 \cdot 10^{-2}$ | 1 | $1,2189 \cdot 10$ |
| R | $2,3090 \cdot 10^{-6}$ | $1,986 \cdot 10^{-3}$ | $7,8809 \cdot 10^{-3}$ | $8,204 \cdot 10^{-2}$ | 1 |

*) In Deutschland 860 gesetzlich festgelegt.

1 Metertonne = 3,229 engl. Fußtonnen

1 Tonnenkilometer = 0,6116 engl. Tonnenmeilen

1 engl. Fußtonne = 0,3097 Metertonnen

1 engl. Tonnenmeile = 1,635 Tonnenkilometer

d) Vergleich von Leistungseinheiten.

| | Erg/s | Meter- kilogramm/s | Engl. Fußpfund/s | Pferdestärke | Horsepower | Kilowatt |
|----------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 Erg/s | 1 | $1,0198 \cdot 10^{-8}$ | $7,3762 \cdot 10^{-8}$ | $1,3597 \cdot 10^{-10}$ | $1,3411 \cdot 10^{-10}$ | $0,9995 \cdot 10^{-10}$ |
| 1 mkg/s | $9,8062 \cdot 10^7$ | 1 | 7,2330 | $1,3333 \cdot 10^{-2}$ | $1,3151 \cdot 10^{-2}$ | $9,8013 \cdot 10^{-3}$ |
| 1 Fpfd/s | $1,3558 \cdot 10^7$ | 0,1383 | 1 | $1,8434 \cdot 10^{-3}$ | $1,8182 \cdot 10^{-3}$ | $1,3551 \cdot 10^{-3}$ |
| 1 PS | $7,3546 \cdot 10^8$ | $7,6040 \cdot 10$ | $5,4247 \cdot 10^2$ | 1 | 0,9863 | 0,7351 |
| 1 HP | $7,4566 \cdot 10^8$ | $7,5000 \cdot 10$ | $5,5000 \cdot 10^2$ | 1,0139 | 1 | 0,7453 |
| 1 kW | $1,00051 \cdot 10^{10}$ | $1,0203 \cdot 10^3$ | $7,3797 \cdot 10^2$ | 1,3604 | 1,3418 | 1 |

1 kcal/s = 5,692 PS = 5,6148 HP = 4,184 kW

1 PS = 0,1757 kcal/s; 1 HP = 0,1781 kcal/s; 1 kW = 0,2390 kcal/s.

e) Vergleich der Kilokalorie mit der engl. Wärmeinheit (British Thermal Unit).

1 BTU = 0,4536 (engl. Pfd.) $\times \frac{5}{9}$ (°) kcal = 0,252 kcal

| Es sind | BTU | kcal | BTU/lb. | kcal/kg | BTU/cu. ft. | kcal/m ³ | BTU/sq. ft. | kcal/m ² | BTU/sq. in. | kcal/m ² | BTU/sq. in. |
|---------|---------|--------|------------|------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|---------------------|----------------|
| | in kcal | in BTU | in kcal/kg | in BTU/lb. | in kcal/m ³ | in BTU/cu. ft. | in kcal/m ² | in BTU/sq. ft. | in kcal/m ² | in BTU/sq. in. | in BTU/sq. in. |
| 1 | 0,252 | 3,968 | 0,556 | 1,80 | 8,899 | 0,112 | 2,712 | 0,369 | 390,6 | 0,0026 | 0,0026 |
| 1,2 | 0,302 | 4,762 | 0,667 | 2,16 | 10,679 | 0,135 | 3,255 | 0,442 | 468,7 | 0,0031 | 0,0031 |
| 1,4 | 0,353 | 5,556 | 0,778 | 2,52 | 12,459 | 0,157 | 3,797 | 0,516 | 546,8 | 0,0036 | 0,0036 |
| 1,6 | 0,403 | 6,349 | 0,889 | 2,88 | 14,239 | 0,180 | 4,340 | 0,590 | 625,0 | 0,0041 | 0,0041 |
| 1,8 | 0,454 | 7,143 | 1,000 | 3,24 | 16,019 | 0,202 | 4,882 | 0,664 | 703,1 | 0,0046 | 0,0046 |
| 2 | 0,504 | 7,937 | 1,111 | 3,60 | 17,798 | 0,225 | 5,425 | 0,737 | 781,2 | 0,0051 | 0,0051 |
| 2,2 | 0,554 | 8,730 | 1,222 | 3,96 | 19,578 | 0,247 | 5,967 | 0,811 | 859,3 | 0,0056 | 0,0056 |
| 2,4 | 0,605 | 9,524 | 1,333 | 4,32 | 21,358 | 0,270 | 6,510 | 0,885 | 937,4 | 0,0061 | 0,0061 |
| 2,6 | 0,655 | 10,318 | 1,444 | 4,68 | 23,138 | 0,292 | 7,052 | 0,959 | 1015,6 | 0,0067 | 0,0067 |
| 2,8 | 0,706 | 11,111 | 1,556 | 5,04 | 24,918 | 0,315 | 7,595 | 1,032 | 1093,7 | 0,0072 | 0,0072 |
| 3 | 0,756 | 11,905 | 1,667 | 5,40 | 26,698 | 0,337 | 8,137 | 1,106 | 1171,8 | 0,0077 | 0,0077 |
| 3,2 | 0,806 | 12,699 | 1,778 | 5,76 | 28,477 | 0,360 | 8,680 | 1,180 | 1249,9 | 0,0082 | 0,0082 |
| 3,4 | 0,857 | 13,492 | 1,889 | 6,16 | 30,257 | 0,382 | 9,222 | 1,253 | 1328,0 | 0,0087 | 0,0087 |
| 3,6 | 0,907 | 14,286 | 2,000 | 6,48 | 32,037 | 0,405 | 9,765 | 1,327 | 1406,2 | 0,0092 | 0,0092 |
| 3,8 | 0,958 | 15,080 | 2,111 | 6,84 | 33,817 | 0,427 | 10,307 | 1,401 | 1484,3 | 0,0097 | 0,0097 |
| 4 | 1,008 | 15,873 | 2,222 | 7,20 | 35,597 | 0,449 | 10,850 | 1,475 | 1562,4 | 0,0102 | 0,0102 |
| 4,2 | 1,058 | 16,667 | 2,333 | 7,56 | 37,377 | 0,472 | 11,392 | 1,548 | 1640,5 | 0,0108 | 0,0108 |
| 4,4 | 1,109 | 17,461 | 2,444 | 7,92 | 39,156 | 0,494 | 11,935 | 1,622 | 1718,6 | 0,0113 | 0,0113 |
| 4,6 | 1,159 | 18,254 | 2,556 | 8,28 | 40,936 | 0,517 | 12,477 | 1,696 | 1796,8 | 0,0118 | 0,0118 |
| 4,8 | 1,210 | 19,048 | 2,667 | 8,64 | 42,716 | 0,539 | 13,020 | 1,770 | 1874,9 | 0,0123 | 0,0123 |
| 5 | 1,260 | 19,842 | 2,778 | 9,00 | 44,496 | 0,562 | 13,562 | 1,843 | 1953,0 | 0,0128 | 0,0128 |
| 5,2 | 1,310 | 20,635 | 2,889 | 9,36 | 46,276 | 0,584 | 14,105 | 1,917 | 2031,1 | 0,0133 | 0,0133 |
| 5,4 | 1,361 | 21,429 | 3,000 | 9,72 | 48,056 | 0,607 | 14,647 | 1,991 | 2109,2 | 0,0138 | 0,0138 |
| 5,6 | 1,411 | 22,222 | 3,111 | 10,08 | 49,836 | 0,629 | 15,190 | 2,065 | 2187,4 | 0,0143 | 0,0143 |
| 5,8 | 1,462 | 23,016 | 3,222 | 10,44 | 51,615 | 0,652 | 15,732 | 2,138 | 2265,5 | 0,0148 | 0,0148 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| 6 | 1,512 | 23,810 | 3,333 | 10,80 | 53,395 | 0,674 | 16,275 | 2,212 | 2343,6 | 0,0154 |
| 6,2 | 1,562 | 24,603 | 3,444 | 11,16 | 55,175 | 0,697 | 16,817 | 2,286 | 2421,7 | 0,0159 |
| 6,4 | 1,613 | 25,397 | 3,556 | 11,52 | 56,955 | 0,719 | 17,360 | 2,359 | 2499,8 | 0,0164 |
| 6,6 | 1,663 | 26,191 | 3,667 | 11,88 | 58,735 | 0,742 | 17,902 | 2,433 | 2578,0 | 0,0169 |
| 6,8 | 1,714 | 26,984 | 3,778 | 12,24 | 60,515 | 0,764 | 18,445 | 2,507 | 2656,1 | 0,0174 |
| 7 | 1,764 | 27,778 | 3,889 | 12,60 | 62,294 | 0,787 | 18,987 | 2,581 | 2734,2 | 0,0179 |
| 7,2 | 1,814 | 28,572 | 4,000 | 12,96 | 64,074 | 0,809 | 19,530 | 2,654 | 2812,3 | 0,0184 |
| 7,4 | 1,865 | 29,365 | 4,111 | 13,32 | 65,854 | 0,832 | 20,072 | 2,728 | 2890,4 | 0,0189 |
| 7,6 | 1,915 | 30,159 | 4,222 | 13,68 | 67,634 | 0,854 | 20,615 | 2,802 | 2968,6 | 0,0195 |
| 7,8 | 1,966 | 30,953 | 4,333 | 14,04 | 69,414 | 0,876 | 21,157 | 2,876 | 3046,7 | 0,0200 |
| 8 | 2,016 | 31,746 | 4,444 | 14,40 | 71,194 | 0,899 | 21,700 | 2,949 | 3124,8 | 0,0205 |
| 8,2 | 2,066 | 32,540 | 4,556 | 14,76 | 72,973 | 0,921 | 22,242 | 3,023 | 3202,9 | 0,0210 |
| 8,4 | 2,117 | 33,334 | 4,667 | 15,12 | 74,753 | 0,944 | 22,785 | 3,097 | 3281,0 | 0,0215 |
| 8,6 | 2,167 | 34,127 | 4,778 | 15,48 | 76,533 | 0,966 | 23,327 | 3,171 | 3359,2 | 0,0220 |
| 8,8 | 2,218 | 34,921 | 4,889 | 15,84 | 78,313 | 0,989 | 23,870 | 3,244 | 3437,3 | 0,0225 |
| 9 | 2,268 | 35,715 | 5,000 | 16,20 | 80,093 | 1,011 | 24,412 | 3,318 | 3515,4 | 0,0230 |
| 9,2 | 2,318 | 36,508 | 5,111 | 16,56 | 81,873 | 1,034 | 24,955 | 3,392 | 3593,5 | 0,0236 |
| 9,4 | 2,369 | 37,302 | 5,222 | 16,92 | 83,652 | 1,056 | 25,497 | 3,465 | 3671,6 | 0,0241 |
| 9,6 | 2,419 | 38,096 | 5,333 | 17,28 | 85,432 | 1,079 | 26,040 | 3,539 | 3749,8 | 0,0246 |
| 9,8 | 2,470 | 38,889 | 5,444 | 17,64 | 87,212 | 1,101 | 26,582 | 3,613 | 3827,9 | 0,0251 |
| 10 | 2,520 | 39,683 | 5,556 | 18,00 | 88,992 | 1,124 | 27,125 | 3,687 | 3906,0 | 0,0256 |

1 BTU/in. = 9,9213 kcal/m,

1 BTU/sq.ft. h °F = 4,88244 kcal/m² h °C,

1 BTU/ft. h °F = 1,48817 kcal/m h °C,

1 BTU/sq. in. h °F = 703,07 kcal/m² h °C,

1 BTU/in. h °F = 17,858 kcal/m h °C,

1 kcal/m = 0,1008 BTU/in.,

1 kcal/m² h °C = 0,20482 BTU/sq. ft. h °F,

1 kcal/m h °C = 0,67197 BTU/ft. h °F,

1 kcal/m² h °C = 0,0014 223 BTU/sq. in. h °F,

1 kcal/m h °C = 0,055 997 BTU/in. h °F.

Bei der Umrechnung von BTU in kcal und umgekehrt ist zu unterscheiden, ob es sich um Wärmeinheiten oder um Heizwerte (bezogen auf eine Gewichtseinheit) handelt. Im ersten Fall gelten die zweite und dritte, im letzteren Fall die vierte, fünfte und die folgenden Spalten. — Die BTU gilt stets für °F, die kcal für °C.

f) Vergleich der Thermometergrade in Celsius und Fahrenheit.

| C | F | C | F | C | F | C | F | C | F | C | F |
|-----|------|-----|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|-------|
| -20 | -4,0 | +30 | + 86,0 | + 80 | +176,0 | +130 | +266,0 | +180 | +356,0 | +500 | + 932 |
| -19 | -2,2 | 31 | 87,8 | 81 | 177,8 | 131 | 267,8 | 181 | 357,8 | 550 | 1022 |
| -18 | -0,4 | 32 | 89,6 | 82 | 179,6 | 132 | 269,6 | 182 | 359,6 | 600 | 1112 |
| -17 | +1,4 | 33 | 91,4 | 83 | 181,4 | 133 | 271,4 | 183 | 361,4 | 650 | 1202 |
| -16 | 3,2 | 34 | 93,2 | 84 | 183,2 | 134 | 273,2 | 184 | 363,2 | 700 | 1292 |
| -15 | 5,0 | 35 | 95,0 | 85 | 185,0 | 135 | 275,0 | 185 | 365,0 | 750 | 1382 |
| -14 | 6,8 | 36 | 96,8 | 86 | 186,8 | 136 | 276,8 | 186 | 366,8 | 800 | 1472 |
| -13 | 8,6 | 37 | 98,6 | 87 | 188,6 | 137 | 278,6 | 187 | 368,6 | 850 | 1562 |
| -12 | 10,4 | 38 | 100,4 | 88 | 190,4 | 138 | 280,4 | 188 | 370,4 | 900 | 1652 |
| -11 | 12,2 | 39 | 102,2 | 89 | 192,2 | 139 | 282,2 | 189 | 372,2 | 950 | 1742 |
| -10 | 14,0 | 40 | 104,0 | 90 | 194,0 | 140 | 284,0 | 190 | 374,0 | 1000 | 1832 |
| - 9 | 15,8 | 41 | 105,8 | 91 | 195,8 | 141 | 285,8 | 191 | 375,8 | 1050 | 1922 |
| - 8 | 17,6 | 42 | 107,6 | 92 | 197,6 | 142 | 287,6 | 192 | 377,6 | 1100 | 2012 |
| - 7 | 19,4 | 43 | 109,4 | 93 | 199,4 | 143 | 289,4 | 193 | 379,4 | 1150 | 2102 |
| - 6 | 21,2 | 44 | 111,2 | 94 | 201,2 | 144 | 291,2 | 194 | 381,2 | 1200 | 2192 |
| - 5 | 23,0 | 45 | 113,0 | 95 | 203,0 | 145 | 293,0 | 195 | 383,0 | 1250 | 2282 |
| - 4 | 24,8 | 46 | 114,8 | 96 | 204,8 | 146 | 294,8 | 196 | 384,8 | 1300 | 2372 |
| - 3 | 26,6 | 47 | 116,6 | 97 | 206,6 | 147 | 296,6 | 197 | 386,6 | 1350 | 2462 |
| - 2 | 28,4 | 48 | 118,4 | 98 | 208,4 | 148 | 298,4 | 198 | 388,4 | 1400 | 2552 |
| - 1 | 30,2 | 49 | 120,2 | 99 | 210,2 | 149 | 300,2 | 199 | 390,2 | 1450 | 2642 |
| 0 | 32,0 | 50 | 122,0 | 100 | 212,0 | 150 | 302,0 | 200 | 392 | 1500 | 2732 |
| + 1 | 33,8 | 51 | 123,8 | 101 | 213,8 | 151 | 303,8 | 210 | 410 | 1550 | 2822 |
| 2 | 35,6 | 52 | 125,6 | 102 | 215,6 | 152 | 305,6 | 220 | 428 | 1600 | 2912 |
| 3 | 37,4 | 53 | 127,4 | 103 | 217,4 | 153 | 307,4 | 230 | 446 | 1650 | 3002 |
| 4 | 39,2 | 54 | 129,2 | 104 | 219,2 | 154 | 309,2 | 240 | 464 | 1700 | 3092 |
| 5 | 41,0 | 55 | 131,0 | 105 | 221,0 | 155 | 311,0 | 250 | 482 | 1750 | 3182 |
| 6 | 42,8 | 56 | 132,8 | 106 | 222,8 | 156 | 312,8 | 260 | 500 | 1800 | 3272 |
| 7 | 44,6 | 57 | 134,6 | 107 | 224,6 | 157 | 314,6 | 270 | 518 | 1850 | 3362 |
| 8 | 46,4 | 58 | 136,4 | 108 | 226,4 | 158 | 316,4 | 280 | 536 | 1900 | 3452 |
| 9 | 48,2 | 59 | 138,2 | 109 | 228,2 | 159 | 318,2 | 290 | 554 | 1950 | 3542 |
| 10 | 50,0 | 60 | 140,0 | 110 | 230,0 | 160 | 320,0 | 300 | 572 | 2000 | 3632 |
| 11 | 51,8 | 61 | 141,8 | 111 | 231,8 | 161 | 321,8 | 310 | 590 | 2050 | 3722 |
| 12 | 53,6 | 62 | 143,6 | 112 | 233,6 | 162 | 323,6 | 320 | 608 | 2100 | 3812 |
| 13 | 55,4 | 63 | 145,4 | 113 | 235,4 | 163 | 325,4 | 330 | 626 | 2150 | 3902 |
| 14 | 57,2 | 64 | 147,2 | 114 | 237,2 | 164 | 327,2 | 340 | 644 | 2200 | 3992 |
| 15 | 59,0 | 65 | 149,0 | 115 | 239,0 | 165 | 329,0 | 350 | 662 | 2250 | 4082 |
| 16 | 60,8 | 66 | 150,8 | 116 | 240,8 | 166 | 330,8 | 360 | 680 | 2300 | 4172 |
| 17 | 62,6 | 67 | 152,6 | 117 | 242,6 | 167 | 332,6 | 370 | 698 | 2350 | 4262 |
| 18 | 64,4 | 68 | 154,4 | 118 | 244,4 | 168 | 334,4 | 380 | 716 | 2400 | 4352 |
| 19 | 66,2 | 69 | 156,2 | 119 | 246,2 | 169 | 336,2 | 390 | 734 | 2450 | 4442 |
| 20 | 68,0 | 70 | 158,0 | 120 | 248,0 | 170 | 338,0 | 400 | 752 | 2500 | 4532 |
| 21 | 69,8 | 71 | 159,8 | 121 | 249,8 | 171 | 339,8 | 410 | 770 | 2550 | 4622 |
| 22 | 71,6 | 72 | 161,6 | 122 | 251,6 | 172 | 341,6 | 420 | 788 | 2600 | 4712 |
| 23 | 73,4 | 73 | 163,4 | 123 | 253,4 | 173 | 343,4 | 430 | 806 | 2650 | 4802 |
| 24 | 75,2 | 74 | 165,2 | 124 | 255,2 | 174 | 345,2 | 440 | 824 | 2700 | 4892 |
| 25 | 77,0 | 75 | 167,0 | 125 | 257,0 | 175 | 347,0 | 450 | 842 | 2750 | 4982 |
| 26 | 78,8 | 76 | 168,8 | 126 | 258,8 | 176 | 348,8 | 460 | 860 | 2800 | 5072 |
| 27 | 80,6 | 77 | 170,6 | 127 | 260,6 | 177 | 350,6 | 470 | 878 | 2850 | 5162 |
| 28 | 82,4 | 78 | 172,4 | 128 | 262,4 | 178 | 352,4 | 480 | 896 | 2900 | 5252 |
| 29 | 84,2 | 79 | 174,2 | 129 | 264,2 | 179 | 354,2 | 490 | 914 | 2950 | 5342 |

g) Vergleich von Kessel-Pferdestärken und Heizflächenbelastung.

In den Vereinigten Staaten pflegt man die Dampfkessel nach Kesselpferdestärken zu handeln. Einer Kesselpferdestärke entspricht eine Heizfläche von 10 engl. Quadratfuß (nach einem Normenbeschuß des amerikanischen Ingenieurvereins im Jahre 1876; damals erzeugte ein Kessel mit 10 Quadratfuß Heizfläche die für 1 HP nötige Menge Satttdampf, nämlich 34,5 engl. Pfund = 15,65 kg/h). Bei dem englischen Normaldampf von $212^{\circ} \text{F} = 100^{\circ} \text{C}$ rechnet man mit einer Erzeugungswärme von $\sim 539 \text{ kcal/kg}$, beim deutschen mit $\sim 640 \text{ kcal/kg}$. Es sind also die 34,5 engl. Pfund Satttdampf je 10 Quadratfuß und eine Stunde

$$= 34,5 \cdot \frac{1}{10} \cdot 0,454 \cdot \frac{1}{0,305^2} \cdot \frac{539}{640} = 14,22 \text{ kg/m}^2\text{h deutschem Normaldampf.}$$

Die Verdampfung der heutigen Kessel wird in Prozenten von diesem Wert gerechnet. Die obige Normalverdampfung wird als 100 %-rating bezeichnet. Die neueren Kessel arbeiten normal mit 200 %-rating (also $2 \cdot 14,22 = 28,4 \text{ kg/m}^2\text{h}$) und sind vielfach steigerungsfähig.

4. Atomgewichte.¹⁾

| Name | Sym- bol | Ord- nungs- zahl | Atom- gewicht | Name | Sym- bol | Ord- nungs- zahl | Atom- gewicht |
|-----------------|-------------|------------------------|------------------|------------------|-------------|------------------------|------------------|
| Aluminium | Al | 13 | 26,97 | Neon | Ne | 10 | 20,183 |
| Antimon | Sb | 51 | 121,76 | Nickel | Ni | 28 | 58,69 |
| Argon | Ar | 18 | 39,944 | Niob | Nb | 41 | 92,91 |
| Arsen | As | 33 | 74,91 | Osmium | Os | 76 | 191,5 |
| Barium | Ba | 56 | 137,36 | Palladium | Pd | 46 | 106,7 |
| Beryllium | Be | 4 | 9,02 | Phosphor | P | 15 | 31,02 |
| Blei | Pb | 82 | 207,21 | Platin | Pt | 78 | 195,23 |
| Bor | B | 5 | 10,82 | Praseodym ... | Pr | 59 | 140,92 |
| Brom | Br | 35 | 79,916 | Protaktinium.. | Pa | 91 | 231 |
| Cadmium | Cd | 48 | 112,41 | Quecksilber ... | Hg | 80 | 200,61 |
| Caesium | Cs | 55 | 132,91 | Radium | Ra | 88 | 226,05 |
| Calcium | Ca | 20 | 40,08 | Radon | Rn | 86 | 222 |
| Cassiopeium .. | Cp | 71 | 175,0 | Rhenium | Re | 75 | 186,31 |
| Cer | Ce | 58 | 140,13 | Rhodium | Rh | 45 | 102,91 |
| Chlor | Cl | 17 | 35,457 | Rubidium | Rb | 37 | 85,48 |
| Chrom | Cr | 24 | 52,01 | Ruthenium ... | Ru | 44 | 101,7 |
| Dysprosium ... | Dy | 66 | 162,46 | Samarium | Sm | 62 | 150,43 |
| Eisen | Fe | 26 | 55,84 | Sauerstoff | O | 8 | 16,000 |
| Erbium | Er | 68 | 167,64 | Scandium | Sc | 21 | 45,10 |
| Europium | Eu | 63 | 152,0 | Schwefel | S | 16 | 32,06 |
| Fluor | F | 9 | 19,000 | Selen | Se | 34 | 78,96 |
| Gadolinium ... | Gd | 64 | 156,9 | Silber | Ag | 47 | 107,880 |
| Galium | Ga | 31 | 69,72 | Silicium | Si | 14 | 28,06 |
| Germanium ... | Ge | 32 | 72,60 | Stickstoff | N | 7 | 14,008 |
| Gold | Au | 79 | 197,2 | Strontium | Sr | 38 | 87,63 |
| Hafnium | Hf | 72 | 178,6 | Tantal | Ta | 73 | 180,88 |
| Helium | He | 2 | 4,002 | Tellur | Te | 52 | 127,61 |
| Holmium | Ho | 67 | 163,5 | Terbium | Tb | 65 | 159,2 |
| Indium | In | 49 | 114,76 | Thallium | Tl | 81 | 204,39 |
| Iridium | Ir | 77 | 193,1 | Thorium | Th | 90 | 232,12 |
| Jod | J | 53 | 126,92 | Thulium | Tm | 69 | 169,4 |
| Kalium | K | 19 | 39,096 | Titan | Ti | 22 | 47,90 |
| Kobalt | Co | 27 | 58,94 | Uran | U | 92 | 238,07 |
| Kohlenstoff ... | C | 6 | 12,01 | Vanadium | V | 23 | 50,95 |
| Krypton | Kr | 36 | 83,7 | Wasserstoff ... | H | 1 | 1,0078 |
| Kupfer | Cu | 29 | 63,57 | Wismut | Bi | 83 | 209,00 |
| Lanthan | La | 57 | 138,92 | Wolfram | W | 74 | 184,0 |
| Lithium | Li | 3 | 6,940 | Xenon | X | 54 | 131,3 |
| Magnesium ... | Mg | 12 | 24,32 | Ytterbium ... | Yb | 70 | 173,04 |
| Mangan | Mn | 25 | 54,93 | Yttrium | Y | 39 | 88,92 |
| Molybdän | Mo | 42 | 96,0 | Zink | Zn | 30 | 65,38 |
| Natrium | Na | 11 | 22,997 | Zinn | Sn | 50 | 118,70 |
| Neodym | Nd | 60 | 144,27 | Zirkonium ... | Zr | 40 | 91,22 |

¹⁾ Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft 1937, Nr. 2, Teil A.

5. Spezifisches Gewicht und Volumen des Wassers bei verschiedenen Temperaturen.

Nach Thiesen, Scheel, Diebelhorst, Hirn, Ramsay und Young, Waterston u. a.

| Temperatur °C | Spez. Gewicht kg/l | Spez. Volumen l/kg | Temperatur °C | Spez. Gewicht kg/l | Spez. Volumen l/kg |
|------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|
| 0 | 0,99987 | 1,00013 | 70 | 0,9778 | 1,0227 |
| 2 | 0,99997 | 1,00003 | 75 | 0,9749 | 1,0258 |
| 4 | 1,00000 | 1,00000 | 80 | 0,9718 | 1,0290 |
| 6 | 0,99997 | 1,00003 | 85 | 0,9687 | 1,0324 |
| 8 | 0,99988 | 1,00012 | 90 | 0,9653 | 1,0359 |
| 10 | 0,99973 | 1,00027 | 95 | 0,9619 | 1,0396 |
| 12 | 0,99953 | 1,00048 | 100 | 0,9584 | 1,0434 |
| 14 | 0,99927 | 1,00073 | 110 | 0,9510 | 1,0515 |
| 16 | 0,99897 | 1,00103 | 120 | 0,9435 | 1,0600 |
| 18 | 0,99862 | 1,00138 | 130 | 0,9351 | 1,0694 |
| 20 | 0,99823 | 1,00177 | 140 | 0,9263 | 1,0795 |
| 22 | 0,99780 | 1,00221 | 150 | 0,9172 | 1,0903 |
| 24 | 0,99732 | 1,00268 | 160 | 0,9076 | 1,1018 |
| 26 | 0,99681 | 1,00320 | 170 | 0,8973 | 1,1145 |
| 28 | 0,99626 | 1,00375 | 180 | 0,8866 | 1,1279 |
| 30 | 0,99567 | 1,00435 | 190 | 0,8750 | 1,1429 |
| 32 | 0,99505 | 1,00497 | 200 | 0,8628 | 1,1590 |
| 34 | 0,99440 | 1,00563 | 210 | 0,850 | 1,177 |
| 36 | 0,99372 | 1,00632 | 220 | 0,837 | 1,195 |
| 38 | 0,99299 | 1,00706 | 230 | 0,823 | 1,215 |
| 40 | 0,99224 | 1,00782 | 240 | 0,809 | 1,236 |
| 42 | 0,99147 | 1,00861 | 250 | 0,794 | 1,259 |
| 44 | 0,99066 | 1,00943 | 260 | 0,779 | 1,283 |
| 46 | 0,98982 | 1,01028 | 270 | 0,765 | 1,308 |
| 48 | 0,98896 | 1,01116 | 280 | 0,75 | 1,34 |
| 50 | 0,9881 | 1,0121 | 290 | 0,72 | 1,38 |
| 55 | 0,9857 | 1,0145 | 300 | 0,70 | 1,42 |
| 60 | 0,9832 | 1,0171 | 310 | 0,68 | 1,46 |
| 65 | 0,9806 | 1,0198 | 320 | 0,66 | 1,51 |

Nach „Hütte“, 26. Auflage Bd. I. Berlin 1936.

6. Sättigungsdruck des Wasserdampfes

| Temp. °C | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 0 | 4,579 | 4,613 | 4,647 | 4,681 | 4,715 | 4,750 | 4,785 | 4,820 | 4,855 | 4,890 |
| 1 | 4,926 | 4,962 | 4,998 | 5,034 | 5,070 | 5,107 | 5,144 | 5,181 | 5,219 | 5,256 |
| 2 | 5,294 | 5,332 | 5,370 | 5,408 | 5,447 | 5,486 | 5,525 | 5,565 | 5,605 | 5,645 |
| 3 | 5,685 | 5,725 | 5,766 | 5,807 | 5,848 | 5,889 | 5,931 | 5,973 | 6,015 | 6,058 |
| 4 | 6,101 | 6,144 | 6,187 | 6,230 | 6,274 | 6,318 | 6,363 | 6,408 | 6,453 | 6,498 |
| 5 | 6,543 | 6,589 | 6,635 | 6,681 | 6,728 | 6,775 | 6,822 | 6,869 | 6,917 | 6,965 |
| 6 | 7,013 | 7,062 | 7,111 | 7,160 | 7,209 | 7,259 | 7,309 | 7,360 | 7,411 | 7,462 |
| 7 | 7,513 | 7,565 | 7,617 | 7,669 | 7,722 | 7,775 | 7,828 | 7,882 | 7,936 | 7,990 |
| 8 | 8,045 | 8,100 | 8,155 | 8,211 | 8,267 | 8,323 | 8,380 | 8,437 | 8,494 | 8,551 |
| 9 | 8,609 | 8,668 | 8,727 | 8,786 | 8,845 | 8,905 | 8,965 | 9,025 | 9,086 | 9,147 |
| 10 | 9,209 | 9,271 | 9,333 | 9,395 | 9,458 | 9,521 | 9,585 | 9,649 | 9,714 | 9,779 |
| 11 | 9,844 | 9,910 | 9,976 | 10,042 | 10,109 | 10,176 | 10,244 | 10,312 | 10,380 | 10,449 |
| 12 | 10,518 | 10,588 | 10,658 | 10,728 | 10,799 | 10,870 | 10,941 | 11,013 | 11,085 | 11,158 |
| 13 | 11,231 | 11,305 | 11,379 | 11,453 | 11,528 | 11,604 | 11,680 | 11,756 | 11,833 | 11,910 |
| 14 | 11,987 | 12,065 | 12,144 | 12,223 | 12,302 | 12,382 | 12,462 | 12,543 | 12,624 | 12,706 |
| 15 | 12,788 | 12,870 | 12,953 | 13,037 | 13,121 | 13,205 | 13,290 | 13,375 | 13,461 | 13,547 |
| 16 | 13,634 | 13,721 | 13,809 | 13,898 | 13,987 | 14,076 | 14,166 | 14,256 | 14,347 | 14,438 |
| 17 | 14,530 | 14,622 | 14,715 | 14,809 | 14,903 | 14,997 | 15,092 | 15,188 | 15,284 | 15,380 |
| 18 | 15,477 | 15,575 | 15,673 | 15,772 | 15,871 | 15,971 | 16,071 | 16,171 | 16,272 | 16,374 |
| 19 | 16,477 | 16,581 | 16,685 | 16,789 | 16,894 | 16,999 | 17,105 | 17,212 | 17,319 | 17,427 |
| 20 | 17,535 | 17,644 | 17,753 | 17,863 | 17,974 | 18,085 | 18,197 | 18,309 | 18,422 | 18,536 |
| 21 | 18,650 | 18,765 | 18,880 | 18,996 | 19,113 | 19,231 | 19,349 | 19,468 | 19,587 | 19,707 |
| 22 | 19,827 | 19,948 | 20,070 | 20,193 | 20,316 | 20,440 | 20,565 | 20,690 | 20,815 | 20,941 |
| 23 | 21,068 | 21,196 | 21,324 | 21,453 | 21,583 | 21,714 | 21,845 | 21,977 | 22,110 | 22,243 |
| 24 | 22,377 | 22,512 | 22,648 | 22,785 | 22,922 | 23,060 | 23,198 | 23,337 | 23,476 | 23,616 |
| 25 | 23,756 | 23,897 | 24,039 | 24,182 | 24,326 | 24,471 | 24,617 | 24,764 | 24,912 | 25,060 |
| 26 | 25,209 | 25,359 | 25,509 | 25,660 | 25,812 | 25,964 | 26,117 | 26,271 | 26,426 | 26,582 |
| 27 | 26,739 | 26,897 | 27,055 | 27,214 | 27,374 | 27,535 | 27,696 | 27,858 | 28,021 | 28,185 |
| 28 | 28,349 | 28,514 | 28,680 | 28,847 | 29,015 | 29,184 | 29,354 | 29,525 | 29,697 | 29,870 |
| 29 | 30,043 | 30,217 | 30,392 | 30,568 | 30,745 | 30,923 | 31,102 | 31,281 | 31,461 | 31,642 |
| 30 | 31,824 | 32,007 | 32,191 | 32,376 | 32,561 | 32,747 | 32,934 | 33,122 | 33,312 | 33,503 |
| 31 | 33,695 | 33,888 | 34,082 | 34,276 | 34,471 | 34,667 | 34,864 | 35,062 | 35,261 | 35,462 |
| 32 | 35,663 | 35,865 | 36,068 | 36,272 | 36,477 | 36,683 | 36,891 | 37,099 | 37,308 | 37,518 |
| 33 | 37,729 | 37,942 | 38,155 | 38,369 | 38,584 | 38,801 | 39,018 | 39,237 | 39,457 | 39,677 |
| 34 | 39,898 | 40,121 | 40,344 | 40,569 | 40,796 | 41,023 | 41,251 | 41,480 | 41,710 | 41,942 |
| 35 | 42,175 | 42,409 | 42,644 | 42,880 | 43,117 | 43,355 | 43,595 | 43,836 | 44,078 | 44,320 |
| 36 | 44,563 | 44,808 | 45,054 | 45,301 | 45,549 | 45,799 | 46,050 | 46,302 | 46,556 | 46,811 |
| 37 | 47,067 | 47,324 | 47,582 | 47,841 | 48,102 | 48,364 | 48,627 | 48,891 | 49,157 | 49,424 |
| 38 | 49,692 | 49,961 | 50,231 | 50,202 | 50,774 | 51,048 | 51,323 | 51,600 | 51,879 | 52,160 |
| 39 | 52,442 | 52,725 | 53,009 | 53,294 | 53,580 | 53,867 | 54,156 | 54,446 | 54,737 | 55,030 |
| 40 | 55,324 | 55,61 | 55,91 | 56,21 | 56,51 | 56,81 | 57,11 | 57,41 | 57,72 | 58,03 |
| 41 | 58,34 | 58,65 | 58,96 | 59,27 | 59,58 | 59,90 | 60,22 | 60,54 | 60,86 | 61,18 |
| 42 | 61,50 | 61,82 | 62,14 | 62,47 | 62,80 | 63,13 | 63,46 | 63,79 | 64,12 | 64,46 |
| 43 | 64,80 | 65,14 | 65,48 | 65,82 | 66,16 | 66,51 | 66,86 | 67,21 | 67,56 | 67,91 |
| 44 | 68,26 | 68,61 | 68,97 | 69,33 | 69,69 | 70,05 | 70,41 | 70,77 | 71,14 | 71,51 |

Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen. Band II. Berlin 1923.

in mm QS von 0° und normaler Schwere.

| Temp. °C | ,0 | ,1 | ,2 | ,3 | ,4 | ,5 | ,6 | ,7 | ,8 | ,9 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 45 | 71,88 | 72,25 | 72,62 | 72,99 | 73,36 | 73,74 | 74,12 | 74,50 | 74,88 | 75,26 |
| 46 | 75,65 | 76,04 | 76,43 | 76,82 | 77,21 | 77,60 | 78,00 | 78,40 | 78,80 | 79,20 |
| 47 | 79,60 | 80,00 | 80,41 | 80,82 | 81,23 | 81,64 | 82,05 | 82,46 | 82,87 | 83,29 |
| 48 | 83,71 | 84,13 | 84,56 | 84,99 | 85,42 | 85,85 | 86,28 | 86,71 | 87,14 | 87,58 |
| 49 | 88,02 | 88,46 | 88,90 | 89,34 | 89,79 | 90,24 | 90,69 | 91,14 | 91,59 | 92,05 |
| 50 | 92,51 | 92,97 | 93,43 | 93,89 | 94,36 | 94,82 | 95,29 | 95,77 | 96,24 | 96,72 |
| 51 | 97,20 | 97,68 | 98,16 | 98,64 | 99,13 | 99,62 | 100,11 | 100,60 | 101,10 | 101,59 |
| 52 | 102,09 | 102,59 | 103,10 | 103,60 | 104,11 | 104,62 | 105,13 | 105,64 | 106,16 | 106,68 |
| 53 | 107,20 | 107,72 | 108,24 | 108,76 | 109,29 | 109,82 | 110,35 | 110,89 | 111,43 | 111,97 |
| 54 | 112,51 | 113,05 | 113,59 | 114,14 | 114,69 | 115,24 | 115,80 | 116,36 | 116,92 | 117,48 |
| 55 | 118,04 | 118,60 | 119,16 | 119,73 | 120,31 | 120,89 | 121,47 | 122,05 | 122,63 | 123,21 |
| 56 | 123,80 | 124,40 | 124,99 | 125,58 | 126,18 | 126,78 | 127,38 | 127,99 | 128,60 | 129,21 |
| 57 | 129,82 | 130,44 | 131,06 | 131,68 | 132,30 | 132,92 | 133,55 | 134,18 | 134,81 | 135,45 |
| 58 | 136,08 | 136,72 | 137,36 | 138,01 | 138,66 | 139,31 | 139,96 | 140,62 | 141,28 | 141,94 |
| 59 | 142,60 | 143,27 | 143,94 | 144,61 | 145,28 | 145,96 | 146,64 | 147,32 | 148,00 | 148,69 |
| 60 | 149,38 | 150,07 | 150,77 | 151,47 | 152,17 | 152,87 | 153,58 | 154,29 | 155,00 | 155,71 |
| 61 | 156,43 | 157,15 | 157,87 | 158,59 | 159,32 | 160,06 | 160,80 | 161,58 | 162,28 | 163,02 |
| 62 | 163,77 | 164,52 | 165,27 | 166,02 | 166,78 | 167,54 | 168,30 | 169,07 | 169,84 | 170,61 |
| 63 | 171,38 | 172,16 | 172,94 | 173,73 | 174,52 | 175,31 | 176,10 | 176,90 | 177,70 | 178,50 |
| 64 | 179,31 | 180,11 | 180,92 | 181,74 | 182,56 | 183,38 | 184,20 | 185,03 | 185,86 | 186,70 |
| 65 | 187,54 | 188,38 | 189,22 | 190,06 | 190,91 | 191,77 | 192,63 | 193,49 | 194,35 | 195,42 |
| 66 | 196,09 | 196,96 | 197,84 | 198,72 | 199,60 | 200,48 | 201,37 | 202,26 | 203,16 | 204,06 |
| 67 | 204,96 | 205,87 | 206,78 | 207,69 | 208,61 | 209,53 | 210,45 | 211,37 | 212,30 | 213,23 |
| 68 | 214,17 | 215,11 | 216,06 | 217,01 | 217,96 | 218,91 | 219,87 | 220,83 | 221,79 | 222,76 |
| 69 | 223,73 | 224,71 | 225,69 | 226,67 | 227,66 | 228,65 | 229,65 | 230,65 | 231,65 | 232,65 |
| 70 | 233,7 | 234,7 | 235,7 | 236,7 | 237,8 | 238,8 | 239,8 | 240,9 | 241,9 | 242,9 |
| 71 | 243,9 | 245,0 | 246,0 | 247,1 | 248,1 | 249,2 | 250,3 | 251,4 | 252,4 | 253,5 |
| 72 | 254,6 | 255,7 | 256,8 | 257,9 | 259,0 | 260,1 | 261,2 | 262,3 | 263,5 | 264,6 |
| 73 | 265,7 | 266,8 | 268,0 | 269,1 | 270,3 | 271,4 | 272,6 | 273,7 | 274,9 | 276,0 |
| 74 | 277,2 | 278,4 | 279,5 | 280,7 | 281,9 | 283,1 | 284,3 | 285,5 | 286,7 | 287,9 |
| 75 | 289,1 | 290,3 | 291,5 | 292,8 | 294,0 | 295,2 | 296,5 | 297,7 | 298,9 | 300,2 |
| 76 | 301,4 | 302,7 | 303,9 | 305,2 | 306,5 | 307,7 | 309,0 | 310,3 | 311,6 | 312,9 |
| 77 | 314,1 | 315,4 | 316,7 | 318,0 | 319,3 | 320,7 | 322,0 | 323,3 | 324,7 | 326,0 |
| 78 | 327,3 | 328,7 | 330,0 | 331,4 | 332,7 | 334,1 | 335,5 | 336,8 | 338,2 | 339,6 |
| 79 | 341,0 | 342,4 | 343,8 | 345,2 | 346,6 | 348,0 | 349,4 | 350,8 | 352,2 | 353,7 |
| 80 | 355,1 | 356,5 | 358,0 | 359,4 | 360,9 | 362,4 | 363,8 | 365,3 | 366,8 | 368,3 |
| 81 | 369,7 | 371,2 | 372,7 | 374,2 | 376,7 | 377,3 | 379,8 | 380,3 | 381,8 | 383,4 |
| 82 | 384,9 | 386,4 | 388,0 | 389,5 | 391,1 | 392,7 | 394,2 | 395,8 | 397,4 | 399,0 |
| 83 | 400,6 | 402,2 | 403,8 | 405,4 | 407,0 | 408,6 | 410,3 | 411,9 | 413,5 | 415,2 |
| 84 | 416,8 | 418,4 | 420,1 | 421,7 | 423,4 | 425,1 | 426,8 | 428,5 | 430,2 | 431,9 |
| 85 | 433,6 | 435,3 | 437,0 | 438,7 | 440,5 | 442,2 | 443,9 | 445,7 | 447,4 | 439,2 |
| 86 | 450,9 | 452,6 | 454,4 | 456,2 | 458,0 | 459,7 | 461,5 | 463,3 | 465,1 | 466,9 |
| 87 | 468,7 | 470,5 | 472,3 | 474,1 | 476,0 | 477,8 | 479,7 | 481,5 | 483,4 | 485,2 |
| 88 | 487,1 | 489,0 | 490,9 | 492,7 | 494,6 | 496,5 | 498,4 | 500,3 | 502,3 | 504,2 |
| 89 | 506,1 | 508,0 | 510,0 | 511,9 | 513,9 | 515,9 | 517,8 | 519,8 | 521,8 | 522,8 |

6. Sättigungsdruck des Wasserdampfes
in mm QS von 0° und normaler Schwere (Fortsetzung).

| Temp. °C | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 90 | 525,76 | 527,76 | 529,77 | 531,78 | 533,80 | 535,82 | 537,86 | 539,90 | 541,95 | 544,00 |
| 91 | 546,05 | 548,11 | 550,18 | 552,26 | 554,35 | 556,44 | 558,53 | 560,64 | 562,75 | 564,87 |
| 92 | 566,99 | 569,12 | 571,26 | 573,40 | 575,55 | 577,71 | 579,87 | 582,04 | 584,22 | 586,41 |
| 93 | 588,60 | 590,80 | 593,00 | 595,21 | 597,43 | 599,66 | 601,89 | 604,13 | 606,38 | 608,64 |
| 94 | 610,90 | 613,17 | 615,44 | 617,72 | 620,01 | 622,31 | 624,61 | 626,92 | 629,24 | 631,57 |
| 95 | 633,90 | 636,24 | 638,59 | 640,94 | 643,30 | 645,67 | 648,05 | 650,43 | 652,82 | 655,22 |
| 96 | 657,62 | 660,03 | 662,45 | 664,88 | 667,31 | 669,75 | 672,20 | 674,66 | 677,12 | 679,59 |
| 97 | 682,07 | 684,55 | 687,04 | 689,54 | 692,05 | 694,57 | 697,10 | 699,63 | 702,17 | 704,71 |
| 98 | 707,27 | 709,83 | 712,40 | 714,98 | 717,56 | 720,15 | 722,75 | 725,36 | 727,98 | 730,61 |
| 99 | 733,24 | 735,88 | 738,53 | 741,18 | 743,85 | 746,52 | 749,20 | 751,89 | 754,58 | 757,29 |
| 100 | 760,00 | 762,72 | 765,45 | 768,19 | 770,93 | 773,68 | 776,44 | 779,22 | 782,00 | 784,78 |
| 101 | 787,57 | 790,37 | 793,18 | 796,00 | 798,82 | 801,66 | 804,50 | 807,35 | 810,21 | 813,08 |

| Temp. °C | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm | mm |
| 100 | 760,0 | 787,6 | 815,9 | 845,1 | 875,1 | 906,1 | 937,9 | 970,6 | 1004,4 | 1038,9 |
| 110 | 1074,6 | 1111,2 | 1148,8 | 1187,5 | 1227,3 | 1268,1 | 1310,0 | 1353,0 | 1397,3 | 1442,7 |
| 120 | 1489,2 | 1536,9 | 1586,1 | 1636,4 | 1687,9 | 1741,0 | 1795,2 | 1850,9 | 1907,9 | 1966,4 |
| 130 | 2026,3 | 2087,6 | 2150,6 | 2214,8 | 2280,9 | 2347,4 | 2416,5 | 2488,3 | 2560,8 | 2635,0 |
| 140 | 2710,7 | 2788,4 | 2867,7 | 2949,1 | 3032,0 | 3116,9 | 3203,7 | 3292,5 | 3383,1 | 3475,9 |
| 150 | 3570,7 | 3667,4 | 3766,3 | 3867,1 | 3970 | 4076 | 4184 | 4293 | 4405 | 4520 |
| 160 | 4636 | 4755 | 4877 | 5001 | 5128 | 5257 | 5388 | 5522 | 5659 | 5799 |
| 170 | 5942 | 6086 | 6234 | 6384 | 6539 | 6695 | 6854 | 7016 | 7181 | 7350 |
| 180 | 7521 | 7695 | 7873 | 8054 | 8238 | 8425 | 8617 | 8811 | 9008 | 9209 |
| 190 | 9414 | 9622 | 9833 | 10049 | 10267 | 10490 | 10717 | 10946 | 11181 | 11419 |
| 200 | 11661 | 11907 | 12157 | 12410 | 12668 | 12931 | 13199 | 13470 | 13745 | 14025 |
| 210 | 14308 | 14597 | 14891 | 15187 | 15490 | 15795 | 16107 | 16423 | 16744 | 17070 |
| 220 | 17399 | 17735 | 18076 | 18421 | 18770 | 19126 | 19486 | 19852 | 20223 | 20600 |
| 230 | 20982 | 21369 | 21761 | 22158 | 22562 | 22972 | 23387 | 23807 | 24234 | 24666 |
| 240 | 25105 | 25548 | 25999 | 26454 | 26917 | 27387 | 27861 | 28341 | 28829 | 29322 |
| 250 | 29823 | 30329 | 30843 | 31363 | 31891 | 32424 | 32964 | 33512 | 34066 | 34626 |
| 260 | 35195 | 35769 | 36351 | 36940 | 37537 | 38141 | 38751 | 39370 | 39995 | 40629 |
| 270 | 41270 | 41919 | 42575 | 43239 | 43911 | 44591 | 45279 | 45975 | 46680 | 47393 |
| 280 | 48115 | 48845 | 49582 | 50329 | 51085 | 51850 | 52624 | 53408 | 54200 | 55002 |
| 290 | 55812 | 56630 | 57460 | 58302 | 59151 | 60007 | 60877 | 61756 | 62642 | 63542 |
| 300 | 64450 | 65370 | 66290 | 67230 | 68170 | 69130 | 70090 | 71070 | 72060 | 73050 |
| 310 | 74050 | 75080 | 76100 | 77140 | 78190 | 79250 | 80320 | 81400 | 82490 | 83600 |
| 320 | 84710 | 85840 | 86990 | 88140 | 89300 | 90470 | 91660 | 92860 | 94080 | 94310 |
| 330 | 96540 | 97790 | 99050 | 100330 | 101610 | 102910 | 104230 | 105560 | 106900 | 108250 |
| 340 | 109620 | 111000 | 112390 | 113790 | 115220 | 116650 | 118110 | 119570 | 121050 | 122540 |
| 350 | 124040 | 125560 | 127090 | 128640 | 130200 | 131780 | 133370 | 134990 | 136620 | 138280 |
| 360 | 139940 | 141620 | 143320 | 145050 | 146790 | 148570 | 150370 | 152180 | 154020 | 155870 |
| 370 | 157750 | 159660 | 161570 | 163530 | 165530 | - | - | - | - | - |

Landolt-Börnstein, Physikalisch-Chemische Tabellen. Band II. Berlin 1923.

7. Zustandsgrößen des gesättigten Wasserdampfes.

| Druck abs. | Sättigungs- temperatur | Spez. Volumen des Wassers unter Sätti- gungsdruck | Spez. Volumen des Dampfes | Spez. Gewicht des Dampfes | Wärmeinhalt | | Ver- dampfungs- wärme |
|--------------------------------|----------------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | | | | der Flüssig- keit | des Dampfes | |
| kg/cm ² <i>p</i> | °C <i>t_s</i> | m ³ /kg <i>v'</i> | m ³ /kg <i>v''</i> | kg/m ³ <i>γ''</i> | kcal/kg <i>i'</i> | kcal/kg <i>i''</i> | kcal/kg <i>r</i> |
| 0,010 | 6,698 | 0,0010001 | 131,7 | 0,007595 | 6,73 | 600,1 | 593,4 |
| 0,015 | 12,737 | 0,0010007 | 89,64 | 0,01116 | 12,78 | 602,8 | 590,0 |
| 0,020 | 17,204 | 0,0010013 | 68,27 | 0,01465 | 17,24 | 604,8 | 587,6 |
| 0,025 | 20,776 | 0,0010020 | 55,28 | 0,01809 | 20,80 | 606,4 | 585,6 |
| 0,030 | 23,772 | 0,0010027 | 46,53 | 0,02149 | 23,79 | 607,7 | 583,9 |
| 0,035 | 26,359 | 0,0010034 | 40,23 | 0,02486 | 26,37 | 608,8 | 582,4 |
| 0,040 | 28,641 | 0,0010041 | 35,46 | 0,02820 | 28,65 | 609,8 | 581,1 |
| 0,045 | 30,69 | 0,0010047 | 31,73 | 0,03152 | 30,69 | 610,7 | 580,0 |
| 0,050 | 32,55 | 0,0010053 | 28,73 | 0,03481 | 32,55 | 611,5 | 578,9 |
| 0,055 | 34,25 | 0,0010059 | 26,26 | 0,03808 | 34,24 | 612,2 | 578,0 |
| 0,060 | 35,82 | 0,0010064 | 24,19 | 0,04134 | 35,81 | 612,9 | 577,1 |
| 0,065 | 37,29 | 0,0010069 | 22,43 | 0,04458 | 37,27 | 613,5 | 576,2 |
| 0,070 | 38,66 | 0,0010074 | 20,92 | 0,04780 | 38,64 | 614,1 | 575,5 |
| 0,075 | 39,95 | 0,0010079 | 19,60 | 0,05101 | 39,93 | 614,7 | 574,8 |
| 0,080 | 41,16 | 0,0010084 | 18,45 | 0,05421 | 41,14 | 615,2 | 574,1 |
| 0,085 | 42,32 | 0,0010088 | 17,43 | 0,05739 | 42,29 | 615,7 | 573,4 |
| 0,090 | 43,41 | 0,0010093 | 16,51 | 0,06056 | 43,38 | 616,2 | 572,8 |
| 0,095 | 44,46 | 0,0010097 | 15,69 | 0,06372 | 44,42 | 616,6 | 572,2 |
| 0,10 | 45,45 | 0,0010101 | 14,95 | 0,06688 | 45,41 | 617,0 | 571,6 |
| 0,11 | 47,33 | 0,0010108 | 13,67 | 0,07315 | 47,29 | 617,8 | 570,5 |
| 0,12 | 49,06 | 0,0010116 | 12,60 | 0,07938 | 49,01 | 618,5 | 569,5 |
| 0,13 | 50,67 | 0,0010123 | 11,68 | 0,08559 | 50,62 | 619,2 | 568,6 |
| 0,14 | 52,18 | 0,0010130 | 10,89 | 0,09177 | 52,13 | 619,9 | 567,8 |
| 0,15 | 53,60 | 0,0010137 | 10,21 | 0,09791 | 53,54 | 620,5 | 567,0 |
| 0,16 | 54,94 | 0,0010144 | 9,612 | 0,1040 | 54,88 | 621,1 | 566,2 |
| 0,17 | 56,21 | 0,0010151 | 9,080 | 0,1101 | 56,16 | 621,6 | 565,4 |
| 0,18 | 57,41 | 0,0010157 | 8,605 | 0,1162 | 57,36 | 622,1 | 564,7 |
| 0,19 | 58,57 | 0,0010164 | 8,179 | 0,1222 | 58,51 | 622,6 | 564,1 |
| 0,20 | 59,67 | 0,0010170 | 7,795 | 0,1283 | 59,61 | 623,1 | 563,5 |
| 0,21 | 60,72 | 0,0010175 | 7,446 | 0,1343 | 60,66 | 623,5 | 562,8 |
| 0,22 | 61,74 | 0,0010181 | 7,128 | 0,1403 | 61,67 | 623,9 | 562,2 |
| 0,23 | 62,71 | 0,0010186 | 6,836 | 0,1463 | 62,64 | 624,3 | 561,7 |
| 0,24 | 63,65 | 0,0010191 | 6,568 | 0,1523 | 63,58 | 624,7 | 561,1 |
| 0,25 | 64,56 | 0,0010196 | 6,322 | 0,1582 | 64,49 | 625,1 | 560,6 |
| 0,26 | 65,44 | 0,0010201 | 6,094 | 0,1641 | 65,37 | 625,4 | 560,0 |
| 0,27 | 66,29 | 0,0010206 | 5,882 | 0,1700 | 66,22 | 625,8 | 559,6 |
| 0,28 | 67,11 | 0,0010211 | 5,684 | 0,1759 | 67,04 | 626,1 | 559,1 |
| 0,29 | 67,91 | 0,0010216 | 5,500 | 0,1818 | 67,84 | 626,5 | 558,7 |
| 0,30 | 68,68 | 0,0010221 | 5,328 | 0,1877 | 68,61 | 626,8 | 558,2 |
| 0,32 | 70,16 | 0,0010229 | 5,015 | 0,1994 | 70,09 | 627,4 | 557,3 |
| 0,34 | 71,57 | 0,0010238 | 4,738 | 0,2111 | 71,50 | 627,9 | 556,4 |
| 0,36 | 72,91 | 0,0010246 | 4,491 | 0,2227 | 72,85 | 628,5 | 555,6 |
| 0,38 | 74,19 | 0,0010253 | 4,269 | 0,2342 | 74,13 | 629,0 | 554,9 |
| 0,40 | 75,42 | 0,0010261 | 4,069 | 0,2458 | 75,36 | 629,5 | 554,1 |
| 0,45 | 78,27 | 0,0010279 | 3,643 | 0,2745 | 78,22 | 630,6 | 552,4 |
| 0,50 | 80,86 | 0,0010296 | 3,301 | 0,3029 | 80,81 | 631,6 | 550,8 |
| 0,55 | 83,25 | 0,0010312 | 3,019 | 0,3312 | 83,20 | 632,5 | 549,3 |
| 0,60 | 85,45 | 0,0010326 | 2,783 | 0,3594 | 85,41 | 633,4 | 548,0 |
| 0,65 | 87,51 | 0,0010341 | 2,582 | 0,3874 | 87,48 | 634,2 | 546,7 |
| 0,70 | 89,45 | 0,0010355 | 2,409 | 0,4152 | 89,43 | 634,9 | 545,5 |
| 0,75 | 91,27 | 0,0010368 | 2,258 | 0,4429 | 91,26 | 635,6 | 544,3 |
| 0,80 | 92,99 | 0,0010381 | 2,125 | 0,4705 | 92,99 | 636,2 | 543,2 |
| 0,85 | 94,62 | 0,0010393 | 2,008 | 0,4980 | 94,63 | 636,8 | 542,2 |
| 0,90 | 96,18 | 0,0010405 | 1,904 | 0,5253 | 96,19 | 637,4 | 541,2 |
| 0,95 | 97,66 | 0,0010417 | 1,810 | 0,5525 | 97,68 | 638,0 | 540,3 |

Nach Koch, W., VDI-Wasserdampfataeln, Berlin und München 1937.

7. Zustandsgrößen des gesättigten Wasserdampfes (Fortsetzung).

| Druck abs. | Sättigungstemperatur | Spez. Volumen des Wassers unter Sättigungsdruck | Spez. Volumen des Dampfes | Spez. Gewicht des Dampfes | Wärmeinhalt | | Verdampfungswärme |
|--------------------------------|----------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| | | | | | der Flüssigkeit | des Dampfes | |
| kg/cm ² <i>p</i> | °C <i>t_s</i> | m ³ /kg <i>v'</i> | m ³ /kg <i>v''</i> | kg/m ³ <i>γ'</i> | kcal/kg <i>i'</i> | kcal/kg <i>i''</i> | kcal/kg <i>r</i> |
| 1,0 | 99,09 | 0,0010428 | 1,725 | 0,5797 | 99,12 | 638,5 | 539,4 |
| 1,1 | 101,76 | 0,0010449 | 1,578 | 0,6337 | 101,81 | 639,4 | 537,6 |
| 1,2 | 104,25 | 0,0010468 | 1,455 | 0,6875 | 104,32 | 640,3 | 536,0 |
| 1,3 | 106,56 | 0,0010487 | 1,350 | 0,7410 | 106,66 | 641,2 | 534,5 |
| 1,4 | 108,74 | 0,0010504 | 1,259 | 0,7942 | 108,85 | 642,0 | 533,1 |
| 1,5 | 110,79 | 0,0010521 | 1,180 | 0,8472 | 110,92 | 642,8 | 531,9 |
| 1,6 | 112,73 | 0,0010537 | 1,111 | 0,8999 | 112,89 | 643,5 | 530,6 |
| 1,7 | 114,57 | 0,0010553 | 1,050 | 0,9524 | 114,76 | 644,1 | 529,3 |
| 1,8 | 116,33 | 0,0010569 | 0,9952 | 1,005 | 116,54 | 644,7 | 528,2 |
| 1,9 | 118,01 | 0,0010584 | 0,9460 | 1,057 | 118,24 | 645,3 | 527,1 |
| 2,0 | 119,62 | 0,0010599 | 0,9016 | 1,109 | 119,87 | 645,8 | 525,9 |
| 2,1 | 121,16 | 0,0010614 | 0,8613 | 1,161 | 121,4 | 646,3 | 524,9 |
| 2,2 | 122,65 | 0,0010628 | 0,8246 | 1,213 | 122,9 | 646,8 | 523,9 |
| 2,3 | 124,08 | 0,0010641 | 0,7910 | 1,264 | 124,4 | 647,3 | 522,9 |
| 2,4 | 125,46 | 0,0010654 | 0,7601 | 1,316 | 125,8 | 647,8 | 522,0 |
| 2,5 | 126,79 | 0,0010666 | 0,7316 | 1,367 | 127,2 | 648,3 | 521,1 |
| 2,6 | 128,08 | 0,0010678 | 0,7052 | 1,418 | 128,5 | 648,7 | 520,2 |
| 2,7 | 129,34 | 0,0010690 | 0,6806 | 1,469 | 129,8 | 649,1 | 519,3 |
| 2,8 | 130,55 | 0,0010701 | 0,6578 | 1,520 | 131,0 | 649,5 | 518,5 |
| 2,9 | 131,73 | 0,0010713 | 0,6365 | 1,571 | 132,2 | 649,9 | 517,7 |
| 3,0 | 132,88 | 0,0010725 | 0,6166 | 1,622 | 133,4 | 650,3 | 516,9 |
| 3,1 | 134,00 | 0,0010736 | 0,5979 | 1,673 | 134,5 | 650,6 | 516,1 |
| 3,2 | 135,08 | 0,0010747 | 0,5804 | 1,723 | 135,6 | 650,9 | 515,3 |
| 3,3 | 136,14 | 0,0010758 | 0,5639 | 1,773 | 136,7 | 651,2 | 514,5 |
| 3,4 | 137,18 | 0,0010769 | 0,5483 | 1,824 | 137,8 | 651,6 | 513,8 |
| 3,5 | 138,19 | 0,0010780 | 0,5335 | 1,874 | 138,8 | 651,9 | 513,1 |
| 3,6 | 139,18 | 0,0010790 | 0,5196 | 1,925 | 139,8 | 652,2 | 512,4 |
| 3,7 | 140,15 | 0,0010799 | 0,5064 | 1,975 | 140,8 | 652,5 | 511,7 |
| 3,8 | 141,09 | 0,0010809 | 0,4939 | 2,025 | 141,8 | 652,8 | 511,0 |
| 3,9 | 142,02 | 0,0010818 | 0,4820 | 2,075 | 142,7 | 653,1 | 510,4 |
| 4,0 | 142,92 | 0,0010828 | 0,4706 | 2,125 | 143,6 | 653,4 | 509,8 |
| 4,1 | 143,81 | 0,0010837 | 0,4598 | 2,175 | 144,5 | 653,7 | 509,2 |
| 4,2 | 144,68 | 0,0010846 | 0,4495 | 2,225 | 145,4 | 653,9 | 508,5 |
| 4,3 | 145,54 | 0,0010856 | 0,4397 | 2,274 | 146,3 | 654,2 | 507,9 |
| 4,4 | 146,38 | 0,0010865 | 0,4303 | 2,324 | 147,2 | 654,4 | 507,2 |
| 4,5 | 147,20 | 0,0010875 | 0,4213 | 2,374 | 148,0 | 654,7 | 506,7 |
| 4,6 | 148,01 | 0,0010884 | 0,4127 | 2,423 | 148,9 | 654,9 | 506,0 |
| 4,7 | 148,81 | 0,0010893 | 0,4045 | 2,472 | 149,7 | 655,2 | 505,5 |
| 4,8 | 149,59 | 0,0010901 | 0,3965 | 2,522 | 150,5 | 655,4 | 504,9 |
| 4,9 | 150,36 | 0,0010910 | 0,3889 | 2,571 | 151,3 | 655,6 | 504,3 |
| 5,0 | 151,11 | 0,0010918 | 0,3816 | 2,621 | 152,1 | 655,8 | 503,7 |
| 5,2 | 152,59 | 0,0010935 | 0,3677 | 2,720 | 153,6 | 656,3 | 502,7 |
| 5,4 | 154,02 | 0,0010952 | 0,3549 | 2,818 | 155,1 | 656,7 | 501,6 |
| 5,6 | 155,41 | 0,0010968 | 0,3429 | 2,916 | 156,5 | 657,1 | 500,6 |
| 5,8 | 156,76 | 0,0010984 | 0,3317 | 3,014 | 157,9 | 657,5 | 499,6 |
| 6,0 | 158,08 | 0,0010999 | 0,3213 | 3,112 | 159,3 | 657,8 | 498,5 |
| 6,2 | 159,36 | 0,0011014 | 0,3115 | 3,210 | 160,6 | 658,1 | 497,5 |
| 6,4 | 160,61 | 0,0011029 | 0,3023 | 3,308 | 161,9 | 658,5 | 496,6 |
| 6,6 | 161,82 | 0,0011043 | 0,2937 | 3,405 | 163,2 | 658,8 | 495,6 |
| 6,8 | 163,01 | 0,0011058 | 0,2855 | 3,503 | 164,4 | 659,1 | 494,7 |
| 7,0 | 164,17 | 0,0011072 | 0,2778 | 3,600 | 165,6 | 659,4 | 493,8 |
| 7,2 | 165,31 | 0,0011086 | 0,2705 | 3,697 | 166,8 | 659,7 | 492,9 |
| 7,4 | 166,42 | 0,0011100 | 0,2636 | 3,794 | 167,9 | 660,0 | 492,1 |
| 7,6 | 167,51 | 0,0011114 | 0,2570 | 3,891 | 169,1 | 660,3 | 491,2 |
| 7,8 | 168,57 | 0,0011127 | 0,2508 | 3,988 | 170,2 | 660,5 | 490,3 |

7. Zustandsgrößen des gesättigten Wasserdampfes (Fortsetzung).

| Druck abs. | Sättigungstemperatur | Spez. Volumen des Wassers unter Sättigungsdruck | Spez. Volumen des Dampfes | Spez. Gewicht des Dampfes | Wärmeinhalt | | Verdampfungswärme |
|---------------------------|----------------------|---|-----------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| | | | | | der Flüssigkeit | des Dampfes | |
| kg/cm ² p | °C t_s | m ³ /kg v' | m ³ /kg v'' | kg/m ³ γ'' | kcal/kg i' | kcal/kg i'' | kcal/kg r |
| 8,0 | 169,61 | 0,0011140 | 0,2448 | 4,085 | 171,3 | 660,8 | 489,5 |
| 8,2 | 170,63 | 0,0011152 | 0,2391 | 4,182 | 172,3 | 661,0 | 488,7 |
| 8,4 | 171,63 | 0,0011165 | 0,2337 | 4,278 | 173,4 | 661,3 | 487,9 |
| 8,6 | 172,61 | 0,0011178 | 0,2286 | 4,375 | 174,4 | 661,5 | 487,1 |
| 8,8 | 173,58 | 0,0011191 | 0,2237 | 4,471 | 175,4 | 661,7 | 486,3 |
| 9,0 | 174,53 | 0,0011203 | 0,2189 | 4,568 | 176,4 | 662,0 | 485,6 |
| 9,2 | 175,46 | 0,0011216 | 0,2144 | 4,664 | 177,4 | 662,2 | 484,8 |
| 9,4 | 176,38 | 0,0011228 | 0,2101 | 4,761 | 178,4 | 662,4 | 484,0 |
| 9,6 | 177,28 | 0,0011240 | 0,2059 | 4,857 | 179,3 | 662,6 | 483,3 |
| 9,8 | 178,16 | 0,0011251 | 0,2019 | 4,953 | 180,3 | 662,8 | 482,5 |
| 10,0 | 179,04 | 0,0011262 | 0,1981 | 5,049 | 181,2 | 663,0 | 481,8 |
| 10,5 | 181,16 | 0,0011290 | 0,1891 | 5,290 | 183,4 | 663,5 | 480,1 |
| 11,0 | 183,20 | 0,0011318 | 0,1808 | 5,530 | 185,6 | 663,9 | 478,3 |
| 11,5 | 185,17 | 0,0011346 | 0,1733 | 5,770 | 187,7 | 664,3 | 476,6 |
| 12,0 | 187,08 | 0,0011373 | 0,1664 | 6,010 | 189,7 | 664,7 | 475,0 |
| 12,5 | 188,92 | 0,0011399 | 0,1600 | 6,249 | 191,6 | 665,1 | 473,5 |
| 13,0 | 190,71 | 0,0011425 | 0,1541 | 6,488 | 193,5 | 665,4 | 471,9 |
| 13,5 | 192,45 | 0,0011451 | 0,1486 | 6,728 | 195,3 | 665,7 | 470,4 |
| 14,0 | 194,13 | 0,0011476 | 0,1435 | 6,967 | 197,1 | 666,0 | 468,9 |
| 14,5 | 195,77 | 0,0011500 | 0,1388 | 7,207 | 198,9 | 666,3 | 467,4 |
| 15,0 | 197,36 | 0,0011524 | 0,1343 | 7,446 | 200,6 | 666,6 | 466,0 |
| 15,5 | 198,91 | 0,0011548 | 0,1301 | 7,685 | 202,3 | 666,8 | 464,5 |
| 16,0 | 200,43 | 0,0011571 | 0,1262 | 7,925 | 203,9 | 667,1 | 463,2 |
| 16,5 | 201,91 | 0,0011595 | 0,1225 | 8,165 | 205,5 | 667,3 | 461,8 |
| 17,0 | 203,35 | 0,0011619 | 0,1190 | 8,405 | 207,1 | 667,5 | 460,4 |
| 17,5 | 204,76 | 0,0011641 | 0,1157 | 8,645 | 208,6 | 667,7 | 459,1 |
| 18,0 | 206,14 | 0,0011663 | 0,1126 | 8,886 | 210,1 | 667,9 | 457,8 |
| 18,5 | 207,49 | 0,0011685 | 0,1096 | 9,126 | 211,5 | 668,0 | 456,5 |
| 19,0 | 208,81 | 0,0011707 | 0,1068 | 9,366 | 213,0 | 668,2 | 455,2 |
| 19,5 | 210,11 | 0,0011729 | 0,1041 | 9,606 | 214,4 | 668,3 | 453,9 |
| 20,0 | 211,38 | 0,0011751 | 0,1016 | 9,846 | 215,8 | 668,5 | 452,7 |
| 20,5 | 212,63 | 0,0011773 | 0,09913 | 10,09 | 217,1 | 668,6 | 451,5 |
| 21,0 | 213,85 | 0,0011794 | 0,09682 | 10,33 | 218,5 | 668,7 | 450,2 |
| 21,5 | 215,05 | 0,0011814 | 0,09461 | 10,57 | 219,9 | 668,8 | 448,9 |
| 22,0 | 216,23 | 0,0011834 | 0,09251 | 10,81 | 221,2 | 668,9 | 447,7 |
| 22,5 | 217,39 | 0,0011854 | 0,09049 | 11,05 | 222,4 | 669,0 | 446,6 |
| 23,0 | 218,53 | 0,0011874 | 0,08856 | 11,29 | 223,6 | 669,1 | 445,5 |
| 23,5 | 219,65 | 0,0011894 | 0,08671 | 11,53 | 224,9 | 669,2 | 444,3 |
| 24,0 | 220,75 | 0,0011914 | 0,08492 | 11,78 | 226,1 | 669,3 | 443,2 |
| 24,5 | 221,83 | 0,0011933 | 0,08321 | 12,02 | 227,3 | 669,4 | 442,1 |
| 25,0 | 222,90 | 0,0011952 | 0,08157 | 12,26 | 228,5 | 669,4 | 440,9 |
| 25,5 | 223,95 | 0,0011971 | 0,07998 | 12,50 | 229,7 | 669,5 | 439,8 |
| 26,0 | 224,99 | 0,0011991 | 0,07846 | 12,75 | 230,8 | 669,5 | 438,7 |
| 26,5 | 226,01 | 0,0012010 | 0,07699 | 12,99 | 231,9 | 669,6 | 437,7 |
| 27,0 | 227,01 | 0,0012029 | 0,07557 | 13,23 | 233,0 | 669,6 | 436,6 |
| 27,5 | 228,00 | 0,0012049 | 0,07420 | 13,48 | 234,1 | 669,6 | 435,5 |
| 28,0 | 228,98 | 0,0012068 | 0,07288 | 13,72 | 235,2 | 669,6 | 434,4 |
| 28,5 | 229,94 | 0,0012087 | 0,07160 | 13,97 | 236,3 | 669,7 | 433,4 |
| 29,0 | 230,89 | 0,0012106 | 0,07037 | 14,21 | 237,4 | 669,7 | 432,3 |
| 29,5 | 231,83 | 0,0012124 | 0,06917 | 14,46 | 238,4 | 669,7 | 431,3 |
| 30 | 232,76 | 0,0012142 | 0,06802 | 14,70 | 239,5 | 669,7 | 430,2 |
| 31 | 234,57 | 0,0012178 | 0,06583 | 15,19 | 241,6 | 669,7 | 428,1 |
| 32 | 236,35 | 0,0012214 | 0,06375 | 15,69 | 243,6 | 669,7 | 426,1 |
| 33 | 238,08 | 0,0012250 | 0,06179 | 16,18 | 245,5 | 669,6 | 424,1 |
| 34 | 239,77 | 0,0012285 | 0,05995 | 16,68 | 247,5 | 669,6 | 422,1 |

7. Zustandsgrößen des gesättigten Wasserdampfes (Fortsetzung).

| Druck abs. kg/cm ² <i>p</i> | Sättigungs- temperatur °C <i>t_s</i> | Spez. Volumen des Wassers unter Sätti- gungsdruck m ³ /kg <i>v'</i> | Spez. Volumen des Dampfes m ³ /kg <i>v''</i> | Spez. Gewicht des Dampfes kg/m ³ <i>γ''</i> | Wärmeinhalt | | Ver- dampfungswärme kcal/kg <i>r</i> |
|---|---|--|--|---|---|---|---|
| | | | | | der Flüssig- keit kcal/kg <i>i'</i> | des Dampfes kcal/kg <i>i''</i> | |
| 35 | 241,42 | 0,0012320 | 0,05822 | 17,18 | 249,4 | 669,5 | 420,1 |
| 36 | 243,04 | 0,0012355 | 0,05658 | 17,68 | 251,2 | 669,5 | 418,3 |
| 37 | 244,62 | 0,0012389 | 0,05501 | 18,18 | 253,0 | 669,4 | 416,4 |
| 38 | 246,17 | 0,0012424 | 0,05353 | 18,68 | 254,8 | 669,3 | 414,5 |
| 39 | 247,69 | 0,0012459 | 0,05212 | 19,19 | 256,5 | 669,1 | 412,6 |
| 40 | 249,18 | 0,0012493 | 0,05078 | 19,69 | 258,2 | 669,0 | 410,8 |
| 41 | 250,64 | 0,0012527 | 0,04950 | 20,20 | 259,9 | 668,9 | 409,0 |
| 42 | 252,07 | 0,0012561 | 0,04828 | 20,71 | 261,6 | 668,8 | 407,2 |
| 43 | 253,48 | 0,0012594 | 0,04712 | 21,22 | 263,3 | 668,6 | 405,3 |
| 44 | 254,87 | 0,0012627 | 0,04601 | 21,73 | 264,9 | 668,4 | 403,5 |
| 45 | 256,23 | 0,0012661 | 0,04495 | 22,25 | 266,5 | 668,2 | 401,7 |
| 46 | 257,56 | 0,0012695 | 0,04393 | 22,76 | 268,0 | 668,0 | 400,0 |
| 47 | 258,88 | 0,0012728 | 0,04295 | 23,28 | 269,6 | 667,9 | 398,3 |
| 48 | 260,17 | 0,0012762 | 0,04201 | 23,80 | 271,2 | 667,7 | 396,5 |
| 49 | 261,45 | 0,0012795 | 0,04111 | 24,32 | 272,7 | 667,5 | 394,8 |
| 50 | 262,70 | 0,0012828 | 0,04024 | 24,85 | 274,2 | 667,3 | 393,1 |
| 51 | 263,93 | 0,0012860 | 0,03940 | 25,38 | 275,6 | 667,0 | 391,4 |
| 52 | 265,15 | 0,0012892 | 0,03860 | 25,91 | 277,1 | 666,8 | 389,7 |
| 53 | 266,35 | 0,0012924 | 0,03783 | 26,44 | 278,6 | 666,6 | 388,0 |
| 54 | 267,53 | 0,0012956 | 0,03708 | 26,97 | 280,0 | 666,4 | 386,4 |
| 55 | 268,69 | 0,0012989 | 0,03636 | 27,50 | 281,4 | 666,2 | 384,8 |
| 56 | 269,84 | 0,0013021 | 0,03566 | 28,04 | 282,8 | 666,0 | 383,2 |
| 57 | 270,98 | 0,0013054 | 0,03499 | 28,58 | 284,2 | 665,7 | 381,5 |
| 58 | 272,10 | 0,0013086 | 0,03434 | 29,12 | 285,6 | 665,5 | 379,9 |
| 59 | 273,20 | 0,0013118 | 0,03371 | 29,66 | 287,0 | 665,2 | 378,2 |
| 60 | 274,29 | 0,0013150 | 0,03310 | 30,21 | 288,4 | 665,0 | 376,6 |
| 61 | 275,37 | 0,0013181 | 0,03251 | 30,76 | 289,7 | 664,7 | 375,0 |
| 62 | 276,43 | 0,0013212 | 0,03194 | 31,31 | 291,0 | 664,4 | 373,4 |
| 63 | 277,48 | 0,0013243 | 0,03139 | 31,86 | 292,3 | 664,2 | 371,9 |
| 64 | 278,51 | 0,0013275 | 0,03085 | 32,41 | 293,5 | 663,9 | 370,4 |
| 65 | 279,54 | 0,0013307 | 0,03033 | 32,97 | 294,8 | 663,6 | 368,8 |
| 66 | 280,55 | 0,0013339 | 0,02983 | 33,53 | 296,1 | 663,3 | 367,2 |
| 67 | 281,55 | 0,0013371 | 0,02934 | 34,09 | 297,3 | 663,0 | 365,7 |
| 68 | 282,54 | 0,0013403 | 0,02886 | 34,65 | 298,5 | 662,7 | 364,2 |
| 69 | 283,52 | 0,0013435 | 0,02840 | 35,21 | 299,7 | 662,4 | 362,7 |
| 70 | 284,48 | 0,0013467 | 0,02795 | 35,78 | 300,9 | 662,1 | 361,2 |
| 71 | 285,44 | 0,0013509 | 0,02751 | 36,35 | 302,2 | 661,8 | 359,6 |
| 72 | 286,39 | 0,0013531 | 0,02708 | 36,92 | 303,4 | 661,4 | 358,0 |
| 73 | 287,32 | 0,0013562 | 0,02667 | 37,50 | 304,6 | 661,1 | 356,5 |
| 74 | 288,25 | 0,0013594 | 0,02626 | 38,08 | 305,8 | 660,8 | 355,0 |
| 75 | 289,17 | 0,0013625 | 0,02587 | 38,66 | 307,0 | 660,5 | 353,5 |
| 76 | 290,08 | 0,0013657 | 0,02549 | 39,24 | 308,1 | 660,2 | 352,1 |
| 77 | 290,97 | 0,0013689 | 0,02511 | 39,82 | 309,2 | 659,8 | 350,6 |
| 78 | 291,86 | 0,0013721 | 0,02475 | 40,41 | 310,4 | 659,5 | 349,1 |
| 79 | 292,75 | 0,0013753 | 0,02439 | 41,00 | 311,5 | 659,2 | 347,7 |
| 80 | 293,62 | 0,0013786 | 0,02404 | 41,60 | 312,6 | 658,9 | 346,3 |
| 81 | 294,48 | 0,0013819 | 0,02370 | 42,20 | 313,8 | 658,6 | 344,8 |
| 82 | 295,34 | 0,0013852 | 0,02337 | 42,80 | 314,9 | 658,2 | 343,3 |
| 83 | 296,19 | 0,0013885 | 0,02304 | 43,40 | 316,0 | 657,8 | 341,8 |
| 84 | 297,03 | 0,0013918 | 0,02272 | 44,01 | 317,1 | 657,4 | 340,3 |
| 85 | 297,86 | 0,0013951 | 0,02241 | 44,62 | 318,2 | 657,0 | 338,8 |
| 86 | 298,69 | 0,0013985 | 0,02211 | 45,23 | 319,3 | 656,6 | 337,3 |
| 87 | 299,51 | 0,0014016 | 0,02181 | 45,84 | 320,4 | 656,3 | 335,9 |
| 88 | 300,32 | 0,001405 | 0,02152 | 46,46 | 321,4 | 655,9 | 334,5 |
| 89 | 301,12 | 0,001408 | 0,02124 | 47,09 | 322,5 | 655,5 | 333,0 |

7. Zustandsgrößen des gesättigten Wasserdampfes (Fortsetzung).

| Druck abs. | Sättigungs- temperatur | Spez. Volumen des Wassers unter Sätti- gungsdruck | Spez. Volumen des Dampfes | Spez. Gewicht des Dampfes | Wärmeinhalt | | Ver- dampfungswärme |
|--------------------------------|----------------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
| | | | | | der Flüssig- keit | des Dampfes | |
| kg/cm ² <i>p</i> | °C <i>t_s</i> | m ³ /kg <i>v'</i> | m ³ /kg <i>v''</i> | kg/m ³ <i>γ''</i> | kcal/kg <i>i'</i> | kcal/kg <i>i''</i> | kcal/kg <i>r</i> |
| 90 | 301,92 | 0,001412 | 0,02096 | 47,71 | 323,6 | 655,1 | 331,5 |
| 91 | 302,71 | 0,001415 | 0,02069 | 48,34 | 324,7 | 654,8 | 330,1 |
| 92 | 303,49 | 0,001419 | 0,02042 | 48,98 | 325,7 | 654,4 | 328,7 |
| 93 | 304,27 | 0,001422 | 0,02016 | 49,62 | 326,8 | 654,0 | 327,2 |
| 94 | 305,04 | 0,001425 | 0,01990 | 50,26 | 327,8 | 653,6 | 325,8 |
| 95 | 305,80 | 0,001428 | 0,01964 | 50,91 | 328,8 | 653,2 | 324,4 |
| 96 | 306,56 | 0,001432 | 0,01940 | 51,56 | 329,9 | 652,8 | 322,9 |
| 97 | 307,31 | 0,001435 | 0,01915 | 52,21 | 330,9 | 652,4 | 321,5 |
| 98 | 308,06 | 0,001438 | 0,01891 | 52,87 | 332,0 | 652,0 | 320,0 |
| 99 | 308,80 | 0,001442 | 0,01868 | 53,54 | 333,0 | 651,5 | 318,5 |
| 100 | 309,53 | 0,001445 | 0,01845 | 54,21 | 334,0 | 651,1 | 317,1 |
| 102 | 310,98 | 0,001452 | 0,01800 | 55,55 | 336,0 | 650,2 | 314,2 |
| 104 | 312,41 | 0,001459 | 0,01757 | 56,91 | 338,0 | 649,4 | 311,4 |
| 106 | 313,82 | 0,001466 | 0,01716 | 58,28 | 340,0 | 648,5 | 308,5 |
| 108 | 315,21 | 0,001473 | 0,01676 | 59,67 | 342,0 | 647,6 | 305,6 |
| 110 | 316,58 | 0,001480 | 0,01637 | 61,08 | 344,0 | 646,7 | 302,7 |
| 112 | 317,93 | 0,001487 | 0,01600 | 62,51 | 346,0 | 645,7 | 299,7 |
| 114 | 319,26 | 0,001495 | 0,01563 | 63,96 | 348,0 | 644,8 | 296,8 |
| 116 | 320,57 | 0,001503 | 0,01528 | 65,43 | 349,9 | 643,8 | 293,9 |
| 118 | 321,87 | 0,001510 | 0,01494 | 66,92 | 351,9 | 642,8 | 290,9 |
| 120 | 323,15 | 0,001518 | 0,01462 | 68,42 | 353,9 | 641,9 | 288,0 |
| 122 | 324,41 | 0,001526 | 0,01430 | 69,94 | 355,7 | 640,8 | 285,1 |
| 124 | 325,65 | 0,001534 | 0,01399 | 71,47 | 357,6 | 639,8 | 282,2 |
| 126 | 326,88 | 0,001542 | 0,01369 | 73,03 | 359,4 | 638,7 | 279,3 |
| 128 | 328,10 | 0,001550 | 0,01340 | 74,62 | 361,2 | 637,7 | 276,5 |
| 130 | 329,30 | 0,001558 | 0,01312 | 76,23 | 363,0 | 636,6 | 273,6 |
| 132 | 330,48 | 0,001566 | 0,01284 | 77,87 | 364,9 | 635,5 | 270,6 |
| 134 | 331,65 | 0,001574 | 0,01257 | 79,54 | 366,8 | 634,4 | 267,6 |
| 136 | 332,81 | 0,001582 | 0,01231 | 81,23 | 368,7 | 633,3 | 264,6 |
| 138 | 333,96 | 0,001590 | 0,01206 | 82,94 | 370,6 | 632,2 | 261,6 |
| 140 | 335,09 | 0,001599 | 0,01181 | 84,68 | 372,4 | 631,0 | 258,6 |
| 142 | 336,21 | 0,001608 | 0,01157 | 86,45 | 374,2 | 629,8 | 255,6 |
| 144 | 337,31 | 0,001617 | 0,01133 | 88,26 | 376,0 | 628,6 | 252,6 |
| 146 | 338,40 | 0,001626 | 0,01110 | 90,11 | 377,9 | 627,4 | 249,5 |
| 148 | 339,49 | 0,001636 | 0,01087 | 91,99 | 379,8 | 626,1 | 246,3 |
| 150 | 340,56 | 0,001646 | 0,01065 | 93,90 | 381,7 | 624,9 | 243,2 |
| 152 | 341,61 | 0,001656 | 0,01044 | 95,85 | 383,5 | 623,6 | 240,1 |
| 154 | 342,66 | 0,001667 | 0,01022 | 97,83 | 385,4 | 622,3 | 236,9 |
| 156 | 343,70 | 0,001677 | 0,01002 | 99,84 | 387,2 | 621,0 | 233,8 |
| 158 | 344,72 | 0,001688 | 0,009814 | 101,9 | 389,0 | 619,7 | 230,7 |
| 160 | 345,74 | 0,001699 | 0,009616 | 104,0 | 390,8 | 618,3 | 227,5 |
| 162 | 346,74 | 0,001710 | 0,009421 | 106,1 | 392,7 | 616,9 | 224,2 |
| 164 | 347,74 | 0,001721 | 0,009230 | 108,3 | 394,5 | 615,4 | 220,9 |
| 166 | 348,72 | 0,001732 | 0,009043 | 110,6 | 396,4 | 613,9 | 217,5 |
| 168 | 349,70 | 0,001744 | 0,008860 | 112,9 | 398,3 | 612,4 | 214,1 |
| 170 | 350,66 | 0,001756 | 0,008680 | 115,2 | 400,3 | 610,8 | 210,5 |
| 172 | 351,62 | 0,001768 | 0,008502 | 117,6 | 402,2 | 609,2 | 207,0 |
| 174 | 352,56 | 0,001780 | 0,008325 | 120,1 | 404,2 | 607,5 | 203,3 |
| 176 | 353,50 | 0,001793 | 0,008150 | 122,7 | 406,2 | 605,9 | 199,7 |
| 178 | 354,43 | 0,001807 | 0,007978 | 125,3 | 408,2 | 604,2 | 196,0 |
| 180 | 355,35 | 0,001821 | 0,007809 | 128,0 | 410,2 | 602,5 | 192,3 |
| 182 | 356,26 | 0,001835 | 0,007643 | 130,8 | 412,2 | 600,8 | 188,6 |
| 184 | 357,16 | 0,001850 | 0,007478 | 133,7 | 414,2 | 599,0 | 184,8 |
| 186 | 358,06 | 0,001867 | 0,007315 | 136,7 | 416,3 | 597,1 | 180,8 |
| 188 | 358,94 | 0,001884 | 0,007154 | 139,8 | 418,3 | 595,2 | 176,9 |

7. Zustandsgrößen des gesättigten Wasserdampfes (Fortsetzung).

| Druck abs. | Sättigungs- temperatur | Spez. Volumen des Wassers unter Sätti- gungsdruck | Spez. Volumen des Dampfes | Spez. Gewicht des Dampfes | Wärmeinhalt | | Ver- dampfungs- wärme |
|--------------------------------|----------------------------|---|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| | | | | | der Flüssig- keit | des Dampfes | |
| kg/cm ² <i>p</i> | °C <i>t_s</i> | m ³ /kg <i>v'</i> | m ³ /kg <i>v''</i> | kg/m ³ <i>γ''</i> | kcal/kg <i>i'</i> | kcal/kg <i>i''</i> | kcal/kg <i>r</i> |
| 190 | 359,82 | 0,001902 | 0,006994 | 143,0 | 420,4 | 593,2 | 172,8 |
| 192 | 360,69 | 0,001923 | 0,00683 | 146,4 | 422,6 | 591,2 | 168,6 |
| 194 | 361,55 | 0,001943 | 0,00667 | 149,9 | 424,8 | 589,1 | 164,3 |
| 196 | 362,40 | 0,001964 | 0,00652 | 153,5 | 427,0 | 587,0 | 160,0 |
| 198 | 363,25 | 0,001985 | 0,00636 | 157,2 | 429,2 | 584,7 | 155,5 |
| 200 | 364,08 | 0,00201 | 0,00620 | 161,2 | 431,5 | 582,3 | 150,8 |
| 202 | 364,91 | 0,00203 | 0,00604 | 165,5 | 434,0 | 579,9 | 145,9 |
| 204 | 365,74 | 0,00205 | 0,00588 | 170,1 | 436,5 | 577,2 | 140,7 |
| 206 | 366,55 | 0,00208 | 0,00572 | 175,0 | 439,1 | 574,4 | 135,3 |
| 208 | 367,36 | 0,00211 | 0,00555 | 180,2 | 441,8 | 571,4 | 129,6 |
| 210 | 368,16 | 0,00214 | 0,00539 | 185,7 | 444,7 | 568,1 | 123,4 |
| 212 | 368,95 | 0,00217 | 0,00522 | 191,6 | 447,8 | 564,6 | 116,8 |
| 214 | 369,74 | 0,00221 | 0,00505 | 198,0 | 451,2 | 560,7 | 109,5 |
| 216 | 370,51 | 0,00226 | 0,00488 | 205 | 454,8 | 557 | 102 |
| 218 | 371,29 | 0,00232 | 0,00469 | 213 | 458,9 | 552 | 93 |
| 220 | 372,1 | 0,00239 | 0,00449 | 223 | 463,4 | 547 | 84 |
| 222 | 372,8 | 0,00248 | 0,00425 | 235 | 469 | 541 | 72 |
| 224 | 373,6 | 0,00261 | 0,00394 | 254 | 478 | 532 | 54 |

8. Spezifisches Gewicht des überhitzten Wasserdampfes in kg/Nm³.

| Druck abs. kg/cm ² | Temperatur °C | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 160 | 180 | 200 | 220 | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 |
| 1 | 0,4941 | 0,4717 | 0,4515 | 0,4326 | 0,4156 | 0,3998 | 0,3852 | 0,3716 | 0,3591 |
| 2 | 0,9960 | 0,9497 | 0,9074 | 0,8694 | 0,8347 | 0,8026 | 0,7728 | 0,7452 | 0,7194 |
| 3 | 1,505 | 1,433 | 1,369 | 1,310 | 1,257 | 1,207 | 1,162 | 1,120 | 1,082 |
| 4 | 2,024 | 1,923 | 1,834 | 1,754 | 1,683 | 1,615 | 1,554 | 1,498 | 1,446 |
| 5 | 2,552 | 2,420 | 2,306 | 2,203 | 2,111 | 2,026 | 1,949 | 1,877 | 1,811 |
| 6 | 3,093 | 2,926 | 2,782 | 2,656 | 2,543 | 2,439 | 2,345 | 2,258 | 2,178 |
| 8 | | 3,959 | 3,752 | 3,575 | 3,416 | 3,274 | 3,145 | 3,026 | 2,916 |
| 10 | | 5,033 | 4,752 | 4,515 | 4,307 | 4,120 | 3,954 | 3,802 | 3,663 |
| 12 | | | 5,777 | 5,470 | 5,211 | 4,981 | 4,773 | 4,585 | 4,415 |
| 14 | | | 6,835 | 6,456 | 6,131 | 5,851 | 5,602 | 5,376 | 5,173 |
| 16 | | | | 7,457 | 7,072 | 6,738 | 6,443 | 6,180 | 5,938 |
| 18 | | | | 8,496 | 8,032 | 7,639 | 7,294 | 6,988 | 6,711 |
| 20 | | | | 9,560 | 9,009 | 8,554 | 8,157 | 7,806 | 7,496 |
| 25 | | | | | 11,57 | 10,92 | 10,37 | 9,901 | 9,479 |
| 30 | | | | | 14,31 | 13,40 | 12,67 | 12,06 | 11,52 |
| 35 | | | | | | 16,03 | 15,07 | 14,28 | 13,61 |
| 40 | | | | | | 18,84 | 17,59 | 16,60 | 15,77 |
| 45 | | | | | | 21,88 | 20,25 | 19,00 | 17,99 |
| 50 | | | | | | | 23,07 | 21,52 | 20,29 |
| 60 | | | | | | | 29,33 | 26,93 | 25,16 |
| 70 | | | | | | | | 33,01 | 30,44 |
| 80 | | | | | | | | 39,97 | 36,30 |
| 90 | | | | | | | | | 42,85 |
| 100 | | | | | | | | | 50,38 |
| 110 | | | | | | | | | 59,31 |

| Druck abs. kg/cm ² | Temperatur °C | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 340 | 360 | 380 | 400 | 420 | 440 | 460 | 480 | 500 |
| 1 | 0,3472 | 0,3361 | 0,3258 | 0,3161 | 0,3069 | 0,2982 | 0,2901 | 0,2824 | 0,2751 |
| 2 | 0,6959 | 0,6734 | 0,6527 | 0,6329 | 0,6150 | 0,5974 | 0,5807 | 0,5653 | 0,5506 |
| 3 | 1,046 | 1,012 | 0,9804 | 0,9506 | 0,9234 | 0,8969 | 0,8718 | 0,8482 | 0,8264 |
| 4 | 1,397 | 1,352 | 1,309 | 1,269 | 1,232 | 1,197 | 1,164 | 1,133 | 1,103 |
| 5 | 1,749 | 1,692 | 1,639 | 1,589 | 1,542 | 1,498 | 1,456 | 1,417 | 1,380 |
| 6 | 2,104 | 2,035 | 1,970 | 1,910 | 1,853 | 1,799 | 1,749 | 1,702 | 1,657 |
| 8 | 2,815 | 2,723 | 2,634 | 2,550 | 2,476 | 2,404 | 2,336 | 2,273 | 2,213 |
| 10 | 3,534 | 3,414 | 3,302 | 3,199 | 3,103 | 3,012 | 2,927 | 2,846 | 2,770 |
| 12 | 4,257 | 4,110 | 3,976 | 3,849 | 3,733 | 3,622 | 3,519 | 3,421 | 3,330 |
| 14 | 4,985 | 4,812 | 4,651 | 4,505 | 4,367 | 4,235 | 4,114 | 3,998 | 3,891 |
| 16 | 5,721 | 5,519 | 5,333 | 5,163 | 5,000 | 4,850 | 4,710 | 4,579 | 4,454 |
| 18 | 6,464 | 6,230 | 6,020 | 5,824 | 5,640 | 5,467 | 5,308 | 5,160 | 5,018 |
| 20 | 7,215 | 6,949 | 6,707 | 6,485 | 6,285 | 6,090 | 5,910 | 5,744 | 5,583 |
| 25 | 9,107 | 8,764 | 8,453 | 8,163 | 7,899 | 7,651 | 7,424 | 7,210 | 7,008 |
| 30 | 11,04 | 10,61 | 10,22 | 9,872 | 9,542 | 9,234 | 8,953 | 8,688 | 8,446 |
| 35 | 13,02 | 12,50 | 12,03 | 11,60 | 11,20 | 10,84 | 10,50 | 10,19 | 9,891 |
| 40 | 15,05 | 14,42 | 13,86 | 13,35 | 12,88 | 12,45 | 12,06 | 11,69 | 11,35 |
| 45 | 17,13 | 16,39 | 15,73 | 15,13 | 14,59 | 14,09 | 13,64 | 13,22 | 12,83 |
| 50 | 19,27 | 18,40 | 17,63 | 16,94 | 16,32 | 15,75 | 15,23 | 14,75 | 14,30 |
| 60 | 23,74 | 22,55 | 21,54 | 20,64 | 19,85 | 19,13 | 18,47 | 17,87 | 17,31 |
| 70 | 28,49 | 26,93 | 25,61 | 24,48 | 23,48 | 22,59 | 21,78 | 21,05 | 20,37 |
| 80 | 33,62 | 31,51 | 29,87 | 28,45 | 27,23 | 26,14 | 25,17 | 24,29 | 23,48 |
| 90 | 39,21 | 36,47 | 34,33 | 32,58 | 31,09 | 29,79 | 28,64 | 27,59 | 26,65 |
| 100 | 45,27 | 41,72 | 39,05 | 36,90 | 35,09 | 33,55 | 32,19 | 30,97 | 29,88 |
| 110 | 52,08 | 47,39 | 44,03 | 41,41 | 39,25 | 37,41 | 35,83 | 34,42 | 33,17 |
| 120 | 59,77 | 53,59 | 49,33 | 46,13 | 43,57 | 41,41 | 39,56 | 37,95 | 36,52 |

Nach Koch, W., VDI-Wasserdampftafeln. Berlin und München 1937.

9. Wärmehalt des überhitzten Wasserdampfes.

| Temp. °C | Druck abs. kg/cm ² | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 25 | 30 |
| 200 | 681,1 | 678,7 | 676,1 | 673,3 | 670,2 | | | | | |
| 2 | 682,1 | 679,8 | 677,2 | 674,5 | 671,5 | 668,1 | | | | |
| 4 | 683,1 | 680,9 | 678,3 | 675,7 | 672,8 | 669,6 | | | | |
| 6 | 684,1 | 681,9 | 679,4 | 676,9 | 674,1 | 671,0 | | | | |
| 8 | 685,1 | 682,9 | 680,5 | 678,0 | 675,4 | 672,4 | 669,2 | | | |
| 210 | 686,1 | 684,0 | 681,6 | 679,2 | 676,7 | 673,8 | 670,7 | | | |
| 2 | 687,1 | 685,0 | 682,7 | 680,3 | 677,9 | 675,1 | 672,2 | 668,8 | | |
| 4 | 688,1 | 686,1 | 683,8 | 681,5 | 679,1 | 676,4 | 673,6 | 670,4 | | |
| 6 | 689,1 | 687,1 | 684,9 | 682,6 | 680,3 | 677,7 | 675,0 | 671,9 | | |
| 8 | 690,1 | 688,1 | 686,0 | 683,7 | 681,5 | 679,0 | 676,3 | 673,4 | | |
| 220 | 691,1 | 689,2 | 687,2 | 684,9 | 682,7 | 680,3 | 677,7 | 674,9 | | |
| 2 | 692,1 | 690,2 | 688,2 | 685,9 | 683,8 | 681,5 | 679,0 | 676,3 | | |
| 4 | 693,1 | 691,2 | 689,3 | 687,0 | 684,9 | 682,7 | 680,3 | 677,7 | 670,3 | |
| 6 | 694,1 | 692,2 | 690,3 | 688,1 | 686,1 | 683,9 | 681,5 | 679,1 | 679,4 | |
| 8 | 695,1 | 693,3 | 691,3 | 689,3 | 687,2 | 685,1 | 682,8 | 680,4 | 673,5 | |
| 230 | 696,1 | 694,3 | 692,4 | 690,4 | 688,4 | 686,3 | 684,0 | 681,7 | 675,0 | |
| 2 | 697,1 | 695,3 | 693,4 | 691,5 | 689,5 | 687,4 | 685,2 | 683,0 | 676,5 | |
| 4 | 698,1 | 696,3 | 694,5 | 692,5 | 690,6 | 688,6 | 686,3 | 684,3 | 677,9 | 670,6 |
| 6 | 699,0 | 697,3 | 695,5 | 693,6 | 691,7 | 689,7 | 687,5 | 685,5 | 679,4 | 672,4 |
| 8 | 700,0 | 698,3 | 696,6 | 694,7 | 692,8 | 690,8 | 688,7 | 686,8 | 680,8 | 674,0 |
| 240 | 701,0 | 699,3 | 697,6 | 695,8 | 694,0 | 692,0 | 690,0 | 688,0 | 682,2 | 675,7 |
| 2 | 702,0 | 700,3 | 698,6 | 696,9 | 695,1 | 693,1 | 691,1 | 689,3 | 683,5 | 677,3 |
| 4 | 703,0 | 701,3 | 699,7 | 697,9 | 696,2 | 694,2 | 692,2 | 690,5 | 684,9 | 678,8 |
| 6 | 704,0 | 702,4 | 700,7 | 699,0 | 697,2 | 695,4 | 693,4 | 691,7 | 686,3 | 680,4 |
| 8 | 705,0 | 703,4 | 701,8 | 700,0 | 698,3 | 696,5 | 694,5 | 692,8 | 687,6 | 681,8 |
| 250 | 706,0 | 704,4 | 702,8 | 701,1 | 699,4 | 697,6 | 695,7 | 694,0 | 688,9 | 683,3 |
| 2 | 707,0 | 705,4 | 703,8 | 702,2 | 700,4 | 698,7 | 696,8 | 695,2 | 690,2 | 684,8 |
| 4 | 708,0 | 706,4 | 704,9 | 703,2 | 701,5 | 699,8 | 698,0 | 696,4 | 691,5 | 686,2 |
| 6 | 708,9 | 707,4 | 705,9 | 704,2 | 702,6 | 700,9 | 699,1 | 697,5 | 692,7 | 687,6 |
| 8 | 709,9 | 708,4 | 706,9 | 705,3 | 703,6 | 702,0 | 700,2 | 698,7 | 694,0 | 689,0 |
| 260 | 710,9 | 709,4 | 707,9 | 706,3 | 704,7 | 703,1 | 701,4 | 699,8 | 695,2 | 690,3 |
| 2 | 711,9 | 710,3 | 708,9 | 707,4 | 705,8 | 704,2 | 702,5 | 700,9 | 696,4 | 691,7 |
| 4 | 712,8 | 711,3 | 709,9 | 708,4 | 706,9 | 705,3 | 703,6 | 702,1 | 697,6 | 693,0 |
| 6 | 713,8 | 712,3 | 710,9 | 709,4 | 707,9 | 706,4 | 704,7 | 703,2 | 698,8 | 694,3 |
| 8 | 714,8 | 713,3 | 711,9 | 710,5 | 709,0 | 707,5 | 705,8 | 704,3 | 700,0 | 695,6 |
| 270 | 715,8 | 714,3 | 712,9 | 711,5 | 710,0 | 708,5 | 706,9 | 705,3 | 701,2 | 696,8 |
| 2 | 716,8 | 715,3 | 713,9 | 712,5 | 711,0 | 709,5 | 707,9 | 706,4 | 702,4 | 698,0 |
| 4 | 717,7 | 716,3 | 714,9 | 713,5 | 712,0 | 710,6 | 709,0 | 707,5 | 703,5 | 699,3 |
| 6 | 718,7 | 717,3 | 715,9 | 714,6 | 713,1 | 711,7 | 710,1 | 708,6 | 704,7 | 700,6 |
| 8 | 719,7 | 718,3 | 716,9 | 715,6 | 714,1 | 712,7 | 711,2 | 709,7 | 705,9 | 701,8 |
| 280 | 720,7 | 719,3 | 717,9 | 716,6 | 715,2 | 713,8 | 712,4 | 710,9 | 707,1 | 703,1 |
| 2 | 721,6 | 720,3 | 718,9 | 717,6 | 716,2 | 714,9 | 713,4 | 712,0 | 708,2 | 704,3 |
| 4 | 722,6 | 721,3 | 719,9 | 718,6 | 717,2 | 715,9 | 714,5 | 713,1 | 709,3 | 705,5 |
| 6 | 723,6 | 722,2 | 721,0 | 719,6 | 718,2 | 717,0 | 715,6 | 714,2 | 710,5 | 706,7 |
| 8 | 724,6 | 723,2 | 722,0 | 720,6 | 719,3 | 718,1 | 716,6 | 715,3 | 711,7 | 708,0 |
| 290 | 725,5 | 724,2 | 723,0 | 721,6 | 720,3 | 719,1 | 717,7 | 716,4 | 712,9 | 709,2 |
| 2 | 726,5 | 725,2 | 724,0 | 722,7 | 721,3 | 720,2 | 718,8 | 717,5 | 714,0 | 710,4 |
| 4 | 727,5 | 726,2 | 725,0 | 723,7 | 722,4 | 721,2 | 719,9 | 718,6 | 715,1 | 711,6 |
| 6 | 728,5 | 727,3 | 726,0 | 724,7 | 723,4 | 722,3 | 721,0 | 719,7 | 716,3 | 712,8 |
| 8 | 729,5 | 728,3 | 727,0 | 725,8 | 724,5 | 723,3 | 722,1 | 720,8 | 717,4 | 714,0 |
| 300 | 730,5 | 729,3 | 728,1 | 726,8 | 725,6 | 724,4 | 723,2 | 721,9 | 718,6 | 715,2 |
| 2 | 731,4 | 730,3 | 729,1 | 727,8 | 726,6 | 725,4 | 724,2 | 722,9 | 719,7 | 716,4 |
| 4 | 732,4 | 731,2 | 730,1 | 728,8 | 727,6 | 726,4 | 725,2 | 724,0 | 720,8 | 717,6 |
| 6 | 733,4 | 732,2 | 731,1 | 729,8 | 728,6 | 727,5 | 726,3 | 725,1 | 721,9 | 718,7 |
| 8 | 734,4 | 733,2 | 732,1 | 730,8 | 729,7 | 728,5 | 727,3 | 726,1 | 723,0 | 719,9 |

Die Werte der Zehnergrade sind entnommen aus: Koch, W., VDI-Wasserdampf tafeln. Berlin und München 1937. Die übrigen Werte sind durch graphische Interpolation ermittelt.

9. Wärmehalt des überhitzten Wasserdampfes (Fortsetzung)

| Druck abs. kg/cm ² | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
| 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 670,1 | | | | | | | | | | |
| 671,8 | | | | | | | | | | |
| 673,5 | | | | | | | | | | |
| 675,2 | | | | | | | | | | |
| 676,9 | 669,8 | | | | | | | | | |
| 678,6 | 671,6 | | | | | | | | | |
| 680,2 | 673,5 | | | | | | | | | |
| 681,8 | 675,3 | | | | | | | | | |
| 683,3 | 677,0 | 669,9 | | | | | | | | |
| 684,8 | 678,7 | 671,8 | | | | | | | | |
| 686,3 | 680,4 | 673,8 | | | | | | | | |
| 687,7 | 682,0 | 675,7 | 668,7 | | | | | | | |
| 689,2 | 683,6 | 677,5 | 670,7 | | | | | | | |
| 690,6 | 685,2 | 679,3 | 672,7 | | | | | | | |
| 692,0 | 686,8 | 681,0 | 674,6 | | | | | | | |
| 693,4 | 688,3 | 682,6 | 676,5 | | | | | | | |
| 694,8 | 689,8 | 684,3 | 678,3 | | | | | | | |
| 696,2 | 691,2 | 685,9 | 680,1 | 666,8 | | | | | | |
| 697,5 | 692,7 | 687,5 | 681,8 | 669,0 | | | | | | |
| 698,8 | 694,2 | 689,1 | 683,6 | 671,1 | | | | | | |
| 700,2 | 695,6 | 690,6 | 685,3 | 673,2 | | | | | | |
| 701,5 | 697,0 | 692,1 | 687,0 | 675,2 | | | | | | |
| 702,8 | 698,4 | 693,6 | 688,6 | 677,2 | 663,8 | | | | | |
| 704,0 | 699,8 | 695,2 | 690,2 | 679,1 | 666,2 | | | | | |
| 705,2 | 701,1 | 696,6 | 691,8 | 681,0 | 668,5 | | | | | |
| 706,6 | 702,5 | 698,1 | 693,4 | 682,9 | 670,8 | | | | | |
| 707,9 | 703,8 | 699,6 | 694,9 | 684,7 | 673,0 | 659,4 | | | | |
| 709,1 | 705,2 | 701,0 | 696,4 | 686,5 | 675,1 | 661,9 | | | | |
| 710,4 | 706,5 | 702,4 | 698,0 | 688,2 | 677,1 | 664,4 | | | | |
| 711,6 | 707,8 | 703,8 | 699,5 | 690,0 | 679,2 | 666,8 | | | | |
| 712,8 | 709,1 | 705,2 | 701,0 | 691,7 | 681,2 | 669,1 | 655,3 | | | |
| 714,1 | 710,4 | 706,6 | 702,5 | 693,3 | 683,1 | 671,5 | 658,1 | | | |
| 715,3 | 711,6 | 708,0 | 703,9 | 695,0 | 685,1 | 673,8 | 660,9 | | | |
| 716,5 | 712,9 | 709,3 | 705,3 | 696,6 | 687,0 | 676,0 | 663,5 | | | |

9. Wärmehalt des überhitzten Wasserdampfes (Fortsetzung)

| Temp. °C | Druck abs. kg/cm ² | | | | | | | | | |
|-------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 25 | 30 |
| 310 | 735,4 | 734,2 | 733,1 | 731,9 | 730,7 | 729,6 | 728,4 | 727,2 | 724,1 | 721,0 |
| 2 | 736,4 | 735,2 | 734,1 | 732,9 | 731,7 | 729,6 | 728,3 | 727,2 | 725,2 | 722,2 |
| 4 | 737,4 | 736,2 | 735,1 | 733,9 | 732,7 | 731,6 | 730,5 | 729,3 | 726,3 | 723,4 |
| 6 | 738,4 | 737,2 | 736,1 | 734,9 | 733,8 | 732,7 | 731,5 | 730,4 | 727,4 | 724,5 |
| 8 | 739,3 | 738,2 | 737,1 | 735,9 | 734,8 | 733,7 | 732,6 | 731,5 | 728,5 | 725,7 |
| 320 | 740,3 | 739,2 | 738,2 | 737,0 | 735,9 | 734,8 | 733,7 | 732,6 | 729,6 | 726,8 |
| 2 | 741,3 | 740,2 | 739,2 | 738,0 | 736,9 | 735,8 | 734,7 | 733,6 | 730,7 | 727,9 |
| 4 | 742,3 | 741,2 | 740,2 | 739,0 | 737,9 | 736,9 | 735,8 | 734,7 | 731,8 | 729,0 |
| 6 | 743,3 | 742,2 | 741,2 | 740,0 | 739,0 | 737,9 | 736,8 | 735,7 | 732,9 | 730,1 |
| 8 | 744,3 | 743,2 | 742,2 | 741,1 | 740,0 | 739,0 | 737,9 | 736,8 | 734,0 | 731,2 |
| 330 | 745,3 | 744,2 | 743,2 | 742,1 | 741,0 | 740,0 | 738,9 | 737,9 | 735,1 | 732,4 |
| 2 | 746,2 | 745,2 | 744,2 | 743,1 | 742,0 | 741,0 | 739,9 | 738,9 | 736,2 | 733,5 |
| 4 | 747,2 | 746,2 | 745,2 | 744,1 | 743,1 | 742,1 | 741,0 | 740,0 | 737,3 | 734,6 |
| 6 | 748,2 | 747,2 | 746,2 | 745,2 | 744,1 | 743,1 | 742,1 | 741,1 | 738,4 | 735,7 |
| 8 | 749,2 | 748,2 | 747,2 | 746,2 | 745,2 | 744,2 | 743,1 | 742,2 | 739,5 | 736,9 |
| 340 | 750,2 | 749,2 | 748,2 | 747,2 | 746,2 | 745,2 | 744,2 | 743,2 | 740,6 | 738,0 |
| 2 | 751,2 | 750,2 | 749,2 | 748,2 | 747,2 | 746,3 | 745,2 | 744,3 | 741,7 | 739,1 |
| 4 | 752,2 | 751,2 | 750,2 | 749,2 | 748,2 | 747,3 | 746,3 | 745,3 | 742,8 | 740,3 |
| 6 | 753,2 | 752,2 | 751,3 | 750,2 | 749,2 | 748,3 | 747,3 | 746,4 | 743,8 | 741,4 |
| 8 | 754,1 | 753,2 | 752,3 | 751,3 | 750,3 | 749,4 | 748,4 | 747,4 | 744,9 | 742,5 |
| 350 | 755,1 | 754,2 | 753,3 | 752,3 | 751,3 | 750,4 | 749,4 | 748,5 | 746,0 | 743,6 |
| 2 | 756,1 | 755,2 | 754,3 | 753,3 | 752,3 | 751,4 | 750,4 | 749,5 | 747,1 | 744,7 |
| 4 | 757,1 | 756,2 | 755,3 | 754,3 | 753,3 | 752,4 | 751,5 | 750,6 | 748,2 | 745,8 |
| 6 | 758,1 | 757,2 | 756,3 | 755,3 | 754,3 | 753,5 | 752,5 | 751,6 | 749,3 | 746,9 |
| 8 | 759,1 | 758,2 | 757,3 | 756,3 | 755,4 | 754,5 | 753,6 | 752,7 | 750,3 | 748,0 |
| 360 | 760,1 | 759,2 | 758,3 | 757,4 | 756,4 | 755,5 | 754,6 | 753,7 | 751,4 | 749,1 |
| 2 | 761,1 | 760,2 | 759,3 | 758,4 | 757,4 | 756,6 | 755,6 | 754,7 | 752,4 | 750,2 |
| 4 | 762,1 | 761,2 | 760,3 | 759,4 | 758,4 | 757,6 | 756,7 | 755,8 | 753,5 | 751,3 |
| 6 | 763,1 | 762,2 | 761,3 | 760,4 | 759,4 | 758,6 | 757,7 | 756,8 | 754,5 | 752,4 |
| 8 | 764,1 | 763,2 | 762,3 | 761,4 | 760,6 | 759,7 | 758,8 | 757,9 | 755,6 | 753,5 |
| 370 | 765,1 | 764,2 | 763,3 | 762,4 | 761,6 | 760,7 | 759,8 | 758,9 | 756,7 | 754,6 |
| 2 | 766,1 | 765,2 | 764,3 | 763,5 | 762,6 | 761,7 | 760,8 | 760,0 | 757,7 | 755,7 |
| 4 | 767,0 | 766,2 | 765,3 | 764,5 | 763,6 | 762,8 | 761,9 | 761,0 | 758,8 | 756,7 |
| 6 | 768,0 | 767,2 | 766,4 | 765,5 | 764,6 | 763,8 | 762,9 | 762,1 | 759,9 | 757,8 |
| 8 | 769,0 | 768,2 | 767,4 | 766,5 | 765,7 | 764,8 | 764,0 | 763,1 | 761,0 | 758,9 |
| 380 | 770,0 | 769,2 | 768,4 | 767,5 | 766,7 | 765,9 | 765,0 | 764,2 | 762,1 | 760,0 |
| 2 | 771,0 | 770,2 | 769,4 | 768,5 | 767,7 | 766,9 | 766,0 | 765,2 | 763,1 | 761,1 |
| 4 | 772,0 | 771,2 | 770,4 | 769,6 | 768,7 | 767,9 | 767,1 | 766,3 | 764,2 | 762,2 |
| 6 | 773,0 | 772,2 | 771,4 | 770,6 | 769,7 | 769,0 | 768,1 | 767,3 | 765,3 | 763,2 |
| 8 | 774,0 | 773,2 | 772,4 | 771,6 | 770,8 | 770,0 | 769,2 | 768,4 | 766,3 | 764,3 |
| 390 | 775,0 | 774,2 | 773,4 | 772,6 | 771,8 | 771,0 | 770,2 | 769,4 | 767,4 | 765,4 |
| 2 | 776,0 | 775,2 | 774,4 | 773,6 | 772,8 | 772,1 | 771,2 | 770,5 | 768,4 | 766,4 |
| 4 | 777,0 | 776,2 | 775,4 | 774,6 | 773,8 | 773,1 | 772,3 | 771,5 | 769,5 | 767,5 |
| 6 | 778,0 | 777,2 | 776,4 | 775,7 | 774,9 | 774,2 | 773,3 | 772,6 | 770,6 | 768,6 |
| 8 | 779,0 | 778,2 | 777,4 | 776,7 | 775,9 | 775,2 | 774,4 | 773,6 | 771,6 | 769,7 |
| 400 | 780,0 | 779,2 | 778,4 | 777,7 | 776,9 | 776,2 | 775,4 | 774,7 | 772,7 | 770,8 |
| 10 | 785,0 | 784,3 | 783,5 | 782,8 | 782,1 | 781,3 | 780,6 | 779,9 | 778,0 | 776,2 |
| 20 | 790,0 | 789,3 | 788,6 | 787,9 | 787,2 | 786,5 | 785,8 | 785,1 | 783,3 | 781,6 |
| 30 | 795,0 | 794,4 | 793,7 | 793,0 | 792,4 | 791,7 | 791,0 | 790,4 | 788,7 | 787,0 |
| 40 | 800,1 | 799,5 | 798,8 | 798,2 | 797,6 | 796,9 | 796,3 | 795,6 | 794,0 | 792,4 |
| 450 | 805,2 | 804,6 | 804,0 | 803,3 | 802,7 | 802,1 | 801,5 | 800,8 | 799,3 | 797,7 |
| 60 | 810,3 | 809,7 | 809,1 | 808,5 | 807,9 | 807,3 | 806,7 | 806,1 | 804,6 | 803,1 |
| 70 | 815,4 | 814,8 | 814,3 | 813,7 | 813,1 | 812,5 | 811,9 | 811,4 | 809,9 | 808,5 |
| 80 | 820,6 | 820,0 | 819,4 | 818,9 | 818,3 | 817,8 | 817,2 | 816,7 | 815,3 | 813,9 |
| 90 | 825,7 | 825,2 | 824,6 | 824,1 | 823,6 | 823,0 | 822,5 | 822,0 | 820,6 | 819,3 |
| 500 | 830,9 | 830,4 | 829,8 | 829,4 | 828,8 | 828,3 | 827,8 | 827,3 | 826,0 | 824,7 |
| 10 | 836,1 | 835,6 | 835,1 | 834,6 | 834,1 | 833,6 | 833,1 | 832,6 | 831,4 | 830,1 |
| 20 | 841,3 | 840,8 | 840,3 | 839,9 | 839,4 | 838,9 | 838,4 | 837,9 | 836,8 | 835,5 |
| 30 | 846,5 | 846,0 | 845,6 | 845,2 | 844,7 | 844,2 | 843,7 | 843,3 | 842,2 | 841,0 |
| 40 | 851,8 | 851,3 | 850,9 | 850,5 | 850,0 | 849,6 | 849,1 | 848,7 | 847,6 | 846,5 |
| 550 | 857,0 | 856,5 | 856,1 | 855,8 | 855,3 | 854,9 | 854,4 | 854,0 | 852,9 | 851,9 |

9. Wärmehalt des überhitzten Wasserdampfes (Fortsetzung)

| Druck abs. kg/cm ² | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 717,7 | 714,2 | 710,6 | 706,7 | 698,3 | 688,8 | 678,1 | 665,9 | 651,7 | | |
| 718,9 | 715,5 | 711,9 | 708,1 | 699,9 | 690,6 | 680,2 | 668,5 | 654,7 | | |
| 720,1 | 716,7 | 713,2 | 709,5 | 701,5 | 692,4 | 682,3 | 670,9 | 657,6 | | |
| 721,3 | 718,0 | 714,5 | 710,9 | 703,0 | 694,1 | 684,3 | 673,2 | 660,5 | | |
| 722,5 | 719,2 | 715,8 | 712,2 | 704,5 | 695,9 | 686,3 | 675,5 | 663,3 | 649,2 | |
| 723,6 | 720,5 | 717,1 | 713,6 | 706,0 | 697,7 | 688,3 | 677,7 | 666,0 | 652,4 | |
| 724,8 | 721,7 | 718,4 | 714,9 | 707,5 | 699,3 | 690,3 | 679,9 | 668,5 | 655,5 | |
| 726,0 | 722,9 | 719,7 | 716,3 | 709,0 | 701,0 | 692,2 | 682,1 | 671,1 | 658,5 | 643,5 |
| 727,1 | 724,1 | 720,9 | 717,6 | 710,5 | 702,6 | 694,1 | 684,2 | 673,5 | 661,4 | 647,3 |
| 728,3 | 725,4 | 722,2 | 718,9 | 712,0 | 704,3 | 695,9 | 686,4 | 675,9 | 664,2 | 650,7 |
| 729,5 | 726,6 | 723,4 | 720,2 | 713,4 | 705,9 | 697,6 | 688,5 | 678,3 | 667,0 | 654,0 |
| 730,6 | 727,8 | 724,7 | 721,5 | 714,8 | 707,4 | 699,4 | 690,5 | 680,6 | 669,6 | 657,1 |
| 731,7 | 729,0 | 726,0 | 722,8 | 716,2 | 709,0 | 701,1 | 692,5 | 682,8 | 672,2 | 660,1 |
| 732,9 | 730,2 | 727,2 | 724,1 | 717,6 | 710,5 | 702,8 | 694,4 | 685,0 | 674,7 | 663,0 |
| 734,1 | 731,4 | 728,4 | 725,4 | 719,0 | 712,0 | 704,5 | 696,3 | 687,1 | 677,2 | 666,0 |
| 735,3 | 732,5 | 729,6 | 726,6 | 720,4 | 713,6 | 706,2 | 698,1 | 689,2 | 679,6 | 668,9 |
| 736,4 | 733,7 | 730,8 | 727,8 | 721,8 | 715,1 | 707,8 | 700,0 | 691,2 | 681,9 | 671,5 |
| 737,5 | 734,9 | 732,0 | 729,1 | 723,1 | 716,6 | 709,5 | 701,8 | 693,3 | 684,1 | 674,1 |
| 738,7 | 736,0 | 733,2 | 730,4 | 724,4 | 718,1 | 711,1 | 703,6 | 695,3 | 686,4 | 676,6 |
| 739,8 | 737,2 | 734,5 | 731,6 | 725,8 | 719,6 | 712,7 | 705,4 | 697,2 | 688,6 | 679,0 |
| 741,0 | 738,3 | 735,7 | 732,9 | 727,1 | 721,0 | 714,3 | 707,1 | 699,2 | 690,7 | 681,4 |
| 742,1 | 739,4 | 736,9 | 734,1 | 728,4 | 722,4 | 715,9 | 708,8 | 701,1 | 692,8 | 683,8 |
| 743,2 | 740,6 | 738,1 | 735,4 | 729,8 | 723,9 | 717,5 | 710,5 | 703,0 | 694,9 | 686,1 |
| 744,3 | 741,8 | 739,3 | 736,6 | 731,1 | 725,3 | 719,0 | 712,2 | 704,8 | 697,0 | 688,4 |
| 745,5 | 742,9 | 740,4 | 737,8 | 732,4 | 726,7 | 720,5 | 713,8 | 706,6 | 698,9 | 690,6 |
| 746,6 | 744,1 | 741,6 | 739,1 | 733,7 | 728,1 | 722,0 | 715,5 | 708,4 | 700,9 | 692,7 |
| 747,7 | 745,3 | 742,8 | 740,3 | 735,0 | 729,5 | 723,4 | 717,2 | 710,2 | 702,8 | 694,9 |
| 748,8 | 746,4 | 744,0 | 741,5 | 736,2 | 730,8 | 724,9 | 718,8 | 711,9 | 704,6 | 697,0 |
| 750,0 | 747,5 | 745,2 | 742,7 | 737,5 | 732,2 | 726,4 | 720,4 | 713,6 | 706,6 | 699,0 |
| 751,1 | 748,7 | 746,3 | 743,9 | 738,8 | 733,6 | 727,8 | 721,9 | 715,3 | 708,4 | 701,1 |
| 752,2 | 749,8 | 747,5 | 745,1 | 740,1 | 734,9 | 729,3 | 723,4 | 717,0 | 710,3 | 703,1 |
| 753,3 | 750,9 | 748,6 | 746,3 | 741,3 | 736,3 | 730,7 | 724,9 | 718,7 | 712,1 | 705,0 |
| 754,4 | 752,1 | 749,8 | 747,5 | 742,6 | 737,6 | 732,2 | 726,4 | 720,3 | 713,8 | 707,0 |
| 755,5 | 753,2 | 751,0 | 748,7 | 743,8 | 739,0 | 733,6 | 727,9 | 722,0 | 715,5 | 708,9 |
| 756,6 | 754,4 | 752,1 | 749,9 | 745,1 | 740,3 | 735,0 | 729,4 | 723,6 | 717,3 | 710,8 |
| 757,8 | 755,5 | 753,3 | 751,1 | 746,4 | 741,5 | 736,4 | 730,9 | 725,2 | 719,1 | 712,6 |
| 758,9 | 756,6 | 754,5 | 752,3 | 747,6 | 742,8 | 737,8 | 732,4 | 726,8 | 720,8 | 714,4 |
| 760,0 | 757,8 | 755,6 | 753,5 | 748,8 | 744,1 | 739,3 | 733,8 | 728,4 | 722,5 | 716,2 |
| 761,1 | 758,9 | 756,8 | 754,6 | 750,1 | 745,4 | 740,6 | 735,3 | 730,0 | 724,1 | 718,0 |
| 762,2 | 760,0 | 757,9 | 755,8 | 751,3 | 746,7 | 742,0 | 736,7 | 731,5 | 725,8 | 719,7 |
| 763,3 | 761,2 | 759,1 | 757,0 | 752,6 | 748,0 | 743,3 | 738,2 | 733,0 | 727,4 | 721,5 |
| 764,4 | 762,3 | 760,2 | 758,2 | 753,8 | 749,3 | 744,7 | 739,6 | 734,5 | 729,0 | 723,2 |
| 765,5 | 763,4 | 761,3 | 759,3 | 755,0 | 750,6 | 746,0 | 741,1 | 736,0 | 730,6 | 724,9 |
| 766,6 | 764,6 | 762,5 | 760,5 | 756,2 | 751,9 | 747,4 | 742,5 | 737,5 | 732,2 | 726,6 |
| 767,7 | 765,7 | 763,6 | 761,6 | 757,4 | 753,2 | 748,7 | 743,9 | 739,0 | 733,8 | 728,3 |
| 768,8 | 766,8 | 764,8 | 762,8 | 758,7 | 754,4 | 750,0 | 745,3 | 740,4 | 735,3 | 730,0 |
| 774,3 | 772,4 | 770,5 | 768,6 | 764,7 | 760,6 | 756,5 | 752,1 | 747,6 | 742,9 | 738,0 |
| 779,8 | 778,0 | 776,1 | 774,3 | 770,6 | 766,8 | 762,9 | 758,8 | 754,6 | 750,3 | 745,7 |
| 785,3 | 783,5 | 781,8 | 780,0 | 776,5 | 772,9 | 769,2 | 765,3 | 761,4 | 757,4 | 753,2 |
| 790,7 | 789,1 | 787,4 | 785,7 | 782,4 | 778,9 | 775,4 | 771,8 | 768,1 | 764,3 | 760,4 |
| 796,1 | 794,6 | 793,0 | 791,4 | 788,2 | 784,9 | 781,6 | 778,1 | 774,7 | 771,1 | 767,4 |
| 801,6 | 800,1 | 798,5 | 797,0 | 793,9 | 790,8 | 787,6 | 784,4 | 781,1 | 777,7 | 774,3 |
| 807,0 | 805,6 | 804,1 | 802,7 | 799,7 | 796,7 | 793,7 | 790,6 | 787,5 | 784,3 | 781,0 |
| 812,5 | 811,1 | 809,7 | 808,3 | 805,5 | 802,6 | 799,7 | 796,8 | 793,8 | 790,7 | 787,7 |
| 818,0 | 816,6 | 815,3 | 813,9 | 811,2 | 808,4 | 805,7 | 802,9 | 800,0 | 797,1 | 794,2 |
| 823,4 | 822,1 | 820,8 | 819,5 | 816,9 | 814,3 | 811,6 | 808,9 | 806,2 | 803,4 | 800,6 |
| 828,9 | 827,6 | 826,4 | 825,1 | 822,6 | 820,1 | 817,5 | 814,9 | 812,4 | 809,8 | 807,1 |
| 834,3 | 833,1 | 831,9 | 830,7 | 828,3 | 825,9 | 823,4 | 820,9 | 818,5 | 816,0 | 813,5 |
| 839,8 | 838,7 | 837,5 | 836,3 | 834,0 | 831,6 | 829,3 | 826,9 | 824,5 | 822,2 | 819,9 |
| 845,3 | 844,2 | 843,1 | 841,9 | 839,7 | 837,4 | 835,2 | 832,9 | 830,6 | 828,3 | 825,9 |
| 850,8 | 849,7 | 848,6 | 847,6 | 845,4 | 843,2 | 841,0 | 838,9 | 836,6 | 834,2 | 832,0 |

10. Dampf-

Erzeugte Dampfmenge in kg je m³ Heißwasser

| | Anfangsdampfdruck abs. kg/cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| | 25,0 | 24,0 | 23,0 | 22,0 | 21,0 | 20,0 | 19,0 | 18,0 | 17,0 | 16,0 | 15,0 | 14,5 | 14,0 | 13,5 | 13,0 | 12,5 | 12,0 | 11,5 |
| 1,5 | 177 | 174 | 171 | 167 | 164 | 161 | 158 | 153 | 151 | 147 | 142,5 | 140 | 138 | 135,5 | 133 | 130,5 | 128 | 125 |
| 2,0 | 166 | 163 | 160 | 156 | 153 | 150 | 146 | 142 | 138 | 134 | 130 | 127,8 | 125,2 | 123 | 120,4 | 118 | 115 | 112 |
| 2,5 | 156 | 153 | 150 | 146,5 | 143,5 | 140 | 136 | 132 | 128 | 124 | 119,5 | 117,5 | 115 | 112,3 | 109,5 | 107 | 104 | 101 |
| 3,0 | 148 | 145 | 141,5 | 138,5 | 135 | 131 | 127,5 | 123,5 | 119 | 115 | 110,6 | 108,2 | 105,8 | 103 | 100,2 | 97,5 | 94,2 | 91,2 |
| 3,5 | 140,5 | 137,5 | 134,5 | 131 | 127,5 | 123,5 | 119,5 | 115,5 | 111 | 106,5 | 101,6 | 99 | 96,6 | 94 | 91,2 | 88,5 | 85,5 | 82,5 |
| 4,0 | 134 | 131 | 128 | 124,5 | 121 | 116,5 | 112,5 | 108,5 | 103,5 | 98 | 94,3 | 92 | 89,2 | 86,8 | 83,9 | 81 | 77,5 | 74,4 |
| 4,5 | 128,5 | 125 | 122 | 118,5 | 115 | 110 | 106 | 102,5 | 97 | 92,6 | 87,7 | 85,2 | 82,5 | 79,8 | 76,8 | 74 | 71 | 67,5 |
| 5,0 | 123 | 119,5 | 116 | 112,5 | 109 | 104,5 | 100,5 | 96,5 | 91 | 86,7 | 80,7 | 79,2 | 77 | 74 | 71 | 68 | 64,2 | 61 |
| 5,5 | 117,5 | 114 | 110,5 | 107 | 103 | 99 | 95 | 90,5 | 85,5 | 80,7 | 75,7 | 73 | 70,5 | 67,6 | 64,8 | 61,6 | 58,5 | 54,9 |
| 6,0 | 112 | 109 | 105,5 | 102 | 98 | 94 | 89,5 | 85 | 80 | 75,5 | 70,5 | 68 | 65 | 62 | 59 | 56 | 52,5 | 49 |
| 6,5 | 107,5 | 104 | 100,5 | 97 | 93 | 89 | 84,5 | 80 | 75,2 | 70,5 | 65,5 | 62,5 | 59,8 | 56,9 | 53,9 | 50,8 | 47,5 | 44 |
| 7,0 | 102,5 | 99,5 | 96 | 92 | 88 | 84 | 80 | 75,5 | 69,9 | 65 | 59,6 | 57 | 54,2 | 51,5 | 48,2 | 45 | 41,7 | 38,4 |
| 7,5 | 98 | 95 | 91,5 | 87 | 83,5 | 79,5 | 75,5 | 70,5 | 65 | 60,3 | 55 | 52,4 | 49,6 | 46,6 | 43,9 | 41 | 37,5 | 34 |
| 8,0 | 94 | 91 | 87 | 83 | 79 | 75 | 71 | 66 | 61 | 56 | 50,8 | 48 | 45,3 | 42,5 | 39,5 | 36,5 | 33,2 | 30 |
| 8,5 | 90 | 87 | 83 | 79 | 75 | 70,5 | 66,5 | 61,5 | 56,5 | 51,8 | 46,2 | 43,6 | 40,8 | 38 | 35 | 32 | 28,8 | 25,5 |
| 9,0 | 86 | 83 | 79 | 75 | 71 | 66,5 | 62 | 57,5 | 52 | 47 | 41,6 | 39 | 36 | 33 | 30 | 27 | 23,8 | 20,5 |
| 9,5 | 82,5 | 79,5 | 75,5 | 71 | 67 | 62,5 | 58 | 53,5 | 48 | 43 | 37,7 | 35 | 32 | 29 | 26 | 23 | 19,8 | 16 |
| 10,0 | 79 | 76 | 72 | 67,5 | 63 | 59 | 54,5 | 50 | 44 | 39,3 | 34 | 31 | 28 | 25 | 22 | 18,5 | 15 | 11,6 |
| 10,5 | 75,5 | 72,5 | 68,5 | 64 | 59,5 | 55,5 | 51 | 46,5 | 40 | 35,6 | 30,5 | 27,5 | 24,5 | 21,5 | 18,3 | 14,8 | 11 | 7,7 |
| 11,0 | 72 | 69 | 65 | 60,5 | 56 | 52 | 47,5 | 43 | 36 | 32 | 27 | 24 | 21 | 18 | 14,5 | 11 | 7 | 3,8 |
| 11,5 | 69 | 65 | 61,5 | 57,5 | 53 | 48,5 | 44 | 39,5 | 33,5 | 28,7 | 23,4 | 20,5 | 17,5 | 14,5 | 10,8 | 7,8 | 3,5 | |
| 12,0 | 66 | 62 | 58 | 54,5 | 50 | 45,5 | 41 | 36 | 30,5 | 25,4 | 19,8 | 17 | 14 | 11 | 7 | 4,5 | | |
| 12,5 | 63 | 59 | 55 | 51,5 | 47 | 42,5 | 38 | 32,5 | 27 | 22 | 16,4 | 13,5 | 10,5 | 7,3 | 3,5 | | | |
| 13,0 | 60 | 56 | 52 | 48,5 | 44 | 39,5 | 35 | 29,5 | 23,5 | 18,5 | 13 | 10 | 7 | 3,5 | | | | |
| 13,5 | 57 | 53 | 49 | 45,5 | 41 | 36,5 | 32 | 26,5 | 20,5 | 15,2 | 9,7 | 6,5 | 3,5 | | | | | |
| 14,0 | 54 | 50 | 46 | 42,5 | 38 | 33,5 | 29 | 23,5 | 17,5 | 12 | 6,4 | 3 | | | | | | |
| 14,5 | 51 | 47 | 43 | 39,5 | 35 | 30,5 | 26 | 20,5 | 14,8 | 9,3 | 3,2 | | | | | | | |
| 15,0 | 48 | 44,5 | 40 | 36,5 | 32 | 27,5 | 23 | 17,5 | 12 | 5,5 | | | | | | | | |
| 16,0 | 42,5 | 39 | 35 | 30,5 | 26 | 21 | 16,5 | 11 | 5,5 | | | | | | | | | |
| 17,0 | 37,5 | 33,5 | 29 | 25 | 20,5 | 15,5 | 11 | 5,5 | | | | | | | | | | |
| 18,0 | 32 | 28 | 24 | 20 | 15,5 | 10 | 6 | | | | | | | | | | | |
| 19,0 | 27,5 | 23,5 | 19 | 15 | 10,5 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 20,0 | 22,5 | 19 | 14,5 | 10 | 5,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 21,0 | 18 | 14 | 9,5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | |
| 22,0 | 13 | 9 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 23,0 | 9 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 24,0 | 4,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Enddampfdruck in ata

speicherung.

bei Spannungsabfall in verschiedenen Grenzen.

| Anfangsdampfdruck abs. kg cm ² | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Enddampfdruck in ata |
|---|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|--|----------------------|
| 11,0 | 10,5 | 10,0 | 9,5 | 9,0 | 8,5 | 8,0 | 7,5 | 7,0 | 6,5 | 6,0 | 5,5 | 5,0 | 4,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,0 | | | |
| 122,5 | 119 | 115,5 | 112 | 108,5 | 104,5 | 100,5 | 97 | 92 | 87,5 | 82,5 | 77 | 71,6 | 65 | 57,5 | 49 | 40 | 28 | 15,5 | 1,5 | | |
| 109 | 105,5 | 102 | 98,8 | 95 | 92 | 87 | 82,5 | 78 | 74 | 68 | 62,5 | 56,5 | 50 | 43 | 34 | 25 | 13,5 | | 2,0 | | |
| 98 | 94,3 | 92 | 87,5 | 84 | 80 | 75,5 | 71,5 | 67,5 | 62 | 56,5 | 50 | 44,5 | 38 | 30 | 22 | 12 | | | 2,5 | | |
| 87,7 | 84,5 | 81 | 75,5 | 74 | 69,5 | 65,2 | 60,5 | 55,6 | 50,6 | 45 | 39,5 | 33,5 | 26,5 | 19 | 10,5 | | | | 3,0 | | |
| 79,2 | 76 | 72,5 | 68,5 | 64,5 | 60 | 55,7 | 51 | 46,0 | 41 | 35,5 | 30 | 23,6 | 17 | 9,5 | | | | | 3,5 | | |
| 71 | 67,5 | 64 | 60,5 | 56,6 | 52 | 48 | 43 | 38 | 33 | 27,5 | 21,5 | 15 | 7,8 | | | | | | 4,0 | | |
| 64 | 61 | 57,2 | 53,5 | 49,2 | 45 | 40,6 | 36 | 31 | 25,5 | 20 | 13,8 | 7,5 | | | | | | | 4,5 | | |
| 57,8 | 54 | 50,5 | 46,7 | 42,5 | 38,2 | 33,5 | 28 | 24 | 18,5 | 12,5 | 7 | | | | | | | | 5,0 | | |
| 51,3 | 47,5 | 44 | 40 | 36 | 32 | 27,5 | 22,7 | 17,7 | 12 | 6,2 | | | | | | | | | 5,5 | | |
| 45,6 | 42 | 38,5 | 34,5 | 30,6 | 26,5 | 21,5 | 16,6 | 11 | 6 | | | | | | | | | | 6,0 | | |
| 40,9 | 37,2 | 33,5 | 30 | 26 | 21 | 16,2 | 11 | 5,8 | | | | | | | | | | | 6,5 | | |
| 34,9 | 31,2 | 27,5 | 23,5 | 19,5 | 15 | 10,5 | 5 | | | | | | | | | | | | 7,0 | | |
| 30,7 | 27,1 | 23,2 | 19 | 15 | 10 | 5,2 | | | | | | | | | | | | | 7,5 | | |
| 26,5 | 22,6 | 18,5 | 14,5 | 10 | 5 | | | | | | | | | | | | | | 8,0 | | |
| 21,6 | 17,6 | 13,5 | 9,5 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | 8,5 | | |
| 16,8 | 12,5 | 8,5 | 4,8 | | | | | | | | | | | | | | | | 9,0 | | |
| 12 | 8,5 | 4,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | 9,5 | | |
| 8 | 4,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10,0 | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10,5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 11,5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12,5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 13,5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 14,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 14,5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 15,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 16,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 17,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 18,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 19,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 20,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 21,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 22,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 23,0 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 24,0 | | |

11. Normkubikmetergewicht von Gasen und Dämpfen.

| Gasart | Normkubikmeter- gewicht kg/Nm ³ |
|---|---|
| Acetylen C ₂ H ₂ | 1,1709 |
| Äthan C ₂ H ₆ | 1,356 |
| Äthylen C ₂ H ₄ | 1,2605 |
| Kohlendioxyd CO ₂ | 1,9768 |
| Kohlenoxyd CO | 1,2500 |
| Luft | 1,2928 |
| Methan CH ₄ | 0,7168 |
| Sauerstoff O ₂ | 1,42895 |
| Schwefeldioxyd SO ₂ | 2,9263 |
| Schwefelwasserstoff H ₂ S | 1,5392 |
| Stickstoff N ₂ | 1,2505 |
| Luftstickstoff | 1,2567 |
| Wasserstoff H ₂ | 0,08987 |
| Benzoldampf C ₆ H ₆ (theoretisch) | 3,48 |
| Wasserdampf H ₂ O (theoretisch) | 0,804 |

Nach DIN 1871. Wiedergabe mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses.

12. Raumgewicht von Luft in kg/Nm³ in Abhängigkeit von Temperatur und Sättigungsgrad.

| Sättigung | - 10° | - 5° | ± 0° | 5° | 10° | 15° | 20° | 25° | 30° | 35° |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\varphi = 0,0$ | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 |
| $\varphi = 0,1$ | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,293 | 1,292 | 1,292 | 1,292 | 1,292 | 1,291 | 1,290 |
| $\varphi = 0,2$ | 1,293 | 1,293 | 1,292 | 1,292 | 1,292 | 1,291 | 1,291 | 1,290 | 1,289 | 1,288 |
| $\varphi = 0,3$ | 1,293 | 1,292 | 1,292 | 1,292 | 1,291 | 1,291 | 1,290 | 1,288 | 1,287 | 1,285 |
| $\varphi = 0,4$ | 1,293 | 1,292 | 1,292 | 1,291 | 1,291 | 1,290 | 1,288 | 1,287 | 1,285 | 1,282 |
| $\varphi = 0,5$ | 1,292 | 1,292 | 1,292 | 1,291 | 1,290 | 1,289 | 1,287 | 1,285 | 1,283 | 1,279 |
| $\varphi = 0,6$ | 1,292 | 1,292 | 1,291 | 1,290 | 1,289 | 1,288 | 1,286 | 1,284 | 1,281 | 1,277 |
| $\varphi = 0,7$ | 1,292 | 1,292 | 1,291 | 1,290 | 1,289 | 1,287 | 1,285 | 1,282 | 1,279 | 1,274 |
| $\varphi = 0,8$ | 1,292 | 1,291 | 1,291 | 1,290 | 1,288 | 1,286 | 1,284 | 1,281 | 1,277 | 1,271 |
| $\varphi = 0,9$ | 1,292 | 1,291 | 1,290 | 1,289 | 1,288 | 1,286 | 1,283 | 1,279 | 1,275 | 1,269 |
| $\varphi = 1,0$ | 1,292 | 1,291 | 1,290 | 1,289 | 1,287 | 1,285 | 1,282 | 1,277 | 1,273 | 1,266 |

13. Mittlere spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen in kcal/Nm³ °C¹) bei verschiedenen Temperaturen (t⁰) und konstantem Druck (p = 0 atf).²⁾

| Temp. t ⁰ | Wasser- stoff | Stick- stoff | Sauer- stoff | Kohlen- oxyd | Wasser- dampf | Kohlen- säure | Schwe- lige Säure | Luft | Temp. | Methan | Acety- len | Äthylen | Äthan | Benzol | Ammo- niak | Schwe- fel- wasser- stoff |
|-------------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|-------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---|--|-------------------------------|------------------------------------|
| | H ₂ | N ₂ | O ₂ | CO | H ₂ O | CO ₂ | SO ₂ | | t ⁰ | CH ₄ | C ₂ H ₂ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ ³⁾ | (Dampf) C ₆ H ₆ ⁴⁾ | NH ₃ ⁴⁾ | H ₂ S ⁴⁾ |
| 0 | 0,306 | 0,311 | 0,312 | 0,311 | 0,356 | 0,387 | 0,425 | 0,310 | 0 | 0,369 | 0,456 | 0,451 | 0,532 | 0,93 | 0,385 | 0,378 |
| 100 | 0,309 | 0,311 | 0,315 | 0,311 | 0,358 | 0,412 | 0,445 | 0,311 | 100 | 0,387 | 0,459 | 0,507 | 0,603 | 1,05 | 0,393 | 0,381 |
| 200 | 0,310 | 0,313 | 0,319 | 0,313 | 0,363 | 0,434 | 0,464 | 0,313 | 200 | 0,420 | 0,525 | 0,560 | 0,671 | 1,16 | 0,403 | 0,388 |
| 300 | 0,311 | 0,314 | 0,324 | 0,315 | 0,367 | 0,452 | 0,480 | 0,315 | 300 | 0,452 | 0,551 | 0,609 | 0,735 | 1,27 | 0,415 | 0,399 |
| 400 | 0,311 | 0,317 | 0,330 | 0,318 | 0,372 | 0,467 | 0,495 | 0,318 | 400 | 0,482 | 0,572 | 0,655 | 0,796 | 1,39 | 0,429 | — |
| 500 | 0,312 | 0,319 | 0,335 | 0,321 | 0,378 | 0,483 | 0,507 | 0,321 | 500 | 0,510 | 0,590 | 0,696 | 0,853 | — | — | — |
| 600 | 0,313 | 0,322 | 0,339 | 0,325 | 0,384 | 0,496 | 0,518 | 0,324 | 600 | 0,538 | 0,606 | 0,734 | 0,906 | — | 0,443 | — |
| 700 | 0,313 | 0,325 | 0,343 | 0,328 | 0,390 | 0,507 | 0,527 | 0,328 | 700 | 0,564 | 0,621 | 0,768 | 0,956 | — | 0,459 | — |
| 800 | 0,315 | 0,328 | 0,347 | 0,332 | 0,397 | 0,517 | 0,535 | 0,331 | 800 | 0,589 | 0,635 | 0,805 | 1,003 | — | — | — |
| 900 | 0,316 | 0,331 | 0,351 | 0,335 | 0,404 | 0,526 | 0,543 | 0,334 | 900 | 0,612 | 0,648 | 0,830 | 1,046 | — | — | — |
| 1000 | 0,317 | 0,334 | 0,354 | 0,338 | 0,410 | 0,534 | 0,548 | 0,337 | 1000 | 0,634 | 0,660 | 0,858 | 1,085 | — | — | — |
| 1100 | 0,319 | 0,337 | 0,356 | 0,341 | 0,416 | 0,541 | 0,554 | 0,340 | | | | | | | | |
| 1200 | 0,321 | 0,340 | 0,359 | 0,344 | 0,422 | 0,548 | 0,559 | 0,343 | | | | | | | | |
| 1300 | 0,323 | 0,342 | 0,362 | 0,346 | 0,428 | 0,553 | 0,563 | 0,345 | | | | | | | | |
| 1400 | 0,325 | 0,345 | 0,364 | 0,349 | 0,434 | 0,559 | 0,567 | 0,347 | | | | | | | | |
| 1500 | 0,326 | 0,347 | 0,366 | 0,350 | 0,439 | 0,564 | 0,570 | 0,350 | | | | | | | | |
| 1600 | 0,328 | 0,349 | 0,368 | 0,353 | 0,445 | 0,569 | 0,573 | 0,352 | | | | | | | | |
| 1700 | 0,330 | 0,351 | 0,370 | 0,354 | 0,450 | 0,573 | 0,576 | 0,354 | | | | | | | | |
| 1800 | 0,332 | 0,353 | 0,372 | 0,356 | 0,455 | 0,577 | 0,579 | 0,355 | | | | | | | | |
| 1900 | 0,334 | 0,354 | 0,374 | 0,358 | 0,460 | 0,580 | 0,580 | 0,357 | | | | | | | | |
| 2000 | 0,336 | 0,356 | 0,376 | 0,359 | 0,465 | 0,584 | 0,584 | 0,358 | | | | | | | | |
| 2100 | 0,337 | 0,358 | 0,377 | 0,361 | 0,470 | 0,587 | 0,585 | 0,360 | | | | | | | | |
| 2200 | 0,340 | 0,359 | 0,383 | 0,363 | 0,474 | 0,590 | 0,585 | 0,361 | | | | | | | | |
| 2300 | 0,342 | 0,361 | 0,384 | 0,364 | 0,478 | 0,593 | 0,589 | 0,362 | | | | | | | | |
| 2400 | 0,343 | 0,362 | 0,382 | 0,365 | 0,482 | 0,595 | 0,591 | 0,363 | | | | | | | | |
| 2500 | 0,345 | 0,363 | 0,384 | 0,367 | 0,485 | 0,597 | 0,592 | 0,365 | | | | | | | | |
| 2600 | 0,347 | 0,365 | 0,385 | 0,368 | 0,489 | 0,599 | 0,593 | 0,366 | | | | | | | | |
| 2700 | 0,348 | 0,366 | 0,386 | 0,369 | 0,492 | 0,602 | 0,595 | 0,367 | | | | | | | | |
| 2800 | 0,350 | 0,367 | 0,388 | 0,370 | 0,496 | 0,603 | 0,596 | 0,368 | | | | | | | | |
| 2900 | 0,352 | 0,368 | 0,389 | 0,371 | 0,499 | 0,606 | 0,597 | 0,369 | | | | | | | | |
| 3000 | 0,353 | 0,369 | 0,391 | 0,371 | 0,501 | 0,607 | 0,598 | 0,370 | | | | | | | | |

1) Umgerechnet nach E. Justi und H. Lüder, Thermische Größen technischer Gase und Dämpfe, Forsch. Ing.-Wes. 1935 S. 209. Es wurden dabei die Normmolvolumina aus DIN 1871 (Ausg. Aug. 1936) benutzt.

2) Bei Übergang von p = 0 atf auf p = 760 Torr erhöht sich die spez. Wärme um wenige $\frac{1}{100}$. Bei CO₂, SO₂, H₂O und Luft ändern sich die Zahlen bei den niedrigen Temperaturen um 1 bis 3%, bei höheren Temperaturen verschwinden die Unterschiede ganz, so daß sie allgemein vernachlässigt werden können.

3) Nach Spiers, H., Technical Data on Fuel. London 1935, S. 116 ff.

4) Nach Bunte-Schneider, Zum Gaskursus. Gasinstitut Karlsruhe, Ergänzungen 1936, S. 71.

14. Mittlere spezifische Wärme von Gasen und Dämpfen in kcal/kg °C bei verschiedenen Temperaturen (t°) und konstantem Druck (p=0atm). 1)

| Temp. t° | Wasser- stoff | | Stick- stoff | | Sauer- stoff | | Kohlen- oxyd | | Wasser- dampf | | Kohlen- saure | | Schwefel- lige | | Luft | | Temp. t° | Methan | | Acety- len | | Äthylen | | Äthan | | Benzol | | Ammo- niak | | Schwe- fel- Wasser- stoff | |
|-------------|------------------|----------------|-----------------|-------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|-----------------|------------------|-------------|--------|-------|---------------|-------|---------|-------|-------|--|--------|--|---------------|--|------------------------------------|--|
| | H ₂ | N ₂ | O ₂ | CO | H ₂ O | CO ₂ | SO ₂ | CH ₄ | C ₂ H ₂ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ | C ₆ H ₆ (Dampf) | NH ₃ | H ₂ S | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 3,403 | 0,248 | 0,218 | 0,248 | 0,443 | 0,196 | 0,145 | 0,240 | 0,240 | 0,397 | 0,357 | 0,389 | 0,514 | 0,187 | 0,261 | 0,261 | 0 | 0,514 | 0,389 | 0,357 | 0,397 | 0,266 | 0,499 | 0,246 | | | | | | | |
| 100 | 3,433 | 0,249 | 0,220 | 0,249 | 0,446 | 0,208 | 0,152 | 0,240 | 0,240 | 0,450 | 0,210 | 0,158 | 0,240 | 0,189 | 0,263 | 0,263 | 100 | 0,540 | 0,422 | 0,402 | 0,450 | 0,301 | 0,510 | 0,248 | | | | | | | |
| 200 | 3,448 | 0,250 | 0,223 | 0,250 | 0,451 | 0,219 | 0,156 | 0,242 | 0,242 | 0,450 | 0,219 | 0,158 | 0,242 | 0,177 | 0,251 | 0,251 | 200 | 0,586 | 0,448 | 0,444 | 0,500 | 0,333 | 0,522 | 0,252 | | | | | | | |
| 300 | 3,458 | 0,251 | 0,227 | 0,252 | 0,456 | 0,229 | 0,164 | 0,244 | 0,244 | 0,456 | 0,229 | 0,164 | 0,244 | 0,183 | 0,256 | 0,256 | 300 | 0,630 | 0,470 | 0,483 | 0,548 | 0,365 | 0,538 | 0,259 | | | | | | | |
| 400 | 3,463 | 0,253 | 0,231 | 0,254 | 0,463 | 0,236 | 0,169 | 0,246 | 0,246 | 0,463 | 0,236 | 0,169 | 0,246 | 0,185 | 0,259 | 0,259 | 400 | 0,671 | 0,488 | 0,519 | 0,549 | 0,399 | 0,556 | — | | | | | | | |
| 500 | 3,468 | 0,255 | 0,234 | 0,257 | 0,470 | 0,244 | 0,173 | 0,249 | 0,249 | 0,470 | 0,244 | 0,173 | 0,249 | 0,187 | 0,261 | 0,261 | 500 | 0,711 | 0,503 | 0,552 | 0,636 | — | 0,574 | — | | | | | | | |
| 600 | 3,478 | 0,257 | 0,237 | 0,260 | 0,477 | 0,251 | 0,177 | 0,251 | 0,251 | 0,477 | 0,251 | 0,177 | 0,251 | 0,189 | 0,263 | 0,263 | 600 | 0,750 | 0,517 | 0,582 | 0,676 | — | 0,595 | — | | | | | | | |
| 700 | 3,488 | 0,259 | 0,240 | 0,262 | 0,485 | 0,256 | 0,180 | 0,253 | 0,253 | 0,485 | 0,256 | 0,180 | 0,253 | 0,192 | 0,267 | 0,267 | 700 | 0,787 | 0,530 | 0,609 | 0,713 | — | — | — | | | | | | | |
| 800 | 4,503 | 0,262 | 0,243 | 0,265 | 0,493 | 0,261 | 0,183 | 0,256 | 0,256 | 0,493 | 0,261 | 0,183 | 0,256 | 0,194 | 0,269 | 0,269 | 800 | 0,821 | 0,542 | 0,638 | 0,748 | — | — | — | | | | | | | |
| 900 | 3,518 | 0,265 | 0,245 | 0,268 | 0,502 | 0,266 | 0,185 | 0,259 | 0,259 | 0,502 | 0,266 | 0,185 | 0,259 | 0,194 | 0,269 | 0,269 | 900 | 0,853 | 0,553 | 0,658 | 0,780 | — | — | — | | | | | | | |
| 1000 | 3,532 | 0,267 | 0,248 | 0,270 | 0,509 | 0,270 | 0,187 | 0,261 | 0,261 | 0,509 | 0,270 | 0,187 | 0,261 | 0,187 | 0,261 | 0,261 | 1000 | 0,883 | 0,563 | 0,680 | 0,809 | — | — | — | | | | | | | |
| 1100 | 3,547 | 0,270 | 0,249 | 0,273 | 0,517 | 0,274 | 0,189 | 0,263 | 0,263 | 0,517 | 0,274 | 0,189 | 0,263 | 0,191 | 0,265 | 0,265 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1200 | 3,572 | 0,272 | 0,251 | 0,275 | 0,524 | 0,277 | 0,191 | 0,265 | 0,265 | 0,524 | 0,277 | 0,191 | 0,265 | 0,192 | 0,267 | 0,267 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1300 | 3,592 | 0,274 | 0,253 | 0,277 | 0,532 | 0,280 | 0,192 | 0,267 | 0,267 | 0,532 | 0,280 | 0,192 | 0,267 | 0,194 | 0,269 | 0,269 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1400 | 3,612 | 0,276 | 0,255 | 0,279 | 0,539 | 0,283 | 0,194 | 0,269 | 0,269 | 0,539 | 0,283 | 0,194 | 0,269 | 0,194 | 0,269 | 0,269 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1500 | 3,632 | 0,278 | 0,256 | 0,280 | 0,546 | 0,285 | 0,195 | 0,271 | 0,271 | 0,546 | 0,285 | 0,195 | 0,271 | 0,195 | 0,271 | 0,271 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1600 | 3,652 | 0,279 | 0,258 | 0,282 | 0,553 | 0,288 | 0,196 | 0,272 | 0,272 | 0,553 | 0,288 | 0,196 | 0,272 | 0,196 | 0,272 | 0,272 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1700 | 3,671 | 0,281 | 0,259 | 0,283 | 0,560 | 0,290 | 0,197 | 0,273 | 0,273 | 0,560 | 0,290 | 0,197 | 0,273 | 0,197 | 0,273 | 0,273 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1800 | 3,696 | 0,282 | 0,260 | 0,285 | 0,566 | 0,292 | 0,198 | 0,275 | 0,275 | 0,566 | 0,292 | 0,198 | 0,275 | 0,198 | 0,275 | 0,275 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1900 | 3,716 | 0,283 | 0,262 | 0,286 | 0,572 | 0,294 | 0,198 | 0,276 | 0,276 | 0,572 | 0,294 | 0,198 | 0,276 | 0,198 | 0,276 | 0,276 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2000 | 3,736 | 0,285 | 0,263 | 0,287 | 0,578 | 0,295 | 0,199 | 0,277 | 0,277 | 0,578 | 0,295 | 0,199 | 0,277 | 0,199 | 0,277 | 0,277 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2100 | 3,756 | 0,286 | 0,264 | 0,289 | 0,584 | 0,297 | 0,200 | 0,278 | 0,278 | 0,584 | 0,297 | 0,200 | 0,278 | 0,200 | 0,278 | 0,278 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2200 | 3,781 | 0,287 | 0,265 | 0,290 | 0,589 | 0,298 | 0,201 | 0,279 | 0,279 | 0,589 | 0,298 | 0,201 | 0,279 | 0,201 | 0,279 | 0,279 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2300 | 3,800 | 0,288 | 0,266 | 0,291 | 0,594 | 0,300 | 0,201 | 0,280 | 0,280 | 0,594 | 0,300 | 0,201 | 0,280 | 0,201 | 0,280 | 0,280 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2400 | 3,820 | 0,289 | 0,268 | 0,292 | 0,599 | 0,301 | 0,202 | 0,281 | 0,281 | 0,599 | 0,301 | 0,202 | 0,281 | 0,202 | 0,281 | 0,281 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2500 | 3,840 | 0,291 | 0,268 | 0,293 | 0,603 | 0,302 | 0,202 | 0,282 | 0,282 | 0,603 | 0,302 | 0,202 | 0,282 | 0,202 | 0,282 | 0,282 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2600 | 3,860 | 0,292 | 0,270 | 0,294 | 0,608 | 0,303 | 0,203 | 0,283 | 0,283 | 0,608 | 0,303 | 0,203 | 0,283 | 0,203 | 0,283 | 0,283 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2700 | 3,875 | 0,292 | 0,270 | 0,295 | 0,612 | 0,304 | 0,203 | 0,284 | 0,284 | 0,612 | 0,304 | 0,203 | 0,284 | 0,203 | 0,284 | 0,284 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2800 | 3,895 | 0,293 | 0,271 | 0,296 | 0,617 | 0,305 | 0,204 | 0,285 | 0,285 | 0,617 | 0,305 | 0,204 | 0,285 | 0,204 | 0,285 | 0,285 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2900 | 3,914 | 0,294 | 0,273 | 0,296 | 0,620 | 0,306 | 0,204 | 0,286 | 0,286 | 0,620 | 0,306 | 0,204 | 0,286 | 0,204 | 0,286 | 0,286 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3000 | 3,929 | 0,295 | 0,274 | 0,297 | 0,623 | 0,307 | 0,204 | 0,286 | 0,286 | 0,623 | 0,307 | 0,204 | 0,286 | 0,204 | 0,286 | 0,286 | | | | | | | | | | | | | | | |

1) Zur Umrechnung wurden die Molekulargewichte aus der Atomgewichtstabelle 1937 bestimmt.

15. Wärmeinhalt von Gasen und Dämpfen in kcal/Nm³ 1) bei verschiedenen Temperaturen (t°) und konstantem Druck (p = 0 ata).²⁾

| Temp. | Wasser- stoff | Stick- stoff | Sauer- stoff | Kohlen- oxyd | Wasser- dampf | Kohlen- säure | Schwe- lige Säure | Luft | Temp. | Methan | Acety- len | Äthylen | Äthan | Benzol C ₆ H ₆ (Dampf) | Ammo- niak NH ₃ 4) | Schwe- fel- Wasser- stoff H ₂ S 4) |
|-------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------|------|-------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--|-------------------------------------|---|
| t° | H ₂ | N ₂ | O ₂ | CO | H ₂ O | CO ₂ | SO ₂ | | t° | CH ₄ | C ₂ H ₂ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ 3) | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 100 | 31 | 31 | 32 | 36 | 73 | 41 | 45 | 31 | 37 | 46 | 51 | 60 | 105 | 39 | 38 | |
| 200 | 62 | 63 | 64 | 63 | 140 | 87 | 93 | 63 | 84 | 105 | 112 | 134 | 232 | 81 | 78 | |
| 300 | 93 | 94 | 97 | 95 | 210 | 136 | 144 | 95 | 136 | 165 | 183 | 221 | 381 | 125 | 120 | |
| 400 | 124 | 127 | 132 | 127 | 279 | 187 | 198 | 127 | 193 | 229 | 262 | 318 | 556 | 172 | — | |
| 500 | 156 | 160 | 168 | 161 | 348 | 242 | 254 | 161 | 255 | 295 | 348 | 427 | — | 222 | — | |
| 600 | 188 | 193 | 203 | 195 | 417 | 298 | 311 | 194 | 323 | 364 | 440 | 544 | — | 275 | — | |
| 700 | 219 | 228 | 240 | 230 | 486 | 355 | 369 | 230 | 395 | 435 | 538 | 669 | — | — | — | |
| 800 | 252 | 262 | 278 | 266 | 555 | 414 | 428 | 265 | 471 | 508 | 644 | 802 | — | — | — | |
| 900 | 284 | 298 | 316 | 302 | 624 | 473 | 489 | 301 | 551 | 583 | 747 | 941 | — | — | — | |
| 1000 | 317 | 334 | 354 | 338 | 693 | 534 | 548 | 337 | 634 | 660 | 858 | 1085 | — | — | — | |
| 1100 | 351 | 371 | 392 | 375 | 762 | 595 | 609 | 374 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1200 | 385 | 408 | 431 | 413 | 831 | 658 | 671 | 412 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1300 | 420 | 445 | 471 | 450 | 899 | 719 | 732 | 449 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1400 | 455 | 483 | 510 | 489 | 968 | 783 | 794 | 486 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1500 | 489 | 521 | 549 | 525 | 1037 | 846 | 855 | 525 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1600 | 525 | 558 | 589 | 565 | 1106 | 910 | 917 | 563 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1700 | 561 | 597 | 629 | 602 | 1175 | 974 | 979 | 602 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1800 | 598 | 635 | 670 | 641 | 1244 | 1031 | 1042 | 639 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 1900 | 635 | 673 | 711 | 680 | 1313 | 1096 | 1102 | 678 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2000 | 672 | 712 | 752 | 718 | 1382 | 1168 | 1166 | 716 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2100 | 708 | 752 | 792 | 758 | 1451 | 1233 | 1229 | 756 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2200 | 748 | 790 | 834 | 799 | 1520 | 1298 | 1291 | 794 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2300 | 787 | 830 | 876 | 837 | 1589 | 1364 | 1355 | 833 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2400 | 823 | 869 | 917 | 876 | 1658 | 1428 | 1418 | 871 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2500 | 863 | 908 | 960 | 918 | 1727 | 1493 | 1480 | 913 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2600 | 902 | 949 | 1001 | 957 | 1796 | 1557 | 1542 | 952 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2700 | 940 | 988 | 1042 | 996 | 1865 | 1623 | 1607 | 991 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2800 | 980 | 1028 | 1086 | 1036 | 1934 | 1689 | 1673 | 1030 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 2900 | 1021 | 1067 | 1128 | 1076 | 2003 | 1757 | 1731 | 1070 | — | — | — | — | — | — | — | |
| 3000 | 1059 | 1107 | 1173 | 1113 | 2072 | 1821 | 1794 | 1110 | — | — | — | — | — | — | — | |

1) Umgerechnet nach E. Justi und H. Lüder, Thermische Größen technischer Gase und Dämpfe. Forsch. Ing.-Wes. 1935 S. 209. Es wurden dabei die Normmolvolumina aus DIN 1871 (Ausg. Aug. 1936) benutzt.

2) Bei Übergang von p = 0 ata auf p = 760 Torr erhöht sich die spez. Wärme um wenige 0/00. Bei CO₂, SO₂, H₂O und Luft ändern sich die Zahlen bei den niedrigen Temperaturen um 1 bis 3 0/0, bei höheren Temperaturen verschwinden die Unterschiede ganz, so daß sie allgemein vernachlässigt werden können.

3) Nach Spiers, H., Technical Data on Fuel. London 1935, S. 116 ff.

4) Nach Bunte-Schneider, Zum Gaskursus. Gasinstitut Karlsruhe, Ergänzungen 1936, S. 71.

16. Wärmeinhalt von Gasen und Dämpfen in kcal/kg bei verschiedenen Temperaturen (t°) und konstantem Druck (p=O ataf).¹⁾

| Temp. t° | Wasser- stoff | | Stick- stoff | | Sauer- stoff | | Kohlen- oxyd | | Wasser- dampf | | Kohlen- säure | | Schwef- lige Säure | | Luft | | Temp. Methan | | Acety- len | | Äthylen | | Äthan | | Benzol | | Ammo- niak | | Schwe- fel- Wasser- stoff | |
|-------------|------------------|----------------|-----------------|-----|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------|------------------------------------|--|
| | H ₂ | N ₂ | O ₂ | CO | H ₂ O | CO ₂ | SO ₂ | CH ₄ | C ₂ H ₂ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ | C ₂ H ₆ | C ₆ H ₆ | NH ₃ | H ₂ S | t° | CH ₄ | C ₂ H ₂ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ | C ₂ H ₆ | C ₆ H ₆ | C ₆ H ₆ | NH ₃ | H ₂ S | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 100 | 343 | 25 | 22 | 27 | 45 | 0 | 54 | 24 | 21 | 42 | 15 | 21 | 15 | 24 | 51 | 25 | 100 | 54 | 42 | 40 | 45 | 30 | 30 | 30 | 51 | 25 | 100 | 54 | 25 | |
| 200 | 690 | 50 | 45 | 50 | 90 | 44 | 117 | 32 | 48 | 89 | 32 | 48 | 32 | 90 | 104 | 50 | 200 | 117 | 90 | 89 | 100 | 67 | 67 | 104 | 104 | 50 | 200 | 117 | 50 | |
| 300 | 1037 | 75 | 68 | 76 | 137 | 69 | 189 | 49 | 73 | 145 | 49 | 73 | 49 | 141 | 161 | 78 | 300 | 189 | 141 | 145 | 164 | 110 | 110 | 161 | 161 | 78 | 300 | 189 | 78 | |
| 400 | 1385 | 101 | 92 | 102 | 185 | 94 | 268 | 68 | 98 | 208 | 68 | 98 | 68 | 195 | 222 | — | 400 | 268 | 195 | 208 | 220 | 160 | 160 | 222 | 222 | — | 400 | 268 | — | |
| 500 | 1734 | 128 | 117 | 129 | 235 | 122 | 356 | 87 | 125 | 276 | 87 | 125 | 87 | 252 | 287 | — | 500 | 356 | 252 | 276 | 318 | — | — | 287 | 287 | — | 500 | 356 | — | |
| 600 | 2087 | 154 | 142 | 156 | 286 | 151 | 450 | 106 | 151 | 349 | 106 | 151 | 106 | 310 | 318 | — | 600 | 450 | 310 | 349 | 406 | — | — | 318 | 318 | — | 600 | 450 | — | |
| 700 | 2442 | 181 | 168 | 183 | 340 | 179 | 551 | 126 | 177 | 426 | 126 | 177 | 126 | 371 | 357 | — | 700 | 551 | 371 | 426 | 499 | — | — | 357 | 357 | — | 700 | 551 | — | |
| 800 | 2802 | 210 | 194 | 212 | 394 | 209 | 657 | 146 | 205 | 510 | 146 | 205 | 146 | 434 | 434 | — | 800 | 657 | 434 | 510 | 598 | — | — | 434 | 434 | — | 800 | 657 | — | |
| 900 | 3166 | 239 | 221 | 241 | 452 | 239 | 768 | 167 | 233 | 592 | 167 | 233 | 167 | 498 | 498 | — | 900 | 768 | 498 | 592 | 702 | — | — | 498 | 498 | — | 900 | 768 | — | |
| 1000 | 3532 | 267 | 248 | 270 | 509 | 270 | 883 | 187 | 261 | 680 | 187 | 261 | 187 | 563 | 563 | — | 1000 | 883 | 563 | 680 | 809 | — | — | 563 | 563 | — | 1000 | 883 | — | |
| 1100 | 3902 | 297 | 274 | 300 | 558 | 301 | 289 | 208 | 289 | 736 | 208 | 289 | 208 | 289 | 289 | — | 1100 | 558 | 289 | 736 | 858 | — | — | 289 | 289 | — | 1100 | 558 | — | |
| 1200 | 4286 | 326 | 301 | 330 | 629 | 332 | 318 | 229 | 318 | 812 | 332 | 318 | 229 | 318 | 318 | — | 1200 | 629 | 318 | 812 | 921 | — | — | 318 | 318 | — | 1200 | 629 | — | |
| 1300 | 4670 | 356 | 329 | 360 | 692 | 364 | 347 | 250 | 347 | 887 | 364 | 347 | 250 | 347 | 347 | — | 1300 | 692 | 347 | 887 | 990 | — | — | 347 | 347 | — | 1300 | 692 | — | |
| 1400 | 5057 | 386 | 357 | 391 | 755 | 396 | 377 | 272 | 377 | 954 | 396 | 377 | 272 | 377 | 377 | — | 1400 | 755 | 377 | 954 | 1054 | — | — | 377 | 377 | — | 1400 | 755 | — | |
| 1500 | 5448 | 417 | 384 | 420 | 819 | 428 | 407 | 293 | 407 | 1019 | 428 | 407 | 293 | 407 | 407 | — | 1500 | 819 | 407 | 1019 | 1119 | — | — | 407 | 407 | — | 1500 | 819 | — | |
| 1600 | 5843 | 446 | 413 | 451 | 885 | 461 | 435 | 314 | 435 | 1087 | 461 | 435 | 314 | 435 | 435 | — | 1600 | 885 | 435 | 1087 | 1187 | — | — | 435 | 435 | — | 1600 | 885 | — | |
| 1700 | 6241 | 478 | 440 | 481 | 952 | 493 | 464 | 335 | 464 | 1156 | 493 | 464 | 335 | 464 | 464 | — | 1700 | 952 | 464 | 1156 | 1256 | — | — | 464 | 464 | — | 1700 | 952 | — | |
| 1800 | 6653 | 508 | 468 | 513 | 1019 | 526 | 495 | 356 | 495 | 1226 | 526 | 495 | 356 | 495 | 495 | — | 1800 | 1019 | 495 | 1226 | 1326 | — | — | 495 | 495 | — | 1800 | 1019 | — | |
| 1900 | 7060 | 538 | 498 | 543 | 1087 | 559 | 524 | 376 | 524 | 1296 | 559 | 524 | 376 | 524 | 524 | — | 1900 | 1087 | 524 | 1296 | 1406 | — | — | 524 | 524 | — | 1900 | 1087 | — | |
| 2000 | 7472 | 570 | 526 | 574 | 1156 | 590 | 554 | 398 | 554 | 1366 | 590 | 554 | 398 | 554 | 554 | — | 2000 | 1156 | 554 | 1366 | 1476 | — | — | 554 | 554 | — | 2000 | 1156 | — | |
| 2100 | 7888 | 601 | 554 | 607 | 1226 | 624 | 584 | 420 | 584 | 1436 | 624 | 584 | 420 | 584 | 584 | — | 2100 | 1226 | 584 | 1436 | 1546 | — | — | 584 | 584 | — | 2100 | 1226 | — | |
| 2200 | 8318 | 631 | 583 | 638 | 1296 | 656 | 614 | 442 | 614 | 1506 | 656 | 614 | 442 | 614 | 614 | — | 2200 | 1296 | 614 | 1506 | 1616 | — | — | 614 | 614 | — | 2200 | 1296 | — | |
| 2300 | 8740 | 662 | 612 | 669 | 1366 | 690 | 644 | 462 | 644 | 1576 | 690 | 644 | 462 | 644 | 644 | — | 2300 | 1366 | 644 | 1576 | 1686 | — | — | 644 | 644 | — | 2300 | 1366 | — | |
| 2400 | 9168 | 694 | 643 | 701 | 1436 | 722 | 674 | 485 | 674 | 1646 | 722 | 674 | 485 | 674 | 674 | — | 2400 | 1436 | 674 | 1646 | 1756 | — | — | 674 | 674 | — | 2400 | 1436 | — | |
| 2500 | 9600 | 728 | 670 | 733 | 1508 | 755 | 705 | 505 | 705 | 1716 | 755 | 705 | 505 | 705 | 705 | — | 2500 | 1508 | 705 | 1716 | 1826 | — | — | 705 | 705 | — | 2500 | 1508 | — | |
| 2600 | 10036 | 759 | 702 | 764 | 1581 | 788 | 736 | 528 | 736 | 1786 | 788 | 736 | 528 | 736 | 736 | — | 2600 | 1581 | 736 | 1786 | 1896 | — | — | 736 | 736 | — | 2600 | 1581 | — | |
| 2700 | 10463 | 788 | 729 | 797 | 1652 | 821 | 767 | 548 | 767 | 1856 | 821 | 767 | 548 | 767 | 767 | — | 2700 | 1652 | 767 | 1856 | 1966 | — | — | 767 | 767 | — | 2700 | 1652 | — | |
| 2800 | 10906 | 820 | 759 | 829 | 1728 | 854 | 798 | 571 | 798 | 1926 | 854 | 798 | 571 | 798 | 798 | — | 2800 | 1728 | 798 | 1926 | 2036 | — | — | 798 | 798 | — | 2800 | 1728 | — | |
| 2900 | 11351 | 853 | 792 | 858 | 1798 | 887 | 829 | 592 | 829 | 2000 | 887 | 829 | 592 | 829 | 829 | — | 2900 | 1798 | 829 | 2000 | 2106 | — | — | 829 | 829 | — | 2900 | 1798 | — | |
| 3000 | 11787 | 885 | 822 | 891 | 1869 | 921 | 858 | 612 | 858 | 2080 | 921 | 858 | 612 | 858 | 858 | — | 3000 | 1869 | 858 | 2080 | 2186 | — | — | 858 | 858 | — | 3000 | 1869 | — | |

¹⁾ Zur Umrechnung wurden die Molekulargewichte aus der Atomgewichtstabelle 1937 bestimmt.

17. Oberer und unterer Heizwert verschiedener Stoffe.

| Einheit | Stoff | Verbrennungsprodukte | Oberer Heizwert | Unterer Heizwert |
|-------------------|--|--|-----------------|------------------|
| 1 kg | *) Kohlenstoff C ¹⁾ | Kohlensäure CO ₂ | 8 080 | 8 080 |
| 1 kg | *) Kohlenstoff C ²⁾ | Kohlenoxyd CO | 2 440 | 2 440 |
| 1 kg | *) Wasserstoff H ₂ | Wasser H ₂ O | 33 910 | 28 570 |
| 1 Nm ³ | *) Wasserstoff H ₂ | Wasser H ₂ O | 3 050 | 2 570 |
| 1 kg | Schwefel S | Schwefeldioxyd SO ₂ | 2 210 | 2 210 |
| 1 kg | Schwefel S | Schwefeltrioxyd SO ₃ | 2 950 | 2 950 |
| 1 kg | Phosphor P | Phosphorpenoxyd P ₂ O ₅ | 5 950 | 5 950 |
| 1 kg | Silizium Si | Kieselsäure SiO ₂ | 6 800 | 6 800 |
| 1 kg | *) Kohlenoxyd CO | Kohlensäure CO ₂ | 2 420 | 2 420 |
| 1 Nm ³ | *) Kohlenoxyd CO | Kohlensäure CO ₂ | 3 020 | 3 020 |
| 1 kg | *) Methan CH ₄ | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 13 280 | 11 930 |
| 1 Nm ³ | *) Methan CH ₄ | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 9 520 | 8 550 |
| 1 kg | *) Äthylen C ₂ H ₄ | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 12 130 | 11 360 |
| 1 Nm ³ | *) Äthylen C ₂ H ₄ | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 15 290 | 14 320 |
| 1 kg | Schwere Kohlenwasserstoffe ²⁾ C _m H _n | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 10 500 | 9 900 |
| 1 Nm ³ | Schwere Kohlenwasserstoffe ²⁾ C _m H _n | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 18 050 | 17 000 |
| 1 kg | *) Benzoldampf ³⁾ C ₆ H ₆ | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 10 030 | 9 620 |
| 1 Nm ³ | *) Benzoldampf ³⁾ C ₆ H ₆ | Kohlensäure CO ₂ u. Wasser H ₂ O | 34 960 | 33 520 |
| 1 kg | *) Schwefelwasserstoff SH ₂ | Schwefeldioxyd SO ₂ und Wasser H ₂ O | 3 990 | 3 680 |
| 1 Nm ³ | *) Schwefelwasserstoff SH ₂ | Schwefeldioxyd SO ₂ und Wasser H ₂ O | 6 140 | 5 660 |

*) Nach DIN 1872. Wiedergabe mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses.

¹⁾ Kokskohlenstoff, der bei technischen Brennstoffen allein vorhanden ist.

²⁾ Gilt für Generatorgas.

³⁾ Anhaltswerte.

18. Hilfstafeln zur Berechnung des Heizwertes von Brenngasen.

a) Wasserstoff (H₂) H_u = 2570 kcal/Nm³.

| % ₀ | ,0 | ,1 | ,2 | ,3 | ,4 | ,5 | ,6 | ,7 | ,8 | ,9 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | — | 3 | 5 | 8 | 10 | 13 | 15 | 18 | 21 | 23 |
| 1 | 26 | 28 | 31 | 33 | 36 | 39 | 41 | 44 | 46 | 49 |
| 2 | 51 | 54 | 57 | 59 | 62 | 64 | 67 | 69 | 72 | 75 |
| 3 | 77 | 80 | 82 | 85 | 87 | 90 | 93 | 95 | 98 | 100 |
| 4 | 103 | 105 | 108 | 111 | 113 | 116 | 118 | 121 | 123 | 126 |
| 5 | 129 | 131 | 134 | 136 | 139 | 141 | 144 | 146 | 149 | 152 |
| 6 | 154 | 157 | 159 | 162 | 164 | 167 | 170 | 172 | 175 | 177 |
| 7 | 180 | 182 | 185 | 188 | 190 | 193 | 195 | 198 | 200 | 203 |
| 8 | 206 | 208 | 211 | 213 | 216 | 218 | 221 | 224 | 226 | 229 |
| 9 | 231 | 234 | 236 | 239 | 242 | 244 | 247 | 249 | 252 | 255 |
| 10 | 257 | 260 | 262 | 265 | 267 | 270 | 272 | 275 | 278 | 280 |
| 11 | 283 | 285 | 288 | 290 | 293 | 296 | 298 | 301 | 303 | 306 |
| 12 | 308 | 311 | 314 | 316 | 319 | 321 | 324 | 326 | 329 | 332 |
| 13 | 334 | 337 | 339 | 342 | 344 | 347 | 350 | 352 | 355 | 357 |
| 14 | 360 | 362 | 365 | 368 | 370 | 373 | 375 | 378 | 380 | 383 |
| 15 | 386 | 388 | 391 | 393 | 396 | 398 | 401 | 403 | 406 | 409 |
| 16 | 411 | 414 | 416 | 419 | 421 | 424 | 427 | 429 | 432 | 434 |
| 17 | 437 | 439 | 442 | 445 | 447 | 450 | 452 | 455 | 457 | 460 |
| 18 | 463 | 465 | 468 | 470 | 473 | 475 | 478 | 481 | 483 | 486 |
| 19 | 488 | 491 | 493 | 496 | 499 | 501 | 504 | 506 | 509 | 511 |
| 20 | 514 | 517 | 519 | 522 | 524 | 527 | 529 | 532 | 535 | 537 |
| 21 | 540 | 542 | 545 | 547 | 550 | 553 | 555 | 558 | 560 | 563 |
| 22 | 565 | 568 | 571 | 573 | 576 | 578 | 581 | 583 | 586 | 589 |
| 23 | 591 | 594 | 596 | 599 | 601 | 604 | 607 | 609 | 612 | 614 |
| 24 | 617 | 619 | 622 | 625 | 627 | 630 | 632 | 635 | 637 | 640 |
| 25 | 643 | 645 | 648 | 650 | 653 | 655 | 658 | 660 | 663 | 666 |
| 26 | 668 | 671 | 673 | 676 | 678 | 681 | 684 | 686 | 689 | 691 |
| 27 | 694 | 696 | 699 | 702 | 704 | 707 | 709 | 712 | 714 | 717 |
| 28 | 720 | 722 | 725 | 727 | 730 | 732 | 735 | 738 | 740 | 743 |
| 29 | 745 | 748 | 750 | 753 | 756 | 758 | 761 | 763 | 766 | 768 |
| 30 | 771 | 774 | 776 | 779 | 781 | 784 | 786 | 789 | 792 | 794 |

18. Hilfstafeln zur Berechnung des Heizwertes von Brenngasen. (Fortsetzung)

b) Kohlenoxyd (CO) $H_u = 3020 \text{ kcal/Nm}^3$.

| % | ,0 | ,1 | ,2 | ,3 | ,4 | ,5 | ,6 | ,7 | ,8 | ,9 |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | — | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 |
| 1 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 48 | 51 | 54 | 57 |
| 2 | 60 | 63 | 66 | 69 | 72 | 76 | 79 | 82 | 85 | 88 |
| 3 | 91 | 94 | 97 | 100 | 103 | 106 | 109 | 112 | 115 | 118 |
| 4 | 121 | 124 | 127 | 130 | 133 | 136 | 139 | 142 | 145 | 148 |
| 5 | 151 | 154 | 157 | 160 | 163 | 166 | 169 | 172 | 175 | 178 |
| 6 | 181 | 184 | 187 | 190 | 193 | 196 | 199 | 202 | 205 | 208 |
| 7 | 211 | 214 | 217 | 220 | 223 | 227 | 230 | 233 | 236 | 239 |
| 8 | 242 | 245 | 248 | 251 | 254 | 257 | 260 | 263 | 266 | 269 |
| 9 | 272 | 275 | 278 | 281 | 284 | 287 | 290 | 293 | 296 | 299 |
| 10 | 302 | 305 | 308 | 311 | 314 | 317 | 320 | 323 | 326 | 329 |
| 11 | 332 | 335 | 338 | 341 | 344 | 347 | 350 | 353 | 356 | 359 |
| 12 | 362 | 365 | 368 | 371 | 374 | 378 | 381 | 384 | 387 | 390 |
| 13 | 393 | 396 | 399 | 402 | 405 | 408 | 411 | 414 | 417 | 420 |
| 14 | 423 | 426 | 429 | 432 | 435 | 438 | 441 | 444 | 447 | 450 |
| 15 | 453 | 456 | 459 | 462 | 465 | 468 | 471 | 474 | 477 | 480 |
| 16 | 483 | 486 | 489 | 492 | 495 | 498 | 501 | 504 | 507 | 510 |
| 17 | 513 | 516 | 519 | 522 | 525 | 529 | 532 | 535 | 538 | 541 |
| 18 | 544 | 547 | 550 | 553 | 556 | 559 | 562 | 565 | 568 | 571 |
| 19 | 574 | 577 | 580 | 583 | 586 | 589 | 592 | 595 | 598 | 601 |
| 20 | 604 | 607 | 610 | 613 | 616 | 619 | 622 | 625 | 628 | 631 |
| 21 | 634 | 637 | 640 | 643 | 646 | 649 | 652 | 655 | 658 | 661 |
| 22 | 664 | 667 | 670 | 673 | 676 | 680 | 683 | 686 | 689 | 692 |
| 23 | 695 | 698 | 701 | 704 | 707 | 710 | 713 | 716 | 719 | 722 |
| 24 | 725 | 728 | 731 | 734 | 737 | 740 | 743 | 746 | 749 | 752 |
| 25 | 755 | 758 | 761 | 764 | 767 | 770 | 773 | 776 | 779 | 782 |
| 26 | 785 | 788 | 791 | 794 | 797 | 800 | 803 | 806 | 809 | 812 |
| 27 | 815 | 818 | 821 | 824 | 827 | 831 | 834 | 837 | 840 | 843 |
| 28 | 846 | 849 | 852 | 855 | 858 | 861 | 864 | 867 | 870 | 873 |
| 29 | 876 | 879 | 882 | 885 | 888 | 891 | 894 | 897 | 900 | 903 |
| 30 | 906 | 909 | 912 | 915 | 918 | 921 | 924 | 927 | 930 | 933 |
| 31 | 936 | 939 | 942 | 945 | 948 | 951 | 954 | 957 | 960 | 963 |
| 32 | 966 | 969 | 972 | 975 | 978 | 982 | 985 | 988 | 991 | 994 |
| 33 | 997 | 1000 | 1003 | 1006 | 1009 | 1012 | 1015 | 1018 | 1021 | 1024 |
| 34 | 1027 | 1030 | 1033 | 1036 | 1039 | 1042 | 1045 | 1048 | 1051 | 1054 |
| 35 | 1057 | 1060 | 1063 | 1066 | 1069 | 1072 | 1075 | 1078 | 1081 | 1084 |

18. Hilfstafeln zur Berechnung des Heizwertes von Brenngasen. (Fortsetzung)

c) Methan (CH_4) $H_u = 8550 \text{ kcal/Nm}^3$.

| % ₀ | ,0 | ,1 | ,2 | ,3 | ,4 | ,5 | ,6 | ,7 | ,8 | ,9 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | — | 9 | 17 | 26 | 34 | 43 | 51 | 60 | 68 | 77 |
| 1 | 86 | 94 | 103 | 111 | 120 | 128 | 137 | 145 | 154 | 162 |
| 2 | 171 | 180 | 188 | 197 | 205 | 214 | 222 | 231 | 239 | 248 |
| 3 | 257 | 265 | 274 | 282 | 291 | 299 | 309 | 316 | 325 | 333 |
| 4 | 342 | 351 | 359 | 368 | 376 | 385 | 393 | 402 | 410 | 419 |
| 5 | 428 | 436 | 445 | 453 | 462 | 470 | 479 | 487 | 496 | 504 |
| 6 | 513 | 522 | 530 | 539 | 547 | 556 | 564 | 573 | 581 | 590 |
| 7 | 599 | 607 | 616 | 624 | 633 | 641 | 650 | 658 | 667 | 675 |
| 8 | 684 | 693 | 701 | 710 | 718 | 727 | 735 | 744 | 752 | 761 |
| 9 | 770 | 778 | 787 | 795 | 804 | 812 | 821 | 829 | 838 | 846 |
| 10 | 855 | 864 | 872 | 881 | 889 | 898 | 906 | 915 | 923 | 932 |

d) Schwere Kohlenwasserstoffe (C_mH_n) $H_u = 17\,000 \text{ kcal/Nm}^3$.

| % ₀ | ,0 | ,1 | ,2 | ,3 | ,4 | ,5 | ,6 | ,7 | ,8 | ,9 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | — | 17 | 34 | 51 | 68 | 85 | 102 | 119 | 136 | 153 |
| 1 | 170 | 187 | 204 | 221 | 238 | 255 | 272 | 289 | 306 | 323 |
| 2 | 340 | 357 | 374 | 391 | 408 | 425 | 442 | 459 | 476 | 493 |

Zweiter Teil.

Meßtechnik.

I. Mengenummessung.

Zur Messung von strömenden Gasen, Wasserdampf und Flüssigkeiten werden die Stau- und Drosselgeräte (Staurohr, Blende, Düse und Venturirohr) am meisten verwendet. Unter ihnen wird der Blende, wegen ihrer einfachen Herstellung und des leichten Einbaues zwischen zwei Flanschen der Rohrleitung, der Vorzug gegeben. Das zugehörige Anzeige- oder Schreibgerät kann in praktisch beliebiger Entfernung von der Meßstelle aufgestellt werden.

1. Berechnung von Blenden.

Die Blende kann fast immer im eigenen Betriebe hergestellt werden. Für die Berechnung des Durchmessers der Blendenöffnung sind bei Abnahmeversuchen die „Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen und Blenden“ zu verwenden¹⁾.

Für die Betriebsüberwachung können die Blenden nach den in folgenden Beispielen gezeigten einfachen Verfahren berechnet werden. Es ist dabei zu beachten, daß das Öffnungsverhältnis von Blende und Rohrleitung $m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ am günstigsten im Bereich von 0,16—0,64 ist, entsprechend einem Durchmesser Verhältnis von $\frac{d}{D} = 0,4—0,8$. Je kleiner das Öffnungsverhältnis ist, um so größer wird der für die Genauigkeit der Messung ausschlaggebende, am Anzeigegerät ablesbare Differenzdruck, aus dem die Durchflußmenge errechnet wird. Die Wahl des Differenzdruckes (h und H in den Beispielen) hängt aber von der Höhe des Druckes in der Rohrleitung, dem bleibenden Druckverlust, der durch die Blende verursacht wird, und vom Anzeigebereich des Meßgerätes ab. Man wählt gewöhnlich den Differenzdruck so, daß die durchschnittliche Durchflußmenge etwa in $\frac{2}{3}$ der Höhe des gesamten Meßbereiches des vorhandenen Meßgerätes angezeigt wird.

¹⁾ DIN 1952 IV. Auflage, VDI-Verlag, Berlin 1937.

Werte von α und $m\alpha$ für verschiedene Durchmesserverhältnisse
an glatten Rohren und Blenden mit scharfer Kante.

| $\sqrt{m} = \frac{d}{D}$ | $m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ | $m\alpha$ | α | $\sqrt{m} = \frac{d}{D}$ | $m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ | $m\alpha$ | α |
|--------------------------|----------------------------------|-----------|----------|--------------------------|----------------------------------|-----------|----------|
| 0,20 | 0,040 | 0,024 | 0,598 | 0,55 | 0,303 | 0,193 | 0,635 |
| 0,21 | 0,044 | 0,026 | 0,598 | 0,56 | 0,314 | 0,200 | 0,637 |
| 0,22 | 0,048 | 0,029 | 0,598 | 0,57 | 0,325 | 0,208 | 0,640 |
| 0,23 | 0,053 | 0,032 | 0,599 | 0,58 | 0,336 | 0,216 | 0,642 |
| 0,24 | 0,058 | 0,035 | 0,599 | 0,59 | 0,348 | 0,225 | 0,645 |
| 0,25 | 0,063 | 0,038 | 0,599 | 0,60 | 0,360 | 0,234 | 0,649 |
| 0,26 | 0,068 | 0,041 | 0,599 | 0,61 | 0,372 | 0,243 | 0,652 |
| 0,27 | 0,073 | 0,044 | 0,600 | 0,62 | 0,385 | 0,252 | 0,656 |
| 0,28 | 0,078 | 0,047 | 0,600 | 0,63 | 0,398 | 0,263 | 0,660 |
| 0,29 | 0,084 | 0,050 | 0,600 | 0,64 | 0,410 | 0,274 | 0,664 |
| 0,30 | 0,090 | 0,054 | 0,601 | 0,65 | 0,423 | 0,283 | 0,668 |
| 0,31 | 0,096 | 0,058 | 0,601 | 0,66 | 0,435 | 0,292 | 0,672 |
| 0,32 | 0,103 | 0,062 | 0,601 | 0,67 | 0,449 | 0,304 | 0,677 |
| 0,33 | 0,109 | 0,066 | 0,602 | 0,68 | 0,462 | 0,315 | 0,681 |
| 0,34 | 0,116 | 0,070 | 0,603 | 0,69 | 0,476 | 0,326 | 0,686 |
| 0,35 | 0,122 | 0,074 | 0,604 | 0,70 | 0,490 | 0,339 | 0,692 |
| 0,36 | 0,130 | 0,079 | 0,605 | 0,71 | 0,504 | 0,351 | 0,697 |
| 0,37 | 0,137 | 0,083 | 0,606 | 0,72 | 0,519 | 0,365 | 0,703 |
| 0,38 | 0,145 | 0,088 | 0,607 | 0,73 | 0,534 | 0,379 | 0,710 |
| 0,39 | 0,152 | 0,092 | 0,608 | 0,74 | 0,548 | 0,390 | 0,716 |
| 0,40 | 0,160 | 0,098 | 0,609 | 0,75 | 0,562 | 0,405 | 0,721 |
| 0,41 | 0,168 | 0,103 | 0,610 | 0,76 | 0,578 | 0,421 | 0,728 |
| 0,42 | 0,176 | 0,108 | 0,611 | 0,77 | 0,592 | 0,436 | 0,737 |
| 0,43 | 0,185 | 0,113 | 0,612 | 0,78 | 0,610 | 0,456 | 0,748 |
| 0,44 | 0,194 | 0,119 | 0,614 | 0,79 | 0,625 | 0,473 | 0,756 |
| 0,45 | 0,202 | 0,124 | 0,615 | 0,80 | 0,640 | 0,490 | 0,765 |
| 0,46 | 0,211 | 0,131 | 0,616 | 0,81 | 0,655 | 0,507 | 0,774 |
| 0,47 | 0,221 | 0,137 | 0,618 | 0,82 | 0,673 | 0,528 | 0,785 |
| 0,48 | 0,230 | 0,143 | 0,620 | 0,83 | 0,690 | 0,550 | 0,798 |
| 0,49 | 0,240 | 0,149 | 0,622 | 0,84 | 0,706 | 0,569 | 0,806 |
| 0,50 | 0,250 | 0,156 | 0,624 | | | | |
| 0,51 | 0,260 | 0,163 | 0,626 | | | | |
| 0,52 | 0,271 | 0,170 | 0,628 | | | | |
| 0,53 | 0,281 | 0,177 | 0,630 | | | | |
| 0,54 | 0,292 | 0,185 | 0,632 | | | | |

Zuschläge für Rohrrauigkeit.

| Rohrdurchmesser D in mm | | | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| m | 50 | 100 | 200 | 300 |
| 0,1—0,2 | + 0,5 ‰ | + 0,3 ‰ | + 0,2 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,2—0,3 | + 0,7 ‰ | + 0,5 ‰ | + 0,3 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,3—0,4 | + 1,0 ‰ | + 0,7 ‰ | + 0,4 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,4—0,5 | + 1,3 ‰ | + 0,9 ‰ | + 0,5 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,5—0,6 | + 1,6 ‰ | + 1,1 ‰ | + 0,6 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,6—0,7 | + 1,8 ‰ | + 1,3 ‰ | + 0,7 ‰ | ± 0,0 ‰ |

Zuschläge für Kantenunschärfe.

| Rohrdurchmesser D in mm | | | | | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| m | 50 | 80 | 100 | 150 | 200 | 300 |
| 0,1—0,2 | + 1,8 ‰ | + 1,4 ‰ | + 1,1 ‰ | + 0,8 ‰ | + 0,5 ‰ | + 0,1 ‰ |
| 0,2—0,3 | + 1,6 ‰ | + 1,1 ‰ | + 0,9 ‰ | + 0,5 ‰ | + 0,2 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,3—0,4 | + 1,4 ‰ | + 0,9 ‰ | + 0,7 ‰ | + 0,3 ‰ | + 0,1 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,4—0,5 | + 1,3 ‰ | + 0,8 ‰ | + 0,6 ‰ | + 0,2 ‰ | ± 0,0 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,5—0,6 | + 1,2 ‰ | + 0,7 ‰ | + 0,5 ‰ | + 0,1 ‰ | ± 0,0 ‰ | ± 0,0 ‰ |
| 0,6—0,7 | + 1,1 ‰ | + 0,6 ‰ | + 0,4 ‰ | + 0,1 ‰ | ± 0,0 ‰ | ± 0,0 ‰ |

Der Blendendurchmesser wird nach folgenden Formeln und Zahlen-
tafeln berechnet:

für Luft und Gase:

$$m \alpha = \frac{V_0}{0,673 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\frac{p \cdot h}{T (\gamma_0 + f) (0,804 + f)}}}$$

wobei h in mm WS gemessen wird,

für Dampf:

$$m \alpha = \frac{G}{4,438 \cdot D^2 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{H \cdot \gamma}} \quad (\text{für U-Rohr; bei Verwendung einer Ringwaage ändert sich die Zahl 4,438 in 4,610})$$

wobei H in mm QS gemessen wird,

für Wasser:

$$m \alpha = \frac{G}{4,438 \cdot D^2 \cdot \sqrt{H \cdot \gamma}}$$

wobei H in mm QS durch U-Rohr gemessen wird,

$$\text{bzw. } m \alpha = \frac{G}{1,757 \cdot D^2 \cdot \sqrt{H \cdot \gamma}}$$

wobei H in mm Tetrabromäthan ($C_2H_2Br_4$) durch U-Rohr gemessen wird.

In diesen Formeln bedeuten:

m das Öffnungsverhältnis $\left(\frac{d}{D}\right)^2$ von Blende zu Rohrleitung

α die Durchflußzahl

V_0 und G die voraussichtlich größte in einer Stunde durch die Leitung strömende Gas-, Dampf- und Wassermenge in Nm^3 bzw. kg

d den Blendendurchmesser in cm

D den Rohrleitungsdurchmesser in cm

ε eine bei Dampf zu berücksichtigende Expansionsberichtigung, die sich aus Abb. Seite 65 ergibt

p den aus dem Barometerstand b in mm QS und dem in der Rohrleitung herrschenden Druck p_n in mm WS $= \frac{p_n}{13,6}$ mm QS sich zusammensetzenden Gesamtdruck in mm QS

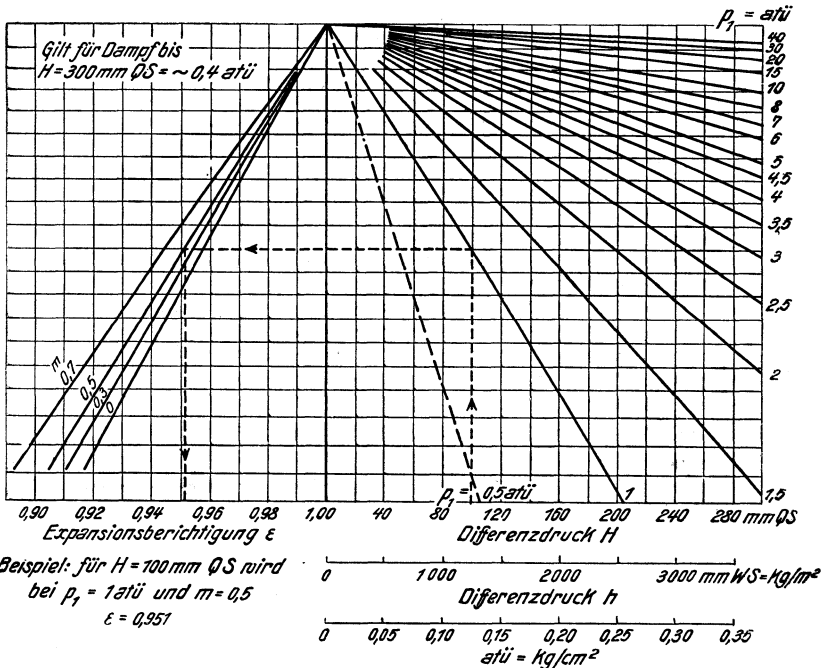
h und H die größten am Meßgerät ablesbaren Differenzdrücke in mm WS bzw. mm QS bzw. mm $C_2H_2Br_4$. (Tetrabromäthan wird als Meßflüssigkeit dort angewendet, wo die Messung mit Quecksilber zur Erreichung einer genügenden Meßgenauigkeit zu große Druckunterschiede gegenüber dem vorhandenen statischen Druck notwendig machen würde. Es mischt sich mit Wasser ebensowenig wie Quecksilber.)

T die absolute Temperatur in der Rohrleitung = $273 + t^\circ$

f die Feuchtigkeit des Gases in kg/Nm^3

γ_0 das Raumbgewicht des Gases in kg/Nm^3 und

γ das spezifische Gewicht des Dampfes oder Wassers im Betriebszustand in kg/m^3 .



Expansionsberichtigungen ϵ für Stauränder bei Heißdampf ($\lambda = 1,31$) abhängig vom Differenzdruck:

$$\epsilon = \frac{h}{12,6}$$

(Nach Mitteilung Nr. 156 der Wärmestelle Düsseldorf.)

In der Zahlentafel Seite 62 findet man zu jedem m α das zugehörige α , das bei Rohrleitungsdurchmessern unter 300 mm durch

Zuschläge, entnommen aus den Hilfstafeln Seite 63, vergrößert werden muß. Zu diesem vergrößerten α gehört ein bestimmter aus der Zahlentafel Seite 62 zu entnehmender Wert für $\frac{d}{D}$, aus dem der Blendendurchmesser ohne weiteres errechnet werden kann.

Ist umgekehrt in eine Leitung eine Blende von bekanntem Durchmesser bereits eingebaut und wird die zu einem bestimmten Differenzdruck gehörige Durchflußmenge gesucht, so bestimmt man zuerst aus der Tafel Seite 62 das dem Verhältnis $\frac{d}{D}$ entsprechende α . zieht von diesem die Berichtigungen für Rohrrauigkeit und Kantenunschärfe ab und ermittelt aus der Tafel das zu dem neuen α gehörige m ; dieses wird in die Formel

für Luft und Gase:

$$V_0 = 0,673 \cdot D^2 \cdot m \alpha \cdot \sqrt{\frac{p}{T(\gamma_0 + f)(0,804 + f)}} \cdot \sqrt{h} = c \cdot \sqrt{h}$$

für Dampf:

$$G = 4,438 \cdot D^2 \cdot m \alpha \cdot \varepsilon \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} = c \cdot \sqrt{H}$$

für Wasser:

$$G = 4,438 \cdot D^2 \cdot m \alpha \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} = c \cdot \sqrt{H} \text{ bzw.}$$

$$G = 1,757 \cdot D^2 \cdot m \alpha \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{H} = c \cdot \sqrt{H}$$

eingesetzt, wobei man bei gleichbleibenden Betriebsverhältnissen die vor \sqrt{h} bzw. \sqrt{H} stehenden Faktoren zu einem für alle Ausrechnungen konstanten Wert c zusammenfassen kann.

a) Berechnungsbeispiel für Luft.

Angaben:

Durchmesser einer Gaserzeugerwindleitung . $D = 25 \text{ cm}$

größter Brennstoffdurchsatz im Gaserzeuger . 15 t/24 h

Windbedarf je kg Brennstoff $2,6 \text{ Nm}^3$

daher größte Windmenge in 24 h $39\,000 \text{ Nm}^3$

daher größte Windmenge in 1 h $V_0 = 1625 \text{ Nm}^3/\text{h}$

größter Differenzdruck am Anzeigegerät (voll

ausgenutzter Meßbereich des Gerätes) . . $h = 30 \text{ mm WS}$

Messungen:

mittlerer Barometerstand $b = 750 \text{ mm QS}$

mittlerer Überdruck an der Meßstelle . . . $p_u = 150 \text{ mm WS}$

mittlerer Gesamtdruck an der Meßstelle . . . $p = b + \frac{p_u}{13,6}$
 $= 761 \text{ mm QS}$

mittlere Windtemperatur an der Meßstelle . . . $t = 20^\circ$ bzw.
 $T = 293^\circ$

Feuchtigkeitsgehalt der Luft, im Mittel 70 %
 der vollen Sättigung bei 20° $f = 0,0133 \text{ kg/Nm}^3$
 Raumbgewicht der Luft $\gamma_0 = 1,293 \text{ kg/Nm}^3$

Berechnung der Blende:

$$m \alpha = \frac{1625}{0,673 \cdot 25^2 \cdot \sqrt{\frac{761 \cdot 30}{293 (1,293 + 0,0133) (0,804 + 0,0133)}}} = 0,452$$

daraus $\alpha = 0,745$ und $m = 0,608$.

Zuschlag für Rohrrauhigkeit . . . 0,35 %
 Zuschlag für Kantenunschärfe . . . 0,00 %

 0,35 %

daher das tatsächliche $\alpha = 0,745 \cdot 1,0035 = 0,748$

daraus $\sqrt{m} = 0,78^1$) und $d = 25 \cdot 0,78 = 19,5 \text{ cm} = 195 \text{ mm}$

Berechnung der Durchflußmenge bei gegebener Blende:

$d = 19,5 \text{ cm}$, daraus $\sqrt{m} = 0,78$ und $\alpha = 0,748$; von diesem Wert für α gehen 0,35 % für Rohrrauhigkeit ab, so daß für die Berechnung

$$\alpha = \frac{0,748}{1,0035} = 0,745 \text{ und damit } m \alpha = 0,452 \text{ werden.}$$

Daraus ergibt sich

$$V_0 = c \cdot \sqrt{h} = 0,673 \cdot 25^2 \cdot 0,452 \sqrt{\frac{761}{293(1,293 + 0,0133)(0,804 + 0,0133)}} \cdot \sqrt{h} = 296 \cdot \sqrt{h}$$

und bei voll ausgenütztem Meßbereich mit $h = 30 \text{ mm}$

$$V_0 = 1625 \text{ Nm}^3/\text{h.}$$

b) Berechnungsbeispiel für gereinigtes Generatorgas aus Anthrazit.

Angaben:

Durchmesser der Gasleitung $D = 40 \text{ cm}$

größter Brennstoffdurchsatz im Gaserzeuger . 10 t/24 h

¹⁾ Siehe Tafel auf Seite 62.

c) *Berechnungsbeispiel für Dampf.*

Angaben:

Durchmesser der Dampfleitung $D = 10 \text{ cm}$
 geschätzte größte Dampfmenge $G = 2000 \text{ kg/h}$
 größter Differenzdruck am Anzeigerät
 (U-Rohr, voll ausgenützter Meßbereich des
 Gerätes) $H = 144 \text{ mm QS}$

Messungen:

mittlerer Dampfdruck 8 atü
 mittlere Dampftemperatur 250°
 daraus ergibt sich nach Tafel 8 Seite 43 . . . $\gamma = 3,76 \text{ kg/m}^3$
 und nach Schaubild Seite 65 $\varepsilon = 0,992$
 (mit geschätztem $m = 0,3$)

Berechnung der Blende:

$$m\alpha = \frac{2000}{4,438 \cdot 10^2 \cdot 0,992 \sqrt{144 \cdot 3,76}} = 0,1952,$$

daraus $\alpha = 0,6356$ und $m = 0,307$.

Zuschlag für Rohrrauigkeit . . . + 0,7 %
 Zuschlag für Kantenunschärfe . . + 0,7 %
 + 1,4 %

daher das tatsächliche $\alpha = 0,6356 \cdot 1,014 = 0,645$,

daraus $\sqrt{m} = 0,590^1$ und $d = 10 \cdot 0,59 = 5,9 \text{ cm} = 59 \text{ mm}$.

Dieses d bezieht sich auf den Meßzustand der Blende bei 250° und ist entsprechend dem Ausdehnungsvermögen des Blendenwerkstoffes (Flußeisen) größer als der Blendendurchmesser in kaltem Zustand bei der Herstellung der Blende. Man muß also die Blende mit

$$d_{\text{kalt}} = \frac{d}{1 + \beta} \text{ herstellen.}$$

Ausdehnungskoeffizient β für Flußeisen bei verschiedenen Temperaturen.

| | |
|---------------------------|-------------------|
| $t = 100^\circ$ | $\beta = 0,00111$ |
| 200° | 0,00242 |
| 300° | 0,00363 |
| 400° | 0,00568 |
| 500° | 0,00710 |

¹⁾ Siehe Tafel auf Seite 62.

Daraus ergibt sich $d_{\text{kalt}} = \frac{59}{1,00303} = 58,8 \text{ mm.}$

Berechnung der Durchflußmenge bei gegebener Blende:

$d_{\text{kalt}} = 58,8 \text{ mm, } d_{250}^0 = 59 \text{ mm}$ und $\sqrt{m} = 0,59$, daraus $\alpha = 0,645$, davon ab für Rohrrauigkeit und Kantenunschärfe 1,4 %, so daß für die Berechnung $\alpha = \frac{0,645}{1,014} = 0,6356$ und $m\alpha = 0,1952$ werden.

Daraus ergibt sich

$$G = 4,438 \cdot 10^2 \cdot 0,1952 \cdot 0,992 \cdot \sqrt{3,76} \cdot \sqrt{H} = 166,7 \sqrt{H};$$

bei voll ausgenütztem Meßbereich $H = 144 \text{ mm QS}$ ergibt sich daraus

$$G = 2000 \text{ kg/h.}$$

d) *Berechnungsbeispiel für Wasser.*

Angaben:

Durchmesser des Leitungsrohres $D = 5 \text{ cm}$

geschätzte größte Wassermenge $G = 2500 \text{ kg/h}$

größter Differenzdruck am Anzeigerät

(U-Rohr, voll ausgenutzter Meßbereich) . $H = 200 \text{ mm Tetra-}$
 bromäthan

Messungen:

mittlere Wassertemperatur $t = 80^0$

daraus ergibt sich nach Tafel 5 Seite 33 . . . $\gamma = 972 \text{ kg/m}^3$

Berechnung der Blende:

$$m\alpha = \frac{2500}{1,757 \cdot 5^2 \cdot \sqrt{200 \cdot 972}} = 0,1291.$$

daraus $\alpha = 0,616$ und $m = 0,210$.

Zuschlag für Rohrrauigkeit $0,7 \%$

Zuschlag für Kantenunschärfe . . . $\frac{1,6 \%}{2,3 \%}$

daher das tatsächliche $\alpha = 0,616 \cdot 1,023 = 0,630$,

daraus $\sqrt{m} = 0,53^1$ und $d = 5 \cdot 0,53 = 2,65 \text{ cm} = 26,5 \text{ mm.}$

Die Ausdehnung der Blende durch die Wärme kann hier vernachlässigt werden.

Berechnung der Durchflußmenge bei gegebener Blende:

1) Siehe Tafel auf Seite 62.

$d=26,5$ mm, daraus $\sqrt{m} = 0,53$ und das tatsächliche $a = 0,630$; davon sind für Rohrrauigkeit und Kantenunschärfe 2,3 % abzuziehen, so daß für die Berechnung $a = \frac{0,630}{1,023} = 0,616$ und $m a = 0,1291$ werden. Es ergibt sich dann

$$G = 1,757 \cdot 0,1291 \cdot 5^2 \cdot \sqrt{972} \cdot \sqrt{H} = 176,7 \sqrt{H}$$

und bei voll ausgenütztem Meßbereich $H=200$ mm, $G=2500$ kg/h.

2. Ausführung der Blenden.

a) Allgemeines.

Die Hauptabmessungen der Blende sind aus Abb. a) Seite 72 ersichtlich. Die Abb. C) Seite 73 zeigt die Entnahme der Differenzdrücke durch Einzelanbohrung. Die Einzelanbohrung wird in den meisten Fällen zur Messung von Gas- und Luftmengen angewandt, da die Herstellung und der Einbau einfach sind. Die Abb. b) Seite 72 zeigt die Entnahme der Differenzdrücke durch Ringkammern.

Für Messungen an kleinen Rohrleitungen und zur Dampf- und Wassermessung sowie bei feuchten Gasen wird die Ringkammer gewählt. Siehe Abb. c) Seite 72.

Der Werkstoff der Drosselgeräte muß so gewählt werden, daß keine schnelle Abnutzung eintritt. Bewährt haben sich:

| | |
|--|---|
| für Luft und Gas | Flußstahl (Handelsgüte) |
| für vorwiegend feuchte Luft und feuchte Gase | nichtrostender Stahl |
| für heiße Luft und heiße, feuchte Gase | hitzebeständiger Stahl, Hämatiteisen, Flußeisen (Vorsicht wegen Verwerfung) |
| für Dampf | Monelmetall, Flußstahl |
| für Wasser | Gußeisen, Messing. |

b) Ausführung der Blende.

Es ist darauf zu achten, daß die rechtwinklige Kante an der Einströmseite der Blende streng scharf ist. Bei Blendendurchmessern bis 150 mm darf die Kante weder gebrochen noch abgerundet werden und auch keinen Grat besitzen. Bei einem Durchmesser von 150 mm

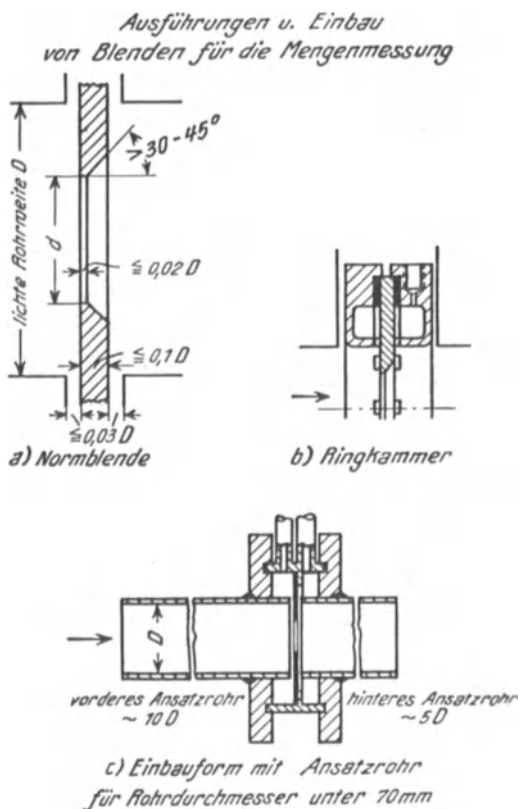
und darüber darf die Kante mit Schmirgelpapier leicht gebrochen werden. Die Stirnfläche soll in der Nähe der Einströmkante glatt bearbeitet sein.

Der errechnete Blendendurchmesser ist möglichst genau einzuhalten. Vor dem Einbau der Blende ist der Durchmesser mit einem Spiel von $0,001 d$ nachzumessen; bei Abweichung von dem in der Rechnung gefundenen Durchmesser ist die Durchflußmenge nachzurechnen.

Durchflußmenge vorzunehmen.

c) *Einbau der Blende.*

Es ist darauf zu achten, daß die Blende genau zentrisch zur Rohrachse sitzt und die Dichtungen nicht in das Rohr hineinragen.



Nach Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen und Blenden (DIN 1952).
 Berlin 1937.

Einteilige Blende schmalen Einbaubreite.

A) Blende

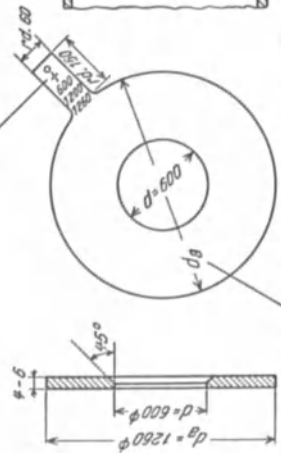
* Zeichn. 1. Blenden- $\phi = d_1$, 1. Leitungs- $\phi = d_2$.
 u. äußerer Blenden- $\phi = d_3$ auf der der
 Stromrichtung zugekehrten Seite aufschlagen.

B) Einbau

e so klein wie möglich, möglichst
 die Flanschen durchbohren.

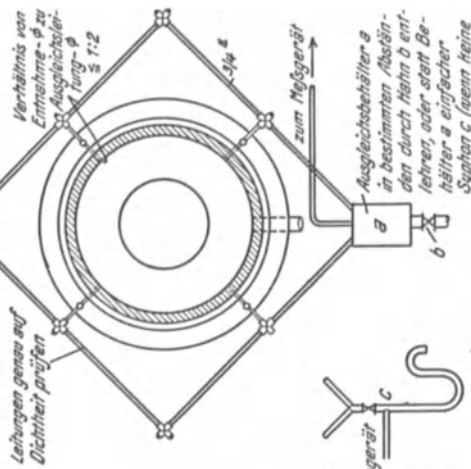
C) Druckentnahme

Zum Durchstoßen bzw. Reinigen
 Stopfen entfernen.



d_3 = äußerer Blenden- ϕ = Flanschenloch-
 Kreis- ϕ - Schrauben- ϕ

Bei größeren Blenden wird zweckmäßig
 am Handgriff ein Loch vorgesehen, um
 beim Ein- u. Ausbau die Scheibe an einer
 Stelle vom Gefäß zu können.



Ausgleichsbehälter a
 in bestimmten Abständen
 durch die Höhe b ent-
 leeren, oder statt Be-
 hälter a ein größerer
 Spähton c (weil keine
 größeren Druckstöße
 auftreten).

Ausführungsbeispiel: Druckentnahme durch vier gleichmäßige über den
 Umfang verteilte Einzelanbohrungen, Ausgleichsleitung und Ausgleichsbehälter.
 Nach Mitteilung Nr. 167 der Warmstelle Düsseldorf.

Die Einbaustelle ist so zu wählen, daß keine Störungen der Strömung eintreten, hervorgerufen durch Querschnittsänderungen der Rohrleitung, Krümmer, Doppelkrümmer, Abzweige, Ventile, Schieber in naher Entfernung von der Meßstelle.

Bei Einzelanbohrung genügt für einfache Krümmer eine Einlaufstrecke von 5 D nur bei $m=0,3$; bei $m=0,4-0,6$ sind dagegen schon 10—14 D erforderlich, für Raumkrümmer (in zwei zueinander senkrecht stehenden Ebenen) dagegen 14 D. für Schieber und Ventile auch bei kleinem m 25 D.

Man bestimmt daher zunächst für den gegebenen Rohrdurchmesser aus den Abb. Seite 75 u. 76 die notwendige Auslaufstrecke A und Einlaufstrecke E, die bei dem vorhandenen Öffnungsverhältnis $m = \left(\frac{d}{D}\right)^2$ eine fehlerfreie Messung ergeben. Sollte die zur Verfügung stehende Strecke bei Messung durch Einzelanbohrung nicht ausreichen, so ist zu prüfen, ob bei der Messung durch Ringkammer die vorhandene Strecke eine fehlerfreie Messung ermöglicht. Reicht die vorhandene Meßstrecke auch dann nicht aus, so können die Fehlergrenzen den Abb. Seite 75 u. 76 entnommen und bei den Meßergebnissen berücksichtigt werden.

Beispiel:

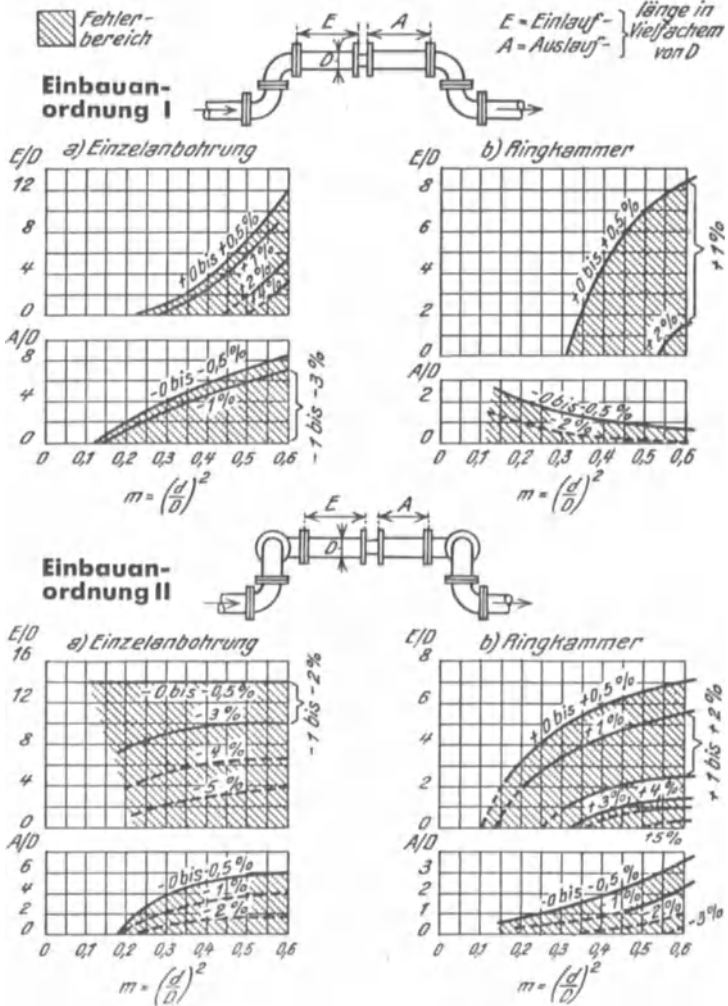
In einer Luftleitung von 500 mm lichtem Durchmesser soll die stündliche Durchflußmenge durch eine Blende gemessen werden. Die zur Verfügung stehende gerade Rohrstrecke beträgt 4500 mm = 9 D. Das Öffnungsverhältnis ist $m = 0,45$. Vor und hinter der Blende befinden sich Krümmer. Es wurde ferner Einzelanbohrung gewählt, bei der sich aus Einbauanordnung IIa Seite 75 ergeben:

| | |
|----------------------------|-----------------|
| Auslaufstrecke A | 6,0 · D |
| Einlaufstrecke E | <u>14,0 · D</u> |

Die zur fehlerfreien Messung benötigte Gesamtstrecke = $20,0 \cdot D$
= 10 000 mm.

Da die zur Verfügung stehende Strecke jedoch nur 4500 mm beträgt, müssen bei der Messung die nachstehenden Fehler berücksichtigt werden:

| | | |
|------------------|-------------------------|----------------|
| Auslaufstrecke A | $2 D = 1000 \text{ mm}$ | — 1,9 % Fehler |
| Einlaufstrecke E | $7 D = 3500 \text{ mm}$ | — 3,7 % Fehler |
| Gesamtstrecke | $9 D = 4500 \text{ mm}$ | — 5,6 % Fehler |



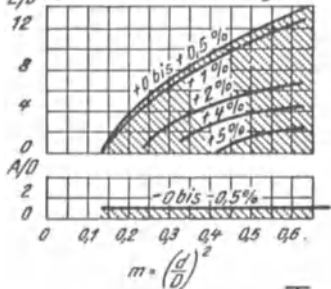
Einbaustörungen in gewisser Entfernung vor und hinter der Blende.

Nach Mitteilung Nr. 167 der Wärmestelle Düsseldorf.

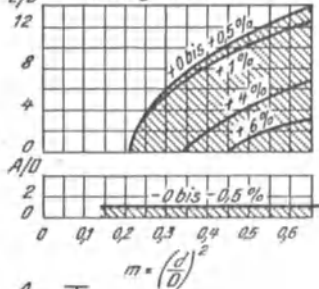
Einbauanordnung III



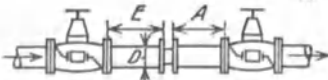
a) Zwei Einzelbohrungen



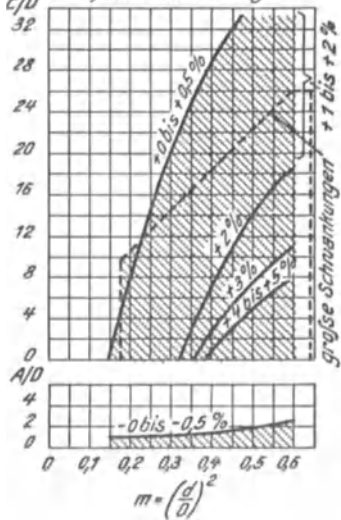
b) Ringkammer



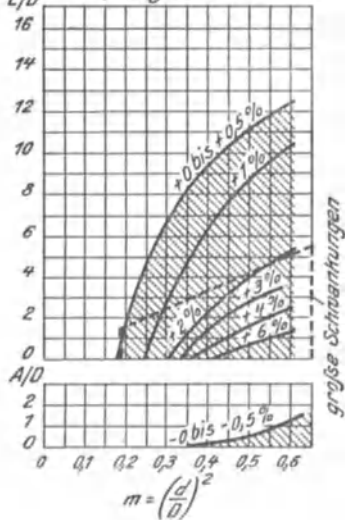
Einbauanordnung IV



a) Einzelbohrung



b) Ringkammer



Die Angaben sind Anhaltswerte und gelten nur im Gebiet oberhalb der R_D -Grenze.

Wird statt Einzelbohrung die Ringkammer gewählt, so ergeben sich nach Einbauanordnung IIb Seite 75:

| | |
|----------------------------|------------------------|
| Auslaufstrecke A | 2,5 · D |
| Einlaufstrecke E | 6,5 · D |
| Gesamtstrecke | <u>9,0 · D</u> |
| | = 9,0 · 500 = 4500 mm. |

Damit ist die zur Verfügung stehende Strecke von 4500 mm bei Messung mit Ringkammer ausreichend, um fehlerfrei messen zu können.

d) Verbindung von Blende und Meßgerät.

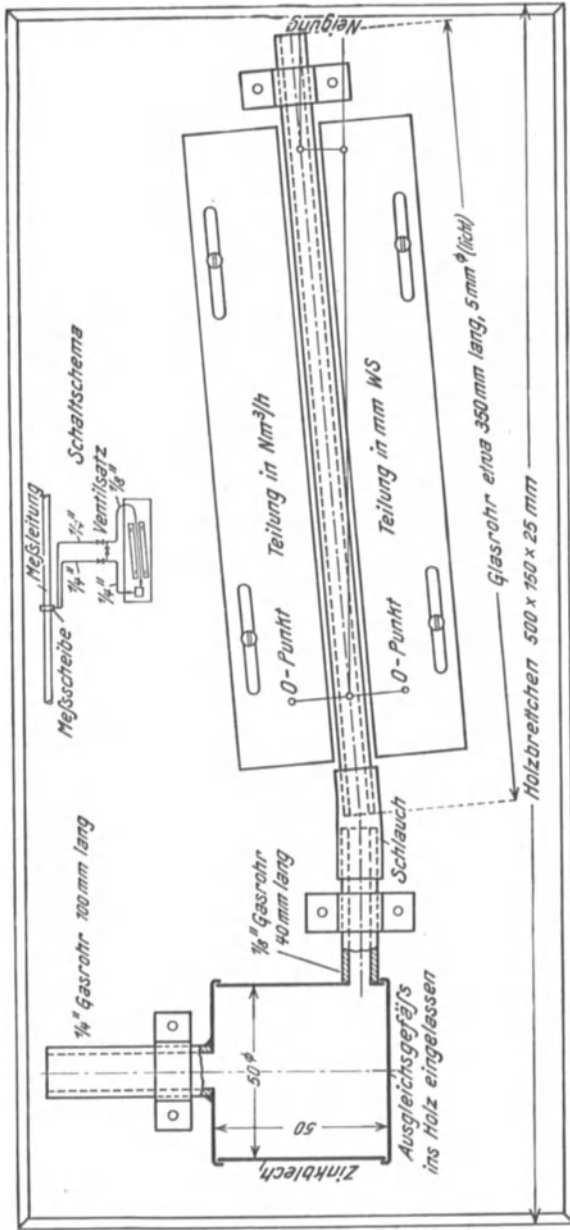
Diese Verbindung besteht bei Gas- und Wassermessungen aus Gasrohren von 1/2 bis 3/4 " lichter Weite; bei Dampfmessungen sind hartgezogene Kupferrohre von 9 mm Innen- und 10,5 mm Außendurchmesser zu benutzen. Es ist besonders darauf zu achten, daß die Druckentnahmestellen an der Blende bzw. am Leitungsrohr keinen Grat aufweisen und vollkommen eben mit der Rohrwandung abschneiden und bei Dampf- und Wassermessungen sich kein Gas oder Dampf in den Meßrohren befindet. Bei Dampf müssen die Druckentnahmerohre in gleicher Höhe in die Kondensgefäße münden.

Bei Wassermessungen erreicht man ersteres durch Anbringen von Entlüftungshähnen an den höchsten Stellen, bei Dampfmessungen, bei denen die Anzeigergeräte tiefer als die Meßstelle liegen, durch unmittelbar an der Blende angeordnete und mit ihr verschweißte Ausgleichstöpfe, die mit der Wasserwaage ausgerichtet werden müssen, oder durch genau waagrecht liegende Rohrschlangen. Im übrigen verlegt man die Meßleitungen mit Gefälle nach dem Anzeigergerät hin.

3. Anzeigergeräte.

Als Anzeigergeräte sind U-Rohre der auf Seite 78 und auf Seite 80 angegebenen Bauart zu empfehlen.

Als Meßflüssigkeit verwendet man bei Gasmessungen gefärbtes Wasser, bei Dampf- und Wassermessungen Quecksilber mit dem spezifischen Gewicht 13,6 oder für geringere Differenzdrücke Tetrabromäthan mit dem spezifischen Gewicht 2,97, das durch einen darin löslichen, in Wasser aber unlöslichen Farbstoff, wie Sudanrot, besser sichtbar gemacht wird.



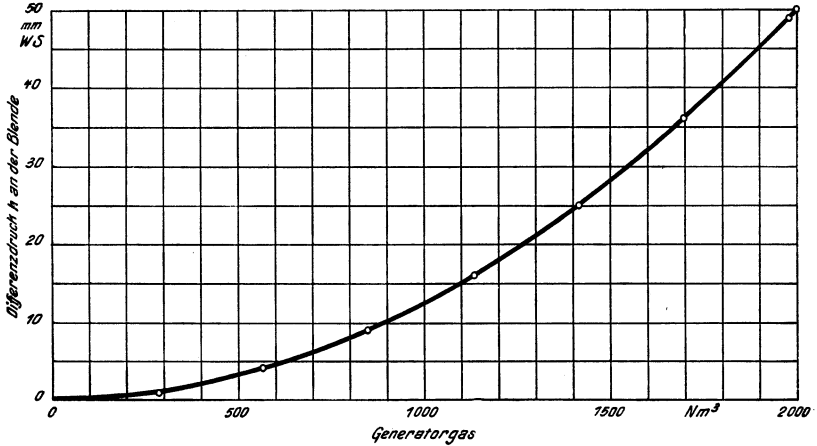
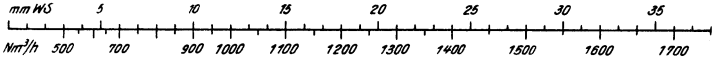
Mit einfachen Mitteln herstellbares Schrägrohr zur Messung von Zug- Druck und Differenzdrücken bzw. Durchflußmengen.

Bei 2000 Nm³/h ist ein Differenzdruck an der Blende von h = 50 mm WS vorhanden, dann wird:

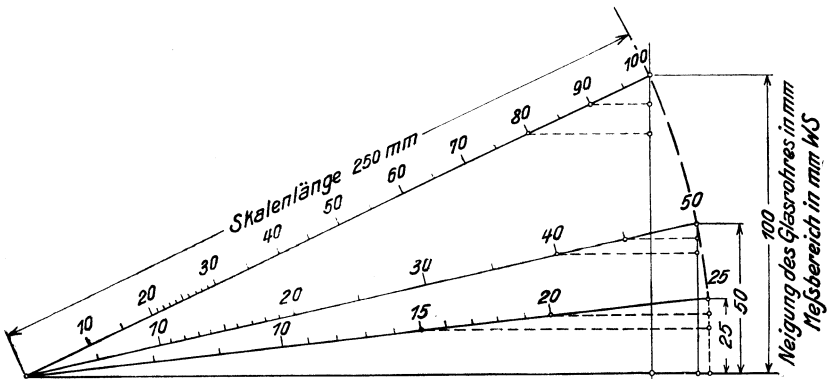
| | | | | | | | | | |
|--------------------|---|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| h | 0 | 1 | 4 | 9 | 16 | 25 | 36 | 49 | 50 |
| √h | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 7,07 |
| Nm ³ /h | 0 | 283 | 566 | 849 | 1132 | 1415 | 1698 | 1981 | 2000 |

Hieraus ergibt sich die Kurve, aus der die Werte für die Mengenskala abgegriffen werden:

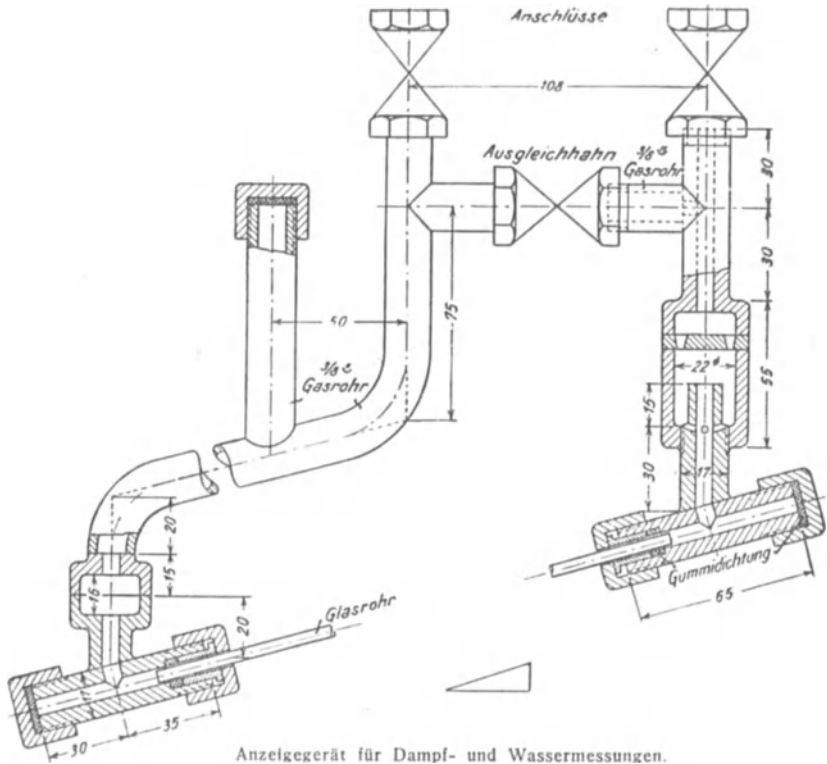
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Nm ³ /h | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 |
| mm WS | 3 | 4,5 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 45 | 50 |



Beispiel für die Ermittlung der Mengenskala für eine berechnete Blende.



Eichung von Schrägrohr-Zug- und Druckmessern für die Meßbereiche 0-25, 0-50, 0-100 mm WS.



Anzeigergerät für Dampf- und Wassermessungen.

4. Geräte mit fortlaufender Aufzeichnung.

Die Geräte mit fortlaufender Aufzeichnung der gemessenen Mengen werden auch mit Zählwerk hergestellt. Sonderbauarten gestatten die Erfassung in Normalkubikmetern unter selbsttätiger Berücksichtigung von Temperatur und Druck.

Die Mengenmeßgeräte werden auf Grund der angewandten Meßverfahren in folgende Gruppen eingeteilt:

Ringwaagen. Der von der Blende erhaltene Differenzdruck wirkt auf eine Ringwaage und bewirkt eine Drehung der Waage. Diese Drehbewegung wird auf einen Schreibhebel übertragen unter gleichzeitiger Umwandlung der quadratischen Meßwerte der Blende in lineare Werte. Der Meßbereich der Ringwaagen läßt sich durch Auflegen oder Abnehmen von Gewichten verändern.

Tauchglockeninstrumente. In diesen Geräten schwimmt in Wasser oder Öl eine parabolisch geformte Tauchglocke, auf die der Differenzdruck der Blende wirkt. Durch die parabolische Ausbildung der Tauchglocke werden lineare Meßwerte aufgezeichnet.

Schwimmerinstrumente. Der Differenzdruck wirkt auf eine Meßflüssigkeit (Quecksilber), die sich in einem Gefäß mit parabolischem Querschnitt befindet. Eine auf der Oberfläche der Meßflüssigkeit schwimmende Scheibe steht mit dem Schreibwerk in Verbindung, das die Durchflußmenge aufzeichnet.

Membraninstrumente. Der Differenzdruck der Blende wirkt auf eine Metallmembrane. Ihre Bewegung wird durch Übersetzung übergeleitet auf die Schreibfeder unter gleichzeitiger Umwandlung der quadratischen Meßwerte in lineare.

II. Temperaturmessung.

1. Siede- bzw. Schmelzpunkte verschiedener Stoffe.

Die Wahl des Thermometers richtet sich nach der Höhe der zu messenden Temperatur und nach der geforderten Genauigkeit der Messung. Eine Nachprüfung der Meßgeräte auf die Richtigkeit ihrer Anzeige läßt sich durch Vergleich der Siede- bzw. Schmelzpunkte nachstehender Stoffe durchführen:

| | |
|---|-----------|
| Siedepunkt des Sauerstoffes | — 183,0 ° |
| Sublimationspunkt der Kohlensäure | — 78,5 ° |
| Schmelzpunkt des Quecksilbers | — 38,89° |
| „ „ Eises | 0,0 ° |
| Siedepunkt „ Wassers | 100,0 ° |
| „ „ Naphthalins | 218,0 ° |
| Erstarrungspunkt von chemisch reinem Zinn | 231,9 ° |
| „ „ „ „ Wismut | 271,0 ° |
| „ „ „ „ Zink | 419,5 ° |
| Siedepunkt von Schwefel (gegen Luft schützen) | 444,6 ° |
| Erstarrungspunkt von chemisch reinem Antimon | 650,5 ° |
| „ „ „ „ Silber | 960,5 ° |
| „ „ „ „ Gold | 1 063,0 ° |
| „ „ „ „ Kupfer | 1 083,6 ° |
| „ „ „ „ Palladium | 1 557,0 ° |
| „ „ „ „ Platin | 1 764,0 ° |

2. Geräte für Temperaturmessung.

a) Flüssigkeitsthermometer.

Man unterscheidet:

Einschlußthermometer mit dünnwandigem Kapillarrohr mit Teilung auf einem Milchglasstreifen, die beide in ein gemeinsames Hüllrohr fest eingeschmolzen sind, und

Stabthermometer mit starkwandigem Kapillarrohr mit aufgeätzter Teilung. Bei ihnen ist auf Vermeidung der Parallaxe beim Ablesen und auf gute Ablesbarkeit der eingeätzten Skala besonders zu achten. Verwendungsgrenze 700° .

Nachstehende Tafeln geben Aufschluß über Verwendungsbereich, Bauart, zulässige Fehler und Grenzen der Meßgenauigkeit.

Flüssigkeitsthermometer.

| Füllflüssigkeit | Bauart | Verwendungsbereich in $^{\circ}\text{C}$ | Beiwert α für Fadenberichtigung |
|-----------------|---|--|--|
| Quecksilber | Stab- oder Einschlußthermometer ohne Gasfüllung | - 30° bis $+ 280^{\circ}$ | $\frac{1}{6000}$ |
| Quecksilber | Stabthermometer mit Gasfüllung | - 30° bis $+ 700^{\circ}$ | $\frac{1}{6000}$ |
| Quecksilber | Einschlußthermometer mit Gasfüllung | - 30° bis $+ 600^{\circ}$ | $\frac{1}{6000}$ |
| Toluol | Stab- oder Einschlußthermometer ohne Gasfüllung | - 70° bis $+ 100^{\circ}$ | $\frac{1}{800}$ |
| Alkohol | Stab- oder Einschlußthermometer ohne Gasfüllung | - 110° bis $+ 50^{\circ}$ | $\frac{1}{800}$ |
| Pentan | Stab- oder Einschlußthermometer ohne Gasfüllung | - 200° bis $+ 20^{\circ}$ | $\frac{1}{800}$ |

Die Beschaffenheit der Flüssigkeitsthermometer soll den Prüfungsbedingungen der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Berlin entsprechen. Ist für amtlich geprüfte oder prüffähige Thermometer kein Prüfschein vorhanden, so gelten die Angaben der Tafel als Grenzen der Meßgenauigkeit. Die Tafel gilt für Thermometer mit Prüfschein.

Zulässige Anzeigefehler der Teilungsangabe von den wirklichen Temperaturen für die Prüfung von Flüssigkeitsthermometern durch die Physikalisch-technische Reichsanstalt.

| Zulässige Anzeigefehler (in Grad) | | | | | |
|-----------------------------------|----|--|--|-------------------------------|---------------------|
| Teilung | °C | $\frac{1}{100} \dots \frac{1}{50}^{\circ}$ | $\frac{1}{20} \dots \frac{1}{5}^{\circ}$ | $\frac{1}{2} \dots 1^{\circ}$ | mehrf. ^o |
| Temperaturbereich | | | | | |
| — 190 bis — 80° | | | 1 | 3 | |
| — 80 „ — 20° | | | 0,5 | 1 | |
| — 20 „ + 100° | | 0,05 | 0,25 | 0,5 | 1 |
| + 100 „ + 200° | | | 0,5 | 1 | 2 |
| + 200 „ + 300° | | | | 2 | 3 |
| + 300 „ + 400° | | | | 3 | 5 |
| + 400 „ + 700° | | | | 5 | 9 |

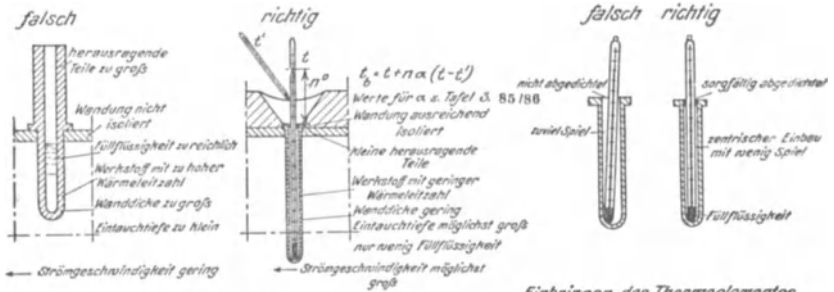
Grenzen ¹⁾ der Meßgenauigkeit guter, geprüfter Flüssigkeitsthermometer in Grad.

| Grenzen der Meßgenauigkeit (in Grad) | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|----|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-------|-----|
| Teilung | °C | $\frac{1}{100}^{\circ}$ | $\frac{1}{50}^{\circ}$ | $\frac{1}{20}^{\circ}$ | $\frac{1}{10}^{\circ}$ | $\frac{1}{5}^{\circ}$ | $\frac{1}{2}^{\circ}$ | 1° | 2° |
| Temperaturbereich | | | | | | | | | |
| — 200 bis — 80° | | — | — | 0,1 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 1,0 | — |
| — 80 „ — 20° | | — | — | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,25 | 0,5 | — |
| — 20 „ + 100° | | 0,01 | 0,02 | 0,025 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,25 | — |
| + 100 „ + 200° | | — | — | — | — | 0,2 | 0,25 | 0,5 | — |
| + 200 „ + 300° | | — | — | — | — | — | — | 0,5 | 1,0 |
| + 300 „ + 400° | | — | — | — | — | — | — | 0,5 | 1,0 |
| + 400 „ + 500° | | — | — | — | — | — | — | 1,0 | 2 |
| + 500 „ + 700° | | — | — | — | — | — | — | 2...5 | 5 |

¹⁾ Die Grenzwerte gelten für die nach dem Prüfbefund berichtigten Ablesewerte.

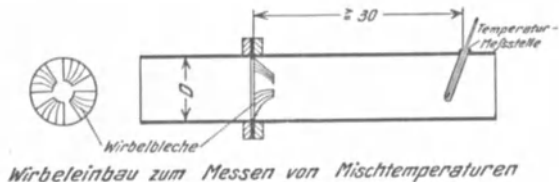
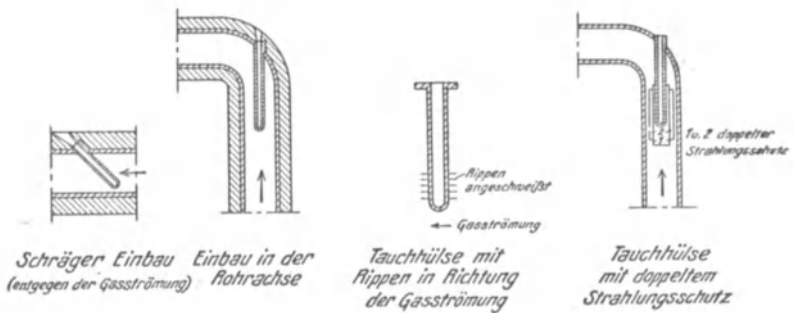
Nach „Regeln für Meßverfahren bei Abnahmeversuchen“ Teil I: Regeln für Temperaturmessungen „VDI-Temperaturmeßregeln“. Berlin 1936.

Für Flüssigkeitsthermometer sind beim Einbau folgende Richtlinien zu beachten:



Einbau der Tauchhülse

Einbringen des Thermoelementes in die Tauchhülse



Tauchhülsen und Wirbeleinbau.

Nach „Regeln für Meßverfahren bei Abnahmeversuchen“ Teil I: Regeln für Temperaturmessungen „VDI-Temperaturmeßregeln“, Berlin 1936.

Fadenkorrekturen.

Ragt ein Teil des Quecksilberfadens aus dem Raum heraus, dessen Temperatur gemessen werden soll, so ist zu der abgelesenen (und nach dem Prüfungsschein der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt berichtigen) Temperatur die Korrektur $k = n \cdot \alpha_1 (t - t')$ hinzuzufügen. Hierin bedeutet n die in Graden ausgedrückte Länge des herausragenden Teiles des Quecksilberfadens, α_1 den scheinbaren Ausdehnungskoeffizienten des Quecksilbers im Glase, t die am verwendeten Thermometer, t' die an einem Hilfsthermometer abgelesene Temperatur, welche letzteres in halber Höhe des herausragenden Quecksilberfadens angebracht ist; k hat die untenstehenden Werte.

Stabthermometer aus Jenaer Glas 59^{III} von 0° bis 400°.

$$\alpha_1 = 0,000\ 168.$$

| n | $t - t'$ | | | | | | | | | | | | | | | | n |
|-----|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 80° | 100° | 120° | 140° | 160° | 180° | 200° | 220° | 240° | 260° | 280° | 300° | 320° | 340° | 360° | 380° | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 20 |
| 40 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,7 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 2,6 | 40 |
| 60 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 60 |
| 80 | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,1 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,0 | 4,3 | 4,6 | 4,8 | 5,1 | 80 |
| 100 | 1,3 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 4,0 | 4,4 | 4,7 | 5,0 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 6,4 | 100 |
| 120 | | 2,0 | 2,4 | 2,8 | 3,2 | 3,6 | 4,0 | 4,4 | 4,8 | 5,2 | 5,6 | 6,0 | 6,4 | 6,9 | 7,3 | 7,7 | 120 |
| 140 | | | 2,8 | 3,3 | 3,8 | 4,2 | 4,7 | 5,2 | 5,6 | 6,1 | 6,6 | 7,1 | 7,5 | 8,0 | 8,5 | 8,9 | 140 |
| 160 | | | | 3,8 | 4,3 | 4,8 | 5,4 | 5,9 | 6,4 | 7,0 | 7,5 | 8,1 | 8,6 | 9,1 | 9,7 | 10,2 | 160 |
| 180 | | | | | 4,8 | 5,4 | 6,0 | 6,6 | 7,3 | 7,9 | 8,5 | 9,1 | 9,7 | 10,3 | 10,9 | 11,5 | 180 |
| 200 | | | | | | 6,0 | 6,7 | 7,4 | 8,1 | 8,7 | 9,4 | 10,1 | 10,7 | 11,4 | 12,1 | 12,8 | 200 |
| 220 | | | | | | 6,0 | 7,4 | 8,1 | 8,9 | 9,6 | 10,3 | 11,1 | 11,8 | 12,6 | 13,3 | 14,0 | 220 |
| 240 | | | | | | | 7,4 | 8,1 | 8,9 | 9,7 | 10,5 | 11,3 | 12,1 | 12,9 | 13,7 | 14,5 | 240 |
| 260 | | | | | | | | 8,9 | 9,7 | 10,5 | 11,4 | 12,2 | 13,1 | 14,0 | 14,8 | 15,7 | 260 |
| 280 | | | | | | | | | 8,9 | 10,5 | 11,4 | 12,2 | 13,2 | 14,1 | 15,0 | 16,0 | 280 |
| 300 | | | | | | | | | | 12,2 | 13,2 | 14,1 | 15,0 | 16,0 | 16,9 | 17,9 | 300 |
| 320 | | | | | | | | | | | 14,1 | 15,1 | 16,1 | 17,1 | 18,1 | 19,1 | 320 |
| 340 | | | | | | | | | | | | 16,1 | 17,2 | 18,3 | 19,3 | 20,4 | 340 |
| 360 | | | | | | | | | | | | | 18,3 | 19,4 | 20,6 | 21,7 | 360 |
| 380 | | | | | | | | | | | | | | 20,6 | 21,8 | 23,0 | 380 |
| 400 | | | | | | | | | | | | | | | 23,0 | 24,2 | 400 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 25,5 | |

Einschlußthermometer aus Jenaer Glas 59^{III} von 0° bis 400°.

$$\alpha_1 = 0,000\ 157\ 9.$$

| n | t—t' | | | | | | | | | | | | | | | | n |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 80° | 100° | 120° | 140° | 160° | 180° | 200° | 220° | 240° | 260° | 280° | 300° | 320° | 340° | 360° | 380° | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 20 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 20 |
| 40 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,9 | 2,0 | 2,1 | 2,3 | 2,4 | 40 |
| 60 | 0,8 | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,3 | 2,5 | 2,7 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 60 |
| 80 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,8 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,3 | 3,5 | 3,8 | 4,0 | 4,3 | 4,5 | 4,8 | 80 |
| 100 | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,1 | 4,4 | 4,7 | 5,1 | 5,4 | 5,7 | 6,0 | 100 |
| 120 | | 1,9 | 2,3 | 2,7 | 3,0 | 3,4 | 3,8 | 4,2 | 4,5 | 4,9 | 5,3 | 5,7 | 6,1 | 6,4 | 6,8 | 7,2 | 120 |
| 140 | | | 2,7 | 3,1 | 3,5 | 4,0 | 4,4 | 4,9 | 5,3 | 5,7 | 6,2 | 6,6 | 7,1 | 7,5 | 8,0 | 8,4 | 140 |
| 160 | | | | 3,5 | 4,0 | 4,5 | 5,1 | 5,6 | 6,1 | 6,6 | 7,1 | 7,6 | 8,1 | 8,6 | 9,1 | 9,6 | 160 |
| 180 | | | | | 4,5 | 5,1 | 5,7 | 6,3 | 6,8 | 7,4 | 8,0 | 8,5 | 9,1 | 9,7 | 10,2 | 10,8 | 180 |
| 200 | | | | | | 5,7 | 6,3 | 6,9 | 7,6 | 8,2 | 8,8 | 9,5 | 10,1 | 10,7 | 11,4 | 12,0 | 200 |
| 220 | | | | | | | 6,9 | 7,6 | 8,3 | 9,0 | 9,7 | 10,4 | 11,1 | 11,8 | 12,5 | 13,2 | 220 |
| 240 | | | | | | | | 8,3 | 9,1 | 9,9 | 10,6 | 11,4 | 12,1 | 12,9 | 13,6 | 14,4 | 240 |
| 260 | | | | | | | | | 9,9 | 10,7 | 11,5 | 12,3 | 13,1 | 14,0 | 14,8 | 15,6 | 260 |
| 280 | | | | | | | | | | 11,5 | 12,4 | 13,3 | 14,1 | 15,0 | 15,9 | 16,8 | 280 |
| 300 | | | | | | | | | | | 13,3 | 14,2 | 15,2 | 16,1 | 17,1 | 18,0 | 300 |
| 320 | | | | | | | | | | | | 15,2 | 16,2 | 17,2 | 18,2 | 19,2 | 320 |
| 340 | | | | | | | | | | | | | 17,2 | 18,3 | 19,3 | 20,4 | 340 |
| 360 | | | | | | | | | | | | | | 19,3 | 20,5 | 21,6 | 360 |
| 380 | | | | | | | | | | | | | | | 21,6 | 22,8 | 380 |
| 400 | | | | | | | | | | | | | | | | 24,0 | 400 |

Nach Landolt-Börnstein: Physikalisch-Chemische Tabellen. Berlin 1923, Band II.

b) Flüssigkeits-Federthermometer.¹⁾

Hierbei werden je nach der Höhe des Meßbereichs verschiedene Flüssigkeiten verwendet, deren Ausdehnung über ein Federwerk auf einer Skala angezeigt oder laufend aufgeschrieben wird. Verwendungsgrenze 500°.

c) Dehnungsthermometer.¹⁾

Bei diesen bildet die Ausdehnungsdifferenz zweier Metalle mit verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten ein Maß für die Temperaturhöhe. Sie werden als Anzeige- und als Schreibgeräte ausgeführt. Verwendungsgrenze 500°.

d) Elektrische Widerstandsthermometer.

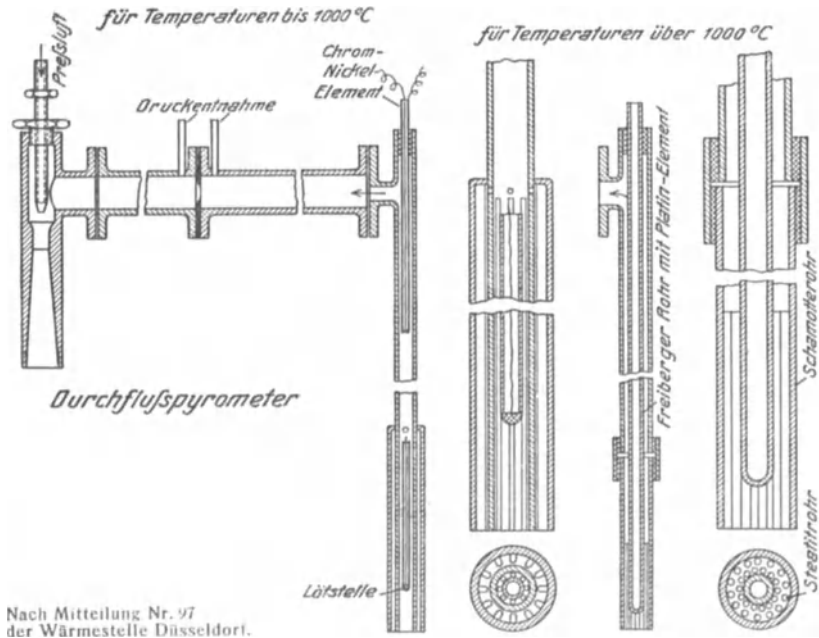
Sie werden an Stelle von Flüssigkeitsthermometern angewendet, wenn die Meßstellen für unmittelbare Ablesung nicht zugänglich sind oder zahlreiche, weit entfernte Meßstellen von einer Stelle aus

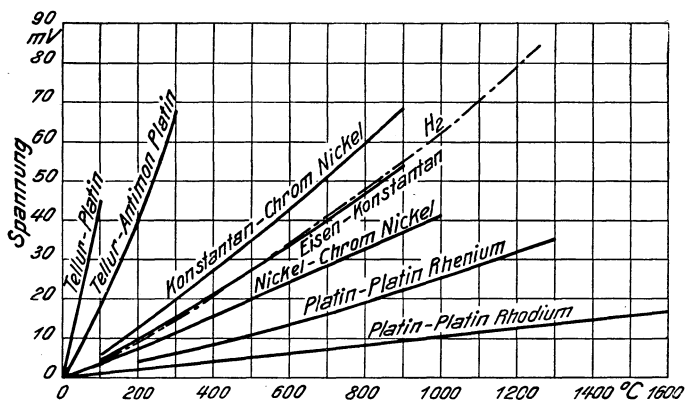
¹⁾ Flüssigkeits-Federthermometer und Dehnungsthermometer aus festen Stoffen sind für genaue Messungen nicht geeignet!

beobachtet oder aufgezeichnet werden sollen. Der Meßbereich erstreckt sich von den niedrigsten Temperaturen bis zu etwa 600°. Widerstandsthermometer erfordern eine besondere Niederspannungsgleichstromquelle. Als Meßgeräte dienen Drehspul- oder Kreuzspulinstrumente. Damit Temperaturänderungen der Zuleitungen keinen merkbaren Einfluß auf die Anzeige ausüben, soll der Widerstand des Meßdrahtes (Thermometers) mindestens das 30fache des Widerstandes der Zuleitungen betragen.

e) *Thermoelemente und Durchflußpyrometer.*

Das Thermoelement besteht aus zwei verschiedenen Metall- oder Metallegierungsdrähten. An einem Ende sind die beiden Drähte verlötet oder verschweißt — warme Lötstelle —, an dem anderen Ende — kalte Lötstelle — ist entweder unmittelbar oder über einen Kupferleiter das Meßinstrument, ein Drehspulinstrument mit hohem Eigenwiderstand, angeschlossen. Bei Erwärmung der Warmlötstelle bilden sich in dem Element Thermoströme, die als Spannungsdifferenz an der kalten Lötstelle gemessen und nach der Eichreihe um-





Spannungen verschiedener Thermoelemente in Abhängigkeit von der Temperatur.
Nur zur Feststellung des Meßbereichs.

Nach Mitteilung Nr. 218 der Wärmestelle Düsseldorf.

gewertet unmittelbar als Temperaturgrade abgelesen werden können. Die Eichkurven der Thermoelemente beziehen sich auf eine Temperatur von 20° an der kalten Lötstelle. Sollte die Temperatur an der kalten Lötstelle höher oder niedriger liegen, so ist die Temperaturanzeige um die Abweichung zu berichtigen oder das Thermoelement ist durch Kompensationsleitungen zu verlängern, bis die kalte Lötstelle in einem Raume von 20° liegt.

Für die Messung der Thermokraft ist ein Präzisions-Drehspulmeßinstrument zu verwenden, dessen Widerstand zum Widerstand des Elementes und der Zuleitungsdrähte mindestens im Verhältnis 200:1 stehen soll, damit der Einfluß des Widerstandes der Verlängerungsleitung klein ist.

Die von den Thermometern (Thermoelementen) erhaltenen Werte sind häufig zu niedrig, da die Thermometer im Wärmeaustausch mit dem Gas selbst und den Wänden des Gasraumes stehen, dagegen wird ein richtig gebautes Durchflußpyrometer, bei dem ein Teilstrom der Gase am Thermometer vorbeigesaugt wird, die wahren Temperaturen ergeben.

Übersicht über die gebrauchten Werkstoffe

a) Metallische

| Schutzrohr-Werkstoff | Kupfer, Bronze, Monel | Nickel | Gußeisen | Flußstahl, Armco-Eisen | Mannesmannrohr | NCT 3 Nichrotherm |
|------------------------------|--|--|--------------------------|---|----------------------------------|---|
| Zusammensetzung % | Kupfer: Cu Bronze: 90 Cu, 10 Sn Monel: 67-70% Ni ~ 30% Cu | Ni allerreinste Nickel | Gußeisen normal | Flußstahl normal, Armco: 99,7-99,85% Fe | Stahlgüte | Mn Ni Cr 0,48 17,5 37,6 — 20 25 |
| Verwendungsbereich bis °C | 500 | 1100 kurzzeitig: 1250 | 500 | 550 | 800 | 1200 |
| Verwendungszweck | Dampfmessungen Chem. Industrie | Zyankali [920°] Härtebäder | Alkali und Zinnschmelzen | Blei- und Zinnschmelzen | Glühöfen bis 800° | Weitgehend zunderbeständig, bruchsfest, große Zähigkeit |
| Hersteller- und Lieferfirmen | — | Ver. Deutsche Nickelwerke Schwerte u. a. | — | Armco-Eisen G. m. b. H., Köln | Mannesmannröhrenwerke Düsseldorf | Fried. Krupp A-G Essen Rohre: Mannesmann Heraeus |

Nach Mitteilung Nr. 218 des

b) Keramische

| Schutzrohr-Werkstoff | Quarz, Quarzglas, Quarzgut | Hartporzellan | Marquardt'sche Masse | Pythagorasmasse Freiberger Porzellan Sillimanit *) |
|------------------------------|--|---|---|---|
| Zusammensetzung % | Si O ₂ | Kaolin und Feldspat (26% Al ₂ O ₃) | 30-40% Al ₂ O ₃ | *) Masse 10a 1 % Al ₂ O ₃ 57 7 % Si O ₂ 42 2 |
| Verwendungsbereich bis °C | 1100 | 1200 Über 1200 nur senkrecht | Glasiert bis 1400 unglasiert bis 1600 | 1600 |
| Verwendungszweck | Vorübergehende rasche Messungen. In Metallschmelzen kurzzeitig bis 1500° | Dauermessungen Gasdicht bis 1400°. Nicht temperaturwechselbeständig | Für Dauermessungen, da nicht temperaturwechselbeständig | Bis 1580° hochvakuumdicht Glasschmelzen |
| Hersteller- und Lieferfirmen | — | Staatl. Porzellanmanufaktur Berlin und Porzellanfabrik Ph. Rosenthal & Co. Abt. C Marktrechwitz | Staatl. Porzellanmanufaktur Berlin | Porzellanfabr. Freiberg Sa. Europ. Koppers P. B. Sill. GmbH Düsseldorf-Heerd W. Haldenwange Spandau |

Nach Mitteilung Nr. 218 des

Üblichste Schutzrohre.

Übliche Rohre.

| Sicromal 10; 12 | V ₂ A | Thermax 9; 10; 11; 12 | Chromstahl Cr-Fe | Chromnickel Ni-Cr-Fe | Cekas | Chronin |
|---|--|---|--|---|---|------------------------------------|
| Cr-Al-Mo-Fe | Ni Cr 8,0 15,7 8,0 18,0 | Ni-Cr-Fe | unter 0,1% C ~ 15,0% Cr bis 30% Cr | 50-75% Ni 1-20% Cr | Mn Ni Cr 2,0 59,7 11,2 | Ni Cr 83,7 14,7 |
| 10 : 1000 ⁰ 12 : 1200 ⁰ | 1000 | 9 : 1000 ⁰ 10 : 1100 ⁰ 11 : 1200 ⁰ 12 : 1300 ⁰ | 1100 | 1100 | 1300 | 1200 |
| Widerstandsfähig gegen oxyd. und schwefelhalt. Atmosph. | Nickel-, Zinn-, Bleischmelzen, Kalisalpeter Chlorbariumschmelzen | Hitze- und zunderbeständig | Für oxyd., red. und schwefelhaltige Gase | Für Glühöfen, Härte- und Salzbäder, Bleischmelzen | — | — |
| Ver. Stahlwerke Abt. Röhrenwerke Düsseldorf-Lierenfeld | Fried. Krupp A-G Essen Rohre: Mannesmann | Deutsche Edelstahlwerke Krefeld, Bochum, Remscheid | — | Nickel Informationsbüro Frankfurt a. M. | Nickel Informationsbüro Frankfurt a. M. | Ver. Deutsche Nickelwerke Schwerte |

Wärmestelle Düsseldorf.

Übliche Rohre.

| Siliziumkarbid, Karborundum, Silit | Pyrodur | Elektrokorund, Sinterkorund | Schamotte | Isolierperlen Q5 |
|--|---|---|--|--------------------------------------|
| Si C | Al ₂ O ₃ reich | 99,8% Al ₂ O ₃ 0,2% Fe O ₃ Si O ₂ | 43% Al ₂ O ₃ 52% Si O ₂ 2,5% Fe ₂ O ₃ | Kaolinhaltig feinporös |
| 1200 | 1100-1500 | 1700 | 1400-1700 | — |
| Für scharfe Temperaturschwankungen. Messungen in geschmolzenem Glas und Eisenschlacken | — | Hohe Temperaturwechselbeständigkeit. Sinterkorund gasdicht bis 1720 ⁰ . Hohe Wärmeleitfähigkeit | Nur für Dauereinbau. Als Außenrohr für Pt-Elemente | Gute Temperaturwechselbeständigkeit |
| Siemens Plania, Berlin-Lichtenberg Deutsche Karborundumwerke Düsseldorf-Reisholz | Hermesdorf-Schomburg-Isolatoren-Ges. Hermesdorf/Thür. | Sinterkorund: Siemens-Schuckert-Werke Elektrokorund: Deutsche Karborundumwerke Düsseldorf Norton Comp. Wesseling bei Köln | — | Steatit-Magnesia A.-G. Berlin-Pankow |

Wärmestelle Düsseldorf.

Temperaturen und Thermokräfte von Thermoelementen.

Temperatur der freien Enden: 20°.

| Temperatur °C | Platin-Rhodium | | Nickel-Nickelchrom | | Konstantan-Chromnickel | | Konstantan-Eisen | | Konstantan-Silber | | Konstantan-Kupfer | |
|---------------|------------------|----------------|--------------------|-----------------|------------------------|---------------|------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|----------------|
| | Siemens & Halske | Heraeus | Siemens & Halske | Heraeus | Heraeus | Heraeus | Siemens & Halske | Heraeus | Siemens & Halske | Heraeus | Siemens & Halske | Heraeus |
| 20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 100 | — | 0,53 | 2,35 | 3,30 | 5,40 | 4,26 | 4,50 | 3,54 | 3,28 | 3,44 | 3,28 | 3,28 |
| 200 | 1,36 | 1,31 | 5,38 | 7,50 | 12,40 | 9,69 | 9,90 | 8,62 | 8,33 | 8,40 | 8,33 | 8,33 |
| 300 | 2,21 | 2,19 | 8,46 | 11,60 | 19,60 | 15,20 | 15,50 | 14,33 | 13,38 | 14,12 | 13,38 | 13,38 |
| 400 | 3,15 | 3,12 | 11,73 | 15,70 | 27,50 | 20,85 | 21,00 | 20,41 | 19,38 | 20,28 | 19,38 | 19,38 |
| 500 | 4,12 | 4,09 | 15,15 | 20,00 | 35,40 | 26,64 | 26,70 | 26,78 | 25,78 | 26,78 | 25,78 | 25,78 |
| 600 | 5,13 | 5,10 | 18,72 | 24,20 | 43,30 | 32,66 | 33,70 | 33,67 | 32,98 | 32,98 | 32,98 | 32,98 |
| 700 | 6,18 | 6,14 | 22,42 | 28,30 | — | 38,98 | — | — | — | — | — | — |
| 800 | 7,26 | 7,21 | 26,22 | 32,40 | — | 45,68 | — | — | — | — | — | — |
| 900 | 8,37 | 8,32 | 30,08 | 36,50 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1000 | 9,50 | 9,45 | 33,98 | 40,50 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1100 | 10,65 | 10,61 | 37,90 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1200 | 11,82 | 11,78 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1300 | 13,00 | 12,96 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1400 | 14,18 | 14,15 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1500 | 15,37 | 15,34 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1600 | 16,56 | 16,52 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Abweichung | ± 8° bei 1600° | ± 2° bei 1000° | ± 13° bei 1100° | ± 12° bei 1000° | ± 10° bei 600° | ± 8° bei 800° | ± 10° bei 600° | ± 5° bei 600° | ± 10° bei 600° | ± 5° bei 500° | ± 10° bei 600° | ± 10° bei 600° |

Nach Angaben von Siemens & Halske, Berlin, und W. C. Heraeus, Hanau.

f) *Temperaturschätzung nach der Glühfarbe.*

| | |
|-------------------------------|--------------------|
| Beginnende Rotglut | 525 ⁰ |
| Dunkelrotglut | 700 ⁰ |
| Kirschrotglut | 850 ⁰ |
| Hellrotglut | 950 ⁰ |
| Gelbglut | 1 100 ⁰ |
| Beginnende Weißglut | 1 300 ⁰ |
| Volle Weißglut | 1 500 ⁰ |

Nach Angaben der Physikalisch-technischen Reichsanstalt.

g) *Gesamtstrahlungs-pyrometer.*

Zur Messung der Temperatur von Ofenräumen werden die Licht- und Wärmestrahlen durch ein optisches Linsensystem gesammelt und zur Einwirkung auf eine Thermosäule gebracht. Auf der Instrumentenskala ist unmittelbar die Ofentemperatur ablesbar. Sie kann auch von Schreibgeräten laufend aufgezeichnet werden. Die meßbare Strahlung beginnt bei 550⁰. Bei anderen Messungen, z. B. von glühenden Körpern im Freien, ist eine Korrektur erforderlich.

h) *Teilstrahlungs-pyrometer.*

Die Helligkeit von glühenden Körpern wird mit einer anderen Lichtquelle verglichen, indem die Vergleichslichtquelle auf die Helligkeit des zu messenden Körpers gebracht wird. Eine laufende Anzeige oder Aufschreibung ist bei den Teilstrahlungs-pyrometern nicht möglich. Es lassen sich nur Augenblicksmessungen ausführen.

Die Teilstrahlungs-pyrometer ergeben bei nicht vollständig schwarzer Strahlung des zu messenden Körpers Werte, die beträchtlich unter seiner wahren Temperatur liegen und daher Korrekturen erfordern. Mit dem Farbpyrometer „Bioptix“ erhält man dagegen unmittelbar die wahre Temperatur durch Einstellung zweier keilförmiger Lichtfilter und damit Abstimmung der Farbe und Helligkeit des zu messenden Gegenstandes auf ein Vergleichslichtfeld.

i) *Segerkegel.*

Die Segerkegel sind abgestumpfte Pyramiden mit einem gleichseitigen Dreieck als Grundfläche aus keramischen Massen verschiedener Schmelzpunkte. Sie zeigen die Temperatur dadurch an, daß sie sich mit Beginn des Erweichens umbiegen, so daß schließlich die

Spitze des Kegels die Grundfläche berührt. Die Segerkegel werden in keramischen Öfen verwendet, um z. B. den Zeitpunkt der Sinterung des Brenngutes oder das Schmelzen einer Farbe festzustellen. Bei der Aufstellung der Segerkegel ist darauf zu achten, daß von den drei Pyramidenkanten eine senkrecht auf der Grundfläche steht, und zwar diejenige, die mit der Nummer und der Fabrikmarke versehenen Pyramidenfläche gegenüberliegt. Stellt man die Kegel auf eine waagerechte, ebene Fläche, so stehen sie stets richtig. Beim Eindringen in die Einbettungsmasse muß daher darauf geachtet werden, daß die senkrechte Kante wirklich senkrecht steht und nicht tiefer als 5 mm eingebettet wird, sonst sinkt der Kegel je nach dem Neigungsgrad und der Tiefe der Einbettung nicht seiner Nummer entsprechend um, sondern er schmilzt bei höherer oder niedrigerer Temperatur. Bei der Anwendung von Segerkegeln ist nicht die Erreichung einer bestimmten Temperatur für die Biegung der Segerkegel entscheidend, vielmehr ist das Produkt aus Zeit mal Temperatur ausschlaggebend. Ein Segerkegel kann die Gare eines keramischen Ofens bei kurzer Brennzeit und hoher Temperatur oder bei langer Brennzeit und niedriger Temperatur anzeigen. Er stellt ein Probestückchen des keramischen Brenngutes dar.

Die in der folgenden Tafel neben den Segerkegelnummern angeführten Temperaturen sind Mittelwerte.

Mittelwerte für die Schmelzpunkte von Segerkegeln.

| Sege- kegel Nr. | Temperatur °C | Sege- kegel Nr. | Temperatur °C | Sege- kegel Nr. | Temperatur °C |
|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| 022 | 600 | 02a | 1060 | 19 | 1520 |
| 021 | 650 | 01a | 1080 | 20 | 1530 |
| 020 | 670 | 1a | 1100 | 26 | 1580 |
| 019 | 690 | 2a | 1120 | 27 | 1610 |
| 018 | 710 | 3a | 1140 | 28 | 1630 |
| 017 | 730 | 4a | 1160 | 29 | 1650 |
| 016 | 750 | 5a | 1180 | 30 | 1670 |
| 015a | 790 | 6a | 1200 | 31 | 1690 |
| 014a | 815 | 7 | 1230 | 32 | 1710 |
| 013a | 835 | 8 | 1250 | 33 | 1730 |
| 012a | 855 | 9 | 1280 | 34 | 1750 |
| 011a | 880 | 10 | 1300 | 35 | 1770 |
| 010a | 900 | 11 | 1320 | 36 | 1790 |
| 09a | 920 | | 1350 | 37 | 1825 |
| 08a | 940 | 13 | 1380 | 38 | 1850 |
| 07a | 960 | 14 | 1410 | 39 | 1880 |
| 06a | 980 | 15 | 1435 | 40 | 1920 |
| 05a | 1000 | 16 | 1460 | 41 | 1960 |
| 04a | 1020 | 17 | 1480 | 42 | 2000 |
| 03a | 1040 | 18 | 1500 | | |

Dritter Teil.

**Eigenschaften der Brennstoffe
des Ruhr-, Aachener
und Saarbergbaues.**

1. Allgemeine Einteilung der Steinkohlenarten nach dem Verhalten bei der Verkokung.

Koksbeschaffenheit:

Sandkohlen pulvrig
 Gesinterte Sandkohlen gesintert, zum Teil locker
 Sinterkohlen gesintert
 Backende Sinterkohlen gebacken, gebläht, zerklüftet
 Backkohlen stark gebacken, fest, gebläht.

2. Kennzeichnung und Vorkommen der deutschen Steinkohlenarten.¹⁾

| | | Kohlenart | | Beschaffenheit des Kokes und der flüchtigen Bestandteile | Hauptvorkommen |
|---|----------------------------------|---------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| | | Einteilung nach der Tiegelprobe | Handelsbezeichnung | | |
| Gehalt der Reinkohle an flüchtigen Bestandteilen in % | -44 | Trockene oder Sinter-Steinkohle | Flamm- und Gasflammkohle | Koks gesintert, zum Teil locker, Gas matt mit langer Flamme | Ruhr, Saar, Oberschlesien und Sachsen |
| | -42 | | | | |
| | -40 | Backende, fette Steinkohle | Gaskohle (Saarfettkohle) | Koks gebacken, zerklüftet, Gas fett, lange Flamme | Ruhr, Saar und Niederschlesien |
| | -38 | | Fett- oder Kokskohle | Koks stark gebacken, fest, Gas fett, mittellange stark leuchtende Flamme | Ruhr, Aachen und Niederschlesien |
| | -36 | | | | |
| -34 | Halbfette oder Sinter-Steinkohle | Eßkohle | Koks gesintert, Gas halbfett, kurze wenig leuchtende Flamme | Ruhr, Aachen und Niedersachsen | |
| -32 | | | | | |
| -30 | Magere Steinkohle | Anthrazit | Koks pulvrig, Gas mager, kurze nicht leuchtende Flamme | Ruhr und Aachen | |
| -28 | | | | | |
| -26 | | | | | |
| -24 | | | | | |
| -22 | | | | | |
| -20 | | | | | |
| -18 | | | | | |
| -16 | | | | | |
| -14 | | | | | |
| -12 | | | | | |
| -10 | | | | | |
| -8 | | | | | |

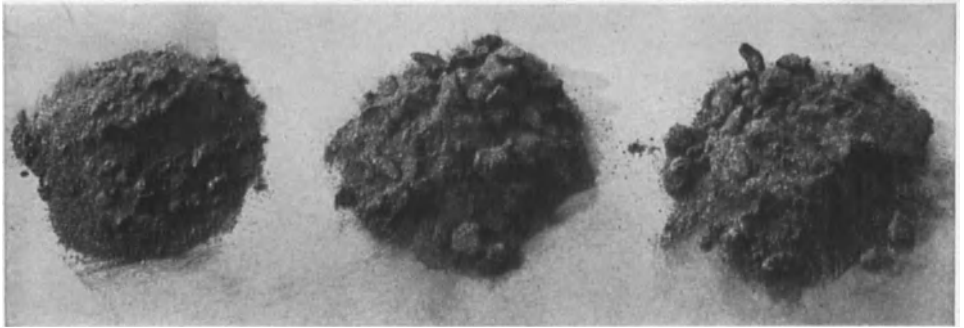
¹⁾ In Anlehnung an die Kohleneinteilung nach Schondorff. Z. Berg-, Hütt.- u. Salinenw. 1875 S. 135.

3. Einteilung der Steinkohlenarten des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues nach dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen.

| <i>Steinkohlenarten:</i> | <i>Koksbeschaffenheit:</i> | <i>Vorkommen:</i> |
|---|----------------------------|-------------------|
| Gasflammkohlen mit etwa 35 bis 40 % fl. Bestandteilen in der Reinkohle | gesintert, z. T. locker | Ruhr |
| Gaskohlen mit etwa 30—35 % fl. Bestandteilen in der Rein- kohle | gebacken, zerklüftet | Ruhr |
| Fettkohlen mit etwa 19—30 % fl. Bestandteilen in der Rein- kohle | stark gebacken, fest | Ruhr, Aachen |
| Eßkohlen mit etwa 13—19 % fl. Bestandteilen in der Rein- kohle | gesintert, z. T. locker | Ruhr, Aachen |
| Anthrazitkohlen mit etwa 7 bis 12 % fl. Bestandteilen in der Reinkohle | pulvrig | Ruhr, Aachen |
| Saarflammkohlen mit etwa 38 bis 42 % fl. Bestandteilen in der Reinkohle | gesintert, z. T. locker | Saar |
| Saarfettkohlen mit etwa 31 bis 40 % fl. Bestandteilen in der Reinkohle | gebacken | Saar |

An den durch die flüchtigen Bestandteile gekennzeichneten Grenzen zwischen diesen Steinkohlenarten entscheidet für die Klassenzugehörigkeit das Backvermögen.

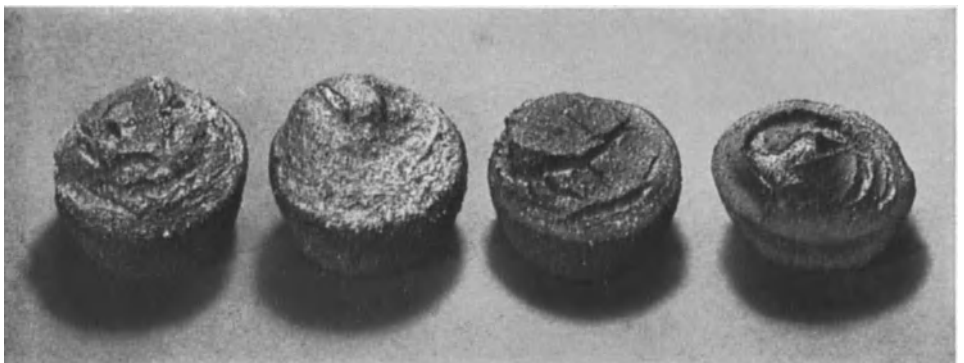
Die folgenden 9 Abbildungen von Tiegel-Verkokungsproben lassen deutlich die Unterschiede in der Koksbeschaffenheit der oben genannten Steinkohlenarten erkennen.



Anthrazitkohlen = Sandkohlen
(Ruhr und Aachen)



Eßkohlen mit geringerem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen = Gesinterte Sandkohlen
(Ruhr)

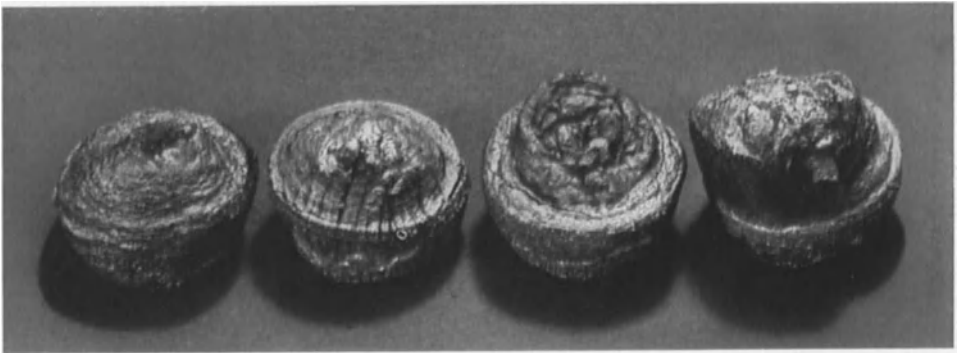


Eßkohlen mit höherem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen = Sinterkohlen
(Ruhr und Aachen)

Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums



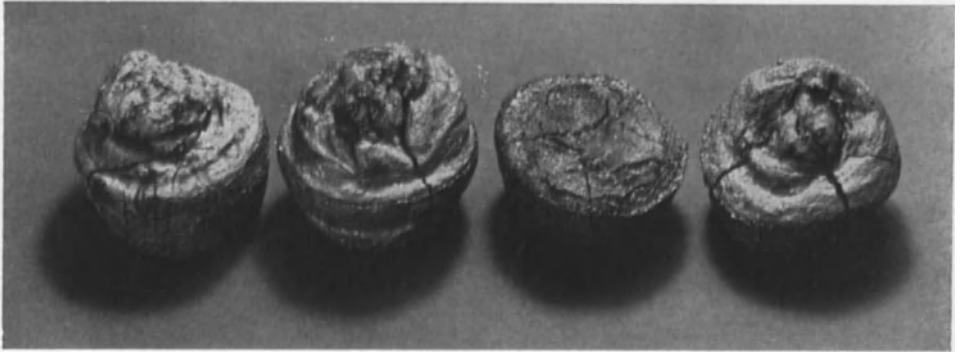
Fettkohlen = Bäckkohlen
(Ruhr und Aachen)



Saarfettkohlen = Bäckende Sinterkohlen
(Saar)



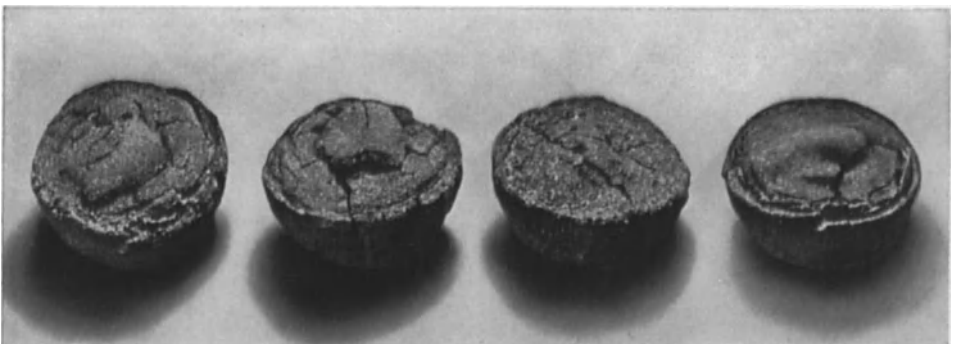
Gaskohlen = Bäckende Sinterkohlen
(Ruhr)



Gasflammkohlen mit geringerem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen = Sinterkohlen
(Ruhr)

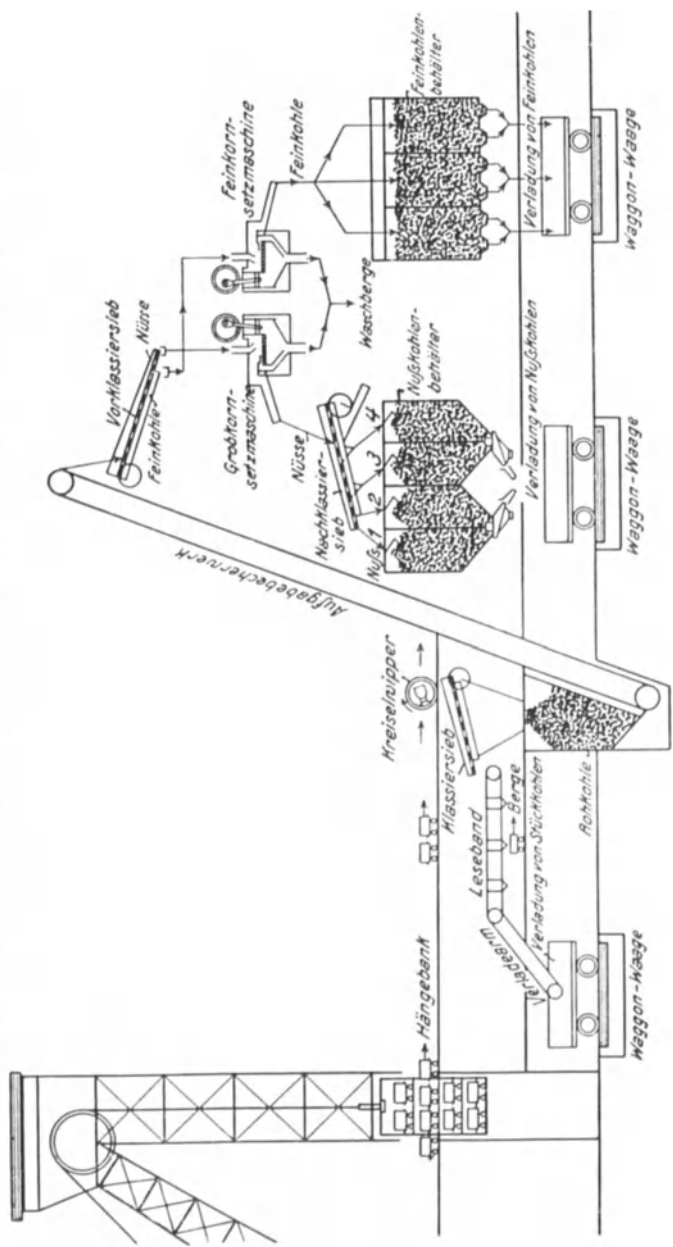


Gasflammkohlen mit höherem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen = Gesinterte Sandkohlen
(Ruhr)



Saarflammkohlen = Gesinterte Sandkohlen
(Saar)

4. Schematische Darstellung einer Steinkohlenaufbereitungsanlage



5. Mittlere Körnungen der Brennstoffe des Ruhr- und Aachener Reviers.

a) Gas- und Gasflammkohlen.

| | | |
|--|----------------------|---|
| Gasflammförderkohlen | etwa 40—45 % | Grobgehalt |
| Gasförderkohlen | „ 45—50 % | „ |
| Generatorkohlen | „ 50—55 % | „ |
| Stückkohlen 1 | abgesiebt über 80 mm | |
| „ 2 | „ „ 50 mm | |
| „ 3 | „ „ 30 mm | |
| Gewaschene Nußkohlen 1 | etwa 50/80 mm | Korngröße |
| „ „ 2 | „ 30/50 mm | „ |
| „ „ 3 | „ 18/30 mm | „ |
| „ „ 4 | „ 10/18 mm | „ |
| „ „ 5 | „ 7/10 mm | „ |
| Nußgruskohlen 1 | „ 0/80 mm | „ |
| „ 2 | „ 0/30 mm | „ |
| Feinkohlen | „ 0—7/10 mm | „ |
| Staubkohlen für Gießerei- und Formzwecke | „ 8—15 % | } Rückstand auf dem 4900er Maschensieb. |
| Staubkohlen für Brennzwecke | „ 8—15 % | |

b) Fettkohlen.

| | | |
|--|---------------------------|---|
| Fördergruskohlen | etwa 10 % | Grobgehalt |
| Förderkohlen | „ 25 % | „ |
| Bestmelierte Kohlen | „ 50 % | „ |
| Stückkohlen | abgesiebt über etwa 80 mm | |
| Gewaschene Nußkohlen 1 | etwa 50/80 mm | Korngröße |
| „ „ 2 | „ 30/50 mm | „ |
| „ „ 3 | „ 18/30 mm | „ |
| „ „ 4 | „ 10/18 mm | „ |
| „ „ 5 | „ 7/10 mm | „ |
| Fein- und Kokskohlen | „ 0—7/10 mm | „ |
| Staubkohlen für Gießerei- und Formzwecke | „ 8—15 % | } Rückstand auf dem 4900er Maschensieb. |
| Staubkohlen für Brennzwecke | „ 8—15 % | |

c) Eßkohlen.

| | | |
|-----------------------------------|----------------------|------------|
| Förderkohlen | etwa 25 % | Grobgehalt |
| „ | „ 35 % | „ |
| Bestmelierte Kohlen | „ 50 % | „ |
| Stückkohlen | abgesiebt über 80 mm | |
| Gewaschene Nußkohlen 1 | etwa 50/80 mm | Korngröße |
| „ „ 2 | „ 30/50 mm | „ |
| „ „ 3 | „ 20/30 mm | „ |
| „ „ 4 | „ 10/20 mm | „ |
| „ „ 5 | „ 6/10 mm | „ |
| „ Feinkohlen | } „ 0/6 mm | „ |
| Ungewaschene Feinkohlen | | |

d) Anthrazitkohlen (Gruppe I und II).

| | |
|-------------------------|--------------------------|
| Stückkohlen | abgesiebt über 80 mm |
| Knabbelkohlen | etwa 80/120 mm Korngröße |

| | Gruppe I | Gruppe II |
|---------------------------------|------------|--------------------|
| Gewaschene Nußkohlen 1 | etwa 50/80 | 50/80 mm Korngröße |
| „ „ 2 | „ 25-30/50 | 30/50 mm „ |
| „ „ 3 | „ 15/25 | — mm „ |
| „ „ 3 grob „ | 20/30 | 20/30 mm „ |
| „ „ 4 | „ 8/15 | — mm „ |
| „ „ 4 grob „ | 8/20 | 10/20 mm „ |
| „ „ 5 | „ 5/8 | 6/10 mm „ |
| „ Feinkohlen | } „ 0/6 | 0/6 mm „ |
| Ungewaschene Feinkohlen | | |

e) *Briketts.*

| | | |
|------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Vollbriketts | im Gewicht von etwa | 1 kg |
| „ | „ „ „ | 3 kg |
| „ | „ „ „ | 7 kg |
| „ | „ „ „ | 10 kg |
| Briketts in Braunkohlenbrikettform | „ „ „ | 600 g |
| Würfelmriketts | „ „ „ | 450 g |
| Eierbriketts | „ „ „ | 15-18 g |
| „ | „ „ „ | 40-45 g |
| „ | „ „ „ | 50 g |
| „ | „ „ „ | 100 g |
| „ | „ „ „ | 45/125 g (gemischt) |
| „ | „ „ „ | 150 g |

f) *Koks.*

| | | |
|---------------------------------|---------------|-----------|
| Hochofenkoks (Großkoks) | | |
| Spezialgießereikoks | | |
| Gießereikoks | | |
| Brechkok 1 | etwa 60/90 mm | Korngröße |
| „ 2 | „ 40/60 mm | „ |
| „ 3 | „ 20/40 mm | „ |
| „ 4 | „ 10/20 mm | „ |
| Gesiebter Knabbelkoks | „ 60/90 mm | „ |
| „ Kleinkoks 1 | „ 40/60 mm | „ |
| „ „ 2 | „ 20/40 mm | „ |
| „ Perikoks | „ 10/20 mm | „ |
| Koksgrus | „ 0/10 mm | „ |

6. Mittlere Körnungen der Saarbrennstoffe.

a) Saarflammkohlen.

| | | |
|------------------------|----------------------|------------|
| Förderkohlen | etwa 40—45 % | Grobgehalt |
| Melierte Kohlen | „ 50 % | „ |
| Bestmelierte Kohlen | „ 80 % | „ |
| Stückkohlen | abgesiebt über 80 mm | |
| Gewaschene Nußkohlen 1 | etwa 50/80 mm | Korngröße |
| „ „ 2 | „ 35/50 mm | „ |
| „ „ 3 | „ 20/35 mm | „ |
| „ „ 4 | „ 10/20 mm | „ |
| Waschgrieß | „ 0-20/35 mm | „ |
| Feinkohlen | „ 0/10 mm | „ |

b) Saarfettkohlen.

| | | |
|----------------------------|----------------------|------------|
| Förderkohlen | etwa 40—45 % | Grobgehalt |
| Melierte Kohlen | „ 50 % | „ |
| Bestmelierte Kohlen | „ 80 % | „ |
| Stückkohlen | abgesiebt über 80 mm | Korngröße |
| Brechgrieß aus gebrochenen | | |
| Stücken | etwa 0—35/80 mm | „ |
| Rohgrieß | „ 0—35/50 mm | „ |
| Gewaschene Nußkohlen 1 | „ 50/80 mm | „ |
| „ „ 2 | „ 35/50 mm | „ |
| „ „ 3 | „ 20/35 mm | „ |
| „ „ 4 | „ 10/20 mm | „ |
| Waschgrieß | „ 0—20/35 mm | „ |
| Gewaschene Feinkohlen | „ 0/10 mm | „ |

c) Koks.

| | | |
|-------------|---------------|-----------|
| Großkoks | | |
| Brechkoks 1 | etwa 60/80 mm | Korngröße |
| „ 2 | „ 40/60 mm | „ |
| „ 3 | „ 20/40 mm | „ |
| „ 4 | „ 12/20 mm | „ |

7. Mittlere Asche- und Wassergehalte der Ruhr- und Aachener Brennstoffe.¹⁾

| | Wasser in % | Asche in % |
|-----------------------------------|-------------|------------|
| Förderkohlen | bis 3 | etwa 8—10 |
| Bestmelierte Kohlen | „ 3 | „ 6—8 |
| Stückkohlen | „ 3 | „ 3—6 |
| Nußkohlen 1/2 | etwa 3 | „ 3—6 |
| „ 3/4/5 | „ 4—5 | „ 4—7 |
| Gewaschene Feinkohlen | „ 8—10 | „ 6—7 |
| Ungewaschene Feinkohlen | bis 3 | „ 10—12 |
| Generatorkohlen | „ 3 | „ 6—9 |
| Gasförderkohlen | „ 3 | „ 6—8 |
| Steinkohlenbriketts | „ 2 | „ 7—9 |
| Großkoks | „ 5 | „ 7—9 |

Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

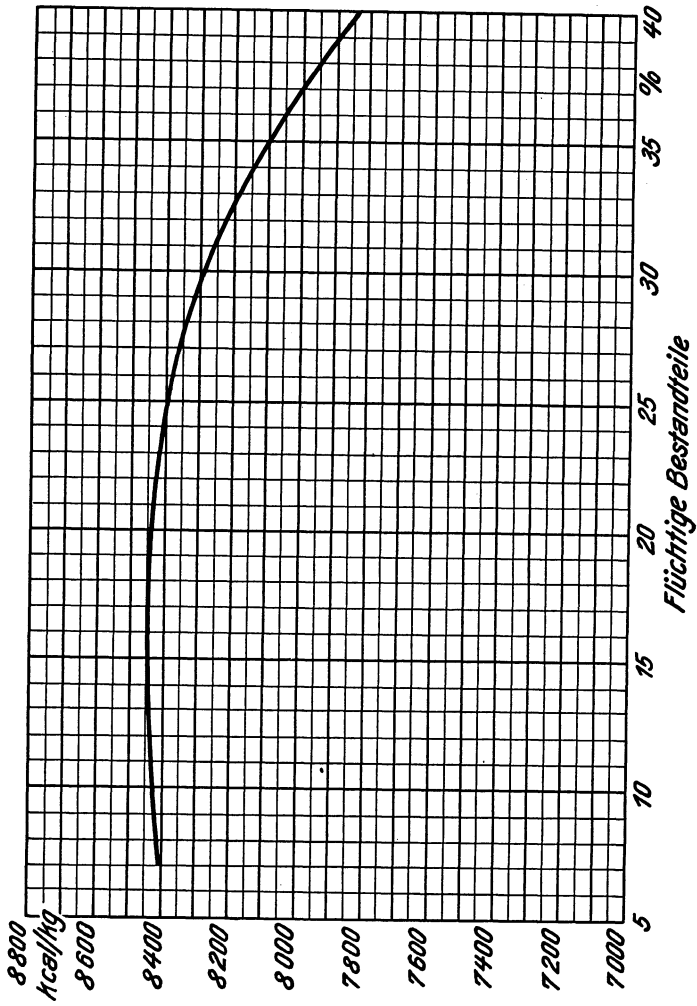
8. Mittlere Asche- und Wassergehalte der Saarbrennstoffe.¹⁾

| | Wasser in % | Asche in % |
|--------------------------------------|-------------|------------|
| Förderkohlen | bis 3 | etwa 8—10 |
| Melierte Kohlen | „ 3 | „ 7—9 |
| Bestmelierte Kohlen | „ 3 | „ 6—8 |
| Stückkohlen und Brechgrieß | „ 3 | „ 3—6 |
| Nußkohlen 1/2 | etwa 3 | „ 3—6 |
| „ 3/4 | „ 4—5 | „ 4—7 |
| Gewaschene Feinkohlen | „ 8—10 | „ 6—7 |
| Waschgrieß | „ 5—9 | „ 5—7 |
| Großkoks | bis 5 | „ 7—9 |

Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

¹⁾ Bei hochflüchtigen Gasflam- und Flammkohlen können die Wassergehalte der Förderkohle, Melierten, Stückkohle und Nuß 1 bis 3 etwa 6 % erreichen.

9. Untere Heizwerte der Ruhr- und Aachener Kohlen in Abhängigkeit von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bezogen auf Reinkohle.



Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

Bei Saarkohlen konnte die Beziehung zwischen Heizwert und flüchtigen Bestandteilen noch nicht mit ausreichender Genauigkeit festgelegt werden; es wurde deshalb auf eine zeichnerische Darstellung verzichtet.

10. Untere Heizwerte der Reinkohlen (asche- und wasserfreie Substanz) der Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues in Abhängigkeit von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen.

| | Flüchtige Bestandteile | | Untere Heizwerte der Reinkohlen (Mittelwerte) kcal/kg |
|------------------------------|------------------------|-------------|---|
| | Trockenkohle % | Reinkohle % | |
| Ruhr und Aachen | | | |
| Anthrazitkohlen Gruppe I . | 6—9 | 7—10 | 8425 |
| Anthrazitkohlen Gruppe II . | 9—11 | 10—12 | 8425 |
| Eßkohlen | 12—18 | 13—19 | 8450 |
| Fettkohlen | 18—29 | 19—30 | 8375 |
| Gas- und Gasflammkohlen . | 29—37 | 30—40 | 8100 |
| Anthrazit-Eierbriketts . . . | 11—15 | 12—16 | 8425 |
| Eß-Eierbriketts | 15—21 | 16—22 | 8450 |
| Vollbriketts | 15—22 | 17—24 | 8450 |
| Zechenkoks | < 1 | < 1 | 7950 |
| Saar | | | |
| Saarfettkohlen | 29—38 | 31—40 | 8200 |
| Saarflammkohlen | 36—40 | 38—42 | 7700 |

Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

Für genauere Ermittlungen der Reinkohlenheizwerte der Ruhr- und Aachener Brennstoffe bedient man sich des Diagramms auf Seite 104.

II. Errechnung des Heizwertes der Rohkohlen (asche- und wasserhaltige Substanz).

Unter Benutzung der Tafeln 7 und 8 Seite 103 und 10 Seite 105 läßt sich der ungefähre untere Heizwert H_u der Rohkohlen nach folgender Formel errechnen:

$$H_{u \text{ roh}} = \frac{H_{u \text{ rein}} (100 - A - W)}{100} - 6 W$$

Hierin bedeuten:

$H_{u \text{ roh}}$ = Unterer Heizwert der Rohkohle in kcal/kg,

$H_{u \text{ rein}}$ = Unterer Heizwert der Reinkohle in kcal/kg,

A = Aschegehalt in %,

W = Wassergehalt in %.

Die Zahl 6 gibt die für 1 % Wasser einzusetzende Verdampfungswärme an. (Genauer Wert 5,85 bei 20°.)

Beispiel:

Es soll der untere Heizwert einer Gasflammkohle Nuß 4 errechnet werden. Nach Tafel 10 besitzen die Gasflammkohlen im Mittel einen unteren Reinkohlenheizwert von 8100 kcal/kg. Tafel 7 gibt für Nußkohlen 4 % Wasser und 5 % Asche an.

Daher ist der untere Heizwert der Rohkohle

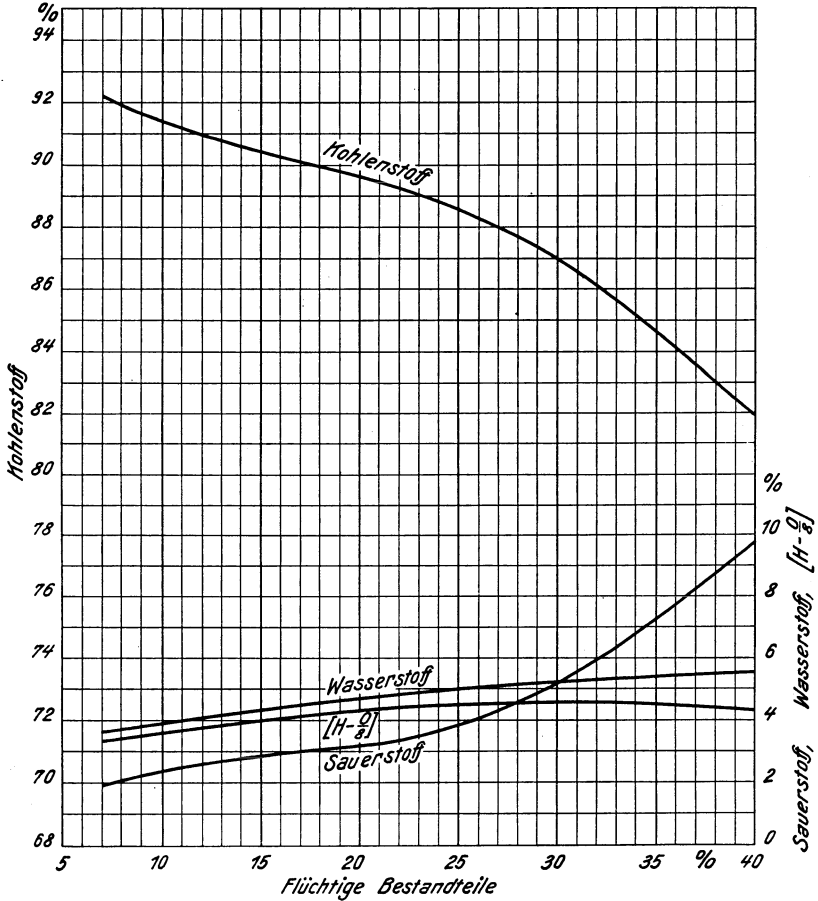
$$H_{u \text{ roh}} = \frac{8100 (100 - 5 - 4)}{100} - 6 \cdot 4 \sim 7350 \text{ kcal/kg.}$$

12. Untere Heizwerte der wichtigsten Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

| | Mittelwerte bez. auf Trockenkohle kcal/kg | Mittelwerte bez. auf Rohkohle kcal/kg |
|--------------------------------|---|---|
| Ruhr und Aachen | | |
| Gas- und Gasflammkohlen | | |
| Gasflammförderkohlen | 7200—7500 | 7000—7300 |
| Gasförderkohlen | 7400—7600 | 7200—7500 |
| Stückkohlen | 7600—7800 | 7400—7700 |
| Nußkohlen | 7500—7800 | 7200—7600 |
| Gew. Feinkohlen | 7400—7600 | 6600—7000 |
| Fettkohlen | | |
| Förderkohlen | 7500—7700 | 7300—7600 |
| Bestmelierte Kohlen | 7700—7900 | 7400—7800 |
| Stückkohlen | 7800—8000 | 7600—7900 |
| Nußkohlen | 7700—8000 | 7400—7800 |
| Gew. Feinkohlen | 7700—7900 | 6900—7200 |
| Eßkohlen | | |
| Förderkohlen | 7600—7800 | 7400—7700 |
| Bestmelierte Kohlen | 7700—7900 | 7500—7800 |
| Stückkohlen | 7900—8100 | 7700—8000 |
| Nußkohlen | 7800—8100 | 7600—7900 |
| Gew. Feinkohlen | 7700—7900 | 6900—7300 |
| Anthrazitkohlen | | |
| Nußkohlen | 7800—8100 | 7600—7900 |
| Gew. Feinkohlen | 7700—7900 | 6900—7300 |
| Steinkohlenbriketts | 7700—7900 | 7600—7800 |
| Zechenkoks | 7200—7400 | 6800—7200 |
| S a a r | | |
| Saarfettkohlen | | |
| Förderkohlen | 7300—7600 | 7100—7400 |
| Melierte Kohlen | 7400—7700 | 7200—7500 |
| Bestmelierte Kohlen | 7500—7800 | 7300—7600 |
| Stückkohlen u. Brechgrieß | 7700—7900 | 7400—7800 |
| Nußkohlen | 7600—7900 | 7300—7700 |
| Gew. Feinkohlen | 7500—7700 | 6700—7100 |
| Saarflammkohlen | | |
| Förderkohlen | 6900—7100 | 6700—6900 |
| Melierte Kohlen | 7000—7200 | 6800—7000 |
| Bestmelierte Kohlen | 7100—7300 | 6900—7100 |
| Stückkohlen u. Brechgrieß | 7200—7400 | 7000—7200 |
| Nußkohlen | 7100—7400 | 6800—7200 |
| Gew. Feinkohlen | 7000—7300 | 6400—6700 |

Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

13. Abhängigkeit der Gehalte an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und disponiblen Wasserstoff der Ruhr- und Aachener Kohlen von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bezogen auf Reinkohle.



Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

14. Chemische Zusammensetzung der Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

Mittelwerte bezogen auf Reinkohle.

| | C % | H % | O % | S % | N % |
|---------------------------|-----------|---------|-----------|---------|---------|
| Ruhr und Aachen | | | | | |
| Gas- und Gasflammkohlen | 82,0—87,0 | 5,2—5,6 | 5,0—10,0 | 0,8—1,2 | 1,2—1,8 |
| Fettkohlen | 87,0—89,5 | 4,6—5,2 | 3,0— 5,0 | 0,8—1,2 | 1,2—1,8 |
| EBkohlen | 89,5—91,0 | 4,1—4,6 | 2,5— 3,0 | 0,8—1,2 | 1,1—1,7 |
| Anthrazitkohlen | 91,0—92,0 | 3,6—4,1 | 2,0— 2,5 | 0,7—1,1 | 1,1—1,7 |
| Anthrazit-Eierbriketts .. | 91,0—92,0 | 3,8—4,3 | 2,0— 2,5 | 0,7—1,1 | 1,1—1,7 |
| EB-Eierbriketts | 89,5—91,0 | 4,3—4,8 | 2,5— 3,0 | 0,8—1,2 | 1,1—1,7 |
| Vollbriketts | 89,5—91,0 | 4,3—5,0 | 2,5— 3,0 | 0,8—1,2 | 1,1—1,7 |
| Koks | 97,0 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 1,0 |
| S a a r | | | | | |
| Saarfettkohlen | 83,0—87,0 | 5,3—5,8 | 6,0— 9,0 | 0,6—1,0 | 1,0—1,6 |
| Saarflammkohlen | 78,0—82,0 | 5,2—5,7 | 11,0—14,0 | 0,7—1,1 | 1,0—1,6 |

Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

Vom Gesamtschwefelgehalt der Kohle entfallen bei der Verfeuerung etwa 80 % auf verbrennlichen Schwefel, der als schweflige Säure mit den übrigen Verbrennungsprodukten entweicht. Bei der Entgasung von Kohlen sind etwa 30 % des Gesamtschwefels flüchtig, während der Rest im Koks verbleibt.

15. Normblätter über die Prüfung fester Brennstoffe.

| DIN DVM | Ausgabe | Betreff |
|---------|---------|---|
| 3701 | März 33 | Allgemeines, Übersicht. |
| 3711 | Aug. 31 | Probenahme und Probeaufber. stückiger Brennstoffe. |
| 3712 | Aug. 31 | Probenahme von Brennstaub. |
| 3716 | Aug. 31 | Oberer und unterer Heizwert. |
| 3721 | Mai 34 | Chemische Prüfverfahren (Wasser-, Asche- und Schwefelgehalt, Elementaranalyse). |
| 3725 | März 33 | Koksrückstand und Gehalt an flücht. Bestandteilen. |

Auszug aus dem Normblattverzeichnis 1937. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4. Beuth-Verlag GmbH, Berlin.

16. Lagerung von Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

a) Allgemeines.

Ein wichtiger Vorzug der Brennstoffe dieser Steinkohlenreviere ist ihre gute Lagerfähigkeit, die vor Wertminderung und vor Betriebsstörungen bei Unterbrechung der regelmäßigen Anfuhr weitgehend schützt. In besonderem Maße gilt dies für die Steinkohlenbriketts aller Art, deren Lagerfähigkeit zeitlich unbeschränkt ist. Der hohe Heizwert der genannten Brennstoffe ermöglicht es ferner, in kleinem Raum große Wärmemengen zu speichern.

Bei der Entscheidung über die Art des Kohlenbezuges (Anfuhr auf dem Bahn- oder Wasserwege) sind die Kosten der Lagerhaltung, zu denen noch Verzinsung und Versicherung der Kohle und der Kapitaldienst der Umschlagseinrichtung anteilmäßig hinzukommen, zu berücksichtigen.

Durch gemischte Anfuhr auf dem Wasser- und Bahnwege läßt sich die Größe des Lagers einschränken, was die Kosten der Lagerhaltung günstig beeinflußt.

b) Durchführung der Lagerung.

Die Art der Lagerung übt einen gewissen Einfluß auf die Selbsterwärmung der Kohle aus; deshalb empfiehlt sich die Beachtung folgender Gesichtspunkte:

Der Lagerboden ist sauber, grusfrei und trocken zu halten.

Die Kohle ist nicht auf Abgaskanälen oder gegen heiße Wandungen zu lagern. Sie soll auch nicht mit Holzwänden, Dampfleitungen und Abfallstoffen in Berührung kommen.

Beim Umschlag ist auf möglichste Schonung der Kohle (geringe Grusbildung) zu achten. Der Grad der Grusbildung wird erheblich von der Art der Transportmittel beeinflußt, die zur Beförderung und Verteilung der Kohlen dienen. Bei der Anschaffung von Bekohlungsanlagen soll daher neben hoher Betriebssicherheit und niedrigen Betriebskosten auch weitgehende Schonung der Kohlen gefordert werden. Die Fallhöhe beim Schütten der Brennstoffe ist so niedrig wie möglich zu halten. Beimengungen von Holz, Lumpen und anderen Fremdkörpern sind möglichst zu vermeiden.

Große Stapel sind nicht kegelförmig aufzuschütten, vielmehr ist die Lagerfläche Schüttung neben Schüttung schichtweise zu belegen und zu erhöhen. Um bei unsortierten Kohlenarten ein Entmischen einzuschränken, wähle man die Fördergefäße reichlich.

Die Fallhöhe beim Schütten ist niedrig zu halten.

Die Stapelhöhe ist der Eigenart der Kohle anzupassen; Kohlen verschiedener Art und Körnung sind getrennt zu lagern.

Das Lager ist in regelmäßigen Zeitabständen abzugehen und zu beobachten (Geruch, Gasschwaden, schmelzender Schnee sind Anzeichen heißer Stellen).

Bei großen Lagern ist die Temperatur in den Kohlenstapeln regelmäßig zu messen (bei 60° ist die betreffende Stelle umzuschaukeln).

Bei Entnahme vom Lager ist der älteste Stapel zuerst abzutragen.

Diese Maßnahmen gelten vornehmlich für die Kohlenlagerung im Freien, sinngemäß aber auch für die Silo-Lagerung; bei letzterer soll die Kohle möglichst nicht bei Regen gebunkert werden.

Die genannten Gesichtspunkte brauchen bei der Lagerung von Steinkohlenbriketts nicht beachtet zu werden. Alle Brikettsorten können unbeschränkte Zeit lagern, ohne eine Wertminderung zu erfahren.

c) Lagerung im Freien.

Bei großen Mengen ist die Lagerung im Freien am billigsten. Erfolgt die Bedienung des Lagers von Hand, so sind zur leichteren Überwachung die Stapel nicht über 500 t groß zu wählen. Größere Läger erfordern mechanische Umschlagseinrichtungen.

Die Vollbriketts können in beliebiger Höhe gestapelt, die Eierbriketts in jeder Höhe aufgeschüttet werden. Anthrazitkohlen sind ebenfalls in der Lagerhöhe nicht beschränkt; um ein Zerdrücken zu vermeiden, wähle man sie aber nicht allzu hoch. Für alle übrigen Steinkohlenarten und -sorten gelten als normale Schütthöhe bei längerer Lagerdauer 3 bis 4 m; in Tropengebieten empfiehlt es sich, mit der Schütthöhe nicht über 2 m hinauszugehen. Bei vorübergehender Lagerung sind größere Schütthöhen zulässig.

Zechenkoks ist in der Lagerhöhe unbeschränkt. Im Winter lagert man ihn zweckmäßig abgedeckt, um ein Zersprengen der Koksstücke bei Frost zu verhüten.

Schüttwinkel verschiedener Brennstoffsorten.

| | |
|--|--------|
| Stückkohle, Nußkohle 1 und 2 | 35—40° |
| Nußkohle 3—5 | 32—36° |
| Gewaschene Feinkohle | > 36° |
| Großkoks, Brechkoks 1 und 2 | 36—44° |
| Brechkoks 3 und 4 | 35—39° |

d) Silo- und Bunkerlagerung.

Da die Kohle im Silo geschützt gegen Witterungseinflüsse lagert, kann bei ihr die Schütthöhe größer gehalten werden als bei offener Lagerung. Kohlen mit geringer Neigung zum Selbstentzünden können unbedenklich 10—12 m hoch geschüttet werden. Um jedoch die Bildung von Grus durch die Druckwirkung der geschütteten Kohle zu beschränken, empfiehlt sich der Einbau von Zwischenrosten, wodurch die wirksame Schütthöhe künstlich vermindert wird. Aus gleichem Grund sind bei der Lagerung von Nußkohlen in breiten Silos große Schrägflächen als Böden zu vermeiden und dafür mehrere kleine Auslaufrichter zu wählen. Bei Feinkohle ist vor allem auf genügend große Auslaufquerschnitte zu achten. Die Neigung der Schrägwände soll in den Flächen mindestens 45—50° betragen, bei gewaschener Feinkohle zur Vermeidung etwaiger Brückenbildung mindestens 65°. Auch das Auskleiden der Wände mit Glas hat sich bei feuchter Kohle bewährt; wichtig ist dabei, daß die Glasplatten satt aufliegen. Tote Ecken sind unbedingt zu vermeiden. Verschließbare Auslauf- und Zulauföffnungen verhindern eine Schornsteinwirkung.

Um das bei Silolagerung leicht eintretende Entmischen zu vermeiden, empfiehlt es sich bei unaufbereiteten Kohlen, den Siloraum in mehrere Taschen aufzuteilen oder Rutschen, mindestens aber Leitflächen einzubauen. Beim Beschicken von Silos mittels Gurtband und Abstreifern ist es aus gleichem Grunde zweckmäßig, die ein-

zelen Taschen nacheinander zu füllen, statt mehrere Abstreifer gleichzeitig arbeiten zu lassen. In letzterem Fall erhält die letzte Tasche infolge der natürlichen Aussiebung auf dem Band zu viel Feinkorn. Abwurfwagen geben eine gleichmäßigere Verteilung der Kohle und schonen den Gurt.

Vorteile der Silolagerung sind die geringen Bedienungskosten, die geschützte Lagerung der Kohle, sowie die Möglichkeit, die Kohle ständig in Bewegung zu halten und stets die ältesten Vorräte zuerst entnehmen zu können. Bei beschränkten Platzverhältnissen bietet sie häufig die einzige Vorratsmöglichkeit.

Die Bunkerlagerung über der Verwendungsstelle kommt im allgemeinen nur als Stunden- oder Tagesvorrat in Betracht. Ihre Größe hängt wesentlich von der Betriebssicherheit der Bekohlungsanlage ab. Die Austrittsquerschnitte sollen besonders bei zur Brückenbildung neigenden Kohlensorten möglichst groß bemessen werden.

Vierter Teil.

**Verbrennung von Brennstoffen
des Ruhr-, Aachener
und Saarbergbaues.**

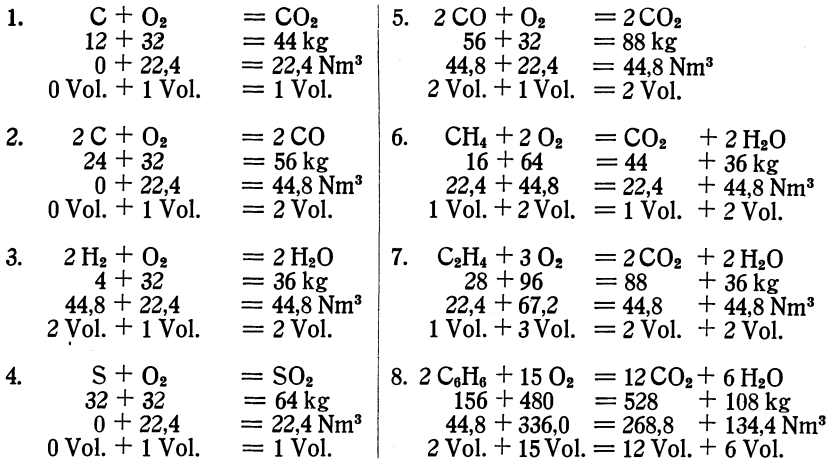
1. Luftbedarf, Abgasmenge, Abgaszusammensetzung und Verbrennungstemperatur.

Die Berechnung der zur vollkommenen Verbrennung eines Brennstoffes erforderlichen Luftmenge und der Verbrennungsprodukte ist auf Grund weniger stöchiometrischer Beziehungen einfachster Art an Hand der Brenstoffanalyse durchzuführen. Für die Berechnung des Gewichtes der Verbrennungsluft benutzt man die Molekulargewichte, zur Berechnung des Volumens der Verbrennungsluft und der Abgase das Molekularvolumen. Das Molekularvolumen eines gasförmigen Körpers ist nämlich immer gleich $22,4 \text{ Nm}^3$, wenn sein Gewicht seinem Molekulargewicht in kg gleich ist.

Molekulargewicht und spez. Volumen verschiedener Stoffe.

| Bezeichnung | Formelzeichen | Molekulargewicht | Spez. Volumen Nm^3/kg |
|-----------------------------------|------------------------|------------------|--|
| Wasserstoff | H_2 | 2 | 11,2 |
| Sauerstoff | O_2 | 32 | 0,7 |
| Stickstoff, chemisch rein | N_2 | 28 | 0,8 |
| „ der Luft | — | — | 0,796 |
| Kohlenstoff | C | 12 | praktisch 0 |
| Schwefel | S | 32 | praktisch 0 |
| Schweflige Säure | SO_2 | 64 | 0,35 |
| Kohlenoxyd | CO | 28 | 0,80 |
| Kohlensäure | CO_2 | 44 | 0,509 |
| Methan | CH_4 | 16 | 1,4 |
| Äthylen | C_2H_4 | 28 | 0,8 |
| Benzoldampf | C_6H_6 | 78 | 0,287 |
| Wasserdampf | H_2O | 18 | 1,244 |

Die Verbrennung vollzieht sich nach folgenden Gleichungen:



Bei C und S können die Volumina als solche fester Körper vernachlässigt werden.

| Danach benötigt: | oder | und ergibt: |
|--|--|--|
| je 1 kg Kohlenstoff (C) $\frac{32}{12} = 2,667 \text{ kg}$ | $\frac{22,4}{12} = 1,867 \text{ Nm}^3 O_2$ | 3,667 kg = 1,867 Nm ³ CO ₂ |
| Kohlenstoff (C) $\frac{32}{24} = 1,333 \text{ kg}$ | $\frac{22,4}{24} = 0,933 \text{ Nm}^3 O_2$ | 2,333 kg = 1,867 Nm ³ CO |
| Wasserstoff(H ₂) $\frac{32}{4} = 8,000 \text{ kg}$ | $\frac{22,4}{4} = 5,600 \text{ Nm}^3 O_2$ | 9,000 kg = 11,200 Nm ³ H ₂ O |
| Schwefel (S) $\frac{32}{32} = 1,000 \text{ kg}$ | $\frac{22,4}{32} = 0,700 \text{ Nm}^3 O_2$ | 2,000 kg = 0,700 Nm ³ SO ₂ |

| Ferner benötigt: | oder | und ergibt: |
|--|--------------------------------------|--|
| 1 Nm ³ Wasserstoff (H ₂) | 0,500 Nm ³ O ₂ | 1,000 Nm ³ H ₂ O |
| 1 Nm ³ Kohlenoxyd (CO) | 0,500 Nm ³ O ₂ | 1,000 Nm ³ CO ₂ |
| 1 Nm ³ Methan (CH ₄) | 2,000 Nm ³ O ₂ | 2,000 Nm ³ H ₂ O und 1,000 Nm ³ CO ₂ |
| 1 Nm ³ Äthylen (C ₂ H ₄) | 3,000 Nm ³ O ₂ | 2,000 Nm ³ H ₂ O und 2,000 Nm ³ CO ₂ |
| 1 Nm ³ Benzoldampf (C ₆ H ₆) | 7,500 Nm ³ O ₂ | 3,000 Nm ³ H ₂ O und 6,000 Nm ³ CO ₂ |

In 100 m³ Luft sind 21,032 m³ O₂ (~ 21 m³ O₂) und 78,968 m³ N₂ (~ 79 m³ N₂) bzw. in 100 kg Luft 23,245 kg O₂ (~ 23,2 kg O₂) und 76,755 kg N₂ (~ 76,8 kg N₂) einschl. Beimengungen enthalten.

Rohkohle setzt sich zusammen aus C, H, O, N und S sowie A (Asche) und W (Wasser), die durch die Analyse in Gewichtsprozenten ermittelt werden.

Die theoretische Sauerstoffmenge $O_{2\text{theor.}}$ bzw. theoretische Luftmenge $L_{\text{theor.}}$, die zur Verbrennung von 1 kg Kohle erforderlich ist, ergibt somit bei diesen Werten folgende Gleichungen. (Der vom Brennstoff eingebrachte Sauerstoff wird vom erforderlichen Luftsauerstoff abgezogen.):

$$O_{2\text{theor.}} = \frac{1}{100} (1,867 C + 5,600 H + 0,700 S - 0,700 O) \text{ in Nm}^3/\text{kg} \\ \text{bzw.}$$

$$O_{2\text{theor.}} = \frac{1}{100} (2,667 C + 8,000 H + 1,000 S - 1,000 O) \text{ in kg/kg und}$$

$$L_{\text{theor.}} = O_{2\text{theor.}} + \frac{79}{21} O_{2\text{theor.}} = \frac{100}{21} O_{2\text{theor.}} \text{ in Nm}^3/\text{kg} \\ \text{bzw.}$$

$$L_{\text{theor.}} = O_{2\text{theor.}} + \frac{76,8}{23,2} O_{2\text{theor.}} = \frac{100}{23,2} O_{2\text{theor.}} \text{ in kg/kg.}$$

Für die bei theoretischer Verbrennung (= ohne Luftüberschuß) entstehende theoretische Abgasmenge $V_{\text{theor.}}$ bestehen folgende Beziehungen:

$$V_{\text{theor.}} = \frac{1}{100} (1,867 C + 11,200 H + 0,800 N + 0,700 S + 1,244 W) \\ + \frac{79}{21} O_{2\text{theor.}} \text{ in Nm}^3/\text{kg} \text{ bzw.}$$

$$V_{\text{theor.}} = \frac{1}{100} (3,67 C + 9,000 H + 1,000 N + 2,000 S + 1,000 W) \\ + \frac{76,8}{23,2} O_{2\text{theor.}} \text{ in kg/kg.}$$

Diese Gleichungen ergeben die feuchte (Wasserdampf enthaltende) theoretische Abgasmenge. Für die trockene Abgasmenge vereinfachen sie sich zu:

$$V_{\text{theor.}} = \frac{1}{100} (1,867 C + 0,800 N + 0,700 S) + \frac{79}{21} O_{2\text{theor.}} \text{ in Nm}^3/\text{kg} \\ \text{bzw.}$$

$$V_{\text{theor.}} = \frac{1}{100} (3,667 C + 1,000 N + 2,000 S) + \frac{76,8}{23,2} O_{2\text{theor.}} \text{ in kg/kg.}$$

Bekanntlich muß im Betrieb mit Luftüberschuß gearbeitet werden. Das Verhältnis der „wirklichen“ Luftmenge (L) zur theoretischen

($L_{\text{theor.}}$) heißt die Luftüberschußzahl (n). Sie wird bei Berechnung von Feuerungen nach der Erfahrung geschätzt, bei Untersuchung von Feuerungen aus der Abgasanalyse errechnet (vergl. Seite 124 und folgende). Es gilt demnach:

$$n = \frac{L}{L_{\text{theor.}}}$$

$$L = n \cdot L_{\text{theor.}} \text{ in Nm}^3/\text{kg} \text{ oder kg/kg.}$$

Rechenbeispiel s. Seite 119.

Die entstehende wirkliche Abgasmenge errechnet sich dann zu $V = V_{\text{theor.}} + (n - 1) L_{\text{theor.}}$ in Nm^3/kg oder kg/kg .

Soll das Abgasvolumen noch bei einer bestimmten Temperatur (t) berechnet werden, so erfolgt die Umrechnung mit genügender Genauigkeit gemäß:

$$V_t = V \cdot \frac{273 + t}{273} \text{ in m}^3$$

Wenn keine Elementaranalyse der verwendeten Kohle vorliegt, sondern nur deren Heizwert bekannt ist, so kann man die zu ihrer Verbrennung benötigte theoretische Luftmenge $L_{\text{theor.}}$ und die feuchte Abgasmenge V aus dem Schaubild auf Seite 120 entnehmen, das auf Grund zahlreicher Analysen für Steinkohlen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues errechnet wurde. Es weicht etwas von den von Rosin und Fehling aufgestellten Schaubildern¹⁾ ab, da letztere Mittelwerte darstellen, die für alle festen Brennstoffe gelten. Dieses Schaubild dagegen beschränkt sich auf Steinkohle mit einer Fehlergrenze von weniger als 1%.

Der Wasserdampfgehalt w der Abgase je kg Brennstoff errechnet sich nach der Formel $w = \frac{9H + W}{100}$, wobei W den Wassergehalt und H den Wasserstoffgehalt in % der Rohkohle bedeuten.

Die in 1 Nm^3 feuchtem Abgas enthaltene Wassermenge ist dann:

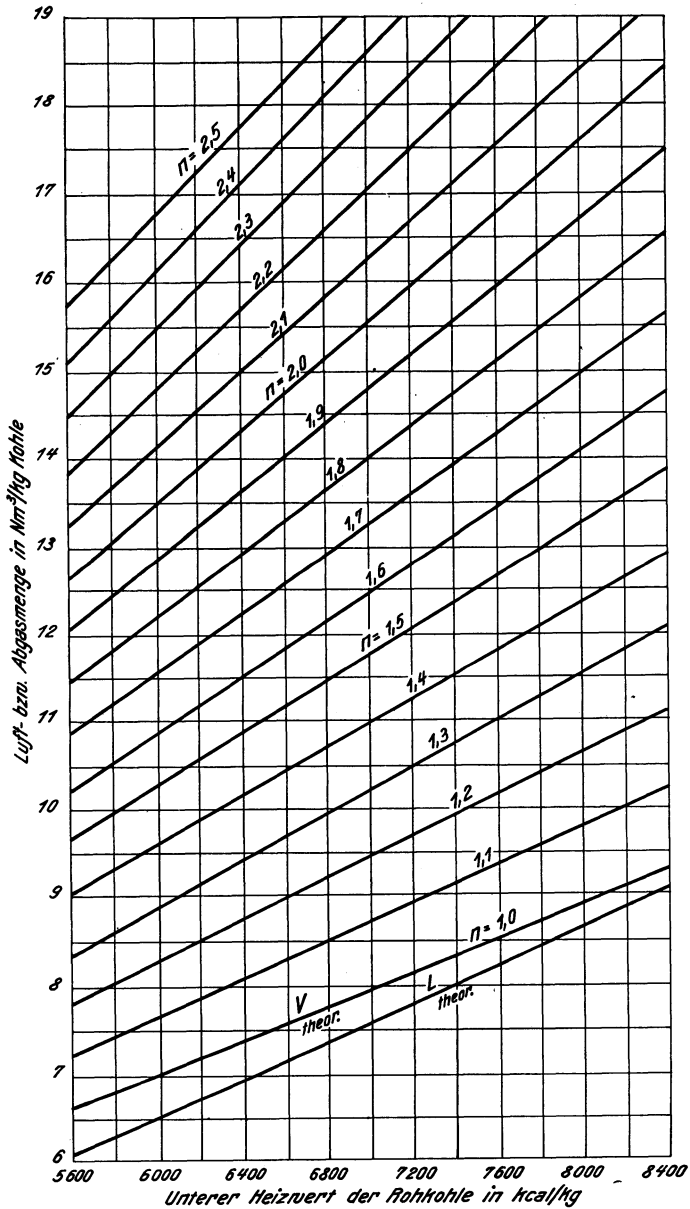
$$w_0 = \frac{W}{V} \text{ in kg/Nm}^3.$$

¹⁾ Rosin-Fehling, Das It-Diagramm der Verbrennung. Berlin 1929.

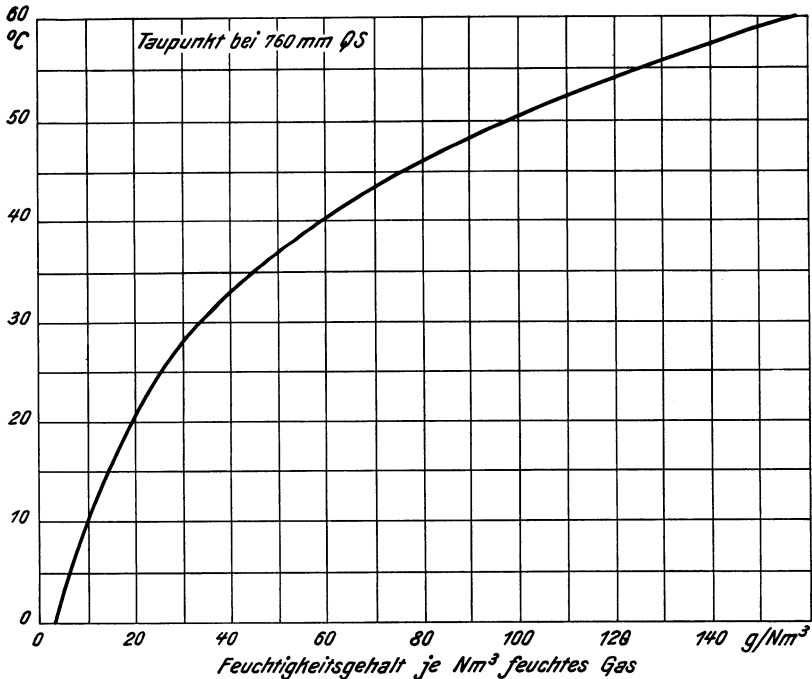
Rechenbeispiel:

| Zusammensetzung der Kohle | Verbrennungsprodukt | in Nm ³ | | in kg | |
|---------------------------|---------------------|---|---|---|---|
| | | Sauerstoffbedarf und Luftbedarf je kg Kohle | Abgase je kg Kohle feucht trocken | Sauerstoffbedarf und Luftbedarf je kg Kohle | Abgasmenge je kg Kohle feucht trocken |
| W = 6,2 % | H ₂ O | | 1,244 · 0,062 = 0,077 | | 1,000 · 0,062 = 0,062 |
| A = 4,3 % | — | | | | |
| C = 80,7 % | CO ₂ | 1,867 · 0,807 = 1,507 | 1,867 · 0,807 = 1,507 | 2,667 · 0,807 = 2,153 | 3,667 · 0,807 = 2,959 |
| H = 4,0 % | H ₂ O | 5,600 · 0,040 = 0,224 | 11,200 · 0,040 = 0,448 | 8,000 · 0,040 = 0,320 | 9,000 · 0,040 = 0,360 |
| S = 0,9 % | SO ₂ | 0,700 · 0,009 = 0,006 | 0,700 · 0,009 = 0,006 | 1,000 · 0,009 = 0,009 | 2,000 · 0,009 = 0,002 |
| O = 2,6 % | — | -0,700 · 0,026 = -0,018 | | -1,000 · 0,026 = -0,026 | |
| N = 1,3 % | N | | 0,800 · 0,013 = 0,010 + Luftstickstoff 79 21 | | 1,000 · 0,013 = 0,013 + Luftstickstoff 76,8 23,2 |
| | | O ₂ = 1,719 | 79 · 1,719 = 6,463 | O ₂ = 2,456 | 23,2 · 2,456 = 8,129 |
| | | L ^{theor.} = 100 | V ^{theor.} = 8,511 | L ^{theor.} = 100 | V ^{theor.} = 11,525 |
| | | 21 · 1,719 = 8,186 | + Luftüberschuß = 4,093 | 23,2 · 2,456 = 10,586 | + Luftüberschuß = 5,293 |
| | | L = 12,279 | V = 12,604 | L = 15,879 | V = 16,818 |
| | | 1,5 · 8,186 = 12,279 | | 1,5 · 10,586 = 15,879 | |
| Luftüberschußzahl = 1,5 | | Luftüberschuß = 12,279 - 8,186 = 4,093 | | Luftüberschuß = 15,879 - 10,586 = 5,293 | |

Luft- und Abgasmengen für Steinkohlen des Ruhr-,
Aachener und Saarbergbaues.



Taupunkttemperaturen für feuchte Abgase.

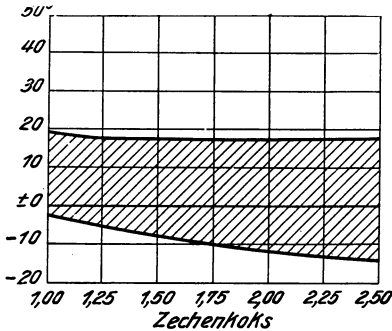
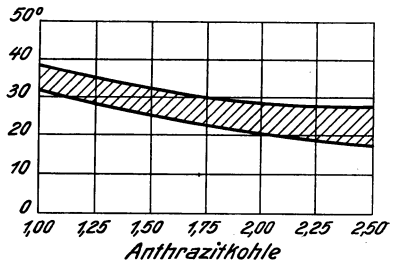
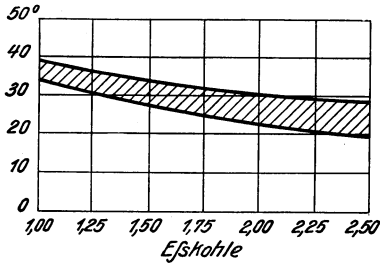
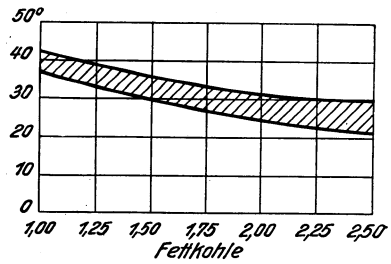
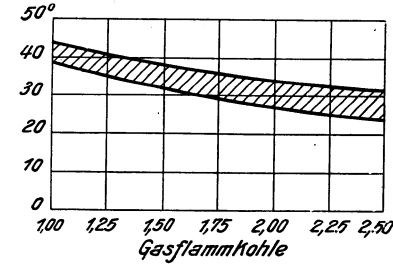


Tafel für den Taupunkt, abhängig vom Feuchtigkeitsgehalt je Nm³ t r o c k e n e s Gas, s. S. 238.

Mit vorstehendem Schaubild läßt sich der zu jedem Wasserdampfgehalt gehörige Taupunkt, d. i. diejenige Temperatur, bei der die Abgase mit Wasserdampf gesättigt sind, ermitteln. Kühlt man die Abgase noch unter diese Temperatur ab, so beginnt die Ausscheidung von Wasser, es bildet sich das sogenannte Schwitzwasser. Die folgenden Abbildungen zeigen die Taupunkte für die verschiedenen Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues. Die Kurven sind für Reinkohle berechnet. Für Rohkohle erhöhen sich die Taupunkttemperaturen im ungünstigsten Falle um 3—4 %.

Ist von einer Steinkohle nicht der Heizwert, sondern nur der Gehalt an Wasser, Asche und flüchtigen Bestandteilen bekannt, so wird der in folgenden Beispielen gezeigte Rechnungsgang gewählt:

Taupunkttemperaturen für Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues in Abhängigkeit von der Luftüberschußzahl.



Die oberen Grenzkurven gelten für mit Feuchtigkeit gesättigte Luft von 15°; die unteren Grenzkurven gelten für trockene Luft.

Rechenbeispiel:

Für eine Fettkohle mit $F1 = 20,2\%$ flüchtigen Bestandteilen, $W = 3,5\%$ Wasser und $A = 4,7\%$ Asche sollen die theoretische Luft- und Abgasmenge und der Taupunkt der Abgase bei Verbrennung mit 1,5fachem Luftüberschuß ermittelt werden.

Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bezogen auf Reinkohle ist

$$F1' = F1 \cdot \frac{100}{100 - (A + W)} = 20,2 \cdot \frac{100}{100 - (4,7 + 3,5)} = 20,2 \cdot \frac{100}{91,8} = 22,0\%.$$

Aus der Heizwertkurve Seite 104 erhält man hierfür den Reinkohlenheizwert $H_u' = 8420 \text{ kcal/kg}^1$). Der Rohkohlenheizwert ist dann:

$$H_u = H_u' \cdot \frac{100 - (A + W)}{100} - 6W$$

$$H_u = 8420 \cdot \frac{100 - (4,7 + 3,5)}{100} - 6 \cdot 3,5 = 7740 - 20 = 7720 \text{ kcal/kg.}$$

Aus der Kurventafel Seite 120 kann man hierfür unmittelbar ablesen:

die theoretische Luftmenge $L_{\text{theor.}} = 8,36 \text{ Nm}^3/\text{kg}$

die theoretische feuchte Abgasmenge . . . $V_{\text{theor.}} = 8,66 \text{ Nm}^3/\text{kg.}$

Der Wasserstoffgehalt in der Reinkohle wird für $FI' = 22,0\%$ aus der Kurventafel Seite 108 mit $H' = 4,80\%$ entnommen. Der Wasserstoffgehalt in der Rohkohle ist dann:

$$H = H' \cdot \frac{100 - (A + W)}{100} = 4,80 \cdot \frac{91,8}{100} = 4,41\%.$$

Der Wassergehalt der Abgase je kg Kohle ist:

$$w = \frac{9H + W}{100} = \frac{9 \cdot 4,41 + 3,5}{100} = 0,432 \text{ kg/kg.}$$

Die feuchte Abgasmenge bei Verbrennung mit 1,5fachem Luftüberschuß ist nach Tafel Seite 120:

$$V_{1,5} = 12,84 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

und der Wasserdampfgehalt je 1 Nm^3 feuchtes Abgas:

$$w_0 = \frac{0,432}{12,84} = 0,0336 \text{ kg/Nm}^3 = 33,6 \text{ g/Nm}^3.$$

Aus der Kurventafel Seite 121 läßt sich jetzt der Taupunkt für $33,6 \text{ g/Nm}^3$ zu 30° ablesen.

1) Bei Saarkohle konnte die Beziehung zwischen flüchtigen Bestandteilen und Heizwert noch nicht mit ausreichender Genauigkeit festgelegt werden, (vgl. S. 104), so daß für die Luft- und Abgasmengebestimmung der Heizwert entsprechend den Angaben auf Seite 105 geschätzt werden muß.

2. Ermittlung der Luftüberschubzahl bei vollkommener Verbrennung.

$$\text{Luftüberschubzahl } n = \frac{21}{21 - O_2} \sim \frac{CO_2 \text{ max.}}{CO_2}$$

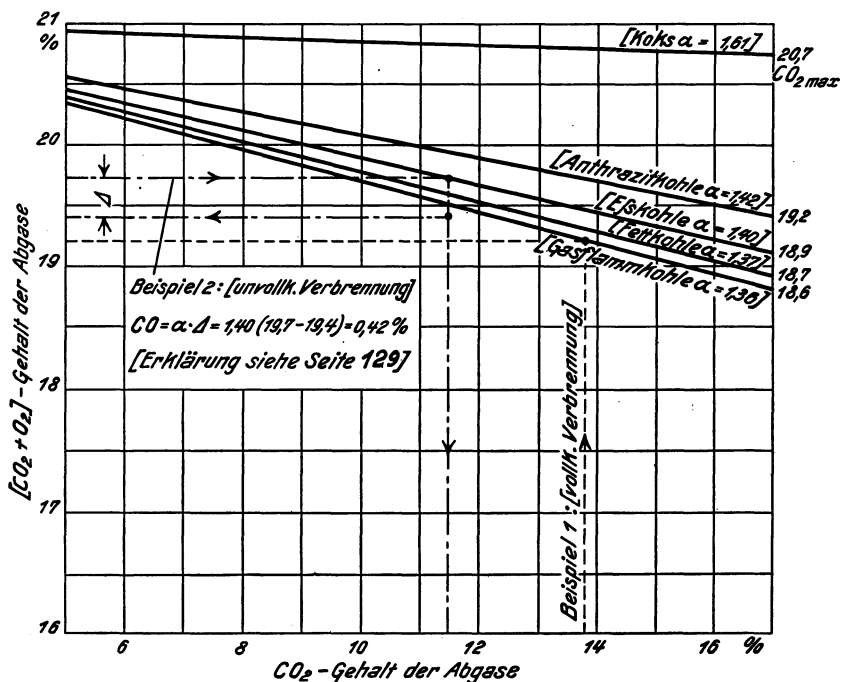
Darin ist:

O_2 = Vol. % Sauerstoff im trockenen Abgas } Aus der Abgasanalyse mit Orsat-
 CO_2 = Vol. % Kohlensäure im trockenen Abgas } apparat ermittelt.
 $CO_{2 \text{ max}}$ = Vol. % Kohlensäure im theoretischen trockenen Abgas
 (s. unten).

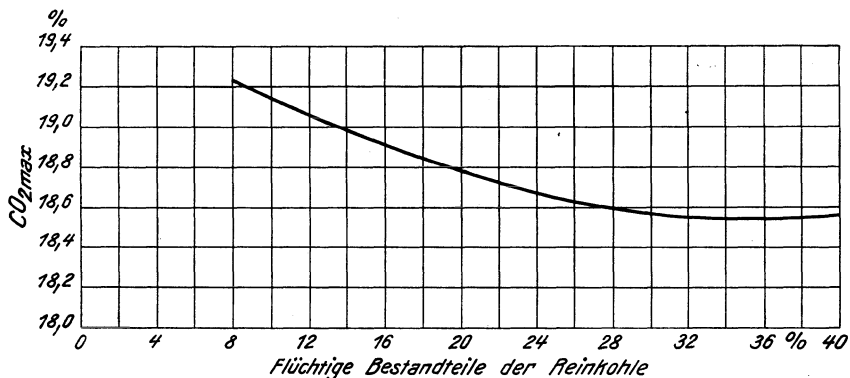
Rechenbeispiel (in Schaubild Beispiel 1):

Für Gasflammkohle ergibt sich bei 13,8 % CO_2 und bei 19,2—13,8 = 5,4 % O_2 im Abgas eine Luftüberschubzahl von

$$\frac{21}{21 - 5,4} = 1,35 \text{ oder } \frac{18,6}{13,8} = 1,35.$$



Vorstehendes Schaubild ist jeweils für das mittlere CO_2_{max} der einzelnen Kohlenarten aufgestellt. Genauere Werte für CO_2_{max} , die sich auf trockenes Abgas beziehen, sind aus der folgenden Kurve zu entnehmen. Sie wurde aus der auf Seite 109 dargestellten Zusammensetzung der Ruhr- und Aachener Kohlen unter der Annahme errechnet, daß 1 % des Kohlenstoffes an der Verbrennung nicht teilnimmt, sondern als Brennbares in den Rückständen und Flugkoks verloren geht.



3. Verluste durch fühlbare Wärme der Abgase (Q_A).

Bedeutung:

CO_2 = Kohlendioxidgehalt der Abgase in %,

CO = Kohlenoxydgehalt der Abgase in %,

C = Kohlenstoffgehalt der Kohle in %,

H = Wasserstoffgehalt der Kohle in %,

W = Wassergehalt der Kohle in %,

C_{s+f} = Kohlenstoffgehalt der Rückstände und der Flugasche in % der Kohle,

t_r = Abgastemperatur hinter dem Kessel bzw. Economiser in $^{\circ}\text{C}$,

t_l = Lufttemperatur vor Rost bzw. vor Lufterhitzer in $^{\circ}\text{C}$,

c_{pm_r} = mittlere spezifische Wärme der trockenen Abgase zwischen t_l und t_r in kcal/Nm^3 ,

c_{pm_w} = mittlere spezifische Wärme des Wasserdampfes zwischen t_l und t_r in kcal/Nm^3 ,

so ist der Verlust durch fühlbare Wärme der Abgase:

$$Q_A = \left(c_{pm_r} \cdot \frac{C - C_{s+f}}{0,536 (CO_2 + CO)} + c_{pm_w} \cdot \frac{9H + W}{0,804 \cdot 100} \right) \cdot (t_r - t_l)$$

in kcal/kg Brennstoff, oder

$$x_A = \frac{Q_A}{H_u} \cdot 100 \text{ in } \% \text{ des Heizwertes } H_u \text{ der Kohle.}$$

Die Werte c_{pm_r} und c_{pm_w} sind aus Schaubild Seite 127 zu entnehmen. Hierbei ist $t_l = 0^\circ$ gesetzt. Die mittlere spezifische Wärme zwischen 0° und t_r° ist praktisch gleich der zwischen einem anderen t_l und t_r , falls t_l nicht höher als etwa 30° ist.

Ist der Kohlenstoff- und Wasserstoffgehalt der Kohle nicht bekannt, so ergibt sich nach der Siegertschen Formel:

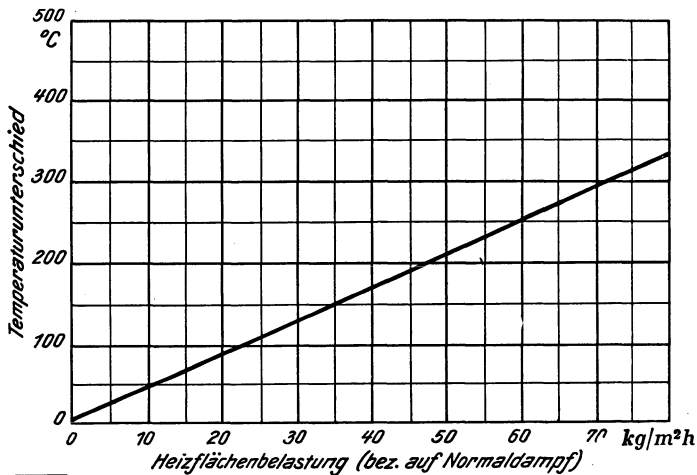
$$x_A = v \cdot \frac{t_r - t_l}{CO_2 + CO} \text{ in } \% \text{ des Heizwertes } H_u.$$

Bei Verfeuerung von Steinkohle kann überschlägig der Beiwert $v = 0,66$ und für Koks $v = 0,73$ gesetzt werden.

Genaue Werte von v sind für Steinkohlen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues aus Schaubild Seite 128 zu entnehmen.

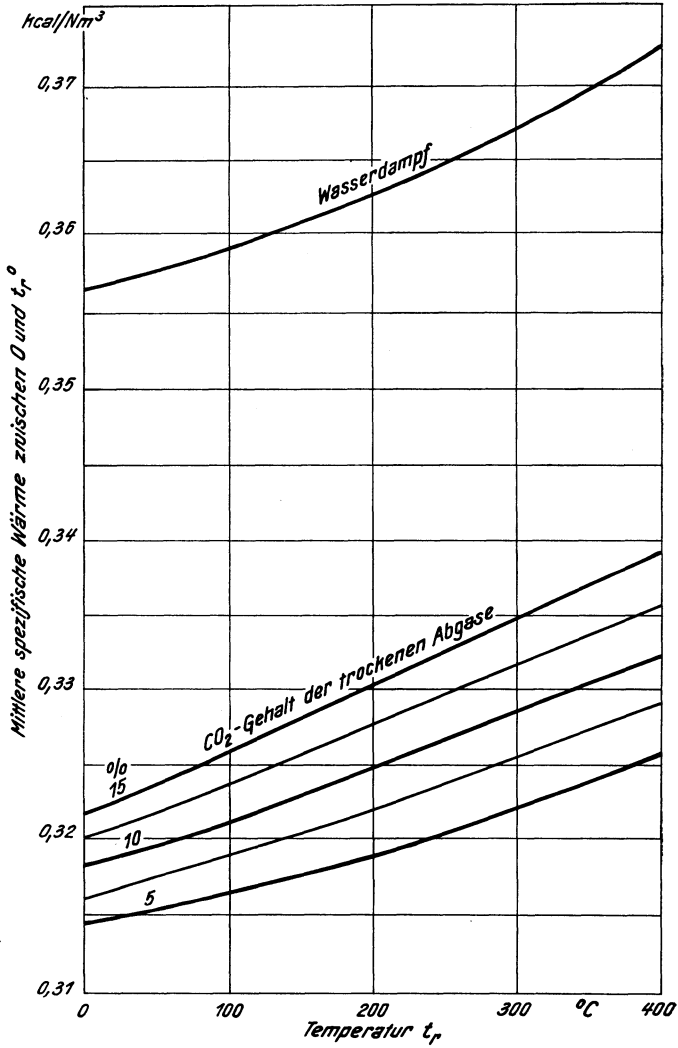
Sollte auch die Abgastemperatur unbekannt sein, so gibt die untenstehende Mittelwertskurve¹⁾, die aus einer großen Zahl von

Unterschied zwischen Abgas- und Sattedampftemperatur.



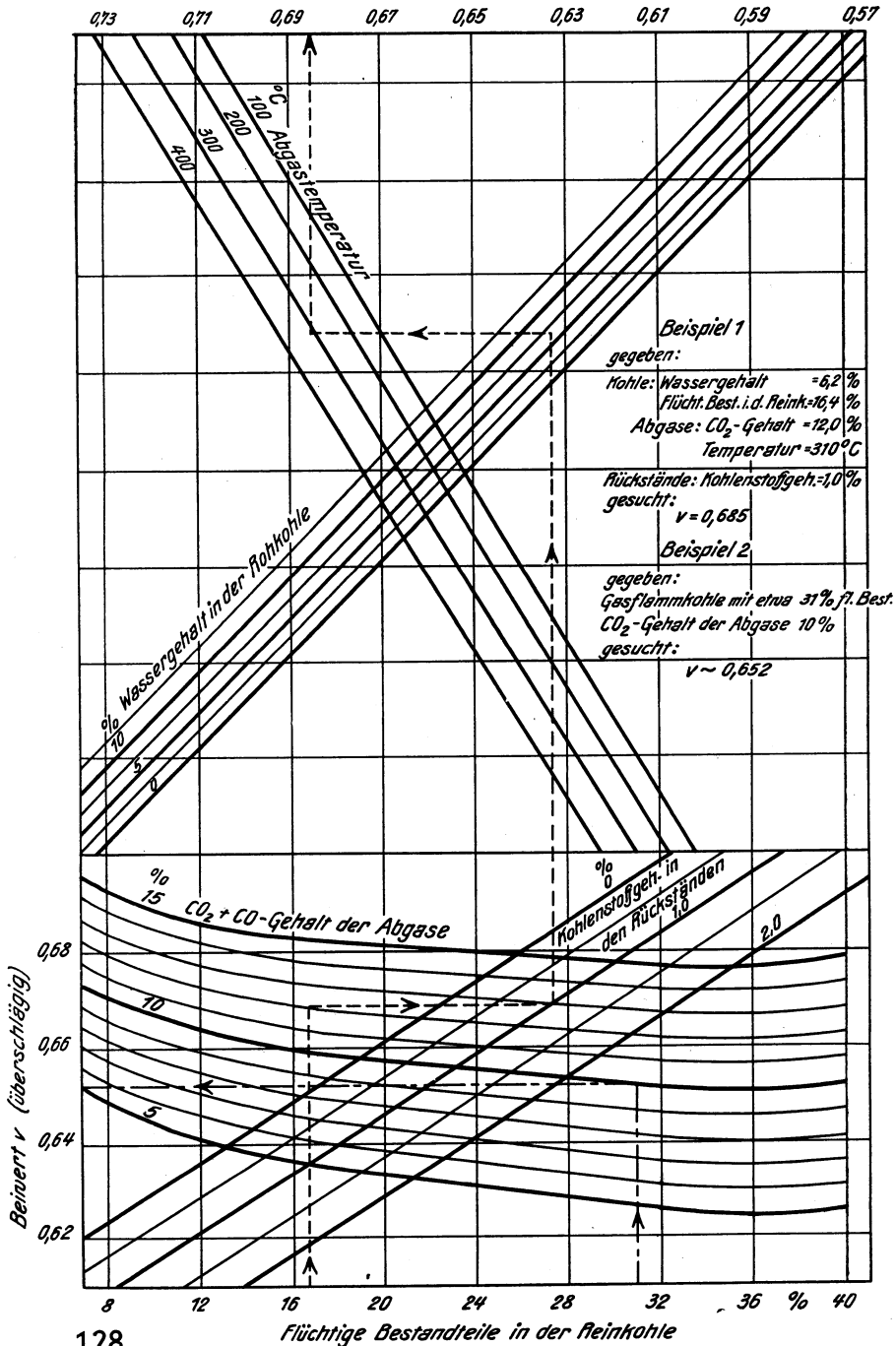
¹⁾ Nach einem Vorschlag von Marcard, W., Wärme 1930, S. 725.

Mittlere spezifische Wärme trockener Abgase bei verschiedenem Kohlendioxidgehalt und des Wasserdampfes zwischen 0 und t_r° .



Beiwert v zur Siegertschen Formel.

Beiwert v



Versuchen mit westdeutschen Steinkohlen aufgezeichnet ist, hierfür Anhaltswerte. Sie gilt jedoch nicht für die neuzeitlichen Strahlungs- und Hochdruckkessel. Man hat zu dem in dieser Kurve gefundenen Temperaturunterschied bei einer bestimmten Heizflächenbelastung die Sattedampftemperatur hinzuzuzählen, um näherungsweise die Abgastemperatur hinter dem Kessel zu erhalten. Die Heizflächenbelastung ist auf Normaldampf und Speisewassertemperatur hinter dem Speisewasservorwärmer zu beziehen.

4. Verluste durch unvollkommene Verbrennung (Q_b).

Zur Ermittlung der Verluste durch unvollkommene Verbrennung wird in der Praxis ausschließlich der CO-Gehalt der Abgase festgestellt. Verluste, die durch unverbrannte schwere Kohlenwasserstoffe und Ruß in den Abgasen entstehen, sind daher hier nicht berücksichtigt und sind auch im allgemeinen sehr klein.

Es ist

$$Q_b = 3020 \cdot \text{CO} \cdot \frac{C - C_{s+f}}{0,536 \cdot (\text{CO}_2 + \text{CO}) \cdot 100} \text{ in kcal/kg Brennstoff}$$

$$x_b = \frac{Q_b}{H_u} \cdot 100 \text{ in \% des Heizwertes } H_u$$

Ist der Kohlenstoffgehalt der Kohle nicht bekannt, so kann gesetzt werden:

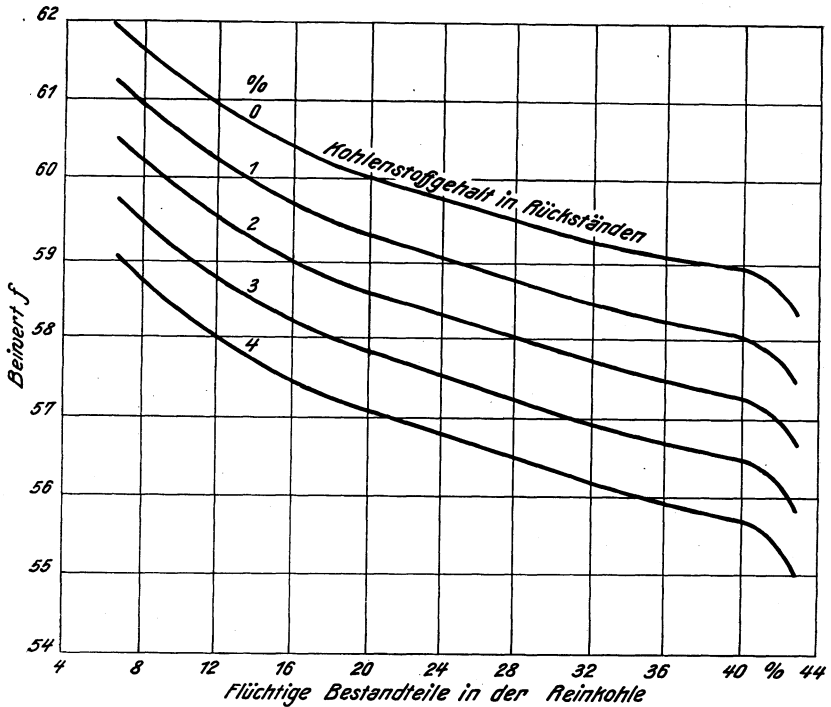
$$x_b = f \cdot \frac{\text{CO}}{\text{CO}_2 + \text{CO}}$$

Hierin ist der Beiwert f im Mittel = 59 zu setzen. Genaue Werte von f für Steinkohle sind aus Schaubild Seite 130 zu entnehmen.

Wird der CO-Gehalt durch Absorption oder Verbrennung (z. B. nach dem Kontraxverfahren der Wärmestelle Düsseldorf) nicht bestimmt, so kann man ihn, falls der durchschnittliche Gehalt der Abgase an CO_2 und $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ genau festgestellt ist, folgendermaßen ermitteln:

Man liest aus Schaubild Seite 124 denjenigen $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ -Gehalt ab, der sich bei vollkommener Verbrennung ergeben würde und zieht

Beiwert zur Ermittlung der Verluste durch unvollkommene Verbrennung.



davon den durch Analyse ermittelten $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ -Gehalt ab. Aus dieser Differenz Δ erhält man den CO-Gehalt nach der Formel:

$$\text{CO} = \frac{\Delta}{\frac{21}{\text{CO}_{2\text{max}}} - 0,3955} = a \cdot \Delta$$

Die für die einzelnen Steinkohlensorten geltenden a -Werte sind im Schaubild Seite 124 eingetragen.

Rechenbeispiel (im Schaubild Seite 124, Beispiel 2):

Bei Verbrennung einer Eßkohle mit $\text{CO}_{2\text{max}} = 18,9\%$ und $a = 1,40$ ergab die Abgasanalyse $11,5\%$ CO_2 und $19,4\%$ $\text{CO}_2 + \text{O}_2$. Nach dem Diagramm müßte bei vollkommener Verbrennung der $\text{CO}_2 + \text{O}_2$ -Gehalt den Wert $19,7\%$ haben.

Es ist dann: $\text{CO} = (19,7 - 19,4) \cdot 1,40 \sim 0,4\%$.

5. Verluste durch Brennbares in den Rückständen (Q_s).

Bedeutet

R = Anfall an Rückständen (Asche und Schlacke) in % des Brennstoffes,

b = Brennbares in den Rückständen in %, so ist

$$Q_s = \frac{b \cdot R \cdot 80}{100} \text{ in kcal je kg Brennstoff}$$

oder

$$x_s = \frac{Q_s}{H_u} \cdot 100 \text{ in \% des Heizwertes } H_u.$$

6. Verluste durch Strahlung und Leitung (Q_L).

Über den Verlust durch Strahlung und Leitung sind mittlere Erfahrungswerte für verschiedene Kesselgrößen und -arten in Kurvenform veröffentlicht¹⁾, die nachstehend wiedergegeben sind. Das Schaubild Seite 132 (oben) liefert die Strahlungsverluste für Vollast.

Soll der Strahlungsverlust auch für Teillast ermittelt werden, so ist zunächst aus Schaubild Seite 132 (oben) der Verlust für Vollast zu entnehmen und aus Schaubild Seite 132 (unten) der zu der betreffenden Teillast gehörige Strahlungsverlust abzulesen.

Da diese Werte als Restglied bei Wärmebilanzen ermittelt werden, enthalten sie auch die Meßfehler der betreffenden Verdampfungsversuche, die auf ± 2 % zu schätzen sind.

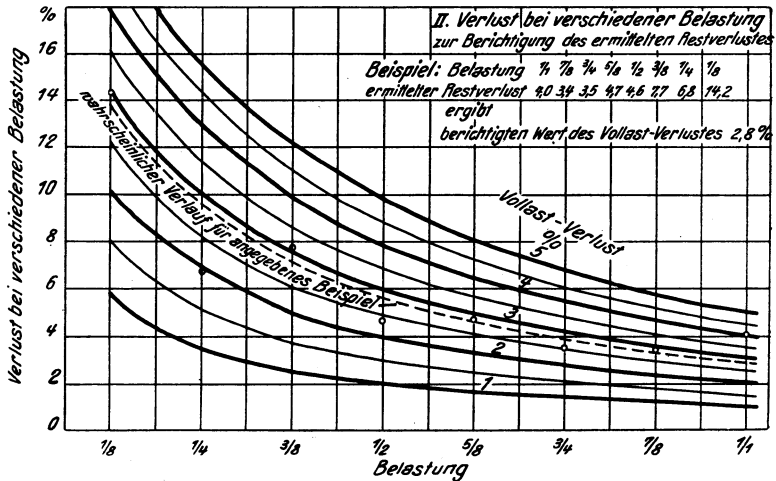
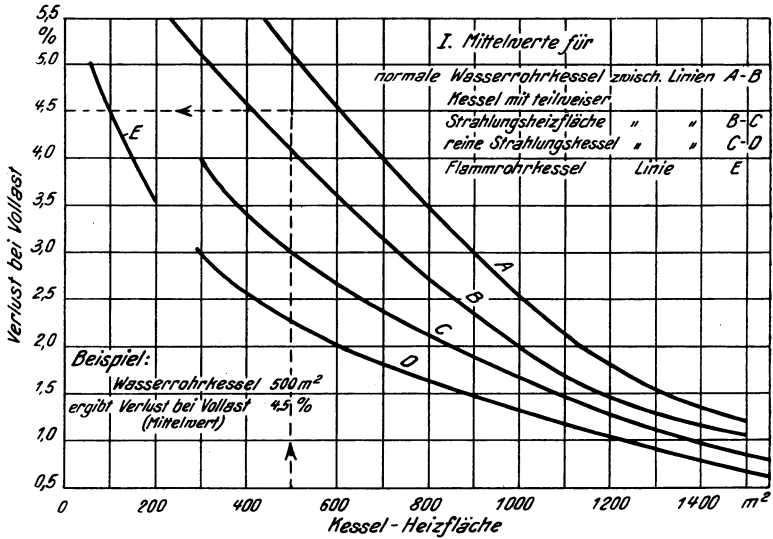
7. Beispiel zur Ermittlung des Wärmehaushaltes aus einem Verdampfungsversuch.

Versuchskessel: Normaler Wasserrohrkessel, $F_k = 500 \text{ m}^2$ Heizfläche, mit Überhitzer und Speisewasservorwärmer, voll belastet.

Rostfläche $F_r = 20 \text{ m}^2$

¹⁾ Praetorius, E., Arch. Wärmew. 1932 S. 157.

Kesselverlust durch Strahlung und Leitung.



Nach Praetorius, E., Arch. Wärmew. 1932, Seite 157.

I. Gemessene Werte :

1. Brennstoff: Eßkohle.

Brennstoffzusammensetzung:

| | | |
|-----------------------------|--|------------|
| Wassergehalt | | W = 6,2 % |
| Aschegehalt | | A = 4,3 % |
| Kohlenstoffgehalt | | C = 80,7 % |
| Wasserstoffgehalt | | H = 4,0 % |
| Schwefelgehalt | | S = 0,9 % |
| Sauerstoffgehalt | | O = 2,6 % |
| Stickstoffgehalt | | N = 1,3 % |
| | | 100,0 % |

| | | |
|----------------------------|-------|-----------------|
| Unterer Heizwert | H_u | = 7 530 kcal/kg |
| Flüchtige Bestandteile | Fl | = 14,7 % |
| Verfeuerte Brennstoffmenge | B | = 2 400 kg/h |

2. Speisewasser und Dampf:

| | | |
|------------------------------|-----------|---------------|
| Speisewassertemperatur | | |
| vor Speisewasservorwärmer | t_{w_1} | = 60° |
| Speisewassertemperatur | | |
| hinter Speisewasservorwärmer | t_{w_2} | = 105° |
| Dampfdruck | p_d | = 9,8 atü |
| Dampftemperatur | | |
| hinter Überhitzer | t_{ii} | = 372° |
| Erzeugte Dampfmenge | M | = 18 800 kg/h |

3. Abgase (hinter Speisewasservorwärmer gemessen):

| | | |
|-------------------|--------|----------|
| Kohlensäuregehalt | CO_2 | = 11,5 % |
| Kohlenoxydgehalt | CO | = 0,5 % |
| Sauerstoffgehalt | O_2 | = 7,9 % |
| Temperatur | t_r | = 310° |

4. Verbrennungsluft:

| | | |
|------------|-------|-------|
| Temperatur | t_l | = 20° |
|------------|-------|-------|

5. Herdrückstände:

| | | |
|-------------------------------|--------|----------|
| in einer Stunde | b'_H | = 91 kg |
| Brennbares in Herdrückständen | b_H | = 17,5 % |

6. Flugasche (in Zügen und Fuchs):

| | | |
|-------------------------|--------|----------|
| in einer Stunde | b'_F | = 19 kg |
| Brennbares in Flugasche | b_F | = 42,3 % |

II. Auswertung:

1. Wirkungsgradermittlung:

a) Für Kessel und Überhitzer:

Wärmeinhalt des Dampfes hinter Überhitzer (siehe Teil I Tafel 9) $i_u = 764,1 \text{ kcal/kg}$

Erzeugungswärme je kg Dampf in Kessel und Überhitzer: $i_u - t_{w_2} = 764,1 - 105 = i = 659,1 \text{ kcal/kg}$

Erzeugter Dampf aus einem kg Kohle

$$\frac{D}{B} = \frac{18\,800}{2\,400} = z = 7,84 \text{ kg/kg}$$

Im Kessel und Überhitzer ausgenutzte Wärme je kg Kohle

$$i \cdot z = 659,1 \cdot 7,84 = Q_k = 5162 \text{ kcal/kg}$$

Im Kessel und Überhitzer nutzbar gemacht:

$$\frac{Q_k \cdot 100}{H_u} = \frac{5162 \cdot 100}{7530} = \eta_{k+u} = 68,58 \%$$

b) Für Speisewasservorwärmer:

Ausgenutzte Wärme je kg Dampf im Speisewasservorwärmer: $t_{w_2} - t_{w_1} = 105 - 60 = i_w = 45 \text{ kcal/kg}$

Im Speisewasservorwärmer ausgenutzte Wärme je kg Kohle $i_w \cdot z = 45 \cdot 7,84 = Q_w = 353 \text{ kcal/kg}$

Im Speisewasservorwärmer nutzbar gemacht

$$\frac{Q_w \cdot 100}{H_u} = \frac{353 \cdot 100}{7530} = \eta_w = 4,68 \%$$

c) Für gesamte Kesselanlage:

Gesamte ausgenutzte Wärme je kg Dampf $i + i_w = 659,1 + 45 = i' = 704,1 \text{ kcal/kg}$

Gesamte ausgenutzte Wärme je kg Kohle $Q_k + Q_w = 5162 + 353 = Q = 5515 \text{ kcal/kg}$

Wirkungsgrad der gesamten Kesselanlage:

$$\eta_{k+u} + \eta_w = \left(\frac{Q \cdot 100}{H_u} \right) = 68,58 + 4,68 = \eta = 73,26 \%$$

2. Verluftermittlung:

- a) Verluste durch fühlbare Wärme in den Abgasen:
(siehe Seite 126)

$$Q_A = \left(c_{pm_r} \cdot \frac{C - C_{s+f}}{0,536(CO_2 + CO)} + c_{pm_w} \frac{9H + W}{0,804 \cdot 100} \right) \cdot (t_r - t_l)$$

Kohlenstoffgehalt in den Herdrückständen
und in der Flugasche in einer Stunde:

$$b'_H \cdot \frac{b_H}{100} + b'_F \cdot \frac{b_F}{100} = 91 \cdot 0,175 + 19 \cdot 0,423 = C'_{s+f} = 24,0 \text{ kg}$$

Kohlenstoffgehalt in den Herdrückständen
und in der Flugasche je kg Kohle:

$$\frac{C'_{s+f}}{B} = \frac{24}{2400} \cdot 100 = C_{s+f} = 1,0 \%$$

c_{pm_r} bei $CO_2 = 11,5 \%$ mit $t_r = 310^\circ$

(siehe Schaubild Seite 127)

$$c_{pm_r} = 0,331 \text{ kcal/kg}$$

c_{pm_w} bei $t_r = 310^\circ$ (siehe Schaubild Seite 127) $c_{pm_w} = 0,367 \text{ kcal/kg}$

$$Q_A = \left(0,331 \cdot \frac{(80,7 - 1,0)}{0,536 \cdot (11,5 + 0,5)} + 0,367 \cdot \frac{9 \cdot 4,0 + 6,2}{0,804 \cdot 100} \right) \cdot (310 - 20)$$

$$Q_A = 1244 \text{ kcal/kg}$$

$$x_A = \frac{Q_A}{H_u} \cdot 100 = \frac{1244}{7530} \cdot 100$$

$$x_A = 16,52 \%$$

oder nach Schaubild Seite 128 (Beispiel 1)

Flüchtige Bestandteile in der Reinkohle:

$$Fl' = \frac{Fl \cdot 100}{100 - A - W} = \frac{14,7 \cdot 100}{100 - 4,3 - 6,2} = 16,4 \%$$

$$x_A = 0,685 \cdot \frac{t_r - t_l}{CO_2 + CO} = 0,685 \cdot \frac{310 - 20}{11,5 + 0,5} = 16,55 \%$$

oder überschlägig mit $v = 0,66$ wird $x_A = 16,0 \%$.

- b) Verluste durch unvollkommene Verbrennung:
(siehe Seite 129)

$$Q_b = 3020 \cdot CO \cdot \frac{C - C_{s+f}}{0,536 \cdot (CO_2 + CO) \cdot 100} = 3020 \cdot 0,5 \cdot \frac{80,7 - 1,0}{0,536(11,5 + 0,5) \cdot 100}$$

$$Q_b = 187 \text{ kcal/kg}$$

$$x_b = \frac{Q_b}{H_u} \cdot 100 = \frac{187}{7530} \cdot 100 \quad x_b = 2,48 \%$$

oder nach Schaubild Seite 130

$$x_b = f \cdot \frac{CO}{CO_2 + CO} = 59,8 \cdot \frac{0,5}{11,5 + 0,5} = 2,48 \%$$

oder überschlägig mit $f = 59$ wird $x_b = 2,46 \%$.

Ist der CO-Gehalt nicht bestimmt, so ermittelt man aus Schaubild Seite 124 die Werte α und Δ und erhält

$$CO = \alpha \cdot \Delta = 1,4 [19,7 - (11,5 + 7,9)] \sim 0,4 \%$$

c) Verluste durch Brennbare in Rückständen und Flugasche:
(siehe Seite 131)

$$Q_{s+f} = \left(\frac{b_H \cdot b'_H}{B} + \frac{b_F \cdot b'_F}{B} \right) \cdot \frac{8000}{100} = \left(\frac{17,5 \cdot 91}{2400} + \frac{42,3 \cdot 19}{2400} \right) \cdot \frac{8000}{100}$$

$$Q_{s+f} = 80 \text{ kcal/kg}$$

$$x_{s+f} = \frac{Q_{s+f}}{H_u} \cdot 100 = \frac{80}{7530} \cdot 100 \quad x_{s+f} = 1,06 \%$$

d) Verluste durch Strahlung und Leitung (siehe Seite 131):
Genauere Bestimmung meist nicht durchführbar.

Nach Schaubild Seite 132 (oben)

mittlerer Verlust

$$x_L = 4,5 \%$$

$$Q_L = \frac{x_L \cdot H_u}{100}$$

$$Q_L = 339 \text{ kcal/kg}$$

3. Wärmehaushalt:

(Bezogen auf 1 kg verfeuerte Kohle)

| | kcal/kg | % | kcal/kg | % |
|---|---------|-------|---------|--------|
| Wärmeausnutzung | | | | |
| im Kessel und Überhitzer . . | 5 162 | 68,58 | | |
| im Speisewasservorwärmer | 353 | 4,68 | | |
| in der Kesselanlage | | | 5 515 | 73,26 |
| Verluste durch | | | | |
| fühlbare Wärme in den Abgasen | 1 244 | 16,52 | | |
| unvollkommene Verbrennung | 187 | 2,48 | | |
| Brennbares in den Rückständen | 80 | 1,06 | | |
| Strahlung und Leitung | 339 | 4,50 | | |
| Flugasche, Ruß, Methan, Meßungenauigkeit (Rest) . . | 165 | 2,18 | | |
| Gesamtverluste | | | 2 015 | 26,74 |
| Zugeführte Wärme H_n | | | | |
| Nutzwärme + Gesamtverluste | | | 7 530 | 100,00 |

4. Kennziffern:

Verhältnis Rostfläche : Heizfläche

$$20 : 500 = F_r : F_k = 1 : 25$$

Verdampfungszahl, bez. auf Betriebsdampf (Bruttoverdampfung)

$$\frac{M}{B} = \frac{18\,800}{2\,400} = z = 7,84 \text{ kg/kg}$$

Verdampfungszahl, bez. auf Normaldampf von 640 kcal/kg (Nettoverdampfung)

$$z \cdot \frac{i'}{640} = 7,84 \cdot \frac{704,1}{640} = z_N = 8,62 \text{ kg/kg}$$

$$\text{Rostbelastung} = \frac{B}{F_r} = \frac{2400}{20} = \frac{B}{F_r} = 120 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Heizflächenbelastung, bez. auf Betriebsdampf

$$\frac{M}{F_K} = \frac{18\,800}{500} = \frac{M}{F_K} = 37,6 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Heizflächenbelastung, bez. auf Normaldampf

$$\frac{M}{F_K} \cdot \frac{i'}{640} = 37,6 \cdot \frac{704,1}{640} = \frac{M_N}{F_K} = 41,4 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

Fünfter Teil.

**Betrieb von Dampfkesselfeuerungen
mit Brennstoffen des Ruhr-,
Aachener und Saarbergbaues.**

I. Allgemeines über Rostfeuerungen.

1. Schema der wichtigsten Feuerungssysteme für Steinkohlen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues.

Die Tafel zeigt, daß Planrost und Wanderrost die größte Beweglichkeit in der Brennstoffauswahl gestatten. Bei den übrigen Rostarten sind Beschränkungen sowohl im Gasgehalt der Kohle als auch

| Feuerungssystem | Schematische Darstellung der Feuerung | Kennzeichnung der Verbrennungsvorgänge | | Geeignete Steinkohlenarten | Geeignete Steinkohlensorten |
|--|---------------------------------------|---|--|---|---|
| Planrost mit Handbeschickung. | | Aufgabe der frischen Kohle von oben auf das glühende Brennstoffbett, Zündung durch Erwärmung v. unten. | | Alle. | Förder-, Mel-, Stück-, Nuß-, Feinkohlen, Voll-, Eierbrik. |
| Planrost mit Wurfbeschickung. | | | | | |
| Unterschub-Muldenrost für kleine Kessel. | | Unterschieben der frischen Kohle unter das glühende Brennstoffbett, Zündung durch die glühende Kohle von oben. | | Flamm-, Gasflammkohlen, Eßkohlen. | Nußkohlen, Feinkohlen. |
| Unterschub-Muldenrost für große Kessel. | | Unterschieben der frischen Kohle unter das glühende Brennstoffbett, Zündung durch die glühende Kohle von oben. | | Flamm-, Gasflammkohlen, Eßkohlen, Fettkohlen. | Gebrochene Förderkohlen, Nußkohlen, Feinkohlen. |
| Gewöhnlicher Wanderrost mit u. ohne Unterwind. | | Nachschieben der frischen Kohle neben dem bereits gezündeten und weiterwandernden Brennstoff. | Zündung durch Erwärmung von oben u. zwar z. Teil durch Strahlung des Zündgewölbes u. z. T. durch Flammen- u. Gasstrahlung. | Alle. | Gebrochene Förderkohlen, Nußkohlen, Feinkohlen, Eierbriketts. |
| Unterwind-Zonenwanderrost. | | | | | |
| Staubfeuerung. | | Einblasen d. Kohlenstaubes durch die Brenner, Zündung durch allseitige Erwärmung d. Staubeilchens mittels Wand-, Flammen- und Gasstrahlung. | | Alle. | Gemahlene Förderkohlen, Nuß- und Feinkohlen. |
| Mühlenfeuerung. | | Mahlen und Trocknen der Kohle i. d. Mühle. Zündung des Staubes in der Brennkammer durch Wand-, Flammen- u. Gasstrahlung. | | Flamm-, Gasflamm-, Fett- und Eßkohlen. | Vorgebrochene Förderkohlen, Nußkohlen, Feinkohlen. |

in ihrer Körnung vorhanden. Selbst bei der Staubfeuerung bestehen für den Gasgehalt der Kohle gewisse untere Grenzen, die bei der gegebenen wirtschaftlichsten Mahlfeinheit des Staubes von der Kesselbauart (Größe der Strahlungsheizfläche) und dem Grade der Belastungsschwankungen abhängen. Allgemein gültige Angaben über die in einzelnen Fällen am besten geeignete Steinkohlensorte lassen sich nicht machen, da die Anlage- und Betriebsverhältnisse zu verschieden sind.

2. Schichthöhen auf dem Rost in mm.

| | Planrost mm | Wanderrost mm |
|---------------------------------------|----------------|-----------------------|
| 1. Flamm- und Gasflammkohle | | |
| Nußkohle | 70—250 | 70—200 |
| Feinkohle | 60—160 | 60—150 |
| Förderkohle, melierte Kohle . . . | 100—250 | 100—200 ¹⁾ |
| 2. Fettkohle | | |
| Nußkohle | 70—200 | 70—180 |
| Feinkohle | 60—150 | 60—140 |
| Förderkohle, melierte Kohle . . . | 100—200 | 100—200 ¹⁾ |
| 3. Eßkohle | | |
| Nußkohle | 60—150 | 60—130 |
| Feinkohle | 60—120 | 60—130 |
| 4. Anthrazitkohle, Gruppe I und II | | |
| Nußkohle | 50—120 | 50—130 |
| Feinkohle | — | 50—130 |
| 5. Vollbriketts aus Fett- und Eßkohle | 100—250 | — |
| 6. Eierbriketts aus Eßkohle | 100—200 | 100—200 |

Die größeren Körnungen der Nußkohlen bedingen bei Wanderrostfeuerungen die höhere Brennstoffschicht.

3. Regelung der Verbrennungsluft.

Bei Feuerungen ohne Unterwind, die mit vorstehenden Schichthöhen arbeiten und einen zweckmäßigen Rostbelag (vgl.

¹⁾ Förderkohle auf etwa 30 mm vorgebrochen.

Seite 143 ff.) haben, können bei den üblichen Verbrennungsleistungen folgende Zugstärken angenommen werden, die sich bei Planrostfeuerungen auf den Zustand unmittelbar nach dem Abschlacken, d. h. auf reines Feuer, beziehen:

Erforderliche Zugstärken in mm WS.

| | Planrost- feuerung | Wanderrost- feuerung |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | über dem Rost | über dem Rost |
| Flamm- und Gasflammkohle | 4—8 | 3—7 |
| Fettkohle | 5—8 | 4—7 |
| Eßkohle | 4—8 | 4—7 |
| Anthrazit, Gruppe I und II | 5—9 | 5—8 |
| Vollbriketts | 4—5 | — |
| Eß-Eierbriketts | 3—6 | 3—6 |

Die höheren Werte gelten für Feinkohlen, die niederen für alle übrigen Sorten.

Es empfiehlt sich, im Betriebe laufend den Zug über dem Feuer und den Zugunterschied zwischen Feuerraum und Kesselende zu messen.

Die Regelung der Verbrennungsluft soll betriebsmäßig nur durch den Abgasschieber bzw. Saugzugventilator erfolgen. Ungünstig ist eine Regelung mit Hilfe von Luftklappen vor oder unter dem Rost, da hierdurch ein unnötig hoher Unterdruck in der Feuerung und in den Kesselzügen erzeugt wird, was das Eindringen von Falschluff begünstigt und somit eine Verschlechterung des Wirkungsgrades zur Folge hat. Außerdem kann eine solche Abdrosselung unter dem Rost zu starkem Rostverschleiß und unangenehmer Schlackenbildung führen, weil ein größerer Teil der Verbrennungsluft durch Undichtigkeiten an Feuertür, Schaulöchern u. a. oberhalb des Rostes in den Feuerraum gelangt und somit nicht mit zur Kühlung von Rost und Schlacke herangezogen wird. Der Zugschieber bzw. die Drehzahl des Saugzugventilators muß deshalb vom Heizerstand aus bequem eingestellt werden können. Die Luftklappen vor oder unter dem Rost

sollen also nur bei Stillsetzen des Kessels oder bei gebänktem Feuer geschlossen werden, während sie im Betrieb stets ganz zu öffnen sind. Ein plötzliches Abdrosseln des Zuges ist nach Möglichkeit wegen ungünstiger Einwirkung auf die Schlacke zu vermeiden.

Bei Verfeuerung gasreicher Kohlen kann die Rauchbildung durch Zuführung von Zweitluft mit hoher Geschwindigkeit verhindert werden. Die Eintrittsstellen müssen aber so liegen, daß ein weiterer Ausbrand der Feuergase noch möglich ist und eine gute Durchwirbelung erreicht wird. Die Vorwärmung der Zweitluft ist vorteilhaft, jedoch nicht unbedingt erforderlich.

Bei Feuerungen, die mit *U n t e r w i n d* arbeiten, soll der Zug über dem Rost so gering wie möglich sein, ohne daß an irgendeiner Stelle des Abgasweges Überdruck auftritt und Abgase ins Kesselhaus gedrückt werden, d. h. je nach Höhe des Feuerraumes und Bauart des Kessels 0—5 mm WS. Die Unterwindpressung hängt stark von dem Widerstand des Rostbelages und der Kohlensorte ab und beträgt bei den üblichen Rostbelastungen und den Steinkohlen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues etwa 5—30 mm WS. Bei manchen Unterschubfeuerungen sind Pressungen bis zu 100 mm WS. und mehr erforderlich. Die für eine bestimmte Rostleistung notwendige Pressung muß jeweils ausprobiert werden. Hierbei ist die Abgasanalyse mit dem Orsatapparat oder mit selbsttätigen Anzeigeräten sehr wichtig.

Bei der Einstellung des CO_2 -Gehaltes (vgl. Tafel Seite 143) ist folgendes zu beachten:

Bei Kesselanlagen, die mit niedriger Abgastemperatur (120—200°) arbeiten, bringt die Erhöhung des CO_2 -Gehaltes um 1 % nur eine Verminderung des Abgasverlustes um 0,5—0,8 %. Der hierdurch erzielte geringe Gewinn kann leicht durch schlechteren Ausbrand der Rückstände, durch das Auftreten brennbarer Gase — 0,5 % CO in den Abgasen bedeuten bereits etwa 2 % schlechteren Wirkungsgrad — oder durch größeren Verschleiß von Mauerwerk und Rostmaterial mehr als ausgeglichen werden. Es hat also bei derartigen Anlagen häufig keinen Wert, im *D a u e r b e t r i e b* einen übermäßig hohen CO_2 -Gehalt zu verlangen, selbst wenn *m e h r s t ü n d i g e* Versuche bei konstanter Last und sorgfältigster Feuerüber-

wachung mit höherem CO₂-Gehalt günstigere Ergebnisse gezeigt haben. Bei Kesselanlagen mit höherer Abgastemperatur kann dagegen auch im Dauerbetrieb ein hoher CO₂-Gehalt vorteilhaft sein.

Zweckmäßiger und erreichbarer CO₂-Gehalt hinter dem Kessel.

| Feuerung | Gleichmäßige | Ungleichmäßige |
|--|--------------|----------------|
| | Belastung | |
| | % | % |
| Planrost mit Handbeschickung | 8 – 11 | 7–10 |
| Planrost mit Wurfapparat | 9 – 12 | 8 – 11 |
| Wanderrost nicht gekapselt | 10 – 12 | 8–11 |
| Wanderrost gekapselt | 10 – 12 | 9–11 |
| Wanderrost mit Zonen | 11 – 13 | 10–12 |
| Unterschubrost | 11–13 | 10–12 |
| Kohlenstaubfeuerung | 11–14 | 10–13 |

4. Roststab-Ausbildung.

Der Roststab muß so ausgebildet sein, daß durch die vorbeistreichende Verbrennung eine hinreichende Kühlung erzielt wird und damit eine niedrige Temperatur des Roststabes, die eine Voraussetzung dafür ist, daß der Rost nicht zu schnell verschleißt und die Schlacke stets locker und luftdurchlässig bleibt. Eine wichtige Kennziffer für die Ausbildung eines Roststabes ist daher sein „Kühlverhältnis“, d. i. das Verhältnis zwischen den wärmeabführenden Seitenflächen des Stabes zu der wärmeaufnehmenden Fläche der Brennbahn. Dieses Verhältnis soll etwa 12—20 betragen.¹⁾ Einschnürungen des Stabquerschnittes sind zu vermeiden, da sie Wärmestauungen im Stab verursachen und somit eine unzulässige Steigerung der Rostbahntemperatur hervorrufen. Der Stabquerschnitt soll sich nach unten stetig verjüngen, damit Kohle- und Ascheteilchen, die zwischen die Stäbe fallen, sich in den Spalten nicht festklemmen können.

¹⁾ Vgl. Marcard, W., Rostfeuerungen, Berlin 1934, S. 81 ff.

Eine gerade Brennbahn bietet der einstrahlenden Wärme die geringste Angriffsfläche, weshalb sich Stäbe in dieser Form gegenüber allen Sonderausführungen als überlegen erwiesen haben. Roststabträger und Abstandsnocken sind so anzuordnen, daß die Verbrennungsluft möglichst ungehindert die ganze Rostfläche bestreichen kann. Bei Bemessung des Spaltes ist Rücksicht auf die Wärmedehnung zu nehmen, da bei zu engen Rostspalten eine erhöhte Gefahr für das Zusammenwachsen des Rostbelages im Betrieb besteht. Unter freier Rostfläche versteht man die Luftspaltfläche in % der Gesamtrrostfläche. Soweit die Zugverhältnisse es gestatten, ist eine k l e i n e freie Rostfläche anzustreben; außerdem ist die vorerwähnte Gefahr des Zusammenwachsens zu beachten.

Für die Verfeuerung einer hochwertigen Steinkohle haben sich folgende Abmessungen als zweckmäßig erwiesen:

| | Planrost | | Wanderrost | |
|--|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | ohne Unterwind | mit Unterwind | ohne Unterwind | mit Unterwind |
| Höhe mm | 120 | 120 | 110—120 | 110 |
| Brennbahnbreite mm | 18—20 | 16—18 | 16—20 | 14—18 |
| Freie Rostfläche % | 25—40 | 15—25 | 15—35 | 5—25 |
| Spaltweite für: | | | | |
| Förderkohle mm | 8—10 | 4—6 | 7—8 ¹⁾ | 3—5 ¹⁾ |
| Stückkohle, melierte Kohle und Nuß 1 mm | 8—10 | — | — | — |
| Nuß 2 und 3 mm | 8—10 | 4—6 | 7—8 | 3—5 |
| Nuß 4 und 5 mm | 5—8 | 4—6 | 5—8 | 2—3 |
| Feinkohle mm | 5—7 | 3—5 | 3—6 | 1—3 |
| Vollbriketts mm | 8—10 | — | — | — |
| EB-Eierbriketts mm | 8—10 | — | 7—8 | 3—5 |

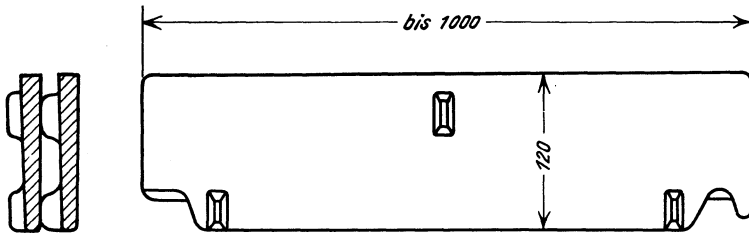
Stabbreite unten: etwa die Hälfte der Brennbahnbreite.

Die Verwendung von selbstreinigenden Rosten gibt die Möglichkeit, auch bei natürlichem Zug mit kleinerer Spaltweite zu arbeiten.

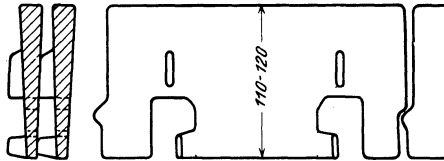
Bei Roststäben für Planrostfeuerungen beachte man insbesondere die Anordnung niedriger Querroststabträger und die freie Auflage der Stäbe an den Enden. Die Länge eines solchen Stabes kann bis zu 1000 mm gewählt werden, sodaß für einen Belag in der Regel nur zwei Lagen von Stäben angewendet und damit die Zahl der wind-

¹⁾ auf etwa 30 mm vorgebrochen.

Roststab für Planroste.



Roststab für Wanderroste.



schattenbildenden Querträger auf ein Kleinmaß gebracht werden kann. Die Abstandsnocken sind in der Hauptsache in den Bereich unvermeidlichen Windschattens zu legen.

Bemerkenswert an dem Wanderroststab in vorstehender Abbildung sind die gleiche Höhe über die ganze Länge und die Überlappung an den Stabenden, die das Durchfallen von Brennstoff vermeiden soll. Die Überdeckung der Stäbe darf nicht zu nahe der gefährdeten Brennbahn angeordnet sein, da diese Stellen sonst frühzeitig verschleifen. Wie das Beispiel zeigt, läßt sie sich ebensogut im unteren Teil des Stabes anbringen. Bei Roststäben für Zonenwanderroste ist es zweckmäßig, die Abstandsnocken als Dichtungselemente auszubilden und bis zur Brennbahn hochzuführen.

5. Werkstoffe für Roststäbe.

Die Bewährung eines Roststabes im Betriebe ist außer von seiner Fähigkeit, die aufgenommene Wärme schnell abzugeben, von seiner Feuerbeständigkeit abhängig. Die Werkstofffrage gewinnt dann an Bedeutung, wenn es trotz zweckmäßigster Formgebung und höchster Kühlmöglichkeit des Roststabes nicht gelingt, einen auftretenden übermäßig großen Verschleiß zu verhüten.

Als Werkstoff für geringe Dauerbeanspruchung bis zu Temperaturen unterhalb der dunklen Rotglut werden im allgemeinen nur Stäbe aus Grau- oder Weißguß verwendet. Die Verwendung von schmiedbarem Werkstoff (Stahl) hat sich dagegen wegen der zunehmenden Erweichung bei ansteigenden Temperaturen nicht bewährt. Die Frage, ob Weiß- oder Grauguß den Vorzug verdient, ist bisher noch nicht eindeutig entschieden. Beide Gußarten sind von guter Feuerbeständigkeit, wobei Weißguß gegen Stoß und Schlag empfindlich ist, während Grauguß diesen Nachteil weniger besitzt, dafür aber vielfach nicht raumbeständig ist. Bei zu starker bleibender Ausdehnung des aus Grauguß hergestellten Roststabes reißt die Oberfläche ein, oxydierende Gase dringen in den Werkstoff ein und zerstören das Gefüge. Außerdem haften auch in diesem Zustand Schlackenteilchen leichter an der Brennbahn fest und begünstigen durch Bildung niedrigschmelzender chemischer Verbindungen die Zerstörung des Roststabes. Vielfach macht man sich auch mit Erfolg die günstigen Eigenschaften des Weiß- und Graugusses zunutze, indem man die Brennbahn abschreckt und dadurch in diesem Teil feuerbeständigen Weißguß erhält, während der übrige Teil aus Grauguß besteht und gegen Schlagbeanspruchung weniger empfindlich ist. Die Raumbeständigkeit eines Roststabes ist in hohem Maße vom Siliziumgehalt abhängig. Für feuerbeständigen Grauguß hat sich nachstehende Zusammensetzung bewährt:

3,2 — 3,4 % Kohlenstoff,
1,4 — 1,6 % Silizium,
unter 0,5 % Mangan,
0,4 — 0,5 % Phosphor,
unter 0,12 % Schwefel.

Durch Vorwärmung der Gußform läßt sich der Siliziumgehalt noch weiter erniedrigen, ohne daß dadurch Weißguß entsteht.

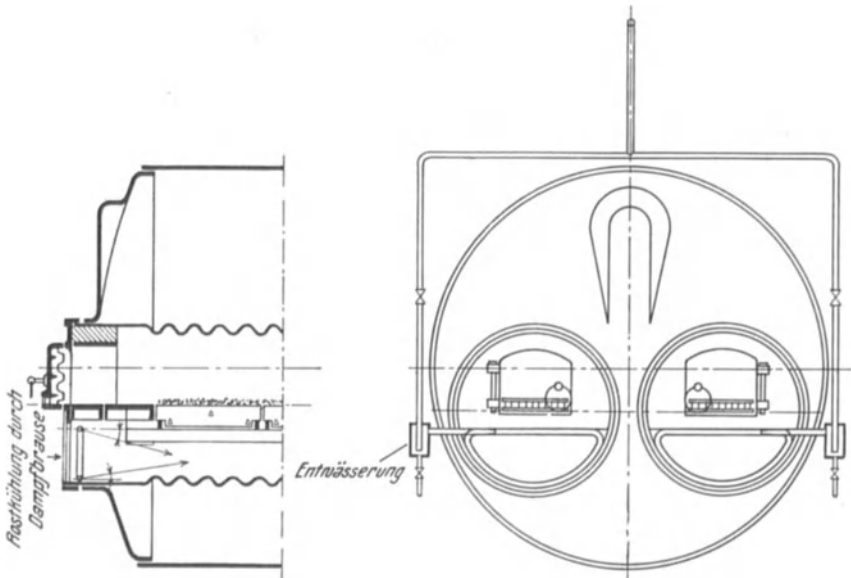
Für höher beanspruchte Rostarten, wie z. B. Vorschub- oder Unterschubroste, genügen vielfach unlegierte Werkstoffe nicht mehr. Hierfür werden die Rostglieder mit Silizium, Aluminium und Chrom legiert und enthalten je nach der Temperaturbeanspruchung des Rostes bis 30 % Chrom und entsprechende Anteile an Silizium und

Aluminium. In vielen Fällen genügt es, nur die am stärksten beanspruchten Zonen mit legierten Rostgliedern zu versehen, während für die weniger beanspruchten Zonen vielfach noch unlegierte Werkstoffe ausreichen.

6. Rostkühlung.

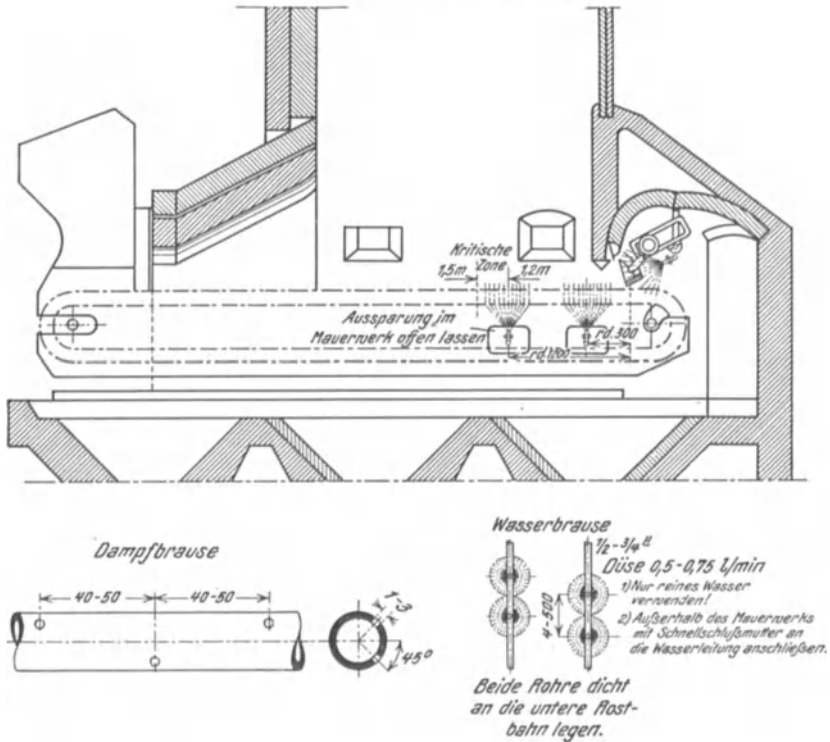
Tritt infolge besonders ungünstiger Betriebsbedingungen trotz zweckmäßiger Roststabform und gutem Werkstoff ein starker Rostverschleiß auf, so empfiehlt sich der Einbau einer Dampfbräuse, wie es in nachstehender Skizze und in der Abbildung auf Seite 148 dargestellt ist. Das Sprühhrohr ist bei Planrosten so anzuordnen, daß die Dampfstrahlen den Lufteintritt in den Aschfall nicht erschweren, sondern möglichst noch eine Injektorwirkung ausüben. Deshalb soll der Winkel, unter dem der Dampf aus dem Querrohr austritt, nicht größer als 30° sein.

Rostkühlung bei Planrosten.



Bei Wanderrosten legt man die Sprühhöhre möglichst tief unter die obere Rostbahn, um einen größeren Weg zu haben, auf dem sich

Rostkühlung bei Wanderrosten



Luft und Dampf mischen können. Es empfiehlt sich, die in der vorstehenden Abbildung angedeutete Öffnung im Mauerwerk offen zu lassen oder höchstens mit einem leicht verschiebbaren Deckel zu versehen, damit die Arbeitsweise der Sprührohre überwacht werden kann.

Zur Erzielung einer möglichst gleichmäßigen Verteilung des Kühldampfes über die ganze Rostbreite soll der Durchmesser der Sprühlöcher von der Seite nach der Rostmitte hin etwa von 1 mm auf 3 mm zunehmen. Die Löcher werden zweckmäßigerweise versetzt und unter 45° Neigung in Abständen von 4—5 cm gebohrt.

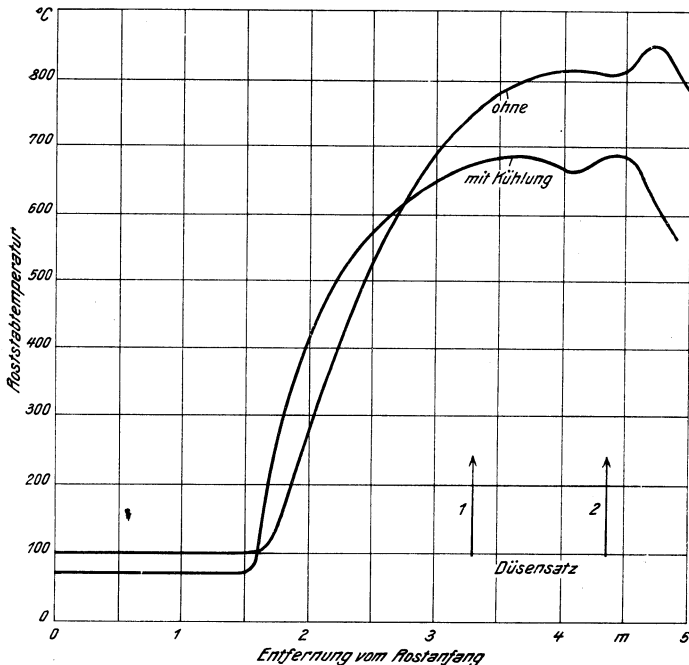
Der Rost kann auch mit Wasser gekühlt werden. Hierbei müssen Zerstäuberdüsen angewendet werden, deren Anordnung in der Abbildung ebenfalls gezeigt ist.

Die angegebenen Maße sollen nur Anhaltspunkte für den Einbau der Düsenrohre geben; die günstigste Lage der Düsen richtet sich nach den Betriebsverhältnissen.

Der Druck von Leitungswasser reicht im allgemeinen für die Zerstäubungsdüsen aus. Je höher aber der Druck ist, desto besser ist die Vernebelung, so daß es sich unter Umständen empfiehlt, das Wasser für die Düsen aus der Speisewasserdruckleitung zu nehmen. Voraussetzung ist dabei, daß das Wasser rein ist, so daß eine Verstopfung der feinen Düsenöffnungen nicht eintreten kann. Bei großen Kesselbreiten empfiehlt es sich, das Düsenrohr in ein U-Eisen einzubetten, dessen Profil so knapp zu wählen ist, daß das Düsenrohr gerade darin untergebracht werden kann.

Die günstige Wirkung der Rostkühlung ist aus den folgenden Kurven, die den Verlauf der Roststabtemperaturen beim Durchwan-

Wanderrosttemperaturen ohne und mit Wasserkühlung.



dern eines Roststabes vom Schichtregler bis zum Pendelstauer darstellen, klar erkennbar.

Die Messungen wurden vom „Verein zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen“ in Essen an einem Garbe-Steilrohrkessel von 600 m² Heizfläche ausgeführt, der mit zwei Wanderrosten von insgesamt 22 m² Rostfläche arbeitete. Auf den Wanderrosten wird Fettnuß 4 mit etwa 21 % flüchtigen Bestandteilen verfeuert. Die Kurven wurden bei einer Heizflächenbelastung von 41 kg/m²h und einer Rostbelastung von rund 134 kg/m²h aufgenommen. Die im nichtgekühlten Roststab auftretenden Höchsttemperaturen betragen 850—875°. Die Kühlung durch zwei Düsenreihen, deren erste mit 5 und deren zweite mit 6 Düsen arbeitete, setzte die Höchsttemperaturen auf etwa 700° herab. Der Temperaturunterschied der gemessenen Höchsttemperaturen ohne und mit Kühlung betrug also durchschnittlich 150—175°.

Bei Zonenunterwind-Wanderrosten, die mit vorgewärmter Luft arbeiten, kann man eine Verbesserung der Rostkühlung dadurch erreichen, daß man in den letzten Zonen kalte Luft zuführt. Hierzu ist jedoch ein besonderer Ventilator erforderlich.

Durch Beimischung von Abgasen zur Verbrennungsluft (Abgasrückführung) läßt sich ebenfalls eine bessere Kühlung des Rostes erreichen,¹⁾ was offenbar darauf zurückzuführen ist, daß größere Gasmengen durch Rost und Brennstoffbett treten und bei den hierdurch bedingten größeren Geschwindigkeiten die Wärmeübertragung besser ist und die Rostspalten leichter von Schlackenstücken freigehalten werden. Dieses Verfahren hat besonders bei hochbelasteten Wasserrohrkesseln den weiteren Vorteil, daß durch die Abgasbeimischung die Feuerraumtemperatur erniedrigt und der Mauerwerksverschleiß entsprechend vermindert wird. Außerdem kann in vielen Fällen der Wirkungsgrad noch gesteigert werden.

7. Verhältnis von Rostfläche zu Heizfläche.

| | |
|------------------------------------|-------------------|
| Bei Kesseln mit Planrostfeuerungen | 1 : 25 bis 1 : 60 |
| „ „ „ Wanderrostfeuerungen | 1 : 25 bis 1 : 33 |
| „ „ „ Unterschubfeuerungen | 1 : 20 bis 1 : 30 |

¹⁾ Vgl. Praetorius, E., Wärme 1935, S. 295.

Diese früher vielfach für die Beurteilung der Rostgröße benutzte Kennziffer hat bei den neueren Wasserrohrkesseln dadurch an Bedeutung verloren, daß man häufig die relativ teure Kesselheizfläche klein wählt, und dafür die billigere Nachheizfläche entsprechend größer ausführt. Hierdurch und durch die weitgehende Anwendung von Strahlungsheizflächen im Feuerraum kann z. B. eine Heizflächenbelastung von 200 kg/m²h erzielt werden, während sie bei älteren Wasserrohrkesseln häufig nur 30 kg/m²h beträgt.

Die Kesselheizfläche ist also heute kein Maßstab mehr für die Dampfleistung des Kessels, so daß man sie für die Beurteilung der erforderlichen Rostgröße nicht mehr benutzen kann. Für die Bemessung der Rostgröße ist die spezifische Rostbelastung maßgebend, über die auf den Seiten 157 und 162 Angaben gemacht sind.

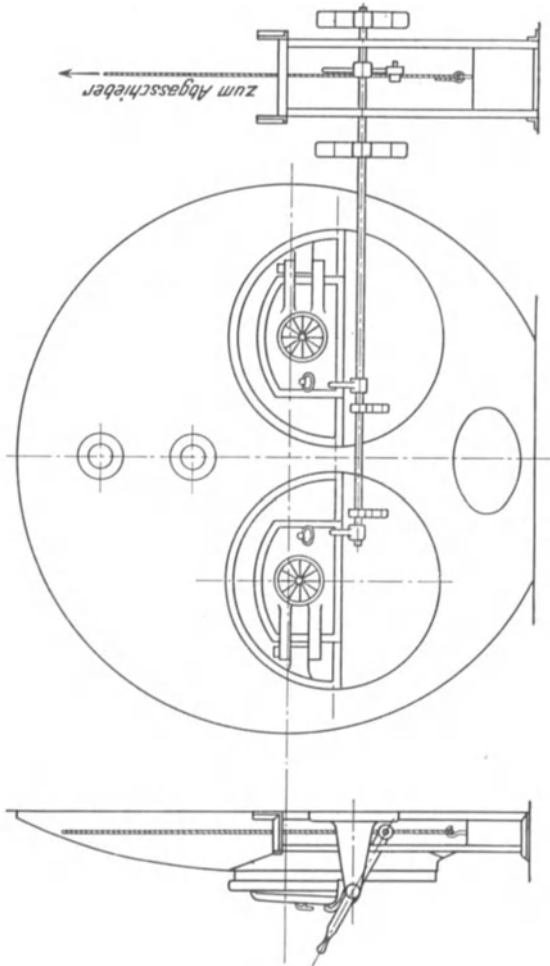
II. Planrostfeuerungen.

1. Feuerbeschickung.

Um auch im Dauerbetrieb eine zweckmäßige Bedienung des Planrostes zu erreichen, sollte man die Rostlänge nie größer als 2,0 bis 2,3 m wählen. Für die Höhe der Brennstoffschicht sind in der Tafel Seite 140 Anhaltzahlen gegeben; die günstigste Schichthöhe hängt außer von der Korngröße der Kohlen noch von der verfügbaren Zugstärke und der Belastung ab und muß von Fall zu Fall ausprobiert werden.

Die gleichmäßige Bedeckung des Rostes ist Grundbedingung. Ungleichmäßigkeiten sollen bei Handbeschickung nach Möglichkeit durch entsprechendes Aufwerfen frischer Kohle ausgeglichen werden. Zur Verringerung der Rauchbildung und Erzielung einer guten Ausnutzung des Brennstoffes soll dieser besonders bei backenden Kohlen nur in kleinen Mengen und häufiger aufgegeben werden. In der weitestgehenden Erfüllung dieser Forderung liegt ein Hauptvorzug der mechanischen Rostbeschickung durch Wurfapparate. Da die Wurfweite u. a. von der Körnung des Brennstoffes abhängt, müssen die Wurfgeräte jeweils auf die zur Verfeuerung gelangende Kohlensorte eingestellt werden.

Kupplung von Feuertür und Abgasschieber.



Da bei der Wurffeurung im Gegensatz zur Handfeuerung während der Brennstoffaufgabe die Feuertür nicht geöffnet zu werden braucht, fällt auch der Wärmeverlust fort, der durch das Eintreten großer Falschlufmengen bei offener Feuertür entsteht. Dieser Verlust läßt sich bei Handfeuerungen dadurch vermindern, daß vor jedem Öffnen der Feuertür der Abgasschieber gedrosselt wird. Zu dem Zweck muß er vom Heizerstand aus leicht zu betätigen sein. Eine solche Arbeitsweise läßt sich dadurch erzwingen, daß man die Betätigung des Abgasschiebers mit einer Verriegelung der Feuertür derart verbindet, daß diese nur geöffnet werden kann, wenn der Zugschieber gedrosselt ist (vgl. Abbildung Seite 152).

Oft empfiehlt es sich, die Kohle vor dem Aufwerfen etwas anzufeuchten, da hierdurch Rostdurchfall und Flugkoksbildung verringert werden. Außerdem brennen dann bei gasreicher Kohle die flüchtigen Bestandteile besser aus, da sie bei angefeuchteten Kohlen nicht so schnell wie bei trockenen entweichen können.

2. Bearbeitung des Feuers.

Ist der Rost gleichmäßig bedeckt, soll das Feuer nach Möglichkeit nicht bearbeitet werden; ein Ausgleichen von Unebenheiten mit der Kratze ist jedoch besonders bei automatischer Wurfbeschickung nicht immer zu vermeiden. Bei backenden Kohlen ist es zweckmäßig, die Oberfläche des Feuerbettes zwischen den Aufgabezeiten mit einer Kratze etwas aufzubrechen und zu glätten. Das Brennstoffbett darf aber nicht bis auf den Grund durchwühlt werden, da man sonst Verschlackungen begünstigt. Die Kratze soll möglichst leicht sein. Man kann sie an Hand der Skizze auf Seite 154 selbst herstellen.

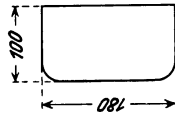
Da vielfach das Backen einer Kohle begriffsmäßig falsch aufgefaßt wird, sei darauf hingewiesen, daß das Backvermögen mancher Kohlenarten sich durch die Bildung von Kokskuchen im Feuer äußert, d. h., das einzelne Brennstoffkorn brennt nicht für sich allein ab, sondern wächst mit den Nachbartheilchen zusammen. Diese Eigenschaft hat den Vorteil, daß Flugaschenbildung und Rostdurchfall vermindert werden. Mit dem Verhalten der Schlacke hat diese Eigenschaft der Kohle nichts zu tun.

Feuergeschirr für Planroste.

24 - 26 mm ϕ



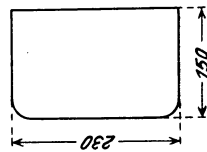
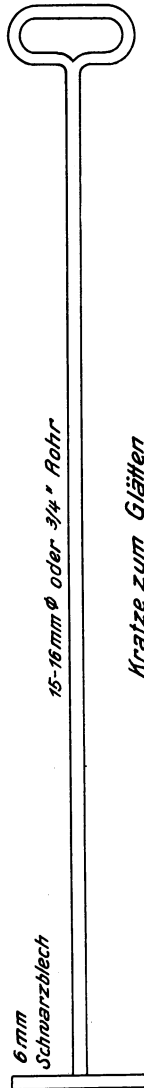
Stange zum Aufbrechen



6 mm
Schwarzblech

15-16 mm ϕ oder 3/4" Rohr

Kratze zum Glätten

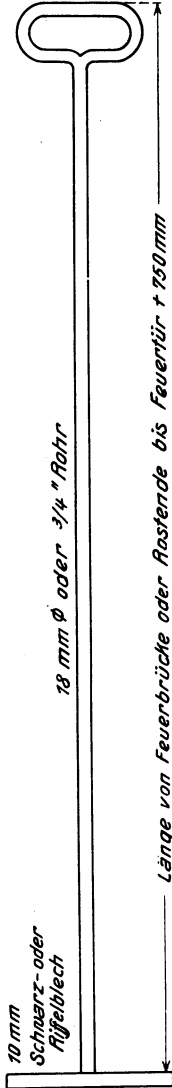


10 mm
Schwarz- oder
Riffelblech

18 mm ϕ oder 3/4" Rohr

Länge von Feuerbrücke oder Rostende bis Feuerfür + 750 mm

Kratze zum Schlacken

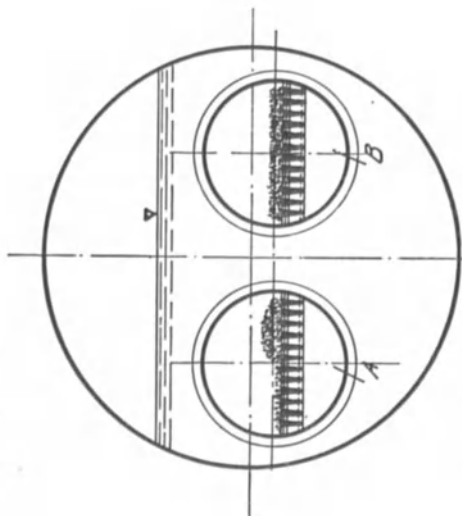


3. Abschlacken.

Beim Abschlacken wird eine Hälfte der den Planrost bedeckenden Glut zur anderen Seite hinüberschoben. Die freigelegte Schlacke wird, indem die vorstehend abgebildete Stange einige Male unter die Schlackenschicht geschoben wird, gelockert und mit der Kratze herausgezogen. Dann schiebt man die gesamte Glut auf die gereinigte Rostfläche hinüber und reinigt die andere Hälfte des Rostes. Mit etwas frischer Kohle wird die Glut während des Abschlackens länger erhalten. Nachdem die Glut wieder gleichmäßig über den Rost verteilt ist, wird zunächst in geringen Mengen frischer Brennstoff aufgegeben und die Feuerung auf den erforderlichen Schornsteinzug eingestellt.

Bei Planrostfeuerungen mit geringen und mittleren Rostlängen hat sich die in der Abb. Seite 156 wiedergegebene verlängerte Feuerbrücke bewährt. Die Kohlenglut kann bei dieser Anordnung auf die Brücke geschoben und die auf dem Rost befindliche Schlacke auf einmal herausgezogen werden, so daß keine nennenswerten Verluste durch Mitnahme von Kohlenglut entstehen. Gleichzeitig werden die Wärmeverluste durch die beim Abschlacken in das Flammrohr eintretende kalte Luft verringert, da der freie Querschnitt oberhalb der Feuerbrücke während des Abschlackens verkleinert ist.

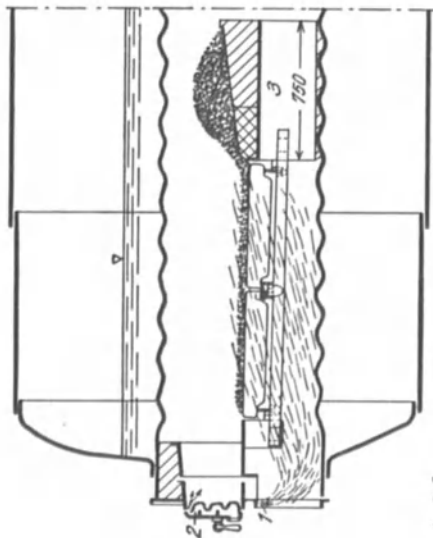
Planrostfeuerung (Abschlacken).



Seitliches Abschlacken

Rost A: Die Glut ist auf die rechte Seite geschoben, sodass die Schlacke auf der linken Seite gelockert u. mit der Krabze herausgezogen werden kann.

Rost B: Vor dem Abschlacken. Nach gleichmäßig mit Schlacke u. Glut bedeckt



- 1 Dampfbräuse zur Anfeuchtung der Verbrennungsluft
- 2 Regelbare Zweiflüßführung durch Feuerhitze vorgewärmt
- 3 Verlängerte Feuerbrücke zur Erleichterung des Abschlackens

$\frac{1}{2} - \frac{3}{16}$ "

Bohrung
1-3mm

Nur Auspuß
oder niedrig
gespannten
(gedrusselten)
Rischdampf
verwenden

5. Ergebnisse von Versuchen mit Brennstoffen des Ruhr- und Aachener Bergwerks

| | | | | | | |
|---|---------------------|---|---------------------|------|-------|------|
| 1. Kennziffern der Kesselanlage. | | Zweiflammrohrkessel | Zweiflammrohrkessel | | | |
| Bauart des Kessels | | Planrost | Planrost | | | |
| Art der Feuerung | | 2 × 81 = 162 | 3 × 120 = 360 | | | |
| Heizfläche des Kessels m ² | | 2 × 25 = 50 | 60 | | | |
| Heizfläche des Überhitzers m ² | | — | 384 | | | |
| Heizfläche des Vorwärmers m ² | | 2 × 2,4 = 4,8 | 3 × 3,6 = 10,8 | | | |
| Rostfläche m ² | | | | | | |
| Verhältnis der Rostfläche zur Kesselheizfläche | | 1:33,8 | 1:33 | | | |
| 2. Kennziffern des Brennstoffes. | | Ruhr-Gasflamnuß 1 | Ruhr-Fettluß 4 | | | |
| Art und Korn | % | 2,25 | — | | | |
| Wasser | % | 4,94 | — | | | |
| Asche | % | 32,94 | — | | | |
| Flüchtige Bestandteile | % | 7 540 | 7 545 | | | |
| Unterer Heizwert H _u kcal/kg | | | | | | |
| 3. Dauer des Versuches min | | 360 | 516 | | | |
| 4. Versuchsergebnisse. | | | | | | |
| <i>a) Brennstoffe:</i> | | | | | | |
| Verheizt im ganzen | kg | 2 100 | 7 380 | | | |
| Verheizt in 1 Stunde | kg/h | 350 | 852 | | | |
| Verheizt in 1 Stunde auf 1 m ² Rostfläche | kg/m ² h | 72,8 | 79 | | | |
| <i>b) Speisewasser:</i> | | | | | | |
| Verdampft im ganzen | kg | 17 600 | 68 100 | | | |
| Verdampft in 1 Stunde | kg/h | 2 933 | 7 920 | | | |
| Verdampft in 1 Stunde auf 1 m ² (Heizflächenbelastung) | kg/m ² h | 18,1 | 22,0 | | | |
| Heizflächenbelastung bezogen auf Normaldampf | kg/m ² h | — | 20,2 | | | |
| Temperatur vor dem Vorwärmer | °C | ohne Vorwärmer | 58 | | | |
| Temperatur vor dem Kessel | °C | 59 | 103 | | | |
| <i>c) Dampf:</i> | | | | | | |
| Überdruck | atü | 8,7 | 11,6 | | | |
| Temperatur vor dem Überhitzer (Sattdampf) | °C | 177 | 189 | | | |
| Temperatur hinter dem Überhitzer | °C | 275 | 249 | | | |
| Erzeugungswärme | kcal/kg | 656 | 641 | | | |
| <i>d) Heizgase:</i> | | | | | | |
| CO ₂ -Gehalt am Kesselende | % | 10,2 | — | | | |
| CO ₂ -Gehalt am Vorwärmerende | % | — | 11,4 | | | |
| Temperatur am Vorwärmerende | °C | 299 | 205 | | | |
| <i>e) Verbrennungsluft:</i> | | | | | | |
| Temperatur | °C | 9 | 16 | | | |
| Luftüberschuß | | 1,8 | 1,6 | | | |
| <i>f) Verdampfungsziffern:</i> | | | | | | |
| Durch 1 kg Brennstoff verdampftes Wasser | kg/kg | 8,4 | 9,2 | | | |
| Normalverdampfungsziffer | kg/kg | 8,6 | 9,22 | | | |
| 5. Wärmehaushalt. | | kcal | % | kcal | % | |
| Ausnutzung für | { | Dampf Bildung | 5056 | 67,2 | 5183 | 68,7 |
| | | Überhitzung | 454 | 5,8 | 302 | 4,0 |
| | | Vorwärmung | — | — | 415 | 5,5 |
| Insgesamt nutzbar gemacht | | 5510 | 73,0 | 5900 | 78,2 | |
| Verluste durch | { | freie Wärme im Abgas | 1395 | 18,5 | 813 | 10,8 |
| | | Brennbares in den Rückständen | — | — | — | — |
| | | Leitung, Strahlung (als Rest) | 635 | 8,5 | 830 | 11,0 |
| Gesamtverluste | | 2030 | 27,0 | 1643 | 21,8 | |
| Zugeführte Wärme (H _u) | | 7540 | 100,0 | 7545 | 100,0 | |

Dampfungsversuchen

baues an Dampfkesseln mit Planrostfeuerungen.

| Zweiflammrohrkessel Planrost | Zweiflammrohrkessel komb. Planrost | Zweiflammrohrkessel Planrost | Zweiflammrohrkessel Planrost | Zweiflammrohrkessel Planrost | Zweiflammrohrkessel Planrost | | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 93 — — 2,96 1:31,5 | 216 — — 3,8 1:57 | 86,5 — — 3,0 1:28,8 | 120 — 160 3,96 1:30,3 | 140,3 65 84 4,9 1:28,6 | 140,3 65 84 4,9 1:28,6 | | | | | | |
| Ruhr-Fettförderkohle 1,6 6,0 26,5 6 986 | Ruhr-Eßnuß 4 — — — 7 770 | Ruhr-Vollbriketts — — — 7 746 | Ruhr-Anthrazit Eierbriketts 1,98 7,86 — 7 540 | Aachener Fettnuß 3 1,65 7,7 20,0 7 682 | Aachener Briketts 1,83 7,05 18,00 7 677 | | | | | | |
| 490 | 474 | 600 | 480 | 470 | 498 | | | | | | |
| 2 250 275,5 93 18 870 2 310 24,8 24,2 ohne Vorwärmer 39 5,5 161,2 — 621,2 11,97 — 351 32 1,46 8,38 8,17 | 2 075 262 69 19 450 2 455 11,4 11,1 ohne Vorwärmer 40 12,0 190,7 — 624 7,5 — 231 30 2,5 9,37 9,14 | 2 455 245,5 82 20 430 2 043 23,7 24,2 ohne Vorwärmer 5 6,2 165 — 656 11,0 — 343 20 1,7 8,37 8,58 | 2 930 366 93 29 800 3 730 31,0 25,4 77 139 11,0 187,1 — 587 12,6 7,0 179 27 2,6 10,15 9,32 | 2 700 345 70 25 800 3 290 23,4 23,1 72 114 13,0 194 289 633 ¹⁾ 11,45 11,0 215 24 1,66 9,55 9,44 | 2 747 331 68 26 900 3 240 23,1 22,7 74 115 13,0 194 284 629 ¹⁾ 11,4 11,4 192 22 1,61 9,78 9,62 | | | | | | |
| kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % |
| 5205 — — | 74,5 — — | 5850 — — | 75,3 — — | 5492 — — | 70,9 — — | 5334 — 630 | 70,7 — 8,4 | 5280 359 402 | 68,8 4,7 5,2 | 5400 353 401 | 70,2 4,6 5,2 |
| 5205 | 74,5 | 5850 | 75,3 | 5492 | 70,9 | 5964 | 79,1 | 6041 | 78,7 | 6154 | 80,0 |
| 1210 571 | 17,3 8,2 | 1355 565 | 17,5 7,2 | 1479 775 | 19,1 10,0 | 1078 498 | 14,3 6,6 | 868 110 663 | 11,3 1,4 8,6 | 744 100 679 | 9,7 1,3 9,0 |
| 1781 6986 | 25,5 100,0 | 1920 7770 | 24,7 100,0 | 2254 7746 | 29,1 100,0 | 1576 7540 | 20,9 100,0 | 1641 7682 | 21,3 100,0 | 1523 7677 | 20,0 100,0 |

¹⁾ Teil des Dampfes als Sattdampf entnommen

4. Höchste Dauerleistungen bei Planrosten.

| Kohlenart | ohne Unterwind | | mit Unterwind | |
|--|---------------------|---------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| | kg/m ² h | 10 ⁶ kcal/m ² h | kg/m ² h | 10 ⁶ kcal/m ² h |
| Flamm- und Gasflammkohle: | | | | |
| Förderkohle . . . | 110 | 0,78 | 150 | 1,06 |
| Stückkohle | 140 | 1,05 | — | — |
| Nußkohle ¹⁾ | 110—140 | 0,81—1,03 | 130—170 | 0,955—1,25 |
| gew. Feinkohle . | 100 | 0,675 | 130 | 0,88 |
| Fettkohle: | | | | |
| Förderkohle . . . | 110 | 0,82 | 160 | 1,19 |
| Stückkohle | 130 | 1,01 | — | — |
| Nußkohle ¹⁾ | 100—130 | 0,76—0,99 | 130—170 | 0,99—1,29 |
| gew. Feinkohle . | 100 | 0,705 | 130 | 0,92 |
| Eßkohle: | | | | |
| Stückkohle | 120 | 0,94 | — | — |
| Nußkohle ¹⁾ | 100—120 | 0,775—0,93 | 110—130 | 0,85—1,01 |
| gew. Feinkohle . | 80 | 0,57 | 100 | 0,71 |
| Anthrazitkohle Gruppe I u. II: Nußkohle | 80 | 0,62 | 110 | 0,85 |
| Vollbriketts aus Fett- u. Eßkohle . | 150 | 1,155 | — | — |
| Eierbriketts aus Eßkohle | 140 | 1,08 | — | — |

¹⁾ Bei den Nußkohlen beziehen sich die höheren Werte auf die größeren und die niedrigeren Werte auf die kleineren Sorten.

III. Wanderrostfeuerungen.

1. Ausführung von Wanderrostfeuerungen.

Folgende Verhältnisse bezüglich Rostlänge, -breite und -geschwindigkeit können als üblich angesehen werden:

| Rostfläche in m ² | Verhältnis Rost- länge zu Rostbreite | Bereich der Vorschub- geschwindigkeiten in m/h |
|---------------------------------|---|---|
| 5—10 | 4 —2,5 | 2 —20 |
| 10—15 | 2,5—2 | 2 —20 |
| 15—20 | 2 —1,5 | 2,5—25 |
| 20—30 | 1,5 —1 | 3 —30 |

Soll beim Wanderrost jede Schürarbeit von Hand vermieden werden, so ist alles auszuschalten, was einen ungleichmäßigen Abbrand der Kohle über die Rostbreite hervorrufen kann. Hier ist zu nennen:

a) Die *Entmischung der Kohle*, die eintritt, wenn der Bunker-
auslauf schmaler ist als der Rosteinlauftrichter und die Kohle durch
eine stillstehende flache Schurre dem Rost zugeführt wird. Die
größeren Stücke rollen dann an die Seiten, während das feinere
Korn auf die Mitte des Rostes fällt. Verläuft die Schurre schräg von
der Seite zum Rosteinlauftrichter, so tritt noch stärkere Entmischung
auf; der Rost wird hierbei auf der einen Seite mit gröberem und
auf der anderen Seite mit feinerem Korn beschickt. Da die größeren
Stücke bei gleicher Schichthöhe der Luft weniger Widerstand bieten
als die kleineren, tritt bei Entmischung ein schnellerer Abbrand an
den Stellen des Rostes ein, die mit gröberem Korn beschickt sind.
Dieser Übelstand läßt sich dadurch vermeiden, daß man die Kohlen-
zuführung ebenso breit macht wie den Rosteinlauftrichter oder daß
man Pendel- oder Kegelschurren anwendet.

b) Eine *ungleichmäßige Kohlenzuführung* kann besonders bei
gewaschenen Feinkohlen leicht eintreten, wenn an den Einlauf-
trichtern dicht über dem Rost vorspringende Winkel, Schrauben

usw. liegen oder wenn Trennwände bis dicht über den Rost geführt werden. Während die Feinkohle infolge des Druckes der Bunkerfüllung in etwas zusammengepreßter Form auf den Rost gelangt, wird sie durch solche Einbauten aufgelockert und verbrennt deshalb an den betreffenden Stellen schneller als auf dem übrigen Rostteil. Dagegen wird eine lockere Zuführung der Feinkohle über die ganze Rostbreite, z. B. durch Zwischenschaltung von Schnecken oder von flach liegenden, hin- und hergehenden „Redlern“ (Schleppketten), eine gute Zündung und den gleichmäßigen Abbrand begünstigen.

c) *Schlackenansätze an den Seitenwänden* unmittelbar über dem Rost. Sie treten auf, wenn infolge von Undichtheiten der seitlichen Rostabdichtung oder ungleichmäßiger Lagerung der Kohle auf dem Rost an den Seiten soviel Luft zugeführt wird, daß hier eine besonders intensive Verbrennung stattfindet. Die dabei entstehenden außergewöhnlich hohen Temperaturen können Schlacke und Mauerwerk zum Erweichen bringen. Die Schlacke wächst dann herunter bis zur Brennstoffschicht und pflügt diese beim Vorbeiwandern auf, so daß der auf diese Weise gelockerte Brennstoff schneller weg-brennen kann als die in der Mitte des Rostes befindliche dichter liegende Kohle.

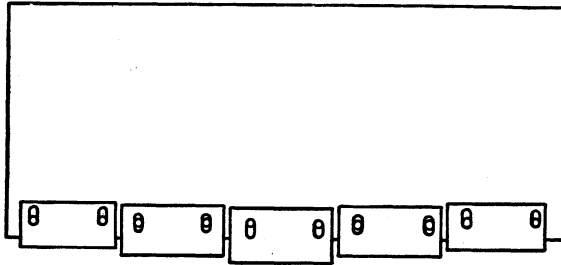
Zu empfehlen ist deshalb der Einbau von seitlichen Kühlbalken, die an den Wasserkreislauf der Kessel angeschlossen werden können und neuerdings auch mit Seitenwand-Kühlrohren verbunden werden. Hierdurch lassen sich Schlackenansätze unmittelbar über dem Rost vermeiden.

d) Das *Zusetzen der Rostspalten* an einzelnen Stellen des Rostes. Es erschwert bzw. unterbricht an den betreffenden Stellen die Luftzufuhr, sodaß die Kohle hier nicht ausbrennen kann.

Vermeiden läßt sich dies durch regelmäßiges Abklopfen des Rostbelages, was am besten durch eine automatische Klopfvorrichtung erfolgt.

Ein einfaches Mittel zum Ausgleichen ungleichmäßiger Kohlen- und Luftzuführung sind mit Schlitzlöchern versehene Bleche, die an der Vorderseite des Schichtreglers angeschraubt werden. Durch verschieden hohe Einstellung dieser Bleche ist es möglich, die

Schichtregler mit verstellbaren Blechen.

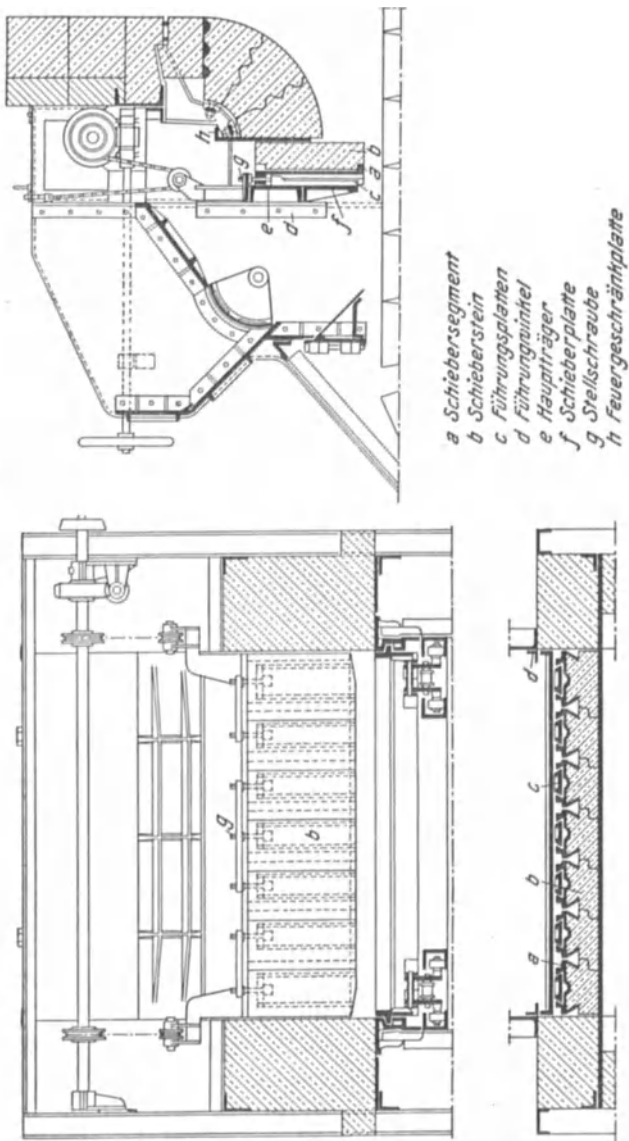


Kohlenschicht an den Stellen, die stets schneller abbrennen, zu erhöhen bzw. an den anderen Stellen zu verringern. Noch besser erfüllen diesen Zweck die aus einzelnen Teilen hergestellten Schichtregler, deren Segmente auch während des Betriebes verstellt werden können. Auch ist die Auswechslung eines einzelnen Segmentes einfacher und billiger als die des ganzen, ungeteilten Schiebers. In vielen Fällen wird es darauf hinauslaufen, daß die Kohlschicht an den Seiten etwas höher einzustellen ist als in der Mitte.

Bei backenden Kohlen kleiner Körnung ist das Brennstoffbett auf dem hinteren Rostteil zuweilen stärker zerklüftet. In derartigen Fällen können Ausbrand und CO_2 -Gehalt verbessert werden durch Einbau eines wasserdurchflossenen Rohres, das im hinteren Rostteil quer über die Rostbahn gelegt wird. Der Abstand des Rohres vom Rostende ist den jeweiligen Betriebsverhältnissen anzupassen. Bei stark belasteten Anlagen empfiehlt sich die Anordnung eines weiteren Rohres im vorderen Rostteil, das als Schürer wirkt. Die Rohre sind an den Feuerraum-Seitenwänden gekröpft, so daß sie hochgeschwenkt werden können; durch außen liegende Gewichte werden sie leicht gegen den Rost gedrückt. Für die Wirtschaftlichkeit dieser Einrichtung ist es wichtig, daß die vom Kühlwasser aufgenommene Wärme nutzbar gemacht werden kann.

Zur Erzielung rauchschwacher Verbrennung und geringer Flugkoksbildung sind hohe Feuerräume (Höhenmaße von 3,5—7 m) anzustreben. Um auch hierbei eine gute Durchwirbelung der Heizgase zu erreichen, empfiehlt es sich, besonders bei gasreichen

Kohleneinstellschieber.



Kohlen, Zweitluft mit hoher Geschwindigkeit und möglichst gut verteilt in den Feuerraum zu blasen.

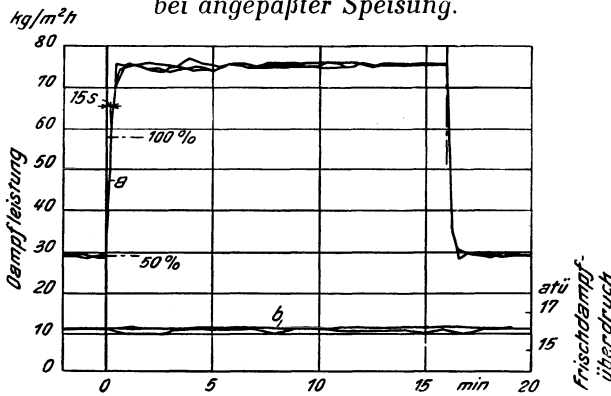
2. Betrieb von Wanderrosten.

Die Schichthöhe ist innerhalb der auf Seite 140 angegebenen Grenzen so einzustellen, daß bei der hierdurch bedingten Vorschubgeschwindigkeit die Zündung der Kohle möglichst dicht hinter dem Schichtregler erfolgt; jedoch muß eine Rückzündung in den Einlauftrichter vermieden werden.

Bei backenden Kohlen ist es vorteilhaft, wenn die Kohle nicht zu schnell in den Bereich hoher Temperaturen gelangt. Bei Zonen-Wanderrosten kann man dies durch Drosseln der Luftzufuhr in den ersten Zonen erreichen.

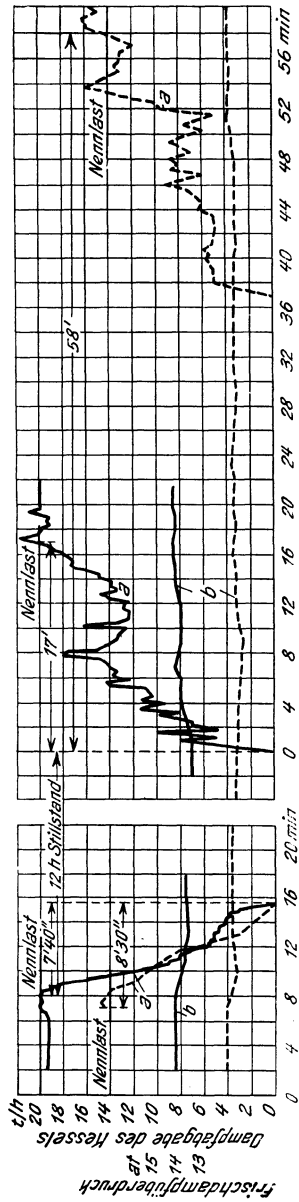
Elastizitätsversuche an Unterwind-Zonen-Wanderrosten haben gezeigt, daß es bei Verfeuerung aller, also auch der gasärmsten Steinkohlen ohne jede Schwierigkeiten möglich ist, allen Schwankungen in der Dampfentnahme, die in normalen Kesselbetrieben auftreten können, in denkbar kürzester Zeit zu folgen. Nachstehend sind einige Diagramme von Versuchen dargestellt, die vom Verein zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen mit verschiedenen Brennstoffen durchgeführt wurden.

Elastizitätsversuche an einem Unterwind-Zonen-Wanderrost bei angepaßter Speisung.



a: Dampfleistung, b: Dampfüberdruck. Brennstoff: Fett-Nuß 4.
Zeitbedarf für die Verdoppelung der Last: 15 Sekunden.

Anfahrversuche an einem Unterwind-Zonen-Wanderrost.
 Versuch mit Fettnuß 3.



a: Dampfmenge t/h; b: Frischdampfüberdruck atü; ----- Betrieb mit natürlichem Zug; ————— Betrieb mit Unterwind.

3. Höchste Dauerleistungen bei Wanderrosten.

| Kohlenart | Kohlensorte | ohne Unterwind | | mit Unterwind | | | |
|----------------------------------|--|---------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|--|---------|-----------|
| | | kg/m ² h | 10 ⁶ kcal/m ² h | ohne Zonen kg/m ² h | mit Zonen 10 ⁶ kcal/m ² h | | |
| Flamm- und Gasflammkohle | Förderkohle auf 30 mm vorgebrochen | 150 | 1,05 | 175 | 1,25 | 190 | 1,35 |
| | Nuß 3 | 170 | 1,25 | 185 | 1,35 | 200 | 1,50 |
| | Nuß 4 und 5 | 130 | 0,95 | 145 | 1,05 | 160 | 1,15 |
| | gew. Feinkohle | 120 | 0,80 | 130 | 0,90 | 160 | 1,10 |
| Fettkohle | Förderkohle auf 30 mm vorgebrochen | 135 | 1,00 | 155 | 1,15 | 170 | 1,25 |
| | Nuß 3 | 145 | 1,10 | 160 | 1,20 | 175 | 1,35 |
| | Nuß 4 und 5 | 130 | 0,95 | 145 | 1,10 | 160 | 1,20 |
| | gew. Feinkohle | 110 | 0,80 | 125 | 0,90 | 160 | 1,15 |
| Esskohle | Eierbriketts | 140 | 1,10 | 155 | 1,20 | 175 | 1,35 |
| | Nuß 3 | 140 | 1,10 | 150 | 1,15 | 170 | 1,30 |
| | Nuß 4 und 5 | 120 | 0,90 | 130 | 1,00 | 145 | 1,10 |
| | gew. Feinkohle fl. Best. i. d. Reink. 17—19% | 105-110 | 0,75-0,78 | 110-115 | 0,78-0,82 | 125-135 | 0,90-0,95 |
| Anthrazitkohle I. und II. Gruppe | gew. Feinkohle 12—17% | 90-100 | 0,65-0,70 | 100-110 | 0,70-0,78 | 110-120 | 0,80-0,85 |
| | Nuß 3 | 120 | 0,90 | 150 | 1,15 | 165 | 1,26 |
| | Nuß 4 und 5 | 115 | 0,88 | 130 | 1,00 | 145 | 1,10 |
| | gew. Feinkohle | — | — | — | — | 85-105 | 0,60-0,75 |

4. Ergebnisse von Verdampfungsversuchen mit Brennstoffen des Ruhr-, Aachen

| 1. Kennziffern der Kesselanlage. | | Steilrohrkessel Borsig | Sektionalkessel Babcock & Wilcox | MAN-Wasser- rohrkessel | Steilrohrkessel Walther & Cie | Sekt Wal Zonen mit | | | |
|--|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|
| Batart des Kessels | | 2 Wanderröste | Wanderröste | Steinmüller-Zonen- Wanderröste mit Unterwind | Zonen-Wanderröste mit Unterwind | Zonen mit | | | |
| Art der Feuerung | | | | | | | | | |
| Heizfläche des Kessels | m ² | 750 | 400 | 350 | 400 | | | | |
| Heizfläche des Überhitzers | m ² | 450 | 122 | — | — | | | | |
| Heizfläche des Vorwärmers | m ² | 464 | 504 | 600 | 810 | | | | |
| Heizfläche des Luftheizers | m ² | — | — | — | — | | | | |
| Rostfläche | m ² | 30,4 | 14,8 | 7,56 | — | 14,54 | | | |
| Verhältnis der Rostfläche zur Kesselheizfläche | | 1 : 24,7 | 1 : 27 | 1 : 46,2 | 1 : 27,4 | 1 : 27,4 | | | |
| 2. Kennziffern des Brennstoffes. | | Ruhr- Gasflammuß 3 | Ruhr-Gasflamme- teinkohle | Ruhr- Fettnuß 3 | Ruhr- Fettnuß 4 | Fet | | | |
| Art und Korn | | | | | | | | | |
| Wasser | % | 2,3 | — | 2,75 | 4,22 | | | | |
| Asche | % | 6,07 | — | 5,38 | 4,68 | | | | |
| Flüchtige Bestandteile | % | 30,36 | — | 17,3 | 25,55 | | | | |
| Unterer Heizwert H _u | kcal/kg | 7 435 | 6 705 | 7 605 | 7 562 | | | | |
| 3. Dauer des Versuches | | 360 | 420 | 420 | 240 | | | | |
| 4. Versuchsergebnisse. | | | | | | | | | |
| a) Brennstoff: | | | | | | | | | |
| Verheizt im ganzen | kg | 13 880 | 9 100 | 11 600 | 6 930 | | | | |
| Verheizt in 1 Stunde | kg/h | 2 313,3 | 1 300 | 1 660 | 1 170 | | | | |
| Verheizt in 1 Stunde auf 1 m ² Rostfläche | kg/m ² h | 76 | 88 | 219 | 119 | | | | |
| b) Speisewasser: | | | | | | | | | |
| Verdampf im ganzen | kg | 123 046 | 69 400 | 116 030 | 62 750 | | | | |
| Verdampf in 1 Stunde | kg/h | 20 050 | 9 915 | 17 120 | 15 690 | | | | |
| Verdampf in 1 Stunde auf 1 m ² (Heizflächenbelastung) | kg/m ² h | 28,33 | 24,75 | 49 | 39,2 | | | | |
| Heizflächenbelastung bezogen auf Normaldampf | kg/m ² h | 29,8 | 28 | 48,8 | 42,8 | | | | |
| Temperatur vor dem Vorwärmer | °C | 51 | 26 | 69 | 60 | | | | |
| Temperatur vor dem Kessel | °C | 103,2 | 86 | 144 | 138 | | | | |
| c) Dampf: | | | | | | | | | |
| Überdruck | atm | 13,7 | 14,4 | 12,7 | 13,8 | | | | |
| Temperatur vor dem Überhitzer (Sattdampf) | °C | 196,4 | 198,5 | 194 | 194 | | | | |
| Temperatur hinter dem Überhitzer | °C | 345 | 353 | 274 | 367 | | | | |
| Erzeugungswärme | kcal/kg | 697,1 | 724 | 642,3 | 699 | | | | |
| d) Heizgase: | | | | | | | | | |
| CO ₂ -Gehalt am Kesselend | % | — | — | 13,2 | — | | | | |
| CO ₂ -Gehalt am Vorwärmende | % | 11,1 | 9,55 | 12,9 | 13,7 | | | | |
| CO ₂ -Gehalt am Luftheizende | % | — | — | — | — | | | | |
| Temperatur am Ende der Kesselanlage | °C | 178,1 | 150 | 178 | 149,9 | | | | |
| e) Verbrennungsluft: | | | | | | | | | |
| Temperatur vor Luftheizer (Außenluft) | °C | 28 | 22 | 17 | 6,5 | | | | |
| Temperatur nach Luftheizer | °C | — | — | — | — | | | | |
| Luftüberschuß | | 1,67 | 1,94 | 1,43 | 1,35 | | | | |
| f) Verdampfungsziffern. | | | | | | | | | |
| Durch 1 kg Brennstoff verdampftes Wasser | kg/kg | 8,86 | 7,63 | 10,2 | 9,07 | | | | |
| Normalverdampfungsziffer | kg/kg | 9,65 | 8,7 | 9,97 | 9,91 | | | | |
| 5. Wärmehaushalt. | | kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % |
| Ausnutzung für | | | | | | | | | |
| Dampfbildung | | 4 976 | 67,0 | 4 398 | 65,6 | 5 240 | 68,9 | 4 780 | 63,3 |
| Überhitzung | | 738 | 9,9 | 644 | 9,6 | 445 | 5,8 | 852 | 11,2 |
| Vorwärmung | | 462 | 6,2 | 456 | 6,8 | 751 | 9,9 | 700 | 9,3 |
| Insgesamt nutzbar gemacht | | 6 176 | 83,1 | 5 498 | 82,0 | 6 436 | 84,6 | 6 332 | 83,8 |
| Verluste durch | | | | | | | | | |
| freie Wärme im Abgas | | 653 | 8,8 | 587 | 8,7 | 606 | 8,0 | 515 | 6,8 |
| Brennbares in den Rückständen | | 221 | 3,0 | 31 | 0,5 | 84 | 1,1 | 63 | 0,8 |
| Leistung, Strahlung (als Rest) | | 385 | 5,1 | 589 | 8,8 | 479 | 6,3 | 652 | 8,6 |
| Gesamtverluste | | 1 259 | 16,9 | 1 207 | 18,0 | 1 169 | 15,4 | 1 230 | 16,2 |
| Zugeführte Wärme (H _u) | | 7 435 | 100,0 | 6 705 | 100,0 | 7 605 | 100,0 | 7 562 | 100,0 |

ener und Saarbergbaues an Dampfesselanlagen mit Wanderrostfeuerungen.

| Wanderrost Unterwind | Steilrohrkessel Walther-Zonen- Wanderrost mit Unterwind | Steilrohrkessel Zonen-Wanderrost mit Unterwind | Steilrohrkessel (Humboldt) Zonen-Wanderrost mit Unterwind | Steilrohrkessel Zonen-Wanderrost mit Unterwind | Steilrohrkessel Zonen-Wanderrost mit Unterwind | Wasserrohrkessel Babcock Wanderrost ohne Unterwind | Wasserrohrkessel Babcock Wanderrost ohne Unterwind | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|---|---|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 201,7 68 300 192 4,64 : 43,5 | 600 175 1 200 — 21,5 1 : 27,9 | 275 123 443 — 12,8 1 : 21,4 | 750 300 818 300 28,4 1 : 26 | 275 123 443 — 12,8 1 : 21,4 | 420 138 860 — 15,0 1 : 28 | 400 78,5 960 — 137,3 1 : 29,1 | 400 78,5 960 — 137,3 1 : 29,1 | | | | | | | |
| Ruhr- Eifeinkohle | Ruhr-Eifeinkohle (gew.) 80 % u. Fett- einkohle (gew.) 20 % | Aachener Eifeinkohle | Aachener Eibuß 5 | Aachener Anthrazituß 5 | Saar-Fettuß 4 | Saar-Fettuß 4 | Saar-Grieß | | | | | | | |
| — — — 7 059 | — — — 7 440 | 8,48 6,10 14,00 7 194 | 1,79 6,88 15,40 7 609 | 4,44 3,90 6,80 7 836 | 2,4 5,68 36,00 7 280 | 2,45 6,42 32,70 7 477 | 9,0 5,5 35,0 6 650 | | | | | | | |
| 423 | 360 | 481 | 360 | 455 | 360 | 405 | 380 | | | | | | | |
| 4 411,05 626 135 | 15 800 2 638,3 123 | 7 620 951 74,3 | 8 470 1 412 49,7 | 7 900 1 042 81,4 | 10 650 1 775 118,5 | 9 195 1 360 99 | 8 835 1 400 102 | | | | | | | |
| 38 810 5 500 27,3 29,7 56,5 98,2 | 143 000 23 830 39,72 43,8 82 157 | 68 600 8 550 31,1 31,5 101 160 | 74 000 12 330 16,4 18,2 67 119 | 78 200 10 320 37,6 38, 101 157 | 92 402 15 400 36,7 38,7 68,4 173,7 | 83 020 12 300 30,8 32,8 27,4 84,3 | 72 653 11 420 28,6 30,4 27,2 77,75 | | | | | | | |
| 30 234,6 363 694,5 | 20,7 218 427 706 | 34,2 242 364 649 | 29,9 233 413 711 | 34,2 242 362 647 | 32,34 237 352 675 | 13,3 198 275 684 | 13,24 198 261 677 | | | | | | | |
| — — 10,6 160 | — 14 — 205 | 12,3 12,0 — 360 | 9,8 8,5 7,7 172 | 12,3 12,0 — 393 | — 11,5 — 238 | 12,8 — — 190 | 12,0 8,0 — 135 | | | | | | | |
| 20 — 1,75 | 15 — 1,35 | 17 — 1,65 | 27 106 1,92 | 22 — 1,53 | 22 — 1,62 | 30 — 1,47 | 35 — 1,57 | | | | | | | |
| 8,8 9,55 | 9,04 9,97 | 8,99 9,11 | 8,74 9,70 | 9,9 10,0 | 8,675 9,15 | 9,03 9,64 | 8,22 8,73 | | | | | | | |
| % | kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % |
| 71,0 10,3 5,2 | 4 622 1 080 678 | 62,2 14,4 9,1 | 4 570 737 530 | 63,85 10,25 7,37 | 4 803 954 455 | 63,1 12,5 6,0 | 5 060 792 554 | 64,52 10,10 7,08 | 4 283 653 914 | 58,9 9,0 12,5 | 5 270 403 514 | 70,5 5,4 6,8 | 4 841 302 415 | 72,8 4,5 6,3 |
| 86,5 | 6 380 | 85,7 | 5 837 | 81,20 | 6 212 | 81,6 | 6 406 | 81,70 | 5 850 | 80,4 | 6 187 | 82,7 | 5 558 | 83,6 |
| 8,6 2,9 2,0 | 652 148 260 | 8,8 2,0 3,5 | 755 218 384 | 10,50 3,00 5,30 | 928 17 452 | 12,2 0,2 6,0 | 838 117 475 | 10,70 1,50 6,10 | 897 533 | 12,3 7,3 | 622 668 | 8,3 9,0 | 566 526 | 8,5 7,9 |
| 13,5 | 1 060 | 14,3 | 1 357 | 18,80 | 1 397 | 18,4 | 1 430 | 18,30 | 1 430 | 19,6 | 1 290 | 17,3 | 1 092 | 16,4 |
| 100,0 | 7 440 | 100,0 | 7 194 | 100,0 | 7 609 | 100,0 | 7 836 | 100,0 | 7 280 | 100,0 | 7 477 | 100,0 | 6 650 | 100,0 |

IV. Kohlenstaubfeuerungen.

1. Aufbereitung des Kohlenstaubes, Mahlfeinheit.

a) Probenahme von Kohlenstaub und Bestimmung der Staubfeinheit.

Für die Untersuchung des Kohlenstaubes sind folgende Normblätter maßgebend:

| DIN DVM | Ausgabe | Betreff |
|----------|---------|--|
| 3712 | Aug. 31 | Probenahme von Brennstaub |
| 3705 | März 36 | Richtlinien für die Betriebsbestimmung der Feinheit von Brennstaub |
| 3706 | März 36 | Richtlinien für die Prüfbestimmung der Feinheit von Brennstaub |
| DIN 1171 | März 34 | Drahtgewebe für Prüfsiebe |

Auszug aus dem Normblattverzeichnis 1937. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4. Beuth-Verlag GmbH., Berlin.

b) Feinheitsgrad.

Da Feinheitsverteilung und Korngestalt von Kohlenstaub, der von Mühlen erzeugt wird, unabhängig von Mühlenart und Mahlweise sind, genügt zur Beurteilung zweckmäßiger Feinheitsgrade die Kenntnis des Rückstandes auf den Prüfsieben 0,090 DIN 1171 (4900 Maschen je cm^2) und 0,20 DIN 1171 (900 Maschen je cm^2).

Für die verschiedenen Steinkohlenarten genügen folgende Mahlfeinheiten:

| Steinkohlenart | Rückstand auf dem Prüfsieb 0,090 DIN 1171 mit 4900 Maschen je cm^2 % |
|---|--|
| Anthrazitkohle, Gruppe I und II | 8—12 |
| Eßkohle | 10—15 |
| Fettkohle | 15—20 |
| Flamm- und Gasflammkohle | 15—25 |

c) *Trocknung.*

Sämtliche gewaschenen Steinkohlensorten lassen sich in fast allen Mühlen mit Mahltrocknungseinrichtung zu einem brennfähigen Staube vermahlen, so daß sich eine von der Mahlanlage getrennte Trocknungsanlage erübrigt. Besondere Trocknungskosten kommen deshalb in Fortfall. Ungewaschene Feinkohlen bedürfen vor der Vermahlung meist keiner Trocknung.

d) *Kraftverbrauch der Mühlen.*

Der Kraftverbrauch hängt von den Eigenschaften der Mahleinrichtung und des Mahlgutes ab.

Der Kraftverbrauch zur Vermahlung von Steinkohlen in verschiedenen Mühlenarten bei normalen Durchsatzmengen schwankt in den Grenzen von etwa 12—25 kWh/t.

2. Verbrennung des Kohlenstaubes.

Die Verbrennungsluft wird zum Teil mit dem Brennstoff als Erstluft zugeführt. Die übrige zur Verbrennung erforderliche Luft wird allgemein als Zweitluft bezeichnet.

Der Luftüberschuß kann bei allen Steinkohlenarten gleich hoch sein. Das günstigste Verhältnis von Erstluft und Zweitluft richtet sich nach der Bauart der Feuerung und der Art der Kohle. Nachstehende Tafel gibt ungefähre Anhaltswerte für die Verteilung auf Erst- und Zweitluft.

| Steinkohlenart | Erstluft % | Zweitluft % |
|---|---------------|----------------|
| Anthrazitkohle, Gruppe I und II | 10—20 | 80—90 |
| EBkohle | 15—30 | 70—85 |
| Fettkohle | 25—40 | 60—75 |
| Flamm-, Gas- und Gasflammkohle | 30—60 | 40—70 |

Bei Einblasemühlen ist die Erstluft gleichzeitig Mühlenluft. Hierbei muß je nach Bauart der Mühle bisweilen auch mit einer erheblich

4. Ergebnisse von Versuchen mit Brennstoffen des Ruhrbergbaues an

| | | | | |
|---|------------------------------------|--|-------|-----|
| 1. Kennziffern der Kesselanlage. | | Garbe-Steilrohrkessel v. Dürr 3 Brenner (K. S. G.) Lopulco | | |
| Bauart des Kessels | | 709,8 | | |
| Art der Staubfeuerung | | 41,8 | | |
| Heizfläche des Kessels | m ² | 140 | | |
| davon Kühlfläche | m ² | 416 | | |
| Heizfläche des Überhitzers | m ² | — | | |
| Heizfläche des Vorwärmers | m ² | 148 | | |
| Heizfläche des Luftvorwärmers | m ² | | | |
| Feuerrauminhalt | m ³ | | | |
| 2. Kennziffern des Brennstoffes. | | Gasflammeinkohle | | |
| Art | | 3,0 | | |
| Wasser | % | 14,0 | | |
| Asche | % | 27,5 | | |
| Flüchtige Bestandteile | % | 6 576 | | |
| Heizwert H _u | kcal/kg | | | |
| 3. Dauer des Versuches | | min | | |
| | | 420 | | |
| 4. Versuchsergebnisse. | | | | |
| <i>a) Brennstoffe:</i> | | | | |
| Verheizt im ganzen | kg | 21 053 | | |
| Verheizt in 1 Stunde | kg/h | 3 007 | | |
| Verheizt in 1 Stunde auf 1 m ³ Feuerraum | kg/m ³ h | 20,32 | | |
| <i>b) Speisewasser:</i> | | | | |
| Verdampft im ganzen | kg | 174 158 | | |
| Verdampft in 1 Stunde | kg/h | 24 880 | | |
| Verdampft in 1 Stunde auf 1 m ² (Heizflächenbelastung) | kg/m ² h | 35,06 | | |
| Heizflächenbelastung bezogen auf Normaldampf | kg/m ² h | 37,24 | | |
| Temperatur vor dem Vorwärmer | °C | 60 | | |
| Temperatur vor dem Kessel | °C | 114 | | |
| <i>c) Dampf:</i> | | | | |
| Überdruck | atü | 10,5 | | |
| Temperatur vor dem Überhitzer (Sattdampf) | °C | 185 | | |
| Temperatur hinter dem Überhitzer | °C | 318 | | |
| Erzeugungswärme | kcal/kg | 680 | | |
| <i>d) Heizgase:</i> | | | | |
| Wärmeentwicklung auf 1 m ³ Feuerraum je Stunde | kcal/m ³ h | 133 600 | | |
| CO ₂ -Gehalt hinter Kessel | % | 12,4 | | |
| CO ₂ -Gehalt hinter Vorwärmer | % | 11,6 | | |
| Temperatur hinter Vorwärmer | °C | 205 | | |
| <i>e) Verbrennungsluft:</i> | | | | |
| Temperatur der angesaugten Luft | °C | 25 | | |
| Temperatur der vorgewärmten Luft | °C | — | | |
| Luftüberschußzahl | | 1,5 | | |
| <i>f) Verdampfungsziffern:</i> | | | | |
| Durch 1 kg Brennstoff verdampftes Wasser | kg/kg | 8,27 | | |
| Normalverdampfungsziffer | kg/kg | 8,79 | | |
| 5. Wärmehaushalt. | | kcal | | |
| | | % | | |
| Ausnutzung für | } Dampfbildung | 4580 | 69,6 | |
| | | Überhitzung | 599 | 9,1 |
| | | Vorwärmer | 447 | 6,8 |
| Insgesamt nutzbar gemacht | | 5626 | 85,5 | |
| Verluste durch | } freie Wärme der Abgase | 664 | 10,1 | |
| | | Leitung, Strahlung, Flugkoks und Brennbares in den Rückständen (als Rest) | 286 | 4,4 |
| Gesamtverluste | | 950 | 14,5 | |
| Zugeführte Wärme (H _u) | | 6576 | 100,0 | |

Ausgeführt vom Verein zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen, Essen.

Dampfungsversuchen

Dampfkesselanlagen mit Staubfeuerung.

| Zweiflammrohrkessel Kohlenstaubfeuerung G. m. b. H. (AEG.) | | Babcock-Sektionalkessel Babcock | | Steinmüller-Steilrohrkessel Steinmüller | | Büttner-Steilrohrkessel (K. S. G.) Lopolco | |
|--|-------------------|------------------------------------|-------|--|-------|---|-------|
| 125 | | 1 208 | | 729 | | 525 | |
| — | | 12 (Granulierrost) | | 25 | | 23,4 (Rost) | |
| 30 | | 310 | | 220 | | 210 | |
| — | | — | | 660 | | — | |
| — | | 1 505 | | 420 | | 1 050 | |
| — | | 298 (über Rost) | | 151 | | 190 | |
| Fettfeinkohle | | Eßfeinkohle | | Anthrazitfeinkohle Gruppe II | | Anthrazitfeinkohle Gruppe I | |
| 2,88 | | 2,29 | | 0,28 | | 0,16 | |
| 13,34 | | 14,26 | | 7,67 | | 11,88 | |
| 23,36 | | 15,14 | | 11,77 | | 9,51 | |
| 6 783 | | 6 930 | | 7 646 | | 7 372 | |
| 308 | | 420 | | 330 | | 506 | |
| 2 088 | | 35 601 | | 15 842 | | 23 788 | |
| ~ 407 | | 5 086 | | 2 880 | | 2 808 | |
| — | | 17,1 | | 19,1 | | 14,84 | |
| 16 103 | | 351 992 | | 138 068 | | 195 071 | |
| 3 140 | | 50 285 | | 25 103 | | 23 076 | |
| 25,09 | | 41,63 | | 34,42 | | 44,03 | |
| 27,35 | | 39,33 | | 38,96 | | 49,13 | |
| — | | — | | 39,5 | | — | |
| 25 | | 164 | | 91,5 | | 45,5 | |
| 9 | | 33,7 | | 12 | | 27,4 | |
| 179 | | 239 | | 190,7 | | 230 | |
| 290 | | 398 | | 373,5 | | 378 | |
| 697,6 | | 604,7 | | 724,4 | | 714,2 | |
| — | | 119 000 | | 145 830 | | 109 400 | |
| 12 | | 14,7 | | 12,7 | | 15,5 | |
| — | | 12,9 | | 12,5 | | 13,5 | |
| 281 | | 204 | | 140 | | 215 | |
| 26 | | 28 | | 27 | | 23,8 | |
| — | | 209 | | 87 | | 268 | |
| 1,51 | | 1,28 | | 1,5 | | 1,39 | |
| 7,71 | | 9,89 | | 8,72 | | 8,20 | |
| 8,42 | | 9,34 | | 9,86 | | 9,15 | |
| kcal | % | kcal | % | kcal | % | kcal | % |
| 4915 | 72,5 | 4972 | 71,7 | 4991 | 65,3 | 5095 | 69,1 |
| 463 | 6,8 | 1009 | 14,6 | 869 | 11,4 | 761 | 10,3 |
| 168 | 2,5 ¹⁾ | — | — | 453 | 5,9 | — | — |
| 5546 | 81,8 | 5981 | 86,3 | 6313 | 82,6 | 5856 | 79,4 |
| 936 | 13,8 | 639 | 9,2 | 447 | 5,8 | 672 | 9,1 |
| 301 | 4,4 | 310 | 4,5 | 886 | 11,6 | 844 | 11,5 |
| 1237 | 18,2 | 949 | 13,7 | 1333 | 17,4 | 1516 | 20,6 |
| 6783 | 100,0 | 6930 | 100,0 | 7646 | 100,0 | 7372 | 100,0 |

¹⁾ Durch Erwärmung des Kühlwassers in der Feuerbrücke und dem Brenner.

höheren Erstluftmenge gerechnet werden, besonders dann, wenn die Kohle in der Mühle mit Warmluft getrocknet wird.

Eine gute Vermischung bzw. Durchwirbelung von Staub und Luft erhöht die Brennleistung je m³ Feuerraum und verbessert den Ausbrand des Staubes. Deshalb empfiehlt sich eine weitgehende Unterteilung der Staubzuführung in die Brennkammer und die Verwendung von Wirbel- oder Eckenbrennern. Werden die Wände des Feuerraumes mit Kühlrohren verkleidet, so wird das Maß der Auskleidung mit Kühlfläche dadurch bestimmt, daß auch bei der niedrigsten Kesselbelastung die Zündung und einwandfreie Verbrennung des Kohlenstaubes nicht gestört werden darf. Einfluß hierauf haben Gasgehalt und Mahlfeinheit des Staubes sowie der Grad der Luftvorwärmung. Die Höchstgrenze für die Vorwärmung der Zweitluft bei Staubfeuerungen ist bei den zur Zeit für Luftherhitzer verwendeten Werkstoffen etwa 300—400°. Die Erstlufttemperatur soll im allgemeinen nicht mehr als 100° betragen.

3. Richtlinien für den Bau und Betrieb von Kohlenstaubanlagen.

Die Gesichtspunkte, die bei der Errichtung von Kohlenstaubanlagen und beim Umgang mit Kohlenstaub beachtenswert sind, wurden vom Reichskohlenrat in einem Merkblatt über die „Vermeidung von Gefahren bei Kohlenstaubanlagen“ zusammengestellt.¹⁾

¹⁾ Bestell-Nr. AWF 56. Beuth-Verlag GmbH., Berlin.

V. Zugerzeugung.

1. Natürlicher Zug durch Schornsteine.

Die Höhe und Weite eines Schornsteines werden auf Grund des erforderlichen Zuges und der abzuführenden Gasmenge ermittelt.

Bezeichnen

| | | |
|------------|--|-----------------------|
| h_{st} | = statische Zugstärke am Schornsteinfuß | in mm WS |
| h_A | = Austrittsverlust | in mm WS |
| h_R | = Zugverlust durch Reibung vom Schornsteinfuß bis Schornsteinmündung | in mm WS |
| H | = Schornsteinhöhe | in m |
| t_1 | = Temperatur der Außenluft | in °C |
| t_{r1} | = Abgastemperatur am Schornsteinfuß | in °C |
| t_{r2} | = Abgastemperatur in Schornsteinmitte | in °C |
| t_{r3} | = Abgastemperatur an Schornsteinmündung | in °C |
| γ_1 | = Raumbgewicht der Außenluft | in kg/Nm ³ |
| γ_r | = Raumbgewicht der feuchten Abgase | in kg/Nm ³ |
| b | = Barometerstand | in mm QS, |

so ist die statische Zugstärke:

$$h_{st} = 273 \cdot H \left(\frac{\gamma_1}{273 + t_1} - \frac{\gamma_r}{273 + t_{r2}} \right) \cdot \frac{b}{760}$$

Die nutzbare Zugstärke ist:

$$h_n = h_{st} - h_A - h_R$$

Aus Schaubild Seite 169 sind die Werte für h_{st} bei $\gamma_r = 1,32 \text{ kg/Nm}^3$ in Abhängigkeit von t_1 , t_{r2} , H und b und aus Schaubild Seite 170 die Werte für h_A und h_R zu entnehmen.

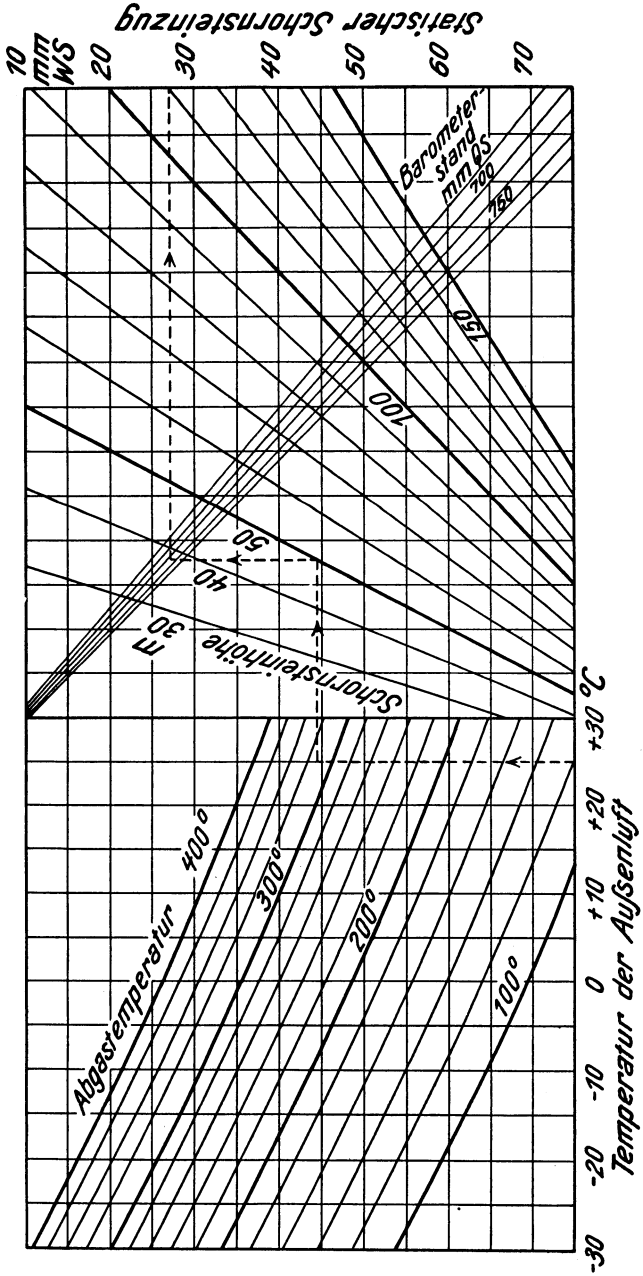
Zur Feststellung der mittleren Schornsteintemperatur kann bei gemauerten Schornsteinen überschlägig die gesamte Abkühlung im Schornstein mit $1/8$ bis $1/10$ der Abgastemperatur am Schornsteinfuß eingesetzt werden.

Für genauere Rechnungen dient Schaubild Seite 172.

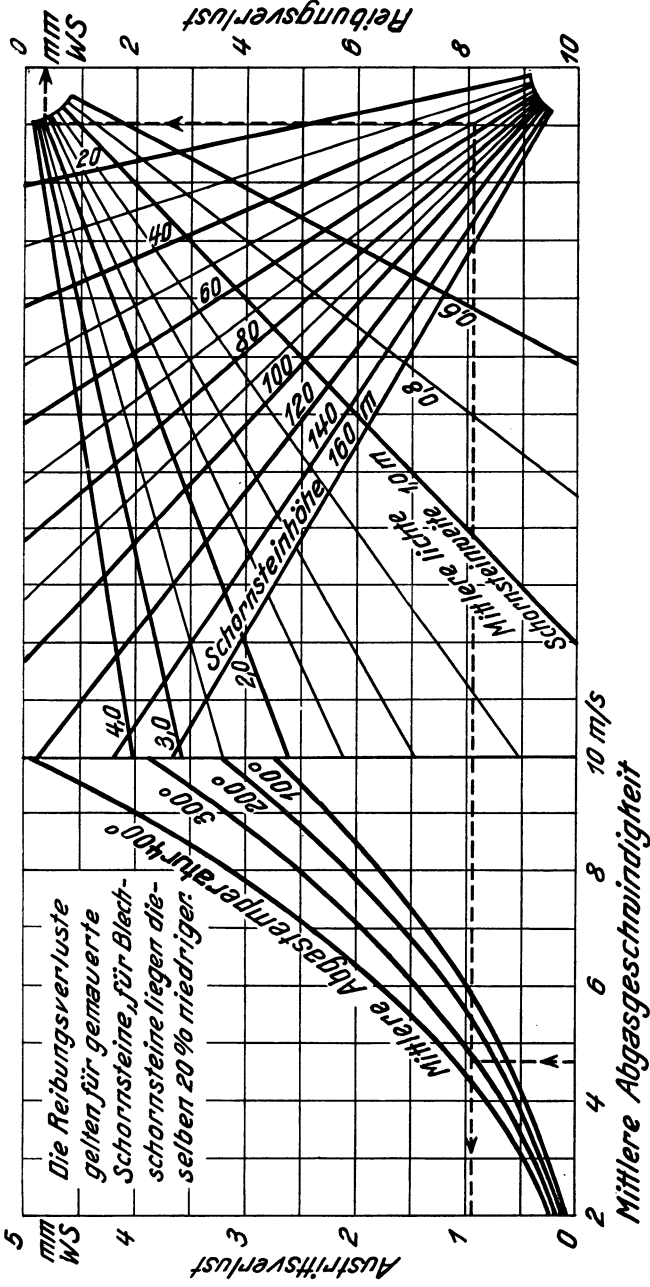
Oberer lichter Schornsteinquerschnitt

$$F = \frac{V \cdot (273 + t_{r3}) \cdot B}{3600 \cdot 273 \cdot v} \cdot \frac{760}{b} \text{ in m}^2$$

Ermittlung des statischen Schornsteinzuges.



Austritts- und Reibungsverluste in Schornsteinen.



wobei

V = Abgasmenge in Nm^3/kg Kohle (siehe Schaubild Seite 120)

v = Abgasgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung in m/s

B = Brennstoffmenge in kg/h

sind.

Man wählt $v \sim 0,1 \cdot H$, jedoch möglichst nicht über 10 m/s .

Rechenbeispiel:

In einer Kesselanlage bestehen folgende Verhältnisse:

| | |
|--|------------------------------|
| Kesselheizfläche | 300 m^2 |
| Überhitzer | 50 m^2 |
| Speisewasservorwärmer | nicht vorhanden |
| Dampfdruck | 10 atü |
| Schornsteinhöhe | 50 m |
| Mittlere Wandstärke des Schornsteines | 0,4 m |
| Obere lichte Schornsteinweite | 1,8 m |
| Mittlere lichte Schornsteinweite | 2,3 m |
| Verfeuerte Kohle | Fettkohle Nuß 3 |
| Unterer Heizwert | $H_u = 7600 \text{ kcal/kg}$ |
| stündl. verfeuerte Menge | 880 kg/h |
| stündl. erzeugte Dampfmenge | 7500 kg/h |
| Heizflächenbelastung | 25 $\text{kg/m}^2\text{h}$ |
| Abgastemperatur am Schornsteinfuß | 300° |
| CO_2 -Gehalt der Abgase am Schornsteinfuß | 10 % |
| Niedrigster Barometerstand | 720 mm QS |
| Höchste Lufttemperatur | 25° |

Durch Aufstellung eines neuen Kessels soll die Kesselheizfläche auf 500 m^2 und die Dampferzeugung auf $17\,000 \text{ kg/h}$ erhöht werden.

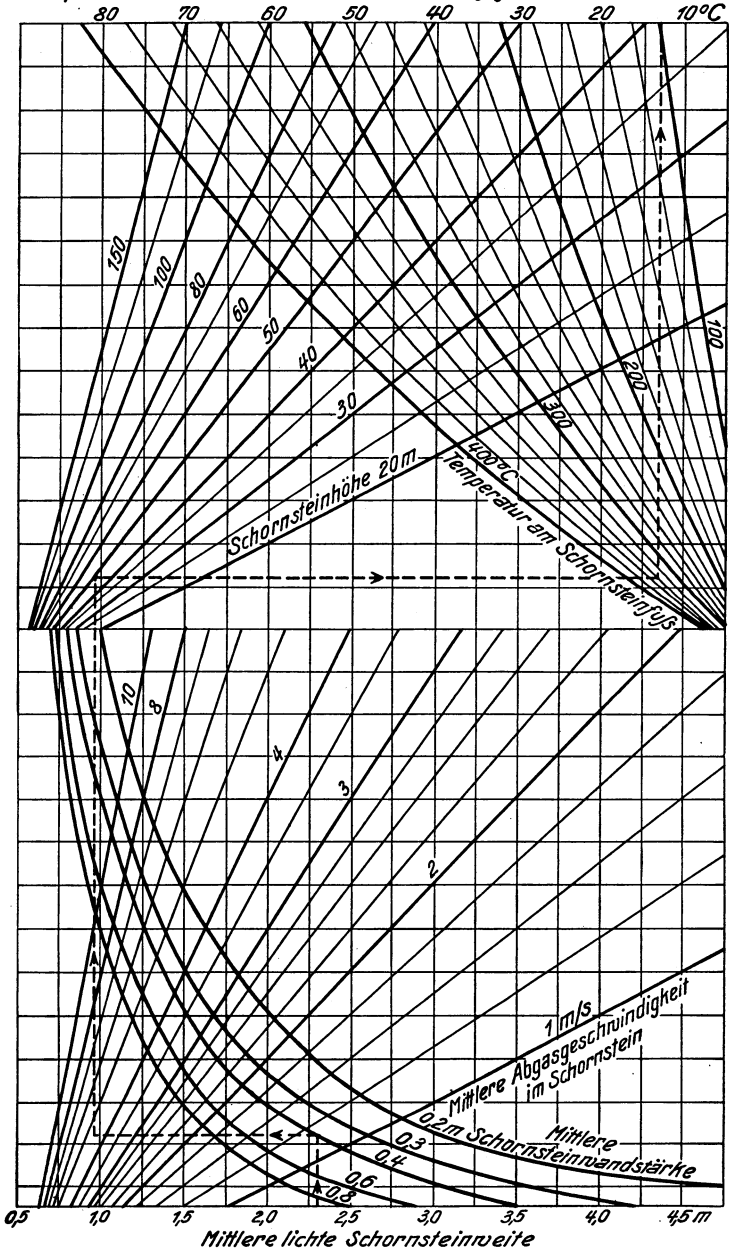
Reicht der Zug des vorhandenen Schornsteins für die Erweiterung der Anlage aus? Kann nötigenfalls durch eine noch als zulässig festgestellte Schornsteinerhöhung auf 60 m die notwendige Zugstärke erreicht werden?

a) Nachprüfung der Abgasgeschwindigkeit.

$$v = \frac{V (273 + t_{13}) \cdot B}{3600 \cdot 273 \cdot F} \cdot \frac{760}{b} \quad \text{in m/s}$$

Abkühlung in gemauerten Schornsteinen.

Temperaturunterschied zwischen Schornsteinfuß u. Schornsteinmitte



$$F = 1,8^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 2,54 \text{ m}^2$$

$$b = 720 \text{ mm QS}$$

$$\text{Stündliche Brennstoffmenge } B = \frac{17\,000}{7\,500} \cdot 880 = 2000 \text{ kg/h}$$

Nach Seite 124 wird bei einem CO_2 -Gehalt der Abgase von 10 % und bei Verfeuerung von Fettkohle 1,875-facher Luftüberschuß festgestellt.

Aus Schaubild Seite 120 ermittelt man $V = 15,7 \text{ Nm}^3$ Abgase/kg Kohle.

$$V \cdot B = 15,7 \cdot 2000 = 31\,400 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Die Abgastemperatur am Schornsteinfuß wird durch die Erhöhung der Heizflächenbelastung von 25 auf $\frac{17\,000}{500} = 34 \text{ kg/m}^2\text{h}$

nach Schaubild Seite 126 auf $150 + 183 \sim 330^\circ$ steigen ($183^\circ = \text{Sattdampf Temperatur bei } 10 \text{ atü}$). Die Abgasgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung beträgt, wenn man zunächst überschlägig mit rund 30° Abkühlungsverlust bis Schornsteinmündung rechnet:

$$v = \frac{31\,400 \cdot (273 + 300)}{3\,600 \cdot 273 \cdot 2,54} \cdot \frac{760}{720} = 7,62 \text{ m/s}$$

Die Abgasgeschwindigkeit würde also nach dem Umbau nicht zu groß werden.

b) Nachprüfung der Schornsteinhöhe.

Abgasgeschwindigkeit v_m in Schornsteinmitte, wenn

$$F = \frac{2,3^2 \pi}{4} = 4,15 \text{ m}^2 \text{ und } t_{rs} = 330 - 15 = 315^\circ \text{ beträgt:}$$

$$v_m = \frac{31\,400 \cdot (273 + 315)}{3\,600 \cdot 273 \cdot 4,15} \cdot \frac{760}{720} = 4,8 \text{ m/s}$$

Abkühlung bis Schornsteinmitte nach Schaubild Seite 172 genauer ermittelt:

$$\tau = 13^\circ$$

(Die Abkühlung war also zunächst mit 30° bis Schornsteinmündung bzw. 15° bis Schornsteinmitte etwas zu groß angenommen worden;

die vorhergehende Rechnung wird aber durch den verbesserten Wert nur geringfügig verändert.)

$$t_{r2} = 330 - 13 = 317^{\circ}$$

Nach Schaubild Seite 169 wird

$$h_{st} = 27 \text{ mm WS}$$

Der Austritts- und Reibungsverlust ergibt sich aus Schaubild Seite 170:

$$h_A = 1,0 \text{ mm WS}$$

$$h_R = 0,4 \text{ mm WS}$$

Also beträgt die nutzbare Zugstärke am Schornsteinfuß

$$h_n = h_{st} - h_A - h_R \sim 25 \text{ mm WS}$$

Wird der Schornstein um 10 m auf 60 m erhöht, so wird unter Benutzung der Schaubilder Seiten 169, 170, 172

$$t_{r2} = 330 - 15 = 315^{\circ}$$

$$h_{st} = 32 \text{ mm WS}$$

$$h_A = 1,0 \text{ mm WS}$$

$$h_R = 0,4 \text{ mm WS}$$

Demnach wird die nutzbare Zugstärke

$$h_n = 32 - 1 - 0,4 \sim 31 \text{ mm WS}$$

2. Künstlicher Zug durch Saugzugventilatoren.

Die gesamte Förderhöhe h_g eines zur Zugerzeugung dienenden Saugzugventilators setzt sich aus der statischen Förderhöhe h_{st} und der dynamischen Förderhöhe h_{dy} zusammen. Die statische Förderhöhe wird bestimmt durch die Förderhöhe zur Überwindung der Widerstände in der Kesselanlage (h_k) und der Widerstände in der Saug- und Druckleitung (h_r).

Es ist:

$$h_g = h_{st} + h_{dy} = h_k + h_r + h_{dy}$$

Die Höhe des statischen Zuges hängt von der Beschaffenheit der Kesselanlage, der Saug- und Druckleitung sowie von der abzuführenden Abgasmenge ab.

Es ist bei normalen Verhältnissen etwa

$$h_k = 20\text{--}60 \text{ mm WS}$$

$$h_r = 0\text{--}15 \text{ mm WS}$$

Die dynamische Förderhöhe

$$h_{dy} = \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \text{ mm WS}$$

wobei

v = Geschwindigkeit der Abgase im Ausströmungsquerschnitt des Ventilators in m/s,

g = Erdbeschleunigung = 9,81 m/s²

γ = spezifisches Gewicht der Abgase im Ausströmquerschnitt in kg/m³

sind.

Die Nutzleistung des Ventilators

$$N = \frac{V_h \cdot h_g}{3600 \cdot 75 \cdot \eta} \text{ PS} = \frac{V_h \cdot h_g}{3600 \cdot 102 \cdot \eta} \text{ kW}$$

wobei

V_h = stündliche Abgasmenge, bezogen auf den mittleren Zustand im Ventilator in m³/h ist.

Der Wirkungsgrad η kann für Saugzugventilatoren zu 0,4–0,6 angenommen werden.

Rechenbeispiel:

Aus einer Kesselanlage sollen stündlich 50 000 Nm³ Abgase, deren Normkubikmetergewicht 1,33 kg/Nm³ und deren Temperatur 150° beträgt, abgesaugt werden. Die hierzu erforderliche Saughöhe sei 40 mm WS, die zur Überwindung der Rohrleitungswiderstände notwendige Förderhöhe 10 mm WS, der Ausströmquerschnitt hat eine lichte Weite von $D = 1,5$ m, der Barometerstand beträgt 750 mm QS.

Es ist die Leistung des hierfür erforderlichen Saugzugventilators zu bestimmen.

$$V_h = 50\,000 \cdot \frac{273+150}{273} \cdot \frac{760}{750} = 78\,500 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$v = \frac{V_h}{3600 \cdot F} = \frac{78\,500}{3600 \cdot \frac{1,5^2 \pi}{4}} = 12,3 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 1,33 \cdot \frac{273}{273+150} \cdot \frac{750}{760} = 0,848 \text{ kg/m}^3$$

$$h_{dy} = \frac{12,3^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 0,848 = 6,55 \sim 7 \text{ mm WS}$$

$$h_g = 40 + 10 + 7 = 57 \text{ mm WS}$$

$$N = \frac{78\,500 \cdot 57}{3600 \cdot 75 \cdot 0,5} = 33 \text{ PS oder } 24 \text{ kW}$$

Sechster Teil.

**Entgasung von Kohlen
des Ruhr-, Aachener
und Saarbergbaues.**

I. Kohlenauswahl.

1. Allgemeines.

Für die Verwendung in Gaswerken kommen folgende Kohlenarten in Betracht:

Gasförderkohlen,
Stückkohlen,
Nußkohlen 1—5,
gewaschene Feinkohlen.

Bezüglich Korngröße, Wasser- und Aschegehalt usw. vgl. Seite 99 ff.

Im allgemeinen werden solche Kohlen bevorzugt, die neben hoher Ausbeute an heizkräftigem Gas auch guten Koks geben.

Die Verkokbarkeit ist zum großen Teil durch die Natur der Kohle bedingt, darüber hinaus beeinflussen Kornzusammensetzung, Feuchtigkeitsgehalt der Besatzkohle und die Verkokungsbedingungen selbst die Koksgüte.

Eine vorherige Aufbereitung der zu entgasenden Kohle ist im Interesse der Koksgüte selbst bei gut backenden Kohlen zweckmäßig.

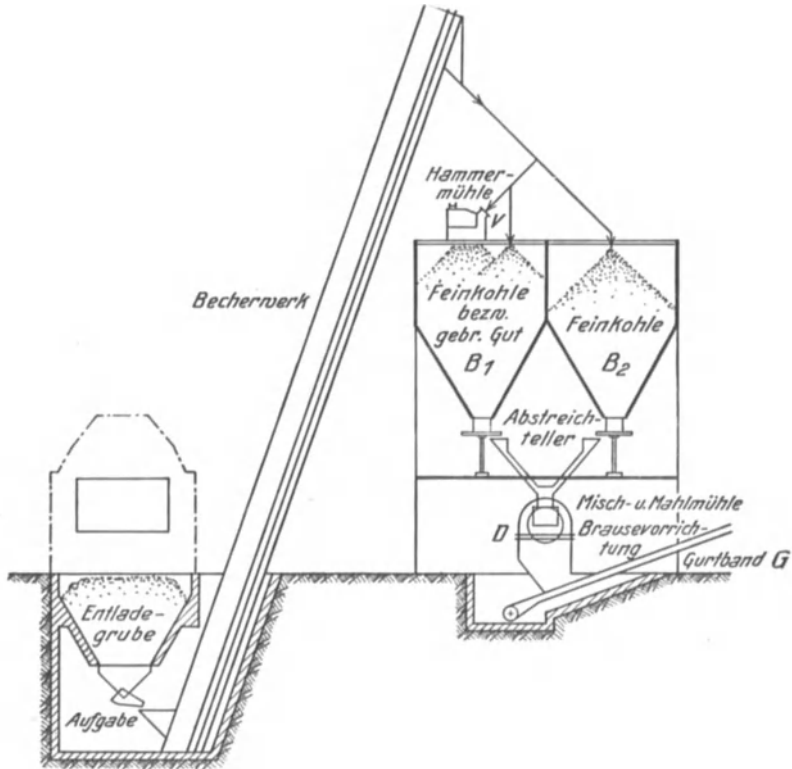
Anforderungen an die Einsatzkohle.

- a) Vollkommene Gleichmäßigkeit der Kohle oder der Kohlenmischung.
- b) Körnung der Kohle: 80 % unter 3 mm.
- c) Wassergehalt möglichst nicht über 10 % und nicht unter 6 %.

2. Mischen und Mahlen.

Die Anlage ist für die Verarbeitung von gewaschener Feinkohle allein und in Mischung mit anderer Feinkohle oder gröberen Sorten, wie Stückkohle, Förderkohle, Nuß usw. eingerichtet. Ein Becherwerk bringt die Kohle aus der Entladegrube in die Bunker B_1 und B_2 . Vor der Mischung wird die gröbere Kohle in dem Vorbrecher V (Hammermühle) bis zur Kornbeschaffenheit der Feinkohle im Bunker B_2 zerkleinert und in dem Bunker B_1 gelagert. Von den Bunkern werden

Schema einer Misch- und Mahlanlage.



die beiden Kohlenkomponenten in dem gewünschten Mischungsverhältnis über Abstreichteller der Misch- und Mahlmühle D zugeführt, wo eine gründliche Durchmischung und gegebenenfalls eine weitere Zerkleinerung der Kohle eintritt. Das Gurtband G führt die Kohle den Bunkern über dem Ofen zu. Über dem Gurtband kann nach Bedarf eine Brause zum nachträglichen Anfeuchten der Kohle angebracht werden.

Kraftbedarf von Misch- und Mahlanlagen verschiedener Größe.

| Leistungen | 4 t/h | | 10 t/h | | 15 t/h | | 25 t/h | | 50 t/h | |
|--|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|-----------------------|----|------------------------|-----|
| | Größe mm | PS | Größe mm | PS | Größe mm | PS | Größe mm | PS | Größe mm | PS |
| Vorbrecher | | | | | | | | | | |
| Hammermühle, bei Aufgabe Stück- kohle brechen auf 0—10 mm | 800∅ 800 breit | 20 | 800∅ 800 breit | 20 | 800∅ 800 breit | 20 | 1000∅ 800 breit | 30 | 1000∅ 1200 breit | 60 |
| Hammermühle, bei Aufgabe Nuß- kohle 10—80 mm brechen auf 0—10 mm | 600∅ 600 breit | 10 | 600∅ 800 breit | 15 | 800∅ 600 breit | 17 | 800∅ 800 breit | 20 | 1000∅ 1000 breit | 40 |
| Schleudermühle | | | | | | | | | | |
| Mischen u. Mahlen Aufgabe 0—10 mm mahlen auf 0—3 mm | 900∅ | 8 | 1000∅ | 20 | 1250∅ | 35 | 1250∅ | 50 | 1500∅ | 100 |
| Kraftbedarf der übrige Apparate etwa | | 8 | | 10 | | 15 | | 15 | | 20 |

Die Angaben stellen nur Mittelwerte dar.

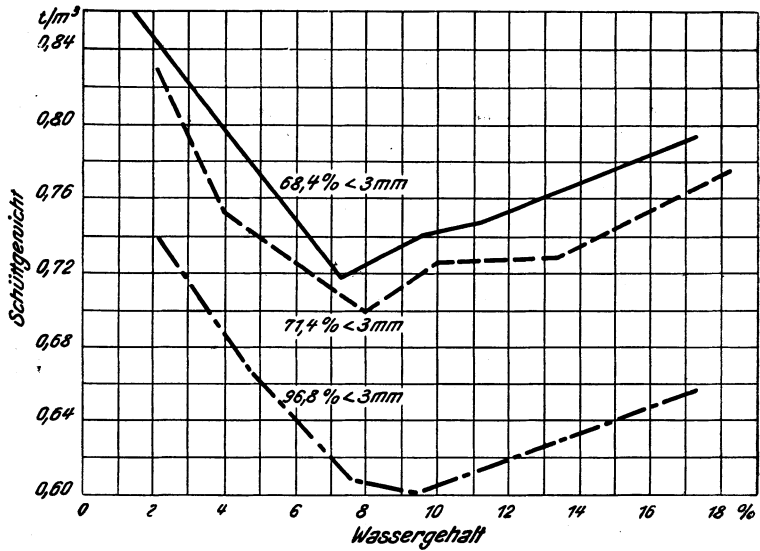
3. Schüttgewicht der Kohle in der Ofenkammer.

Das Schüttgewicht sinkt bei Kohle gleicher Körnung mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt und nähert sich in dem Bereich von 8—9 % Feuchtigkeit einem Mindestwert, von da ab steigt es wieder an.

Je feiner die Kohlenkörnung ist, desto niedriger ist das Schüttgewicht der Kohle.

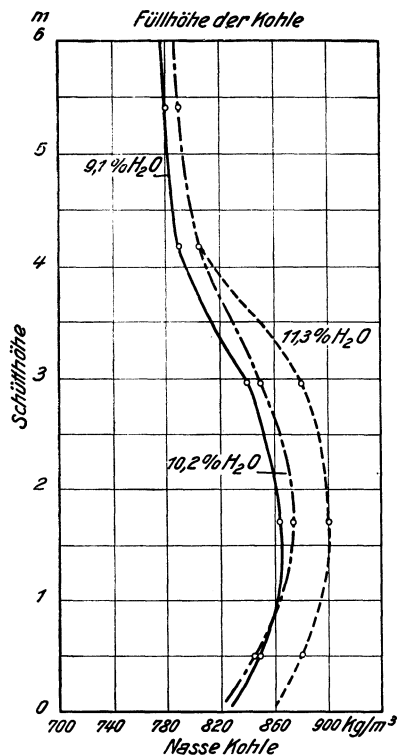
In der Ofenkammer ist das Schüttgewicht der Kohle nicht einheitlich. Etwa 1,75 m über der Kammersohle erreicht es einen Höchstwert, um dann wieder nach der Sohle hin abzufallen. (Federnde Wirkung der Kohleteilchen beim Einsetzen.)

Schüttgewicht der Kohle in Abhängigkeit vom Wassergehalt.



Nach Baum, K., Glückauf 1930, S. 187.

Schüttgewicht von nasser Kohle bei 6 m Füllhöhe und
410 mm Kammerbreite.



Nach Hock, H. und Paschke, M., Arch. Eisenhüttenw. 1929/30, S. 99 ff.

Mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt tritt eine Zunahme des Schüttgewichtes bezogen auf nasse Kohle ein. Bezieht man jedoch die Zahlenwerte auf trockene Kohle, so bleibt das Schüttgewicht praktisch unverändert, d. h. der Inhalt einer Ofenkammer an trockener Kohle ist im Bereich der vorkommenden Feuchtigkeitswerte annähernd gleich.¹⁾

II. Kokserzeugung.

1. Kokskörnungen und -bezeichnungen.

| Körnung mm | Zechenkoks | Gaswerkskoks | | |
|---------------|-------------|--------------|--------------------------|-----------------------|
| | | Deutschland | Österreich ²⁾ | Schweiz ³⁾ |
| 60/90 | Brechkoks 1 | Brechkoks 1 | Stück | Grobkoks |
| 40/60 | Brechkoks 2 | Brechkoks 2 | Würfel | Mittelkoks |
| 20/40 | Brechkoks 3 | Brechkoks 3 | Nuß | Nußkoks |
| 10/20 | Brechkoks 4 | Perlkoks | Perl | Perlkoks 15/25 mm |
| 0/10 | Koksgrus | Koksgrus | Grieß | Koksgrieß 0/15 mm |

Die Siebe haben quadratische Löcher von 13, 25, 40 bzw. 60 mm Seitenlänge und eine Stegstärke von 8, 10, 15 bzw. 25 mm zwischen den Löchern. Die Mindestsieblänge für Koksgrus beträgt 1,6 m, für Perlkoks 1,4 m und für die größeren Körnungen 1,2 m.

Beispiel:

Gaswerkskoks aus Vertikalkammeröfen, hergestellt aus gleichen Teilen Ruhr- und Saarstückkohlen,

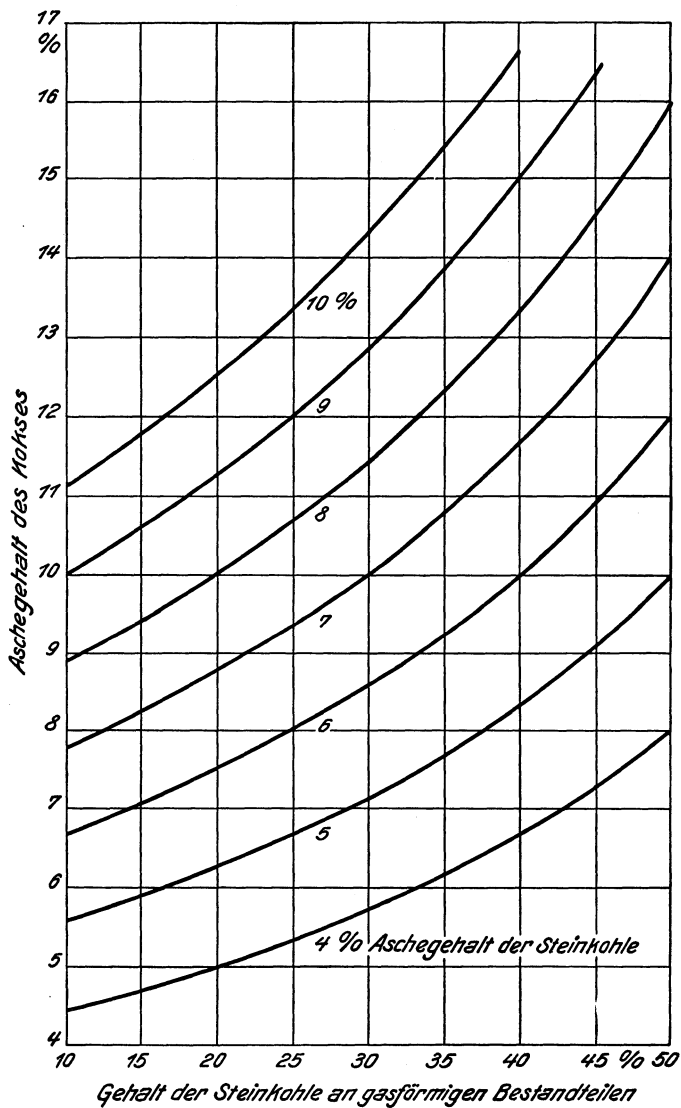
| | | |
|-------------|---|------|
| Brechkoks 1 | = | 46 % |
| Brechkoks 2 | = | 20 % |
| Brechkoks 3 | = | 21 % |
| Perlkoks | = | 5 % |
| Koksgrus | = | 8 % |

¹⁾ Näheres s. Arch. Eisenhüttenw. 1929/30, S. 99 ff.

²⁾ Gas- u. Wasserfach 1926, S. 664.

³⁾ Monatsbull. schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. 1925, S. 201 und 1926, S. 272.

2. Aschegehalt des Kokes in Abhängigkeit vom Gehalt der Steinkohle an flüchtigen Bestandteilen für verschiedene Aschegehalte der Steinkohle.



Nach Schläpfer, P., Monatsbull. schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. 1936, S. 155.

3. Koks-Festigkeitsprüfungen.

Trommelfestigkeit ¹⁾ (Syndikatstrommel).

In einer Trommel von 1000 mm \varnothing und 1000 mm Länge mit 4 in gleichen Abständen im Innern angebrachten Schlageisen von 100 mm Breite werden 50 kg Grobkoks, die mit einer Gabel von 50 mm Zinkenabstand ausgegabelt wurden, 4 Minuten lang bei 25 Umdrehungen in der Minute getrommelt. Die Absiebung des getrommelten Kokes erfolgt über Siebe mit runder Lochung von 100, 80, 60, 40, 20 und 10 mm Durchmesser.

Der Anteil über 40 mm ergibt, in % ausgedrückt, die Trommelfestigkeit, derjenige unter 10 mm die Abriebzahl.

4. Koks-Festigkeit.

a) *Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der eingesetzten Kohle.*

Die Trommel- und Sturzfestigkeit des Kokes wird beim Einsatz feuchter Kohle (6—8 % Wasser) gegenüber trockener Kohle erhöht.

Beispiel ²⁾:

| Koks aus | Trommelfestigkeit | | Sturzfestigkeit ³⁾ |
|---|-------------------|--------------|-------------------------------|
| | > 40 mm % | < 10 mm % | > 50 mm □-Sieb % |
| zerkleinerter Gasförderkohle (30 % flüchtige Bestandteile) 0—30 mm mit 1,9 % Wasser | 46,9 | 16,3 | 55,3 |
| desgl. mit 8,6 % Wasser | 56,3 | 13,4 | 62,2 |
| trocken aufbereiteter Feinkohle (30 % flüchtige Bestandteile) mit 1,7 % Wasser | 70,4 | 12,3 | 78,0 |
| desgl. mit 7,6 % Wasser | 77,7 | 10,8 | 83,8 |

b) *Einfluß der Körnung der Kohle.*

In der Regel führt erhöhte Kornfeinheit zu einer Steigerung der Trommelfestigkeit; vor allem wird die Zerreiblichkeit des Kokes

¹⁾ Simmersbach-Schneider, Grundlagen der Koks-Chemie. Berlin 1930, S. 325.

²⁾ Nach Untersuchungen unseres feuerungstechnischen Laboratoriums.

³⁾ Amerikanische Methode: Aus 1,85 m Höhe werden 25 kg Grobkoks 4mal gestürzt. Der auf dem 50 mm □-Sieb bleibende Anteil ergibt in % ausgedrückt die Sturzfestigkeit.

geringer. Nach Deakin und Braunholz ¹⁾ ist der Anteil zwischen 0,8 und 6,4 mm bestimmend für die Koksfestigkeit. Die Kornanteile unter 0,8 und über 6,4 mm üben nachteiligen Einfluß aus.

Beispiel ²⁾:

| Art der Kohle | Körnung | | | | | Trommelfestigkeit | | Sturzfestigkeit ³⁾ ≥ 50 mm □ - Sieb |
|--|---------|--------|--------|--------|---------|-------------------|---------|--|
| | 0-1 mm | 1-3 mm | 3-5 mm | 5-8 mm | 8-30 mm | > 40 mm | < 10 mm | |
| Gasförderkohle mit 31% flüchtigen Bestandteilen grob gebrochen | 21,6 | 14,6 | 7,8 | 10,2 | 45,8 | 57,6 | 14,2 | 67,2 |
| dieselbe Kohle gemahlen..... | 29,8 | 30,2 | 29,0 | 10,5 | 0,5 | 70,7 | 10,5 | 83,0 |

c) *Einfluß der Kammerbreite und Verkokungstemperatur.*

In schmalen Kammern wird bei gleicher Kohle ein Koks mit höherer Trommelfestigkeit gewonnen als in breiteren Verkokungsräumen. Erhöhte Verkokungstemperatur bewirkt gleichfalls eine Steigerung der Trommelfestigkeit. Jedoch wird bei weiterer Temperatursteigerung der Koks kleinstückig und rissig, außerdem fallen dann Trommel- und Sturzfestigkeitswerte.

Beispiel ²⁾:

| Art der eingesetzten Kohle | Mittlere Temperatur im Heizzug °C | Verkokungsgeschwindigkeit mm/h | Trommelfestigkeit | | Sturzfestigkeit ³⁾ ≥ 50 mm □ - Sieb |
|--|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------|---------|--|
| | | | > 40 mm | < 10 mm | |
| gewaschene Gasfeinkohle 9% Wasser 33% flüchtige Bestandteile | 780 | 5,4 | 72,2 | 10,0 | 73,4 |
| desgleichen | 1120 | 11,5 | 77,7 | 8,0 | 75,5 |
| desgleichen | 1290 | 13,6 | 66,7 | 8,4 | 47,7 |

1) Gas World 1929; Coking Section S. 113.

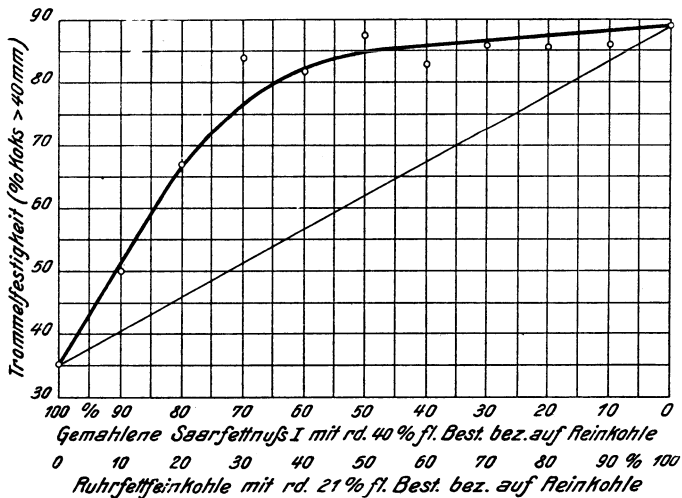
2) Nach Untersuchungen unseres feuerungstechnischen Laboratoriums.

3) Vgl. Fußnote Seite 184³⁾.

d) Einfluß der Kohlenmischung.

Werden zwei Kohlen A und B mit verschiedenem Verkokungsvermögen in Mischung entgast, so liegt die hierbei erzielte Trommelfestigkeit des Kokes zwischen den Trommelwerten der Kohle A und der Kohle B. Die Trommelfestigkeit steigt jedoch bei prozentualen Zusätzen von gut backender zu der schlechter backenden Kohle nicht geradlinig, sondern wie in unserem feuerungstechnischen Laboratorium an Hand vieler Serienversuche festgestellt werden konnte, sprunghaft an, so daß die Trommelwerte auf einer Linie mit parabolischem Verlauf liegen.

Abhängigkeit der Trommelfestigkeit eines Kokes von dem jeweiligen Mischungsverhältnis zweier Kohlen mit verschiedenem Verkokungsvermögen.



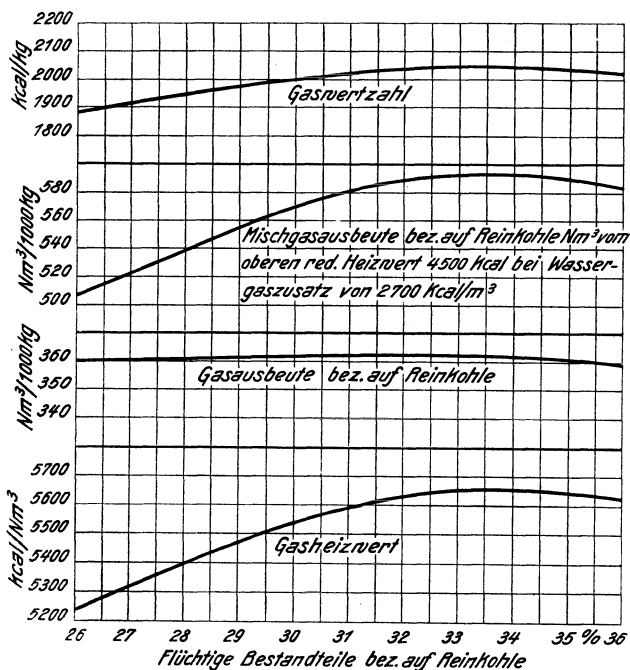
III. Gaserzeugung.

1. Gasausbeute, Gasheizwert und Gaswertzahl.

Während die Ausbeute an Destillationsgas bei den meisten Kohlen, bezogen auf Reinkohle, nur geringe Unterschiede aufweist, steigt der Heizwert des Gases mit dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen

langsam an. Er nähert sich im Gebiet zwischen 32 und 34 % flüchtigen Bestandteilen in der Kohle einem Höhepunkt und sinkt dann wieder ab, weil der Sauerstoffgehalt der Kohle danach verhältnismäßig stark ansteigt. Da bei Mischgaserzeugung der Heizwert des Destillationsgases von großem Einfluß auf die Höhe der Mischgasausbeute ist, so ist die experimentelle Bestimmung des Gasheizwertes für die Beurteilung einer Kohle von großem Wert. Die Gasergiebigkeit einer Kohle kann also nicht ausschließlich nach ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen beurteilt werden. Es muß vielmehr gleichzeitig der Sauerstoffgehalt der Kohle berücksichtigt werden, da während der Entgasung ein mehr oder weniger großer Teil desselben als Wasser und Kohlensäure abgespalten wird. Die Daten der folgenden Tafel beziehen sich auf das benzolhaltige Gas.

Abhängigkeit des Gasheizwertes, der Gasausbeute und der Gaswertzahl von dem Gehalt der Ruhrkohlen an flüchtigen Bestandteilen (nach Geipert).



Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

2. Einfluß der Ofentemperatur auf Ausbeute, Heizwert und Zusammensetzung des Gases.

Die Ausbeute ebenso wie der Heizwert des Destillationsgases und somit auch die Gas-Zusammensetzung ändern sich mit der Höhe der Destillationstemperatur.

Je höher die Ofentemperatur ist desto stärker tritt die Krackung des Teeres und der leichter zersetzlichen Kohlenwasserstoffe ein, womit eine Erhöhung der Gasausbeute auf Kosten des Ausbringens an Teer unter gleichzeitiger Verschlechterung seiner Güte verbunden ist.

Änderung der Gasausbeute mit der Ofentemperatur¹⁾.

| Ofentemperatur | Gasausbeute in Nm ³ | |
|----------------|--------------------------------|----------------------|
| | aus 100 kg Rohkohle | aus 100 kg Reinkohle |
| unter 1100° | 26,85 | 31,0 |
| 1100—1140° | 28,80 | 33,2 |
| 1140—1150° | 30,70 | 35,4 |
| 1150—1220° | 32,23 | 37,2 |
| 1220—1250° | 33,26 | 38,4 |

Änderung des oberen Heizwertes des Gases mit der Ofentemperatur¹⁾.

| Ofentemperatur | Oberer Heizwert des Gases kcal/Nm ³ | Gaswertzahl |
|----------------|--|-------------|
| 1115° | 5710 | 1895 |
| 1160° | 5570 | 1920 |
| 1215° | 5345 | 1920 |

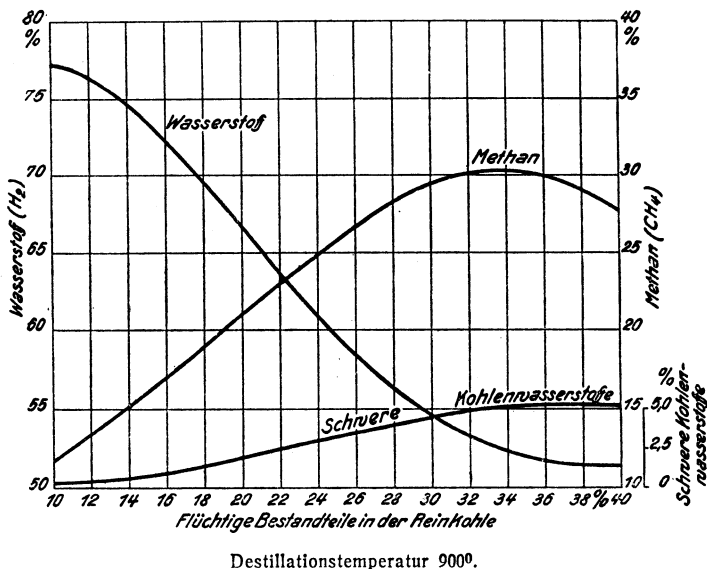
¹⁾ Kalender für das Gas- und Wasserfach 1931.

Änderung der Gaszusammensetzung mit der Ofentemperatur¹⁾.

| Gaszusammensetzung | | Ofentemperaturen | | |
|-------------------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | 1050 ^o | 1180 ^o | 1250 ^o |
| CO ₂ | Vol. % | 2,7 | 2,6 | 2,4 |
| C _m H _n | „ | 4,2 | 3,7 | 3,7 |
| O ₂ | „ | 0,7 | 0,9 | 0,6 |
| CO | „ | 9,2 | 9,4 | 10,2 |
| H ₂ | „ | 49,8 | 50,6 | 52,8 |
| CH ₄ | „ | 29,7 | 29,6 | 28,9 |
| N ₂ | „ | 3,7 | 3,2 | 1,4 |

1) Kalender für das Gas- und Wasserfach 1931.

Abhängigkeit des Gehaltes an Wasserstoff, Methan und schweren Kohlenwasserstoffen des Destillationsgases von Ruhr- und Aachener Kohlen von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, bezogen auf Reinkohle.



Nach Untersuchungen unseres chemischen Laboratoriums.

3. Mischgas, Streckgas.

Bei den meisten Gaswerken wird der Heizwert des Destillationsgases durch Zumischen eines sogenannten Streckgases von geringerem Heizwert herabgesetzt. Als Streckgase können Wassergas, Generatorgas und Abgase dienen.

Für die Errechnung der Zusatzgasmenge gilt die Formel

$$x = \frac{d(a-b)}{b-c}$$

Hierbei ist:

a = Heizwert des Destillationsgases in kcal/Nm³

b = Heizwert des Mischgases in kcal/Nm³

c = Heizwert des Zusatzgases in kcal/Nm³

d = Destillationsgasmenge in Nm³/t Kohle

x = Zusatzgasmenge in Nm³/t Kohle

x + d = Ausbeute an Mischgas in Nm³/t Kohle

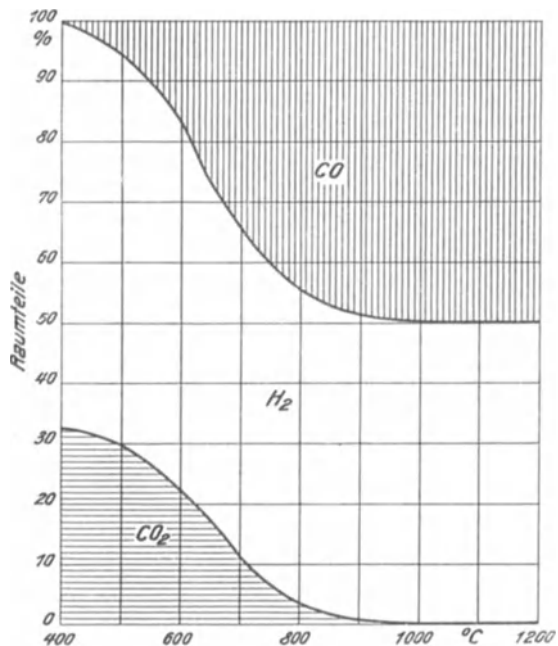
In der Mehrzahl aller Fälle dürfte als Zusatzgas Wassergas in Betracht kommen, das in der Ofenkammer durch Dampfeinblasen erzeugt werden kann.

Auf die *Wassergasherstellung in der Ofenkammer* sind von Einfluß:

- a) Temperatur des in Reaktion tretenden Koks,
- b) Berührungsdauer bzw. Weglänge des Wasserdampfes im Koks,
- c) Temperatur und Verteilung des zugeleiteten Dampfes.

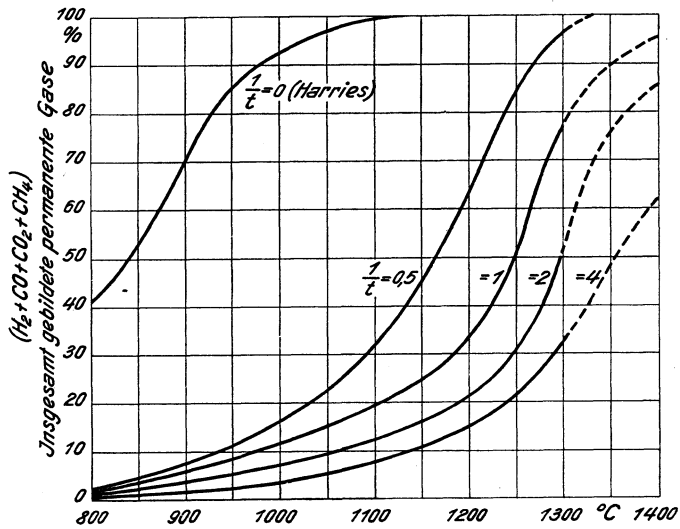
Ist die Reaktionstemperatur zu niedrig, so enthält das Wassergas an Stelle von CO viel CO₂.

Gaszusammensetzung im Gleichgewichtszustand bei der Vergasung von Kohlenstoff mit Wasserdampf.



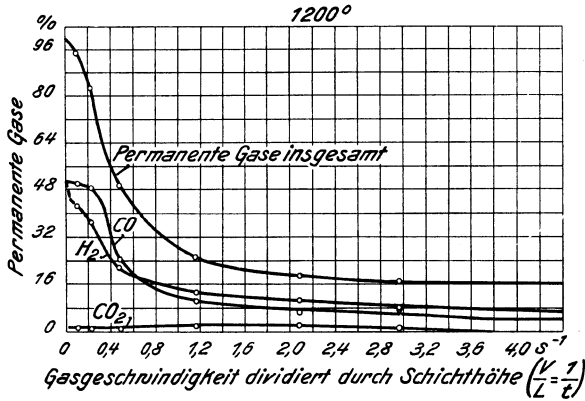
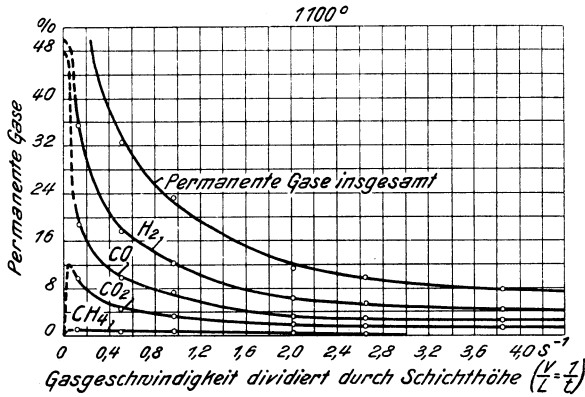
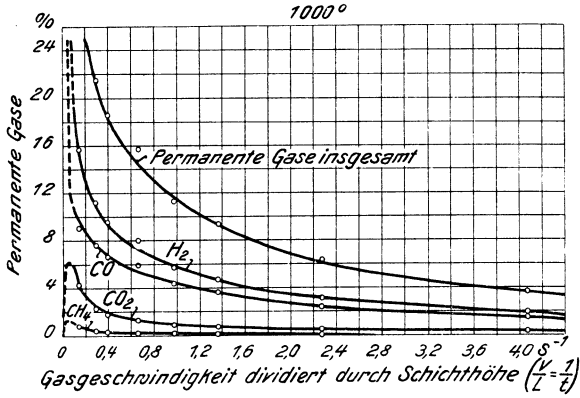
Nach Terres, Patscheke, Hofmann, Kovačs und Löhr, Gas- u. Wasserfach 1934, S. 653.

Zersetzung von Wasserdampf in einer glühenden Koksschicht bei verschiedenen Temperaturen und Berührungszeiten.



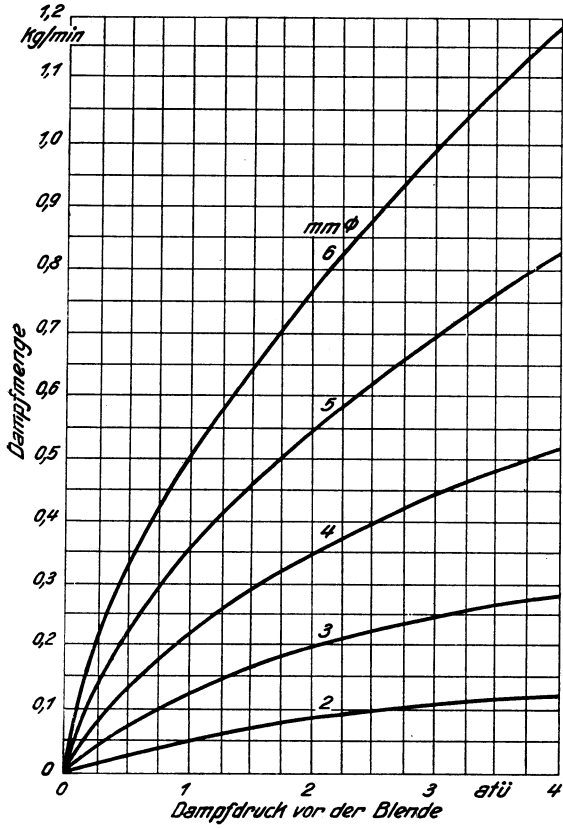
Nach Clement und Adams, Bull. Bur. Min. 1911, Nr. 7.

Zeretzungsbestandteile des Wasserdampfes in einer Koksschicht von 1000, 1100 und 1200° bei verschiedenen Berührungszeiten.

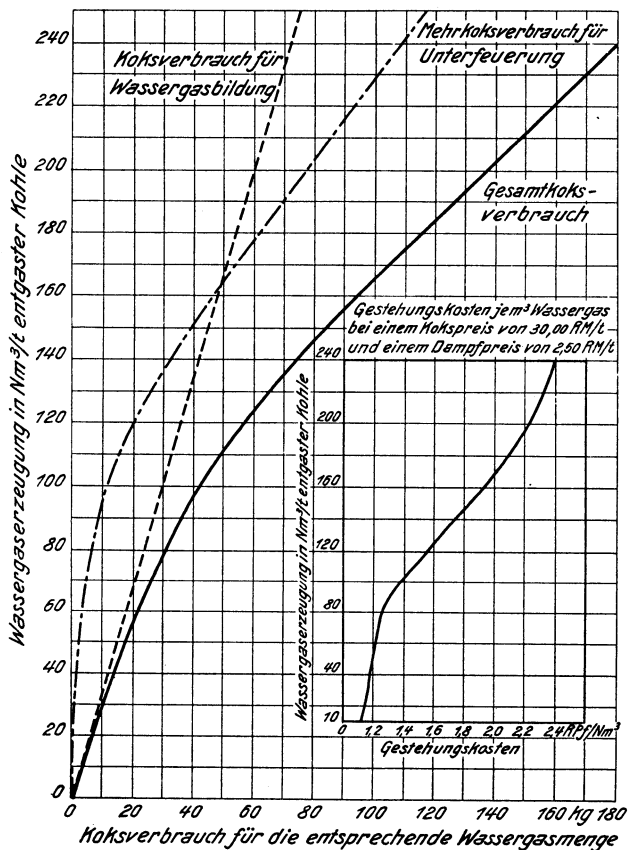


Mitteilung Nr. 75 der Wärmestelle Düsseldorf, Ausgabe 1.

Dampfdurchgang durch Blenden von 2 mm Blechstärke.



Koksverbrauch bei der Wassergaserzeugung in der Ofenkammer.
 Gestehungskosten je m³ Wassergas.



Nach Kemper, A., Gasfernversorgung. Halle 1930, Zahlentafel III.

4. Gasausbeuten bei Entgasung von Ruhr-, Aachener und Saarkohlen.

| Herkunft | | Kohle | | | | | | | | | | Ofenanlage | | | | | Entgasungsbedingungen | | | | Gaserzeugung | | | | |
|----------|---------------------------|-------------|----------|---------|---------------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|--------|--------------------|----------|--------------------|---------------------|----------------|-----------------------------|--|-------------------------------|------------------------|-------------|-----------------|------------------------|---|------|------|------|
| | | Kohlensorte | Wasser % | Asche % | flücht. Bestandt. % | Tiegelkoks % | Reinkohle in d. Rohkohle % | Flucht. Best. in der Reink. % | System | Kammer- | | Temp. Heizzüge o C | Temp. Koksmitte o C | Betriebszeit h | Rohkohle Nm ³ /h | Ob. red. Gas bei Heizwert kcal/Nm ³ | Wertzahl mit Benzol [kcal.kg] | | Rein- kohle | Rein- gaszusatz | Streck- ohne gaszusatz | | | | |
| | | | | | | | | | | Mittlere Breite mm | Inhalt t | | | | | | bei Streck- gaszusatz | ohne Streck- gaszusatz | | | | | | | |
| Ruhr | Gasförderk. | 2,3 | 7,5 | 31,5 | 66,2 | 90,2 | 34,9 | Horizontal- kammer | 460 | 10,0 | 1150 | 980 | 24 | 314 | 5745 | — | — | 1804 | 2000 | — | — | — | 1872 | 1974 | |
| Ruhr | Gasstücke | 1,7 | 3,5 | 29,6 | 68,7 | 94,8 | 31,2 | Horizontal- kammer | 460 | 10,0 | 1150 | 980 | 24 | 327 | 5725 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | |
| Aachen | gew. Feinkohle | 10,0 | 7,5 | 17,3 | 72,7 | 82,5 | 21,0 | Horizontal- kammer | 450 | 18,0 | 1250 | 1000 | 20 | 320 | 4450 | 1424 | 1726 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Saar | gew. Fett- feinkohle | 8,0 | 6,5 | 29,5 | 62,5 | 85,5 | 34,5 | dgl. Stampf- verfahren | 450 | 9,5 | 1100 | 950 | 20 | 320 | 5620 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1798 | 2103 |
| Ruhr | Gasnuß 4 | 3,2 | 5,9 | 31,6 | 65,2 | 90,9 | 34,8 | Horiz. Klein- kamm. (Glofin) | 330 | 0,55 | 1220 | 1000 | 16 | 451 | 4480 | 2020 | 2222 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | Fettnuß 5 Gasnuß 2 | 5,0 | 6,1 | 26,7 | 68,3 | 88,9 | 30,0 | Horiz. Klein- kamm. | 270 | 1,45 | 1280 | 1050 | 9 | 480 | 4385 | 2105 | 2367 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | gew. Gasfeink. | 10,4 | 5,6 | 28,3 | 60,9 | 84,0 | 33,7 | Vertikal- kammer | 280 | 1,85 | 1120 | 960 | 16 | 462 | 4580 | 2116 | 2519 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | Fettnuß 5 | 5,2 | 5,7 | 27,4 | 67,4 | 89,1 | 30,8 | Vertikal- kammer | 315 | 1,5 | 1180 | 1000 | 22 | 519 | 4170 | 2164 | 2428 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | Gasnuß 5 | 4,8 | 5,1 | 27,5 | 67,7 | 90,1 | 30,5 | Vertikal- kammer | 300 | 1,85 | 1200 | 1000 | 18 | 541 | 4200 | 2272 | 2521 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | Gasnuß 5 | 3,8 | 6,3 | 27,4 | 68,8 | 89,9 | 30,5 | Vertikal- kammer | 290 | 1,50 | 1180 | 980 | 24 | 409 | 4560 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1865 | 2074 |
| Ruhr | Gasnuß 4 Fetstücke | 3,4 | 5,3 | 30,5 | 66,1 | 91,3 | 33,4 | Vertikal- kammer | 300 | 3,0 | 1250 | 1050 | 18 | 607 | 4210 | 2555 | 2803 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | Gasförderk. | 2,3 | 6,9 | 28,5 | 69,2 | 90,8 | 31,4 | Schräg- kammer | 425 | 10,5 | 1130 | 920 | 24 | 406 | 4800 | 1947 | 2144 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | Gasnuß 4 | 3,8 | 6,2 | 28,6 | 67,2 | 90,0 | 31,8 | Kontinuierl. Vertikal kam. | 320 | 6t/ 24h | 1240 | — | — | 478 | 4540 | 2170 | 2411 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | gew. Feinfeink. Wasagrües | 9,2 | 6,4 | 25,7 | 65,1 | 84,4 | 30,5 | Kontinuierl. Vertikal kam. | 415 | 12t/ 24h | 1260 | — | — | 481 | 4290 | 2063 | 2444 | — | — | — | — | — | — | — | |
| Ruhr | Gasförder | 2,1 | 7,1 | 28,9 | 69,0 | 90,8 | 31,8 | Horizontal- Retorten | — | — | 1150 | 950 | 6 | 295 | 5640 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1664 | 1832 |

5. Richtlinien für die Gasbeschaffenheit.

Deutschland. (Beschluß des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern) ¹⁾

Oberer Heizwert 4000—4300 kcal/Nm³

Spez.-Gewicht (bezogen auf Luft = 1): unter 0,5

Reinheit von H₂S, NH₃ und Teer

Gleichmäßigkeit hinsichtlich des Heizwertes, spezifischen Gewichts und Druckes.

6. Übliche Gas-Heizwerte im Ausland.²⁾

| | Oberer Heizwert |
|---|--------------------------------|
| England ohne Bindung, vorwiegend . . . | 4000—4500 kcal/Nm ³ |
| Frankreich lt. Gesetz vom Juli 1923 . . . | 3500—4500 kcal/Nm ³ |
| Holland | 4300 kcal/Nm ³ |
| Schweiz lt. Beschluß des Schweizer Vereins von Gas- und Wasserfachmännern vom 7. September 1926 | 5000 kcal/Nm ³ |

¹⁾ Gas- u. Wasserfach 1921, S. 424 und 1925, S. 607.

²⁾ Gas- u. Wasserfach 1925, S. 607.

7. Mittlere Zusammensetzung, spezifisches Gewicht, Heizwert und Luftbedarf technischer Gase.

| | Steinkohlengas aus Großraumöfen | | | Wassergas (Koksgas) | |
|--|---------------------------------|----------------|-------------------|---------------------|-------------|
| | trockener Betrieb | nasser Betrieb | mit 40% Wassergas | blau | karburiert |
| <i>Zusammensetzung:</i> | | | | | |
| CO ₂ | 1,1 | 2,0 | 2,5 | 4,6 | 5,3 |
| C _m H _n | 3,5 | 2,6 | 2,1 | — | 9,2 |
| CO | 8,9 | 13,0 | 21,2 | 39,7 | 29,7 |
| CH ₄ | 28,7 | 22,9 | 17,6 | 0,9 | 13,9 |
| H ₂ | 53,7 | 56,1 | 52,5 | 50,8 | 36,2 |
| N ₂ | 4,1 | 3,4 | 4,1 | 4,0 | 6,2 |
| <i>Heizwert von 1 Nm³:</i> | | | | | |
| oberer | 5129 | 4639 | 4192 | 2800 | 4677 |
| unterer | 4576 | 4142 | 3769 | 2573 | 4290 |
| spezifisches Gewicht | 0,44 | 0,45 | 0,47 | 0,53 | 0,70 |
| 1 Nm ³ braucht Verbrennungsluft | 5,0 | 4,4 | 3,9 | 2,3 | 4,4 |
| 1 Nm ³ Azetylen unterer Heizwert 13 600 kcal/Nm ³ , spezifisches Gewicht 0,91, Luftbedarf 12 Nm ³ | | | | | |
| 1 " Blaugas | 15 000 | " | " | 0,96, | " etwa 15 " |
| 1 " Luftgas (mit 250 g Pentan) | 2 900 | " | " | 1,12, | " 3 " |
| 1 " Naturgas | 8 000 | " | " | 0,58, | " etwa 9 " |

Kalender für das Gas- und Wasserfach 1931.

8. Umrechnung eines abgelesenen Gasvolumens auf den Normzustand.

V_0 = Volumen in Nm³.

V_t = Volumen des bei t^0 , dem Barometerstand b und dem Gasdruck p (Über- oder Unterdruck) in mm QS feucht gemessenen Gases in m³.

p_w = Spannung des Wasserdampfes bei t^0 in mm QS.

$$V_0 = V_t \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{b - p_w + p}{760}$$

Zur Umrechnung eines für 0^0 und 760 mm QS errechneten trockenen Gasvolumens V_0 auf t^0 , auf den Barometerstand b und den Gasdruck p (feucht) benutzt man folgende Formel:

$$V_t = V_0 \cdot \frac{273 + t}{273} \cdot \frac{760}{b - p_w + p}$$

9. Umrechnung eines abgelesenen Gasvolumens auf ein anderes Volumen.

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{273 + t_2}{273 + t_1} \cdot \frac{b_1 - p_{w1} + p_1}{b_2 - p_{w2} + p_2}$$

Hierin ist

V_1 = Volumen in m³ des bei t_1^0 , dem Barometerstand b und dem Gasdruck p_1 in mm QS feucht gemessenen Gases,

V_2 = gesuchtes Gasvolumen in m³ für die Temperatur von t_2^0 , den Barometerstand b_2 und den Gasdruck p_2 in mm QS feuchten Gases,

p_{w1} = Spannung des Wasserdampfes bei t_1^0 in mm QS,

p_{w2} = Spannung des Wasserdampfes bei t_2^0 , in mm QS.

Umrechnungsfaktor für Gase von 0^0 , 760 mm QS trocken auf 15^0 , 760 mm QS feucht = 1,073.

Bei genaueren Messungen ist das mit der Temperatur veränderliche spez. Gewicht des Quecksilbers bzw. des Wassers zu berücksichtigen.

10. Reduktion des Barometerstandes auf 0°.

| bei t° C | Abgelesener Barometerstand b in mm | | | | | | | | | | | 0,008 · t mm | | |
|-------------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------------|------|------|
| | 690 | 700 | 710 | 720 | 730 | 740 | 750 | 760 | 770 | 780 | mm | | | |
| 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,02 |
| 4 | 0,45 | 0,46 | 0,46 | 0,47 | 0,48 | 0,48 | 0,48 | 0,49 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,51 | 0,03 |
| 6 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | 0,73 | 0,74 | 0,74 | 0,75 | 0,75 | 0,76 | 0,05 |
| 8 | 0,90 | 0,91 | 0,93 | 0,94 | 0,95 | 0,97 | 0,97 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | 1,01 | 1,01 | 1,02 | 0,06 |
| 10 | 1,13 | 1,14 | 1,16 | 1,17 | 1,19 | 1,21 | 1,21 | 1,22 | 1,24 | 1,24 | 1,26 | 1,26 | 1,27 | 0,08 |
| 12 | 1,35 | 1,37 | 1,39 | 1,41 | 1,43 | 1,45 | 1,45 | 1,47 | 1,49 | 1,49 | 1,51 | 1,51 | 1,53 | 0,10 |
| 14 | 1,57 | 1,60 | 1,62 | 1,64 | 1,67 | 1,69 | 1,69 | 1,71 | 1,73 | 1,73 | 1,76 | 1,76 | 1,78 | 0,11 |
| 16 | 1,80 | 1,82 | 1,85 | 1,88 | 1,90 | 1,93 | 1,93 | 1,96 | 1,98 | 1,98 | 2,01 | 2,01 | 2,03 | 0,13 |
| 18 | 2,02 | 2,05 | 2,08 | 2,11 | 2,14 | 2,17 | 2,17 | 2,20 | 2,23 | 2,23 | 2,26 | 2,26 | 2,29 | 0,14 |
| 20 | 2,25 | 2,28 | 2,31 | 2,34 | 2,38 | 2,41 | 2,41 | 2,44 | 2,47 | 2,47 | 2,51 | 2,51 | 2,54 | 0,16 |
| 22 | 2,47 | 2,51 | 2,54 | 2,58 | 2,61 | 2,65 | 2,65 | 2,69 | 2,72 | 2,72 | 2,76 | 2,76 | 2,79 | 0,18 |
| 24 | 2,69 | 2,73 | 2,77 | 2,81 | 2,85 | 2,89 | 2,89 | 2,93 | 2,97 | 2,97 | 3,01 | 3,01 | 3,05 | 0,19 |
| 26 | 2,92 | 2,96 | 3,00 | 3,04 | 3,09 | 3,13 | 3,13 | 3,17 | 3,21 | 3,21 | 3,26 | 3,26 | 3,30 | 0,21 |
| 28 | 3,14 | 3,19 | 3,23 | 3,28 | 3,32 | 3,37 | 3,37 | 3,41 | 3,46 | 3,46 | 3,51 | 3,51 | 3,55 | 0,22 |
| 30 | 3,36 | 3,41 | 3,46 | 3,51 | 3,56 | 3,61 | 3,61 | 3,66 | 3,71 | 3,71 | 3,75 | 3,75 | 3,80 | 0,24 |

Von einem Barometerstande b , welcher bei t^0 an einem bei 0^0 richtigen Messing-Maßstabe abgelesen wurde, ist der in der Tabelle enthaltene Korrektionswert abzuziehen, um den auf 0^0 reduzierten Barometerstand b_0 zu erhalten. Für die in der Tafel 10 nicht enthaltenen t - und b -Werte wird sinngemäß interpoliert.

Z. B. $t = 20^0$, $b = 765$ mm, abzuziehende Korrektur = 2,49 mm, $b_0 = 762,5$ mm, oder $t = 11^0$, $b = 734$ mm, abzuziehende Korrektur = 1,32 mm, $b_0 = 732,7$ mm.

Bei einer Ablesetemperatur unter 0^0 (etwa bis -10^0) sind die entsprechenden Werte hinzuzuzählen; z. B.: $t = -4^0$, $b = 751$ mm, hinzuzuzählende Korrektur 0,49 mm, $b_0 = 751,5$ mm.

Für Ablesungen an einem Glas-Maßstab sind die Zahlenwerte der Tafel um $0,008 \times t$ zu vergrößern, vgl. letzte Spalte der Tafel. Z. B.: $t = 18^0$, $b = 740$ mm, abzuziehende Korrektur = $2,17 + 0,14 = 2,3$ mm, $b = 737,7$ mm.

II. Berechnung des Auftriebes von Gasen.

Bedeutet:

h Auftrieb in mm WS,

H Auftriebshöhe in m,

γ_1 und γ_2 Raumgewichte des schwereren bzw. leichteren Gases im Betriebszustand in kg/m^3 ,

so ist $h = H (\gamma_1 - \gamma_2)$.

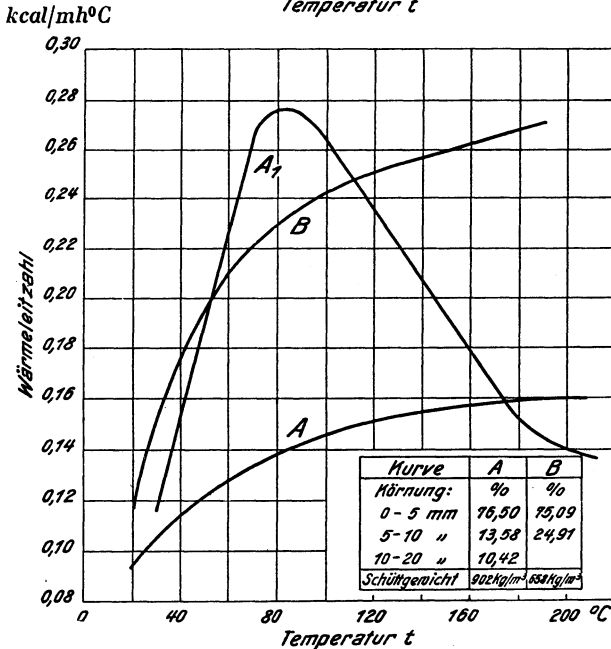
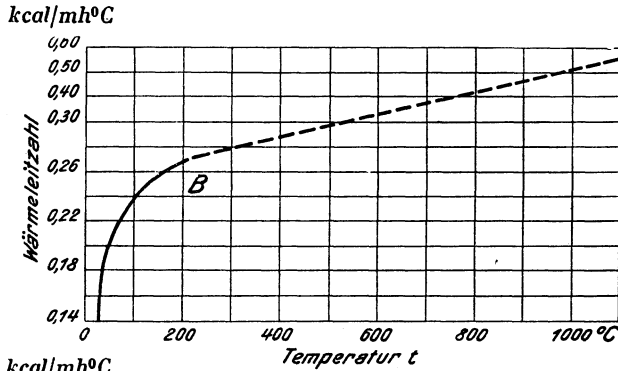
IV. Wärmetechnische Anhaltzahlen für Entgasungsöfen.

1. Mittlere spezifische Wärme von Koks.

| Temperaturbereich ^0C | Quarz | Graphit | Koks mit einem Aschegehalt von | |
|-----------------------------------|-------|---------|--------------------------------|-------|
| | | | 10% | 20% |
| 20— 200 | 0,204 | 0,226 | 0,224 | 0,222 |
| 20— 400 | 0,227 | 0,280 | 0,275 | 0,269 |
| 20— 600 | 0,242 | 0,317 | 0,309 | 0,302 |
| 20— 800 | 0,250 | 0,342 | 0,333 | 0,324 |
| 20—1000 | 0,256 | 0,362 | 0,351 | 0,340 |

Nach Schläpfer und Debrunner, Monatsbull. schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. 1924, S. 21.

2. Wärmeleitzahlen von geschütteten Kohlen und Koks in Abhängigkeit von der Temperatur.



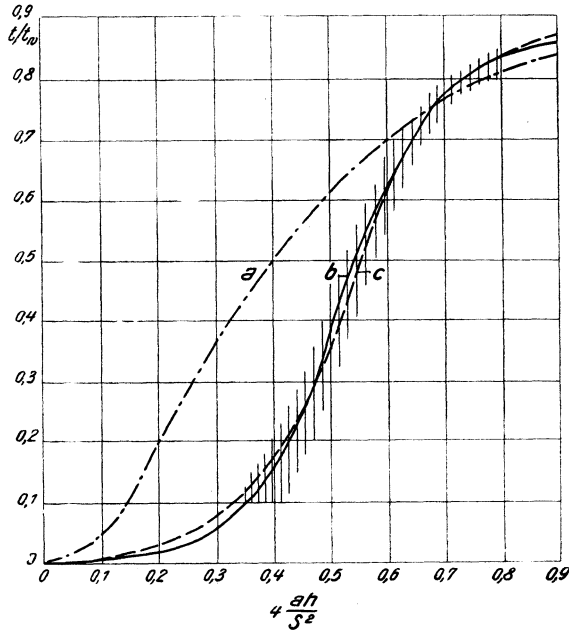
A : Kurve für trockenen Steinkohlengrieß,

A₁ : Kurve für feuchten Steinkohlengrieß mit 10,88 % Wasser,

B : Kurve für Koks, hergestellt aus dem Steinkohlengrieß A.

Nach Schläpfer und Nosowicz, a. a. O. 1936, S. 86.

3. Temperaturanstieg in der Mittelebene einer Kokskammer.



- Kurve a = Temperaturverlauf in einem festen Körper nach Fourier.
 Kurve b = Temperaturverlauf errechnet nach den von Litterscheidt zusammengestellten Schlußergebnissen.
 Kurve c = Temperaturverlauf empirisch ermittelt nach Litterscheidt.

Es ist:

$$a = \text{Temperaturleitzahl} = \frac{\lambda}{\gamma \cdot c} \text{ in m}^2/\text{h}$$

worin bedeuten:

λ Wärmeleitzahl in $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}}$

γ spezifisches Gewicht in kg/m^3

c spezifische Wärme in $\frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Nach Schläpfer und Rohonczy, a. a. O. 1936, S. 80.

- h Zeit in Stunden.
- s Kammerbreite in m.
- t Temperatur an einer Stelle des Körpers in einem gewissen Zeitpunkt in °C.
- t_w Temperatur der Heizwand in °C.

Beispiel: Bei einer Koks-Endtemperatur $t = 850^\circ$ und einer Heizwandtemperatur $t_w = 1000^\circ$ wird der Faktor $t/t_w = 0,85$. Für diesen Fall nimmt der dimensionslose Ausdruck

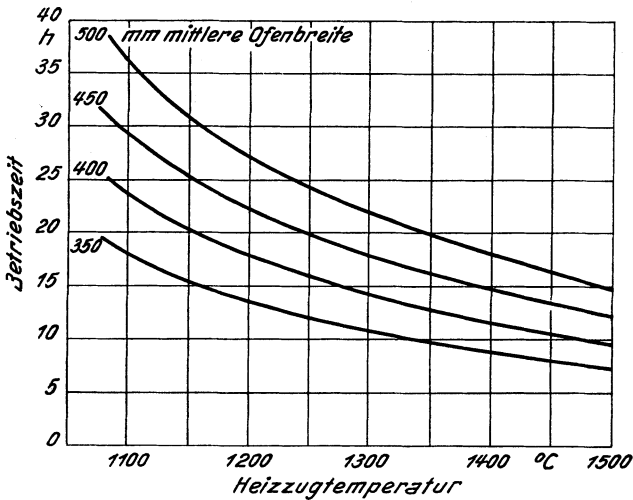
$\frac{4ah}{s^2}$ den Wert von 0,9 an, so daß

$$h = 0,225 \cdot \frac{s^2}{a} \text{ ist.}$$

Mit $\lambda = 0,30$, $c = 0,35$ und $\gamma = 600$ wird $a = 0,00143$.

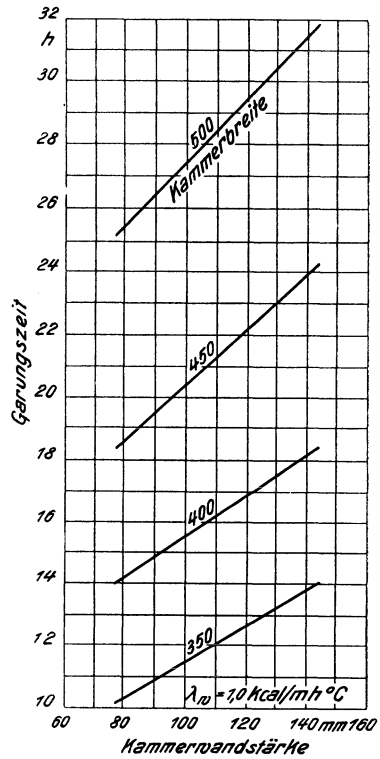
Ist $s = 0,3$, so ergibt sich: $h = \frac{0,225 \cdot 0,09}{0,00143} \sim 14,2$.

4. Abhängigkeit der Betriebszeit von der Heizzugtemperatur und der Ofenbreite bei gleicher Koksendtemperatur (950 °) nach Litterscheidt.



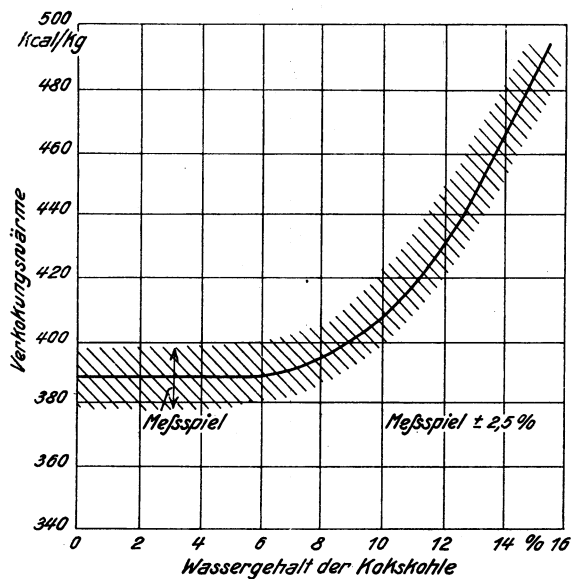
Veröffentlichungen des Vereins zur Überwachung der Kraftwirtschaft der Ruhrzechen, 1935/36 Heft 2.

5. Einfluß der Kammerwandstärke auf die Gärungszeit.



Nach Jäger, H., Gas- u. Wasserfach 1935, S. 332 ff.

6. Verkokungswärme für 1 kg Trockenkohle bei einer Koksendtemperatur von 950°.



Nach Baum, K., Veröff. Ver. Überw. Kraftwirtsch. d. Ruhrzechen, Essen 1935/36, H. 2.

7. Änderung des Unterfeuerungs-aufwandes von Ofenbatterien in Abhängigkeit von der Belastung.

a) Koksofenbatterie:

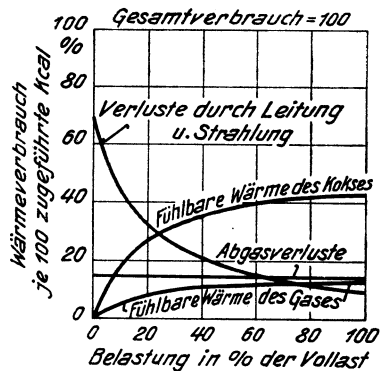
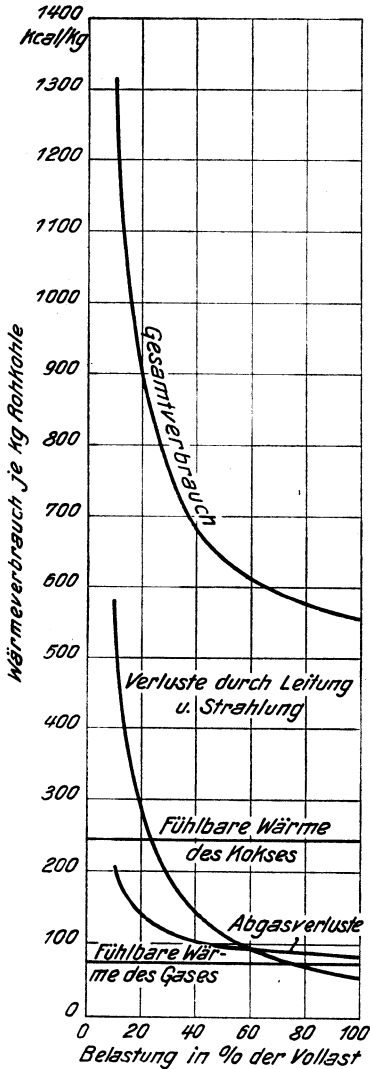
30 Horizontal-Kammern
in einem Block,
Regenerativ-Feuerung
Kammerfüllung 8,85 t

Versuchsbedingungen:

Ausstezeit 19 h
Kohldurchsatz 386 t/Tag
Beheizung Starkgas
Keine Wassergaserzeugung
in den Kammern.

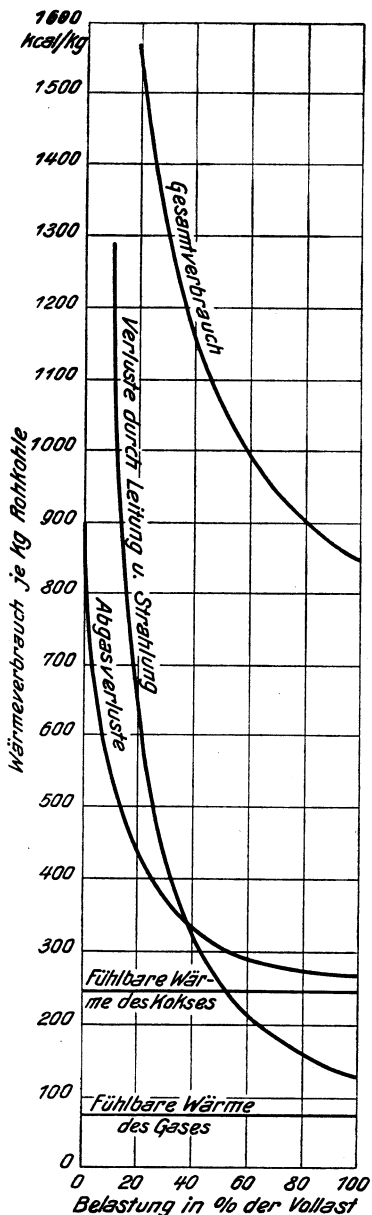
Versuchsergebnisse:

Koksendtemperatur... 1050°
Oberer Gasheizwert... 5500 kcal/Nm³
Luftüberschuß..... 1,49
Abgasverluste 15,4%
CO₂-Gehalt der Abgase ~ 9,3%
Abgastemperatur bei
Regeneratöraustritt ~ 325°
Strahlungsverluste 10,3%
Oberflächentemperaturen
des Mauerwerks 40 bis 75°
der Eisenteile 120 bis 190°
Zugeführte Wärme
je kg Rohkohle 414 kcal
Unterfeuerungs-aufwand
je kg Rohkohle 556 kcal
(im Gas dem Ofen zugeführt)



Nach Schläpfer, P., Monatsbull. schweiz. Ver. Gas- u. Wasserfachm. 1935 S. 207.

Änderung des Unterfeuerungsaufwandes von Ofenbatterien in Abhängigkeit von der Belastung.



b) Vertikalkammerofenbatterie:

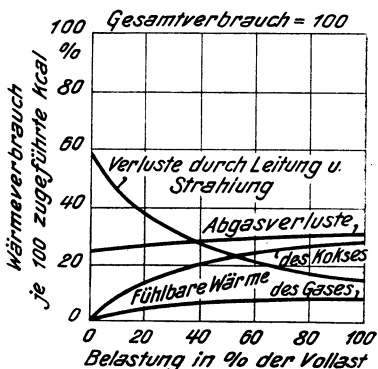
2 Öfen mit je 6 Kammern,
Rekuperativ-Feuerung.

Versuchsbedingungen:

Naßbetrieb,
Überbelastung 20%
Beheizung (eingebaute
Gaserzeuger)..... Gaserzeuger
Wassergaserzeugung in den Kammern.

Versuchsergebnisse:

Koksendtemperatur... 1000°
Oberer Gasheizwert ... 5075 kcal/Nm³
Luftüberschuß..... 1,01
Abgasverluste..... 34,9%
CO₂-Gehalt der Abgase ~ 19%
CO - Gehalt der Abgase 1,5-2%
Abgastemperatur
bei Rekuperatoraustritt 500 bis 550°
Strahlungsverluste 12,9%
Oberflächentemperaturen
des Mauerwerks 80 bis 140°
der Eisenteile 125 bis 250°
Zugeführte Wärme je kg
Rohkohle 465 kcal
Unterfeuerungsauwand
je kg Rohkohle..... 863 kcal
(im Koks den Gaserzeugern zugeführt)
Einzelgenerator η
(kaltes Gas)..... 71,7%



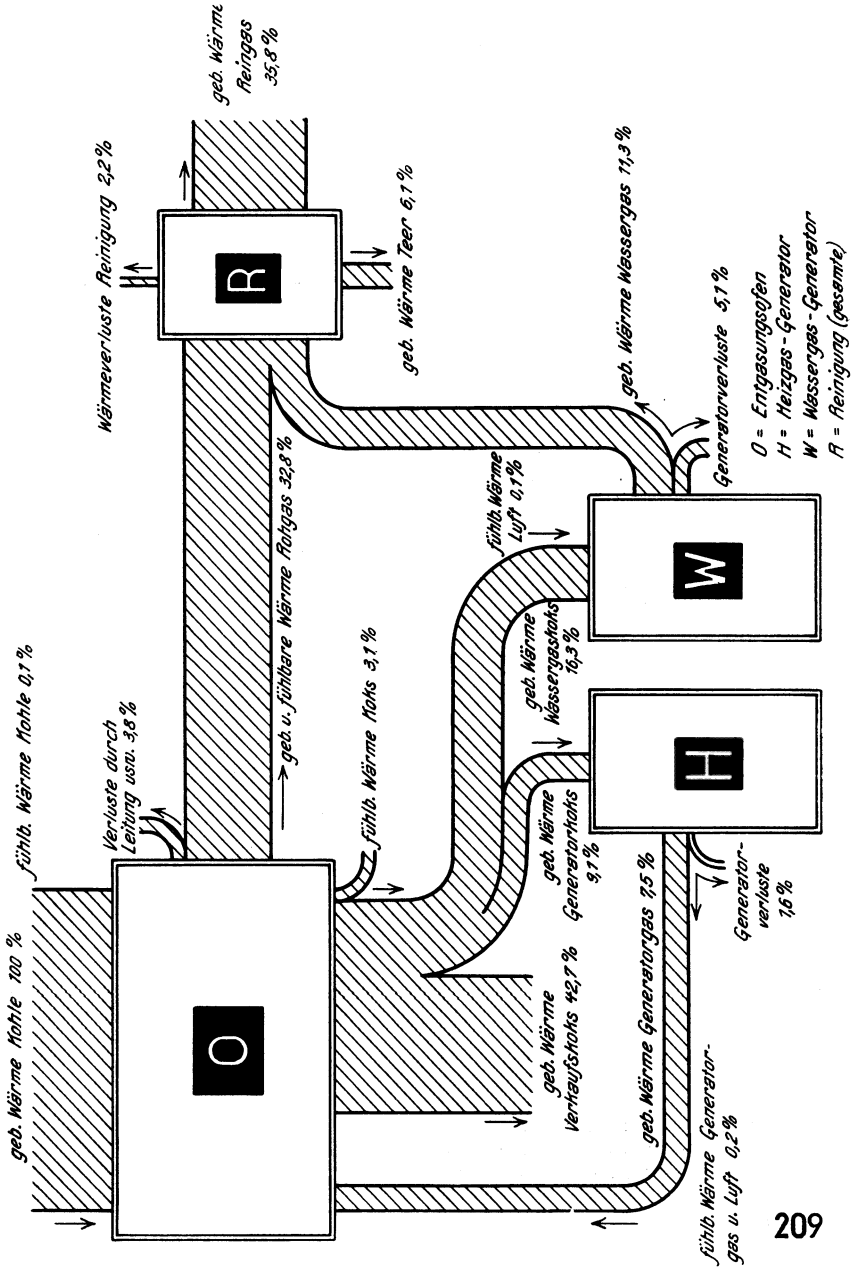
Nach Schläpfer, P., a. a. O 1935, S. 209 und 212.

8. Wärmestrombild eines Stadtgaswerkes. Mischgas aus Ofengas und in besonderer Anlage erzeugtem Wassergas, Heizgas, Halbwassergas aus Zentralgeneratoren.

Es ergibt sich folgender Haushalt: 1 t Kohle liefert

| | | |
|---|------------------|------------------------------|
| 671,6 Nm ³ Gas von 4200 kcal/Nm ³ | 259 390 kcal = | 35,8 % |
| 50 kg Teer mit 8850 kcal/kg | 44 250 „ = | 6,1 % |
| 439 kg trockenen Verkaufskoks mit 70,44 kcal/kg | 309 230 „ = | 42,7 % |
| | zusammen: | 612 870 kcal = 84,6 % |

Das Wärmeausbringen des Gaswerks beträgt also fast 85 %.



Nach Schuster, F., Energetische Grundlagen der Gastechnik. Halle 1933.

9. Ausbeute an Tief- und Hochtemperaturteer aus Steinkohlen, bezogen auf Reinkohle.

| Kohlenart | Tieftemperaturteer ¹⁾ % | Hochtemperaturteer ²⁾ % |
|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Anthrazit-Kohlen, Gruppe I | 0,50— 0,75 | 0,1 — 0,2 |
| Anthrazit-Kohlen, Gruppe II | 0,70— 1,00 | 0,15—0,30 |
| EBkohlen | 1,00— 4,00 | 0,3 — 2,5 |
| Fettkohlen | 4,00—11,00 | 2,5 — 5,0 |
| Gas- und Gasflammkohlen | 11,00—14,00 | 5,0 — 6,0 |

10. Verteilung des Stickstoffes der Kohle bei der Entgasung.³⁾

| | |
|--|-------|
| Stickstoffgehalt im Koks | 60 % |
| Stickstoffgehalt im Gas | 23 % |
| Stickstoffgehalt im Ammoniak | 14 % |
| Stickstoffgehalt im Zyan | 1,8 % |
| Stickstoffgehalt im Teer | 1,2 % |

¹⁾ Laboratoriumsfeststellungen nach Fischer.

²⁾ Laboratoriumsfeststellungen nach Bauer.

³⁾ Kalender für das Gas- und Wasserfach 1931.

Siebenter Teil.

**Vergasung von Brennstoffen
des Ruhr-, Aachener
und Saarbergbaues.**

1. Für Vergasungszwecke geeignete Brennstoffarten.

| Brennstoff | Flüchtige Bestandteile in der Reinkohle % | Kaltgas oder Warmgas | Verwendungszweck des Gases |
|---|---|----------------------|--|
| Saarflammand Saar-fettkohlen, Ruhrgas- u. -Gasflammkohlen | 30—40 | Warmgas | Schmelzöfen der Eisen-, Metall- und Glasindustrie, Öfen der keramischen und chemischen Industrie, Wärm- und Glühöfen für Schmieden und Walzwerke. |
| Anthrazit | 8—12 | Warmgas | Wärm- und Glühöfen der Eisen-, Metall- und keramischen Industrie, Temperöfen. |
| Koks | < 1 | Warmgas | Wie bei Anthrazit. |
| Anthrazit | 8—12 | Kaltgas gereinigt | Wärm- und Glühöfen, keramische Öfen, chemische Industrie, Textilindustrie mit verzweigtem Leitungsnetz, regelbare Kleinöfen, ortsfeste Gasmotoren, Fahrzeug- und Schiffsmotoren. |
| Koks | < 1 | Kaltgas gereinigt | Wie bei Anthrazit, dazu Schwachgasbeheizung für Gaswerke und Kokereien, Wassergasherstellung, Synthesegas für Benzingewinnung. |

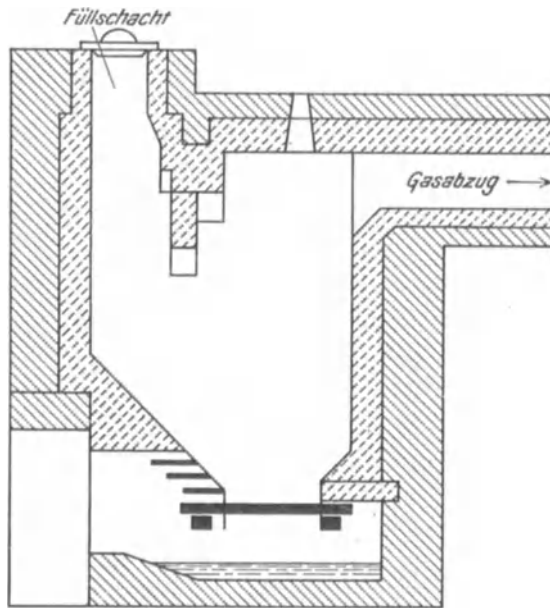
2. Gaserzeugerbauarten.

Man unterscheidet nach der Bauart des Rostes drei Arten:

- a) Festrostgaserzeuger,
- b) rostlose Gaserzeuger mit Windhaube,
- c) Drehrostgaserzeuger.

a) *Der Festrostgaserzeuger* besitzt meist einen gemauerten Schacht von rundem oder rechteckigem Querschnitt. Träger der Brennstoffschicht ist ein Planrost, Schrägrost oder Treppenrost. Die Vergasungsluft wird unter dem Rost durch natürlichen Zug oder mit Gebläse zugeführt. Die Vergasungsluft wird bei natürlichem Zug häufig nur durch Wasserverdunstung aus unter dem Rost befindlichen Wassertassen befeuchtet, wobei die durch den Rost fallende heiße Asche die Verdunstung unterstützt. Bei Gebläse-

wind kann der Dampfzusatz geregelt werden. Der Rost wird von Hand entschlackt. Bei Planrosten werden, um das Abschlacken zu erleichtern, meistens Hilfsroste eingeschoben.

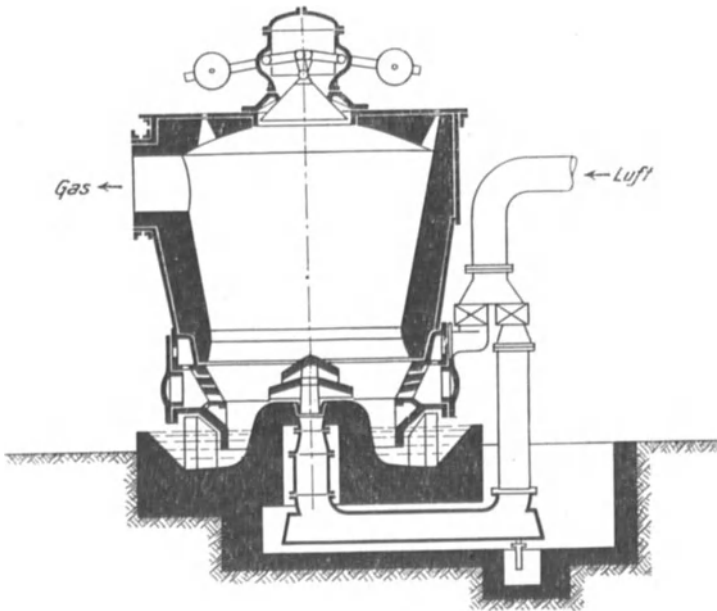


Gaserzeuger mit Treppen- und Planrost.

Die Leistungen der Gaserzeuger mit natürlichem Zug sind gering, außerdem können in ihnen nur stückige Kohlen — grobe Nüsse, Förderkohlen, Generatorkohlen — vergast werden. Man baut sie häufig unmittelbar an die Öfen, um durch den Ofenzug den Auftrieb im Gaserzeuger zu unterstützen und die fühlbare Wärme des Gases möglichst für die Feuerung zu erhalten. Durch Gebläsewind mit Dampfzusatz lassen sich im Festrostgaserzeuger Leistungen von 60—70 % gleich großer Drehrostgaserzeuger erreichen.

Die freistehenden, gemauerten Festrostgaserzeuger werden immer mehr verdrängt durch Gaserzeuger mit Windhaube und durch Drehrostgaserzeuger. Für kleinere Leistungen, in erster Linie zum Betrieb von Gasmotoren, sind auch Festrostgaserzeuger mit wassergekühltem Schacht weit verbreitet.

b) *Der rostlose Gaserzeuger mit Windhaube* hat gewöhnlich einen runden Schacht. Träger der Brennstoffsäule ist die in einer Wassertasse stehende Schlackenschicht. Die Wassertasse bildet gleichzeitig den unteren Abschluß des Gaserzeugers gegen die Außenluft und ermöglicht das Herausziehen der Schlacke mit Kratzern während des Betriebes ohne Störung der Gaserzeugung. Der Wind wird mit einem zentral durch die Schlackenschicht aufsteigenden Windrohr zugeführt, das durch eine Haube abgedeckt ist, zuweilen auch noch durch Randdüsen am Schachttumfang. Die Windhaube muß stets von Schlacke bedeckt sein, da sie sonst verbrennt. Die Windverteilung über den ganzen Querschnitt des Gaserzeugers erfolgt durch die Schlackenschicht.



Rundschaft-Gaserzeuger mit Windhaube und Randdüsen.

Die Vergasungsluft wird gewöhnlich durch Gebläse — Dampfstrahlgebläse oder Ventilatoren — zugeführt. Bei Sauggasbetrieb wird sie durch den im Gaserzeuger herrschenden Unterdruck angesaugt. Ein in der Höhe der Feuerzone des Gaserzeugers angebrachter Wassermantel verhindert das Festbacken von Schlacke

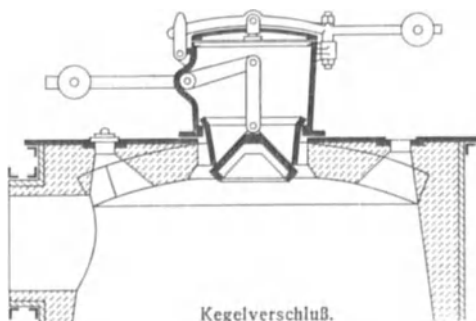
am Gaserzeugerschacht. Er liefert, als Verdampfer ausgebildet, gleichzeitig den für die Windbefeuchtung notwendigen Dampf.

c) Der *Drehrostgaserzeuger* ist ähnlich wie der rostlose Gaserzeuger ausgebildet, nur ist die den unteren Abschluß des Gaserzeugers bildende Aschenschüssel drehbar gelagert, so daß mit Hilfe einer feststehenden Austragschurre ein selbsttätiger Schlackenaustrag erreicht wird. Die Windhaube ist zu einem Haubenrost erweitert, dessen Spitze meist exzentrisch im Schacht steht, so daß der sich mit der Aschenschüssel drehende Rost die Schlacke in dauernder Bewegung hält und so die Bildung von Schlackenkuchen und Hohlräumen verhindert.

Wind wird wie unter b) zugeführt. Der Drehrostgaserzeuger erzielt, besonders wenn er noch mit automatischer Brennstoffbeschickung ausgerüstet ist, in bezug auf Durchsatz und Gasheizwert von allen Gaserzeugerbauarten die größte Leistung. Er wird heute in den Größen 0,4 m bis 3,0 m lichte Weite gebaut.

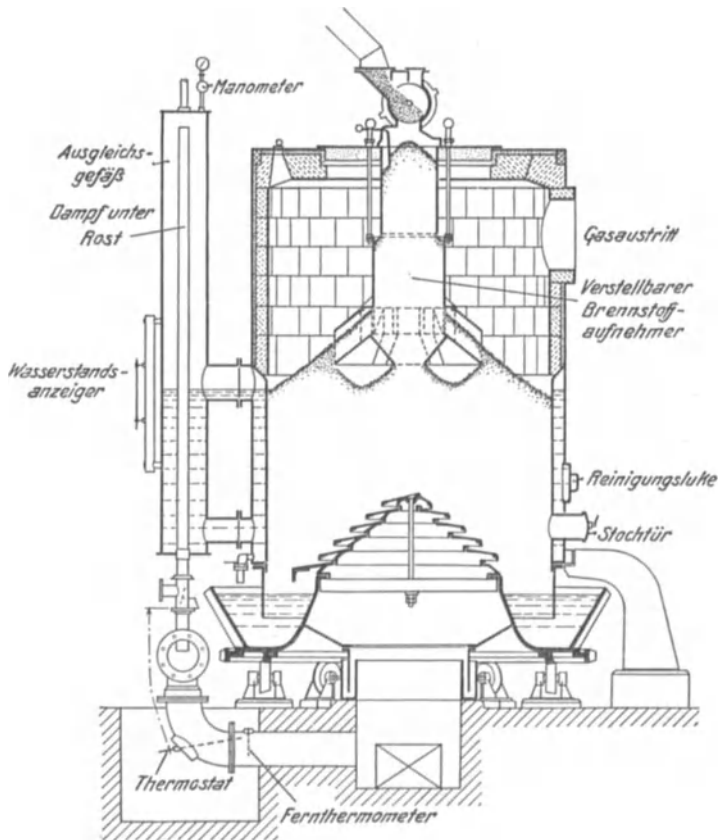
3. Beschickungsvorrichtungen für Gaserzeuger.

Für periodische Aufgabe von Hand ist die gebräuchlichste Beschickungsvorrichtung der Fülltrichter mit Kegelschluß. Durch verschieden rasches Absenken des Kegels und durch Einlegen von Blechen kann die Verteilung des Brennstoffes auf die Oberfläche des Gaserzeugers geregelt werden.



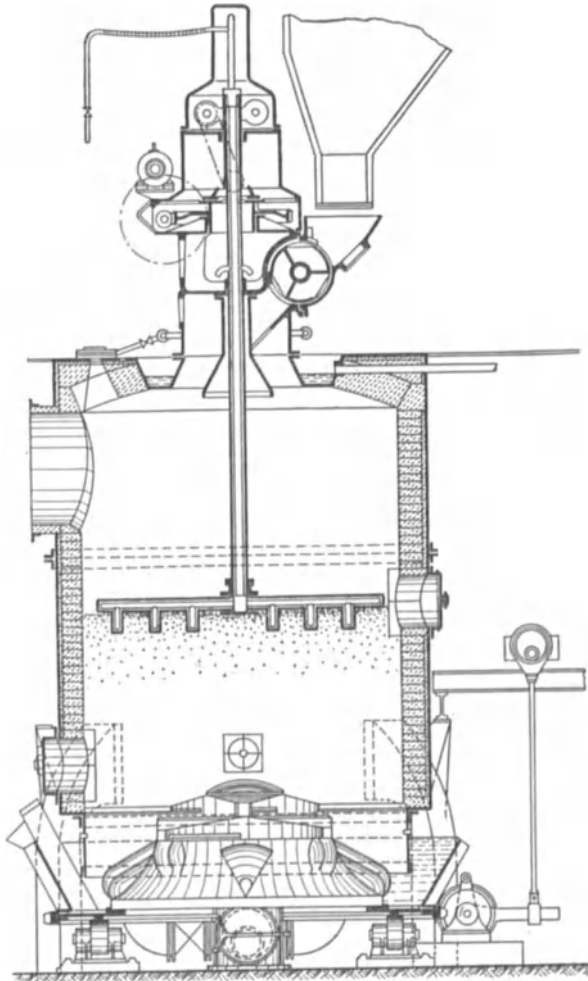
Gasarme, nichtbackende Brennstoffe, insbesondere Anthrazit und Brechkoks, werden oft durch einen zentralen Füllschacht, auch Innenbunker oder Einhängerrohr genannt, in den Gaserzeuger eingeschleust. Die Höhe der vergasenden Brennstoffschicht bleibt dann unverändert, trotzdem in größeren Abständen nachgefüllt werden kann.

Selbsttätige Beschickungsvorrichtungen, meist rotierende Brennstoffschleusen oder Meßtrommeln mit Einrichtungen zur guten Verteilung des Brennstoffes auf der ganzen Oberfläche, erleichtern den Betrieb und ergeben in Verbindung mit dem Drehrost ein gleichmäßig gutes Gas auch bei wechselnder Belastung.



Drehrostgaserzeuger mit unterteiltem Füllschacht und Wassermantel für hohe Leistungen für nichtbackende Brennstoffe von verschiedener Körnung.

Für hochbelastete Gaserzeuger und besonders zur Vergasung backender Kohle ist ein Rührwerk vorteilhaft. Der Rührer dreht sich auf oder etwas unter der Brennstoffoberfläche, verteilt dabei die Kohle gleichmäßig und verhindert ihr Zusammenbacken.

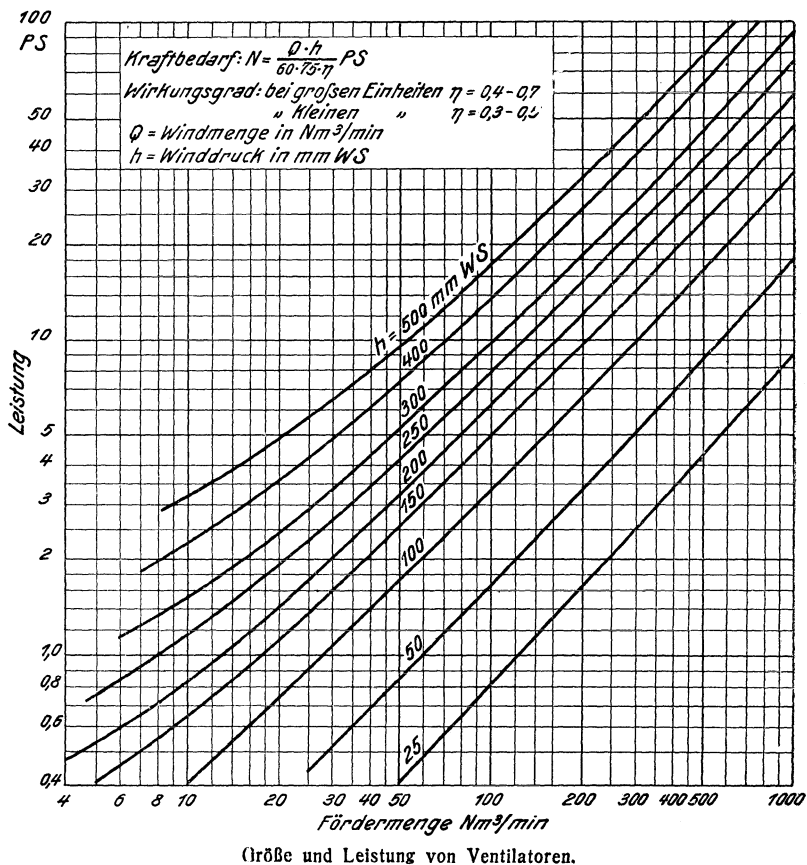


Drehrosthgaserzeuger mit selbsttätiger Beschickung und Rührwerk.

4. Gebläse für Gaserzeuger.

Die Gaserzeugergebläse sind überwiegend elektrisch angetriebene Ventilatoren, deren Fördermengen durch Drosselschieber oder Drosselklappen bequem von 0 bis Vollast geregelt werden können. Zur Sicherung gegen Zurücktreten des Gases bei Ausbleiben des Stromes oder bei Störungen am Ventilator müssen zwischen Ventilator und Gaserzeuger Rückschlagklappen angebracht werden.

Die Größe der Ventilatoren wird nach dem Höchstdurchsatz der Gaserzeuger und dem Luftbedarf des Brennstoffes nach Tafel Nr. 10, Seite 226, bestimmt, wobei für Überlastung ein Zuschlag von 20—50 % gegeben wird. Die Druckhöhe ist durch den Schichtwider-



stand im Gaserzeuger, den Leitungswiderstand und die erforderliche Drosselhöhe für die Regelung der Windmenge bestimmt. Mit Rücksicht auf den Druckverlust soll die Geschwindigkeit in der Windleitung bei größtem Durchsatz nicht höher als 12 m/s bemessen werden. Häufig liegt der Grund für Minderleistung des Gaserzeugers in zu schwach bemessenen Ventilatoren oder in den Druckverlusten durch zu eng bemessene Windleitungen. Der Gebläsedruck ist jedoch durch die Höhe des Wasserabschlusses in der Wassertasse des Gaserzeugers und bei Drehrostgaserzeugern auch der inneren Wassertasse — gewöhnlich 300 bis 400 mm WS — begrenzt.

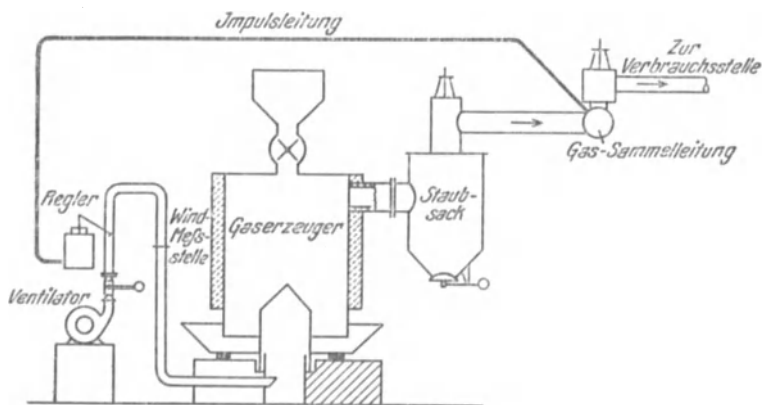
5. Regler für Gaserzeuger.

a) Regler für den Dampfzusatz.

Der Dampfzusatz zur Vergasungsluft wird durch die Temperatur des Dampfluftgemisches ermittelt und danach geregelt. Ein Wärmefühler — Thermostat — beeinflusst das Drosselorgan für den Dampfzusatz. Bei Luftbefeuchtung über einem Wasserschiff bzw. über dem Kühlwasser des Schachtkühlmantels regelt der Wärmefühler den Wasserzufluß.

b) Regler für den Gasdruck.

Gleichmäßiger Gasdruck ist für gute Einstellung der Feuerungen unerlässlich und für den Gasverbrauch und Ofengang ausschlag-



Regleranordnung für Druckgasanlage.

gebend, insbesondere, wenn an die Gasanlage mehrere Öfen angeschlossen sind, welche die Gasabnahme häufig und unabhängig voneinander ändern. Im allgemeinen wird bei Gaserzeugern der Gasdruck durch Regelung der Windzufuhr in Abhängigkeit vom Druck in der Gassammelleitung gleichgehalten. Zu beachten ist, daß der Impuls für den Regler an einer Stelle des Leitungsnetzes genommen wird, die für alle Verbrauchsstellen maßgebend ist. Die Impulsleitung ist mit Gefälle zu verlegen und an den tiefsten Stellen mit Entwässerungsvorrichtungen zu versehen, da Kondenswasser den Regelpuls unterbrechen und Störungen herbeiführen kann.

Das Drosselorgan des Reglers muß gangbar gehalten werden: Drosselklappen möglichst mit Kugellagern. Damit der Regler auch auf kleine Druckunterschiede ansprechen kann, muß die Verstellkraft groß genug sein. Bei den häufig angewandten, unmittelbar wirkenden Glockenreglern ist das nur der Fall, wenn die Glocke entsprechend groß gewählt wird. Bei einem Querschnitt der Glocke von 1 m² beträgt die Verstellkraft für die Druckänderung von 1 mm WS nur 1 kg.

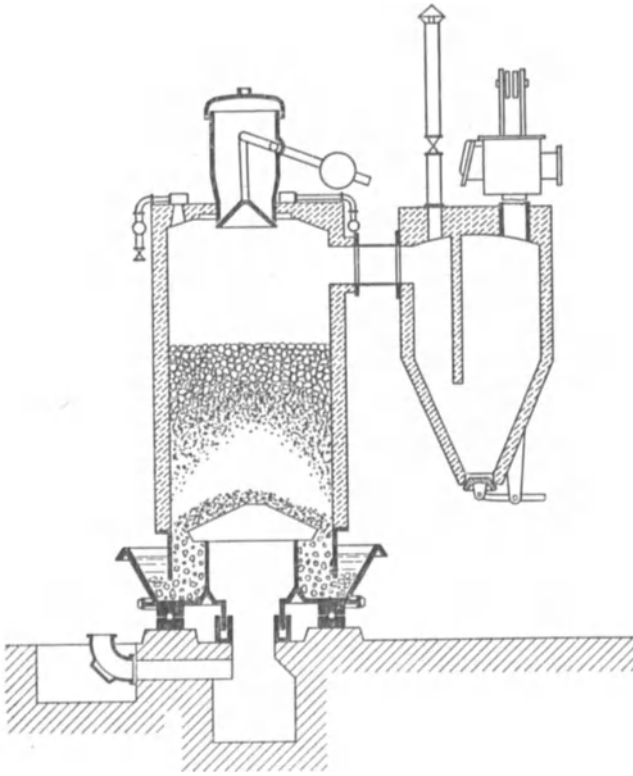
Für genaue und empfindliche Regelung werden Regler mit Hilfskraft — Druckwasser, Drucköl oder elektrische Energie — angewendet, die sehr betriebssicher sind und deren Verstellkräfte beliebig groß und auch bei kleinster Druckänderung gleichmäßig bleiben.

6. Reinigungsanlagen für Generatorgas.

a) Trockene Entstaubung.

Für Heizungsanlagen mit kurzen Gasleitungen und großen Brennern genügt häufig die Abscheidung des gröbereren Staubes in einem normalen Staubsack, dessen Wirksamkeit durch Prallplatten oder tangentielle Gaseinführung erhöht werden kann. Der lichte Raum des Staubsackes soll etwa so groß wie der des Gaserzeugers sein und Vorrichtungen besitzen, die seine Entleerung während des Betriebes ermöglichen.

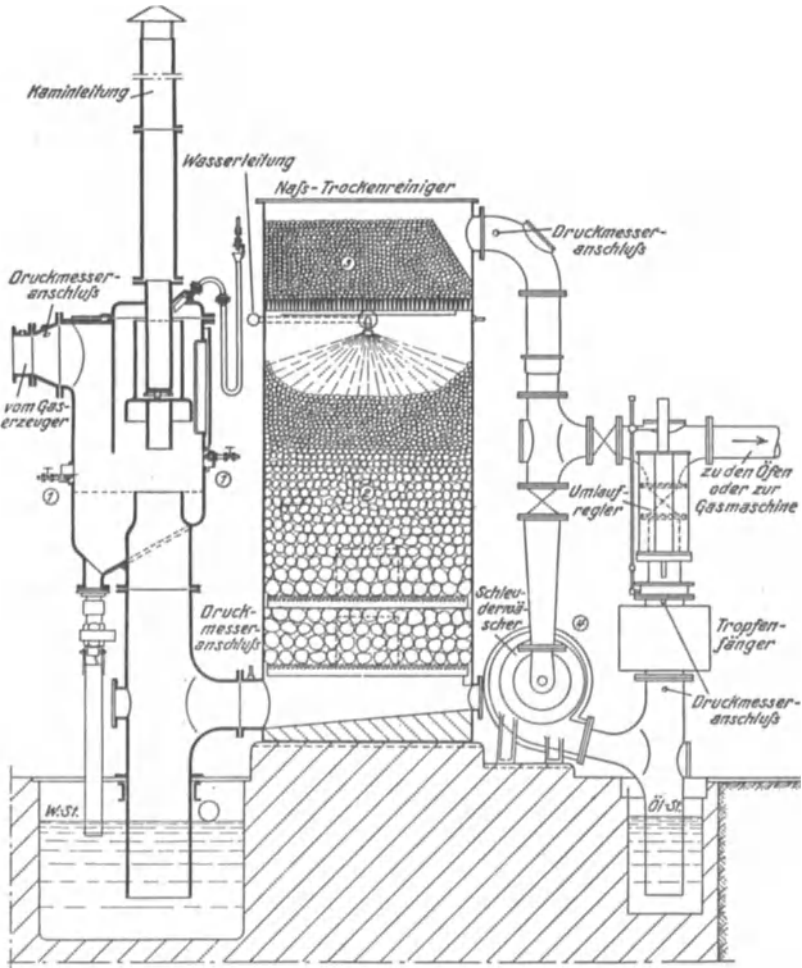
Zur weiteren Entstaubung ohne Kühlung des Gases verwendet man in neuerer Zeit bei Gaserzeugern für teearme bzw. teerfreie Brennstoffe — Anthrazit und Koks — auch Fliehkraftreiniger, sogenannte Zyklonen, welche hinter den Staubsack oder auch an



Gaserzeuger mit Staubsack.

dessen Stelle eingeschaltet werden. Sie scheiden 85 bis 95 % des Staubes im Gas trocken ab. Für einen guten Wirkungsgrad des Zyklons ist meist erforderlich, daß die notwendigen Gasgeschwindigkeiten eingehalten werden, wobei man sich bei geringerer Belastung durch Gasumlauf behelfen kann. Die trockene Entstaubung mit Hilfe des Zyklons genügt häufig, um ein einwandfreies Gas auch für engere Gasleitungen mit kleinen Brennern zu erhalten. Es ist notwendig, daß die Gastemperatur über dem Taupunkt bleibt (meist 45—50°), weil sonst Kondenswasser ausfällt, das mit dem restlichen Staubgehalt die Gasleitungen verschmutzt. Um Störungen durch Kondenswasserausscheidungen in den Gasleitungen zu vermeiden, kann das Gas nach erfolgter Entstaubung durch Röhren-

kühler auf 20—25° gekühlt werden. Diese Kühlung des Gases hat gegenüber der Kühlung durch Wassereinspritzung den Vorteil, daß Abwasserschwierigkeiten nicht auftreten, da das Gas mit dem Kühlwasser nicht in Berührung kommt, so daß das Kühlwasser ohne Klärung dem Vorfluter wieder zugeführt oder nach Rückkühlung im Kreislauf verwendet werden kann.

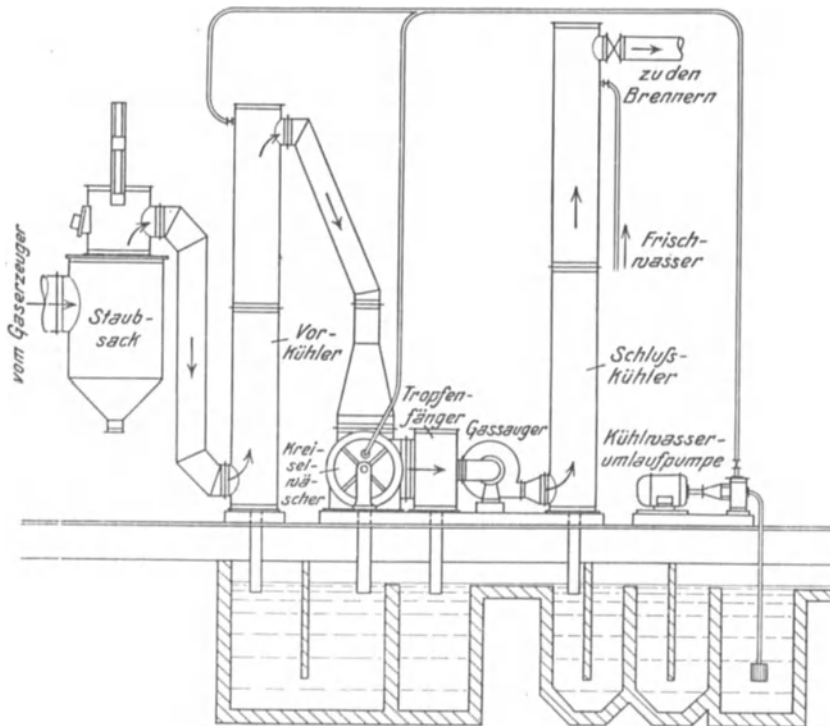


Beispiel einer nassen Gasreinigung für teearme Brennstoffe.

b) Nasse Gasreinigung.

Für die Verwendung in Gasmaschinen und bei weitverzweigten, engen Gasleitungen, in denen sich das heiße Gas unter den Taupunkt abkühlen würde, wird meist die nasse Gasreinigung durch Einspritzung von Wasser angewendet.

Das aus dem Gaserzeuger austretende heiße Rohgas wird durch die Brausen 1 (Abb. Seite 221) stark abgekühlt, wobei das Kühlwasser den größten Teil von Staub und Teer herauswscht. Anschließend gelangt das Gas in den Waschturm, wo es in den unteren wasserberieselten Koksschichten 2 die restlichen Verunreinigungen läßt, um in der oberen trockenen Koksschicht 3 von dem mitgeris-



Beispiel einer nassen Gasreinigung für teerhaltige Brennstoffe.

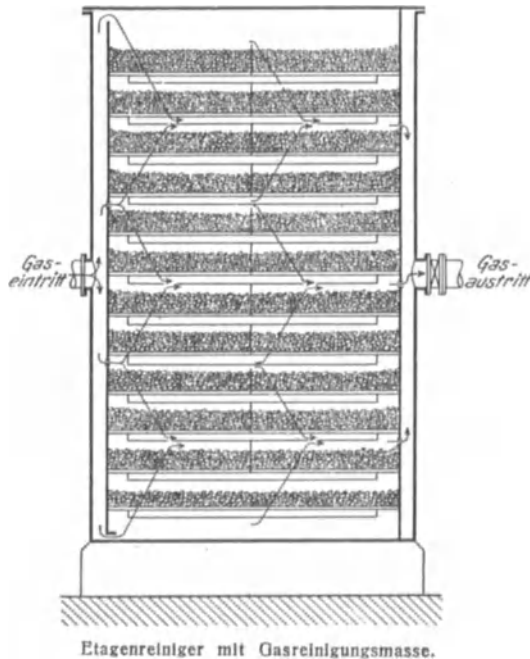
senen Wasser befreit zu werden. Zur Erzielung von besonders reinem Gas wird oft noch ein Schleuderwäscher 4 nachgeschaltet, der mit Wasser oder Öl die letzten Reste der Verunreinigungen herauswäscht.

Durch die bei der nassen Gasreinigung bewirkte Kühlung des Gases wird gleichzeitig der Wassergehalt entsprechend der Gasendtemperatur herabgesetzt (siehe Tafel Seite 238).

Außer diesen Arten der Gasreinigung gibt es insbesondere für Kleinanlagen mannigfache, häufig stark vereinfachte Ausführungen.

c) Gasentschwefelung.

Das Generatorgas wird im allgemeinen nur entschwefelt, wenn Glüh- und Wärmöfen für empfindliches Gut mit dem Gas beheizt werden, oder wenn das Gas in Kleinöfen oder Heizungen ohne Abzugskamin Verwendung findet, um Schwefeldioxydgeruch und die Verfärbung von blanken Metallteilen durch Schwefelwasserstoff zu



vermeiden. Das Gas wird in Etagenreinigern entschwefelt, deren Stufen mit Gasreinigungsmasse belegt sind — ein Gemisch aus Raseneisenerz und Sägespänen — oder neuerdings auch durch Raffloer-Entschwefler, einfache Behälter, die mit nach besonderem Verfahren aufbereiteten Kugeln aus Raseneisenerz gefüllt sind.

Die Etagenreiniger sind je nach Belastung in gewissen Zeitabständen — 4 bis 12 Monate — außer Betrieb zu nehmen und frisch zu füllen. Neben der Entschwefelung bieten sie den Vorteil, daß die letzten Reste von Verunreinigungen im Gas herausgefiltert werden.

Die Raffloer-Entschwefler besitzen neben hoher Entschwefelungsleistung geringen Durchgangswiderstand. Die Reinigungskugeln können ohne größere Störung in kürzeren Abständen durch Ablassen der unteren verbrauchten Schichten und Nachfüllen von oben erneuert werden.

7. Größen der Gaserzeuger.

| | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Durchmesser in m | 0,45 | 0,64 | 0,73 | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 1,25 | 1,3 | 1,5 | 1,6 |
| Querschnitt in m ² | 0,16 | 0,32 | 0,42 | 0,63 | 0,78 | 0,95 | 1,23 | 1,33 | 1,77 | 2,01 |

| | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Durchmesser in m | 1,8 | 2,0 | 2,1 | 2,2 | 2,3 | 2,4 | 2,5 | 2,6 | 2,8 | 3,0 |
| Querschnitt in m ² | 2,54 | 3,14 | 3,46 | 3,80 | 4,15 | 4,52 | 4,91 | 5,31 | 6,14 | 7,07 |

8. Normale Gaserzeugerbelastungen in kg/m²h.

| Brennstoff | mit gemauertem Schacht | | | Drehrost- gaserzeuger mit Rührwerk | mit Kühlmantel und guter Brennstoffverteilung | |
|---|------------------------------------|---|--------------------------|--|--|---|
| | Festrost mit natürlichem Zug | rostloser Gas- erzeuger mit Gebläse | Drehrost- gaserzeuger | | Drehrost- gaserzeuger mit Gebläse | Drehrost- gaserzeuger mit Saugzug |
| Saarflam- und Saarfett- kohlen, Ruhr- gas- u. -Gas- flamkohlen: | | | | | | |
| Generator- kohle | 50—70 | 60—80 | 80—100 | — | — | — |
| Stückkohle | 60—80 | 70—90 | 100—120 | — | — | — |
| Nuß 1/2 | 70—90 | 70—100 | 100—120 | 180—200 | — | — |
| Nuß 3 | 50—70 | 60—90 | 90—100 | 160—180 | — | — |
| Nuß 4 | — | 50—80 | 80—100 | 160—180 | — | — |
| Anthrazit: | | | | | | |
| Nuß 3 | — | — | 80—100 | — | 100—130 | bis 200 |
| Nuß 4 | — | — | 60—90 | — | 90—125 | bis 200 |
| Nuß 5 | — | — | 50—70 | — | 80—120 | bis 150 |
| Koks: | | | | | | |
| Brechkoks 3 | — | 70—100 | 100—120 | — | 120—150 | bis 200 |
| Brechkoks 4 und Perlkoks | — | 70—100 | 80—110 | — | 120—150 | bis 200 |

9. Schüttung im Rundschachtgaserzeuger.

| Brennstoff | | Schütthöhe gemessen ab Rostspitze ¹⁾ | |
|---|-----------------------------|---|----------------------|
| | | Druckgasbetrieb mm | Sauggasbetrieb mm |
| Saarflamm- und Saarfettkohlen, Ruhrgas- u. -Gasflammkohlen: | Generatorkohle | 900—1 100 | |
| | Stückkohle | 1 200—1 300 | |
| | Nuß 1/2 | 1 100—1 300 | |
| | Nuß 3/4 | 1 000—1 100 | |
| Anthrazit: (Ruhr u. Aachen) | Nuß 3 | 900—1 100 | 1 000—1 500 |
| | Nuß 4 | 750—1 000 | 1 000—1 200 |
| | Nuß 5 | 600— 800 | 800—1 000 |
| Koks: | Großkoks | 1 500—2 000 | |
| | Brechkoks 3 | 1 200—1 800 | |
| | Brechkoks 4 und Perlkoks | 1 100—1 500 | |
| | | | |

¹⁾ In diesen Schütthöhen ist eine Aschenschicht von 100—200 mm Höhe enthalten.

10. Wind- und Dampfbedarf, Gasausbeute je kg Kohle.

| Brennstoff | Windmenge Nm ³ /kg Kohle | Dampfzusatz kg/kg Kohle | Temperatur des Dampfluft- gemisches °C | Gasausbeute Nm ³ /kg Kohle |
|---|---|-------------------------------|---|---|
| Saarflamm- und Saarfettkohlen, Ruhrgas- u. -Gasflammkohlen: | 2,5—2,7 | 0,22—0,35 | 40—55 | 3,5—4,0 |
| Anthrazit: (Ruhr und Aachen) | 2,7—3,0 | 0,40—0,60 | 55—65 | 4,5—4,8 |
| Brechkoks 3: | 2,7—3,1 | 0,40—0,60 | 55—65 | 4,0—4,6 |
| Brechkoks 4 und Perlkoks: | 2,7—3,1 | 0,50—0,60 | 60—68 | 4,0—4,6 |

11. Beispiele für Zusammensetzung und Heizwert von Generatorgas.

| Vergaster Brennstoff | Gaserzeugerbauart | Dampf- zusatz kg/kg Kohle | Gasanalyse | | | | | | Unterer Heizwert kcal/Nm ³ |
|-----------------------------|---|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|---------|----------------------|---------------------|---------------------|---|
| | | | CO ₂ % | C _m H _n % | CO % | CH ₄ % | H ₂ % | N ₂ % | |
| Saarflammkohle | Drehrost m. gemauer- tem Schacht | 0,26 | 1,5 | 0,8 | 31,5 | 2,2 | 11,9 | 52,1 | 1 581 |
| Ruhrgasflammkohle | Planrost mit natür- lichem Zug | — | 2,5 | 0,1 | 29,1 | 1,8 | 10,1 | 56,4 | 1 310 |
| Ruhrgasflammkohle | Drehrost mit Rührer | 0,24 | 1,4 | 0,4 | 29,0 | 2,5 | 12,0 | 54,7 | 1 470 |
| Anthrazit | Drehrost m. gemauer- tem Schacht | 0,37 | 3,1 | — | 30,0 | 1,0 | 16,9 | 49,0 | 1 440 |
| Anthrazit | Drehrost mit Kühl- mantel | 0,38 | 3,3 | — | 30,4 | 0,9 | 14,8 | 50,6 | 1 383 |
| Brechkok | Drehrost m. gemauer- tem Schacht | 0,43 | 2,6 | — | 30,5 | 0,6 | 10,9 | 55,4 | 1 250 |
| Brechkok | Drehrost mit Kühl- mantel | 0,43 | 4,2 | — | 28,0 | 0,9 | 9,4 | 57,5 | 1 165 |
| Koks | Wassergaserzeuger | — | 3,3 | — | 44,0 | 0,4 | 48,6 | 3,7 | 2 611 |
| Koks | Abstichgaserzeuger | — | 0,3 | — | 33,0 | 0,2 | 1,5 | 65,0 | 1 053 |

12. Temperatur, Wasser- und Teergehalt des Gases.

| Brennstoffart | Gastemperatur im Gasabzug °C | Wassergehalt g/Nm ³ | Teergehalt g/Nm ³ |
|-------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Gasflammkohle | 500—700 | 30—50 | 12 |
| Anthrazit | 300—600 | 25—40 | 0,3 |
| Koks | 400—700 | 30—35 | — |

13. Temperaturabfall strömender Gase in Leitungen und Kanälen.

| Temperatur des Gases °C | Gemauerte Kanäle oder gut isolierte Freileitungen ¹⁾ °C je laufendes Meter | Unisolierte Blechleitungen °C je laufendes Meter |
|----------------------------|---|---|
| 200—300 | 1,0 | 2,5 |
| 300—400 | 2,0 | 4,5 |
| 400—500 | 2,5 | 5,5 |
| 500—600 | 3,0 | 7,0 |
| 600—700 | 3,5 | 10,0 |

¹⁾ Hermanns, H., Gasgeneratoren und Gasfeuerungen, Halle 1924.

14. Berechnung der zur Verbrennung eines Gases theoretisch notwendigen Luftmenge und der Verbrennungsprodukte.

Sauerstoffbedarf und Abgasmenge für 1 Nm³ Gas.

| Gasart | CO ₂ | CO | CH ₄ | C _m H _n | H ₂ | N ₂ |
|---|---|-----|-----------------|-------------------------------|----------------|----------------|
| Sauerstoffbedarf Nm ³ /Nm ³ | — | 0,5 | 2,0 | 4,2 | 0,5 | — |
| Abgasmenge | CO ₂ Nm ³ /Nm ³ | 1,0 | 1,0 | 1,0 | — | — |
| | H ₂ O Nm ³ /Nm ³ | — | — | 2,0 | 2,4 | 1,0 |
| | N ₂ Nm ³ /Nm ³ | — | — | — | — | — |

Rechenbeispiel: Teerfreies Generatorgas aus Gasflammkohle.

| Gaszusammensetzung Nm ³ /Nm ³ | Sauerstoff- bedarf Nm ³ O ₂ | Abgasmenge | | |
|--|--|--|----------------------------------|--------------------------------|
| | | Nm ³ CO ₂ | Nm ³ H ₂ O | Nm ³ N ₂ |
| 0,049 CO ₂ | — | 0,049 | — | — |
| 0,004 C _m H _n | 0,017 | 0,012 | 0,010 | — |
| 0,275 CO | 0,137 | 0,275 | — | — |
| 0,146 H ₂ | 0,073 | — | 0,146 | — |
| 0,016 CH ₄ | 0,032 | 0,016 | 0,032 | — |
| 0,510 N ₂ | — | — | — | 0,510 |
| 1.000 Nm ³ Gas mit | 0,259 | — | — | 0,974 |
| 0,050 Nm ³ H ₂ O-Dampf | — | — | 0,050 | — |
| | 0,259 · 79 = 21 | 0,352 | 0,238 | 1,484 |
| | 0,974 Nm ³ N ₂ = 1,233 Nm ³ trockene Luft | 2,074 Nm ³ feuchtes Abgas mit 19,2 % CO ₂ und 80,8 % N ₂ im trockenem Abgas | | |

1 Nm³ Generatorgas der angegebenen Zusammensetzung braucht also zur vollständigen Verbrennung theoretisch 1,233 Nm³ Luft und gibt 1,836 Nm³ trockenes Abgas mit 0,238 Nm³ Wasserdampf. Diesem Wasserdampfgehalt entspricht:

$$\frac{0,238 \cdot 0,804}{1,836} = 104 \text{ g H}_2\text{O/Nm}^3 \text{ Abgas; Taupunkt } 49^\circ.$$

Bei trockenem Gas beträgt der Wasserdampfgehalt des Abgases:

$$\frac{0,188 \cdot 0,804}{1,836} = 82 \text{ g H}_2\text{O/Nm}^3 \text{ Abgas; Taupunkt } 44^\circ.$$

Die Abgase der wasserstoffreichen Gase Leuchtgas (Kokereigas) und Wassergas besitzen einen viel höheren Taupunkt, da sie viel Verbrennungswasser geben. So enthält beispielsweise 1 Nm³ Abgas aus Leuchtgas 200—220 g Wasser entsprechend einem Taupunkt von 60—62°. Bei niedrigen Abgastemperaturen im Kamin usw. ist der Taupunkt der Abgase wegen Kondenswasserbildung häufig zu beachten.

15. Berechnung des Raumgewichtes von Gasen in kg/Nm³.

Beispiel: Generatorgas aus Anthrazit.

| Gaszusammensetzung Nm ³ /Nm ³ | Raumgewicht der Gasbestandteile ¹⁾ kg/Nm ³ | kg |
|--|--|-------------------------------------|
| CO ₂ 0,0330 | 1,9768 | 0,0652 |
| C _m H _n 0,0000 | 1,733 | 0,0000 |
| O ₂ 0,0015 | 1,42895 | 0,0021 |
| CO 0,3040 | 1,2500 | 0,3795 |
| CH ₄ 0,0095 | 0,7168 | 0,0068 |
| H ₂ 0,1480 | 0,08987 | 0,0133 |
| N ₂ 0,5040 | 1,2505 | 0,6300 |
| 1,0000 | — | $\gamma_0 = 1,0969 \text{ kg/Nm}^3$ |

¹⁾ Siehe Seite 50.

16. Berechnung der Gasausbeute nach dem Kohlenstoffhaushalt.

Beispiel: Generatorgas aus Anthrazit.

Brennstoffanalyse: Asche 5,2 %
 Wasser 3,4 %
 Kohlenstoff in der Rohkohle 82,7 %

Gasanalyse: 2,2 % CO₂; 29,6 % CO; 1,0 % CH₄; 52,4 % N₂; Heizwert: H_u = 1375 kcal/Nm³.

Teergehalt des Gases: 0,3 g/Nm³; siehe Seite 228, Tafel 12.

Staubgehalt bzw. Staubanfall: 9 g/kg Kohle; gemessen oder geschätzt.

Verbrennliches in der Schlacke 12,0 %.

A. Kohlenstoffaufnahme je 100 kg Brennstoff 82,70 kg C

B. Kohlenstoffausgabe je 100 kg Brennstoff:

1. Verluste:

a) Staubanfall 0,9 kg mit 80 % C 0,72 kg C

b) Verbrennliches in der Asche 12 % bei 5,2 %

Aschegehalt des Brennstoffes:

$$5,2 \cdot \frac{12}{100-12} = \underline{\underline{0,71 \text{ kg C}}}$$

2. In Gas und Teer gebundener Kohlenstoff . . . 81,27 kg C

In 100 Nm³ trockenem Generatorgas sind enthalten:

$$0,536 \cdot (2,2 \% \text{ CO}_2 + 29,6 \% \text{ CO} + 1,0 \% \text{ CH}_4) = 0,536 \cdot 32,8 = 17,6 \text{ kg C}$$

$$\text{dazu } 0,0003 \cdot 100 = 0,03 \text{ kg Teer mit } 90 \% \text{ C} \dots \dots \dots = \underline{0,027 \text{ kg C}}$$

$$\text{Kohlenstoffgehalt je } 100 \text{ Nm}^3 \text{ Generatorgas} \dots \dots \dots = 17,627 \text{ kg C}$$

Gasausbeute:

$$\frac{81,27}{17,627} = 4,61 \text{ Nm}^3 \text{ trockenes Generatorgas je kg Rohkohle.}$$

Die Erfassung von Teer- und Staubmengen ist im Betriebe meist schwierig. Es genügt für Überschlagsrechnungen, den Teergehalt nach Tafel 12, Seite 228, und den Staubanfall je nach den Betriebsverhältnissen mit 0,5—2 % der durchgesetzten Brennstoffmenge einzusetzen.

17. Beispiel für die Berechnung des Wärmehaushaltes eines Gaserzeugers.

Brennstoff: Gasflammkohle.

A. Wärmeausgabe.

- a) Unterer Heizwert
der Kohle 1,000 kg · 7 150 kcal/kg = 7 150 kcal = 99,3 %
- b) Fühlbare Wärme der
Luft (49°) 2,62 Nm³ · 15,4 kcal/Nm³ = 40 kcal = 0,6 %
- c) Fühlbare Wärme des
Dampfes (49°) 0,278 kg · 22,7 kcal/kg = 6 kcal = 0,1 %
7 196 kcal = 100,0 %

B. Wärmeeinnahme Q.

1. Nutzwärme L:

a) Gas:

$$\text{Unterer Heizwert} \dots 3,945 \text{ Nm}^3 \cdot 1\,345 \text{ kcal/Nm}^3 = 5\,300 \text{ kcal} = 73,7 \%$$

$$\text{Fühlb. Wärme (650°)} \dots 3,945 \text{ Nm}^3 \cdot 220 \text{ kcal/Nm}^3 = 868 \text{ kcal} = 12,1 \%$$

b) Teer:

$$\text{Unterer Heizwert} \dots 0,049 \text{ kg} \cdot 9\,000 \text{ kcal/kg} = 440 \text{ kcal} = 6,1 \%$$

$$\text{Fühlb. Wärme (650°)} \dots 0,049 \text{ kg} \cdot 230 \text{ kcal/kg} = 11 \text{ kcal} = 0,1 \%$$

c) Feuchtigkeit:

$$\text{Fühlb. Wärme (650°)} \dots 0,160 \text{ kg} \cdot 321 \text{ kcal/kg} = 51 \text{ kcal} = 0,7 \%$$

2. Feuerungsverluste

$$\text{(Ascheverlust)} \dots 0,0080 \text{ kg} \cdot 8\,100 \text{ kcal/kg} = 65 \text{ kcal} = 0,9 \%$$

3. Wandverluste, geschätzt 188 kcal = 2,6 %

4. Lässigkeitsverluste (Restverlust) 273 kcal = 3,8 %

$$7\,196 \text{ kcal} = 100,0 \%$$

Thermischer Wirkungsgrad der Gaserzeugung, bezogen auf den unteren Heizwert:

$$\eta = \frac{L}{Q} = \frac{6670}{7196} = 0,927.$$

18. Beispiele für den Wärmehaushalt von Gaserzeugern für versch. Brennstoffe.

Bezogen auf 1 kg Rohkohle

| Kohlenart | Gasflammkohle | Anthrazit | Anthrazit | Breckkoks |
|--|---|---|---|---|
| Gasart und Gaserzeuger | Heißgas aus Drehröstgen. mit gemauertem Schacht u. Fremddampf | Heißgas aus Drehröstgen. mit gemauertem Schacht u. Fremddampf | Kaltgas aus Drehröstgen. mit Kühlmantel u. Dampferzeugung | Kaltgas aus Drehröstgen. mit Kühlmantel u. Dampferzeugung |
| Gasatemperatur °C | 600 | 400 | 20 | 20 |
| Gasheizwert kcal/Nm ³ | 1428 | 1375 | 1302 | 1214 |
| Gasausbeute Nm ³ /kg Kohle | 3,91 | 4,61 | 4,50 | 4,37 |
| Teergehalt g/Nm ³ Gas | 12 | 0,3 | 0,0 | 0,0 |
| Staubentfall g/kg Kohle | 14 | 13 | 14 | 12 |
| Gasfeuchtigkeit g/Nm ³ Gas | 40 | 35 | 19 | 19 |
| Dampfzusatz kg/kg Kohle | 0,30 | 0,50 | — | — |
| Dampfluftgemisch °C | 51 | 58 | 55 | 63 |
| A. Wärmeaufnahme Q: | | | | |
| a) Unterer Heizwert der Kohle (H _u für feuchten Brennstoff) | 7310 kcal = 99,4% | 7520 kcal = 99,1% | 7436 kcal = 100% | 6834 kcal = 100% |
| b) Fühlbare Wärme der Luft | 41 " = 0,5% | 53 " = 0,7% | — | — |
| c) Fühlbare Wärme des Dampfes | 7 " = 0,1% | 13 " = 0,2% | — | — |
| Q = | 7358 kcal = 100% | 7586 kcal = 100% | 7436 kcal = 100% | 6834 kcal = 100% |
| B. Wärmeabgabe: I. Nutzwärme L: | | | | |
| a) Unterer Heizwert des Gases | 5590 kcal = 76 % | 6340 kcal = 83,6% | 5850 kcal = 78,8% | 5270 kcal = 77,2% |
| Fühlbare Wärme des Gases | 789 " = 10,7% | 608 " = 8,0% | — | — |
| b) Unterer Heizwert des Teeres | 421 " = 5,7% | 13 " = 0,2% | — | — |
| Fühlbare Wärme des Teeres | 15 " = 0,2% | — | — | — |
| c) Fühlbare Wärme der Gasfeuchtigkeit | 45 " = 0,6% | 30 " = 0,4% | — | — |
| L = | 6860 kcal = 93,2% | 6991 kcal = 92,2% | 5850 kcal = 78,8% | 5270 kcal = 77,2% |
| 2. Verluste V: | | | | |
| a) Unverbranntes in der Asche | 95 kcal = 0,9% | 70 kcal = 0,9% | 59 kcal = 0,8% | 67 kcal = 1,0% |
| b) Flugstaub | 96 " = 1,3% | 90 " = 1,2% | 96 " = 1,3% | 82 " = 1,2% |
| c) Kühlwasserverluste | — | — | 1045 " = 14,2% | 997 " = 14,5% |
| Rest: d) Wand- und Lässigkeitsverluste | 339 " = 4,6% | 435 " = 5,7% | 386 " = 4,9% | 418 " = 6,1% |
| V = | 500 kcal = 6,8% | 595 kcal 7,8% | 1586 kcal = 21,2% | 1564 kcal = 22,8% |
| Wirkungsgrad $\eta = \frac{L}{Q}$ (bezogen auf den unteren Heizwert) | $\eta = 0,932$ (bezogen auf heißes Gas) | $\eta = 0,922$ (bezogen auf heißes Gas) | $\eta = 0,788$ (bezogen auf kaltes Gas) | $\eta = 0,772$ (bezogen auf kaltes Gas) |

19. Betrieb von Gaserzeugern.

A. Inbetriebnahme von Gaserzeugern.

Vor Inbetriebnahme eines Gaserzeugers ist durch Befahren der Rost und der Zustand des Schachtes nachzusehen. Der etwa vorhandene Kühlmantel ist mit Wasser zu füllen und auf Dichtheit zu prüfen. Bei Drehrostgaserzeugern sind auch die Tauchbleche der Wassertassen zu untersuchen. Absperrorgane in den Gasleitungen — Ventile, Schieber und Wasserverschlüsse — sind auf ihre Gangbarkeit zu prüfen.

Der Gaserzeuger wird dann mit vollständig ausgebrannter, stückiger Schlacke bis 200 mm über Rostspitze gefüllt und das Kühlwasser angestellt. Die Wassertassen müssen Überlauf haben. Gasleitung, Windleitung und Dampfzusatzventil sind geschlossen, die Tür unter dem Rost und das Entlüftungs- bzw. Gasabzugsrohr zum Kamin sind geöffnet.

Wenn genügend Glut aus anderen Feuerungen zur Verfügung steht, wird diese auf die Schlackenschicht im Gaserzeuger eingebracht, andernfalls muß ein Holzfeuer angefacht werden. Sobald genügend Glut im Gaserzeuger entstanden ist, wird frischer Brennstoff aufgegeben und gewartet, bis dieser unter dem natürlichen Zug des Kamins durchgebrannt ist. Dann ist die Tür unter dem Rost zu schließen und etwas Ventilatorwind zu geben. Unter erneuter Aufgabe von Brennstoff wird bei schwachem Winddruck und geöffnetem Gasabzug geblasen. Wenn an den Stochlöchern das Gas zündet, wird etwas Dampf zugesetzt, erneut Brennstoff aufgegeben und stärker geblasen.

B. Überwachung und Bedienung der Gaserzeuger.

Der Zustand der Gaserzeuger wird durch einige einfache Betriebsmessungen laufend überwacht.

a) Allgemeines über Messungen an Gaserzeugern.

| Nr. | Meßgröße | Meßstelle | Meßgerät | Zweck der Messung |
|-----|-----------------------------------|--|--|--|
| 1. | Winddruck | zwischen Regelschieber und Rost | Druckmesser anzeigend oder schreibend | Kontrolle des Rost- und Schichtwiderstandes |
| 2. | Temperatur des Dampfluftgemisches | Windleitung vor dem Rost, etwa 2 m hinter Dampfzutritt | Quecksilber- oder elektrische Widerstandsthermometer anzeigend oder schreibend | Überwachung des Dampfzusatzes |
| 3. | Gasdruck | hinter dem Staubsack | Druckmesser anzeigend oder schreibend | Prüfung und Regelung des Gasdrucks, bei automatischer Gasdruckregelung Überwachung des Reglers |
| 4. | Gastemperatur | im Gasabzugsstutzen geschützt vor direkter Strahlung der Gaserzeugeroberfläche | Ni-NiCr Thermo- element mit Anzei- ge- oder Schreibgerät | Überwachung der Brennstoffoberfläche, Kontrolle der Brennstoffaufgabe, Feststellung von Durchbläsern |

Bei nachgeschalteter Gasreinigung treten Druckmessungen durch U-Rohre oder Anzeigergeräte zur Überwachung der Druckverluste sowie Thermometer zur Kontrolle des Temperaturverlaufs in den einzelnen Reinigungsapparaten hinzu.

Außer diesen für die ordentliche Überwachung erforderlichen Messungen können die Wind- und Gasmengen laufend gemessen werden. Bei gewaschenem Gas bietet die Mengenummessung mittels Blende und Differenzdruckmeßgerät keine Schwierigkeit, während sie bei heißem, ungereinigtem Gas durch Verschmutzungen viel Wartung erfordert und trotzdem meist unbefriedigende Meßgenauigkeit ergibt.

Die Meßgeräte für die laufende Überwachung werden zweckmäßig auf der Bedienungsbühne des Gaserzeugers zu einem Meßstand vereinigt, um die ständige Übersicht durch Vergleiche der einzelnen Meßwerte zu vereinfachen. Bei Anzeigergeräten sind die Ablesungen in kürzeren Abständen in ein Prüfbuch einzutragen.

b) Druckmessungen.

1. Der Winddruck unter dem Rost wird am einfachsten mit einem U-Rohr gemessen, das an die Windleitung möglichst kurz vor Eintritt des Windes in den Windkasten anzuschließen ist. Außerdem empfiehlt sich zugleich die Messung des Winddruckes am Ventilatorstutzen.

2. An Stelle der Messung der Temperatur des Dampfluftgemisches wird häufig in solchen Fällen, wo der Dampf getrennt vom Wind unter den Rost geführt wird, der Dampfdruck gemessen, um einen Anhalt für die Menge des zugeführten Dampfes zu gewinnen. Diese Messung kann aber nur als Notbehelf betrachtet werden.

3. Der Gasdruck wird ebenfalls am einfachsten mit einem U-Rohr am Gasabzug oder im Staubsack gemessen.

Der Winddruck unter dem Rost ist einerseits abhängig von dem Widerstand des Rostes und der darüberliegenden Brennstoffsäule, andererseits von dem Gasdruck. Abweichungen von dem für den normalen Betrieb festgelegten Winddruck sind stets die Folge einer Störung im Gaserzeuger; eine eindeutige Aufklärung hierüber gibt die folgende Aufstellung:

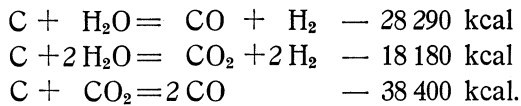
Vergleich zwischen Winddruck unter dem Rost und Gasdruck.

| Winddruck | Gasdruck | Ursache | Folge | Abhilfe |
|--------------------|--------------------|---|---|--|
| steigt über normal | bleibt konstant | Verstopfung der Rostspalten hoher Schlackenstand Verschlackungen im Gas- erzeuger Schmieren der Kohle im Gaserzeuger | Leistung fällt Leistung fällt schlechtes Gas, hohe Gastemperatur Leistung fällt, viel Unverbranntes in der Asche, nasses Gas | Reinigen der Rostspalten Rost schneller laufen lassen Durchstoßen u. Einebnen des Brennstoffbettes Dampfzusatz verringern |
| fällt unter normal | bleibt konstant | zu wenig Asche | Verbrennen der Rosthaube, Tauchring wird glühend, mehr Brennbares in der Asche | Drehrost abstellen, etwas mehr Dampf geben |
| bleibt konstant | steigt | Verstopfung der Leitungen und Ventile | schwaches Gas und viel Flugstaub | Reinigen |
| steigt über normal | steigt über normal | Verstopfung der Leitungen und Ventile | Leistung fällt | Reinigen |
| schwankt stark | bleibt konstant | Wasser in der Windleitung | Gasdruck schwankt | Wasser aus der Wind- leitung ablassen |
| schwankt stark | fällt | zu wenig Wasser in der Aschenschüssel oder im unter. Wasserabschluß | Leistung fällt | Wasser in die Aschen- schüssel oder in den un- teren Wasserabschluß einfüllen |

c) *Temperaturmessungen.*

1. Gemessen wird die Dampfluftgemischtemperatur in der Windleitung vor dem Gaserzeuger in genügender Entfernung von der Dampfzuführungsstelle — möglichst 2 m — durch Quecksilberthermometer oder elektrische Widerstandsthermometer (vgl. Abbildung Seite 245).

Der dem Wind zugesetzte Dampf wirkt kühlend auf Rost und Schlacke. Er wird zum größten Teil in der Feuerzone des Gaserzeugers zersetzt und bringt eine Verbesserung des Gases nach den bekannten Wassergasreaktionen



Die Wassergasreaktionen verlaufen wärmebindend. Der zugesetzte Wasserdampf wirkt also besonders kühlend auf die Feuerzone. Da der Verlauf der Wassergasreaktionen in der angegebenen Richtung von der Temperatur des im Gaserzeuger vorhandenen glühenden Kohlenstoffes abhängt, ist der Zusatz von Wasserdampf beschränkt. Übermäßiger Dampfzusatz bewirkt hohen CO_2 -Gehalt und feuchtes Gas, weil dann ein Teil des Wasserdampfes die Feuerzone unzersetzt durchströmt. Im allgemeinen wird nur soviel Dampf zugesetzt, wie notwendig ist, die Schlacke zu granulieren. Für die Messung bzw. Bestimmung des Dampfzusatzes bildet die Temperatur des Dampfluftgemisches ein eindeutiges Maß.

Zur Bestimmung des Dampfzusatzes diene die folgende Tafel:

Dampfspannung und Feuchtigkeitsgehalt von Gasen im Sättigungszustand und bei einem Gemischdruck von 760 mm QS.

| 1 | | | 2 | | | 3 | | |
|------------|--|--|------------|--|--|------------|--|--|
| Temperatur | Dampfspannung = Teildruck des Dampfes im feuchten Gas | Feuchtigkeitsgehalt je Nm ³ Gas | Temperatur | Dampfspannung = Teildruck des Dampfes im feuchten Gas | Feuchtigkeitsgehalt je Nm ³ Gas | Temperatur | Dampfspannung = Teildruck des Dampfes im feuchten Gas | Feuchtigkeitsgehalt je Nm ³ Gas |
| °C | mm QS | g/Nm ³ | °C | mm QS | g/Nm ³ | °C | mm QS | g/Nm ³ |
| − 30 | 0,28 | 0,30 | + 31 | 33,7 | 37,3 | + 66 | 196,1 | 281 |
| − 25 | 0,47 | 0,50 | + 32 | 35,7 | 39,6 | + 67 | 205,0 | 299 |
| − 20 | 0,77 | 0,81 | + 33 | 37,7 | 41,9 | + 68 | 214,2 | 318 |
| − 15 | 1,24 | 1,3 | + 34 | 39,9 | 44,5 | + 69 | 223,7 | 338 |
| − 10 | 1,95 | 2,1 | + 35 | 42,2 | 47,3 | + 70 | 233,7 | 361 |
| − 5 | 3,01 | 3,2 | + 36 | 44,6 | 50,1 | + 71 | 243,9 | 384 |
| − 0 | 4,58 | 4,8 | + 37 | 47,1 | 53,1 | + 72 | 254,6 | 409 |
| + 1 | 4,9 | 5,2 | + 38 | 49,7 | 56,3 | + 73 | 265,7 | 437 |
| + 2 | 5,3 | 5,6 | + 39 | 52,4 | 59,5 | + 74 | 277,2 | 466 |
| + 3 | 5,7 | 6,1 | + 40 | 55,3 | 63,1 | + 75 | 289,1 | 499 |
| + 4 | 6,1 | 6,6 | + 41 | 58,3 | 66,8 | + 76 | 301,4 | 534 |
| + 5 | 6,5 | 7,0 | + 42 | 61,5 | 70,8 | + 77 | 314,1 | 575 |
| + 6 | 7,0 | 7,5 | + 43 | 64,8 | 74,9 | + 78 | 327,3 | 617 |
| + 7 | 7,5 | 8,1 | + 44 | 68,3 | 79,3 | + 79 | 341,0 | 665 |
| + 8 | 8,0 | 8,6 | + 45 | 71,9 | 84,0 | + 80 | 355,1 | 716 |
| + 9 | 8,6 | 9,2 | + 46 | 75,7 | 89,0 | + 81 | 369,7 | 776 |
| + 10 | 9,2 | 9,8 | + 47 | 79,6 | 94,1 | + 82 | 384,9 | 840 |
| + 11 | 9,8 | 10,5 | + 48 | 83,7 | 99,5 | + 83 | 400,6 | 915 |
| + 12 | 10,5 | 11,3 | + 49 | 88,0 | 105,3 | + 84 | 416,8 | 996 |
| + 13 | 11,2 | 12,1 | + 50 | 92,5 | 111,4 | + 85 | 433,6 | 1 092 |
| + 14 | 12,0 | 12,9 | + 51 | 97,2 | 118 | + 86 | 450,9 | 1 205 |
| + 15 | 12,8 | 13,7 | + 52 | 102,1 | 125 | + 87 | 468,7 | 1 329 |
| + 16 | 13,6 | 14,7 | + 53 | 107,2 | 132 | + 88 | 487,1 | 1 480 |
| + 17 | 14,5 | 15,7 | + 54 | 112,5 | 139 | + 89 | 506,1 | 1 663 |
| + 18 | 15,5 | 16,7 | + 55 | 118,0 | 148 | + 90 | 525,8 | 1 877 |
| + 19 | 16,5 | 17,9 | + 56 | 123,8 | 156 | + 91 | 546,1 | 2 151 |
| + 20 | 17,5 | 18,9 | + 57 | 129,8 | 165 | + 92 | 567,0 | 2 492 |
| + 21 | 18,7 | 20,3 | + 58 | 136,1 | 175 | + 93 | 588,6 | 2 935 |
| + 22 | 19,8 | 21,5 | + 59 | 142,6 | 185 | + 94 | 610,9 | 3 541 |
| + 23 | 21,1 | 22,9 | + 60 | 149,4 | 196 | + 95 | 633,9 | 4 381 |
| + 24 | 22,4 | 24,4 | + 61 | 156,4 | 209 | + 96 | 657,6 | 5 732 |
| + 25 | 23,8 | 26,0 | + 62 | 163,8 | 222 | + 97 | 682,1 | 8 133 |
| + 26 | 25,2 | 27,6 | + 63 | 171,4 | 235 | + 98 | 707,3 | 13 818 |
| + 27 | 26,7 | 29,3 | + 64 | 179,3 | 249 | + 99 | 733,2 | 39 400 |
| + 28 | 28,3 | 31,1 | + 65 | 187,5 | 265 | + 100 | 760,0 | ∞ |

2. Die Gastemperatur wird durch thermoelektrische Pyrometer (Eisen-Konstantan oder Nickel-Nickelchrom mit gasdichten Schutzrohren) gemessen. Das Element wird in den Staubsack oder in den Gasabzug eingebaut, wobei besonders darauf zu achten ist, daß es nicht der Strahlung aus dem Gaserzeuger ausgesetzt ist. Für die Überwachung des Gaserzeugerganges ist es besonders vorteilhaft, die Gastemperatur durch Selbstschreiber zu verfolgen; denn jede Störung infolge Durchbrennens des Gaserzeugers äußert sich fast augenblicklich durch rasches Ansteigen der Temperatur. Bei selbsttätiger, kontinuierlicher Beschickung verläuft die Temperaturkurve geradlinig, während bei periodischer Beschickung die Temperatur zwischen zwei Füllungen fällt und wieder ansteigt. Ein gleichmäßiger Verlauf dieser Kurve ist stets das Zeichen eines richtigen Betriebes.

d) Untersuchung der Gaszusammensetzung.

Die Gasanalyse braucht bei gut geführten Gaserzeugern nur in gewissen Abständen durchgeführt zu werden, da sie sich erfahrungsgemäß bei gleichbleibendem Brennstoff und regelmäßiger Bedienung nur unwesentlich ändert. Häufig genügen schon die Bestimmungen von CO_2 und CO , um einen Überblick über die Vergasungsverhältnisse zu erhalten. Von Nutzen ist stets die selbsttätige Überwachung des CO_2 -Gehaltes im Gas durch CO_2 -Schreiber.

Durchführung der Gasanalyse.

1. Die Probe wird entweder als Stichprobe oder als Dauerprobe über eine bestimmte Zeit gezogen.
2. Die Analyse erstreckt sich auf die Bestimmung von CO_2 und O_2 (freien Sauerstoff kann Generatorgas nicht enthalten; ist er bei der Analyse gefunden worden, so rührt er von fehlerhafter Probenahme — Falschluf — her und muß mit dem zugehörigen Stickstoff aus der Analyse herausgerechnet werden) und von brennbaren Gasen C_mH_n , CO , H_2 , CH_4 sowie des N_2 als Restglied. Während CO_2 , C_mH_n , O_2 und CO durch Absorption ermittelt werden, erfolgt die Bestimmung von CH_4 und H_2 durch Verbrennung über einer Platindrahtspirale.

Verwendete Absorptionsmittel.

Für CO_2 : 100 g Kaliumhydroxyd (nicht mit Alkohol gereinigt) werden in 200 cm^3 Wasser gelöst (Absorptionsdauer höchstens 1 min).

Für C_mH_n : rauchende Schwefelsäure mit einem Gehalt von 20 bis 25 % freiem Anhydrid (Absorptionsdauer 5 min) oder gesättigtes Bromwasser, das noch etwas überschüssiges Brom enthält (Absorptionsdauer 3–5 min). In beiden Fällen sind die Dämpfe vor Ablesung der Volumenverminderung durch Absorption in der Kalilaugenpipette zu entfernen.

Für O_2 : 200 g Kaliumhydroxyd werden in 150 cm^3 Wasser gelöst; je 100 cm^3 dieser Lösung werden 15–20 g Pyrogallol zugesetzt. Die Lösung ist vor Luftzutritt zu schützen (Absorptionsdauer etwa 5 min). Oder man löst 50 g Natriumhydrosulfit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) in 250 cm^3 Wasser und vermischt die Lösung mit 40 cm^3 Natronlauge aus 500 g Natriumhydroxyd und 700 cm^3 Wasser. Die Lösung ist vor Luftzutritt zu schützen (Absorptionsdauer 3 min). Von ausgezeichneter Absorptionswirkung ist das O_2 -Multirapid der Union-Apparatebaugesellschaft, Karlsruhe, das gebrauchsfertig zu beziehen ist und eine sehr große Zahl von O_2 -Analysen mit einer Füllung erlaubt.

Für CO : 250 g Ammoniumchlorid werden in 750 cm^3 Wasser gelöst und 200 g Kupferchlorür (Cu_2Cl_2) zugefügt. In die mit Gummistopfen verschlossene Flasche gibt man noch Kupferdraht oder -drehspäne zur Reduktion stets vorhandenen Kupferchlorides. Bei der Verwendung werden 3 Teile dieser Lösung mit 1 Teil Ammoniak vom spezifischen Gewicht 0,91 (gesättigte Lösung) gemischt. Man verwendet zwei Pipetten zur Absorption (Absorptionsdauer je 3–5 min). Häufig bleibt etwas CO unabsorbiert und muß mit H_2 und CH_4 verbrannt werden.

Es empfiehlt sich, nach Benutzung der mit Pyrogallol oder mit O_2 -Multirapid und der mit Kupferchlorür gefüllten Pipette das Gas nochmals in die Pipette mit Kalilauge zu führen, da sich öfter nach Gebrauch der erstgenannten Absorptionsmittel CO_2 im Gas findet, das aus den Absorptionsflüssigkeiten entwichen ist.

3. Ausführungsbeispiel einer Gasanalyse:

(Absorption von CO_2 , C_mH_n , O_2 , des Hauptteiles von CO und gemeinsame Verbrennung des CO -Restes, H_2 und CH_4 ; N_2 aus der Differenz auf 100 gerechnet).

| | abgelesen |
|--|-----------------------|
| Abgemessene Gasmenge | 100,0 cm ³ |
| CO_2 -Absorption (Kalilauge) | 95,2 cm ³ |
| CO_2 | 4,8 cm ³ |
| C_mH_n -Absorption (rauchende Schwefelsäure oder Bromwasser, dann Kalilauge) | 94,8 cm ³ |
| C_mH_n | 0,4 cm ³ |
| O_2 -Absorption (Pyrogallol oder Multirapid) | 94,5 cm ³ |
| O_2 | 0,3 cm ³ |
| CO -Absorption (Ammoniak-Kupferchlorürlösung zweimal) | 68,4 cm ³ |
| CO -Hauptteil | 26,1 cm ³ |
| Gasrest | 68,4 cm ³ |
| davon zur Verbrennung abgemessen | 39,0 cm ³ |
| dazu Luft | 89,6 cm ³ |
| zugeführte Luftmenge | 50,6 cm ³ |
| Volumen nach der Verbrennung | 75,2 cm ³ |
| Kontraktion = c | 14,4 cm ³ |
| CO_2 -Absorption (Kalilauge) | 73,7 cm ³ |
| CO_2 (aus CO -Rest und CH_4) = b | 1,5 cm ³ |
| Absorption des überschüssigen O_2 aus der Luft (Pyrogallol oder Multirapid) | 69,3 cm ³ |
| O_2 -Überschuß | 4,4 cm ³ |
| Verbrauchter O_2 = a = $50,6 \cdot 0,21 - 4,4 =$ | 6,2 cm ³ |
| H_2 -Gehalt des verbrannten Gasrestes = c — a = | |
| 14,4 — 6,2 = | 8,2 cm ³ |
| CH_4 -Gehalt des verbrannten Gasrestes = a — $\frac{b + c}{3} =$ | |
| $6,2 - \frac{1,5 + 14,4}{3} = 6,2 - 5,3 =$ | 0,9 cm ³ |
| CO -Gehalt des verbrannten Gasrestes = b — $\text{CH}_4 =$ | |
| 1,5 — 0,9 = | 0,6 cm ³ |
| Es ist dann in den 100,0 cm ³ abgemessenen Gases vorhanden | |
| an H_2 $8,2 \cdot \frac{68,4}{39,0} = 14,4 \text{ cm}^3$ | |

$$\text{an CH}_4 \quad 0,9 \cdot \frac{68,4}{39,0} = 1,6 \text{ cm}^3$$

$$\text{an CO} \quad 0,6 \cdot \frac{68,4}{39,0} + 26,1 = 1,0 + 26,1 = 27,1 \text{ cm}^3.$$

Die Analyse des Gases lautet:

| im Meßzustand | davon ab | luftfrei | luftfrei auf 100 % umgerechnet |
|------------------------------------|----------|----------|------------------------------------|
| 4,8% CO ₂ | | 4,8 | 4,9% CO ₂ |
| 0,4% C _m H _n | | 0,4 | 0,4% C _m H _n |
| 0,3% O ₂ | — 0,3 | 0,0 | 0,0% O ₂ |
| 27,1% CO | | 27,1 | 27,5% CO |
| 14,4% H ₂ | | 14,4 | 14,6% H ₂ |
| 1,6% CH ₄ | | 1,6 | 1,6% CH ₄ |
| 51,4% N ₂ | — 1,1 | 50,3 | 51,0% N ₂ |
| 100,0% | — 1,4 | 98,6 | 100,0% |

Wenn die Verbrennungsluft für die Gasanalyse nicht aus dem Freien angesaugt werden kann, empfiehlt es sich, sie auf ihren Sauerstoffgehalt zu untersuchen, da sie mitunter in geschlossenen Räumen weniger als 21 % O₂ enthält. Wird ferner ein negativer Wert für CO bei der Verbrennung gefunden, so ist Kohlensäure während der Verbrennung vom Sperrwasser absorbiert worden. In diesem Falle ist der gefundene negative Wert von der gefundenen Kontraktion *c* abzuziehen und der gefundenen Kohlensäure *b* zuzuzählen, bevor man die Verbrennungsrechnung durchführt. Wenn schließlich bei der Absorption mit Kupferchlorürlösung in der zweiten Pipette mehr als 2 cm³ oder bei der Verbrennung mehr als 1 cm³ CO ermittelt werden, so nimmt man die zweite Pipette als erste zur Absorption der Hauptmenge des CO, beschickt die erste Pipette mit frischer Lösung und schaltet sie als zweite zur Restabsorption ein.

Es ist auch besonders bei der Verbrennung darauf zu achten, daß das Gas in der Meßbürette stets die gleiche Temperatur bei der Ablesung besitzt, da ein Unterschied von je 1° einen Volumenunterschied von je $\frac{1}{273} = 0,37\%$ verursacht. Bei sorgfältiger Durchführung der Analyse gibt man ferner dem Sperrwasser vor allen

Ablesungen Zeit zum Zusammenlaufen, wofür 3 Minuten ausreichen. Bei eiligen Untersuchungen kann man ungefähr die gleichen Differenzwerte erhalten, wenn man das Zusammenlaufen überhaupt nicht abwartet, sondern sogleich abliest; es sind aber Fehler in der Ablesung leichter möglich. Die Gasanalyse ist ohne Unterbrechung in einem Zuge durchzuführen. Als Sperrwasser für Sammelproben und die Meßbürette verwendet man besser als gesättigte Kochsalzlösung solche von Natriumthiosulfat oder Magnesiumchlorid.

e) Bestimmung von Feuchtigkeit und Teer im Gas.

Die Feuchtigkeit des Gases entspricht bei gereinigtem und gekühltem Gas dem Sättigungszustand entsprechend der Gas-temperatur und ist aus Tafel Seite 238 ersichtlich. Im Heißgas wird die Feuchtigkeit nach dem psychrometrischen Verfahren aus der Temperaturdifferenz zweier Thermometer ermittelt, von denen das eine feucht gehalten wird (Tafel Seite 244).

Die Bestimmung des Teergehaltes im Generatorgas ist umständlich und erfordert gewisse analytische Erfahrung und eine größere Meßeinrichtung. Für Überschlagsrechnungen zur Ermittlung der Gasausbeute und zur Aufstellung des Wärmehaushaltes genügt es meist, die Werte aus Tafel 12, Seite 228, einzusetzen.

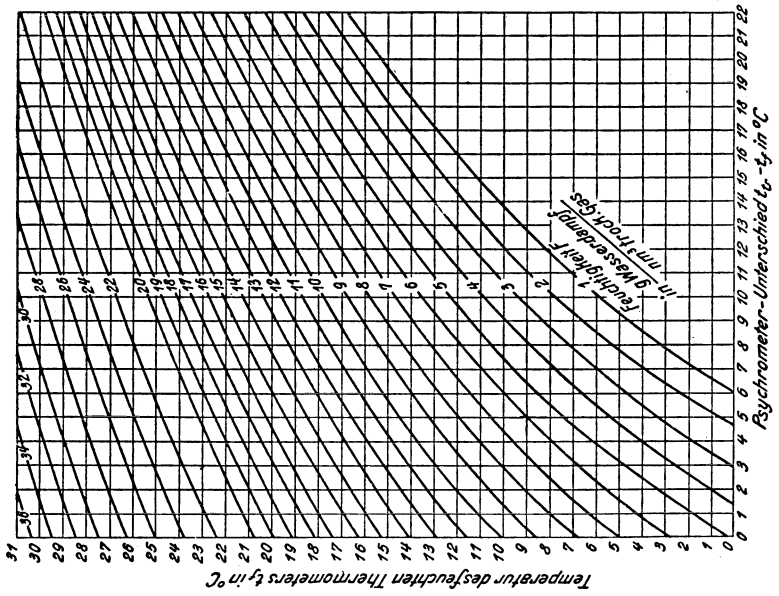
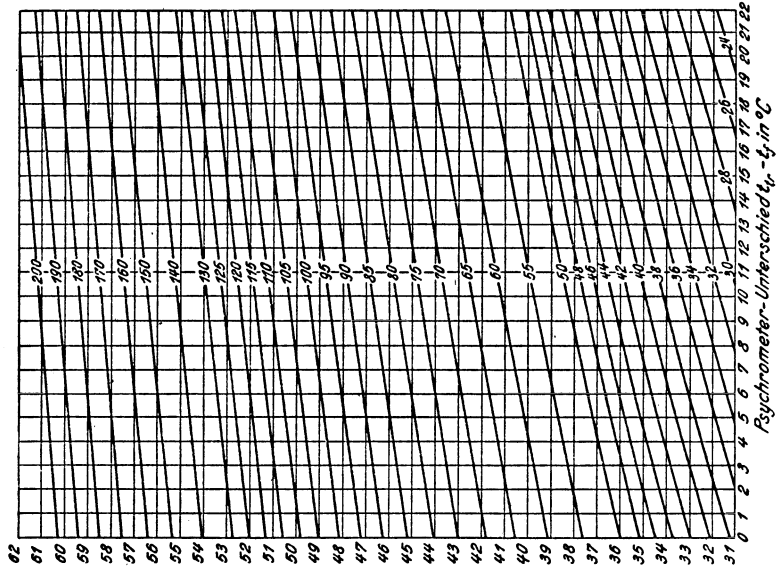
f) Messung der Schichthöhe der einzelnen Zonen im Gaserzeuger.

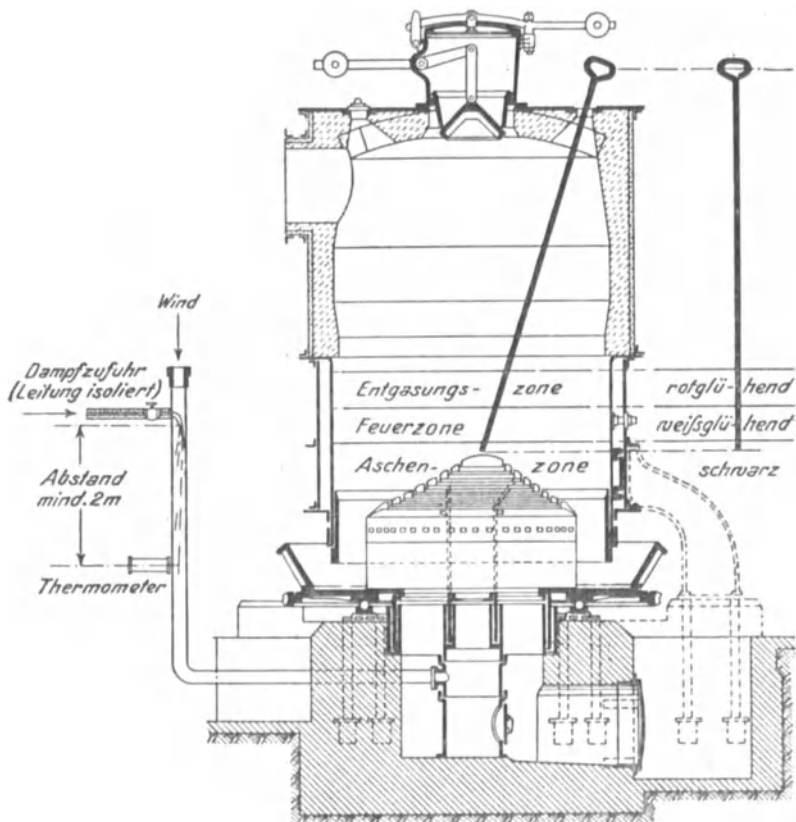
Die Stochstangenprobe, die mindestens je Schicht einmal durchgeführt werden soll, ist außerordentlich wichtig. Sie gibt dem Bedienungsmann und der Betriebsaufsicht einen genauen Überblick über den Zustand des Brennstoffbettes. Für die Messung genügt eine $\frac{3}{4}$ zöllige Stange, die durch die Beschickung hindurch auf die Rostspitze bei stillstehendem Drehrost aufgesetzt wird. Bei richtiger Einstellung des Gaserzeugers zeigt die Stange nach etwa 3 Minuten die einzelnen Zonen an, und zwar von der Spitze der Stange an gerechnet

| | | |
|----------------|---|-------------------------|
| Aschenzone | = | schwarz, |
| Feuerzone | = | weißglühend, |
| Entgasungszone | = | rotglühend bis schwarz. |

Das Aufsetzen der Stange auf die Rostspitze erfordert einige Übung, da es leicht vorkommen kann, daß man nicht die Rostspitze, sondern die zweite oder dritte Rostplatte trifft. Um solche Falsch-

Schaubild zur Bestimmung der Gasfeuchtigkeit aus der Temperatur des trockenen und feuchten Thermometers.





Einführung des Dampfes in die Windleitung und Messung der Schichthöhen.

messungen zu vermeiden, empfiehlt es sich, das Maß Rostspitze bis Oberkante Stochplatte ein für allemal festzulegen und für die Messungen stets ein und dieselbe Stange bekannter Länge zu verwenden.

Nach dem gefundenen Schlackenstand wird der Schlackenausrag geregelt. Zur guten Windverteilung und zum Schutz von Rost und Tauchring muß genügend Schlacke — eine Schicht von 100—200 mm — auf dem Rost vorhanden sein.

Die Schlacke wird bei Drehrosten und gasreichen Brennstoffen am besten einmal in der achtstündigen Schicht ausgetragen; der Rost soll dazu möglichst rasch und je nach dem Schlackenstand 1—2 Stunden laufen. Bei gasarmen Brennstoffen, wie Anthrazit und Koks, hat sich das dauernde Drehen des Rostes sehr gut bewährt.

Voraussetzung ist hierbei, daß man die Umdrehungsgeschwindigkeit des Rostes so einstellen kann, daß nicht zu viel Schlacke ausgetragen wird.

Festrost, die von Hand entschlackt werden, sind je nach Durchsatz und Kohlenart nach Bedarf zu reinigen.

Das Stochen der Gaserzeuger soll in regelmäßigen Abständen, mindestens einmal je Schicht, gleichmäßig über den ganzen Querschnitt der Brennstoffschicht erfolgen. Es ergibt einen Überblick über den Zustand der Schlacke. Gleichzeitig werden etwaige Hohlräume ausgeglichen und größere Schlackenbrocken zerkleinert. Die Oberfläche des Brennstoffbettes soll möglichst gleichmäßig dunkelrot erscheinen. Durchbläser, durch helle Stellen erkenntlich, deuten in den meisten Fällen auf unregelmäßige Schlackenbildung hin. Bei harter Schlacke hat das Stochen öfter zu erfolgen, und der Dampfzusatz ist langsam zu erhöhen.

g) Brennstoffaufgabe.

Der Gaserzeuger wird bei periodischer Aufgabe mit möglichst kleinen Mengen beschickt, am besten je nach der Temperatur im abziehenden Gas. Hängen mehrere Gaserzeuger an einer Gasammelleitung, dann soll der Brennstoff nicht gleichzeitig für alle Gaserzeuger aufgegeben werden, sondern abwechselnd, damit die Gaszusammensetzung möglichst gleichmäßig bleibt. Der Brennstoff ist auf der Oberfläche gut zu verteilen, da nur dann ein gleichmäßiger Durchbrand erfolgt. Geschieht das nicht durch die Aufgabevorrichtung allein, dann muß durch Schüren mit leichten Stangen nachgeholfen werden. Es ist notwendig, daß die Brennstoffoberfläche beobachtet wird und Unregelmäßigkeiten, insbesondere durch helle Stellen kenntliche Durchbläser, beseitigt werden.

Bei Gasflamm- und Flammkohlen wird zweckmäßig die Gas-temperatur möglichst hoch gehalten, um zu verhindern, daß der Teer sich in den Gasleitungen und -kanälen niederschlägt. Man erreicht das durch Erniedrigung der Schichthöhe und des Dampfzusatzes.

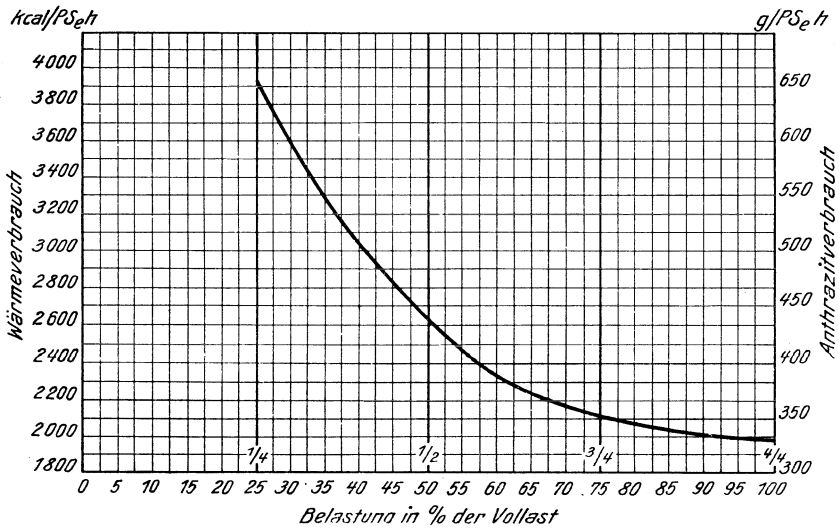
In Schmelzbetrieben, bei denen hohe Flammenstrahlung erwünscht ist, wird der Dampfzusatz im allgemeinen auf das für eine lockere Schlacke erforderliche geringste Maß eingestellt, da hoher Wasserstoffgehalt im Gas die Strahlung der Flamme beeinträchtigt.

C. Stillsetzen von Gaserzeugern.

Die Gasventile hinter dem Gaserzeuger sind erst zu schließen, nachdem alle Gasverbraucher abgestellt und der Unterwind und Dampfzusatz am Gaserzeuger gedrosselt sind. Dann wird das Gas an den Stoßlöchern angezündet, der Wind ganz abgestellt, der Gasabzug zum Kamin bzw. zur Entlüftung und die Tür unter dem Rost geöffnet.

20. Kraftgas.

Anthrazit und Brechkoks eignen sich vorzüglich zur Erzeugung von Kraftgas für den Betrieb von Gasmaschinen. Da diese Brennstoffe praktisch teerfrei sind, genügt eine verhältnismäßig einfache Gasreinigung, die jeweils den örtlichen Bedingungen angepaßt werden kann. Da der Gaserzeuger in weiten Grenzen den Belastungsschwankungen anstandslos folgt und auch bei Stillständen von mehreren Tagen betriebsbereit bleibt, steht die Gasanlage in bezug auf Regelbarkeit dem Dieselmotor kaum nach; sie ist ihm aber hinsichtlich der Betriebskosten durch den Einsatz von billigen heimischen Brennstoffen überlegen. Die vollautomatischen Sauggasanlagen erfordern nur geringe Wartung, die meist von dem vorhandenen Maschinenpersonal mit erledigt werden kann.



Beispiel für den Verbrauch eines stehenden Gasmotors.

Betriebsverbrauchszahlen für Anthrazit-Kraftgasanlagen:

| | | | |
|--|-----------------|-------|-------|
| Motorengröße | PS | 270 | 550 |
| | kW | 180 | 365 |
| Durchschnittsbelastung in % der Vollast | | 75 | 65 |
| Stromerzeugung | kW | 135 | 237 |
| Eigenbedarf der Anlage | kW | 6 | 17,5 |
| Stromabgabe | kW | 129 | 219,5 |
| Brennstoff | Anthrazit Nuß 4 | | |
| Unterer Heizwert | kcal/kg | 7 600 | 7 600 |
| Verbrauch einschl. Verluste | g/PSeh | 385 | 380 |
| | g/kWh | 578 | 570 |
| | kg/h | 52 | 90 |
| Verbrauch je abgegebene kWh . . . | g/kWh | 605 | 616 |

21. Brenner für Generatorgas.¹⁾

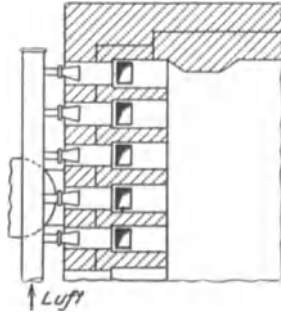
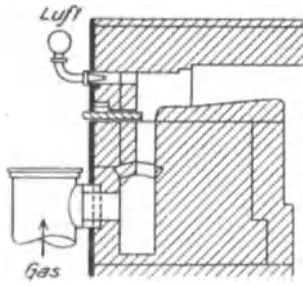
Für die gute Regelbarkeit der Gasfeuerungen sind Auswahl und Anordnung der Brenner für den jeweiligen Zweck sehr wichtig. Für Generatorgas sind vorwiegend Niederdruckventilatorwind-Brenner in Gebrauch, die sowohl für Rohgas als auch für gereinigtes Gas in mannigfacher Ausführung hergestellt werden. Die einfache Regelung der Gasfeuerungen gestattet es, fast jeden Ofen mit selbsttätiger Regelung auszurüsten.

Beispiele für Gasbrennerkonstruktionen:

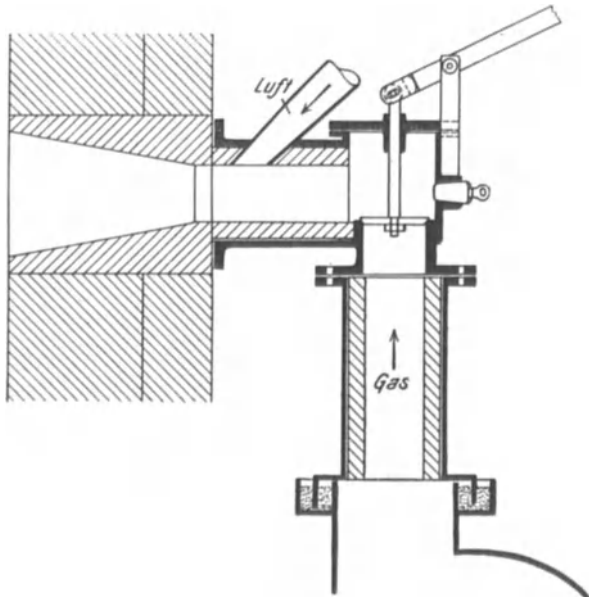
a) Rohgasbrenner.

Die Brenner für ungereinigtes Generatorgas werden vielfach gemauert. Zur Erhöhung der Verbrennungsgeschwindigkeit und zur Erzielung einer kurzen, heißen Flamme wird die Verbrennungsluft in eisernen Düsen mit großer Geschwindigkeit — bis 15 m/s — zugeführt. Die Flammenlänge läßt sich durch Veränderung der Austrittsgeschwindigkeit der Verbrennungsluft und durch Veränderung des Schnittwinkels zwischen Gas- und Luftstrom regeln.

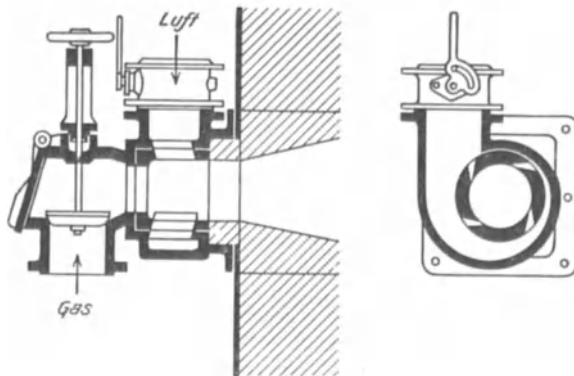
¹⁾ Vgl. Neumann, G., Stahl u. Eisen 1936, S. 941 ff.



Gemauerte Brennerreihe für Rohgas.

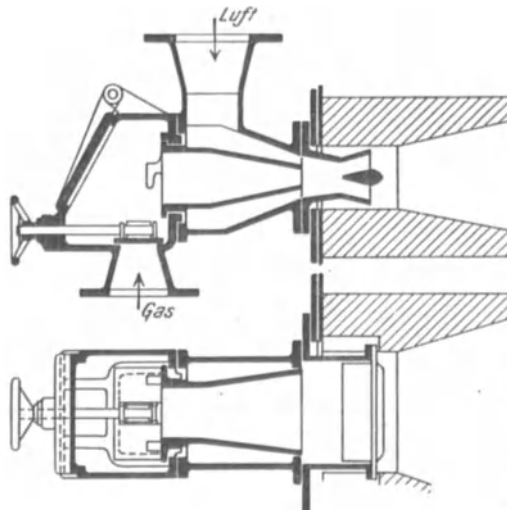


Rohgas-Einzelbrenner.



Rohgas-Hochleistungs-Wirbelbrenner.

Bei dem Wirbelbrenner wird durch die Drallwirkung der tangential einströmenden Verbrennungsluft eine kurze, heiße Flamme erzielt. Da die eintretende Luft den Gasstrom im Brenner ringförmig umschließt, wird eine Verschmutzung des Brennergehäuses durch das ungereinigte Gas verhindert. Der Brenner eignet sich auch für Reingas.

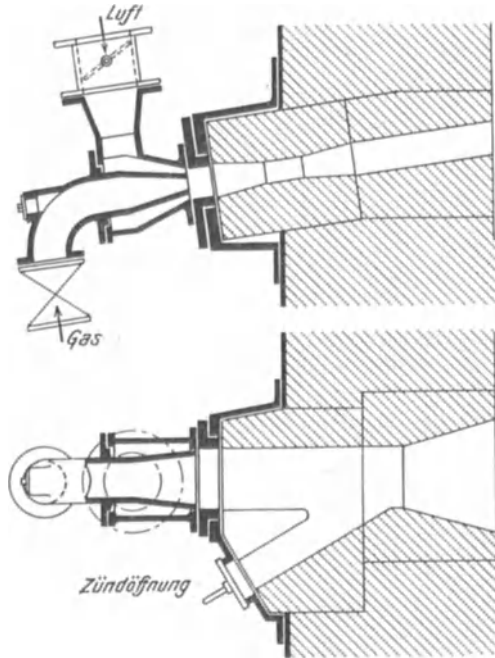


Rohgas-Flachstrahlbrenner.

Der Rohgas-Flachstrahlbrenner gibt eine breite Flamme für besondere Zwecke, wie Blechglühöfen usw. Das keilförmige Einbaustück wird bei teerreichen Gasen fortgelassen.

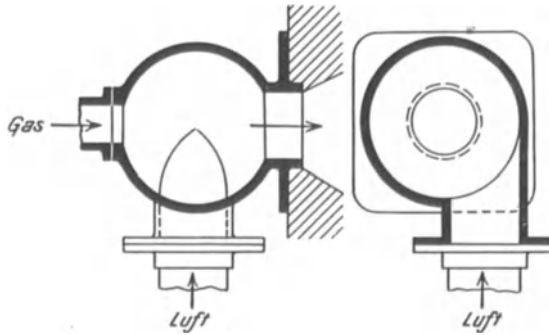
b) Reingasbrenner.

Die Niederdruckbrenner für gereinigtes Generatorgas zeichnen sich durch besonders gute Regelbarkeit aus. Da keine Verschmutzung der Mischräume und Leitflächen eintritt, können die Brenner in geschlossener und gedrängter Form gebaut werden.



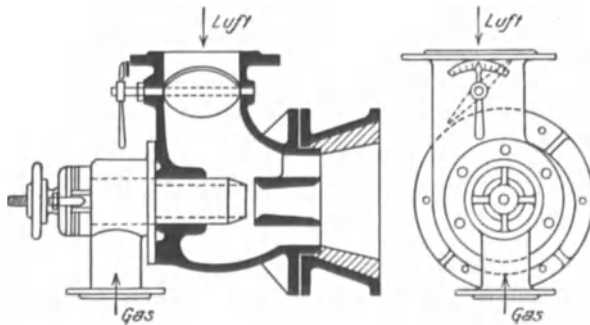
Reingas-Flachstrahlbrenner.

Die Abbildung zeigt einen Reingas-Flachstrahlbrenner mit Ventilatorluft, der durch Gashahn und Luftdrosselklappe geregelt wird. Brennergehäuse und Gasdüse sind aus hitzebeständigem Guß hergestellt; die Gasdüse ist auswechselbar. Die durch eine Klappe verschließbare Zündöffnung dient auch zur Beobachtung des Brenners. Die mit dem Flachstrahlbrenner erzielte breite Flamme macht ihn für Blechglühöfen usw. geeignet.



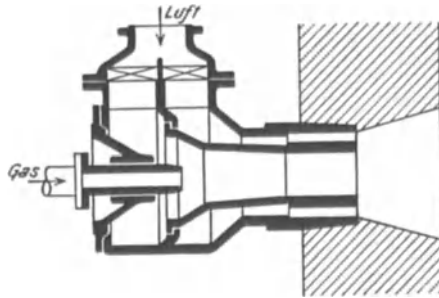
Niederdruck-Ventilatorwindbrenner mit Kugelgehäuse.

Bei dem Niederdruck-Ventilatorwindbrenner mit Kugelgehäuse wird die Verbrennungsluft tangential in den kugelförmigen Mischraum eingeführt, der eine gute Durchmischung vor Eintritt in den Brennerstein bewirkt. Es entsteht eine kurze und heiße Flamme auch bei schwachem Gas.



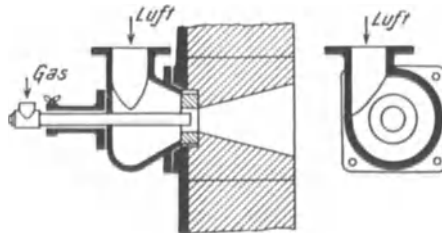
Niederdruck-Ventilatorwindbrenner mit Einstellbarkeit der Flammenlänge.

Bei diesem Brenner läßt sich die Flammenlänge durch Verschiebung der Gasdüse verändern. Je nach Stellung der Gasdüse wird ein gewisser Teil des Gases schon vor dem Eintritt in den Brennerstein mit der Verbrennungsluft vorgemischt und dadurch die Verbrennungsgeschwindigkeit beeinflusst.



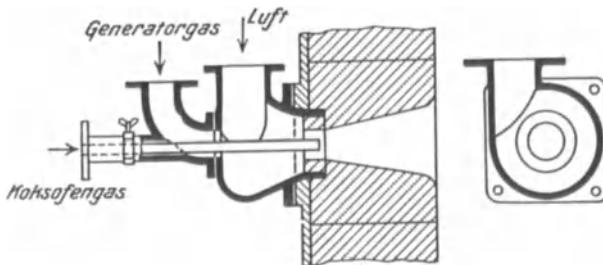
Niederdruck-Ventilatorwindbrenner mit Einstellbarkeit der Flammenlänge.

Die Flammenlänge wird durch Teilung der Verbrennungsluft in Erstluft, die bereits im Brenner mit dem Gas vermischt wird, und Zweitluft, die ringförmig erst im Brennerstein hinzutritt, eingestellt. Durch Veränderung des Mengenverhältnisses von Erstluft und Zweitluft ist die Flammenlänge zu beeinflussen.



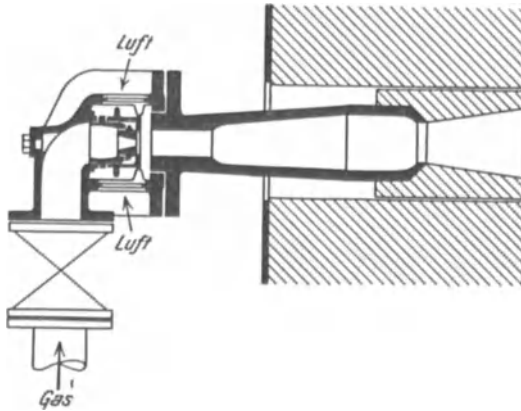
Niederdruck-Ventilatorwindbrenner mit Einstellbarkeit der Flammenlänge.

Die Flammenlänge wird durch Verschiebung der Gasdüse verändert. Gas und Luft werden im kugelförmigen Brennergehäuse gemischt.



Koksogas-Generatorgas-Brenner.

Der vorstehende Brenner kommt für abwechselnde Verwendung von Starkgas und Schwachgas in Frage.



Einstufiger Preßgasbrenner mit Luftansaugung.

Die Vorteile dieses Brenners liegen im Wegfall der Windleitungen und des Ventilators. Es ist nur ein Regelorgan erforderlich, da die vom Gasstrahl angesaugte Luftmenge in gewissen Grenzen proportional der Gasmenge bleibt.

Die Nachteile des Brenners bestehen im Verzicht auf Luftvorwärmung; ferner bleibt das Verhältnis Gas : Luft nur in bestimmten Grenzen und bei gleichbleibendem Gegendruck im Ofen konstant. Wegen der Rückschlaggefahr geht die Regelgrenze meist nicht unter $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ der Vollast.

Achter Teil.

**Verwendung von Brennstoffen
des Ruhr-, Aachener und Saar-
bergbaues in Industrieöfen.**

1. Wärmeübergangszahlen der Ofenaußenwände.

| Äußere Oberflächentemperatur der Wände °C | Wärmeübergangszahl α (Strahlung und Konvektion von senkrechten oder waagerechten Wänden) kcal/m ² h°C | Stündliche Wärmeabgabe der Wände bei Außentem- peratur von 10 ⁰ kcal/m ² h |
|--|---|---|
| 10 | 7,4 | 0 |
| 25 | 8,6 | 129 |
| 40 | 9,6 | 288 |
| 60 | 10,9 | 545 |
| 80 | 11,6 | 811 |
| 100 | 12,4 | 1 119 |
| 130 | 13,8 | 1 655 |
| 160 | 15,2 | 2 280 |
| 200 | 17,4 | 3 300 |
| 240 | 19,3 | 4 440 |
| 280 | 21,4 | 5 780 |
| 320 | 24,1 | 7 470 |
| 350 | 26,1 | 8 870 |
| 400 | 29,8 | 11 620 |
| 500 | 38,5 | 18 860 |
| 600 | 49,3 | 29 150 |

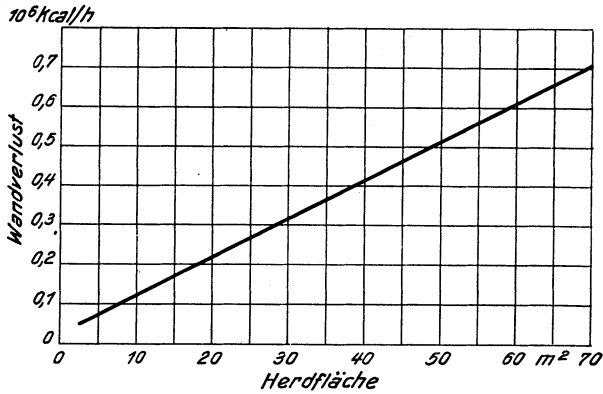
Nach Mitteilung Nr. 51 der Wärmestelle Düsseldorf bzw. Anhaltzahlen für den Energieverbrauch in Eisenhüttenwerken. Hrsg. Wärmestelle Düsseldorf. 3. Auflage 1931.

2. Wärmeverluste bei verschiedenen Ofeninnenwandtemperaturen.

| | Schamotte | | Silika | | Schamotte | | Silika | |
|-------------------|-----------------------|----------------|----------|----------------|-----------------------|----------------|----------|----------------|
| | isol. ¹⁾ | nicht isoliert | isoliert | nicht isoliert | isoliert | nicht isoliert | isoliert | nicht isoliert |
| Ofentemperatur | t = 1500 ⁰ | | | | t = 1250 ⁰ | | | |
| 1/2 Steindicke . | . | . | . | 15,6 | 1,43 | 8,95 | 1,50 | 11,2 |
| 1 Steindicke . | . | . | . | 8,1 | 1,25 | 4,54 | 1,37 | 5,96 |
| 1 1/2 Steindicken | . | . | . | 5,5 | 1,13 | 3,22 | 1,25 | 4,05 |
| 2 Steindicken | . | . | . | 3,9 | 1,02 | 2,34 | 1,15 | 3,06 |
| Ofentemperatur | t = 1000 ⁰ | | | | t = 750 ⁰ | | | |
| 1/2 Steindicke . | 1,02 | 6,42 | 1,09 | 8,10 | 0,68 | 4,62 | 0,71 | 5,60 |
| 1 Steindicke . | 0,94 | 3,28 | 1,00 | 4,16 | 0,61 | 2,20 | 0,65 | 2,95 |
| 1 1/2 Steindicken | 0,84 | 2,22 | 0,92 | 2,90 | 0,54 | 1,52 | 0,59 | 1,98 |
| 2 Steindicken | 0,77 | 1,68 | 0,85 | 2,21 | 0,49 | 1,16 | 0,53 | 1,50 |

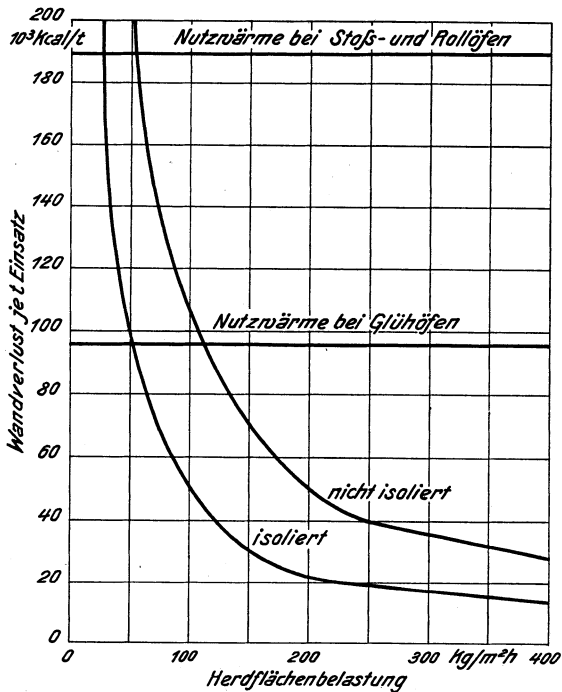
¹⁾ Die Schutzschicht beträgt 1/2 Stein hinter der angegebenen Steindicke.
Nach „Hütte“, Taschenbuch für Eisenhüttenleute. 4. Aufl. Berlin 1930.

3. Wandverluste über der Herdfläche von Stoß- und Glühöten.



Vgl. Stahl und Eisen 1936, S. 1150.

4. Wandverluste über der Herdflächenbelastung von Stoß-, Roll- und Glühöfen.



Vgl. Stahl und Eisen 1936, S. 1150.

5. Wärmehalte verschiedener Stoffe.

(Bei geschmolzenen Stoffen einschl. Schmelzwärme.)

| | kcal/kg | kWh/kg | Überschlags- werte | |
|--|------------------|----------------------|-----------------------|--------|
| | | | kcal/kg | kWh/kg |
| Flüssiges Roheisen | { 240—270 320 | 0,279—0,313 0,371 | 300 | 0,347 |
| Flüssiger Stahl beim Einschmelzen im Elektroofen | 340—350 | 0,397—0,405 | — | — |
| Flüssige Hochofenschlacke . . . | 400—500 | 0,465—0,581 | 500 | 0,581 |
| Flüssige Schweißschlacke im Stoß- oder Schmiedeofen . . . | — | — | 400 | 0,465 |
| Flüssige Kupolofenschlacke . . . | 400—450 | 0,465—0,523 | — | — |
| Flüssige Thomas- und Siemens-Martin-Schlacke | 450—525 | 0,523—0,610 | 525 | 0,610 |
| Flüssige Elektrostahlschlacke . | 525—560 | 0,610—0,651 | 550 | 0,639 |
| Kohlen 0—500° | 150 | 0,174 | — | — |
| Koks 0—1000° | 400 | 0,465 | — | — |

bei Lichtbogenöfen

Anhaltzahlen für den Energieverbrauch in Eisenhüttenwerken. Hrsg. Wärmestelle Düsseldorf, 3. Auflage 1931

6. Brennstoffverbrauch von Siemens-Martin-Öfen.

| Brennstoff | Unterer Heizwert | Brennstoffverbrauch je t Stahl | Wärmeverbrauch in 10 ⁶ kcal je t Stahl |
|--|---------------------------|--------------------------------|---|
| Kohlen | 7000 kcal/kg | 200—300 kg | 1,4 —2,1 |
| Mischgas (Koks- und Hochofengas) | 1800 kcal/Nm ³ | 600—900 Nm ³ | 1,08—1,6 |
| Kaltes Koksofengas | 4000 kcal/Nm ³ | 300—400 Nm ³ | 1,2 —1,6 |
| Teeröl | 8500 kcal/kg | 115—130 kg | 1,0 —1,1 |

Anhaltzahlen für den Energieverbrauch in Eisenhüttenwerken. Hrsg. Wärmestelle Düsseldorf, 2. Auflage 1925.

7. Der Gießereischachtofen.

A. Stoffmengen.

- Füllkokshöhe bis mindestens 600 mm oberhalb Düsenoberkante.
- Gewicht eines Kokssatzes bei einem durchschnittlichen Schüttgewicht des Gießereikokes von 500 kg/m³: 75—100 kg je m² Schachtquerschnitt in der Schmelzzone.

- c) Gewicht des zugehörigen Eisensatzes bei 10—14 % Satzkoksverbrauch 600—1000 kg je m² Schachtquerschnitt in der Schmelzzone.
- d) Durchschnittliche Höhe einer Satzkoksschicht 150—200 mm.
- e) Gewicht der Zuschläge (Kalkstein und wenn notwendig Flußspat) je Satz 3—5 % vom Eisengewicht.
- f) Windmenge rund 7 Nm³ je kg Satzkoks, daher bei einer Schmelzleistung von 9—10 t Eisen je Stunde und m² Schachtquerschnitt in der Schmelzzone und 10 % Satzkoksverbrauch rund 110 Nm³ je min und m² Schachtquerschnitt in der Schmelzzone; für Verluste durch Undichtigkeiten in Leitung und Windmantel ist ein Zuschlag von 10—15 % (im Mittel 12 %) bereits eingeschlossen.
- g) Winddruck 500—700 mm WS am Windmantel (Faustformel: Winddruck in mm WS = $64 \sqrt{\text{Windmenge in Nm}^3/\text{min.}}$)
- h) Schlackengewicht normal etwa 5—7 % des Eisengewichtes.

B. Messungen zur Betriebskontrolle.

- a) Die Windmenge wird am einfachsten mittels Blende in Verbindung mit einem anzeigenden oder schreibenden Differenzdruckmesser nach Teil II des Handbuches gemessen.
- b) Der Winddruck wird am einfachsten durch ein U-Rohr oder durch einen anzeigenden oder schreibenden Druckmesser gemessen.
- c) Die Temperatur des aus dem Ofen fließenden Eisens wird durch Teil- oder Gesamtstrahlungs-pyrometer gemessen; bei Anwendung des Farbkeilpyrometers „Bioptix“ entfällt die sonst notwendige Korrektur.
- d) Die Gichtgase werden selten untersucht, weil es nicht leicht ist, einwandfreie Gasproben zu entnehmen und weil ohne Behinderung der Begichtung eine dauernde Probenahme über den ganzen Schachtquerschnitt unmöglich ist. Es genügt die Bestimmung des Kohlensäuregehaltes, aus dem man den Gehalt der Gichtgase an Kohlenoxyd und Stickstoff überschlägig errechnen kann:

$$\text{CO}\% = 1,653 (21 + \text{CO}_2\%)$$

$$\text{N}_2\% = 0,653 (100 + \text{CO}_2\%)$$

- e) Die Gichtgastemperatur wird nur ausnahmsweise gemessen; sie wird leicht durch auftretende Stichflammen gefälscht.

C. Fehler im Schmelzbetrieb.

| Fehler | Ursache | Abhilfe |
|--|---|---|
| 1. Eisen matt: | | |
| a) Eisen von Anfang an matt, geringe Schmelzleistung, jedoch normale Schlackenmenge. | Windmangel oder bei schlechter Vorwärmung zu wenig Satzkoks. | Mehr Wind, bessere Vorwärmung und Erhöhung der Satzkoksmenge. |
| b) Eisen anfangs matt bei geringer Schmelzleistung, später Erhöhung der Eisentemperatur und der Schmelzleistung. | Schlechte Vorwärmung des Ofens und des Vorherdes. | Gute Ofenvorwärmung. |
| c) Eisen wird matt bei geringer Schmelzleistung und großer Schlackenmenge. | Abblättern und Abrutschen der Flickmasse bzw. Abschmelzen des Ofenfutters oder zu wenig Füllkoks. | Mehr Sorgfalt beim Aufbringen der Flickmasse bzw. in der Wahl des Ofenfutters oder mehr Füllkoks. |
| d) Eisen anfangs matt bei normaler Schmelzleistung. | Zu wenig Füllkoks, zu wenig vorgewärmt. | Zugabe eines doppelten Kokssatzes. |
| 2. Eisen heiß: | | |
| a) Eisen heiß, Schmelzleistung anfangs sehr gering, später normal. | Zu viel Füllkoks oder Satzkoks (Füllkoks steht in der Verbrennungszone). | Von selbst durch Füllkoksabbrand oder Erniedrigung der Satzkoksmenge. |
| b) Eisentemperatur anfangs hoch, dann dauernd abnehmend bei gleichbleibender großer Schmelzleistung. | Zu wenig Satzkoks. | Erhöhung der Satzkoksmenge. |
| c) Eisentemperatur dauernd hoch, jedoch zurückgehende Schmelzleistung. | Zu viel Satzkoks. | Erniedrigung der Satzkoksmenge. |
| d) Eisentemperatur geht zurück bei abnehmender Schmelzleistung. | Querschnittsverengung der Düsen durch Schlackenansätze. | Entfernen der Schlackenansätze. |
| 3. Eisentemperatur wechselnd: Wechselnde Schmelzleistung. | | |
| | Zeitweiliges Hängen sperrigen Einsatzes oder ungleichmäßiger Einsatz. | Zerkleinerung der sperrigen Stücke vor der Aufgabe oder gleichmäßige Gattierung. |
| 4. Schlacke dickflüssig: | | |
| a) Bei großer Schlackenmenge. | Abblättern des Ofenfutters oder unweckmäßige Beschaffenheit des Ofenfutters, starke Verunreinigung des Einsatzes durch Sand und Rost. | Sorgfältige Ausbesserung, passendes Flickmaterial, sauberer Einsatz. |
| b) Bei geringer Schlackenmenge. | Zu wenig Zuschläge. | Erhöhung der Zuschlagsmenge oder Flußspatzugabe. |

8. Arbeitstemperaturen in der Eisenindustrie.

| Arbeitsvorgang | Beginn des Vorganges bei °C | Erforderliche Ober-temperatur °C | Technische Werkstück-temperatur °C |
|--|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Teeren von Eisen | 70 | 80 | 150 |
| Lackieren von Eisen | 300 | 50—100 | 350— 400 |
| Emaillieren von Eisen | — | — | 750— 850 |
| Pressen, Lochen, Kappen | 650 | 50—150 | 700— 800 |
| Härten von Werkzeugen | — | — | 700— 850 |
| Ausglühen von: | | | |
| 1. kaltgezogenen Drähten, Band-eisen und Feinblechen | 600—720 | 200 | 800— 900 |
| 2. Weißblechen u. Stanzblechen | 600—720 | 100 | 700— 800 |
| 3. Grobblechen, Guß- und Stahl-gußteilen | 600 | 200—400 | 800—1000 |
| 4. desgl. bei hohem C-Gehalt und gewöhnlichen Schmiede-stücken | 600 | 100—200 | 700— 800 |
| Wärmen von Kupfer, Aluminium und deren Legierungen | — | — | 750— 850 |
| Wärmen zum Schmieden von: | | | |
| 1. Hartstahl | — | — | 900—1000 |
| 2. Flußeisen | — | — | 1050—1150 |
| Wärmen zum Walzen von: | | | |
| 1. Sonderstahl | — | — | 900—1000 |
| 2. Hartstahl | — | — | 1000—1100 |
| 3. Flußeisen | — | — | 1150—1300 |
| Wärmen von Preßmuttereisen | — | — | 1280—1330 |
| Tempern | 850 | 100—200 | 950—1050 |
| Zementieren | 1150 | 200—350 | 1350—1500 |
| Roheisenschmelzen | 1150—1250 | 200—350 | 1350—1600 |
| Schlackeschmelzen | 1400—1500 | 100—200 | 1550—1650 |
| Stahlschmelzen | 1400—1500 | 100—200 | 1550—1650 |
| Reduktion von Eisenoxyd durch Gas | 300—400 | 400—500 | 800— 900 |
| Reduktion von Eisenoxyd durch Kohlenstoff (direkt) | 900—1000 | 300—500 | 1200—1500 |
| Reduktion von Mangan durch C | 950 | 150—450 | 1100—1400 |
| Reduktion von Phosphor durch C | 1050 | 150—450 | 1200—1500 |
| Reduktion von Silizium durch C | 1100—1200 | 250—400 | 1300—1600 |
| Rösten von Erz | 400 | 100—300 | 500— 700 |
| Sintern von Erz | — | — | 800—1000 |

Nach „Hütte“, Taschenbuch für Eisenhüttenleute. 4. Aufl. Berlin 1930.

9. Anhaltzahlen für Leistung und Wärmeverbrauch von Glasschmelzöfen.

| | Geschmolzenes Glas je m ² beheizter Fläche kg/m ² h | Wärmeverbrauch je kg geschmolzenes Glas kcal/kg |
|-------------------------------------|---|---|
| A. Schmelzwannen: | | |
| 1. Geblasenes Tafelglas . | 15—30 | 6000—3500 |
| 2. Gezogenes Tafelglas . | 20—35 | 4000—3200 |
| 3. Gußglas | 19—21 (60) | 6000—3500 (2400) |
| 4. Hohl- und Preßglas . | 20—40 (80) | 5500—3000 (2000) |
| 5. Flaschenglas | 16—24 (60) | 5500—3500 (2400) |
| B. Hafenschmelzöfen: | | |
| 1. Tafelglas | 10—14 | 8100—4500 |
| 2. Hohl- und Preßglas . | 8—11 | 8000—4000 |
| 3. Gegossenes Spiegelglas | 12—17 (25) | 6000—4200 (3000) |

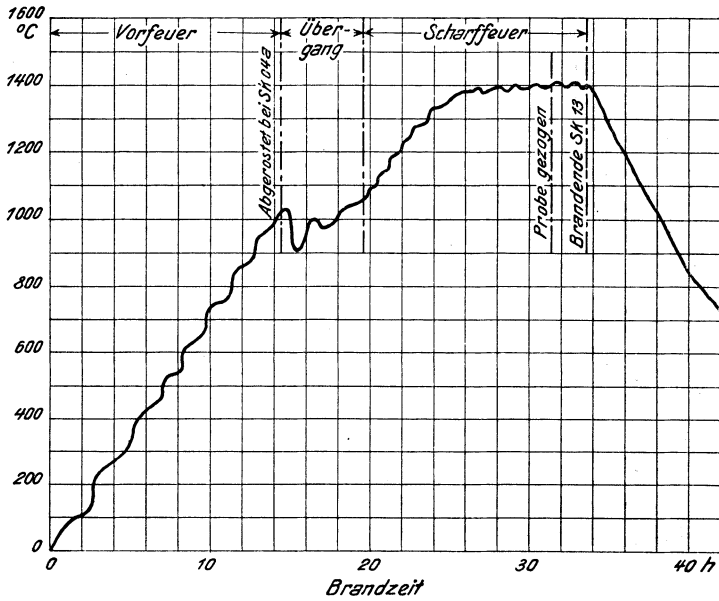
Nach Angaben der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie, Frankfurt a. M.

10. Brennstoffverbrauch für verschiedene keramische Erzeugnisse.

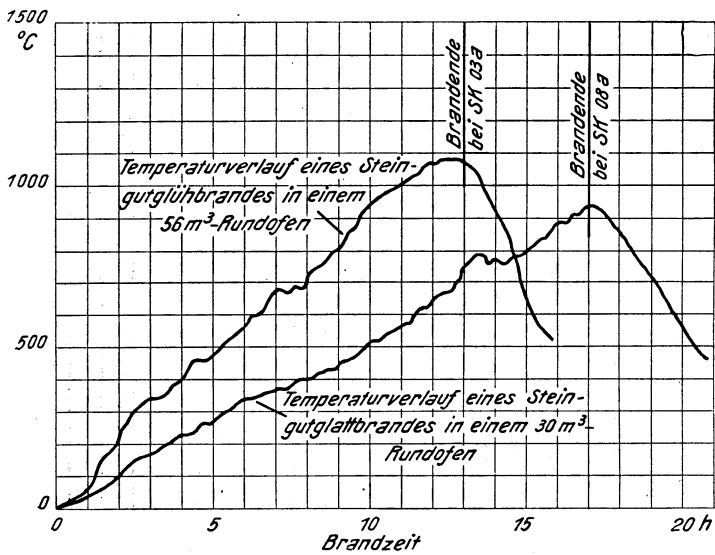
| Ofenbauart | Brenngut | Brenntemperatur Seegerkegel | Kohlenverbrauch in kg je 100 kg Ware | je m ³ Ofenraum |
|--|------------------|--------------------------------|---|-------------------------------|
| Ringofen | Ziegel | 010a | 5—7 | 40—60 |
| Rundofen, aufsteigende Flamme | Schamottesteine | 13 | 35—45 | — |
| Rundofen, überschlagende Flamme | Schamottesteine | 13 | 25—28 | — |
| Rundofen, überschlagende Flamme und gekuppelt | Schamottesteine | 9 | { 1. Ofen 21,2 2. Ofen 12,15 3. Ofen 11,1 | — — — |
| Gaskammerofen | Schamottesteine | 13 | 12—14 | — |
| Tunnelofen, Halbgas | Schamottesteine | 9—10 | 8,7 | — |
| Gaskammerofen | Steinzeugrohre | 8—10 | 30 | 70—80 |
| Gaskammerofen | Fußbodenplatten | 7—9 | 14 | 103 |
| Rundofen, überschlagende Flamme | Steingutgeschirr | Rohbrand 3a—4a | 50 (groß) — 90 (klein) | — |
| Rundofen, überschlagende Flamme | Steingutgeschirr | Glattbrand 03a · 02a | 90—100 | — |
| Tunnelofen | Steingutgeschirr | 7—9 | — | 30 |
| Rundofen, überschlagende Flamme | Sanitätssteingut | Rohbrand 8—9 | 120—210 | — |
| Rundofen, überschlagende Flamme | Sanitätssteingut | Glattbrand 8—9 | 240—300 | — |

Nach Steger, W., Wärmewirtschaft in der keramischen Industrie. Dresden und Leipzig 1927.

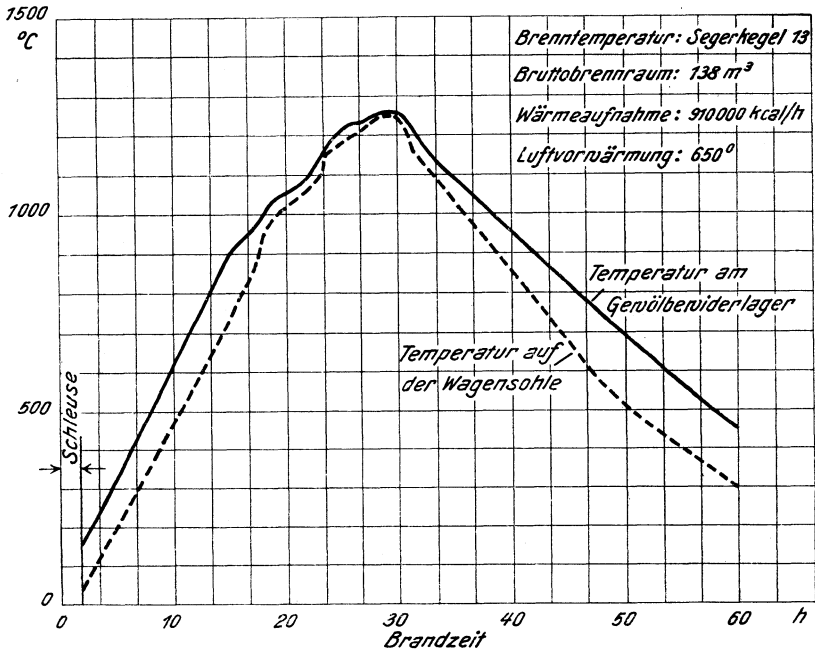
II. Temperaturverlauf eines Glattbrandes von Porzellan im 65 m³-Rundofen.



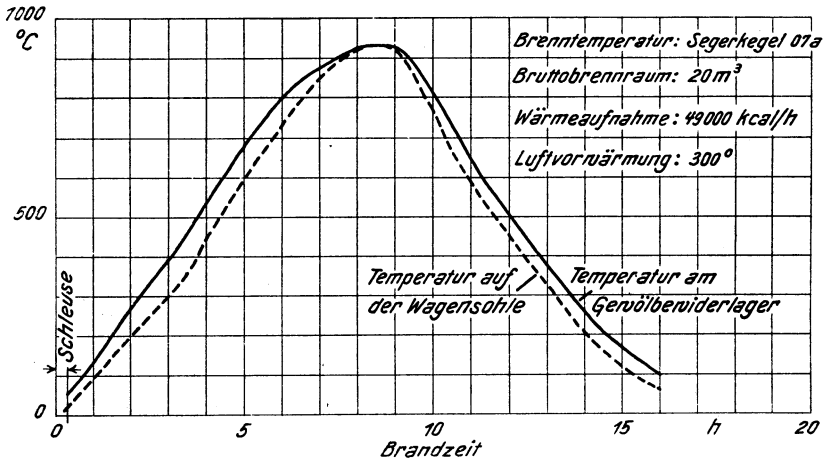
12. Temperaturverlauf eines Glüh- und eines Glattbrandes von Steingut im Rundofen.



13. Temperaturverlauf eines Garbrandes von gesinterter feinkeramischer Masse in einem Gastunnelofen.



14. Temperaturverlauf eines Bleiglasurbrandes in einem Tunnelofen mit indirekter Beheizung.



15. Wärmehaushalt eines Mendheimofens.

1. Kühlzone.

A. Wärmehaufnahme.

- | | |
|---|---------------------|
| 1. Fühlbare Wärme des Magnesitsteines bei 1600°: 1 kg · 0,305 kcal/kg °C · 1600° | = 488 kcal = 59,9 % |
| 2. Fühlbare Wärme der Verbrennungsluft bei 5,5°: 2,052 Nm ³ · 1,73 kcal/Nm ³ | = 4 kcal = 0,5 % |
| 3. Im Mauerwerk aufgespeichert | = 323 kcal = 39,6 % |
| | <hr/> |
| | 815 kcal = 100,0 % |

B. Wärmeausgabe.

- | | |
|--|---------------------|
| 1. Fühlbare Wärme des Magnesitsteines beim Abhängen der Kammer: 1 kg · 0,257 kcal/kg °C · 500° | = 138 kcal = 16,9 % |
| 2. Fühlbare Wärme der Verbrennungsluft bei 537°: 2,052 Nm ³ · 172 kcal/Nm ³ | = 354 kcal = 43,5 % |
| 3. Durch Leitung und Strahlung abgegeben | = 323 kcal = 39,6 % |
| | <hr/> |
| | 815 kcal = 100,0 % |

Wirkungsgrad der Kühlzone $\eta_k = \frac{B_2 - A_2}{A_1} = \frac{354 - 4}{488} = 0,718$.

2. Brennkammer.

A. Wärmeeinnahme.

1. Aus der Verbrennung:

- a) Unterer Heizwert des Gases: 0,275 kg Kohle · 3,945 Nm³ Gas/kg Kohle · 1345 kcal/Nm³ Gas = 1459 kcal = 54,2 %
- b) Fühlbare Wärme des Gases bei 200⁰: 1,0849 Nm³ Gas/kg Magnesit · 65 kcal/Nm³ Gas = 70 kcal = 2,6 %
- c) Unterer Heizwert des Teeres: 0,275 kg Kohle · 0,025 kg Teer/kg Kohle · 9000 kcal/kg Teer = 61 kcal = 2,3 %
- d) Fühlbare Wärme des Teeres: 0,275 kg Kohle · 0,025 kg Teer/kg Kohle · 0,35 kcal/kg °C · 200⁰ = 1 kcal = 0,0 %
- e) Fühlbare Wärme des Wasserdampfes: 0,275 kg Kohle · 0,160 kg Dampf/kg Kohle · 93,2 kcal/kg Dampf = 4 kcal = 0,1 %
- f) Fühlbare Wärme der Verbrennungsluft bei 537⁰: 2,052 Nm³ · 172 kcal/Nm³ = 354 kcal = 13,2 %
- g) Fühlbare Wärme der Falschluff bei 5,5⁰: 0,779 Nm³ · 1,73 kcal/Nm³ = 1 kcal = 0,0 %
2. Fühlbare Wärme des Magnesitsteines: 1 kg · 0,277 kcal/kg °C · 970⁰ = 269 kcal = 10,0 %
3. Im Mauerwerk aufgespeichert = 473 kcal = 17,6 %
- 2692 kcal = 100,0 %

B. Wärmeabgabe.

1. Fühlbare Wärme des Magnesitsteines bei 1600⁰: 1 kg · 0,305 kcal/kg °C · 1600⁰ = 488 kcal = 18,2 %
2. a) Fühlbare Wärme der Abgase bei 1200⁰: 3,012 Nm³ · 443 kcal/Nm³ = 1328 kcal = 49,2 %
- b) Fühlbare Wärme der Falschluff bei 1200⁰: 0,779 Nm³ · 403 kcal/Nm³ = 314 kcal = 11,7 %
3. Im Mauerwerk aufgespeichert = 323 kcal = 12,0 %
4. Durch Leitung und Strahlung abgegeben . . . = 239 kcal = 8,9 %
- 2692 kcal = 100,0 %

Wirkungsgrad der Brennkammer:

$$\eta_{br} = \frac{B_1 - A_2}{A_1 + A_2 - B_3} = \frac{488 - 269}{1950 + 473 - 323} = 0,104.$$

3. Vorwärmzone und Abgaskanal.

A. Wärmeeinnahme.

1. Fühlbare Wärme der Abgase bei 1200⁰: 3,012 Nm³ · 443 kcal/Nm³ = 1328 kcal = 79,8 %
2. Fühlbare Wärme der Falschluff bei 1200⁰: 0,779 Nm³ · 403 kcal/Nm³ = 314 kcal = 18,9 %
3. Fühlbare Wärme der Falschluff bei 5,5⁰: 12,059 Nm³ · 1,73 kcal/Nm³ = 21 kcal = 1,3 %
- 1663 kcal = 100,0 %

B. Wärmeausgabe.

1. Fühlbare Wärme des Magnesitsteines bei 970°:
 $1 \text{ kg} \cdot 0,277 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \cdot 970^\circ \dots\dots\dots = 269 \text{ kcal} = 16,2 \%$
 2. a) Fühlbare Wärme der Abgase bei 150°:
 $3,012 \text{ Nm}^3 \cdot 51 \text{ kcal/Nm}^3 \dots\dots\dots = 153 \text{ kcal} = 9,2 \%$
 - b) Fühlbare Wärme der gesamten Falschlufft bei 150°:
 $12,838 \text{ Nm}^3 \cdot 47,1 \text{ kcal/Nm}^3 \dots\dots\dots = 605 \text{ kcal} = 36,4 \%$
 3. Im Mauerwerk aufgespeichert $\dots\dots\dots = 473 \text{ kcal} = 28,4 \%$
 4. Durch Leitung und Strahlung abgegeben $\dots\dots\dots = 163 \text{ kcal} = 9,8 \%$
- 1663 kcal = 100,0 %

Wirkungsgrad der Vorwärmzone: $\eta_z = \frac{B_1}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{269}{1663} = 0,162$.

4. Gaserzeuger und Gasleitung.

A. Wärmeeinnahme.

1. Unterer Heizwert der Kohle:
 $0,275 \text{ kg} \cdot 7150 \text{ kcal/kg Kohle} \dots\dots\dots = 1966 \text{ kcal} = 99,3 \%$
 2. Fühlbare Wärme der Vergasungsluft bei 49°:
 $0,275 \text{ kg} \cdot 2,620 \text{ Nm}^3/\text{kg} \cdot 15,4 \text{ kcal/Nm}^3 \dots\dots\dots = 11 \text{ kcal} = 0,6 \%$
 3. Fühlbare Wärme des Vergasungsdampfes bei 49°:
 $0,275 \text{ kg} \cdot 0,278 \text{ kg/kg} \cdot 22,7 \text{ kcal/kg} \dots\dots\dots = 2 \text{ kcal} = 0,1 \%$
- 1979 kcal = 100,0 %

B. Wärmeausgabe.

1. Verluste in der Gasleitung:
 - a) An fühlbarer Wärme des Gases und Teeres (650°—200°):
 $1,0849 \text{ Nm}^3 \cdot 165 \text{ kcal/Nm}^3 \dots\dots\dots = 179 \text{ kcal} = 9,0 \%$
 - b) An Teer: $0,275 \cdot 0,024 \cdot 9000 \text{ kcal/kg} \dots\dots\dots = 60 \text{ kcal} = 3,1 \%$
 2. Verluste am Gaserzeuger:
 - a) Wand- und Lässigkeitsverluste $\dots\dots\dots = 127 \text{ kcal} = 6,5 \%$
 - b) Feuerungsverlust $\dots\dots\dots = 18 \text{ kcal} = 0,9 \%$
 3. a) Unterer Gas- und Teerheizwert beim Eintritt in den Ofen $\dots\dots\dots = 1520 \text{ kcal} = 76,7 \%$
 - b) Fühlbare Wärme des Gases und Teeres beim Eintritt in den Ofen $\dots\dots\dots = 75 \text{ kcal} = 3,8 \%$
- 1979 kcal = 100,0 %

Wirkungsgrad der Gaserzeugeranlage einschl. Gasleitung:

$$\eta_R = \frac{B_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{1595}{1979} = 0,807.$$

5. Gesamtwärmehaushalt.

A. Wärmeeinnahme.

| | |
|---|----------------------|
| 1. Unterer Heizwert der Kohle | = 1966 kcal = 98,1 % |
| 2. Fühlbare Wärme der Vergasungsluft bei 49° . . | = 11 kcal = 0,5 % |
| 3. Fühlbare Wärme des Vergasungsdampfes bei 49° = | 2 kcal = 0,1 % |
| 4. Fühlbare Wärme der Verbrennungs- und Falschluf- luft bei 5,5° | = 26 kcal = 1,3 % |
| | <hr/> |
| | 2005 kcal = 100,0 % |

B. Wärmeausgabe.

| | |
|---|---------------------|
| 1. Verluste am Gaserzeuger | = 145 kcal = 7,3 % |
| 2. Verluste in der Gasleitung | = 239 kcal = 11,9 % |
| 3. Verluste durch den heißen Magnesitstein (500°) = | 138 kcal = 6,9 % |
| 4. Verluste durch die Abgase: | |
| a) Verluste durch die unverdünnten Abgase bei 150° | = 153 kcal = 7,6 % |
| b) Verluste durch Falschluf bei 150° | = 605 kcal = 30,2 % |
| 5. Verluste durch Leitung u. Strahlung des Ofens: | |
| a) Verluste in der Kühlzone | = 323 kcal = 16,1 % |
| b) Verluste in der Brennkammer | = 239 kcal = 11,9 % |
| c) Verluste in der Vorwärmzone | = 163 kcal = 8,1 % |
| | <hr/> |
| | 2005 kcal = 100,0 % |

Einen eigentlichen Wirkungsgrad des Mendheimofens gibt es nicht. Man könnte als solchen nur das Verhältnis der bei der erreichten höchsten Steintemperatur in der Ware steckenden Wärme zum gesamten Wärmeverbrauch auffassen:

$$\eta_{\text{Ofen}} = \frac{488}{2005} = 0,244.$$

16. Brennstoffverbrauch von Öfen der Kalkindustrie.

| Ofenart | Besondere Bauart | Betriebsverfahren | Brennstoffart | Brennstoffmenge in % des Ausbringens | Wärmeaufwand je 100 kg Ausbringen in kcal | Ofenleistung in t/24 h |
|-----------------------|------------------|-------------------|--|--------------------------------------|---|------------------------|
| Schachtofen | — | Mischfeuer | 70 % Brechkoks 4 und 30 % Anthrazitnuß 4 | 27,2 | 186 000 | 11 |
| Schachtofen | — | Mischfeuer | Brechkok 4 oder Perlkoks 10/30 | 23,0 | 152 000 | — |
| Schachtofen | System Schneider | Mischfeuer | Koksgrus | 16,0 | 84 000 | 30 |
| Schachtofen | — | Mischfeuer | Perlkoks 10/20 und 20/40 | 23,5 bis 25,4 | 141 000 bis 152 000 | 60 bis 70 |
| Ringofen | — | — | Gasflammförderkohle | 25 | 175 000 | — |
| Ringofen | — | — | Generatorkohle | 23 | 170 000 | — |
| Ringofen | — | — | Gasflammnuß 2/3 | 23 | 175 000 | — |
| Ringofen | — | — | Gasförderkohle | 29 | 210 000 | 30 |
| Ringofen | — | — | Fettförderkohle | 17,0 bis 20,5 | 130 000 bis 155 000 | 70 bis 100 |

17. Brennstoffverbrauch von Öfen der Zementindustrie.

| Ofenart | Besondere Bauart | Länge bzw. Höhe in m | Durchmesser (lichte Weite) in m | Betriebsverfahren | Abwärmeverwertung | Brennstoffart | Brennstoffmenge in % des Ausbringens | Wärmeaufwand je 100 kg des Ausbringens in kcal | Ofenleistung in t/24 h |
|---------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------|--|-----------------------|--|--------------------------------------|--|------------------------|
| Drehrohrofen | Trommelkühler | 60 | 2,8 | trocken | — | 2/3—3/4 Gasflammeinkohlen 1/3—1/4 Anthrazitfeinkohlen | 19,8 | 147 000 | 200 |
| Drehrohrofen | Trommelkühler | 45 | 2,1/2,5 | trocken | Trocknerei | 2/3—1/2 Gasflammeinkohlen 1/3—1/2 Anthrazitfeinkohlen | 20,0 | 136 000 | 120—130 |
| Drehrohrofen | Soloofen | 56 | 2,1/2,5 | trocken | — | 1/2 Gasflammeinkohlen 1/2 Anthrazitfeinkohlen | 30—33 | 195 000—214 000 | 100—110 |
| Drehrohrofen | Trommelkühler | 60 | 2,8 | trocken | — | 2/3 Gasflammeinkohlen 1/3 Anthrazitfeinkohlen | 18—19 | 126 000—133 000 | 270 |
| Drehrohrofen | Soloofen | 59 | 2,7/3,6/3,0 | naß | Umwälz- ökonomiser | Gasflammeinkohlen | 36,8 | 240 000 | 200 |
| Drehrohrofen | Trommelkühler | — | — | trocken (Rohmaterial kalziniert) | — | — | 18—19,5 | 126 000—136 000 | 100—115 |
| Drehrohrofen | Trichterkühler | — | — | trocken (Rohmaterial kalziniert) | — | — | <15 | < 105 000 | 140—150 |
| Drehrohrofen | Lepolofen | 28 | 2,6 | trocken | Wanderrost | Gasflammeinkohlen | 16,8 | 108 000 | 190 |
| Drehrostschachtofen | Andreas- ofen | 10 | 2,5/2,6 | Mischfeuerung (Untervind, unverzweigtes Material) | — | Anthrazitfeinkohlen | 16,5 | 117 000 | 140 |
| Schachtofen | Schneider- ofen | 12 | 2,5 | Mischfeuerung (Sauerzug, Roh- mehl gezeigelt, Brennstoff eingepreßt) | — | Koksgrus | 22,0 | 115 000 | 20 |

Je m³ Ofeninhalte beträgt die Leistung der Drehrohrofen bei Öfen bis 70 m³ Inhalt etwa 1,0 t/24 h, von 70—180 m³ 0,9 t/24 h
und über 180 m³ 0,85 t/24 h.

18. Arbeitstemperaturen in der keramischen Industrie.

| Brenngut | Seigerkegel |
|---|-------------|
| Ziegel | 010a— 3a |
| Aufglasurfarben | 022 —010a |
| Bleiglasuren | 010a— 3a |
| Töpferwaren, Ofenkacheln | 010a— 1a |
| Majolika und Fayenze Rohbrand | 09a— 5a |
| Glasurenbrand | 05a— 01a |
| Feldspatstein Rohbrand | 7 — 10 |
| Glattbrand | 05a— 4a |
| Kalksteingut Rohbrand | 07a— 6a |
| Glattbrand | 05a— 4a |
| Sanitärware Rohbrand | 05a— 10 |
| Glattbrand | 05a— 9 |
| Feinsteinzeug | 2a— 9 |
| Säurefeste Steine | 5a— 12 |
| Weichporzellan | 6a— 12 |
| Knochenporzellan | 6a— 8 |
| Frittenporzellan | 2a— 10 |
| Hartporzellan Rohbrand | 010a— 03a |
| Glattbrand | 13 — 16 |

19. Arbeitstemperaturen in der Kalk-, Zement- und feuerfesten Industrie.

| Arbeitsvorgang | Beginn des Vorganges bei °C | Erforderliche Über-temperatur °C | Technische Werkstück-temperatur °C |
|--|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Brennen von Kalkstein | 850—900 | 150—350 | 1000—1200 |
| Brennen von Dolomit | 730—900 | 270—400 | 1000—1300 |
| Brennen von Magnesit | 570 | — | 1400—1600 |
| Sintern von Zementklinkern | — | — | 1400—1500 |
| Brennen von Teerdolomitsteinen | — | — | 600— 700 |
| Brennen von Schamottesteinen | — | — | 1300—1350 |
| Brennen von Silikasteinen | — | — | 1430—1470 |

Neunter Teil.

Feuerfeste Baustoffe.

I. Allgemeines über feuerfeste Baustoffe.

1. Begriffsbestimmung.

Feuerfeste Baustoffe sind künstliche oder natürliche Baustoffe, deren Kegelschmelzpunkt vereinbarungsgemäß nicht unter SK 26, entsprechend 1580°, liegt.

Da feuerfeste Baustoffe überwiegend aus Bestandteilen bestehen, die bei verschiedenen Temperaturen schmelzen, besitzen sie keinen einheitlichen Schmelzpunkt, sondern einen Schmelzbereich, innerhalb dessen das Material bis zur Schmelze erweicht. Aus diesem Grunde dient bei feuerfesten Baustoffen als Schmelzpunktbestimmung die Kegelprobe nach DIN 1063, bei der ein Kegel von etwa 2,5 cm Höhe sich bei gleichmäßigem Temperaturanstieg durch Erweichen ohne Belastung soweit umneigt, bis die Kegelspitze die Unterlage berührt. Die Temperatur wird durch Vergleichen mit Segerkegeln gemessen (siehe Tafel Seite 92). Bei Belastungen, wie sie in den Industrieöfen mehr oder weniger vorkommen, erweichen die feuerfesten Stoffe meist bedeutend früher, so daß der Kegelschmelzpunkt für die Temperaturgrenze der praktischen Brauchbarkeit nicht allein maßgebend ist. An seine Stelle tritt die Erweichung bei hohen Temperaturen unter Belastung (Druckfeuerbeständigkeit).

Unterhalb 1580° schmelzende Stoffe werden nicht als feuerfest bezeichnet, wenn auch im Feuerungsbau häufig Mörtel und Kitte mit gutem Erfolg verwendet werden, deren Schmelzpunkt durch Flußmittelzusatz bis unter diese Grenze herabgesetzt ist. Eine große Zahl von sogenannten feuerfesten Kitten, Feuerzementen usw. ist darum im handelsüblichen Sinne nicht als feuerfest zu bezeichnen. Dagegen sind feuerfeste Stampf- und Anstrichmassen sowie Mörtel unter den Begriff feuerfest zu rechnen.

Feuerfeste Baustoffe mit einem Kegelschmelzpunkt oberhalb von SK 36 bezeichnet man im allgemeinen als hochfeuerfest. Eine große Zahl von Spezialmassen, wie Korund, Siliziumkarbid, Sillimanit, Magnesit usw. gehört zu dieser Gruppe.

Da feuerfeste Baustoffe nicht nur den genannten thermischen, sondern auch anderen Beanspruchungen, wie beispielsweise Schlackenangriffen, Temperaturschwankungen usw. ausgesetzt sind,

müssen sich ihre Eigenschaften nach den Anforderungen, die an sie gestellt werden, richten. Darum kennzeichnet man diese Baustoffe nach dem Aufbau und nach ihren Eigenschaften.

2. Natürliche feuerfeste Baustoffe.

Natürliche feuerfeste Baustoffe werden ohne besondere Herstellungsverfahren, d. h. ohne Änderung ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften, gewonnen und verarbeitet. Da man es bei diesen Werkstoffen nicht in der Hand hat, ihre Eigenschaften dem Verwendungszweck anzupassen, ist ihre praktische Anwendung mengenmäßig gering.

Ein natürlicher feuerfester Baustoff ist der Klebsand, der hauptsächlich zum Ausstampfen von Gießereischächten verwendet wird. Zum Ausflicken von wenig beanspruchtem feuerfestem Mauerwerk anderer Öfen eignet er sich ebenfalls vorzüglich, da sein hoher Kieselsäuregehalt ihn recht raumbeständig macht. Nachteilig ist beim Klebsand jedoch die geringe Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel, die ihn gegenüber scharfen Beanspruchungen ungeeignet erscheinen läßt. Auch Steine, die aus Klebsand hergestellt werden, sind gegenüber den anderen feuerfesten Steinen nur geringwertig. Ein weiterer natürlicher feuerfester Baustoff ist der Quarzschiefer, der sich als Futter für Kalk- und Zementöfen gut bewährt hat.

3. Künstliche feuerfeste Baustoffe.

In erster Linie kommen für den gesamten Feuerungsbau die künstlichen feuerfesten Baustoffe in Frage, also Baustoffe, die aus feuerfesten Rohstoffen in Fabrikationsgängen hergestellt sind, bei denen die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Ausgangsstoffe einer zielbewußten Änderung mit Rücksicht auf Qualitätsverbesserung unterworfen sind.

Unter diese Gruppe zählen die meisten verwendeten feuerfesten Materialien. Je nach den Ausgangsstoffen unterscheidet man in großen Zügen:

- a) Schamotte,
- b) Quarzschamotte,
- c) Silika,
- d) Sondererzeugnisse.

a) *Schamotte.*

Der Schamottestein ist der meist verwendete feuerfeste Werkstoff. Die Grundlage ist gebrannter Ton: Schamotte. Man kann zur Steinherstellung den plastischen Ton formen und dann brennen, oder man kann den Ton vor der Verformung zu Schamotte brennen, zerkleinern und die nicht plastische Körnung in eine Form einstampfen und nochmal festbrennen. Beide Verfahren sind als Naß- und als Trockenverfahren gebräuchlich.

Nach dem Naßverfahren werden die Steine für Dampfkesselfeuerungen, Gasgeneratoren usw. hergestellt. Als Bindemittel des Steines dient plastischer Ton, der wegen der starken Schwindung durch Schamottezusatz gemagert wird. Bei geeigneter Zusammensetzung und Aufbereitung widerstehen die Steine ausgezeichnet den an sie gestellten Beanspruchungen. Da die Steine bei der Herstellung 5 bis 8 % schwinden, wird eine Toleranz in der Maßhaltigkeit von $\pm 2\%$ zugestanden, die bei höheren Anforderungen nach besonderer Vereinbarung bis auf 1,5 % gesenkt werden kann. Ein Vorteil der im Naßverfahren hergestellten Schamottesteine ist der günstige Preis, sowohl durch geringe Formkosten als auch durch niedrige Brennkosten bedingt, da ein Teil des Rohmaterials nur einmal gebrannt wird. Außerdem sind die Steine leicht zu bearbeiten. Es wird keinen Bau geben, bei dem nicht ein gewisser Teil der Steine durch Behauen an der Baustelle zugerichtet werden muß.

Steine mit Fabrikationsfehlern sind von der Verarbeitung auszuschließen. Man kann bei den tongebundenen Schamottesteinen drei grundsätzliche Arten von Fabrikationsfehlern unterscheiden, die verursacht werden durch

- ungenügende Aufbereitung,
- falsches Formen und
- falsches Trocknen und Brennen.

Die Aufbereitung umfaßt das Zerkleinern, Mischen und Kneten der Rohstoffe. Wenn die Masse zu schnell verarbeitet wird, entstehen durch ungenügendes Aufquellen des Tones Störungen in der Schwindung: Die Steine fallen zu groß aus. Außerdem kann der Ton das Schamottekorn in solchem Fall nicht einbinden. Die Steine brechen nicht im Korn, sondern man kann beim Durchschlagen die

Schamottekörner oft mit der Hand herausreiben. Ein weiterer Fehler kann bei der Verarbeitung leicht entstehen: Beim Kneten wird unweigerlich von der Masse Luft eingeschlossen. Wenn die geknetete Schamottemasse Zeit hat zu mauken, entlüftet sie sich dabei von selbst. Ungemaukte Masse macht ihren Maukprozeß erst im geformten Stein durch. Steine aus ungemaukter Masse sind ungleichmäßig in ihrem Gefüge, können beim Trocknen auftreiben und weisen vielfach Strukturrisse auf.

Durch falsche Körnungszusammensetzung des Magerungsmittels können beim Formen infolge ungleicher Verteilung von Ton und Schamotte wellige, unebene Steine entstehen, die ein glattes Aufeinanderpassen ohne Nacharbeit unmöglich machen.

Formfehler können sich in verschiedener Richtung auswirken. Beim Einfüllen von Luft entstehen Lunker, die bei handgeformten Steinen nicht immer ganz zu vermeiden sind. Da die Form zum Loslassen der Masse eingeölt wird, kann Öl in die Masse gelangen, das beim Brand typische Ölfalten und Ölrisse gibt. Dann findet man häufig noch einen Fehler, der beim Abschneiden der Formsteine entsteht. Soweit zu knapp abgeschnitten ist, muß der Former ein Stück Masse ansetzen. Wenn das nicht sorgfältig geschieht, zeigt sich an dieser Stelle nach dem Brand eine Beule. Es tritt eine Entmischung der Formmasse ein, die eine Störung der Schwindung verursacht.

Durch zu schnelles Trocknen können sich die Steine verziehen und reißen. Ebenso können die Steine bei unsachgemäßer Brennführung sich verkrümmen und reißen. Handelsüblich ist zwar eine Durchbiegung von $\pm 1,5\%$ gestattet. In dieser Grenze sind aber schon wesentliche Nacharbeiten erforderlich. Unbedingt ist darauf zu achten, daß Risse nicht mit Wasserglas oder Gips zugeschmiert werden. Durch ein Nachfärben dieser Flickstellen mit Ocker werden solche Schäden gern unsichtbar gemacht. Schwach gebrannte Steine sind zu verwerfen. Meistens sind sie an Farbe und Klang zu erkennen. Es kommt aber in einzelnen Fällen bei nicht einwandfreien Lieferfirmen vor, daß Steine, die nach dem Brennen ein schlechtes Aussehen aufweisen, gefärbt werden, um ein zweites Brennen und

Verzögerung der Lieferung zu vermeiden. Verschmierte Steine und solche, denen durch nachträgliches Anstreichen ein sogenanntes gutes Aussehen verliehen ist, sind unbedingt vom Abnehmer zurückzuweisen.

Das Trockenverfahren bei der Schamottesteinherstellung liefert Steine höchster Maßhaltigkeit und hoher Druckfestigkeit. Die gestampften Schamottesteine kommen mit einer Maßhaltigkeit von $\pm 0,75\%$ in den Handel. Nachteilig ist bei den Steinen die große Härte, die ein Behauen und Nacharbeiten an der Baustelle sehr erschwert; allerdings macht die Maßhaltigkeit ein Nacharbeiten meist überflüssig.

Im Gegensatz zu den naßgeformten Schamottesteinen sind die Stampfsteine sehr teuer, da die Formkosten außerordentlich hoch sind und nur vorgebranntes Material zur Verwendung kommt.

Fehler in der Aufbereitung wirken sich in ungenügender Bindung aus, wodurch die Steine ein mürbes Gefüge erhalten. Formfehler zeigen sich in der Lagenbildung der gestampften Steine, die zu verwerfen ist. Auf Risse durch Trocknen und Brennen ist ebenfalls zu achten. Fehlerhafte Steine sind von der Abnahme auszuschließen.

Grundsätzlich werden die handelsüblichen Schamottesteine nach dem Tonerdegehalt eingeteilt, da dieser für die Feuerfestigkeit und Schlackenbeständigkeit normaler Schamottfabrikate maßgebend ist und sich auf dieser Basis eine Preisbildung ermöglichen läßt. Danach unterscheidet man 7 Konventionsgruppen:

Einteilung der A-Qualitäten nach der Konvention.

Schamottesteine:

| Steinklasse | Tonerdegehalt | Feuerfestigkeit |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|
| A 0 | über 44 ⁰ / ₀ | SK 34 |
| A 1 | 42—44 ⁰ / ₀ | SK 33/34 |
| A 2 | 40—42 ⁰ / ₀ | SK 33 |
| A 3 | 36—39 ⁰ / ₀ | SK 32 |
| A 4 | 33—35 ⁰ / ₀ | SK 31/32 |
| A 5 | 30—32 ⁰ / ₀ | SK 30/31 |
| A 6 | unter 30 ⁰ / ₀ | unter SK 30 |

Von diesen Güteklassen eignen sich im allgemeinen für die dem direkten Feuer ausgesetzten Teile des Mauerwerkes von Dampfkesselfeuerungen, für den ersten Zug und für die Feuerzone von Gaserzeugern A 0, A 1 und A 2, für den zweiten Zug und den Schacht von Gaserzeugern A 3 und A 4, während für die Ausmauerung der Rauchkanäle, des Fuchses und der Gasleitungen A 5 und A 6, bei höheren Temperaturen außerdem noch A 4 genügen.

Für die hochwertigen Steine, besonders für die Gruppen A 0 und A 1, ist die Magerung mit Neuroder Schieferthon kennzeichnend, die bei deutschen Schamottesteinen dieser Qualitätsgruppen allgemein ist. Beim Durchschlagen eines Steines ist im Bruch das für Neuroder Schieferthon typische Korn zu erkennen: hellgrau, oft durch Kohlenstoff schwarz angefärbt, schieferig, etwas porös.

Schamottesteine mit dieser Magerung rechnen zu den hochwertigen Qualitäten, da Neuroder Schieferthon im Tonerdegehalt zwischen 44 und 46 % Al_2O_3 liegt und aus diesem Grunde zur Erhöhung des Tonerdegehaltes verwendet werden muß.

b) Quarzschamotte.

Während der Ton bei dem Brennvorgang zu Schamotte ein Gemenge verschiedener Silikate bildet, die auf Grund ihrer unterschiedlichen Schmelzpunkte und der Grenzflächen-Reaktionen beim Erhitzen den Zustand des Erweichens herbeiführen, bildet der Quarz einen einheitlichen Körper mit festem Schmelzpunkt, der auch bei den natürlichen Quarziten in scharfen Grenzen liegt.

Durch den Zusatz von Quarzitzkörnern ist es also möglich, dem Schamottestein ein Skelett zu geben, das nicht erweicht und ihn im Feuer standfest macht. Allerdings wird durch die Eigenart des Quarzes die Temperaturwechselbeständigkeit der mit Quarzit gemagerten Schamottesteine herabgesetzt.

Die Standfestigkeit der Quarzschamottesteine macht sie besonders für Gewölbe geeignet, da in solchen Fällen von dem Material eine hohe Druckfeuerbeständigkeit verlangt wird. In Sonderfällen werden die basischen Qualitäten (Konventionsgruppe A) mit Quarz abgemagert. Es ist natürlich, daß dann die Tonerdebestimmung hinfällig wird und nur noch die Feuerfestigkeit maßgebend ist. Diese

Tatsache kommt auch in der allgemeinen Einteilung der Quarzschamottesteine zum Ausdruck.

Einteilung der B-Qualitäten nach der Konvention.
Quarzhaltige tongebundene Steine:

| Steinklasse | Feuerfestigkeit |
|-------------|-----------------|
| B 1 | über SK 33 |
| B 2 | SK 32/33 |
| B 3 | SK 30/31 |
| B 4 | SK 28/29 |
| B 5 | unter SK 28 |

In hochbeanspruchten Teilen von Glüh- und Stoßöfen, Gewölben usw. werden Steine der Güteklassen B 1 und B 2 verwendet. Überhaupt werden diese Steinsorten gern bei gasbeheizten Öfen eingebaut, sofern nicht starke Betriebsschwankungen einen hochtemperaturwechselbeständigen Stein fordern. Die Gruppe B 3 wird zur Ausmauerung von Rauchkanälen verwendet, aber auch als Hintermauerung für stark beanspruchtes Mauerwerk. Die Güteklassen B 4 und B 5 werden zur Ausmauerung von Fuchs, Schornstein und allgemein als Hintermauerungsstein im Ofenbau verwendet.

Eine Sonderqualität der B-Gruppe bilden die für Koksöfen verwendeten Steine. Bei diesen kommt es weniger auf hohen SK-Schmelzpunkt, als auf Schwindungsfreiheit und Standfestigkeit unter Belastung bei hoher Temperatur an, wofür die Auswahl besonderer Tone erforderlich ist.

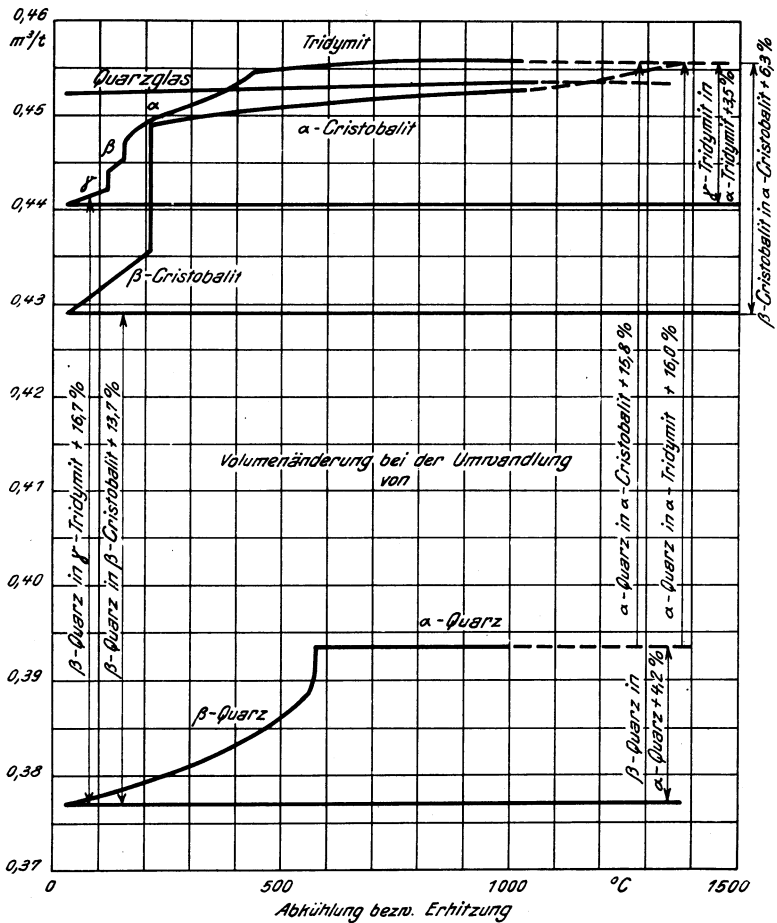
Fabrikationsfehler der Steine der B-Qualitäten beruhen auf den gleichen Ursachen wie schon bei den Schamottesteinen auseinandergesetzt ist. Die niedrige Temperaturwechselbeständigkeit ist in vielen Fällen zu berücksichtigen, jedoch weisen die besseren Qualitäten durch Verwendung hochwertiger Rohstoffe bei richtiger Aufbereitung und Zusammensetzung gute Bewährung im Feuer auf.

c) Silika.

Den Silikasteinen liegt als Rohmaterial Quarzit zugrunde. Die Eigenart des Quarzes und seiner zahlreichen Umwandlungsformen

bedingt eine außerordentlich hohe Standfestigkeit im Feuer, so daß der Baustoff bis zu Temperaturen über 1600° auch unter Druck nicht weich wird. Man könnte auf Grund dieser Tatsache der Ansicht zuneigen, daß Silikasteine für jeden Fall das beste Steinmaterial vorstellen, jedoch muß man auf die Umwandlung der Kieselsäure bzw. ihrer Modifikationen Rücksicht nehmen.

Der Quarz wandelt sich bei etwa 575° in den sogenannten α -Quarz um und erleidet hierbei eine beträchtliche Volumenvergrößerung.

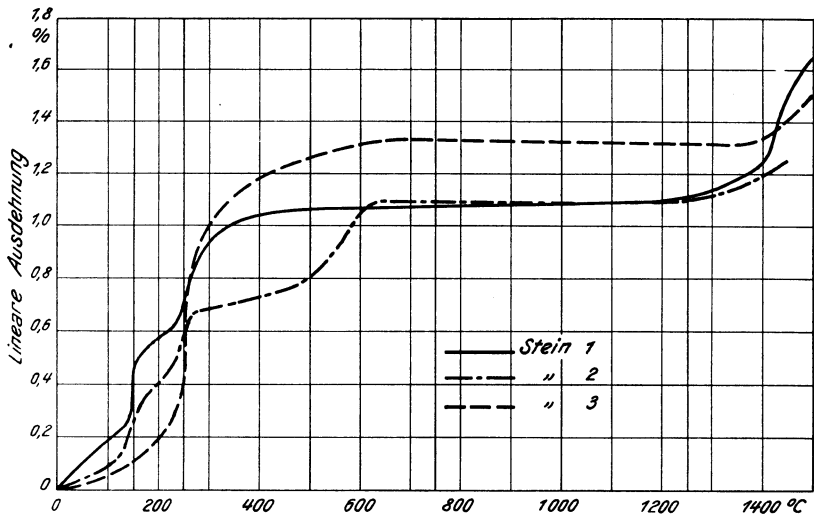


Volumenänderung der Kieselsäuremodifikationen bei der Erhitzung bzw. Abkühlung und Umwandlung.

Da diese Umwandlung vor- und rückwärts laufen kann, wirkt sich die sprunghafte Volumenveränderung in einer Gefügeauflockerung aus, die das Mauerwerk mürbe macht und den Stein zum Abplatzen bringt. Gute Silikasteine sollen keinen freien Quarz mehr enthalten. Oberhalb 870° wandelt sich der α -Quarz langsam in den α -Tridymit um, eine Kieselsäure-Modifikation, die selbst noch mehrere Umwandlungspunkte hat. Die Tridymitumwandlung geht jedoch bei sehr niedrigen Temperaturen vor sich, und zwar bei 163° und 117°. Die Volumenveränderungen des Tridymitsteines sind so gering, daß man bei der Silikafabrikation diese Kieselsäure-Modifikation anstrebt. Der α -Tridymit erleidet aber oberhalb 1470° eine weitere Umwandlung in α -Cristobalit, der für sich bei 230° eine starke Volumenveränderung durchmacht.

Da sich der Tridymit aus Quarz nur in Gegenwart von Mineralisatoren bildet und sich der Quarz bei hoher Temperatur meist direkt in Cristobalit umwandelt, muß man bei allen Silikasteinen mit einem unvermeidbaren Gehalt an Cristobalit rechnen.

Auf dem nachstehenden Schaubild sind die Ausdehnungskurven dreier verschiedener Silikasteine zu erkennen, und zwar ist Stein 1 ein guter Silikastein mit hohem Tridymitgehalt, Stein 2 ein Schwach-



Lineare Ausdehnung von Silikasteinen bei der Erhitzung.

Kieselsäuremodifikationen.

| Kristallform | Spez. Gewicht | Beständig zwischen | Wandelt sich um beim Erhitzen in | Wandelt sich um beim Abkühlen in |
|-----------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------|---|
| β -Quarz | 2,65 | 0 — 575° | α -Quarz | — |
| α -Quarz | 2,60 | 575 — 870° | α -Tridymit | β -Quarz |
| α -Tridymit | 2,27 | 163 — 1470° | α -Cristobalit | β -Tridymit |
| β -Tridymit | 2,32 | 117 — 163° | α -Tridymit | γ -Tridymit |
| γ -Tridymit | 2,30 | 0 — 117° | β -Tridymit | — |
| α -Cristobalit | 2,21 | 230 — 1700° | Quarzglas | β -Cristobalit |
| β -Cristobalit | 2,32 | 0 — 230° | α -Cristobalit | — |
| Quarzglas | 2,21 | — | — | entglast allmählich zu α -Cristobalit |

brandstein mit ausgesprochenem Quarzgehalt, wie an dem Sprung bei etwa 600° zu erkennen ist, und Stein 3 ein scharf gebrannter Silikastein mit deutlichem Cristobalitgehalt.

Die Prüfung der thermischen Ausdehnung gibt ein genaues Bild über das voraussichtliche Verhalten der Silikasteine bei Inbetriebnahme eines Ofens, also beispielsweise einer Koksofenbatterie. Steine mit hohem Quarzgehalt wachsen im Feuer wegen der Umwandlung in Tridymit und Cristobalit stark nach.

Die Volumenvergrößerung treibt die Steine auseinander, so daß es vorkommt, daß Öfen aus schlecht gebranntem Silikamaterial im Betrieb bis zur Zerstörung auseinandergedrückt werden. Dieser Umstand verlangt natürlich die schärfste Kontrolle der angelieferten Silikasteine auf einwandfreien Brand.

Da die Prüfung der thermischen Ausdehnung infolge ihrer Kompliziertheit nur an wenigen Proben durchgeführt werden kann, läßt man bei größeren Bauvorhaben an zahlreichen Steinen das spezifische Gewicht bestimmen. Denn mit der Volumenvergrößerung ist eine Erniedrigung des spezifischen Gewichtes verbunden, so daß man an Hand dieser einfachen Prüfung eine schnelle und sichere Kontrolle der Brennstufe des Silikamaterials hat. Quarz hat ein spezifisches Gewicht von 2,65, Tridymit von 2,27 und Cristobalit von 2,33, so daß man danach für einen guten Stein unter Berücksichtigung des Glasgehaltes ein spezifisches Gewicht von etwa 2,34 bis 2,36 verlangt.

Da der Quarzit als Rohstoff nicht plastisch ist und selbst keine Bindefähigkeit besitzt, müssen die Silikasteine bei der Herstellung ein Bindemittel erhalten. Als solches kommt meist Kalk unter Mitverwendung von Sulfitablauge oder anderen Klebstoffen in Frage. Vereinzelt werden auch noch tongebundene Dinassteine hergestellt, die aber den Nachteil haben, daß sie häufig mürbe sind. Trotzdem haben sich die Tondinassteine in Gaskammeröfen auch vorzüglich bewährt.

Fabrikationsfehler von Silikasteinen sind leicht festzustellen. Durch schlechte Aufbereitung wird bei den fertigen Steinen meist ein lockeres Gefüge verursacht, sei es durch schlechte Kornvertei-

lung, sei es durch falschen Wasser- oder Bindemittelzusatz. Zu naß verarbeitete Silikamasse zeigt sich darin, daß die Steine nach dem Ausformen gesackt sind. Die Steine sollen hart sein, im Korn brechen, und auf keinen Fall darf es möglich sein, das Korn mit der Hand herauszureiben.

Beim Brand können durch zu schnelles Anheizen oder Abkühlen Risse entstehen. Es ist bei der Abnahme darauf zu achten, daß Silikasteine rissefrei sind und einen guten hellen Klang haben. Verschmierte Steine sind von der Abnahme zurückzuweisen.

d) Sondererzeugnisse.

Für den Feuerungsbau kommen von den Sondererzeugnissen öfters noch Mullit-, Korund- und Siliciumkarbidsteine in Frage. Der Mullitstein ist ein hochtonerdehaltiger Stein, der bis zu 65 % Al_2O_3 enthält. Als Ausgangsstoff dienen Cyanit, Sillimanit und künstlich angereicherte Tonerdesilikate. Die Steine haben sich in vielen Fällen gut bewährt, so daß sie trotz der hohen Preisspanne häufig zum Einbau kommen.

Korundsteine sind wegen ihres hohen Tonerdegehaltes von 70 bis 95 % gegen manche Schlacken unempfindlich und haben sich an verschiedenen Stellen auch gut bewährt. Es ist jedoch wegen des hohen Preises zweckmäßig, sich durch entsprechende Vorversuche von den zu erwartenden Vorteilen der Korundsteine zu überzeugen.

Siliciumkarbiderzeugnisse finden wegen ihrer Härte und Temperaturwechselbeständigkeit öfters im Feuerungsbau für bestimmte Zwecke Verwendung (Schlackenstauendel für Wanderrostfeuerungen).

Andere Sondererzeugnisse aus Magnesit, Spinell, Chromerz usw. werden im Feuerungsbau fast gar nicht benötigt.

e) Mörtel-, Stampf- und Anstrichmassen.

Der Mörtel erfüllt im feuerfesten Mauerwerk die Aufgabe, Unebenheiten der Steine auszugleichen und ein dichtes Schließen der Steine zu erzielen. Grundsätzlich wird engfugig vermauert. Im Mauerwerk sieht man zur Aufnahme der Spannungen Dehnungsfugen vor, soweit die Größe der Anlage es verlangt. Der Mörtel soll in der Feuerfestigkeit etwas niedriger liegen als das Steinmaterial, um schneller festzubrennen.

Beim Vermauern feuerfester Steine verfährt man so, daß man die Steine wie üblich mit Mörtel bestreicht, die Steine setzt und dann auf die Steine ein Klopfbrett legt und gegen dieses die Hammer-schläge ausführt. Das Klopfbrett, ein Holzstreifen von etwa 300×50×25 mm, erfüllt die Aufgabe, den Stein vor direkten Schlägen zu schützen, gleichzeitig aber auch ein knirsches Passen der Steine zu erzielen.

Der Mörtel soll sich ungefähr dem Stein anpassen. Danach unterscheidet man verschiedene Mörtelsorten:

Einteilung der Mörtel nach der Konvention.

| Mörtelklasse | Tonerdegehalt | Mörtelklasse ¹⁾ | für Steinqualität |
|--------------|---------------|----------------------------|-----------------------|
| C 0 | über 44% | CIA | A 0 |
| C 1 | 42—44% | CI | A 1—A 3 und B 1 |
| C 2 | 40—42% | CII | A 4, A 5, B 2, B 3 |
| C 3 | 36—39% | | |
| C 4 | 33—35% | | |
| C 5 | 30—32% | | |
| C 6 | unter 30% | CIII CIV | A 6, B 4 — |

¹⁾ Die Mörtelklassen IA—IV sind ohne Angabe des Tonerdegehaltes im Handel.

Stampfmassen haben sich oft gut bewährt. Man ist durch eine Anzahl von Stampfmassen in die Lage versetzt, auf komplizierte Formsteine zu verzichten und diese erst an Ort und Stelle zu formen und gleich einzubauen. Der Vorzug dieser Verwendung liegt darin, daß lange Lieferzeiten vermieden werden. Auch zum Ausflicken von zerstörtem Mauerwerk werden Stampfmassen sehr oft verwendet; so hat man mit gutem Erfolg große Flächen ausgestampft und kann an Stelle der Wand aus Normalsteinen Wandteile aus Stampfmasse errichten. Allerdings müssen in solchen Fällen Haltesteine vorgesehen werden, damit die frische Masse unter ihrem Eigengewicht nicht absackt. Eine aus Normalsteinen gemauerte Wand hat zwar eine größere Lebensdauer, aber überall, wo man infolge der Ofenbauart

größere Hauerbeiten vornehmen muß, kann man mit der Stampfmasse besser und schneller arbeiten. Dadurch, daß vielen Stampfmassen zum schnelleren Festbrennen Flußmittel zugesetzt werden, liegt ihre Feuerfestigkeit häufig niedriger als die von Schamottesteinen.

Anstrichmassen findet man häufig. Sie sollen das Mauerwerk vor Schlackenangriffen schützen oder beispielsweise bei Koks- und Gasöfen die Kammerwände abdichten. Ihre Eignung muß, falls nicht schon vorher bekannt, für jeden Zweck neu festgestellt werden.

II. Die Verwendung feuerfester Baustoffe.

1. Allgemeines.

Von der vielseitigen Verwendung feuerfester Baustoffe sollen an dieser Stelle nur drei wichtige Gebiete berücksichtigt werden, und zwar die Entgasung, die Vergasung und die Verbrennung. Bei diesen drei Vorgängen ist es notwendig, die verschiedenen Anforderungen an das feuerfeste Material zu umreißen, da es sich den jeweiligen Umständen anpassen muß.

Koks- und Gasöfen, in denen die Entgasung der Brennstoffe vorgenommen wird, verlangen einen Stein von guter Wärmeleitfähigkeit. Das Mauerwerk soll außerdem dicht sein, also Gewähr bieten, daß auch bei dauerndem Betrieb nicht etwa durch Nachschwinden klaffende Risse entstehen. Dann wird von dem Stein eine hohe mechanische Festigkeit verlangt, da das Mauerwerk durch das Laden und Ausstoßen stark beansprucht wird, und schließlich sollen die Steine bei der Größe der Kammern unter der Belastung nicht erweichen.

Im Gaserzeugerbetrieb treten an die feuerfeste Auskleidung Beanspruchungen ganz anderer Art. In der Feuerzone herrschen hohe Temperaturen, und die Asche des Brennstoffes greift das Futter stark an. Dazu tritt der mechanische Verschleiß durch die Aschenaustragung und das Stoßen, so daß hohe Verschlackungsbeständigkeit und mechanische Festigkeit verlangt werden. Die Raumbeständigkeit muß natürlich ebenfalls gut sein, um ein festes Mauerwerk zu erhalten und die Angriffsflächen zu verringern.

Bei der Verbrennung in Feuerungen kommt zu den Beanspruchungen auf Aschenangriff, Belastung im Feuer, mechanische Festigkeit und Raumbeständigkeit noch die das feuerfeste Material stark angreifende Beanspruchung auf Temperaturwechsel hinzu.

Jeder Fall verlangt den Bedingungen sorgfältig angepaßte Erzeugnisse, und es ist darum notwendig, daß der Verbraucher feuerfester Baustoffe an Hand dieser Richtlinien sich das für jeden Fall richtige Material herausucht, um nicht durch falschen Einbau die Schuld entweder dem Brennstoff oder dem feuerfesten Stein zuzuschreiben.

2. Feuerfeste Steine für Koks- und Gasöfen.

Infolge der ausgezeichneten Wärmeleitfähigkeit und Druckfeuerbeständigkeit haben sich für Koks- und Gasöfen in erster Linie Silikasteine bewährt. Der Silikastein wird gestampft und hat darum den großen Vorzug, daß er sauber geformt, scharfkantig und gerade ist, sofern man von Steinen mit ausgesprochenen Fabrikationsfehlern absieht. Die gute Formgebung gewährleistet ein ausgezeichnetes Passen, so daß Silikasteine mit geringster Nacharbeit vermauert werden können. Auf gute Maßhaltigkeit der Steine ist immer zu achten, denn diese bietet in vielen Fällen schon eine genaue Kontrolle darüber, ob die Steine bei der Herstellung genügend gebrannt sind. Man kann rechnen, daß ein Silikastein bei der Herstellung durch die vorher besprochene Quarzumwandlung etwa 3—4 % wächst. Das bedeutet, daß Silikasteine, die etwa 2 % zu klein sind, schon zum Schwachbrand gehören, und daß bei diesen Steinen mit starkem Nachwachsen zu rechnen ist. Auch der gut gebrannte Silikastein wächst etwas nach, aber soweit das Wachsen in normalen Grenzen liegt, wird es vom Ofen aufgenommen.

Die gute Formgebung der Silikasteine bietet gerade bei Koks- und Gasöfen die Möglichkeit, ein dichtes, fugenloses Mauerwerk zu schaffen. Die Gasdurchlässigkeit der Steine nimmt im Betrieb durch Ablagerungen von Kohlenstoff schnell ab.

Bei der Inbetriebnahme und Stilllegung von Koks- und Gasöfen muß auf die Vorgänge der Quarzumwandlung geachtet werden. Die Sprünge der Tridymit- und Cristobaliumwandlung müssen vor-

sichtig überwunden werden, da sonst das Mauerwerk Schaden nimmt. Die Temperaturschwankungen, die durch das Laden und Ausstoßen hervorgerufen werden, liegen oberhalb der gefährlichen Zonen, so daß man dort nichts zu befürchten hat.

3. Feuerfeste Steine für Gaserzeuger.

In Gaserzeugern werden sowohl wegen des Schlackenangriffs als auch wegen der notwendigen Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturschwankungen ausschließlich Schamottesteine verwendet.

Unbedingt ist es in Gaserzeugern notwendig, in der Feuerzone einen recht harten Schamottestein einzubauen, da diese Zone auch mechanischen Beanspruchungen durch die Stochstange ausgesetzt ist.

Wegen des Aschenangriffes werden meistens basische Sorten der Konventionsgruppen A1 und A2 verwendet. Bei diesen Steinen ist scharf darauf zu achten, daß sie genügend Feinkorn enthalten, damit die mechanische Festigkeit gewährleistet ist.

Großer Wert ist auf die Geradflächigkeit zu legen, damit möglichst enge Fugen erzielt werden können; denn es ist untragbar, daß bei einer Schachtauskleidung mit Fugen von etwa 5 mm oder noch mehr gearbeitet wird.

Schließlich ist bei Schachtsteinen für Gaserzeuger noch auf einen Fehler zu achten, der bei schlecht gemaukter Masse auftreten kann. Es wurde schon oben auf das Auftreiben der Steine hingewiesen. Bei den Formsteinen kann sich dieses Auftreiben so stark auswirken, daß auf der Oberfläche des Steines sich ein als Kreis umlaufender Riß bildet, der in etwa 30—80 mm Abstand von der Kante verläuft. Derartige Steine sind zu verwerfen.

Beim Füllschacht des Gaserzeugers verwendet man A 3- und A 4-Qualitäten, für die in bezug auf Festigkeit und Formgebung die gleichen Bedingungen gelten.

4. Feuerfeste Steine für Dampfkesselfeuerungen.

Die Anforderungen, die an das Steinmaterial in Dampfkesselfeuerungen gestellt werden, sind so vielseitig, daß trotz aller Prüfverfahren Versager möglich sind. In normalen Fällen kann man auf

Grund der vorliegenden Prüfungsergebnisse einen Stein als geeignet oder nicht geeignet bezeichnen. Es ist aber in besonders gelagerten Fällen möglich, daß noch anderweitige Beanspruchungen hinzutreten, die besonders berücksichtigt werden müssen. Darum soll man die Begutachtung von feuerfesten Steinen von Dampfkesselfeuerungen regelmäßig an Hand einer Zeichnung der betreffenden Anlage vornehmen.

Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel muß auf jeden Fall gefordert werden, denn Betriebsstillegungen sind im Dampfkesselbetrieb häufig. Daß die Verschlackungsbeständigkeit eine sehr wichtige Eigenschaft ist, leuchtet ohne weiteres ein. Man kann aber bei den Aschen der Brennstoffe des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues sagen, daß die normalen A 0- und A 1-Qualitäten hinreichend verschlackungsbeständig sind.

Sind die Steine porös, so dringt die Schlacke leicht ein. Sie sollen also genügend dicht sein, jedoch nicht so, daß die Temperaturwechselbeständigkeit darunter leidet.

Gerade Flächen der Steine bieten Gewähr für ein engfügiges Mauerwerk, auf das wegen seiner besseren Haltbarkeit zu achten ist.

Gute Druckfeuer- und Raumbeständigkeit müssen gefordert werden. Die Steine sollen gut gebrannt sein, da nur dann diese beiden Forderungen erfüllt sind.

Da bei der einseitigen Beheizung der Wände in Kesselfeuerungen sich der nach dem Feuer liegende Teil des Steines stärker ausdehnt, kann durch den starken Druck ein Abscheren der Steine verursacht werden. Aus diesem Grunde werden die Steine nach dem Feuer zu oft etwas verjüngt. Wenn auch in der Kälte die Fugen etwas größer erscheinen, schließen sie sich im Feuer trotzdem von selbst.

Dehnungsfugen sollen mit Asbestschnur oder Schlackenwolle abgedichtet werden, um Eintreten von Falschluf zu vermeiden. Feuerfeste Steine normaler Herstellung haben den Fehler, daß bei steigender Temperaturwechselbeständigkeit die Kaltdruckfestigkeit sinkt. Ihre Beständigkeit gegen Temperaturunterschiede wird oftmals großen Beanspruchungen ausgesetzt, wenn die Steine von außen gekühlt werden und durch den starken Temperaturabfall im

Stein große Spannungen hervorgerufen werden. Kommt dann noch eine gewisse mechanische Beanspruchung hinzu, etwa durch Schlackenansätze, durch Bewegung von Kohle und Schlacke usw., so ist die Gefahr einer Zerstörung des Steinmaterials groß.

Wenn bei Staubfeuerungen durch aufprallende Kohle- und Asche-
teilchen eine mechanische Auswaschung hinzukommt, muß ganz besonders auf feste, harte Steine Wert gelegt werden, so daß unter Umständen Sonderzeugnissen zweckmäßig der Vorzug gegeben wird.

5. Feuerfeste Isolierstoffe.

Das feuerfeste Mauerwerk wird zum Schutz gegen Wärmeverluste mit Isoliersteinen umhüllt. Während früher überwiegend Kieselgursteine verwendet wurden, wendet man sich in den letzten Jahren mehr den feuerfesten Leichtsteinen zu, da diese den Vorzug besitzen, in Fällen, in denen das feuerfeste Mauerwerk vollkommen zerstört ist, auch noch etwas zu halten. Die Güte der Steine wird nach dem Raumgewicht beurteilt. Hohe Isolationsfähigkeit haben die Steine mit 0,7 Raumgewicht, jedoch werden auch Steine mit einem Raumgewicht bis 1,0 verwendet. Daß die mechanische Festigkeit sehr poröser Steine gering ist, ist selbstverständlich. Werden die feuerfesten Leichtsteine zu hohen Temperaturen ausgesetzt, so schwinden sie vielfach nach, und mit der dadurch bedingten Erhöhung ihres Raumgewichtes steigt auch ihre Wärmeleitfähigkeit.

Ob es zweckmäßig ist, Gasleitungen für ungereinigtes Generatorgas zur besseren Isolierung mit feuerfesten Leichtsteinen auszumauern, ist strittig. Denn mit der Zeit tränkt sich der Stein mit Teer, und der Vorzug des Leichtsteines, beste Isolation und geringes Gewicht, ist damit aufgehoben. Für solche Zwecke eignet sich ein A 5- oder A 6-Stein ebenso gut.

III. Deutsche Normen über feuerfeste Baustoffe.

| DIN | Ausgabe ¹⁾ | Prüfverfahren |
|-------------------------|-----------------------|--|
| 1061 | Juli 27 | Allgemeines, Begriffsbestimmung, Probenentnahme. |
| 1062 | „ 27 | Chemische Analyse. |
| 1063 | „ 27 | Feuerfestigkeitsbestimmung nach Segerkegeln. |
| 1064 | „ 30 | Erweichung bei hohen Temperaturen unter Belastung (Druckfeuerbeständigkeit). |
| 1065 | „ 30 | Spez. Gewicht, Raumgewicht, Porosität (und Wasseraufnahme). |
| 1066 | „ 31 | Bestimmung der bleibenden Längenänderung beim Nachbrennen (Nachschwinden und Nachwachsen). |
| 1067 | „ 30 | Druckfestigkeit bei Zimmertemperatur. |
| 1068 | „ 31 | Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel. |
| 1069 | „ 31 | Widerstandsfähigkeit gegen Schlackenangriff. |
| Gütevorschriften | | |
| 1086 | „ 30 | Allgemeines und Abweichungsgrenzen |
| 1087 | Aug. 31 | Feuerfeste Baustoffe für Hochöfen und Winderhitzer. |
| 1088 | „ 31 | Feuerfeste Baustoffe für Siemens-Martinöfen. |
| 1089 | Okt. 32 | Feuerfeste Baustoffe für Koksöfen. |
| Steinformate | | |
| 1081 | Juli 29 | Ganze Steine, Dreiviertelsteine, Ausgleichplättchen. |
| 1082 | Mai 33 | Wölbsteine. |
| 1083 | | Kupolofensteine. |

¹⁾ Auszug aus dem Normblattverzeichnis 1937. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4. Beuth-Verlag GmbH., Berlin.

Zehnter Teil.

**Schrifttum über Brennstoffchemie,
Wärmewirtschaft
und Betriebswirtschaft.**

Schriftum über Brennstoffchemie, Wärmewirtschaft und Betriebswirtschaft.

1. Chemie der Brennstoffe.

- Agde, G. und K. v. Lynker, Die Vorgänge bei der Stückkoksbildung auf Grund experimenteller Untersuchungen. W. Knapp, Halle 1930.
- Agde, G. und H. Schmitt, Theorie der Reduktionsfähigkeit von Steinkohlenkoks auf Grund experimenteller Untersuchungen. W. Knapp, Halle 1928.
- Aufhäuser, D., Brennstoff und Verbrennung. 2 Teile, J. Springer, Berlin 1926/1928.
- Dolch, M., Die Brennstoffe und ihre Industrien. Akademische Verlagsges. m. b. H., Leipzig 1932.
- Donath, E., Unterscheidung, Einteilung und Charakteristik der Mineralkohlen. W. Knapp, Halle 1924.
- Fuchs, W., Die Chemie der Kohle. J. Springer, Berlin 1931.
- Graefe, E., Einführung in die chemische Technologie der Brennstoffe. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1927.
- Hinrichsen, F. W. und S. Taczak, Die Chemie der Kohle. W. Engelmann, Leipzig 1916.
- Keppeler, G., Die Brennstoffe und ihre Verbrennung. R. Oldenbourg, München 1922.
- Kreulen, J. W., Grundzüge der Chemie und Systematik der Kohlen. Ins Deutsche übersetzt von H. Mendel. D. B. Centen's Uitgevers-Maatschappij N. V., Amsterdam 1935.
- Kukuk, P., Unsere Kohlen. 3. Aufl. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1924.
- Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen. 2 Teile, 5. Aufl. J. Springer, Berlin 1923 und Ergänzungsbände 1927/1936.
- Remenovskij, E., Bewertung der Brennstoffe auf Grund moderner Kohlenforschung. Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien 1926.
- Roberts, J. und A. Jenkner, International Coal Carbonization. I. Pitman & Sons, Ltd. London 1934.
- Simmersbach, O. und G. Schneider, Grundlagen der Kokschemie. 3. Aufl. J. Springer, Berlin 1930.
- Stadnikoff, G., Die Chemie der Kohlen. F. Enke, Stuttgart 1931.
- Strache, H. und R. Lant, Kohlenchemie. Akademische Verlagsges. m. b. H., Leipzig 1924.
- Wesche, H., Die Brennstoffe. F. Enke, Stuttgart 1936.

Winter, H., Die festen Brennstoffe. A. Ziemsen, Wittenberg (Bez. Halle) 1922.

Wirth, F., Brennstoff-Chemie. G. Stilke, Berlin 1922.

2. Feuerungstechnik.

Blacher, C., Vom Laboratoriumspraktikum zur praktischen Wärmetechnik. O. Spamer, Leipzig 1928.

Bleibtreu, H., Kohlenstaubfeuerungen. 2. Aufl. J. Springer, Berlin 1930.

ten Bosch, M., Die Wärmeübertragung. 3. Aufl. J. Springer, Berlin 1936.

Fischer, Ferd., Taschenbuch für Feuerungstechniker. 9. Aufl. A. Kröner, Leipzig 1925.

Gerbel, M. und E. Reutlinger, Kraft- und Wärmewirtschaft in der Industrie. 3. Aufl. J. Springer, Berlin und Wien. Bd. I. 1927, Bd. II. 1930.

Gumz, W., Feuerungstechnisches Rechnen. O. Spamer, Leipzig 1931.

Herberg, G., Handbuch der Feuerungstechnik und des Dampfkesselbetriebes. 4. Aufl. J. Springer, Berlin 1928.

Hermanns, H., Taschenbuch für Brennstoffwirtschaft und Feuerungstechnik. W. Knapp, Halle.

Hold, K., Das Verhalten der rheinisch-westfälischen Steinkohlenarten in der Staubfeuerung. G. D. Baedeker, Essen 1927.

Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch. Hrsg. vom Akademischen Verein Hütte e. V., Berlin, 26. Aufl. W. Ernst & Sohn, Berlin 1931/6.

Lanyi, C., Berechnung der Dampfkessel, Feuerungen, Überhitzer und Vorwärmer. 5. Aufl. G. D. Baedeker, Essen 1928.

Ludwig, K., Neue Erkenntnisse über Schornstein und Feuerstätte. 1933.

Marcard, W., Rostfeuerungen. VDI-Verlag, Berlin 1934.

Menzel, H., Die Theorie der Verbrennung. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1924.

Merkel, Friedr., Die Grundlagen der Wärmeübertragung. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1927.

Michel, R., Feuerungstechnische Rechentafel. 4. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1925.

Nuber, F., Wärmetechnische Berechnung der Feuerungs- und Dampfkesselanlagen. 7. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1937.

- Ostwald, W., Beiträge zur graphischen Feuerungstechnik. O. Spamer, Leipzig 1920.
- Rosin, P. und R. Fehling, Das IT-Diagramm der Verbrennung. VDI-Verlag, Berlin 1929.
- Seufert, F., Technische Wärmelehre der Gase und Dämpfe. 4. Aufl. J. Springer, Berlin 1931.
- Verbrennungslehre und Feuerungstechnik. 2. Aufl. J. Springer, Berlin 1923.
- Schack, A., Der industrielle Wärmeübergang. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf 1929.
- Schmidt, E., Einführung in die technische Thermodynamik. J. Springer, Berlin 1936.
- Schüle, W., Neue Tabellen und Diagramme für technische Feuergase und ihre Bestandteile von 0—4000°. J. Springer, Berlin 1929.
- Technische Thermodynamik. J. Springer, Berlin. Bd. I, 5. Aufl. 1930, Bd. II 4. Aufl. 1923.
- Trenkler, H. R., Feuerungstechnik. VDI-Verlag, Berlin 1925.

3. Wärmewirtschaft.

- Anhaltzahlen für den Energieverbrauch in Eisenhüttenwerken. Hrsg. von der Wärmestelle, Düsseldorf. 3. Aufl., Stahleisen, Düsseldorf 1931.
- Barth, F., Wahl, Projektierung und Betrieb von Kraftanlagen. 4. Aufl. J. Springer, Berlin 1925.
- Bußmeyer, H., Wärmewirtschaft in der Zementindustrie. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1931.
- de Grahl, G., Wirtschaftliche Verwertung der Brennstoffe. 3. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1923.
- Landsberg, Fr., Wärmewirtschaft im Eisenbahnwesen. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1929.
- Leder, W., Kraft und Wärme in der Landwirtschaft und in landwirtschaftlichen Betrieben. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1930.
- Möller, F., Die Wärmewirtschaft in der Textilindustrie, Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1926.
- Praetorius, E., Wärmewirtschaft im Kesselhaus. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1930.
- Schiebl, K., Wärmewirtschaft in der Zuckerindustrie. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1926.

- Schlipköter, M., Wärmewirtschaft im Eisenhüttenwesen. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1926.
- Schulz, E., Öffentliche Heizkraftwerke und Elektrizitätswirtschaft in Städten. J. Springer, Berlin 1933.
- Steger, W., Wärmewirtschaft in der Keramischen Industrie. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1927.
- Tafel, W., Wärme und Wärmewirtschaft der Kraft- und Feuerungsanlagen in der Industrie. R. Oldenbourg, München und Berlin 1924.

4. Dampfkesselbetrieb.

- Gumz, W., Die Luftvorwärmung im Dampfkesselbetrieb. 2. Aufl. O. Spamer, Leipzig 1933.
- Haeder, H., Die Dampfkessel. 8. Aufl. R. C. Schmidt & Co., Berlin 1934.
- Höhn, E., Der Dampfbetrieb. J. Springer, Berlin 1929.
- Klingenberg, G., Bau großer Elektrizitätswerke. Ber. Neudruck der 2. Aufl. J. Springer, Berlin 1926.
- Kolbe, H., Wirtschaftlichkeit im Dampfkesselbetriebe. W. Knapp, Halle 1935.
- Morgner, F. O., Die Heizerschule. 6. Aufl. J. Springer, Berlin 1937.
- Münzinger, Friedr., Kohlenstaubfeuerung für ortsfeste Dampfkessel. J. Springer, Berlin 1921.
- Die Leistungssteigerung von Großdampfkesseln. J. Springer, Berlin 1922.
- Amerikanische und deutsche Großdampfkessel. J. Springer, Berlin 1923.
- Höchstdruckdampf. 2. Aufl. J. Springer, Berlin 1926.
- Kesselanlagen für Großkraftwerke. VDI-Verlag, Berlin 1928.
- Dampfkraft. Zugl. 2. neubearb. Aufl. von „Berechnung und Verhalten von Wasserrohrkesseln“ (1929). J. Springer, Berlin 1933.
- Leichte Dampftriebe an Land, zur See, in der Luft. Zugl. 2. vollst. umgearb. Aufl. von „Die Aussichten von Zwanglaufkesseln“ (1935). J. Springer, Berlin 1937.
- Netz, H., Dampfkessel. B. G. Teubner, Leipzig und Berlin 1934.
- Nuber, F., Wärmetechnische Berechnung der Feuerungs- und Dampfkesselanlagen. 6. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1933.
- Praetorius, E., Wärmewirtschaft im Kesselhaus. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1930.

- Praetorius, E., Billige Kessel, billiger Dampf. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1932.
- Spalckhaver, R., F. Schneiders und A. Rüster. Die Dampfkessel nebst ihren Zubehörteilen und Hilfseinrichtungen. 2. Aufl. J. Springer, Berlin 1924. Ergänzungsband hierzu von Spalckhaver Rüster, Berlin 1934.
- Spitznas, H., Die Heizerausbildung. 2. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1924.
- Stein, Th., Regelung und Ausgleich in Dampfanlagen. J. Springer, Berlin 1926.

5. Gaserzeugung.

- Bunte, H. und G. Schneider, Zum Gaskursus. Gasinstitut Karlsruhe 1929.
- Ergänzungsheft hierzu. Karlsruhe 1935.
- Gaserzeuger in Glashütten. Hrsg. von der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie. Selbstverlag, Frankfurt a. M. 1925.
- Gwodz, J., Generatorgas. W. Knapp, Halle 1921.
- Hermanns, H., Gasgeneratoren und Gasfeuerungen. 2. Aufl. W. Knapp, Halle 1924.
- Hock, H., Kokereiwesen. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1930.
- Koppers, A.-G., Handbuch der Brennstofftechnik. W. Girardet, Essen 1937.
- Litinsky, L., Kokerei- und Gaswerksöfen. W. Knapp, Halle 1928.
- Wärmewirtschaftsfragen. O. Spamer, Leipzig 1923.
- Ludwig, K., Reduktionstabelle für Heizwert und Volumen von Gasen. 3. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1928.
- Schäfer, A. und E. Langthaler, Einrichtung und Betrieb eines Gaswerkes. 4. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1929.
- Schuster, F., Energetische Grundlagen der Gastechnik. W. Knapp, Halle 1933.
- Thau, A., Die Schwelung von Braun- und Steinkohle. W. Knapp, Halle 1927.
- Vollbrecht, W. und R. Sternberg-Raasch, Das Gas in der deutschen Wirtschaft. R. Hobbing, Berlin 1929.
- Winter, H., Taschenbuch für Gaswerke, Kokereien, Schwelereien und Teerdestillationen. 5. Aufl. W. Knapp, Halle 1930.

6. Industrieofenbetrieb.

- Anhaltzahlen für den Energieverbrauch in Eisenhüttenwerken. 3. Aufl. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf 1931.
- Bansen, H., Wärmewertigkeit, Wärme- und Gasfluß, die physikalischen Grundlagen metallurgischer Verfahren. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf 1930.
- Bauer, E. P., Keramik. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1923.
- Gemeinfaßliche Darstellung des Eisenhüttenwesens. 13. Aufl. Hrsg. vom Verein Deutsch. Eisenhüttenleute. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf 1929.
- Glasschmelz-Hafenöfen mit Regenerativfeuerungen. Hrsg. von der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie. Selbstverlag, Frankfurt a. M. 1926.
- Heiligenstaedt, W., Wärmetechnische Rechnungen für Bau und Betrieb von Öfen. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf 1935.
- Hütte, Taschenbuch für Eisenhüttenleute. 4. Aufl. Hrsg. vom Akademischen Verein Hütte e. V. W. Ernst & Sohn, Berlin 1930.
- Mathesius, W., Die physikalischen und chemischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens. 2. Aufl. O. Spamer, Leipzig 1924.
- Maurach, H., Der Wärme fluß in einer Schmelzanlage für Tafelglas. R. Oldenbourg, München und Berlin 1923.
- Lamort, J., Glasschmelzöfen. O. Spamer, Leipzig 1932.
- Naske, C., Die Portlandzementfabrikation. 4. Aufl. O. Spamer, Leipzig 1922.
- Osann, B., Lehrbuch der Eisen- und Stahlgießerei. 5. Aufl. W. Engelmann, Leipzig 1922.
- Lehrbuch der Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., W. Engelmann, Leipzig. Bd. I Roheisenerzeugung 1923. Bd. II Erzeugung und Eigenschaften des schmiedbaren Eisens 1926.
- Ost, H., Lehrbuch der chemischen Technologie. 19. Aufl. Verl. Dr. Max Jänecke, Leipzig 1936.
- Pauer, W., Energiespeicherung. Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1928.
- Hütte, Taschenbuch der Stoffkunde. Hrsg. vom Akademischen Verein Hütte e. V. 2. Aufl. W. Ernst & Sohn, Berlin 1937.
- Schack, A., Der industrielle Wärmeübergang. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf 1929.
- Trinks, W., Industrieöfen. VDI-Verlag, Berlin 1928. Bd. I Grundlegende Theorien und Bauelemente 1928. Bd. II Bau und Betrieb, Berlin 1931.

Wärmewirtschaft in Glashütten. Hrsg. von der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie. Selbstverlag, Frankfurt a. M. 1931.

7. Meßtechnik, Überwachung, Untersuchungen.

Balcke, H., Die Organisation der Wärmeüberwachung in technischen Betrieben. R. Oldenbourg, München und Berlin 1929.

Berl, E., Chemische Ingenieur-Technik. Bd. I und II. J. Springer, Berlin 1935.

Brand, J. und F. Seufert, Technische Untersuchungsmethoden zur Betriebsüberwachung. 5. Aufl. J. Springer, Berlin 1926.

Germer, W. E., Die Grundlagen der Dampfmessung nach dem Differenzdruckprinzip. R. Oldenbourg, München und Berlin 1927.

Gramberg, A., Maschinenuntersuchungen. 3. Aufl. J. Springer, Berlin 1924.

— Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen. 6. Aufl. J. Springer, Berlin 1933.

Habert, F., siehe Wärmetechnische Tafeln.

Keinath, G., Die Technik elektr. Meßgeräte. 3. Aufl. R. Oldenbourg, München und Berlin 1928. Bd. I Meßgeräte und Zubehör. Bd. II Meßverfahren.

Knoblauch, O. u. K. Hencky, Anleitung zu genauen technischen Temperaturmessungen, 2. Aufl. R. Oldenbourg, München u. Berlin 1926.

Koch, W., VDI-Wasserdampf Tafeln. R. Oldenbourg, München und J. Springer, Berlin 1937.

Netz, H., Messungen und Untersuchungen an wärmetechnischen Anlagen und Maschinen. J. Springer, Berlin 1933.

Regeln für Abnahmeversuche an Dampfkesseln. VDI-Dampfkessel-Regeln (DIN VDI 1942). VDI- und Beuth-Verlag, Berlin 1937.

Regeln für Abnahmeversuche an Verbrennungsmotoren und Gaserzeugern einschließlich ihrer Abwärmeverwerter. 2. Aufl. VDI-Verlag, Berlin 1930.

Regeln für die Durchflußmessung mit genormten Düsen und Blenden. VDI-Durchfluß-Meßregeln (DIN 1952). 4. Aufl. VDI- und Beuth-Verlag, Berlin 1937.

Regeln für Meßverfahren bei Abnahmeversuchen. Teil I: Regeln für Temperaturmessungen „VDI-Temperaturmeßregeln“. VDI-Verlag, Berlin 1936.

Spiers, H., Technical Data on Fuel. Publ. by the World Power Conference London 1928. 4. Edition London 1935.

Wärmestelle des Vereins deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf. Mitteilungen Nr. 51, 75, 97, 156, 167 und 218. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf.

Wärmetechnische Arbeitsmappe einschließlich Ergänzungslieferung.
VDI-Verlag, Berlin 1934/1936.

Wärmetechnische Tafeln. Zusammengestellt und bearbeitet von
F. Habert. Hrsg. mit Unterstützung der Wärmestelle Düsseldorf,
des Vereins Deutsch. Eisenhüttenleute. Verl. Stahleisen m. b. H.,
Düsseldorf und J. Springer, Berlin 1935.

Wünsch, G. und H. Rühle, Meßgeräte im Industriebetrieb. J. Springer,
Berlin 1936.

8. Zeitschriften.

Archiv für das Eisenhüttenwesen. Verl. Stahleisen m.b.H., Düsseldorf.

Archiv für Wärmewirtschaft und Dampfkesselwesen. VDI-Verlag,
Berlin.

Berichte der Deutschen Keramischen Gesellschaft E. V., Selbst-
verlag, Berlin.

Berichte der Fachausschüsse des Vereins deutscher Eisenhütten-
leute. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf.

Brennstoff-Chemie. Zeitschrift für Chemie und chemische Technologie
der Brennstoffe und ihrer Nebenprodukte. W. Girardet, Essen.

Brennstoff- und Wärmewirtschaft. Mitteilungen der Brennkraft-
technischen Gesellschaft E. V., Berlin. W. Knapp, Halle.

Chemisches Zentralblatt. Verl. Chemie, G. m. b. H., Berlin.

Elektrizitätswirtschaft. Zeitschrift des Reichsverbandes der Elek-
trizitäts-Versorgung (R.E.V.). Franckh'sche Verlagshandlung W.
Keller & Co., Berlin.

Feuerungstechnik. Zeitschrift für den Bau und Betrieb feuerungs-
technischer Anlagen, vereinigt mit Feuerfest-Ofenbau. J. Springer,
Berlin.

Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. VDI-Verlag, Berlin.

Gas- und Wasserfach. R. Oldenbourg, München und Berlin.

Gesundheitsingenieur. Zeitschrift für die gesamte Städtehygiene.
R. Oldenbourg, München und Berlin.

Gießerei. Gießerei-Verlag, G. m. b. H., Düsseldorf.

Glückauf. Berg- und Hüttenmännische Zeitschrift. Verl. Glückauf,
G. m. b. H., Essen.

Stahl und Eisen. Verl. Stahleisen m. b. H., Düsseldorf.

Die Wärme. Zeitschrift für Dampfkessel- und Maschinenbetrieb.
Buch- und Tiefdruck-G. m. b. H., Berlin.

Zeitschrift des Bayerischen Revisions-Vereins, München.

Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, VDI-Verlag, Berlin.

Zeitschrift für angewandte Chemie. Verl. Chemie, Berlin.

Sachverzeichnis.

A.

| | | |
|---|-----|-----------------|
| Abgasgeschwindigkeit | 170 | 171 |
| —, Kohlensäure- und Sauerstoffgehalt in —en | | 124 |
| —, —gehalt bei verschiedenen Feuerungen und Belastungen | 142 | 143 |
| —menge | 117 | 120 123 |
| — — (Generatorgas) | | 228 229 |
| —rückführung | | 150 |
| —schieber, Kupplung mit Feuertür | | 152 |
| —temperatur | 118 | 125—129 168—174 |
| —verluste | | 125—130 |
| Anthrazit, Eigenschaften des —s s. unter Steinkohle | | |
| Arbeitseinheiten | 26 | 27 |
| — temperaturen in der Eisenindustrie | | 260 |
| — — — — Kalk-, Zement- und feuerfesten Industrie | | 272 |
| — — — — keramischen Industrie | | 272 |
| Aschegehalt der Steinkohlen | | 103 |
| Atmosphäre | 18 | 19 |
| Atomgewichte | | 32 |
| Ausdehnungskoeffizient der Gase | | 22 |
| Avogadro'sche Konstante | | 19 |

B.

| | | | |
|--|-----|------|-------------|
| Backvermögen | 93 | 94 | 153 |
| Barometerstand, Umrechnung auf 0° | | 200 | 201 |
| Baustoffe, s. feuerfeste — | | | |
| Beratungsstellen des Kohlenhandels | | | 312 |
| Blenden , Einbau der — | | 72— | 77 |
| —, Norm— | | | 71 ff. |
| —, Werkstoff für — | | | 71 |
| — berechnung für Dampfleitungen | | 69 | 70 |
| — — — Gasleitungen | | 67 | 68 |
| — — — Luftleitungen | | 66 | 67 |
| — — — Wasserleitungen | | 70 | 71 |
| Brennerbauarten | | | 248 ff. |
| Brennstoffe für verschiedene Feuerungssysteme | | 139 | 140 |
| — — — Gaserzeuger | | 225— | 227 |
| — — Kokerei- und Gaswerksöfen | | | 196 |
| —, Prüfvorschriften | | | 109 |
| Brennstoffverbrauch von Gaserzeugern | | | 225 |
| — — Kalkbrennöfen | | | 270 |
| — — keramischen Öfen und Erzeugnissen | | | 262 |
| — — Kokerei- und Gaswerksöfen | | 195 | 196 |
| — — Siemens-Martinöfen | | | 257 |
| — — Zementöfen | | | 271 |
| Brennstoffzuführung | | | 139 |
| Briketts | 101 | 103 | 105 107 109 |
| Bunkerlagerung | | | 112 113 |

C.

| | | |
|---|-----|-----|
| Celsiuskala | 18 | 30 |
| Chemische Elemente | | 32 |
| — Zusammensetzung von Destillationsgas | 189 | 198 |
| — — — Generatorgas | | 227 |
| — — des Roststabwerkstoffes | 145 | 146 |
| — — der Steinkohle | 108 | 109 |

D.

| | | |
|--|-------|-------------|
| Dämpfe s. Gase und — | | |
| Dampf s. a. Wasserdampf | | |
| —bedarf von Gaserzeugern | | 226 |
| —erzeugung je m ³ Heißwasser (Dampfspeicherung) | 48 | 49 |
| — kesselfeuerung | | 139 ff. |
| — —, Wärmehaushalt | 156/7 | 164/5 166/7 |
| —luftgemisch an Gaserzeugern | | 234 237 |
| —, Mengemessung | 69 | 70 194 |
| —, Normal— | | 21 |
| —preis | | 22 |
| —spannung von Gasen im Sättigungszustand | | 238 |
| —speicherung | 48 | 49 |
| —tafeln | 34 | 49 |
| Dauerleistung bei Planrosten | | 157 |
| — — Wanderrosten | | 164 |
| Differenzdruck | | 78 79 |
| Drehrostgaserzeuger | 214 | 215 216 225 |
| Druck, Meßgrößen | | 18 |
| —messung | | 78— 81 |
| —schriften des Rheinisch-Wesfälischen Kohlen-Syndikats | | 313 |
| Durchfußzahl | | 62 64 |

E.

| | | |
|--|-----|---------|
| Eckenbrenner | | 167 |
| Eichung von Zug- und Druckmessern | | 79 |
| Einheiten, Maß— | | 22— 31 |
| —, Kurzzeichen (DIN) | | 17 |
| —, Vergleichstafeln | | 25— 31 |
| —, Arbeits- | | 26 27 |
| —, BTU, kcal | | 28 29 |
| —, Leistungs— | | 27 |
| —, zusammengesetzte | | 25 |
| Elemente, chemische | | 32 |
| Entgasung | | 177 ff. |
| —, Anhaltszahlen für —söfen | 201 | 210 |
| —, Ausnutzung des Heizwertes der Kohle bei der — | | 209 |
| —, Betriebszeit | | 204 |
| —, Garungszeit | | 205 |
| —, Kohlenauswahl für — | | 177 |
| —, Unterfeuerungsauflauf | 207 | 208 |
| —, Versuchsergebnisse | | 196 |
| —, Verteilung des Stickstoffes der Kohle bei der — | | 210 |
| Erdbeschleunigung | | 18 |
| EBkohle, Eigenschaften der — s. unter Steinkohle | | |

F.

| | | | | |
|--|-----|-----|-----|---------|
| Fadenkorrektur | | | | 85 |
| Fahrenheitskala | | | | 30 |
| Festrostgaserzeuger | 211 | | | 212 |
| Fettkohle, Eigenschaften der — s. unter Steinkohle | | | | |
| Feuchtigkeitsbestimmung, psychrometrische | | 243 | | 244 |
| — gehalt von Gasen im Sättigungszustand | | | | 238 |
| — — Generatorgas | | | | 228 |
| — —, Taupunkt | | | | 121 |
| Feuerbrücke, verlängerte | | 155 | | 156 |
| Feuerfeste Baustoffe | | | | 273 ff. |
| — —, natürliche und künstliche | | | | 274 ff. |
| — —, Prüfvorschriften (DIN) | | | | 291 |
| — —, Sondererzeugnisse für den Feuerungsbau | | | | 284 |
| — —, Stein- und Mörtelklassen | 277 | 278 | | 285 |
| — —, Verwendung | | | | 286—290 |
| — Steine für Dampfkesselfeuerungen | | | | 288 ff. |
| — — Gaserzeuger | | | | 288 |
| — — Koks- und Gasöfen | | | | 287 |
| — Isolierstoffe | | | | 290 |
| Feuerfestigkeit | 277 | 279 | | 284 |
| — regelung, Geräte | | | | 154 |
| — tür, Kupplung mit Rauchgasschieber | | | | 152 |
| Feuerung, Brennstoffauswahl für —en | 139 | 140 | 157 | 164 |
| Flüchtige Bestandteile | | 93 | 94 | 105 |
| — — der Rein- und Trockenkohle | | | 104 | 105 |
| — —, Zusammensetzung | | | | 108 |
| Flugaschenbildung | | | | 153 |

G.

| | | | | |
|---|-----|------|--|---------|
| Garungszeit | | | | 205 |
| Gasanalyse | | 239— | | 243 |
| — ausbeute bei Entgasung | | | | 186 ff. |
| — —, abhängig von flüchtigen Bestandteilen in Reinkohle | | | | 187 |
| — — der verschiedenen Kohlen in verschiedenen Ofensystemen | | | | 196 |
| — —, abhängig von Ofentemperatur | | | | 188 |
| — — bei Wassergaszusatz | | | | 187 |
| — — bei Vergasung | 226 | 230 | | 231 |
| —, Ausdehnungskoeffizient | | | | 22 |
| — beschaffenheit, Richtlinien für die — — | | | | 197 |
| Gase, Beschaffenheit technischer — | | | | 198 |
| —, Dampfspannung und Feuchtigkeitsgehalt im gesättigten Zustand | | | | 238 |
| —, Feuchtigkeitsbestimmung, psychrometrische (Schaubild) | | | | 244 |
| —, Heizwert technischer — | | | | 198 |
| —, Umrechnungsfaktor | | | | 199 |
| — und Dämpfe, Raumgewicht | | | | 50 |
| — — —, mittlere spezifische Wärme | | 52 | | 53 |
| — — —, Wärmehalt | | 54 | | 55 |
| Gaserzeuger, Bauarten | | | | 211 ff. |
| — belastungen bei verschiedenen Bauarten | | | | 225 |
| —, Betriebserfahrungen an —n | | | | 233 ff. |
| —, Brennstoff für — | | 225— | | 227 |
| —, Dampfbedarf | | | | 226 |

| | | |
|--|-----|---------|
| Gaserzeuger, Dampfluftgemischtemperatur | 234 | 237 |
| —, Drehrost— | 214 | 215 |
| —, Festrost— | | 211 |
| —, Gasdruckmessung | | 234—236 |
| —, —schwankungen | | 236 |
| —, Gebläse | | 217 |
| —, Messungen an —n | | 234—239 |
| —, rostlose | | 213 |
| —, Rührwerk | | 216 |
| —, Rundschaft— | | 213 |
| —, Schichthöhe der Zonen im — | | 243 |
| —, Schütthöhen verschiedener Brennstoffe | | 226 |
| —, Temperaturmessung | 234 | 237 |
| —, Windbedarf | | 226 |
| —, —druckmessung | | 234—236 |
| —, —schwankungen | | 236 |
| —, Wärmehaushalt | | 231 |
| —, Zonen im — | | 243 |
| Gaserzeugung (Entgasung) | | 186 ff. |
| —(Vergasung) | | 211 ff. |
| Gasflammkohle, Eigenschaften der — s. unter Steinkohle | | |
| — heizwerte im Ausland | | 197 |
| — —, Destillations— | | 186—188 |
| — —, Generator— | | 227 |
| — — technischer Gase | | 198 |
| —kohle, Eigenschaften der — s. unter Steinkohle | | |
| —, Kraft— | | 247 |
| —, Mengenmessung | | 67 |
| —reinigung und —entschwefelung | | 219—224 |
| —wertzahl, abhängig von flüchtigen Bestandteilen | | 187 |
| — zusammensetzung, Destillations— , abh. von flüchtigen Bestandt. | | 189 |
| — —, abhängig von Ofentemperatur | | 189 |
| — —, Generator— bei verschiedenen Brennstoffen und Bauarten | | 227 |
| Gewicht s. a. Molekular-, Raum-, spezifisches— | | |
| —seinheit | | 19 |
| — von Steinkohlenbriketts | | 101 |
| Gießereischachtöfen | | 257—259 |
| Glasschmelzöfen, Leistung und Wärmeverbrauch | | 261 |
| Glühfarben des Eisens | | 90 |
| Graphit | | 201 |

H.

| | |
|--|-----------------|
| Handfeuerung | 151—153 |
| Heizflächenbelastung | 151 |
| Heizwert , Ausnutzung des —es der Kohle bei der Entgasung | 209 |
| — von Brenngasen , Tafeln zur Berechnung des —es | 57—59 |
| — — —, Methan (H_u) | 59 |
| — — —, Kohlenoxyd (H_u) | 58 |
| — — —, schwere Kohlenwasserstoffe (H_u) | 59 |
| — — —, Wasserstoff (H_u) | 57 |
| — — —, technischen | 198 |
| — — Brennstoffen d. Ruhr-, Aachener u. Saarbergbaues | 104 105 106 107 |

| | |
|--|-------|
| Heizwert von Destillationsgas , abhängig von flüchtigen Bestandteilen | 187 |
| — — —, abhängig von Ofentemperatur | 188 |
| — — Generatorgas | 227 |
| —, Meßgrößen | 20 21 |
| — verschiedener Stoffe (H ₀ und H _{II}) | 56 |
| Horizontalkammerofen | 207 |

I.

| | |
|-----------------------------|---------------------|
| Industrieöfen | 255 ff. |
| —, Brennstoffverbrauch in — | 257 261 262 270 271 |

K.

| | |
|--|-------------------|
| Kalkbrennöfen | 270 |
| Kammerofen , Horizontal— | 207 |
| —, Vertikal— | 208 |
| Keramische Öfen und Erzeugnisse, Brennstoffverbrauch | 262 |
| Kesselanlagen , Wärmehaushalt | 156/7 164/5 166/7 |
| —pferdestärke | 31 |
| —verluste s. Verluste | |
| Kieselsäuremodifikationen | 280—282 |
| Körnungen , mittlere— von Koks | 101 102 |
| —, — — der Steinkohlen | 99—102 |
| Kohle und Koks, Wärmeleitzahlen von geschütt. — — — | 202 |
| Kohlensäuregehalt in Abgasen | 124 142 143 |
| Kohlenstaub , Eckenbrenner | 167 |
| —, Feinheitsgrad | 165 |
| —feuerung | 165—167 |
| — —, Verdampfungsversuche | 166/7 |
| —, Mahltrocknungseinrichtung | 166 |
| —mühlen | 166 |
| —, Prüfungsvorschriften (DIN) | 165 |
| Koks , Aschegehalt | 103 183 |
| — beschaffenheit , Tiegelprobe | 93 94 |
| — —, Verkokungsproben (Abb.) | 95—97 |
| —erzeugung | 182 ff. |
| — festigkeit | 184—186 |
| — —prüfung | 184 |
| —kammer, Temperaturanstieg | 203 |
| —, Körnungen und Bezeichnungen | 101 102 182 |
| — und Kohle, Wärmeleitzahlen von geschütt. — — — | 202 |
| —kuchen | 153 |
| —, mittlere spezifische Wärme | 201 |
| —, Wassergehalt | 103 |
| Konstanten | 19 22 |
| Kraftgas | 247 248 |

L.

| | |
|----------------------------------|---------|
| Lagerung von Brennstoffen | 110—113 |
| —, Durchführung der — | 110 111 |
| — im Freien | 111 |
| —, Silo- und Bunker— | 112 113 |

| | |
|--|-----------------|
| Leistungseinheiten | 27 |
| Logarithmen, Basis der natürlichen — | 22 |
| Ludolphsche Zahl | 22 |
| Luftbedarf, Ermittlung des —s | 116—118 |
| — —technischer Gase | 198 |
| —, Mengenummessung | 66 67 |
| —, Raumgewicht | 51 |
| —überschuß | 117 120 122 123 |

M.

| | |
|--|-------------|
| Martinofen, Brennstoff- und Wärmeverbrauch im Siemens— | 257 |
| Maßeinheiten (DIN) | 17 |
| —systeme verschiedener Länder | 22—25 28 29 |
| Mechanische Festigkeit feuerfester Baustoffe | 286 287 |
| Mendheimofen, Wärmehaushalt | 266—269 |
| Mengenummessung | 61 ff. |
| —, Anzeigemeßgeräte | 77—81 |
| —, Dampf | 69 70 194 |
| —, Gas | 67 68 |
| —, Luft | 66 67 |
| —, Wasser | 70 71 |
| Meßflüssigkeiten | 77 82 |
| Mischgas | 190 196 209 |
| —ausbeute bei Wassergaszusatz | 187 |
| Molekulargewicht | 19 |
| — — verschiedener Stoffe | 115 |
| —volumen | 19 |

N.

| | |
|---|--------|
| Normaldampf | 21 31 |
| —verdampfungszahl | 21 |
| Normblende | 71ff. |
| Normkubikmeter, Meßgröße | 19 |
| —gewicht | 19 |
| — —, Gase und Dämpfe | 50 230 |
| — —, Luft | 51 |
| Nullpunkt, absoluter — | 18 |

O.

| | |
|---|-----|
| Ofenwände, Wärmeverluste und Übergangszahlen von —n | 255 |
|---|-----|

P.

| | |
|--|-----------------|
| Pferdestärke, Kessel— | 31 |
| Planrostfeuerungen | 139—147 151—157 |
| —, Verdampfungsversuche an Kesseln mit — | 156/7 |
| Prozent Rating | 31 |
| Pyrometer | 87 90 |

Q.

| | |
|--|-----|
| Quarz, Kristallformen des —es | 282 |
| —, mittlere spezifische Wärme | 201 |
| —, Schamotte | 278 |

R.

| | | |
|--|---------|---------|
| Raubeständigkeit feuerfester Baustoffe | 274 | 279 |
| — gewicht von Gasen und Dämpfen | | 50 |
| — —, Meßgröße | | 19 |
| — —, Luft | | 51 |
| Reinkohle , chemische Zusammensetzung der — | 108 | 109 187 |
| —, flüchtige Bestandteile | | 105 |
| —, Heizwert (H_u) | 104 | 105 106 |
| —, Teergehalt | | 210 |
| Roheisen, flüssiges, Wärmeinhalt | | 257 |
| Rohkohle , Asche- und Wassergehalt | | 103 |
| —, Heizwert (H_u) | | 106 107 |
| Rostbelastungen , Planrost | | 157 |
| — —, Wanderrost | | 164 |
| — fläche, Verhältnis zur Heizfläche | 150 | 151 |
| — kühlung | 147—150 | |
| — — durch Abgasrückführung | | 150 |
| — spaltweiten | | 144 |
| — stab abmessungen | | 144 |
| — — formen | 143—145 | |
| — — kühlverhältnisse | | 143 |
| — — temperaturen mit und ohne Wasserkühlung | | 149 |
| — — werkstoffe | | 145—147 |

S.

| | | |
|--|-----|---------|
| Saarfettkohle } Eigenschaften der — s. unter Steinkohle | | |
| — flammkohle } | | |
| Sättigungsdruck von Wasserdampf | | 34— 36 |
| Sauerstoffbedarf | 116 | 117 228 |
| Schachtofen, Gießerei— | | 257—259 |
| Schamotte | | 275—279 |
| Schichthöhen bei Kesselfeuerungen | | 140 |
| — — der Zonen im Gaserzeuger | | 243 245 |
| — regler, verstellbare — — | | 160 161 |
| Schlacke, Beseitigung der — | | 155 156 |
| —, Wärmeinhalt flüssiger — n im Schmelzbetrieb | | 257 |
| — nansatz | | 159 |
| — nstaupendel | | 284 |
| Schmelzbetrieb , Fehler im — — | | 259 |
| — punkte von Segerkegeln | | 92 |
| — — verschiedener Stoffe | | 81 |
| Schornsteinabkühlung | | 172 |
| —, Austritts- und Reibungsverluste | | 170 |
| — berechnung | | 168—174 |
| — höhe | | 171—174 |
| — querschnitt | | 168 |
| —, Abgasgeschwindigkeit im — | | 170 171 |
| Schrifttumsverzeichnis | | 293—300 |
| Schüttgewicht nasser Kohle | | 180 181 |
| — — trockener Kohle | | 182 |
| — — in Ofenkammern | | 179 182 |

| | | | | | |
|--|-----|-----|--------|-----|---------|
| Schütthöhe verschiedener Brennstoffe im Gaserzeuger | | | | | 226 |
| —winkel verschiedener Brennstoffsorten | | | | | 112 |
| Schutzrohre für Thermoelemente | | | | | 88/89 |
| Schwefelgehalt der Brennstoffe | | | | | 109 |
| Seegerkegel | | | | | 90— 92 |
| —, Schmelzpunkte | | | | | 92 |
| —, Siedepunkte von Wasser | 18 | | | | 37— 42 |
| — verschiedener Stoffe | | | | | 81 |
| Siegert'sche Formel | | | | | 126 128 |
| Siemens-Martinöfen, Brennstoff- und Wärmeverbrauch | | | | | 257 |
| Silika | | | | | 279—284 |
| Silolagerung | | | | | 112 113 |
| Spezifisches Gewicht , Gase und Dämpfe | | | | | 50 |
| —, Luft | | | | | 51 |
| —, Meßgröße | | | | | 19 |
| —, technischer Gase | | | | | 198 |
| —, Wasser | | | | | 33 |
| —, Wasserdampf | | | | | 37— 43 |
| — Volumen , Meßgrößen | | | | | 19 |
| —, verschiedener Stoffe | | | | | 115 |
| —, Wasser | 33 | | | | 37— 42 |
| —, Wasserdampf | | | | | 37— 42 |
| — Wärme , Meßgrößen | | | | | 19 20 |
| —, mittlere , Gase und Dämpfe | | | | | 52 53 |
| —, —, Graphit, Koks, Quarz | | | | | 201 |
| —, —, — trockener Abgase | | | | | 127 |
| Stadtgaswerk, Wärmestrombild eines —s | | | | | 209 |
| Stahl, Wärmeinhalt von flüssigem — | | | | | 257 |
| Statische Zugstärke | 168 | 169 | | | 174 |
| Staugeräte | | | | | 61 |
| Staubfeuerung, Verdampfungsversuche an Kesseln mit — | | | | | 166/7 |
| Steinkohlen s. a. Brennstoffe | | | | | |
| —, Aschegehalt der —sorten | | | | | 103 |
| —, chemische Zusammensetzung der — (Reinkohle) | | | | | 108 109 |
| —, flüchtige Bestandteile der —arten (Reinkohle) | 93 | | | | 94 105 |
| —, — — Rein- und Trockenkohle | | | | | 104 105 |
| —, Handelsbezeichnung der —arten | | | | | 93 |
| —, Hauptvorkommen der —arten | | | | | 93 94 |
| —, Koksbeschaffenheit der —arten | 93 | 94 | | | 95— 97 |
| —, Misch- und Mahlanlage, Schema | | | | | 178 |
| —, — —, Kraftbedarf | | | | | 179 |
| —arten | | | | | 93 ff. |
| —aufbereitungsanlage, Schema | | | | | 98 |
| —briketts | 101 | 103 | 105 | 107 | 109 |
| —einteilung | | | | | 93 94 |
| —gas s. Gas | | | | | |
| —heizwert (H_u) | 104 | 105 | 106 | | 107 |
| —koks s. Koks | | | | | |
| —körnungen einschl. Briketts und Koks | | | 99—102 | | 182 |
| —sorten | | | | | 99 ff. |
| —, Schüttwinkel verschiedener —sorten | | | | | 112 |
| —, Teergehalt der —arten | | | | | 210 |
| —, Wassergehalt der —arten | | | | | 103 |

| | |
|--|-------------|
| Stickstoff, Verteilung des —es der Kohle bei der Entgasung | 210 |
| Streckgas | 187 190 196 |
| Sturzfestigkeit von Koks | 184—186 |

T.

| | |
|--|-----------------|
| Taupunkttemperaturen von Abgasen | 121 122 |
| Teerausbeute aus verschiedenen Steinkohlenarten | 210 |
| —gehalt, Bestimmung des —es | 243 |
| — — von Generatorgas | 228 |
| Thermokräfte von Thermoelementen | 88 89 |
| Thermometer | 82— 87 |
| —, Einbau von —n | 84 |
| —skala | 30 |
| Tieftemperaturteer, Ausbeute aus verschiedenen Steinkohlenarten | 210 |
| Trockenkohle , flüchtige Bestandteile | 105 |
| —, Heizwert (H_u) | 107 |
| Trocknung von Kohlenstaub | 166 |
| Trommelfestigkeit von Koks | 184—186 |
| Temperaturabfall strömender Gase | 228 |
| —, absolute | 18 |
| —, Meßgröße | 18 |
| —messung | 81 ff. |
| — —, Meßgeräte | 82 ff. |
| —, Arbeits —en in der Eisenindustrie | 260 |
| —, — —en in der Kalk-, Zement- und feuerfesten Industrie | 272 |
| —, — —en in der keramischen Industrie | 272 |
| —en von Thermolementen | 88 89 |
| —schätzung nach der Glühfarbe des Eisens | 90 |
| — verlauf im Gastunnelofen bei Garbrand gesinterter keram. Massen | 265 |
| — — — Rundofen bei Glattbrand von Porzellan | 263 |
| — — — Rundofen bei Glüh- und Glattbrand von Steingut | 264 |
| — — — Tunnelofen bei Bleiglasurbrand | 266 |
| —wechselbeständigkeit feuerfester Baustoffe | 274 278 279 284 |

U.

| | |
|--|---------|
| Überwachung des Gaserzeugerbetriebs | 234—247 |
| Umrechnungsfaktor für Gase | 118 199 |
| Unterfeuerungsauwand von Ofenbatterien | 207 208 |
| Unterwind | 142 |

V.

| | |
|--|-----------------|
| Verbrennung | 115 ff. |
| — und Abgasmenge (Generatorgas) | 228 229 |
| —, Luftbedarf | 116—118 198 |
| —, —überschuß | 117—120 122 123 |
| —, Abgasmenge | 117 120 123 |
| —, —verluste | 125—130 |
| —, rauchschwache | 160 |
| —, Sauerstoffbedarf | 116 117 228 |
| —sgleichungen | 116 |
| — luftbedarf technischer Gase | 198 |

| | |
|---|----------|
| Verbrennungsluft , Ermittlung der — — | 116—118 |
| — —, Regelung der — — für Rostfeuerungen | 140 ff. |
| —produkte | 116—119 |
| —wärme | 20 |
| —wasser | 21 |
| Verdampfungsversuche an Kesseln mit Planrostfeuerungen | 156/7 |
| — — — — Staubfeuerungen | 166/7 |
| — — — — Wanderrostfeuerungen | 164/5 |
| Verdampfungswärme | 37— 42 |
| —zahl | 21 |
| Vergasung | 211 ff. |
| —, Dampfzusatzregelung | 218 |
| —, Gasdruckregelung | 218 219 |
| Verkokungsgeschwindigkeit | 185 |
| —proben (Abb.) | 95— 97 |
| —temperatur | 185 |
| —wärme | 206 |
| Verluste durch Brennbares in den Rückständen | 131 |
| — — fühlbare Wärme der Abgase | 125—129 |
| — — Strahlung und Leitung | 131 |
| — — unvollkommene Verbrennung | 129 130 |
| Vertikalkammerofen | 208 |
| Volumen, Meßgröße | 19 |
| —, Molekular— | 19 |
| —, spezifisches, s. dort | |
| —, Umrechnung | 118 199. |

W.

| | |
|--|-------------------|
| Wärmeeinheit , Meßgröße | 19 |
| — haushalt des Gaserzeugers | 231 232 |
| — — von Kesselanlagen | 156/7 164/5 166/7 |
| — — des Mendheimofens | 266—269 |
| — inhalt von flüssigem Roheisen, Stahl, verschiedenen Schlacken | 257 |
| — — — Gasen und Dämpfen | 54 55 |
| — — — gesättigtem Wasserdampf | 37— 42 |
| — — — überhitztem Wasserdampf | 44— 47 |
| —leitzahlen von Kohlen und Koks | 202 |
| —preis | 21 22 |
| —, spezifisches s. dort | |
| —übergangszahlen und -verluste von Ofenwänden | 255 |
| —, Verbrennungs— | 20 |
| —, Verdampfungs— | 37— 42 |
| —verbrauch von Glasschmelzöfen | 261 |
| —verluste bei verschiedenen Ofeninnenwandtemperaturen | 255 |
| Wanderrostfeuerungen | 158 ff. |
| —, Abbrand, ungleichmäßiger | 158 |
| —, Anfahrversuche | 163 |
| —, Elastizitätsversuche | 162 |
| —, Rostfläche | 158 |
| —, Schlackenansätze | 159 |
| —, Verdampfungsversuche an Kesseln mit — | 164/5 |
| —, Vorschubgeschwindigkeit | 158 |

| | |
|--|-----------|
| Wandverluste über der Herdfläche von Öfen | 256 |
| — — — Herdflächenbelastung von Öfen | 256 |
| Wassergehalt von Gaseorgas | 228 |
| — — der Steinkohlen | 103 |
| —, Mengenumessung | 70 71 |
| —messer | 80 |
| —, spezifisches Gewicht | 33 |
| —, — Volumen | 33 37— 42 |
| —stoffgehalt von Destillationsgas | 189 198 |
| Wasserdampf, gesättigter, Zustandsgrößen | 37— 42 |
| —, Mengenumessung | 69 70 |
| —, Sättigungsdruck | 34— 36 |
| —, Speicherung im — | 48 49 |
| —, überhitzer , spezifisches Gewicht | 43 |
| —, —, Wärmeinhalt | 44— 47 |
| —, Zersetzung in glühendem Koks | 192 |
| —, —bestandteile | 193 |
| Wassergas, Eigenschaften | 198 |
| —erzeugung in Ofenkammern (Koksverbrauch, Gestehungskosten) | 195 |
| —gleichgewicht bei Vergasung von Kohlenstoff und Wasserdampf | 191 |
| Windbedarf von Gaserzeugern | 226 |
| —druckmessung an Gaserzeugern | 234—236 |

Z.

| | |
|--|-------------|
| Zementöfen | 271 |
| Zündung | 139 |
| Zugzeugung | 168—176 |
| —, künstlicher — durch Saugzugventilatoren | 174—176 |
| —messung, Eichung von —messern | 78 79 |
| —, Schornstein— | 168—174 |
| — stärke bei Feuerungen | 141 |
| — —, statische | 168 169 174 |
| Zusammensetzung s. chemische — | |

Beratungsstellen.

Nähere Auskunft über die Verwendung der vom Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikat vertriebenen Brennstoffe erteilen die wärmetechnischen Abteilungen des Syndikats und der nachbenannten Syndikatshandelsgesellschaften:

| | |
|--|-----------------------------------|
| Westfälisches Kohlen-Kontor | Hamburg 1 |
| Naht, Emschermann & Co. | „Kirdorfhaus“ Alsterdamm 16—18 |
| Westfälische Kohlenverkaufsgesellschaft | Berlin W 30 |
| Vollrath, Weck & Co. | Nollendorflplatz 1 |
| Deutsche Kohlenhandelsgesellschaft | Bremen |
| Lüders, Meentzen & Co. | Langenstraße 104 |
| Kohlenhandelsgesellschaft Westfalia | Hannover 1 M |
| Wiesebrock, Schulte & Co. | Alexanderstraße 2 |
| Kohlenhandelsgesellschaft „Mark“ | Hagen i. W. |
| Siepmann, Schrader & Co. | Aschenbergstraße 25 |
| Kohlenhandelsgesellschaft „Bergkohle“ | Düsseldorf |
| Buchmann & Co. | Thomasstraße 6 |
| Kohlenhandelsgesellschaft Hansa | Köln |
| Kallmeier & Co. | Mevissenstr. 15 |
| Westfälische Kohlenhandelsgesellschaft | Dortmund |
| Gastrock, Murmann & Co. | Hohenzollernstr. 6 |
| Kohlenhandelsgesellschaft Glückauf | Kassel |
| Abt, Beck & Co. | Motzstraße 1 |
| Westfälische Kohlen- und Koks-Verkaufsgesellschaft | Magdeburg |
| Knauer & Co. | Albrechtstraße 9 |
| Kohlenkontor Weyhenmeyer & Co. | Mannheim |
| | Parkring 27—29 |
| Kohlenhandelsgesellschaft „Niederrhein“ | Duisburg |
| Weyer, Franke & Co. | Claubergstraße 11 |

sowie der
Kohlenhandel.

Druckschriften des Rheinisch-Westfälischen Kohlen-Syndikats.

Ruhrkohlen-Handbuch.

Betrieb von Dampfkesselfeuerungen mit Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues (5. Teil des Ruhrkohlen-Handbuches, Sonderdruck).

Entgasung von Kohlen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues (6. Teil des Ruhrkohlen-Handbuches, Sonderdruck).

Vergasung von Brennstoffen des Ruhr-, Aachener und Saarbergbaues (7. Teil des Ruhrkohlen-Handbuches (Sonderdruck).

Ruhrkohle und Technik.

Ruhrkohle auf Rostfeuerungen.

Ruhrkohle in Gaserzeugern.

Ruhrkohle für Seedampfer.

Ruhrkohle für Schmiedezwecke.

Ruhr-Zechenkoks in Zentralheizungen.

Ruhr-Steinkohlen-Briketts.

Saarkohle für Bäckereien.

Ruhrkohle im Haushalt.

Ruhr-Anthrazit-Eierbriketts.

Ruhr-Nußbriketts für den Küchenherd.

Anthrazit, der vollkommene Dauerbrand.

Kachelöfen und ihre Brennstoffe.