FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

B 42

METALLHÜTTENWESEN

GEORG HOFMANN

Die Notwendigkeit der Forschung und Lehre auf dem Gebiet des Industrieofenbaues

Röstprozesse und Röstapparate

(Ein Beitrag zur Systematik der Industrieöfen)

AKADEMIE-VERLAG BERLIN

1959

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

B 42

FREIBERGER FORSCHUNGSHEFTE

Herausgegeben vom Rektor der Bergakademie Freiberg

B 42

METALLHÜTTENWESEN

Die Notwendigkeit der Forschung und Lehre auf dem Gebiet des Industrieofenbaues

Röstprozesse und Röstapparate

(Ein Beitrag zur Systematik der Industrieöfen)

Von GEORG HOFMANN

Akademie-Verlag · Berlin

Freib. Forsch.-H.	B 42	S. 1—54	44 Bilder	Berlin, September 1959

INHALT

„Freiberger Forschungshefte", Schriftenreihe für alle Gebiete der Montanwissenschaften. Herausgeber: Der Rektor der Bergakademie Freiberg, Prof. Dr.-Ing. habil. O. Oelsner. Chefredakteur: Dipl.-Ing. R. Wendler, Freiberg, Klubhaus der Bergakademie, Aug.-Bebel-Str. 5 (Ruf 2497). — Verlag: Akademie-Verlag, GmbH, Berlin W 1, Leipziger Str. 3—4 (Ruf 220441), Postscheckkonto 35021. — Die Freiberger Forschungshefte erscheinen in zwangloser Folge in den Reihen A, B, C und D. Ausführliches Verzeichnis aller lieferbaren Hefte von der Redaktion der Bergakademie oder dem Akademie-Verlag. — Preis dieses Heftes: 4,— DM. Bestell- und Verlags-Nr. 2062/269/B 42. — Vertrieb: Für das Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik durch den Buchhandel; für das Gebiet der Deutschen Bundesrepublik durch den Buchhandel (Auslieferung KUNST UND WISSEN, Erich Bieber, Stuttgart S, Wilhelmstraße 4—6); für das gesamte Ausland durch eine Importbuchhandlung, den Deutschen Buch-Export und -Import, GmbH, Leipzig C 1, Postschließfach 276, oder den Verlag.
Satz und Druck: Druckwerkstätten Stollberg VOB, Stollberg (Erzgeb.), August-Bebel-Str. 16 - VOB UNION — III/6/50 1 1059 (914). — Veröffentlicht unter der Lizenz-Nr. 202 · 100/633/59 des Ministeriums für Kultur, HV Verlagswesen, der Deutschen Demokratischen Republik. —

Die Notwendigkeit der Forschung und Lehre auf dem Gebiet des Industrieofenbaues

Das Kohle- und Energieprogramm unserer Republik kann nur dann vollständig gelöst werden, wenn sich nicht nur die Erzeuger bei der Umwandlung der Rohenergieträger in Edelenergieträger, sondern auch die Verbraucher bei der Umwandlung der Energieträger in die benötigten Energieformen darum bemühen, den höchstmöglichen Energiewandlungswirkungsgrad zu erreichen.

Bei der Erzeugung von Edelenergieträgern ist der Steigerung der wirtschaftlichen Ausnutzung der Brennstoffe, d. h. der Erhöhung des Wirkungsgrades aller Aggregate, entsprechend den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen der Technik schon immer große Beachtung geschenkt worden. So wird bei der Erzeugung des Edelbrennstoffes Gas, der in unserer Energiewirtschaft eine große Rolle spielt und in Zukunft auch der wichtigste Wärmeträger sein wird, hochwertige Kohle in neuzeitlichen Anlagen mit Wandlungswirkungsgraden von 80 % und mehr veredelt. Die Ofenverluste dieser Anlagen sind verhältnismäßig niedrig, so daß sich auch hohe Ofenwirkungsgrade und damit Gesamtwirkungsgrade ergeben, die bei etwa 70 bis 75 % liegen. Bei der Elektroenergieerzeugung ergeben sich allerdings nicht so hohe Wirkungsgrade. Hier ist aber zu berücksichtigen, daß im Gegensatz zur Gaserzeugung als Ausgangsmaterial fast ausschließlich minderwertige, ballastreiche Brennstoffe verwendet werden. Und weiterhin darf der unbestreitbare Vorteil der Elektroenergie,daß sie sich nahezu verlustlos in andere Energieformen, z. B. mechanische Energie oder Wärme, umwandeln läßt, nicht unbeachtet bleiben. Auf dieser Seite der Energiewirtschaft gibt es außerdem genügend Fachleute; der Energiemaschinenbau befindet sich auf einer hohen Entwicklungsstufe; die Literatur ist reich an wissenschaftlichen Beiträgen aus den Gebieten der Elektroenergieerzeugung und der Kohleveredlung; und schließlich besteht noch die Möglichkeit, sich die hierfür notwendigen Kenntnisse an den Hoch- und Fachschulen anzueignen.

Wie sieht es nun aber auf der Verbraucherseite aus, wo hochwertige feste stückige Brennstoffe auf den Rosten der Feuerungen von Industrieöfen verbrannt werden und wo auch gasförmige, flüssige und staubförmige Brennstoffe und in besonderen Fällen sogar elektrischer Strom für die Erzeugung von Wärme verwendet werden? Zu den größten Wärmeverbrauchern gehören die Öfen der Eisen-, Stahl-, NE-Metall-, Glas-, keramischen und chemischen Industrie usw. Der Wärmeverbrauch der Industrieöfen nimmt in der Energiebilanz eines industriell hoch entwickelten Landes einen sehr beträchtlichen Posten ein. Man kann sagen, daß zur Deckung des Wärmebedarfes mehr als 70 % der Gesamtenergiemenge benötigt werden.

Obwohl beispielsweise bei gasbeheizten Industrieöfen sehr ansehnliche Wirkungsgrade erzielt werden können, findet man in vielen Fällen, daß die im Brennstoff chemisch gebundene Energie durch falsche Führung des Verbrennungsvorganges nur unvollständig in die Wärmeenergie der Verbrennungsgase umgewandelt und die Wärme der Verbrennungsgase bei der Übertragung auf das Wärmgut schlecht ausgenutzt wird, wodurch sich manchmal Gesamtwirkungs-

grade ergeben, die noch nicht einmal 10 % betragen. Niedrige Wirkungsgrade findet man aber erst recht bei den kohlebeheizten Öfen, die eigentlich schon längst aus den Betrieben verschwunden sein müßten, und auch bei den öl- und kohlenstaubbeheizten Öfen. Eine Ausnahme stellen, wie schon gesagt, die Elektroöfen dar, bei denen der Wandlungswirkungsgrad 100 % beträgt. Sie zeichnen sich außerdem durch verhältnismäßig niedrige Ofenverluste aus, so daß sich auch gute Gesamtwirkungsgrade ergeben.

Um die Frage nach den schlechten Wirkungsgraden, die besonders bei brennstoffbeheizten Industrieöfen häufig beobachtet werden, beantworten zu können, müssen die folgenden Betrachtungen angestellt werden:

Die ersten mit festen Brennstoffen (Holz, Kohlen) beheizten Öfen zum Schmelzen von Metallen oder zum Brennen von Tonwaren usw. waren meist sehr einfache, im wesentlichen aus mehr oder weniger feuerfesten Materialien aufgemauerte Einrichtungen.

Als man später dazu überging, an Stelle von festen stückigen Brennstoffen Gas, Öl oder Kohlenstaub zu verwenden, änderte man an der Bauweise der alten Öfen so gut wie nichts und ersetzte lediglich die Rostfeuerung durch nicht immer gut geeignete Brenner. Die Öfen wurden in der Regel von den Werksmaurern gebaut, die die Eigenart der neuen Brennstoffe nicht kannten und demzufolge beim Bau der Öfen auch nicht berücksichtigten. Das gleiche gilt für die Ofenbedienung, die mit der Rostfeuerung wohl gut vertraut war, sich aber an die Brennerfeuerung nicht gewöhnen konnte oder wollte.

Die mit Gas, Öl oder Kohlenstaub beheizten Industrieöfen gehen also in ihrer Entwicklung auf die zum Teil sehr primitiven kohlebeheizten Öfen zurück. Der neue Ofen wurde nach dem Vorbild des alten gebaut, und die strömungs- und wärmetechnischen Besonderheiten der gasförmigen, flüssigen oder staubförmigen Brennstoffe wurden und werden auch heute noch nicht berücksichtigt. Der neue Ofen wurde wie der alte gar nicht oder schlecht isoliert. Die Abgaswärme wird nicht oder ungenügend ausgenutzt. Es wird nicht immer das richtige Brennersystem ausgewählt, und die Brenner werden oft falsch eingebaut. Was die Verwendung von Meß- und Regelinstrumenten betrifft, so fehlen dieselben meist ganz, und wenn sie vorhanden sind, dann funktionieren sie oft nicht richtig oder überhaupt nicht. Dazu kommt noch, daß der Arbeitsraum der Öfen häufig unzweckmäßig und oft zu groß ausgebildet ist, und daß für einen bestimmten Wärmprozeß mitunter eine ungeeignete Konstruktion verwendet wird.

Auch hinsichtlich der Bedienung der Öfen bleibt oft sehr viel zu wünschen übrig. Es kann in vielen Betrieben immer wieder beobachtet werden, daß die Öfen nicht pfleglich genug behandelt werden. Die Ofentüren, die selten richtig konstruiert sind und demzufolge eine große Wärmeverlustquelle darstellen, werden in den meisten Fällen nicht sorgfältig genug geschlossen. Die Verbrennung wird vor allem bei Brennerfeuerungen sehr oft falsch eingestellt. Die Abgasschieber werden in den Stillstandszeiten schlecht oder nicht geschlossen. Und so könnten noch einige Beispiele genannt werden, die uns zeigen würden, daß — von Ausnahmen natürlich abgesehen — die Forderung nach wirtschaftlichster

Ausnutzung der Brennstoffe in Industrieöfen tatsächlich noch viel zu wenig beachtet wird.

Etwas günstiger liegen die Verhältnisse bei den elektrischen Industrieöfen. Die besondere Art der Energiezufuhr bedingte einen teilweise völlig neuen Aufbau des Ofens, der mit den brennstoffbeheizten Öfen kaum noch etwas gemeinsam hat. Die teuere Energie, deren Einheit, die Kilowattstunde, nur 860 kcal enthält, verlangte von vornherein äußerste Wirtschaftlichkeit, Vermeidung aller vermeidbaren Verluste, hochwertige Isolierung, beste Wand- und Türkonstruktionen usw. Um elektrische Energie in Wärme umzuwandeln, genügt die Betätigung eines Schalters oder der Druck auf einen Knopf, und die Wandlung geht dann auf Grund der gegebenen Spannungs- und Widerstandsverhältnisse eindeutig nach physikalischen Gesetzen vor sich, wobei aus einer Kilowattstunde immer und überall 860 kcal in Form von Wärmeenergie gewonnen werden.

Die Vernachlässigung eines so bedeutenden Produktionsmittels, wie es der brennstoffbeheizte Industrieofen ohne Zweifel darstellt, muß natürlich ihre Ursache haben. Sie liegt nach meiner Ansicht in einer Lücke der wissenschaftlichen Behandlung. Zunächst muß man feststellen, daß an unseren Hoch- und Fachschulen erst in der letzten Zeit energiewirtschaftliche Vorlesungen gehalten werden. Dabei wird meines Erachtens das Schwergewicht zu stark auf die Elektrizitätswirtschaft gelegt, ja man identifiziert bisweilen sogar die Elektrizitätswirtschaft mit der Energiewirtschaft und glaubt, darunter nur die Elektrizitätsversorgung und den Elektromaschinenbau verstehen zu müssen. Die außerhalb der Elektrizitätswirtschaft liegenden energiewirtschaftlichen Probleme kommen dabei viel zu kurz. So findet man Vorlesungen und Übungen, die sich mit der wirtschaftlichen Umwandlung von Brennstoffen in Wärmeenergie zum Zwecke der Durchführung von Fertigungsprozessen in den oben angeführten Industriezweigen beschäftigen, nur vereinzelt, und solche über die Grundlagen des Industrieofenbaues und -betriebes so gut wie gar nicht. Im technischen Schrifttum nehmen Fragen der Elektrotechnik, des Maschinenbaues, der Kohleveredlung usw. einen breiten Raum ein. Wissenschaftliche Beiträge über den Bau und Betrieb von Industrieöfen, insbesondere brennstoffbeheizten, sind dagegen sehr rar. Und das ist wieder darauf zurückzuführen, daß es an Fachkräften auf diesem Gebiete mangelt.

Bei der Ausbildung von Ingenieuren wird beispielsweise dem allgemeinen Maschinenbau mit Recht große Bedeutung beigemessen. Die gleiche Bedeutung kommt aber auch dem allgemeinen Industrieofenbau zu; denn die Stellung, die die Maschine in der Kraftwirtschaft, d. h. bei mechanischen Umwandlungsvorgängen, einnimmt, nimmt der Industrieofen in der Wärmewirtschaft, d. h. bei thermischen Umwandlungsvorgängen, ein. Vorlesungen über allgemeinen Maschinenbau findet man wohl an allen technischen Hoch- und Fachschulen, und für den Spezialmaschinenbau gibt es sogar eigene Fakultäten bzw. Fachrichtungen. Anders ist es beim Ofenbau. Wenn auch, vor allem im Hüttenwesen und in der chemischen Technik, für den Ofen, sofern er eine hervorragende Stellung bei der Durchführung von Fertigungsprozessen einnimmt, wie z. B. der Hochofen,

spezielle Vorlesungen und Übungen vorgesehen sind, so sucht man in den Studienplänen der Hoch- und Fachschulen vergebens einen Hinweis auf den allgemeinen Industrieofenbau. Ein besonderes Institut mit der Aufgabe, den angehenden Ingenieuren ausreichende Kenntnisse über die Grundlagen des Industrieofenbaues zu vermitteln und Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf diesem bisher stark vernachlässigten Gebiet der Technik zu leisten, gibt es in der Deutschen Demokratischen Republik noch nicht.

Andere Länder sind uns in dieser Beziehung weit voraus insofern, als dort nicht nur an verschiedenen Hochschulen besondere Institute für Industrieofenbau bestehen, sondern auch große Ofenbaufirmen eigene Forschungslaboratorien unterhalten. Wir, die wir uns bemühen, die Energieproduktion zu steigern und gleichzeitig Energie einzusparen, die wir bestrebt sind, den Wirkungsgrad der Energieveredlungsanlagen noch weiter zu erhöhen, wir sollten daraus eine Lehre ziehen und dem Industrieofen die ihm gebührende wissenschaftliche Beachtung schenken.

Wir müssen unsere künftigen Ingenieure schon bei der Ausbildung darauf hinweisen, daß der Industrieofen eine ebenso wichtige Einrichtung ist wie die übrigen Apparate und Maschinen der gütererzeugenden Industrie. Durch Vorlesungen und Übungen muß den Studierenden gezeigt werden, daß im Industrieofenbau die gleichen physikalischen Gesetze gelten wie im Maschinenbau, und daß die Industrieöfen mit derselben mathematischen Genauigkeit berechnet und ebenso pfleglich behandelt werden müssen wie die anderen Produktionsmittel.

Es ist eine weitere Forderung zur Lösung des Kohle- und Energieprogrammes, den Industrieofen viel mehr als bisher in den Bereich der Forschung einzubeziehen. Die Zahlen über den hohen Energiebedarf und die niedrigen Wirkungsgrade der Industrieöfen weisen auf das Ziel der Forschung hin. Im Vordergrund steht die Steigerung der wirtschaftlichen Ausnutzung der Brennstoffe und die Verbesserung der Wärmeübertragung, die wiederum zur Erhöhung der Qualität und Quantität der Erzeugnisse führt.

Es ist hier nicht der Ort, einen Forschungsplan aufzustellen. Es warten aber viele Versuche auf ihre Durchführung, deren Ergebnisse bei der Gestaltung von Wärmvorgängen nutzbringend angewendet werden könnten. Um sich in dem wissenschaftlich noch wenig aufgeschlossenen Gebiet der Industrieöfen zurechtfinden zu können, ist es nötig, die große Mannigfaltigkeit der Öfen beschreibend zu erfassen und übersichtlich geordnet in einem System darzustellen. Als Beitrag zur Lösung dieser wichtigen Aufgabe habe ich deshalb aus der fast unübersehbaren Zahl der verschiedenen Öfen eine Gruppe herausgegriffen, nämlich die Röstöfen, und, nachdem die wichtigsten Röstvorgänge kurz beschrieben worden sind, den Versuch unternommen, sämtliche Röstapparate zu klassifizieren.

Wenn diese Arbeit auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, so soll sie doch zeigen, welche grundlegenden Untersuchungen unbedingt notwendig sind, um sich zunächst ein Bild über die Entwicklung und die Verschiedenartigkeit der Ofentypen eines bestimmten Fertigungsprozesses machen zu können. Solche Untersuchungen stellen nach meinem Dafürhalten die Grundlage für weitere Forschungsarbeiten dar.

Röstprozesse und Röstapparate

(Ein Beitrag zur Systematik der Industrieöfen)

INHALT

EINLEITUNG

Die hüttenmännischen Verfahren zur Gewinnung von Metallen werden, abgesehen von einigen Sonderfällen, in wenigstens zwei scharf voneinander getrennten Arbeitsstufen durchgeführt:

1. Reduktion der Erze zu Rohmetallen und
2. Raffination dieser Rohmetalle.

Unter der Reduktion versteht man in der Pyrometallurgie die Abscheidung der Metalle aus ihren wichtigsten Verbindungen, den Oxyden, auf thermischem Wege dadurch, daß die Verbindungen durch Zufuhr von Wärmeenergie gesprengt werden. Bei der thermischen Reduktion ist nun wieder zu unterscheiden zwischen

1. der rein thermischen Spaltung der Verbindungen in ihre Komponenten (Dissoziation)

$$2\,MeO = 2\,Me + O_2 \quad \text{und}$$

2. der Verdrängung des zu gewinnenden Metalls aus seiner Verbindung durch ein anderes Element mit höherer Affinität

$$MeO + C = Me + CO \quad \text{und}$$
$$MeO + CO = Me + CO_2 .$$

Wenn auch theoretisch alle Metalloxyde durch thermische Dissoziation zerlegt werden können, so muß doch praktisch der Weg der Verdrängung durch das gebräuchlichste Reduktionsmittel, den Kohlenstoff bzw. das Kohlenmonoxyd, beschritten werden.

Durch Dissoziation können bei genügend hoher Temperatur jedoch auch die Sulfide in ihre Elemente zerlegt werden, und ebenso ist es auch möglich, die Reduktion der Metalle aus den Sulfiden durch Zugabe eines anderen Elementes vorzunehmen. Das einfache Verfahren der Reduktion durch thermische Dissoziation ist aber, wie bei den Oxyden, nur durchführbar für die edlen Metalle, etwa bis zum Quecksilber, und die Reduktion der Sulfide durch Verdrängung des zu gewinnenden Metalls durch ein anderes Element, ein Verfahren, das als Niederschlagsarbeit oder präzipitierendes Schmelzen bekannt ist (z. B. $PbS + Fe = FeS + Pb$), geschieht nur in den seltensten Fällen.

Da die meisten Erze aber nicht in oxydischer Form vorliegen oder, wenn dies der Fall ist, häufig durch andere Metallverbindungen verunreinigt sind, macht es sich notwendig, die Erze vor dem Reduktionsprozeß in Oxyde umzuwandeln. Dieser Oxydationsprozeß ist eines der wichtigsten Verfahren der NE-Metallurgie und die Voraussetzung für einen ordnungsgemäßen Verlauf der Reduktion. Er wird im allgemeinen als „Rösten" bezeichnet und unterscheidet sich von den nachfolgenden Prozessen der Reduktion und Raffination dadurch, daß die Wärmebehandlung der Erze bei Temperaturen stattfindet, die ohne Einfluß auf den Aggregatzustand derselben sind.

Wir finden im Hüttenwesen neben dem Begriff „Rösten" verschiedene Bezeichnungen für Verfahren der Veränderung von festen Stoffen physikalischer

oder/und chemischer Art, die ohne Änderung des Aggregatzustandes des Ofengutes vor sich gehen, aber trotzdem erkennen lassen, daß es sich um thermische Prozesse handelt. Es sind da vor allem zu nennen die Begriffe „Brennen", „Glühen", „Tempern" usw.

Leider besteht aber, auch bei Fachleuten, keine Einheitlichkeit in der Anwendung dieser Begriffe. So wird z. B. der Begriff „Glühen", ein Wärmebehandlungsverfahren für Stahl, nach DIN 17 014 wie folgt definiert: „Erwärmen eines Werkstückes auf eine bestimmte Temperatur und Halten auf dieser mit nachfolgender, in der Regel langsamer Abkühlung." Und da man, je nach dem Zweck des Glühens und den hierfür anzuwendenden Erwärmungs- und Abkühlungsbedingungen, verschiedene Glühverfahren unterscheidet, so definiert man beispielsweise den Begriff „Weichglühen" als „Glühen bei einer Temperatur dicht unterhalb des unteren Umwandlungspunktes Ac_1 (mitunter auch über Ac_1) oder Pendeln um Ac_1 mit nachfolgendem langsamen Abkühlen zum Erzielen eines weichen Zustandes".

Der Begriff „Glühen" wird aber in der Praxis nicht selten auch für andere Erwärmungsvorgänge gebraucht, die mit den nach DIN 17 014 eindeutig definierten Glühbegriffen nicht das Geringste zu tun haben. So wendet man sehr häufig die Bezeichnung „Glühen" an, wenn das Wärmegut, ganz gleich, ob es sich um metallische oder nichtmetallische Körper handelt, lediglich die Erscheinung des Glühens, also ein durch Erhitzung bedingtes Leuchten, zeigt. Öfen für Erwärmungsvorgänge verschiedener Art, bei denen das Wärmgut zum Glühen kommt, ohne daß einer der begrifflich festgelegten Glühvorgänge beabsichtigt ist, werden deshalb fälschlicherweise ebenfalls als Glühöfen bezeichnet.

Ähnlich verhält es sich mit dem Begriff „Tempern". Nach DIN 17 014 versteht man darunter ein „Glühen von weißem Gußeisen zum Zementitzerfall bei einer Temperatur unterhalb des unteren Umwandlungspunktes Ac_1", das sich über eine verhältnismäßig lange Zeit von mehreren Tagen erstrecken kann. Der Begriff „Tempern" ist aber beispielsweise außerdem auch in der Glastechnik üblich. Er hat hier allerdings eine ganz andere Bedeutung, nämlich die der vorsichtigen Erwärmung der aus feuerfestem Material geformten Glashäfen oder anderer feuerfester Körper zum Zwecke der Vermeidung von Schäden, die u. a. durch die starke Volumenänderung des Cristobalits in seinem β-γ-Umwandlungspunkt hervorgerufen werden können.

In beiden Fällen wird durch den Begriff „Tempern" das langsame gleichmäßige Erwärmen von Gegenständen aus verschiedenen Stoffen auf ganz bestimmte Temperaturen verstanden, wobei allerdings der Zweck des „Temperns" nicht der gleiche ist. Da in beiden Fällen die Gegenstände aber auch in den glühenden Zustand versetzt werden, kann man natürlich auch von Glühvorgängen sprechen.

In der Hüttentechnik wird auch häufig der Begriff „Brennen" gebraucht, und SCHNABEL faßt in seiner „Allgemeinen Hüttenkunde" damit alle Verfahren der „Behandlung fester metallhaltiger Körper bzw. Metalle bei Temperaturen, welche ohne Einfluß auf den Aggregatzustand derselben bleiben" zusammen.

SCHNABEL macht damit den Begriff „Brennen" zu einem Sammel- oder Oberbegriff und stellt ihn mit den Begriffen „Schmelzen" und „Verdampfen" auf gleiche Stufe. Gegen diese Methode der Einteilung der pyrometallurgischen Prozesse wäre an sich nichts einzuwenden, wenn nicht für bestimmte Reaktionen im festen Zustand außerdem der Begriff „Brennen" angewendet würde, wie z. B. für die Dissoziation von Metallkarbonaten oder für die Reduktion von Metallsulfaten usw., womit er gleichzeitig als Unterbegriff auftritt.

Nach DIN 2330 ist festgelegt worden, daß ein Begriff niemals für sich allein steht, sondern immer in einem systematischen Zusammenhang mit anderen über- oder untergeordneten Begriffen. Auf diese Weise entsteht ein Begriffssystem, das sich aus senkrechten Leitern und waagerechten Reihen zusammensetzt. Eine Begriffsbestimmung geht demnach von einem auf der höchsten Stufe einer Begriffsleiter stehenden Ober-(Gattungs-)Begriff aus und nennt die einschränkenden Merkmale, die den gemeinten Begriff kennzeichnen und von anderen Begriffen der gleichen Reihe (Art) unterscheiden. Es ist deshalb unzweckmäßig und irreführend, verschiedene Begriffe in einem System mit dem gleichen Wort zu bezeichnen.

Bei dem Begriff „Brennen" kommt aber noch eine weitere Schwierigkeit hinzu. Er wird nämlich nicht nur in der Metallurgie als Ober- und auch als Unterbegriff verwendet, sondern er findet sich auch in der chemischen und keramischen Industrie sowie in der Industrie der Mörtelbindemittel. Hier handelt es sich zwar auch um Vorgänge, die sich fast ausschließlich im festen Zustand abspielen, die physikalischen und chemischen Veränderungen sind dabei jedoch so verschiedenartig, daß hierfür entweder besondere Bezeichnungen gewählt werden müssen oder der Begriffsinhalt durch Hinzufügen einschränkender Merkmale vergrößert wird.

Für metallurgische Prozesse sollte man den Begriff „Brennen" überhaupt nicht anwenden, sondern ausschließlich den im Hüttenwesen üblichen Begriff „Rösten", den PLATTNER wie folgt definiert hat: „Jedwede Wärmebehandlung hüttenmännischer fester Vorstoffe (Erze und Aufbereitungsprodukte) zum Zwecke der Vorbereitung für die eigentliche metallurgische Verarbeitung, wobei die zumeist oxydierend behandelten Vormaterialien in jedem Falle chemische Veränderungen, fast immer aber auch physikalische Veränderungen, erleiden." Alle anderen Verfahren der Wärmebehandlung von Metallen im festen Zustand, die SCHNABEL zum Teil auch zu den Brennvorgängen rechnet, und die in DIN 17 014 eindeutig definiert sind, haben mit dem in der technischen Terminologie gebräuchlichen Begriff „Brennen" nichts zu tun. Der Begriff „Brennen" sollte nur angewendet werden bei der Wärmebehandlung fester nichtmetallhaltiger Stoffe bzw. fester metallhaltiger Stoffe, deren Verarbeitung nicht ihres Metallgehaltes wegen vorgenommen wird.

Es würde im Rahmen dieser Arbeit zu weit führen, diese interessanten Probleme weiter zu verfolgen, obwohl es nach meinem Dafürhalten dringend notwendig wäre, hier einmal klare Verhältnisse zu schaffen. Daß diese Forderung nicht unberechtigt ist, möge an dem folgenden Beispiel gezeigt werden: In einem

auf der Leipziger Frühjahrsmesse 1956 ausgelegten Prospekt einer volkseigenen Maschinenfabrik der Deutschen Demokratischen Republik wurden „Etagenöfen (Glühöfen) zum Brennen von Schwefelkies" angeboten. In diesem kurzen Satz erscheinen die beiden Begriffe „Glühen" und „Brennen", während hier richtiger nur der Begriff „Rösten" angewendet werden müßte.

2 RÖSTPROZESSE

Nach diesen einleitenden Betrachtungen soll einiges Allgemeines über die Vorgänge bei der Röstung gesagt werden. Zunächst wollen wir in Anlehnung an die Definition PLATTNERS das Rösten im weitesten Sinne als eine pyrometallurgische Operation ansehen, bei der hüttenmännische feste Vorprodukte, das Röstgut (Erze, Konzentrate und sonstige der Metallgewinnung dienende Stoffe), gegebenenfalls unter Verwendung von Hilfsstoffen, den Röstmitteln (Oxydations- oder Chlorierungsmitteln), auf Temperaturen in der Regel unterhalb des Schmelzpunktes erwärmt werden, mit dem Ziele, diese Vorprodukte chemisch und physikalisch derart zu verändern, daß sie für die nachfolgende metallurgische Verarbeitung besser geeignet sind. Nach LANGE hat das Rösten im engeren Sinne die Zerlegung sulfidischer, arsenidischer oder antimonidischer Stoffe in eine feste,, aus Metalloxyden bestehende und in eine gasförmige, flüchtige, den Schwefel, das Arsen oder das Antimon in geeigneter Oxydform enthaltende Komponente durch den Luftsauerstoff zur Aufgabe.

Stellen wir diese beiden Definitionen vergleichend gegenüber, und sehen wir von einigen Sonderfällen ab, so haben wir es bei den meisten Röstvorgängen mit einem exothermen Oxydationsprozeß zu tun, der an der Berührungsfläche des in fester Form vorliegenden sulfidischen Röstgutes und des sauerstoffhaltigen gasförmigen Röstmittels Luft stattfindet.

Wir können solche Röstvorgänge also durchaus mit den Vorgängen der Verbrennung von festen Brennstoffen vergleichen. Und wie für die Verbrennung von festen stückigen Brennstoffen andere Feuerungseinrichtungen benötigt werden als für die von staubförmigen Brennstoffen, so bestehen auch wesentliche Unterschiede zwischen den Apparaten zur Röstung von stückigen und feinkörnigen Erzen. Es wird deshalb bei der Einteilung der Röstöfen auch häufig davon Gebrauch gemacht, dieselben nach diesem Gesichtspunkt, d. h., nach der physikalischen Beschaffenheit bzw. nach der Korngröße des Röstgutes vor der Röstung, zu unterscheiden.

Bei der Verbrennung von festen Brennstoffen und auch bei der oxydierenden Röstung handelt es sich also um eine Oberflächenreaktion zwischen einem festen und einem gasförmigen Stoff. Je größer nun die relative Oberfläche des Röstgutes, d. h., je feiner das Korn ist, um so vollständiger und rascher geht im allgemeinen die Reaktion vor sich. Je feiner das Korn ist, um so niedriger kann auch der Schwefelgehalt des Röstgutes sein, um so tiefer liegen auch die Entzündungstemperaturen der Sulfide, und um so eher besteht die Möglichkeit, gegebenenfalls ohne zusätzlichen Brennstoff auskommen. Es ist jedoch darauf zu achten, daß während der Röstung jeder unnötige Wärmeverlust vermieden und für un-

gehinderten Luftzutritt gesorgt wird. Die letzte Forderung wird erreicht durch freies oder behindertes Herabfallenlassen des Röstgutes entgegen einem Strom von Oxydationsluft, durch ständiges Durchrühren (Krählen) des in flacher Schicht ausgebreiteten Röstgutes oder schließlich dadurch, daß die Röstluft durch das Röstgut gepreßt oder gesaugt wird. Diese verschiedenen Möglichkeiten der Heranführung der Luft an feinkörniges Röstgut werden häufig bei der Einteilung der Röstapparate verwendet. Daß der Zerkleinerung natürlich auch technische und wirtschaftliche Grenzen gesetzt sind, soll nur der Vollständigkeit halber mit erwähnt werden.

Von besonderer Bedeutung für die Weiterverarbeitung des Röstgutes ist auch die physikalische Beschaffenheit desselben nach der Röstung. Wie der Ausgangszustand des Röstgutes grob- oder feinkörnig sein kann, so besteht auch die Möglichkeit, die Röstung so zu führen, daß der Endzustand des Röstgutes, des sogenannten Abbrandes, pulverförmig oder grobstückig anfällt. Das Stückigmachen (Agglomerieren) durch Sintern in Verbindung mit dem Rösten, die sogenannte Sinterröstung, spielt in der Hüttentechnik für das Verschmelzen des Röstgutes im Schachtofen eine große Rolle. Das Verfahren der Sinterröstung besteht im wesentlichen darin, die Röstluft durch eine zur Entzündung gebrachte Erzschicht zu pressen oder zu saugen, wobei neben der Verbrennung des Schwefels gleichzeitig ein Zusammensintern der Masse stattfindet, d. h., die einzelnen Körner des pulverförmigen Röstgutes beginnen an der Oberfläche zu schmelzen und schweißen dabei zu einem porösen Agglomerat zusammen. Im Gegensatz zur Sinterröstung steht die Pulver- oder Staubröstung, bei der der Abbrand die ursprüngliche feinkörnige Form im wesentlichen beibehält. Die Röstverfahren können also sowohl nach der physikalischen Beschaffenheit des Röstgutes vor als auch nach der Röstung eingeteilt werden.

Eine sehr häufig benutzte Einteilungsweise der Röstprozesse ist die nach der chemischen Zusammensetzung des Röstgutes bzw. nach den zur Anwendung kommenden Röstmitteln.

Bei sulfidischen Erzen dient die atmosphärische Luft bzw. der Sauerstoff derselben als Röstmittel, so daß wir es in diesem Falle mit einer oxydierenden Röstung zu tun haben. In der Hauptsache handelt es sich dabei um folgenden Vorgang:

$$2\,MeS + 3\,O_2 = 2\,MeO + 2\,SO_2\,.$$

Wenn auch die Reaktionen der verschiedenen Verbindungen der Metalle mit Schwefel, Arsen oder Antimon nicht immer in der oben angegebenen Weise verlaufen, so ist doch der Hauptzweck der oxydierenden Röstung, den Schwefel, das Arsen oder das Antimon in die Form von flüchtigen Oxyden überzuführen und ein hauptsächlich aus Metalloxyden bestehendes Röstgut zu gewinnen. Einige Edelmetallsulfide verlieren ihren Schwefel ebenfalls in Gestalt von Schwefeldioxyd, während sich die betreffenden Metalle rein abscheiden:

$$MeS + O_2 = Me + SO_2\,.$$

Wird nicht für eine schnelle Trennung der Röstprodukte Sorge getragen und hat das gebildete Schwefeldioxyd die Möglichkeit, mit freiem Sauerstoff Schwefeltrioxyd zu bilden, so kommt es zu der oft unerwünschten Sulfatierung:

$$2\,SO_2 + O_2 = 2\,SO_3$$
$$MeO + SO_3 \rightleftarrows MeSO_4\,.$$

In manchen Fällen, beispielsweise in der Naßmetallurgie, ist jedoch die Bildung eines wasserlöslichen Metallsulfates erwünscht, und die Röstung wird dann bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen und bei längerem Verweilen der Röstgase im Ofen durchgeführt. Obwohl es sich hierbei im Grunde genommen auch um eine Oxydation handelt, spricht man doch bei diesem Vorgang von sulfatierendem Rösten.

Im Anschluß hieran soll noch auf die chlorierende Röstung hingewiesen werden, die im Erhitzen eines Gemisches aus schwefelhaltigem Röstgut und einem Chlorierungsmittel, meist Steinsalz (NaCl), unter Luftzufuhr besteht. Bei der chlorierenden Röstung, die stets mit einer oxydierenden bzw. sulfatierenden Röstung verbunden ist, werden die Schwefelmetalle in Oxyde und Sulfate verwandelt, und die Sulfate setzen sich mit dem Chlorierungsmittel in Chlormetalle und Natriumsulfat um. Unter den verschiedenen stattfindenden Reaktionen verläuft die wichtigste nach der Gleichung:

$$MeSO_4 + 2\,NaCl = MeCl_2 + Na_2SO_4\,.$$

Neben diesen bedeutendsten Röstverfahren, die sich schließlich alle des Sauerstoffes der Luft als Röstmittel bedienen, ist noch die reduzierende Röstung zu nennen, die hauptsächlich mit den Reduktionsmitteln Kohlenstoff oder Kohlenmonoxyd durchgeführt wird. Die reduzierende Röstung von Alkali- und Erdalkalimetallsalzen mit Kohlenstoff wird hauptsächlich in der chemischen Technik und weniger zur Gewinnung von Metallen angewandt.

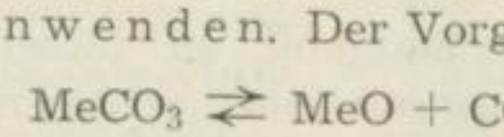
Auf einen für die Metallurgie wichtigen reduzierenden Röstprozeß, der die Umwandlung paramagnetischer Eisenerze in ferromagnetische zum Ziele hat, soll aber kurz hingewiesen werden. Dieses mit magnetisierender Röstung bezeichnete Verfahren wird angewendet, um die schwach magnetischen oxydischen Eisenerze wie Roteisenstein und Brauneisenstein in das stark magnetische künstliche Magnetit oder die γ-Modifikation des Hämatits umzuwandeln. Als Reduktionsmittel kommen vor allen Kohlenmonoxyd und Wasserstoff in Frage, die im Generatorgas und Wassergas in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen. Die reduzierende Röstung des natürlichen α-Hämatits in den künstlichen Magnetit mit Kohlenmonoxyd als Röstmittel spielt sich wie folgt ab:

$$3\,Fe_2O_3 + CO = 2\,Fe_3O_4 + CO_2\,.$$

Bei karbonatischen Eisenerzen genügt die Röstung mit neutraler Flamme, und das freiwerdende Kohlendioxyd wird nach genügender Zwischenkühlung als Kühlmittel für das heiße Röstgut benutzt, wobei zwischen dem Eisenoxydul und dem Kohlendioxyd folgende Wechselreaktion eintritt:

$$3\,FeO + CO_2 = Fe_3O_4 + CO\,.$$

Bei dieser Gelegenheit sind wir bei dem letzten bedeutenden Röstverfahren angelangt, das insbesondere bei Karbonaten zur Austreibung des Kohlendioxydes bzw. des Kristallwassers angewendet wird. Dieser Prozeß spielt hauptsächlich in der chemischen Technik, aber auch in der Metallurgie, eine große Rolle und wird in der Regel kurz als Brennen oder Kalzinieren bezeichnet. Sofern es sich darum handelt, karbonatische Erze zum Zwecke der Metallgewinnung durch einfaches Erhitzen zu dissoziieren, wollen wir hierfür die Bezeichnung kalzinierendes Rösten anwenden. Der Vorgang verläuft wie folgt:



$$MeCO_3 \rightleftarrows MeO + CO_2 .$$

3 RÖSTAPPARATE

Die brennstoffbeheizten metallurgischen Öfen werden schon seit langem und auch heute noch in die drei Grundformen

Schachtöfen Flammöfen Gefäßöfen

eingeteilt. Die wesentlichen Merkmale dieser Ofentypen lassen sich wie folgt charakterisieren:

Bei den Schachtöfen befindet sich der Brennstoff in der Regel in unmittelbarer Berührung mit dem zu erwärmenden Gut, wobei der Brennstoff meist nicht nur zur Wärmeerzeugung dient, sondern häufig auch die Funktionen eines Reduktionsmittels auszuüben hat. In konstruktiver Hinsicht zeichnen sich die Schachtöfen durch eine verhältnismäßig lange senkrechte Hauptachse aus. Am oberen Ende des Ofens wird das Material ein- und am unteren Ende ausgetragen, während die gasförmigen Stoffe, d. h. die Verbrennungsluft bzw. die Abgase, in umgekehrter Richtung – also der Beschickung entgegen – strömen. Nach der Art der Luftzufuhr, ob durch natürlichen Zug oder durch Gebläse, unterscheidet man Zugschacht- oder Gebläseschachtöfen.

Bei den Flammöfen kommt das Wärmgut nicht mit dem Brennstoff selbst, sondern nur mit den Flammen, d. h. mit den Verbrennungsgasen, in Berührung. Die Flammöfen sind also, im Gegensatz zu den Schachtöfen, mit einer Feuerung für feste stückige, staubförmige, flüssige oder gasförmige Brennstoffe ausgerüstet. Schließt sich an die Feuerung ein Schachtofen an, so spricht man von Schachtflammöfen, steht die Feuerung jedoch – wie das am häufigsten der Fall ist – in Verbindung mit einem herdförmigen Ofenraum, dessen größte Ausdehnung in der Horizontalen liegt, so hat man es mit einem Herdflammofen zu tun. An den eigentlichen Ofenraum des Herdflammofens schließt sich die Einrichtung zur Abführung und gegebenenfalls weiteren Ausnutzung der Verbrennungsgase (Abgase) an. Die genannten drei Konstruktionselemente können fest miteinander verbunden ein einheitliches Aggregat darstellen. Der zwischen der feststehenden Feuerung und dem feststehenden Abgaskanal befindliche Ofenraum kann aber auch kontinuierlich oder periodisch beweglich sein, und schließlich besteht auch die Möglichkeit, daß nur Teile des Ofenraumes während des Betriebes in Bewegung sind.

Bei den Gefäßöfen befindet sich das Wärmgut in besonderen Gefäßen bzw. Behältern (Muffeln, Retorten, Tiegeln usw.) und kommt demzufolge weder mit dem Brennstoff noch mit dessen Verbrennungsgasen (Flammen) in direkte Berührung. Es handelt sich also bei diesen Öfen um solche mit indirekter bzw. mittelbarer Beheizung. Feuerungstechnisch gesehen stellen diese Gefäßöfen eigentlich eine Untergruppe der Flammöfen dar, da sie fast ausschließlich nach dem Flammofenprinzip beheizt werden.

Es ist heute nicht meine Aufgabe, an dieser weitverbreiteten Einteilungsweise Kritik zu üben; das soll einer späteren Arbeit vorbehalten bleiben. Es sollen vielmehr diese Begriffe zunächst beibehalten und auch die Röstöfen nach diesem Merkmal eingeteilt werden. Dabei sind jedoch noch zwei wesentliche Gesichtspunkte zu beachten: die physikalische Beschaffenheit des Röstgutes vor und nach der Röstung. Es ist leicht einzusehen, daß bei Verwendung der gleichen Ofentypen die Ausbildung des Arbeitsraumes des Ofens verschieden sein muß, je nachdem, ob stückiges oder feinkörniges Material verarbeitet wird, und die Verfahren werden sich wesentlich voneinander unterscheiden, je nachdem, ob – ausgehend von feinkörnigem Material – die physikalische Beschaffenheit des Röstgutes unverändert bleiben soll, oder ob für die Weiterverarbeitung stückiges, zusammengesintertes Gut erwünscht ist.

Bei der Einteilung und Beschreibung der Röstöfen soll deshalb die physikalische Beschaffenheit des Ausgangsmaterials, ob stückig oder feinkörnig, als erstes Unterscheidungsmerkmal gewählt werden.[1]

3.1 RÖSTÖFEN FÜR STÜCKIGES AUSGANGSMATERIAL

3.11 Haufenröstung

Das älteste und primitivste Verfahren zum Rösten stückiger Erze, das heute nicht mehr angewendet wird, ist die sogenannte Haufenröstung, die mit der Holzkohlengewinnung in Meilern verglichen werden kann. Der Haufen hat meist die Form einer vierseitigen abgestumpften Pyramide, deren Höhe sich nach dem Schwefelgehalt und der Korngröße des Erzes richtet. Die Sohle des Haufens wird aus Ton oder Lehm oder aus einem Gemisch von Ton oder Lehm mit Kokspulver oder Holzkohlenpulver (Gestübbe) hergestellt. Darauf errichtet man den Haufen aus grobkörnigem Erz und deckt ihn mit feinkörnigem Material (Schliech) ab. Bei niedrigem Schwefelgehalt der Erze muß auf der Sohle ein Rostbett aus Scheitholz ausgebreitet und im Haufen selbst Abfallholz lagenweise verteilt werden. Für den Zutritt von Luft müssen im Rostbett horizontale Kanäle offengehalten und zur Abführung der Röstgase senkrechte Kanäle im Haufen ausgespart werden. Die Nachteile dieses Röstverfahrens sind offensichtlich.

Eine Weiterentwicklung der Haufen stellen die Stadel (engl.: stall = Stall, Stand, Box, Verschlag) dar. Es sind ganz oder teilweise von Mauerwerk um-

1 Vgl. hierzu Bild 44, Faltblatt zwischen den Seiten 50/51.

gebene, oben offene Räume von rechteckigem Grundriß. Meist sind mehrere Stadel nebeneinander an einer gemeinsamen Rückwand angeordnet (Bild 1). Die provisorische Vorderwand ist mit Öffnungen für den Zutritt von Luft versehen. Die horizontale oder geneigte Sohle wird mit oder ohne Rostbett ausgeführt. Als weitere Verbesserung kennen wir den Wellnerschen Stadel (Bild 2). Er besteht aus zwei gegeneinander geneigten Sohlen ohne Rostbett und besitzt an einer Schmalseite vier Feuerungen zum Anheizen.

Die Röstung in Haufen und Stadeln ist sehr unwirtschaftlich, da die wertvollen Röstgase nicht nutzbar gemacht werden können und für das Leben der Umgebung schädlich sind. Außerdem ist die Leistung gering, die Abröstung unvollkommen und der Prozeß schwer kontrollierbar.

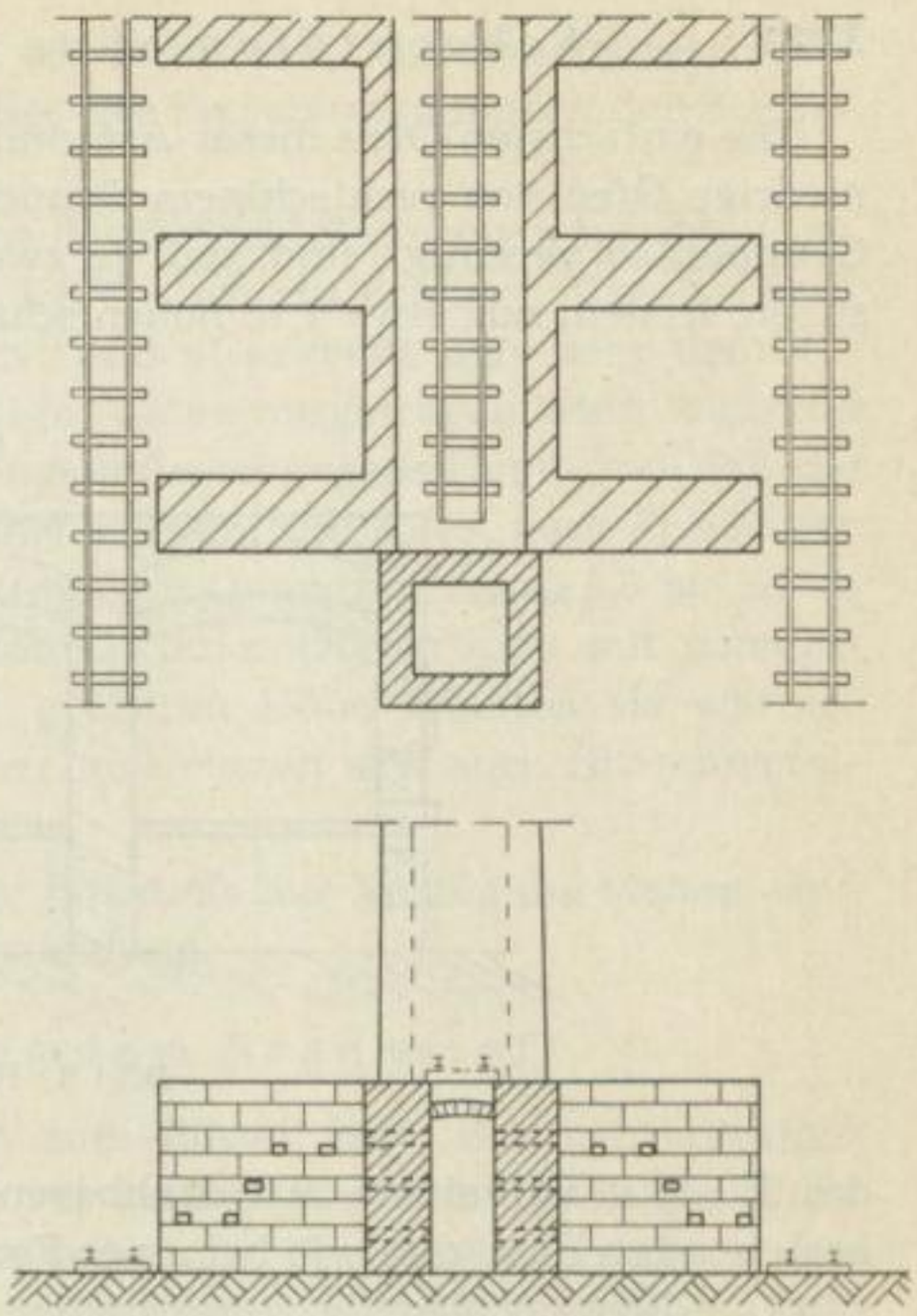


Bild 1. Stadel

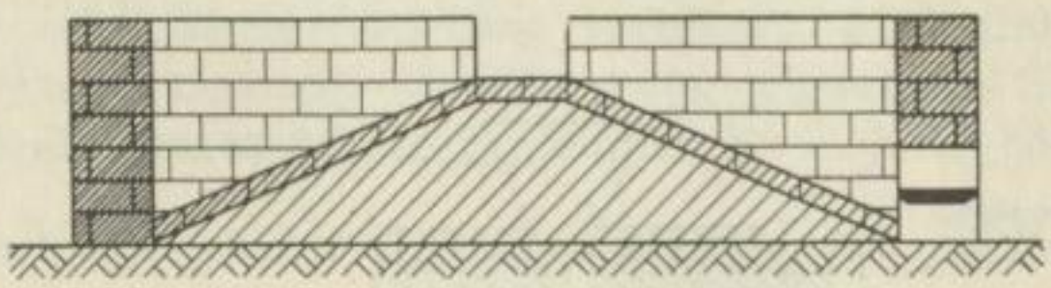


Bild 2. Wellnerscher Stadel

3.12 Schachtofenröstung

Die Entwicklung vom Haufen über den teilweise von Mauerwerk umgebenen Stadel führte zu den eigentlichen Öfen, bei denen der Arbeitsraum vollständig von feuerfestem Mauerwerk umschlossen ist. Diese zum Rösten von Stückerz benutzten Einrichtungen gehören in die Gruppe der Schachtöfen. Man unterscheidet Röst-Schachtöfen, die ohne fremden Brennstoff arbeiten, also für das oxydierende Rösten sulfidischer Erze mit einem für die Selbstgängigkeit genügend hohen Schwefelgehalt in Frage kommen, und Röst-Schachtöfen, die mit fremden Brennstoffen arbeiten und hauptsächlich für das kalzinierende Rösten karbonatischer Erze angewendet werden.

3.121 *Schachtöfen ohne fremden Brennstoff*

Die einfachsten Öfen dieser Art sind die Kiesbrenner (Bild 3). Das sind niedrige Öfen von rechteckigem Grundriß, die in größerer Anzahl (8 bis 24) zu Gruppen so vereinigt sind, daß je zwei Öfen eine gemeinsame Rückwand besitzen. In dem nur etwa 1 m hohen schachtförmigen Arbeitsraum des Ofens ruht

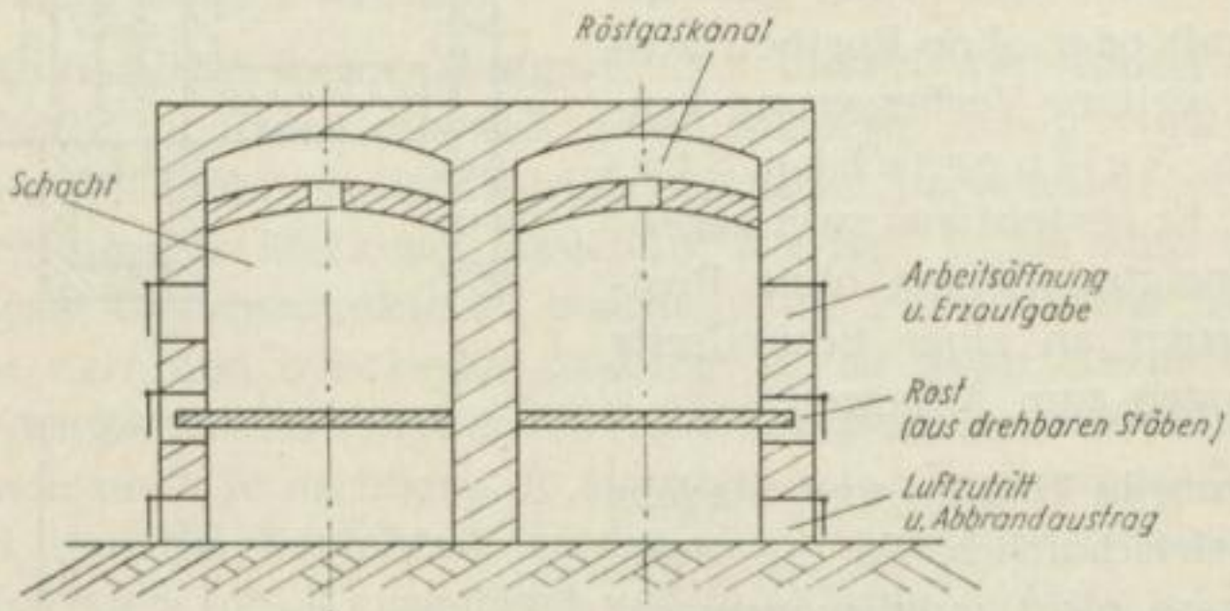


Bild 3. Kiesbrenner

das Röstgut auf einem aus drehbaren Stäben von quadratischem Querschnitt bestehenden Rost, der, wie bei einer Feuerung, der Röstluft Gelegenheit gibt, das stückige Röstgut allseitig zu umspülen. Die Kiesbrenner werden durch die über dem Rost befindlichen Arbeitstüren beschickt. Durch Drehen der Roststäbe wird das geröstete Erz in den darunter befindlichen Raum oder direkt in Wagen entleert. Durch die unter dem Rost befindlichen Öffnungen tritt die Röstluft ein,

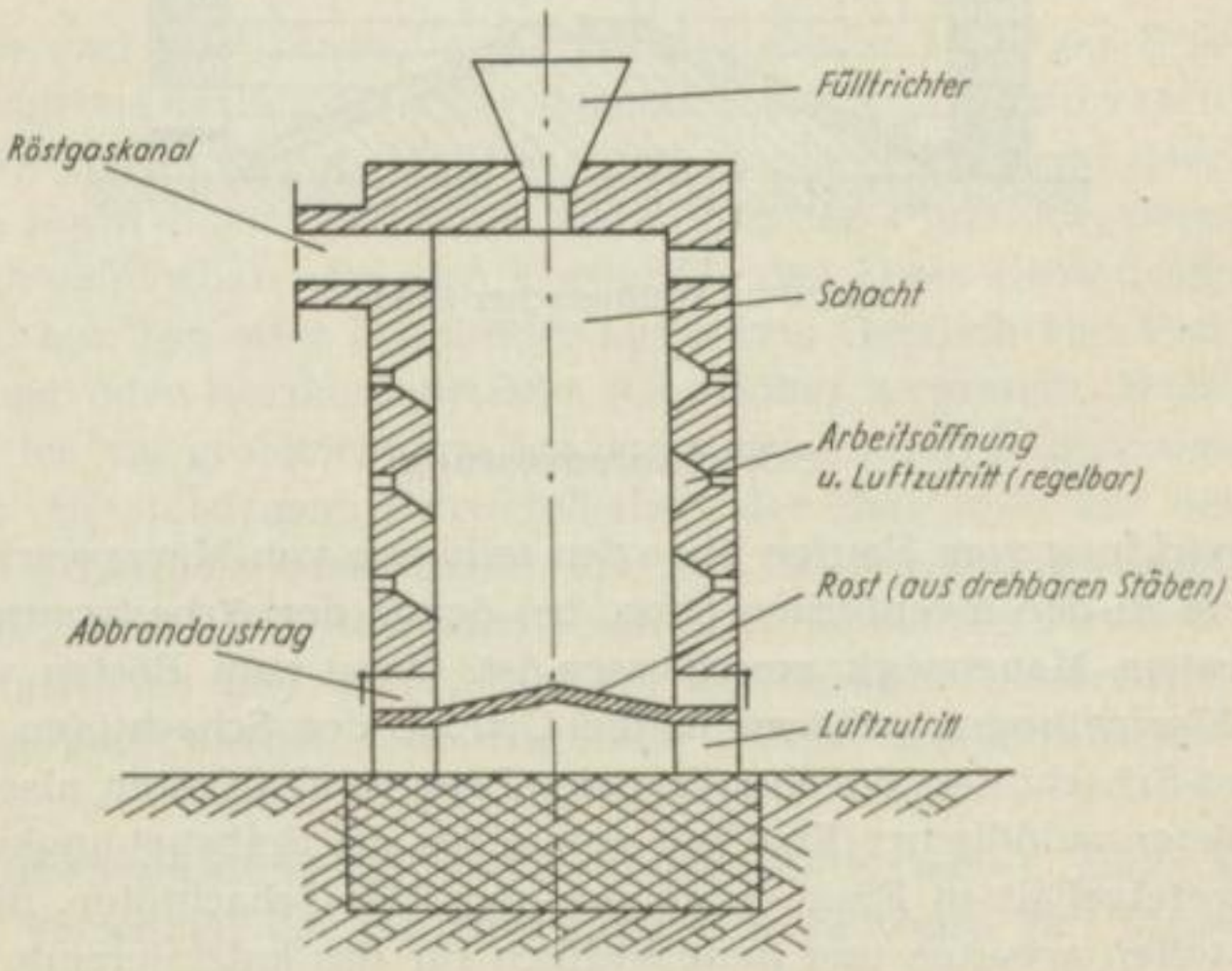


Bild 4. Kiln

während die Röstgase durch Öffnungen in der Decke der Schächte austreten und durch die darüber hinlaufenden Kanäle über die Flugstaubkammern der Schwefelsäurefabrik zugeführt werden.

Besser als bei den Kiesbrennern kommt das Schachtofenprinzip bei den kontinuierlich arbeitenden Kilns (engl.: Kiln = schachtförmiger Brenn- bzw. Röstofen) zum Ausdruck. Bei diesen Öfen (Bild 4) erkennt man sehr deutlich, daß das Erz oben aufgegeben und das Röstgut unten ausgetragen wird, während die Röstluft unten eintritt, der Beschickungssäule entgegenströmt, und daß die Röstgase oben durch den Gaskanal abgeführt werden. Die Kilns, auch Freiberger Kilns genannt, sind Schachtöfen mit rechteckigem Querschnitt und 2,5 bis 4,5 m Höhe. Es werden auch stets mehrere Öfen zu einer Ofengruppe mit gemeinsamem Gaskanal vereinigt. Infolge ihrer größeren Höhe arbeiten sie wärmewirtschaftlich günstiger als die Kiesbrenner und eignen sich auch für schwefelärmere Erze.

Da heute fast ausschließlich feinkörnige Rohstoffe zur Verfügung stehen, sind Kiesbrenner und Kilns nicht mehr in Anwendung.

3.122 *Schachtöfen mit fremdem Brennstoff*

Öfen dieser Art werden hauptsächlich zum Rösten bzw. Brennen stückiger karbonatischer Erze (Eisenspat, Zinkspat) verwendet. Sie dienen, wie die Kalkbrennöfen, zur Austreibung des Kohlendioxydes und des gegebenenfalls in den Erzen gebundenen Wassers, weshalb für diese Vorgänge die Bezeichnung „kalzinierendes Rösten“ verwendet werden sollte. Abhängig davon, ob der für die Wärmeerzeugung benötigte Brennstoff (Koks) gemeinsam mit dem Röstgut in den Ofenschacht aufgegeben wird oder ob ein beliebiger Brennstoff in einer besonderen Rost- oder Brennerfeuerung verbrannt wird, unterscheidet man Schachtöfen mit Innenbrand oder Mischfeuerung (eigentliche Schachtöfen) und Schachtöfen mit Außenbrand (Schachtflammöfen) für Kohlen- oder Gasfeuerung.

3.122.1 *Schachtöfen ohne Feuerung (eigentliche Schachtöfen)*

Ein sehr einfacher Ofen dieser Art ist der Siegener oder Siegerländer Ofen (Bild 5) zum Rösten von Spatenstein. Er hat die Form eines umgekehrten, oben und unten offenen Kegelstumpfes von etwa 15 m^3 Rauminhalt, dessen untere Öffnung sich in einer gewissen Höhe über Hüttenflur befindet. Das aus einem Eisenblechmantel bestehende, mit feuerfesten Steinen ausgemauerte Gefäß hängt an drei regelmäßig auf seinem Umfang verteilten Stützen. Das Ofengut, ein Erz-Brennstoff-Gemisch, fällt frei aus dem Ofen und bildet unter demselben einen Schüttkegel, der an der Seite gezogen wird. Die Luft tritt unten in den Ofen ein, während die CO_2-haltigen Gase oben entweichen.

Um die Leistungsfähigkeit dieses Ofens zu erhöhen, wurden Durchmesser und Höhe vergrößert, nur der untere Teil des Schachtes nach unten konisch verjüngt und ein Abrutschkegel angeordnet, durch den ein Teil der Luft zugeführt wird. Öfen dieser Art wurden in dem nordenglischen Bezirk Cleveland zum Rösten von Toneisenstein verwendet. Einen Cleveland-Ofen zeigt Bild 6.

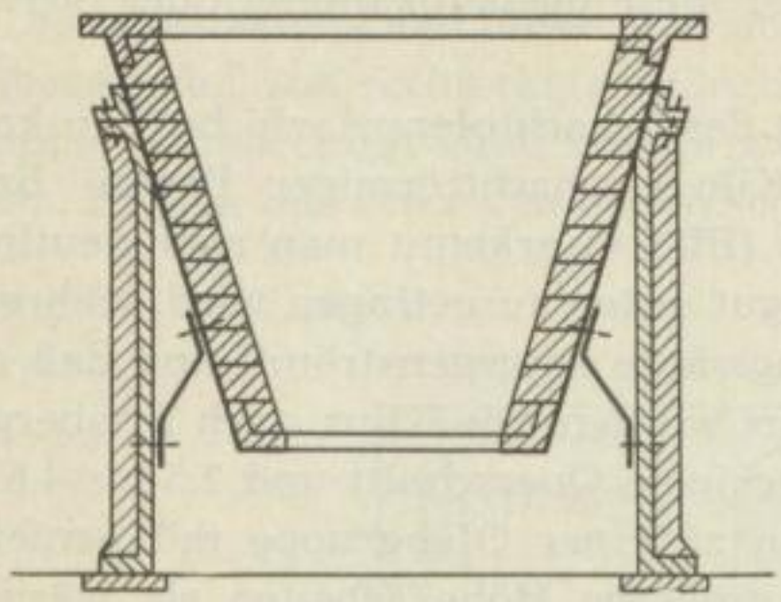


Bild 5. Siegerländer Röstofen

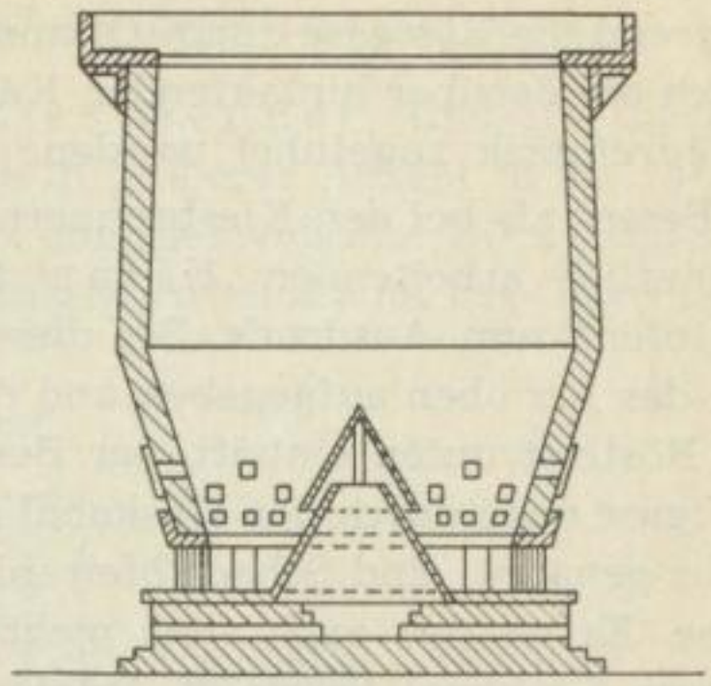


Bild 6. Cleveland-Röstofen

Einen Schachtofen, wie er vor allem zum kalzinierenden Rösten von Zinkspat (Galmei) verwendet wird, zeigt Bild 7. Der von einem Rauh- und Kernmauerwerk umgebene Schacht von rundem Querschnitt mit bauchiger Erweiterung hat eine Höhe von ungefähr 5 m und einen größten Durchmesser von etwa 2 bis 2,5 m.

Schachtöfen ähnlicher Art werden aber auch zum Rösten grobstückiger sulfidischer Erze verwendet. Zur verflüchtigenden Röstung von grobstückigen Antimonerzen dient der Ofen von Herrenschmidt (Bild 8). Der Schacht hat eine Höhe von 3 bis 4 m und besitzt quadratischen Querschnitt von 1,5 bis 3,5 m Seitenlänge im Lichten, wobei sich die Maße nach dem Antimongehalt der Erze richten; je niedriger dieser ist, um so größer kann der Querschnitt sein. Unten ist der Schacht durch einen doppelten Treppenrost abgeschlossen. Der in Bild 9

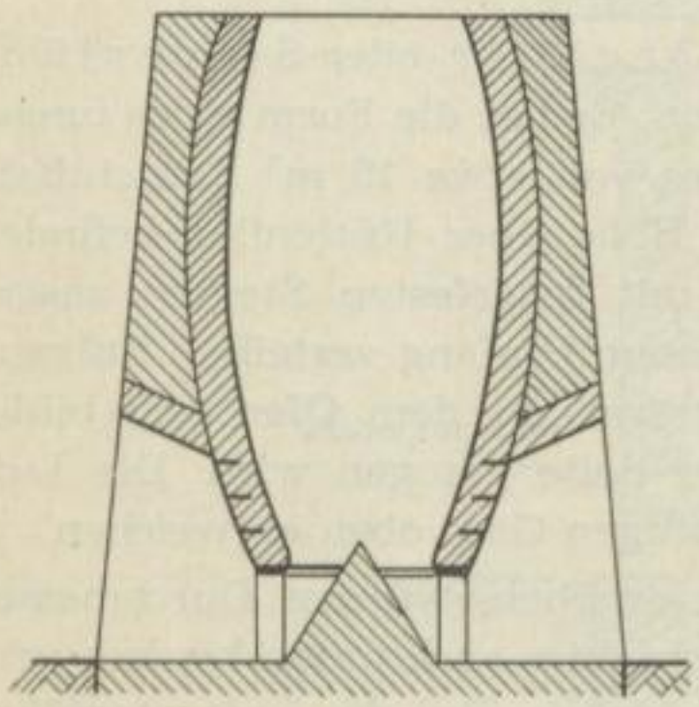


Bild 7. Schachtofen zum Rösten von Zinkspat

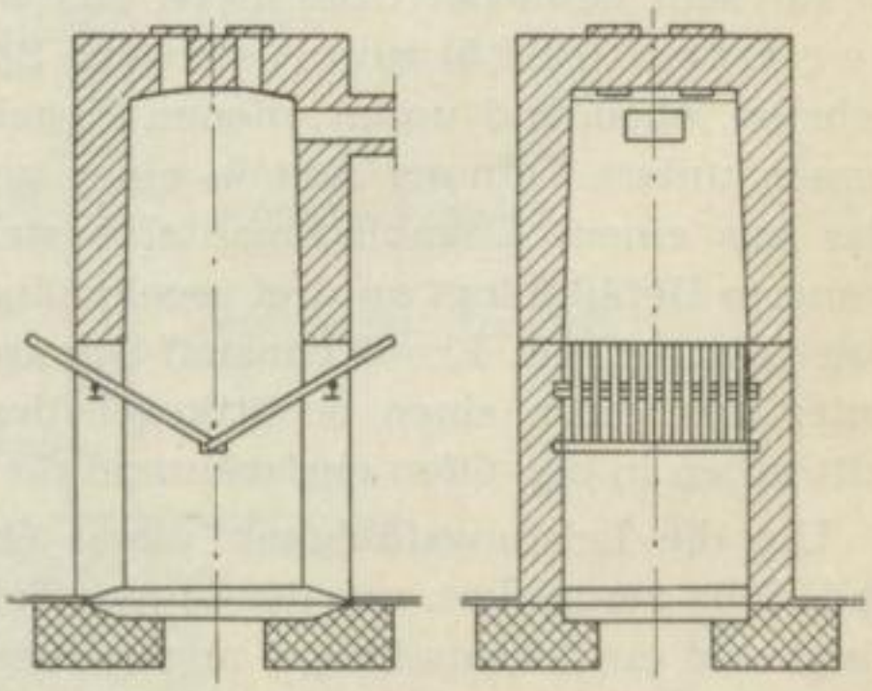


Bild 8. Herrenschmidt-Ofen

dargestellte Spirek-Ofen wird zur Röstung grober Quecksilbererze benutzt. Er besteht aus einem gemauerten, mit Eisenblech gepanzerten etwa 5 bis 8 m hohen Schacht, dessen quadratischer Querschnitt 1 bis 1,5 m im Lichten beträgt. Den unteren Abschluß bildet ein Rost, der um 20° gegen die Horizontale geneigt ist.

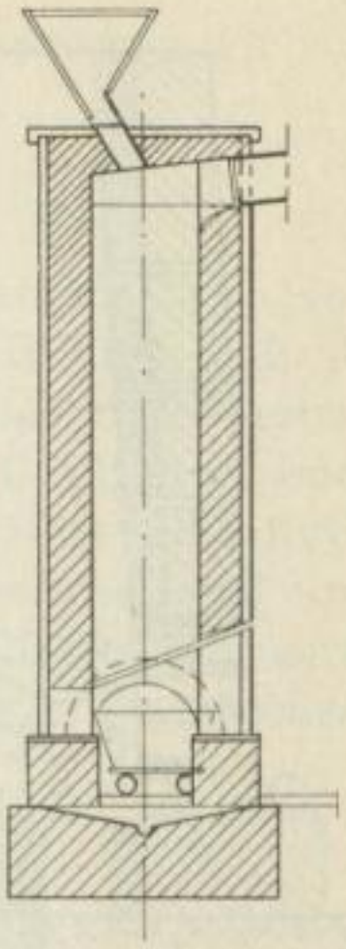


Bild 9. Spirek-Ofen

3.122.2 *Schachtöfen mit Feuerung* (Schachtflammöfen)

Um karbonatisches Zinkerz nicht mit Bestandteilen aus den Brennstoffen zu verunreinigen und die Gefahr der Zinkreduktion und Verflüchtigungen auszuschließen, werden auch Schachtflammöfen benutzt, die von seitlichen Feuerungen mit langflammigem Brennstoff beheizt werden. Ein solcher Ofen ist in Bild 10 dargestellt.

Ein Schachtflammofen mit Gichtgasheizung zum Rösten von karbonatischen Eisenerzen, wie er in den Eisenhüttenwerken der Alpenländer verwendet wurde,

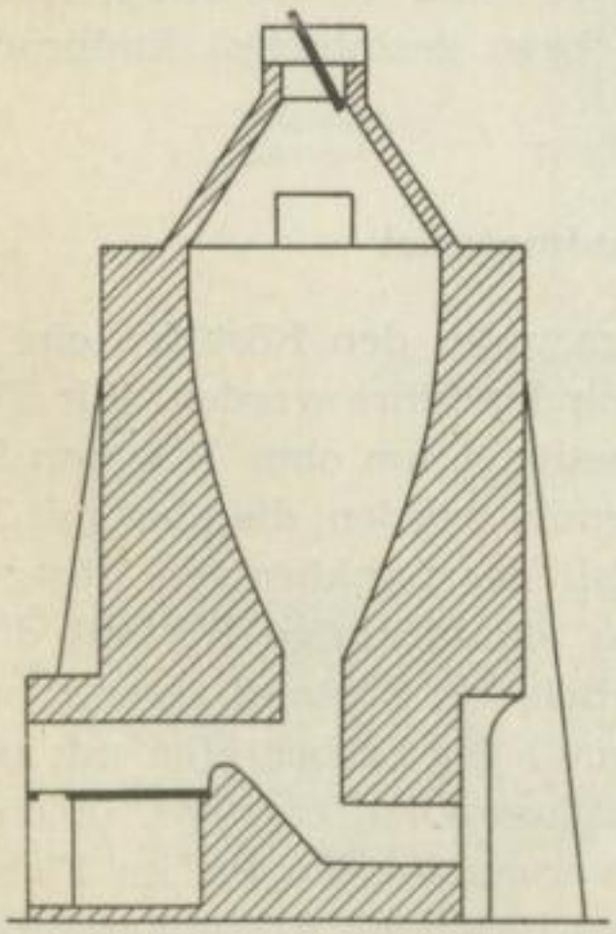


Bild 10. Schachtflammofen zum Rösten von Zinkspat

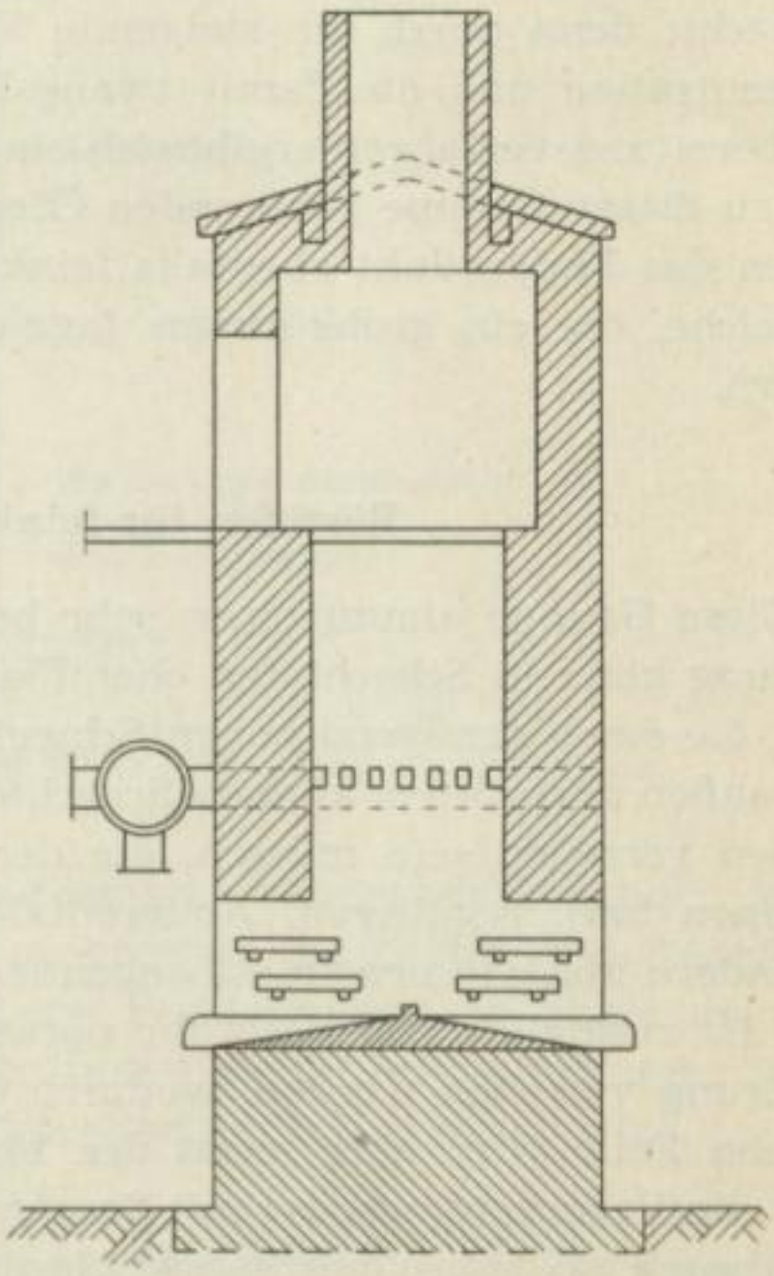


Bild 11. Fillafer-Ofen

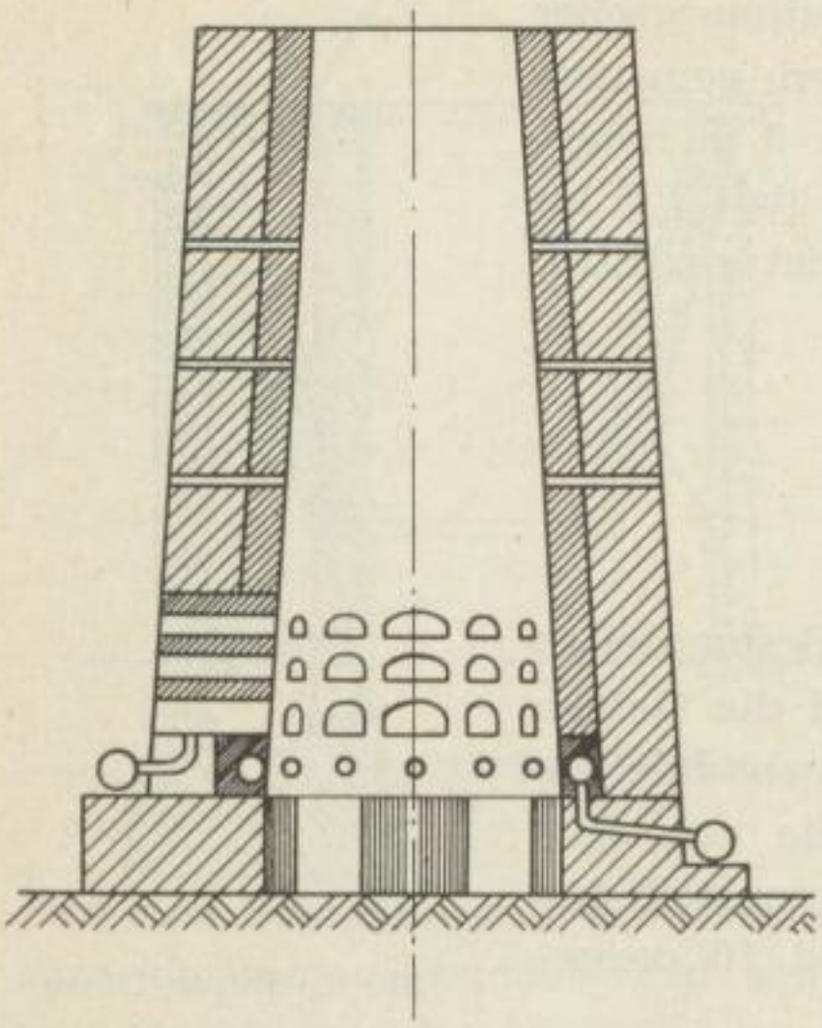


Bild 12. Westman-Ofen

ist der Fillafer Ofen (Bild 11). Aus der Gichtgasleitung strömt das Gas durch Schlitze im Mauerwerk in den Ofen, während die Verbrennungsluft durch die mit Treppenrosten ausgerüsteten Austragsöffnungen eintritt. Die Gasröstöfen, die in Schweden und Norwegen in großen Dimensionen ausgeführt wurden, sind durch Anwendung von Gebläseluft zur Verbrennung der Gichtgase von Westman vervollkommnet worden. Einen Westman-Ofen zeigt Bild 12.

3.2 RÖSTÖFEN FÜR FEINKÖRNIGES AUSGANGSMATERIAL

Die Abröstung natürlicher stückiger Erze kommt heute nur noch selten in Betracht; denn durch die steigende Verwendung von Erzen niedriger Metallkonzentration und die damit zwangsläufig verbundene Anwendung moderner Aufbereitungsverfahren ergibt sich ein verstärkter Anfall von feinkörnigem Erz. Die zu dieser Gruppe gehörenden Öfen können eingeteilt werden in solche, bei denen das Endprodukt ebenfalls feinkörnig (pulver- oder staubförmig) ist und in solche, die ein grobkörniges (agglomeriertes bzw. gesintertes) Endprodukt liefern.

3.21 Röstöfen für feinkörniges Endmaterial

Diese Gruppe nimmt einen sehr breiten Raum unter den Röstöfen ein. Die Röstung kann in Schachtöfen oder Flammöfen durchgeführt werden. Für Feinerze, die einen genügend hohen Schwefelgehalt besitzen, um ohne Wärmezufuhr von außen abzurösten, können Schachtöfen verwendet werden, die aber mit Einbauten versehen sein müssen, die den freien Fall des feinkörnigen Röstgutes hemmen bzw. regulieren. Anderenfalls muß das staubförmige Röstgut durch besondere Maßnahmen in schwebenden oder wirbelnden Zustand versetzt werden. Ist zusätzlich Wärmezufuhr notwendig, so muß der Schachtofen mit einer Feuerung versehen werden, wodurch der Schachtflammofen entsteht. In einem solchen Falle wird aber meist der Flammofen verwendet. Treten im Flammofen die Verbrennungsgase mit dem auf dem Herd liegenden Röstgut in direkte Berührung, so haben wir es mit Herdflammöfen zu tun. Befindet sich dagegen das zu röstende Erz in besonderen Gefäßen, so daß eine unmittelbare Berührung

zwischen Röstgut und Verbrennungsgasen nicht stattfindet, so sprechen wir von Gefäßflammöfen.

3.211 *Schachtöfen*

Die Schachtöfen für feinkörniges Ausgangsmaterial unterscheiden sich von den Schachtöfen für stückiges Ausgangsmaterial wesentlich dadurch, daß sie keinen freien Schachtraum besitzen. Der Schacht enthält vielmehr Einbauten, die das freie Herabfallen der feinkörnigen Erze beschränken (Schüttöfen) oder vollständig verhindern (Plattenöfen). Bei den modernen Röstverfahren, die durch die Begriffe der Schwebe- und Wirbelschichtröstung gekennzeichnet sind und die sich des Schachtofens mit freiem Schachtraum bedienen, muß die Bewegung des feinkörnigen Röstgutes durch besondere Maßnahmen herbeigeführt werden.

3.211.1 *Öfen ohne freien Schachtraum*

Unter den ältesten Öfen für die Pulver- oder Staubröstung sind zunächst die sogenannten Schüttöfen zu nennen. Der Hauptvertreter dieser Öfen ist der Ofen von Gerstenhöfer (Bild 13). Der etwa 4,5 m hohe schacht-

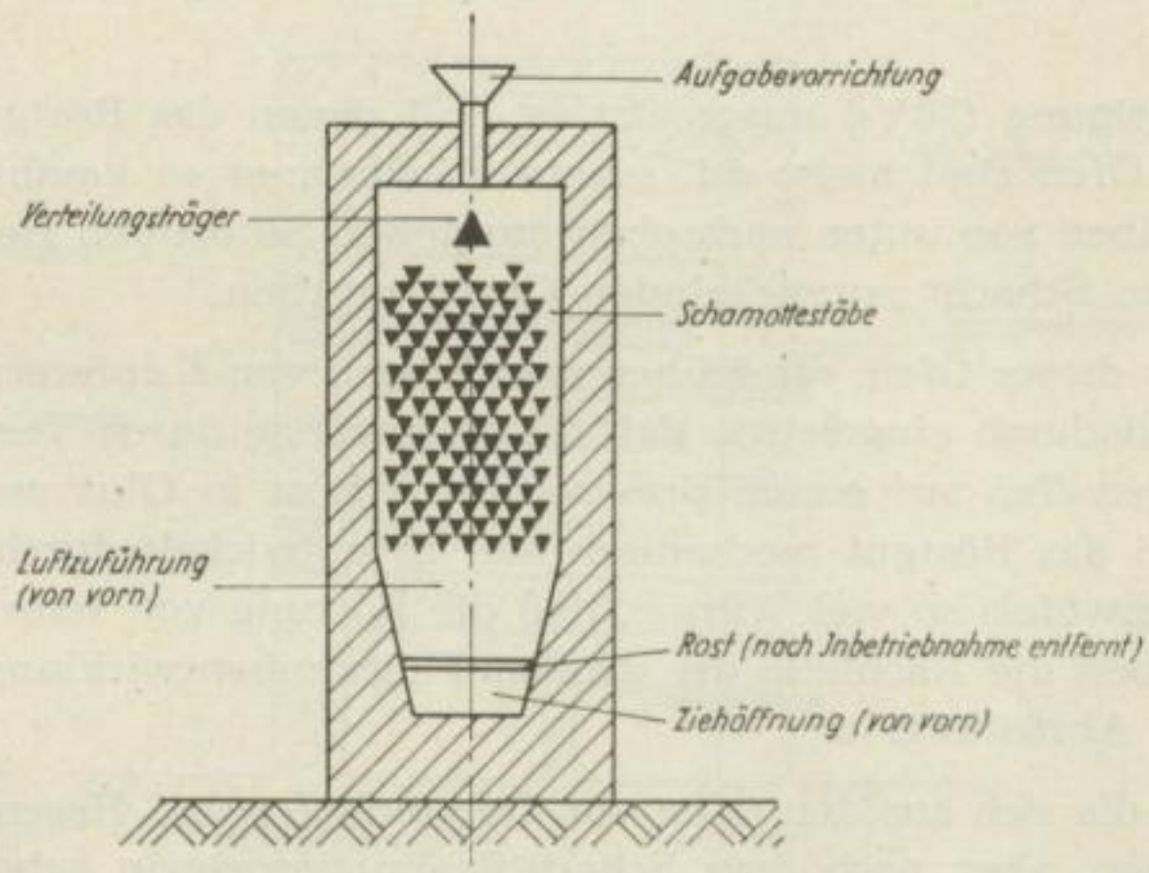


Bild 13. Gerstenhöfer-Ofen

förmige Arbeitsraum ist mit 17 Reihen horizontal übereinanderliegender Schamottestäbe von dreieckigem Querschnitt ausgesetzt. Die Stäbe sind gegeneinander versetzt, so daß das oben aufgegebene Erzklein langsam durch die von den Stäben gebildeten Zwischenräume nach unten gleitet und auf diesem Wege an der in entgegengesetzter Richtung strömenden Luft abgeröstet wird.

Ein anderer Ofen dieser Art ist der Ofen von Hasenclever und Helbig (Bild 14), bei dem der Schacht mit abwechselnd parallel liegenden Platten von dem natürlichen Böschungswinkel des pulverförmigen Erzes ent-

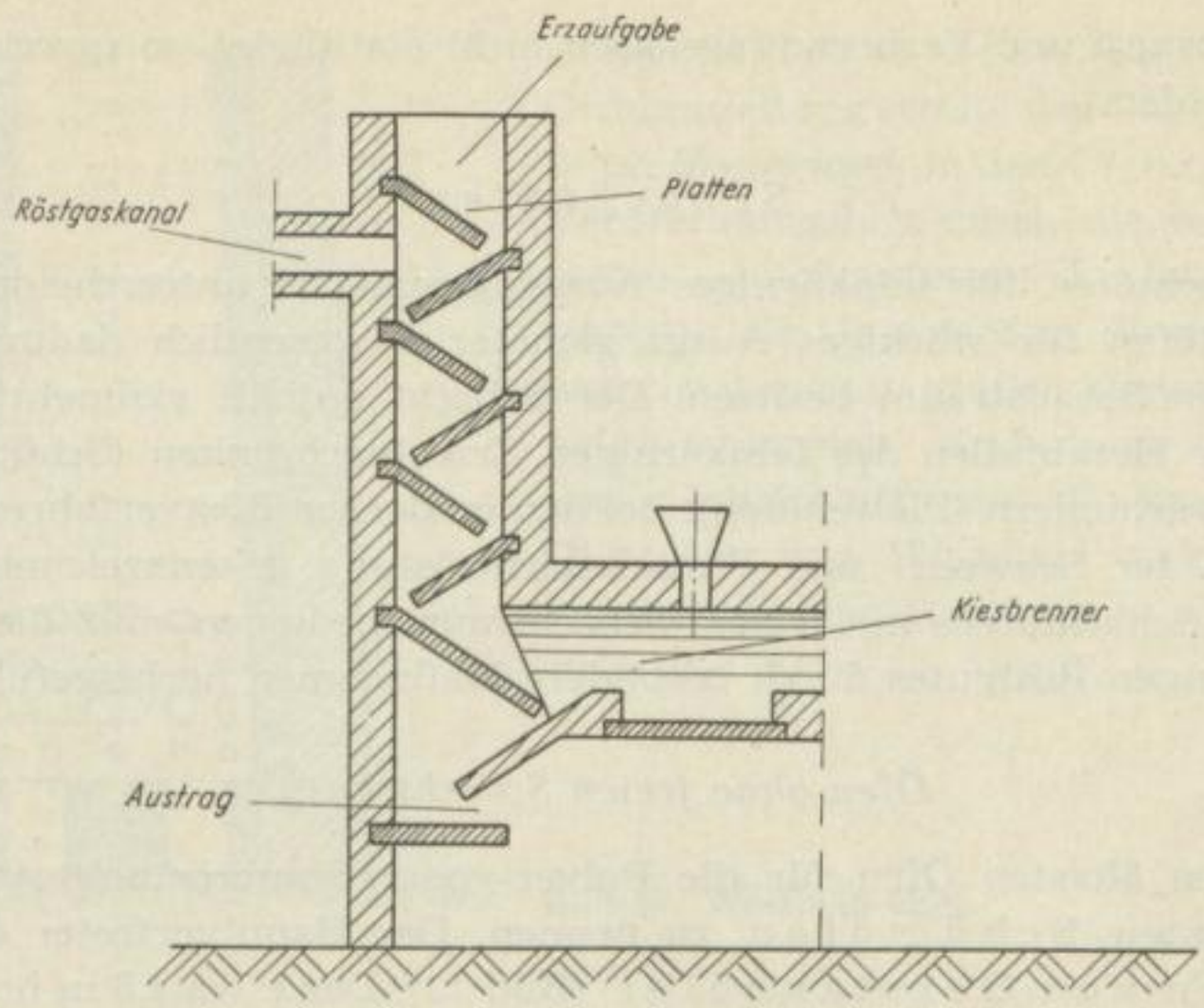


Bild 14. Hasenclever- und Helbig-Ofen

sprechender Neigung (38 %) ausgesetzt ist, auf denen das Röstgut nach unten rutscht. Diese Öfen sind meist mit einem Kiesbrenner so kombiniert, daß die Röstgase desselben von unten nach oben durch den Schüttofen ziehen, wobei sie sich mit den im Schacht entwickelnden Gasen mischen.

Der Betrieb dieser Öfen, die früher zum Rösten von Kupfererzen verwendet wurden, wird dadurch eingeleitet, daß die Ofenwände durch Verbrennung von fremden Brennstoffen auf einem provisorischen Rost in Glut versetzt werden. Dann gibt man das Röstgut mechanisch auf. Es entwickelt durch die Verbrennung seines Schwefels so viel Wärme, daß die Röstung von selbst fortschreitet. Diese Öfen haben die Nachteile der großen Flugstaubentwicklung und der unvollkommenen Abröstung.

Schüttöfen, die sich aus den Öfen von Gerstenhöfer und Hasenclever—Helbig entwickelt haben, aber nach dem Schachtflammofenprinzip arbeiten, also mit einer Feuerung versehen sind, werden zur Abröstung von Quecksilber-Feinerzen verwendet.

Eine andere Gruppe von Schachtöfen ohne freien Schachtraum stellen die sogenannten Plattenöfen dar, bei denen das Röstgut auf einer Reihe übereinander angebrachter horizontaler Schamotte-Platten ruht. Die ursprüngliche und heute nicht mehr gebräuchliche Form des Plattenofens ist die von Olivier und Perret (Bild 15). Er stellt die Kombination eines Plattenofens mit einem Kiesbrenner dar. Der Schacht des Plattenofens ist mit horizontal liegenden Platten ausgesetzt, auf denen das zu röstende Feinerz ausgebreitet wird und bis zur Beendigung liegen bleibt.

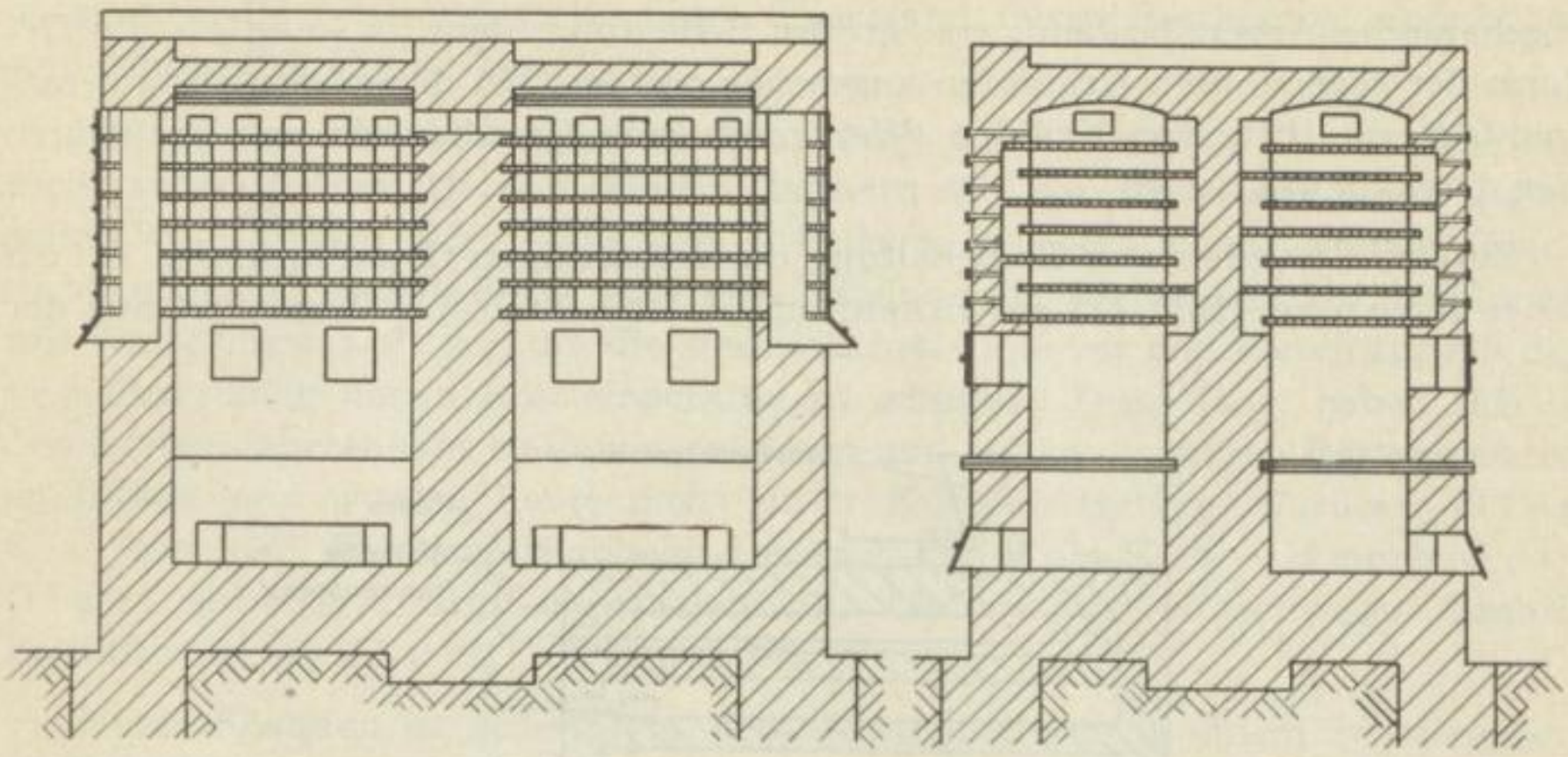


Bild 15. Olivier- und Perret-Ofen

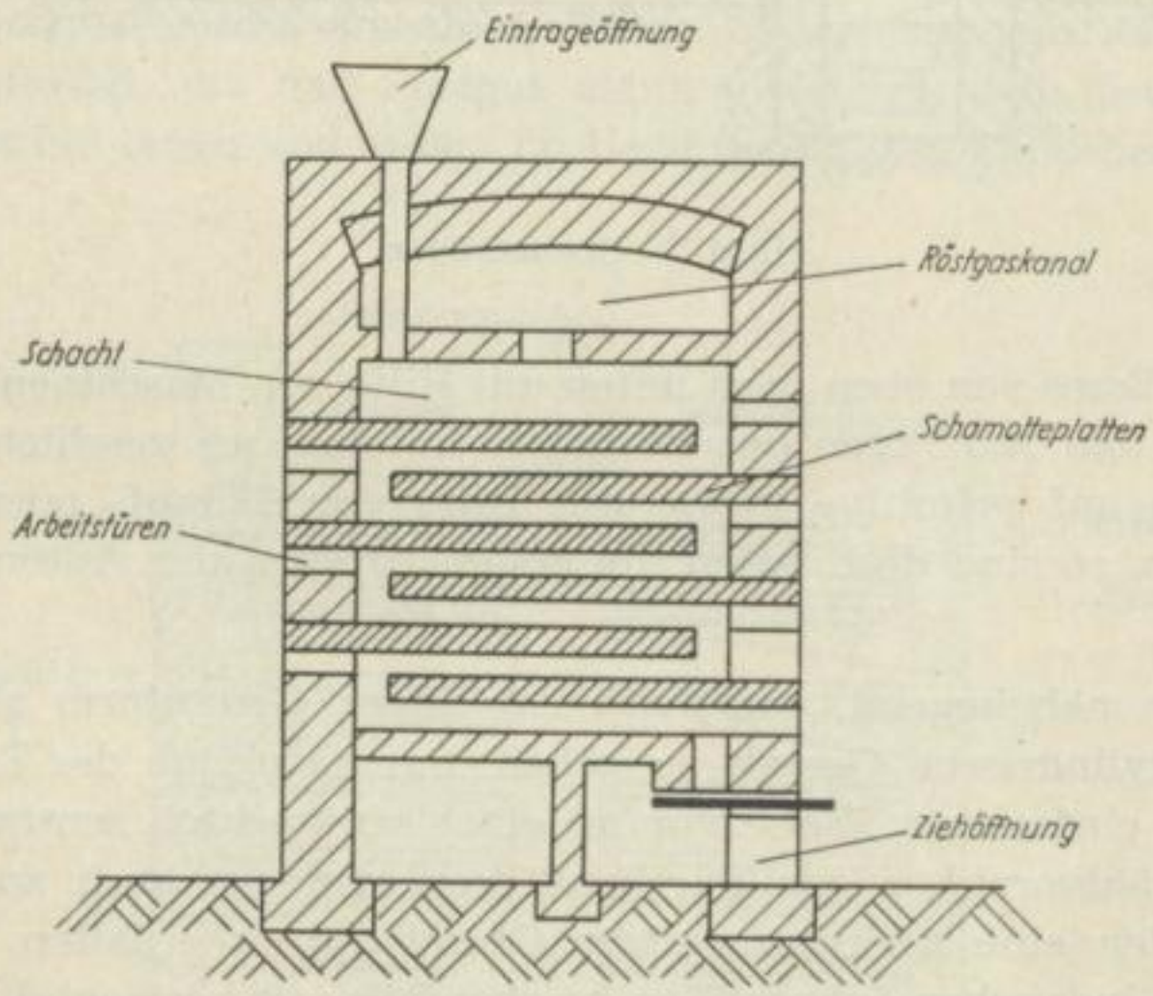


Bild 16. Malétra-Ofen

Aus diesem Ofen ist der Malétra-Ofen (Bild 16) hervorgegangen. Auch bei diesem Ofen ist der Schacht mit horizontal liegenden Schamotte-Platten ausgesetzt, sie sind aber, wie das Bild deutlich zeigt, so angeordnet, daß das auf die oberste Platte aufgebrachte Erzklein durch Handarbeit über sämtliche Platten nach unten befördert wird, wo es in abgeröstetem Zustand abgezogen werden kann.

Der Malétra-Ofen ist für die Entwicklung der modernen Rösttechnik, die in erster Linie in dem Ersatz der ungesunden und anstrengenden Handarbeit durch

mechanische Arbeit bestand, von großer Bedeutung, denn er kann als die Urform der sogenannten Krählöfen angesehen werden, bei denen das Röstgut memanisch mit Hilfe von Krählen (Werkzeuge zum Umschaufeln von Erz) durch den Ofen bewegt wird.

Zunächst wurde unter Beibehaltung der rechteckigen Grundform der Ofen von Spence (Bild 17) entwickelt, ein Malétra-Ofen, bei dem nicht nur der

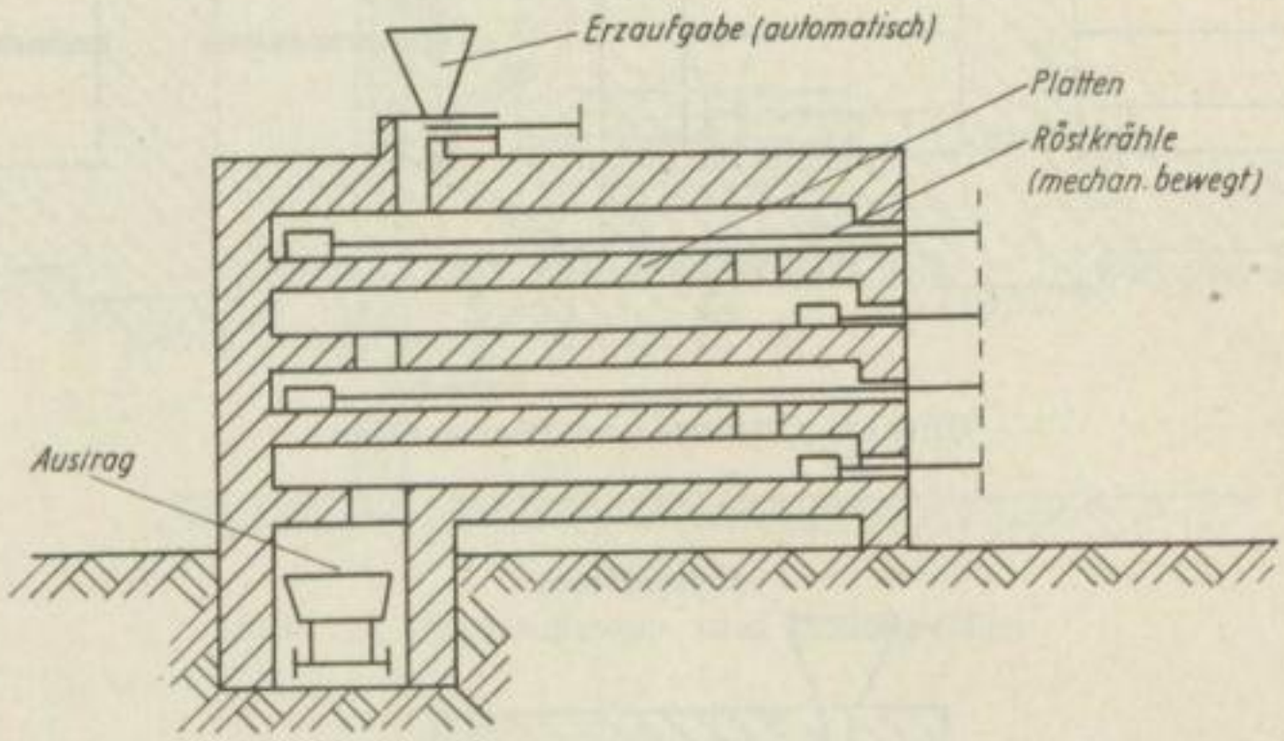


Bild 17. Spence-Ofen

Transport des Erzes von oben nach unten mit Hilfe von Maschinenkraft, sondern auch das Ein- und Austragen des Röstgutes automatisch geschieht. Wenn auch die Röstkrähle auf primitive Weise mit Hilfe von Dampf- oder Wasserkraft bewegt werden, so sind doch schon die ersten Ansätze der Automatisierung zu erkennen.

Es war nun naheliegend, von der rechteckigen Grundform abzugehen und dem Schacht zylindrische Gestalt zu geben, um nicht nur die Transport- und Krählarbeit in einfacherer Weise von an einer senkrechten zentralen Welle angebrachten Krählvorrichtungen durchzuführen, sondern auch aus wärmetechnischen Gründen eine geringstmögliche Oberfläche zu erhalten. Der Arbeitsraum dieser zylindrischen Schachtöfen ist ebenfalls mit horizontal übereinanderliegenden Platten (Gewölben) ausgesetzt, und das oben aufgegebene Erz wird von den über den tellerförmigen Platten kreisenden Krählarmen von Etage zu Etage nach unten transportiert, wo es in abgeröstetem Zustand ausgetragen wird. Diese zum Schachtofentypus gehörenden Krählöfen mit Maschinenbetrieb führen wegen der Tellerform der einzelnen etagenförmig übereinander angeordneten Platten auch die Bezeichnung „Mehrherd-Telleröfen“ oder auch „Etagenöfen“. Wenn man berücksichtigt, daß es daneben noch üblich ist, diese Öfen nach dem Erfinder bzw. Hersteller zu benennen, wie z. B. Ofen von Mac Dougall, Ofen von Herreshoff, Wedge-Ofen, Humboldt-Ofen, Lurgi-Ofen usw., so erkennt man das allerdings entwicklungsbedingte Durcheinander der Bezeichnungen,

aber auch die Notwendigkeit, diesen Übelstand durch Festlegung eindeutiger und klarer Begriffe zu beseitigen.

Die Urform dieser Ofentype ist der Ofen von MacDougall, der aus meist sechs Platten (Herden, Etagen) besteht. Mit der aus einem Stück gegossenen Welle sind in jeder Etage zwei Krählarme fest verbunden. Die von Herreshoff verbesserte Form sieht eine Kühlung der Welle und der Krählarme mit Wasser bzw. Luft vor, um die mechanischen Teile vor den Einwirkungen der verhältnismäßig hohen Rösttemperatur zu schützen. Diese Öfen haben sich in den letzten Jahrzehnten zu immer größeren und vollkommeneren Röstapparaten entwickelt und werden heute meist unter der Bezeichnung Wedge-Ofen u. a. von der Klöckner-Humboldt-Deutz-A.-G., Köln-Kalk, (Humboldt-Ofen) und der „Lurgi"-Gesellschaft für Chemie und Hüttenwesen GmbH, Frankfurt a. M., (Lurgi-Ofen) gebaut.

Diesen Röstöfen ist gemeinsam, daß bis zu 15 Herde in einem zylindrischen Mantel übereinander angeordnet sind. In der Mitte des Ofens befindet sich die weite, hohle und meist befahrbare sogenannte Königswelle, an der in jeder Etage die zwei oder vier luftgekühlten Krählarme befestigt sind, die beim Rotieren der Königswelle die einzelnen Herde bestreichen. An den Armen sind Rührzähne befestigt, die das Röstgut ständig wenden und fortschaufeln und durch abwechselnd innen und außen im Herd befindliche Fallöcher von Etage zu

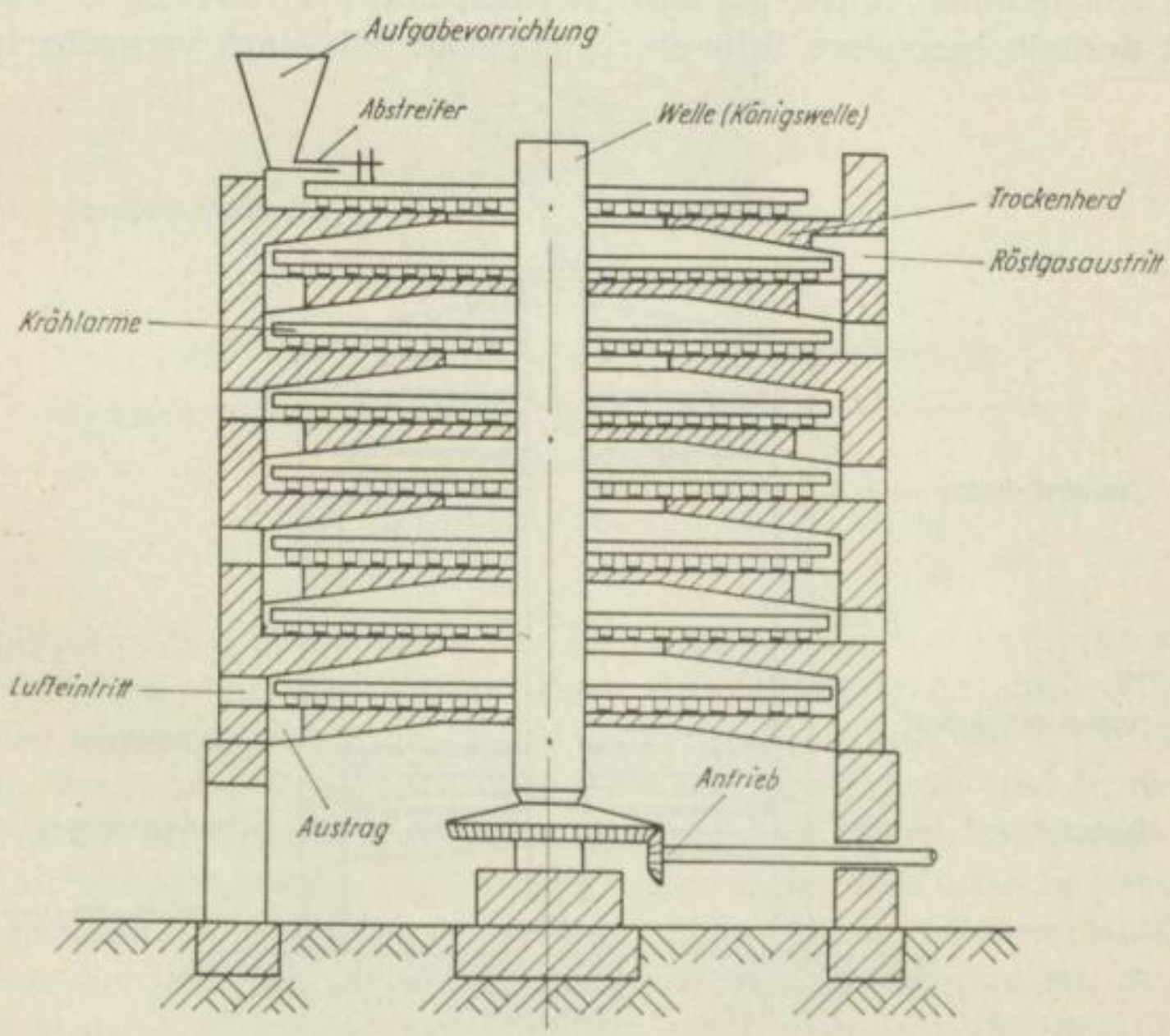


Bild 18. Wedge-Ofen

Etage transportieren, während die Röstluft den Ofen im Gegenstrom durchstreicht. Der oberste nicht überdeckte Herd des Ofens dient als Trockenherd (Bild 18).

3.211.2 *Öfen mit freiem Schachtraum*

Während bei den Öfen ohne freien Schachtraum das feinkörnige Erz auf dem Wege von oben nach unten durch Einbauten verschiedener Art am freien Fall gehindert wird, findet die Abröstung bei den Öfen mit freiem Schachtraum, die mit zu den modernsten Röstapparaten gehören, im schwebenden oder wirbelnden Zustand statt.

Die Schweberöstung, auch Flammenröstung genannt, beruht auf der Tatsache, daß feingemahlenes trockenes Schwefelerz gemischt mit der erforderlichen Oxydationsluft nach Art der Kohlenstaubfeuerung in eine schachtförmige Brennkammer eingeblasen und zur Entzündung gebracht unter Erzeugung einer hohen Temperatur abröstet. Der auch als Suspensionsröstung bekanntgewordene Prozeß wurde zuerst von der Consolidated Mining and Smelting Co. of Canada in Trail durchgeführt, indem bei einem Mac Dougall-Ofen die mittleren Herde entfernt wurden und das Erzstaub-Luft-Gemisch tangential in den dadurch freigewordenen Verbrennungsraum durch Brenner eingeblasen wurde (Bild 19). So gut dieser Gedanke ist, wird doch eine vollständige Abröstung der im Gleichstrom geführten Reaktionsmittel nur dann erreicht, wenn eine genügende Kornfeinheit (unter 0,2 mm) gegeben und der Röstweg lang genug ist. Man hat deshalb besondere Schweberöstapparate mit stark vergrößertem Röst-

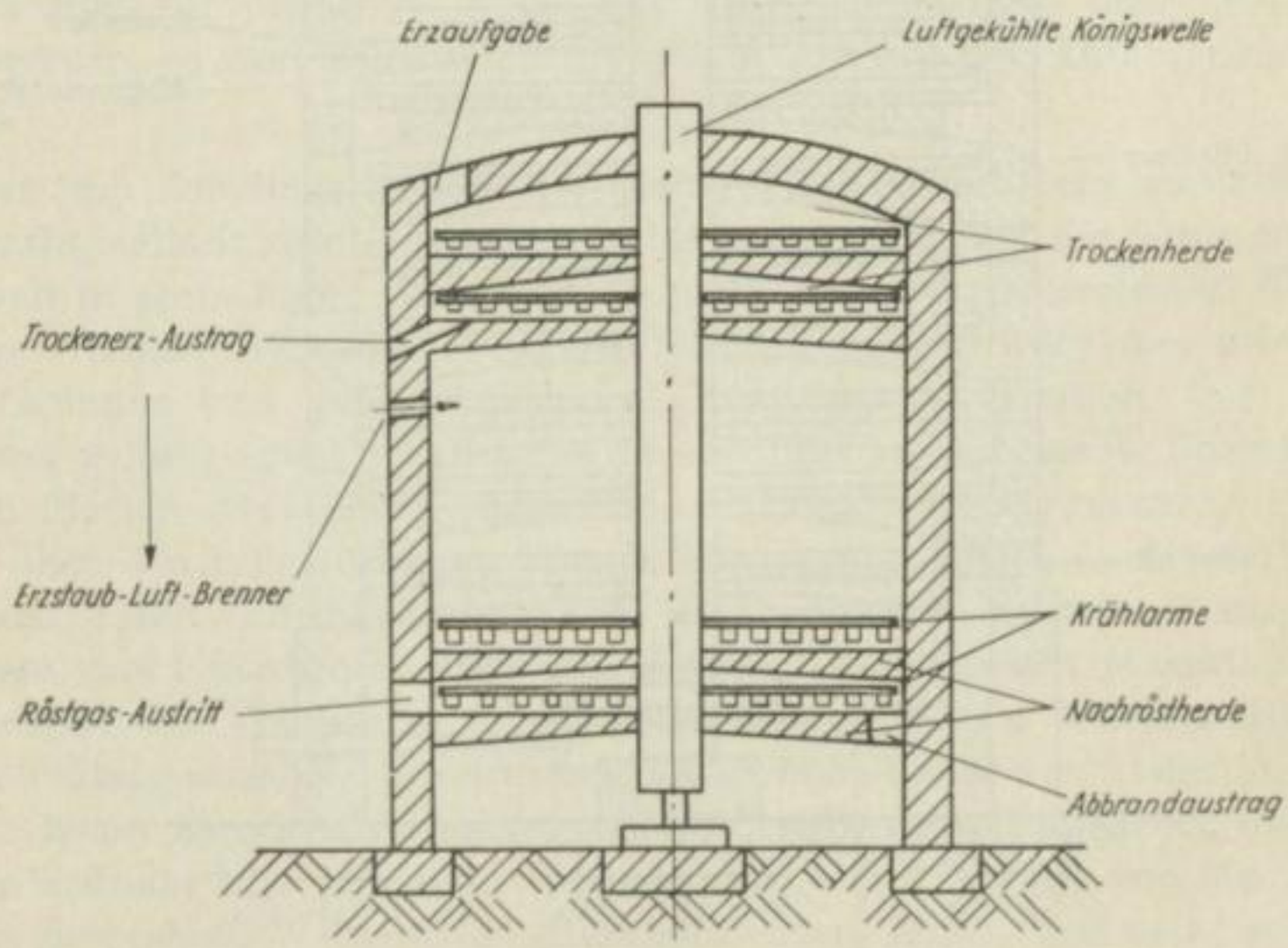


Bild 19. Suspensionsröstung (Bauart Trail)

raum und Aufteilung der Oxydationsluft in Primär- und Sekundärluft konstruiert.

Ein anderes, auf demselben Prinzip beruhendes Schweberöstverfahren ist die von Nichols und Freeman entwickelte sogenannte Blitzröstung. Bei diesem Verfahren wird ein Feinsterz-Warmluft-Gemisch durch einen Wirbelstrombrenner zentrisch von oben in den zylindrischen Schachtofen eingeblasen. Von unten, wo der Schacht konusartig ausgebildet ist, strömt ebenfalls in kreisender Bewegung Sekundärluft ein, um das Absinken der Staubteilchen zu verzögern, wodurch eine bessere Abröstung und zugleich Abkühlung des Röstgutes erreicht wird. Die heißen Röstgase verlassen unter der Decke den Ofen und geben ihre Wärme an einen Abhitzekessel ab (Bild 20).

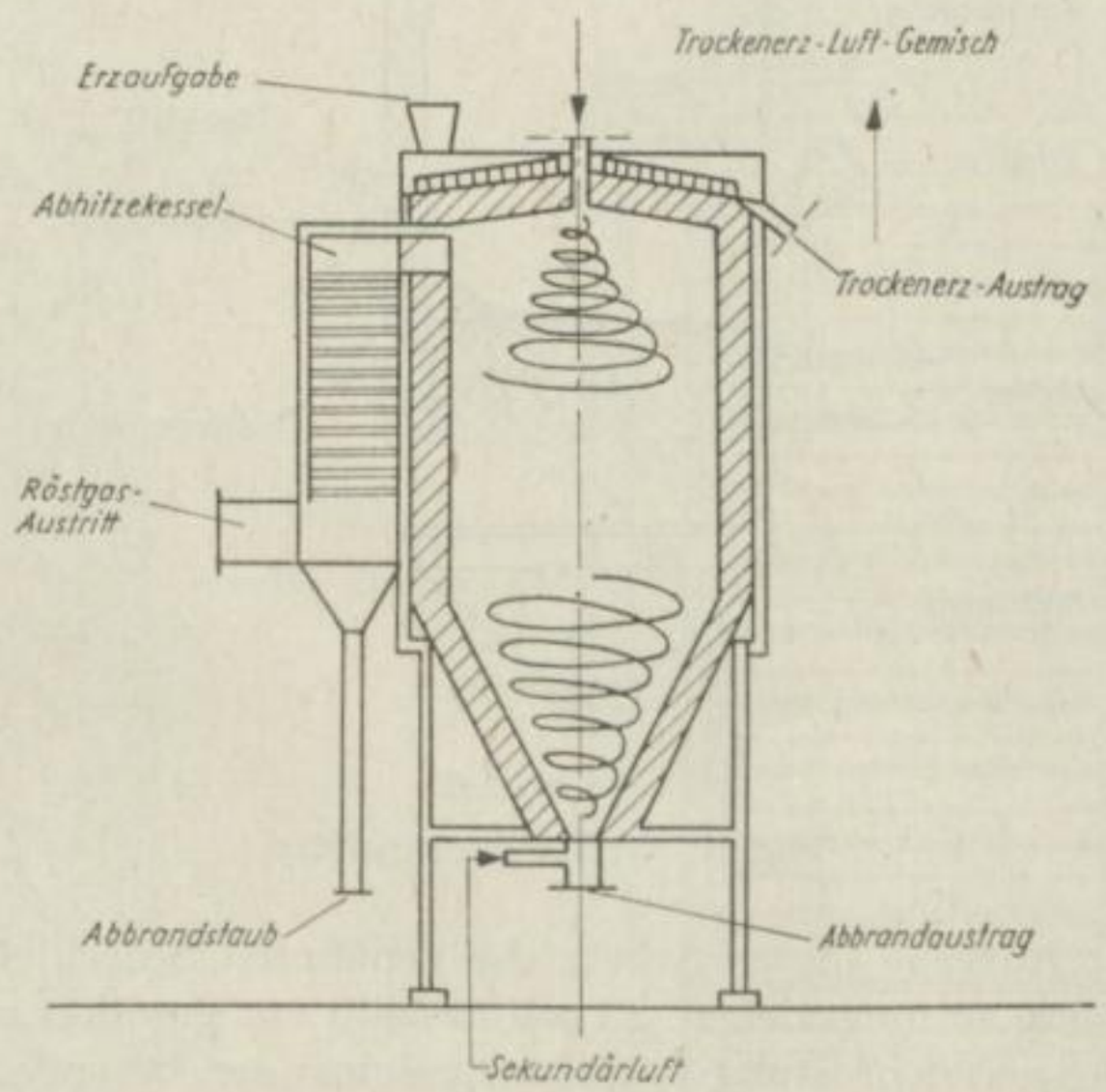


Bild 20. Blitzröstung (nach Nichols-Freeman)

Das jüngste Glied in der Reihe der Entwicklung der Röstverfahren nach dem Schachtofenprinzip ist die Wirbelschichtröstung, auch Fließbettröstung oder Fleussung genannt. Das Verfahren, das schon seit etwa 30 Jahren durch die Vergasung von Kohle nach WINKLER bekannt ist und in der chemischen Technik vielseitige Anwendung gefunden hat, wird seit einigen Jahren auch in der NE-Metallurgie zur Röstung angewendet. Der Ofen besteht, ähnlich wie der bekannte Winkler-Generator, aus einem mit feuerfestem Material ausgemauerten Schacht, der unten durch einen Rost abgeschlossen ist, der das aus Abbrand bestehende sogenannte Fließbett trägt. Die Röstluft tritt unter dem Rost ein und ruft dadurch eine Wirbelschicht hervor, während das Röstgut in

nicht zu grober Körnung seitlich dem Fließbett zugeführt wird. Das zu röstende Erz nimmt augenblicklich die Temperatur des Fließbettes an und röstet sofort ab. Der Abbrand wird wie eine Flüssigkeit durch einen Überlauf abgezogen, während das Röstgas oben aus dem Schacht entweicht (Bild 21).

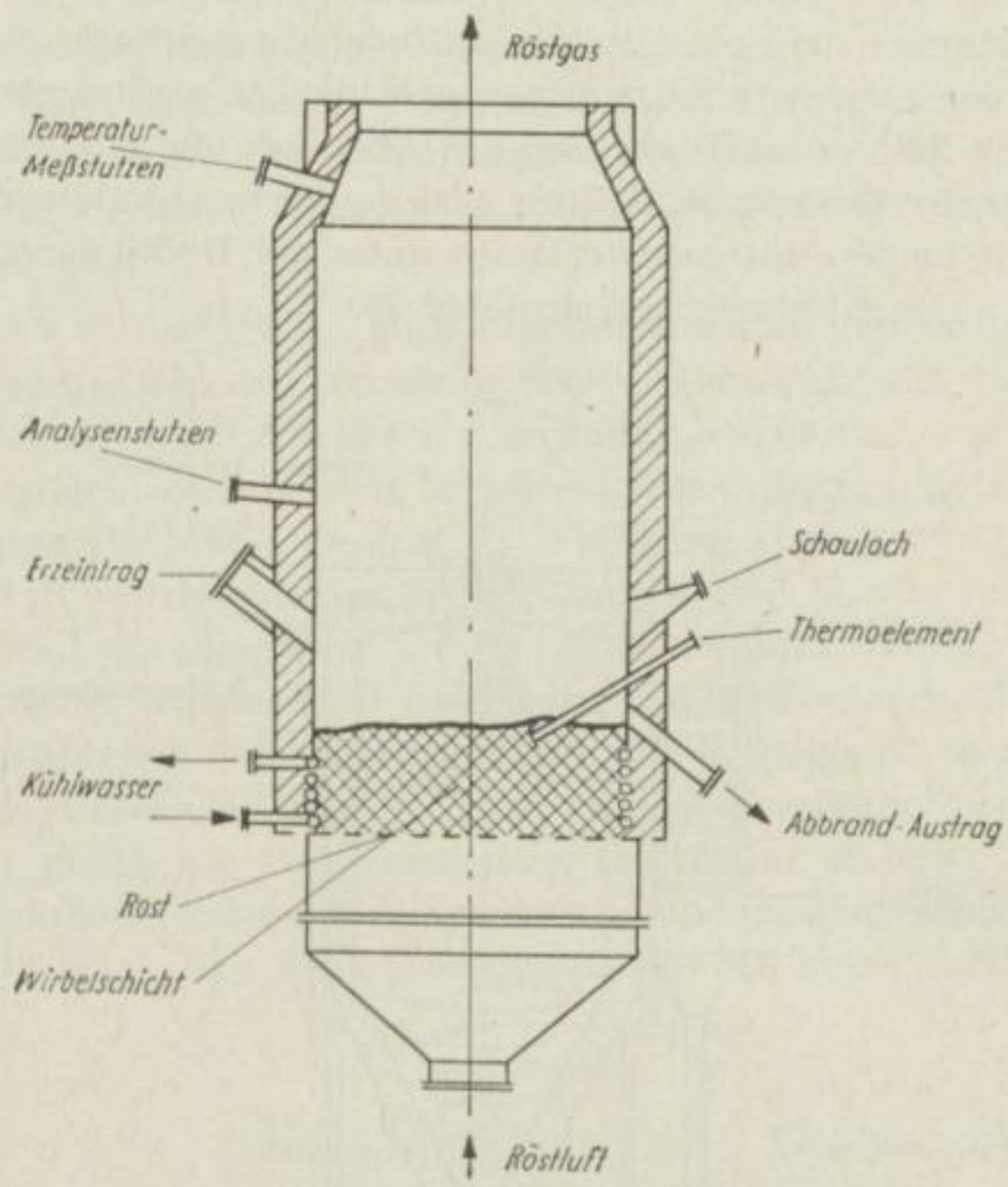


Bild 21. Wirbelschichtröstofen

Es ist nicht Aufgabe dieser Arbeit, die genannten Schachtöfen einer kritischen Betrachtung zu unterziehen. Es soll deshalb nur erwähnt werden, daß die oxydierende Schachtofenröstung insgesamt gesehen den besonderen Vorteil hat, daß man im allgemeinen ohne fremdes Brennmaterial auskommt, da der im Röstgut enthaltene Schwefel, sofern er eine gewisse Grenze nicht unterschreitet, den einmal eingeleiteten Röstprozeß unterhält. Ein weiterer Vorteil der Schachtöfen ist die Verwertung der Röstgase zur Schwefelsäurefabrikation.

3.212 *Flammöfen*

Ein wesentliches Konstruktionsmerkmal der Flammöfen ist die Feuerung. Schachtflammöfen, also normale Schachtöfen, die mit Feuerungen ausgerüstet sind, kommen für die Abröstung feinkörniger Erze nur dann in Frage, wenn der freie Schachtraum, wie bei den Schüttöfen, mit Einbauten versehen ist. Dagegen werden Herdflammöfen in ihren verschiedensten Ausführungsformen viel verwendet, wenn zusätzliche Heizung notwendig ist. Soll eine

Vermischung der Verbrennungsgase mit den Röstgasen vermieden werden, so muß der Flammofen als Muffelofen ausgebildet sein. Diese Art soll als Gefäßflammöfen bezeichnet werden.

3.212.1 *Schachtflammöfen*

Schachtflammöfen werden, wie bereits oben erwähnt, zur Abröstung von Quecksilber-Feinerzen verwendet.

Den in den USA bevorzugt verwendeten Ofen von Hüttner und Scott (Scott-Ofen) zeigt Bild 22. Er besteht aus mehreren paarweise angeord-

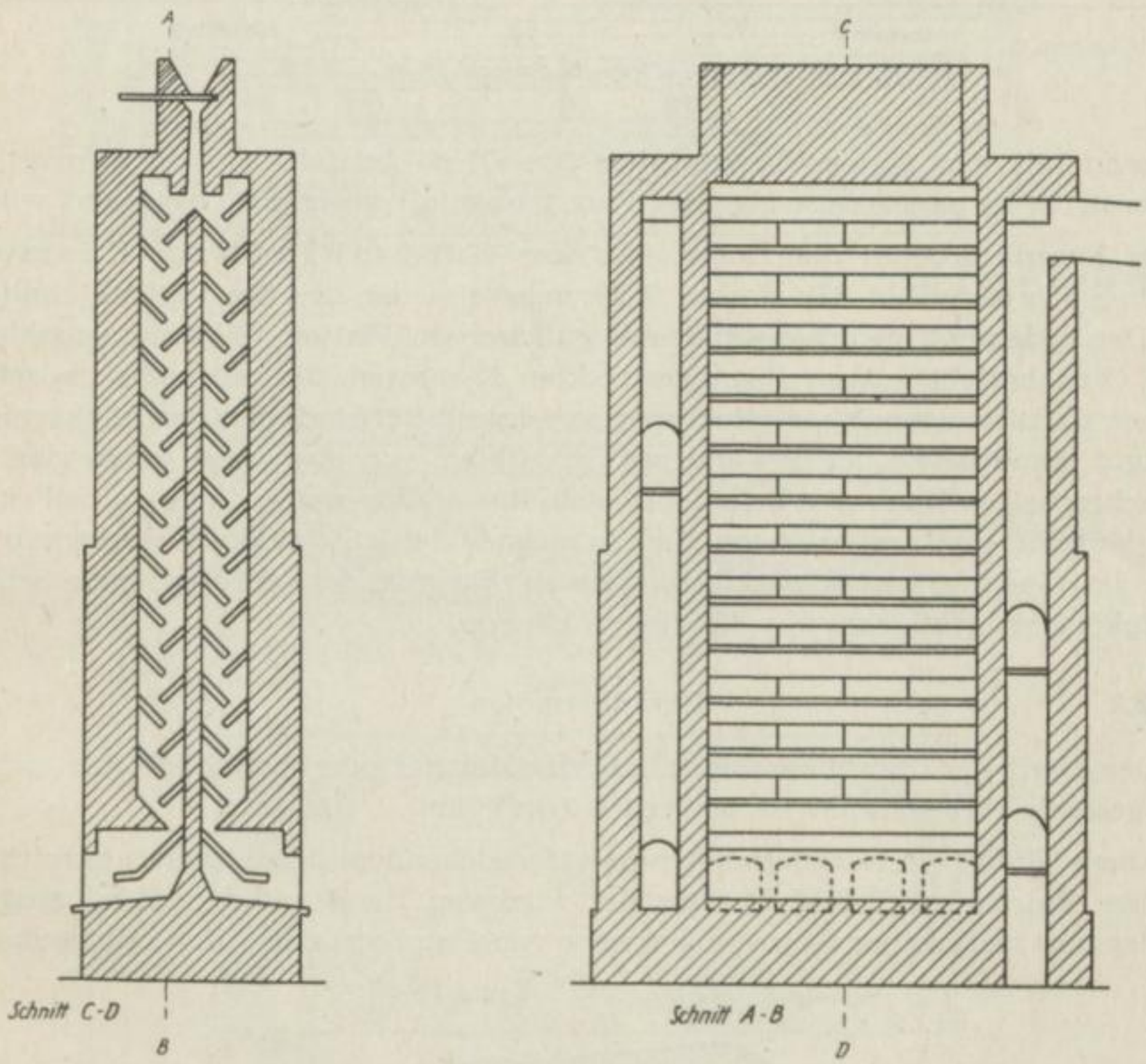


Bild 22 Scott-Ofen

neten schmalen Schächten, die, wie beim Hasenclever-Helbig-Ofen, mit abwechselnd parallel liegenden unter einem Winkel von 45° geneigten Schamotteplatten ausgesetzt sind, wodurch das Erz gezwungen wird, zickzackförmig durch den Schacht zu fallen. Durch die Anordnung von Kammern an den Schmalseiten der Schächte und von Öffnungen unter den Platten werden die Verbrennungsgase einer für das ganze Ofensystem gemeinsamen Feuerung gezwungen, zu-

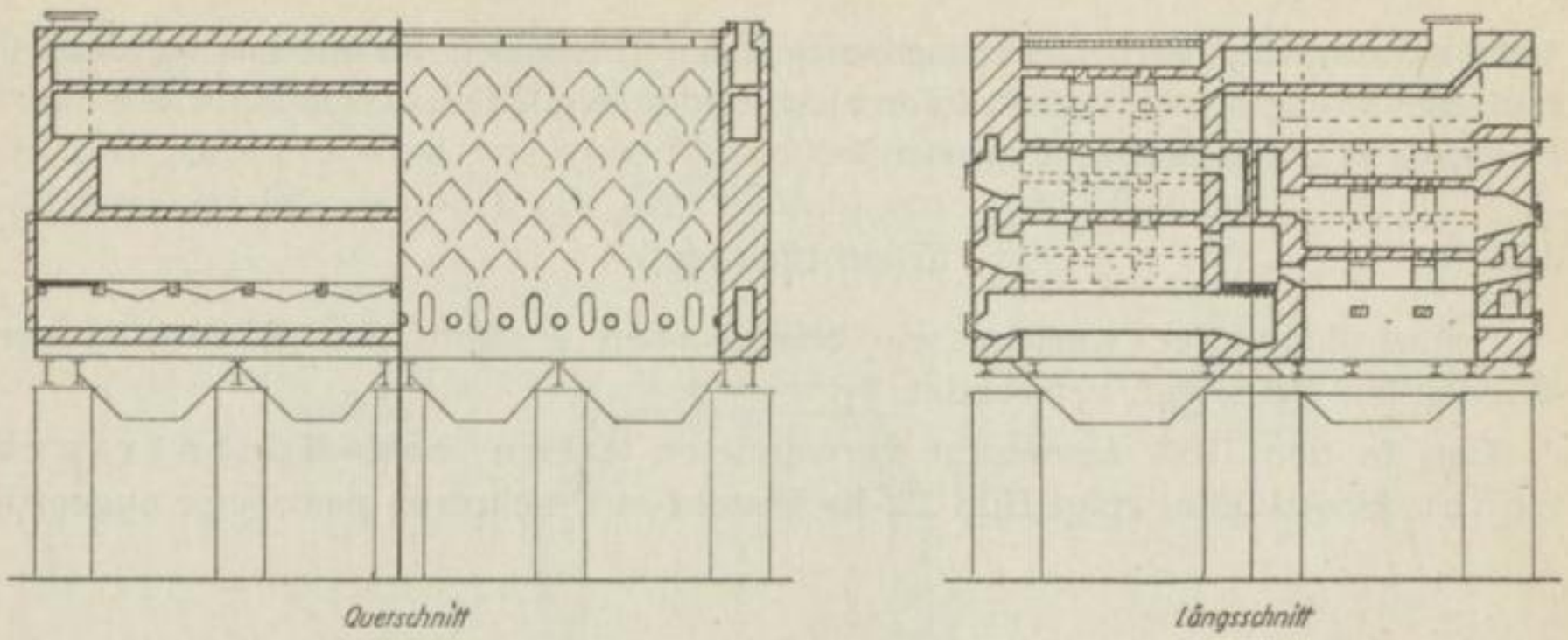


Bild 23. Cermak-Spirek-Ofen

sammen mit den Quecksilberdämpfen den Ofen ebenfalls zickzackförmig im Gegenstrom zu passieren, wobei der Flugstaubanfall wesentlich verringert wird.

In Europa arbeitet man meist mit dem Schüttofen von Cermak und Spirek (Bild 23), dessen Wirkungsweise der des Scott-Ofens ähnlich ist. Der bedeutend niedrigere und mit gußeisernen Platten vollständig umkleidete Ofen besteht aus zwei langgestreckten Kammern, die mit sechs bis zehn Reihen dachförmiger Schamottekörper so ausgestattet sind, daß das feinkörnige Röstgut, ähnlich wie bei den anderen Schüttöfen, von oben nach unten rieselt. Zwischen beiden Kammern befindet sich ein Raum, dessen unterer Teil eine Feuerung enthält, und dessen oberer Teil so ausgebildet ist, daß die Verbrennungsgase im Gegenstrom zickzackförmig durch die von den dachförmigen Schamottekörpern gebildeten Kanäle ziehen können.

3.212.2 *Herdflammöfen*

Der Herd der Herdflammöfen kann feststehend oder beweglich sein, oder der gesamte Arbeitsraum ist beweglich (Drehöfen).

Einen einfachen Herdflammofen mit feststehendem Herd und intermittierendem Betrieb zeigt Bild 24. Das Erz wird von Hand auf dem Herd ausgebreitet und nach seiner Abröstung wieder von Hand aus dem Ofen entnommen.

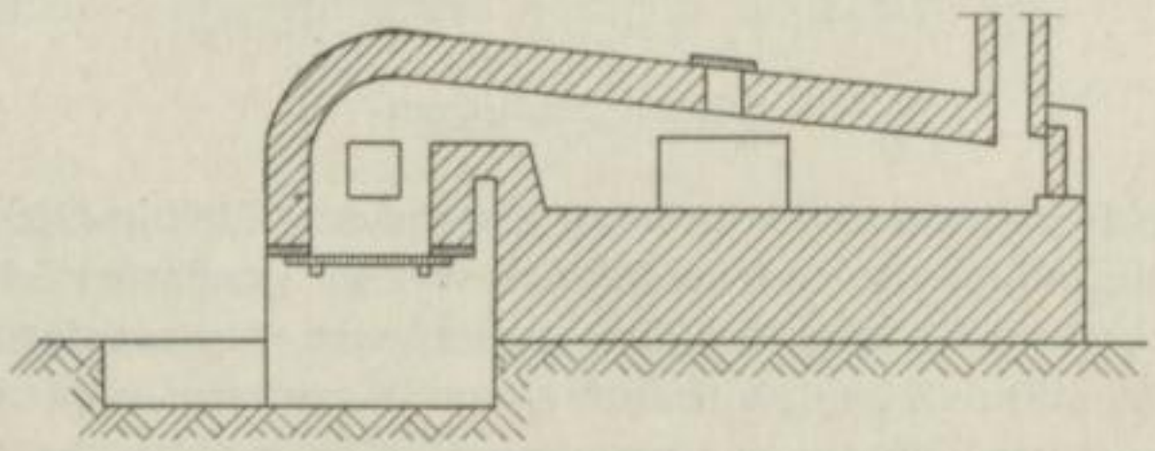


Bild 24. Herdflammofen (Englischer Bleiglanzröstofen)

Diese Öfen sind allerdings selten verwendet worden und haben heute nur noch historischen Wert.

Große Bedeutung für die Entwicklung der Röstöfen haben dagegen die handbetriebenen Herdflammöfen mit feststehendem Herd aber kontinuierlichem Betrieb, die sogenannten Fortschauflungsöfen, gewonnen.

Die einherdigen Handfortschaufler (Bild 25) besitzen einen rechteckigen, langgestreckten Herd von 10 bis 20 m Länge und 3 bis 4 m Breite.

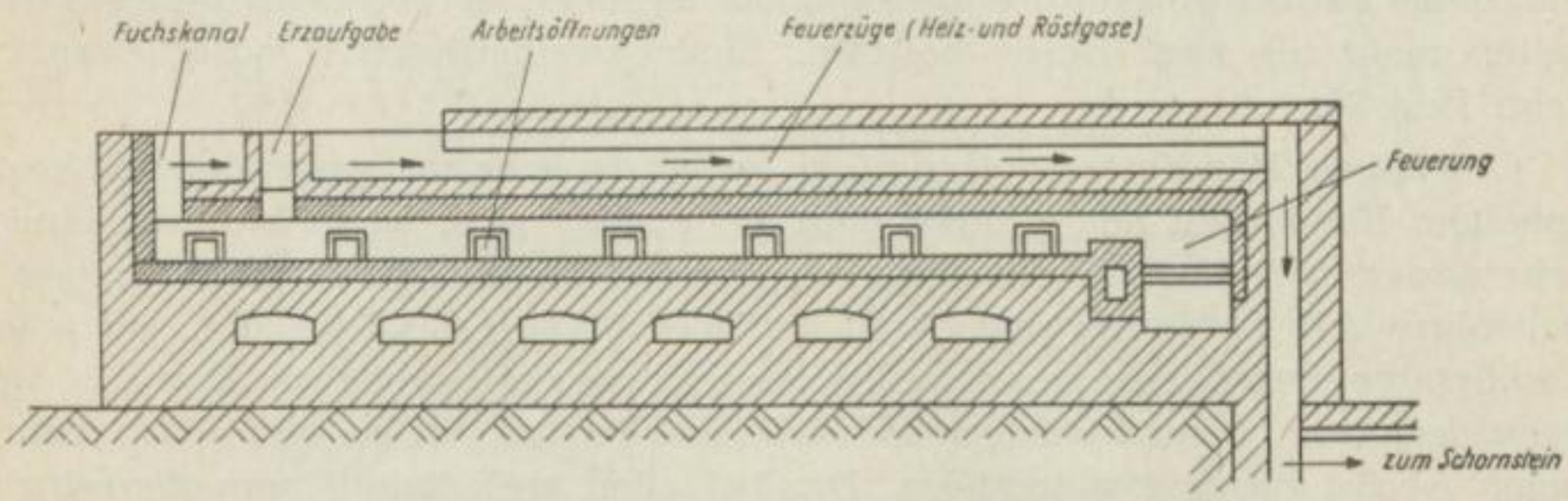


Bild 25. Hand-Fortschauflungsofen

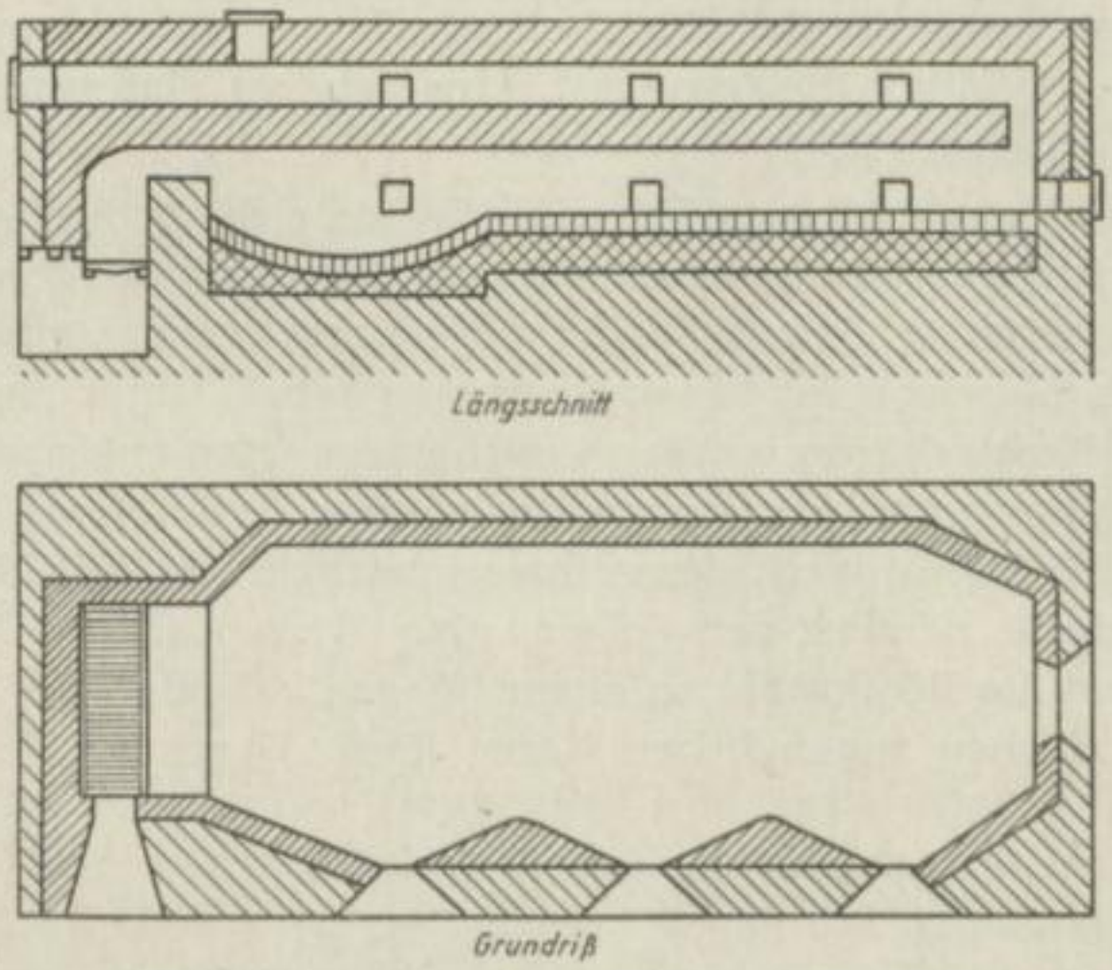


Bild 26. Zweiherdiger Hand-Fortschaufler

Die auf der Gewölbeplatte vorgetrockneten Erze werden auf der der Feuerung gegenüberliegenden Schmalseite durch eine Öffnung im Gewölbe auf den Herd gebracht und von da aus durch an den beiden Längsseiten des Ofens angeordnete Arbeitstüren mit Hand der Feuerung entgegengeschaufelt. Vor der Feuerbrücke wird das geröstete Gut durch die Arbeitstüren oder im Herd befindliche Öffnungen dem Ofen entnommen. Die sich im Gegenstrom bewegenden Heiz-

gase vermischen sich mit den Röstgasen und werden über dem Herdgewölbe in den Fuchs zurückgeführt.

Die beträchtliche Herdlänge, die sich nach dem Schwefelgehalt der Beschikkung richtet, kann vermindert werden, indem man den Herd in zwei oder mehrere kürzere übereinanderliegende Herde unterteilt. Man kommt auf diese Weise zu den mehrherdigen Fortschauflungsöfen. Diese haben außerdem den Vorteil der besseren Ausnutzung der Wärme und der geringeren äußeren Wandverluste. Die ohnehin schwere Handarbeit der Fortschauflung wächst allerdings mit der Anzahl der übereinanderliegenden Herde, weshalb diese Öfen selten mehr als zwei Herde besitzen. Einen zweiherdigen Handfortschaufler zeigt Bild 26.

Obwohl die Handfortschauflungsöfen wegen der sehr anstrengenden und kostspieligen Handarbeit heute kaum noch anzutreffen sind, haben sie doch einige sehr wesentliche Vorteile aufzuweisen. Da man nämlich das Röstgut an jeder beliebigen Arbeitstür austragen und an jeder Stelle des Ofens, d. h. bei jeder Temperatur, beliebig lange verweilen lassen kann, ist es möglich, Erze mit den verschiedensten, auch niedrigen Schwefelgehalten zu rösten und jeden beliebigen Abröstungsgrad zu erzielen. Der bei allen nach dem Flammofenprinzip arbeitenden Öfen unvermeidliche Brennstoffaufwand, der bei den Röstflammöfen vom Schwefelgehalt, von der Durchsatzleistung und von der Ofenkonstruktion abhängig ist, sowie die Schwierigkeit der Verarbeitung der durch die Verbrennungsgase verdünnten Röstgase auf Schwefelsäure sind weitere wesentliche Nachteile der Fortschaufler.

Aus den Handfortschauflungsöfen entwickelten sich zwangsläufig die mechanischen Fortschauflungsöfen, bei denen die anstrengende, ungesunde und teure durch Hand ausgeführte Arbeit des Transportierens und Umrührens der Beschickung durch Maschinenkraft vorgenommen wird. Unter Beibehaltung der langgestreckten Rechteckform wurden verschiedene Öfen entwickelt, denen allen das Durchziehen von an einem Drahtseil oder einer Kette ohne Ende befestigten Rührschaufeln (Krählen) durch den Ofen gemeinsam ist. Von diesen Öfen soll nur der bekannteste, nämlich der Ofen von Ropp (Bild 27) erwähnt werden. Bei ihm sind die Röstkrähle an einem Wagen befestigt, der in einem unter dem Herd befindlichen zugänglichen Kanal läuft. Durch an den Schmalseiten

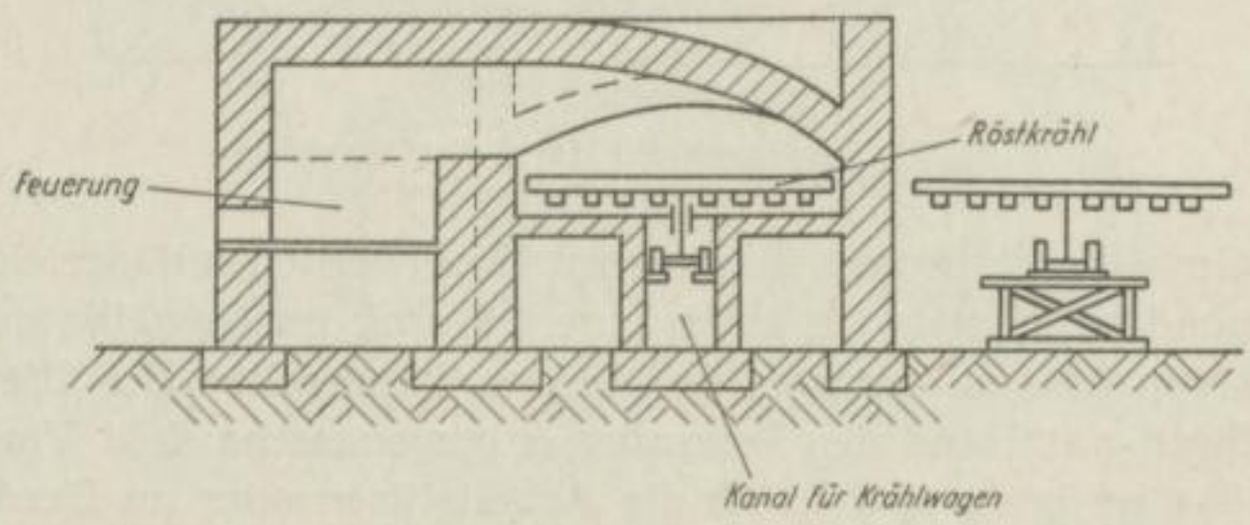


Bild 27. Ropp-Ofen

des Ofens angebrachte Seilscheiben wird der Lauf des Stahldrahtseiles so geregelt, daß die Wagen aus dem Herdkanal ins Freie treten, um 180° umgelenkt werden und an der einen Längsseite wieder zurücklaufen, um dann an der anderen Schmalseite wieder in den Kanal einzutreten. Die Rostfeuerungen (drei bis vier) befinden sich bei dieser Ausführung an der anderen Längsseite des Ofens, und die Heizgase durchziehen gemeinsam mit den Röstgasen den Ofen entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Röstgutes.

Während es sich bei dem Ofen von Ropp um einen einherdigen Ofen handelt, stellt der Ofen von Keller, Gaylord und Cole (Bild 28) einen aus

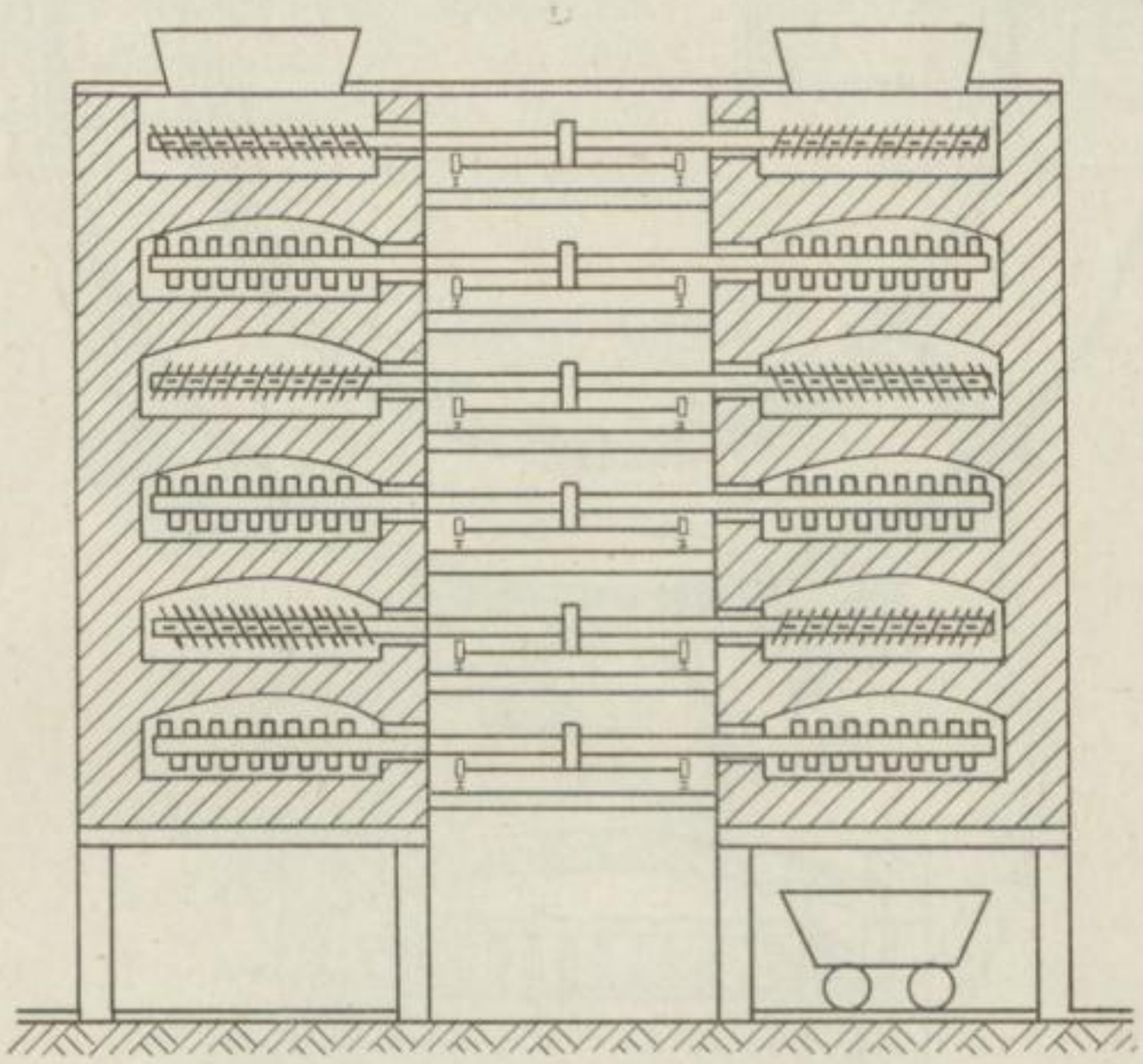


Bild 28. Keller-Gaylord-Cole-Ofen

mehreren Herden bestehenden Doppelofen von rechteckigem, langgestrecktem Querschnitt dar. Zwischen den beiden eine Einheit bildenden „Etagenöfen" liegt die Vorrichtung zur Bewegung der an Armen befestigten Röstkrähle, die durch Schlitze in den inneren Längswänden des Ofens hindurchgehen. Die Krählarme sind wiederum an Wagengestellen befestigt, die von einem Drahtseil hin- und hergezogen werden, was zwischen jedem Hin- und Hergang die Drehung des Röstkrähls um 90° notwendig macht. Je nach der Vollständigkeit der Abröstung des Erzes können die Heizgase von den an den Schmalseiten angeordneten Feuerungen aus nur den oberen Herd oder auch die unteren Herde erhitzen.

Wegen des großen Platzbedarfs der langgestreckten Öfen ging man dazu über, dem Ofen eine gekrümmte Form zu geben. Auf diese Weise entstand der

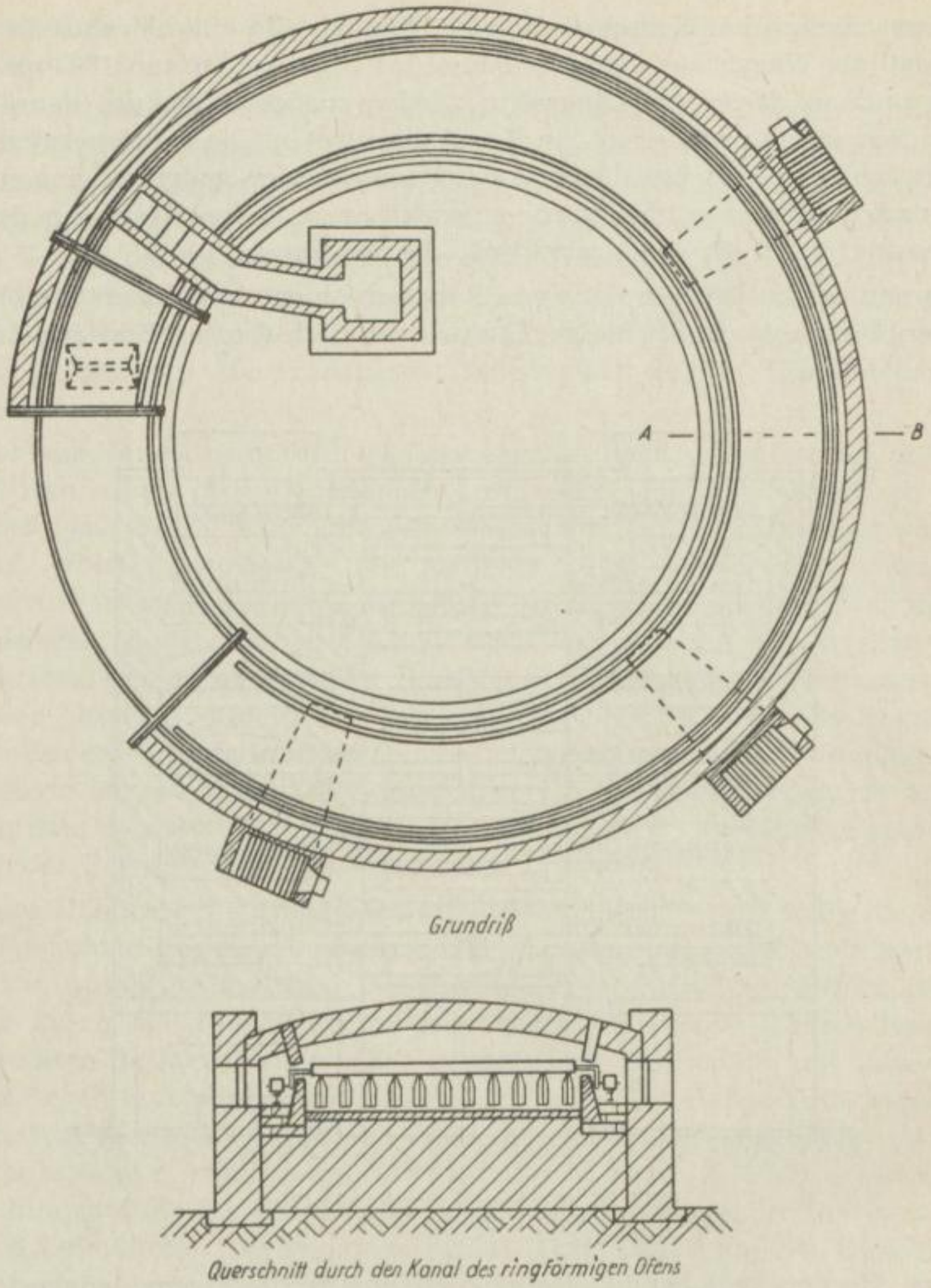


Bild 29. Brown-Ofen (Hufeisenofen)

sogenannte Hufeisenofen von Brown (Bild 29). Diese Bezeichnung ist deshalb gewählt worden, weil bei diesem, einen Kreisring oder einen langgestreckten Ring darstellenden Ofen der Herdraum nicht die ganze Fläche einnimmt, sondern ein Teil zwischen den beiden Enden des Ofens – wie beim Hufeisen – freiliegt. Dieser freie Raum dient dazu, die ihn passierenden Röstkrähle, die auf einem von einem Drahtseil gezogenen Wagen befestigt sind, abzukühlen. Die Feuerungen (drei bis vier) befinden sich am äußeren Umfang des Ofens.

Die genannten Öfen haben heute keine Bedeutung mehr.

Geht man in dieser Entwicklung weiter, so kommt man — wie bei den Schachtröstöfen — zu den mechanischen Herdröstöfen mit stehender Welle. Diese Öfen können einen kreisförmigen Herd haben, wie der Ofen von Parkes (Bild 30), oder einen ringförmigen Herd, wie der Ofen von Pearce (Bild 31). Bei dem Parkes-Ofen handelt es sich um einen sogenannten Mehrherd-Tellerofen, der sich von den bereits beschriebenen Öfen dieser Art im wesentlichen nur dadurch unterscheidet,

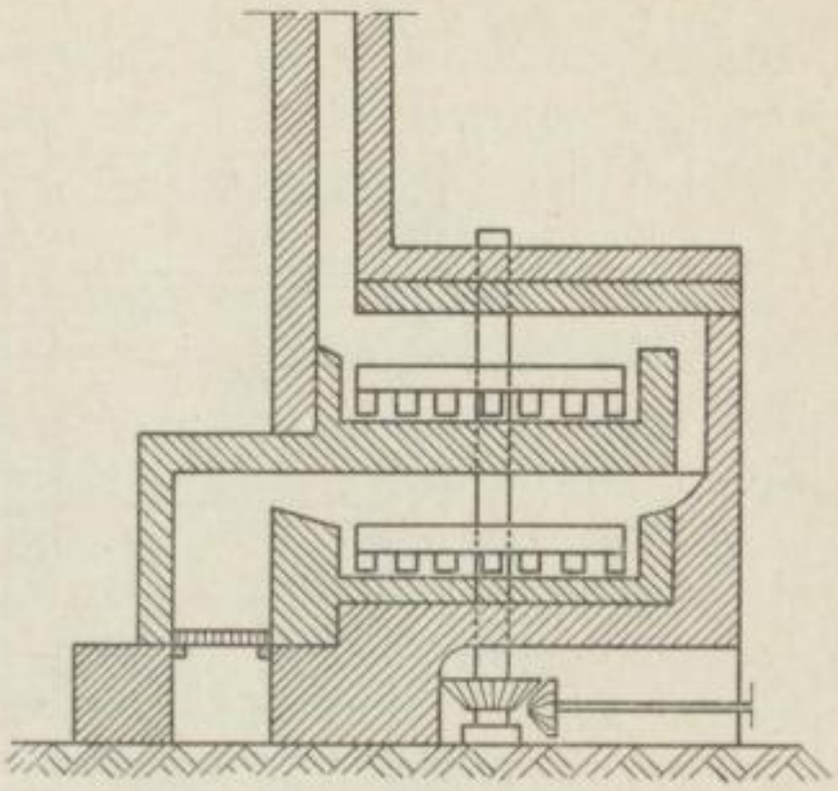


Bild 30. Parkes-Ofen

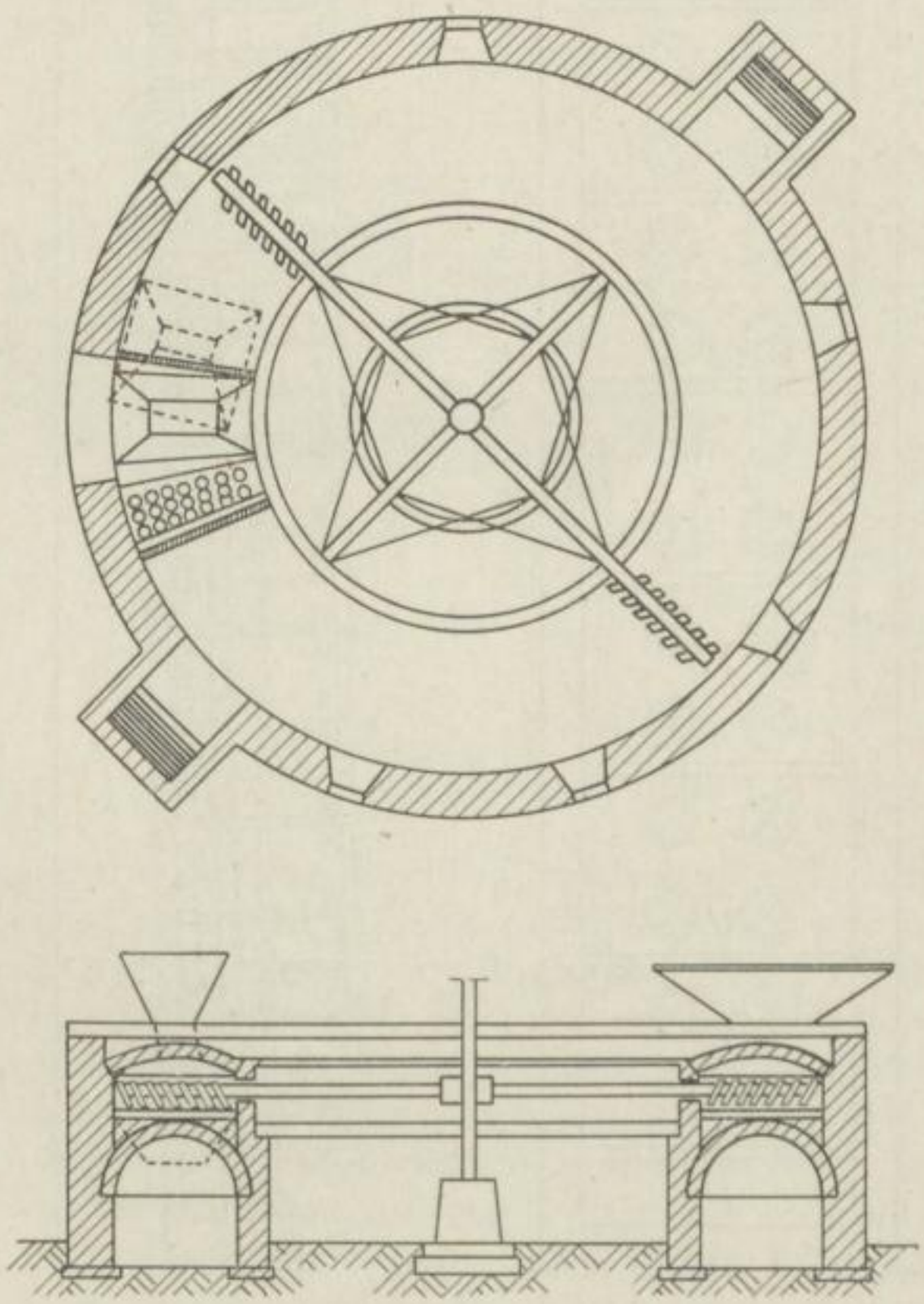


Bild 31. Pearce-Ofen

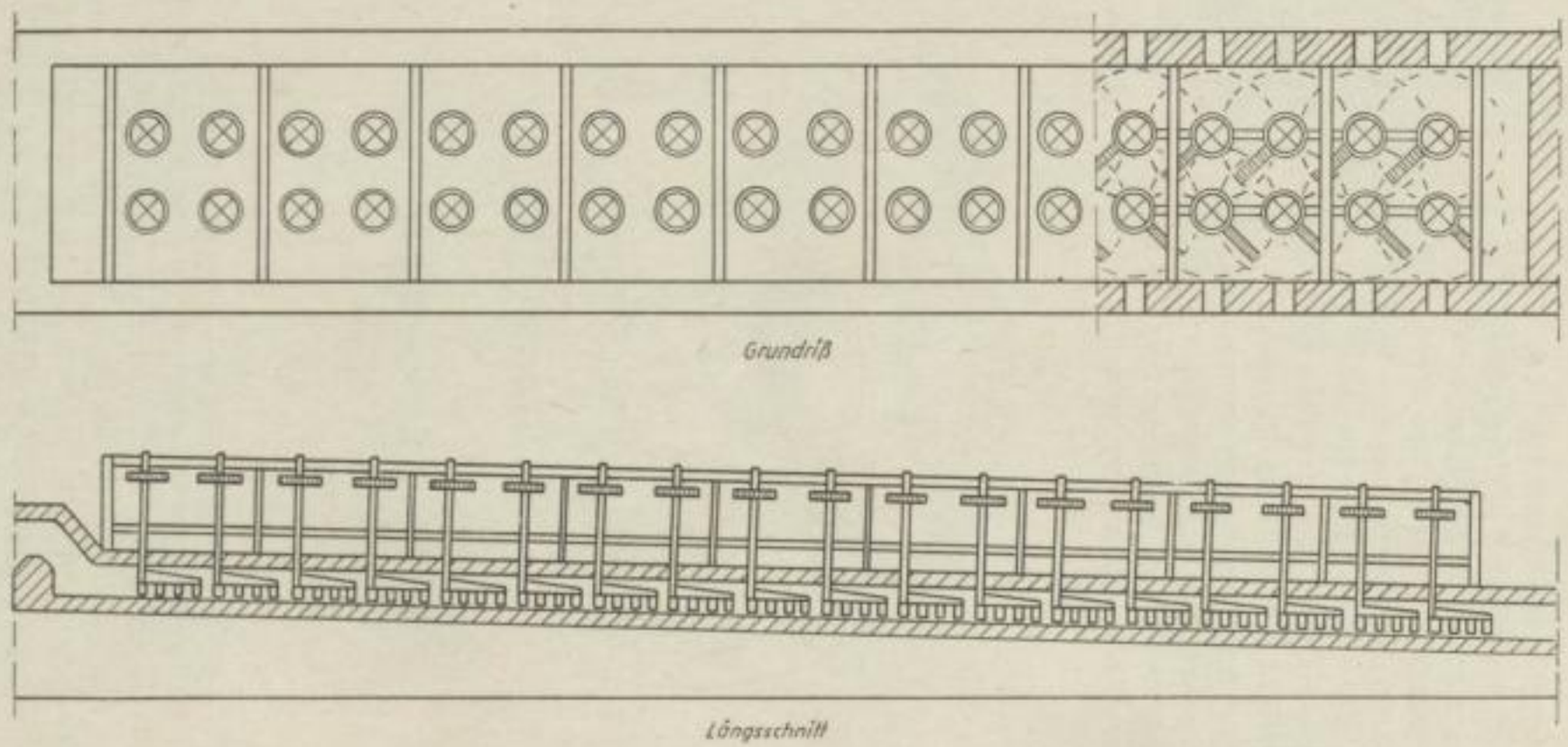


Bild 32. Edwards-Ofen

daß eine Feuerung vorhanden ist. Der Pearce-Ofen ist ein einherdiger Ringofen nach der Art der sogenannten Hufeisenöfen mit dem Unterschied, daß die Krählarme nicht von einem Seil- oder Kettenzug, sondern von einer im Zentrum des Ringes senkrecht stehenden Welle angetrieben werden.

Eine weitere Bauart der mechanischen Röstflammöfen, die als eine Kombination der Öfen mit rechteckigem Herd und der Öfen mit kreisförmiger Bewegung der Krählarme anzusehen ist, wird durch die Öfen mit einem oder mehreren rechteckigen, oft geneigten Herden verkörpert, auf denen der Transport und das Rühren des Röstgutes derart durchgeführt wird, daß mehrere in der Längsachse oder in zwei Reihen nebeneinander befindliche, sich um stehende Wellen drehende Krählarme so angeordnet sind und gegeneinander arbeiten, daß das Röstgut von Krählvorrichtung zu Krählvorrichtung weitergegeben wird. Zu dieser Bauart gehört der Ofen von Edwards (Bild 32).

Die genannten Flammofentypen besitzen ausnahmslos einen feststehenden Herd. Zu den mechanischen Röstflammöfen nach der Art der Telleröfen sind aber noch die Öfen mit beweglichem Herd und feststehenden bzw. beweglichen Krählen zu rechnen.

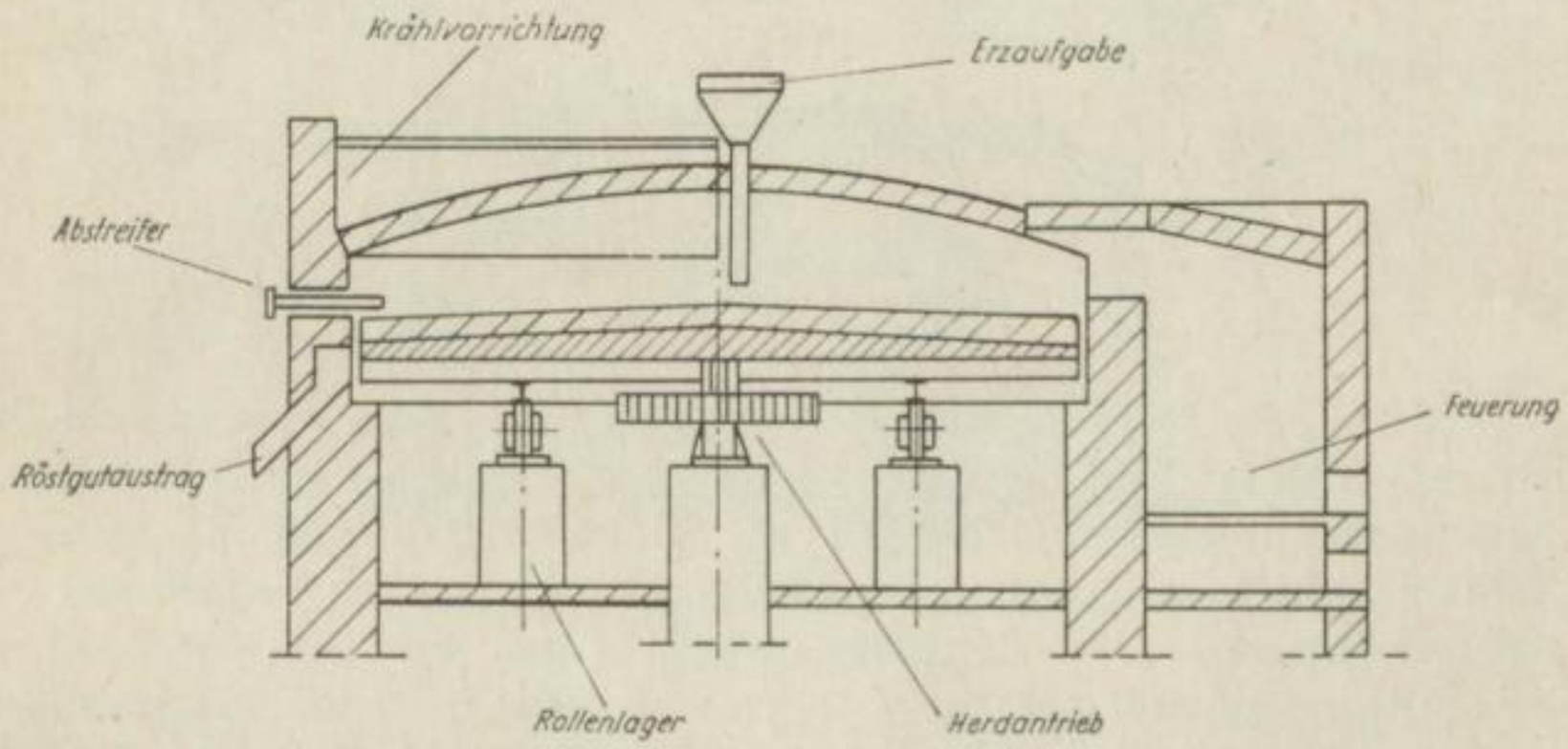


Bild 33. Huntington-Heberlein-Rundofen

Einen Röstapparat mit drehbarem Herd und feststehenden Krählen stellt der Ofen von Brunton und der daraus entstandene Einherdtellerofen von Huntington-Heberlein (Huntington-Heberlein-Rundofen) dar (Bild 33). Das zu röstende Gut wird etwas exzentrisch auf den von einer stehenden Welle getragenen runden Herd durch die Decke des Ofens eingetragen. Die Krähle sind in der Weise am Gewölbe befestigt, daß durch die Drehung des Herdes das Erz durchgekrählt und allmählich von der Mitte des Herdes nach der an der Peripherie liegenden Austragöffnung befördert wird. An der der Austragöffnung gegenüberliegenden Seite befindet sich die Feuerung.

Der Ofen von Gibbs und Gelstharp (Bild 34) ist außerdem noch mit einer beweglichen Krählvorrichtung ausgestattet. Das Durchkrählen der

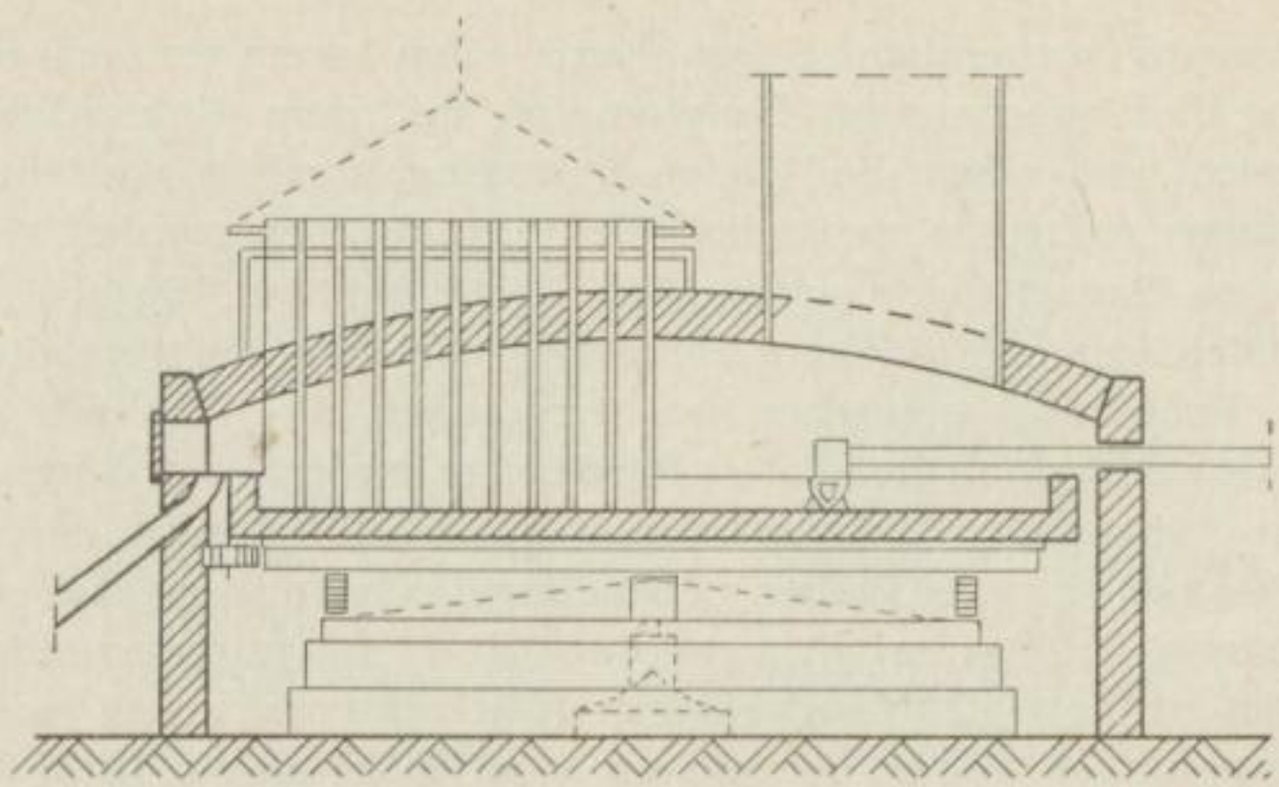


Bild 34. Gibbs- und Gelstharp-Ofen

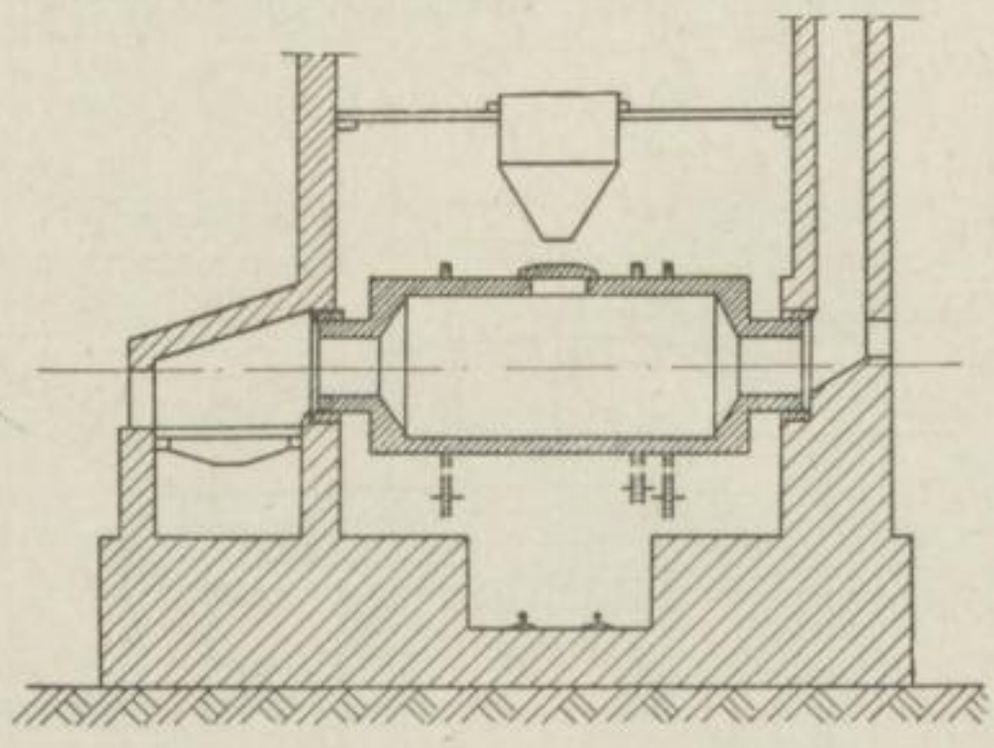


Bild 35. Bückner-Ofen (Trommelofen)

Beschickung geschieht hier durch ein an einer Stange befestigtes pflugartiges Krähleisen, das durch Maschinenkraft in radialer Richtung langsam vorwärts und rückwärts bewegt wird. Durch die gleichzeitige Drehung des Herdes und die Bewegung des Krähleisens wird das Röstgut hinreichend durchgerührt. Die Entleerung des Ofens geschieht mit Hilfe einer gitterartigen Vorrichtung, die nach beendeter Röstung durch das Gewölbe auf den Herd herabgelassen wird.

Schließlich ist noch eine sehr bedeutende Gruppe von Röst-Flammöfen zu nennen, die einen beweglichen drehbaren Arbeitsraum besitzen. Man versteht darunter im allgemeinen die drehbaren zylinderförmigen Flammöfen, die, sofern der Arbeitsraum aus einem im Verhältnis zum Durchmesser kurzen waagerecht gelagerten Zylinder besteht, als Trommelöfen bezeichnet werden und, sofern es sich um ein langes, meist schräg liegendes Rohr handelt, den Namen Drehrohrofen oder kurz Drehofen führen.

Bei dem horizontal liegenden Trommelofen von Brückner (Bild 35) geschieht das Ein- und Austragen der Beschickung durch eine verschließbare Öffnung im Mantel des Zylinders, die sich beim Füllen des Ofens oben befindet, während zum Entleeren des Ofens eine Drehung desselben um seine Längsachse bis zu maximal 180° notwendig ist. An dem einen Ende der Trommel befindet sich die Feuerung und an dem anderen Ende der in den Schornstein mündende, sich mit der Trommel drehende Fuchs. Da diese Öfen diskontinuierlich arbeiten, haben sie für das Rösten nur geringe Bedeutung.

Anders verhält es sich dagegen bei den kontinuierlich arbeitenden Drehrohröfen (Bild 36). Das zu röstende Gut wird hier am höher liegenden Ende des Drehrohres durch eine automatische Füllvorrichtung aufgegeben, wandert durch den sich langsam drehenden Ofen hindurch und wird am tiefer liegenden

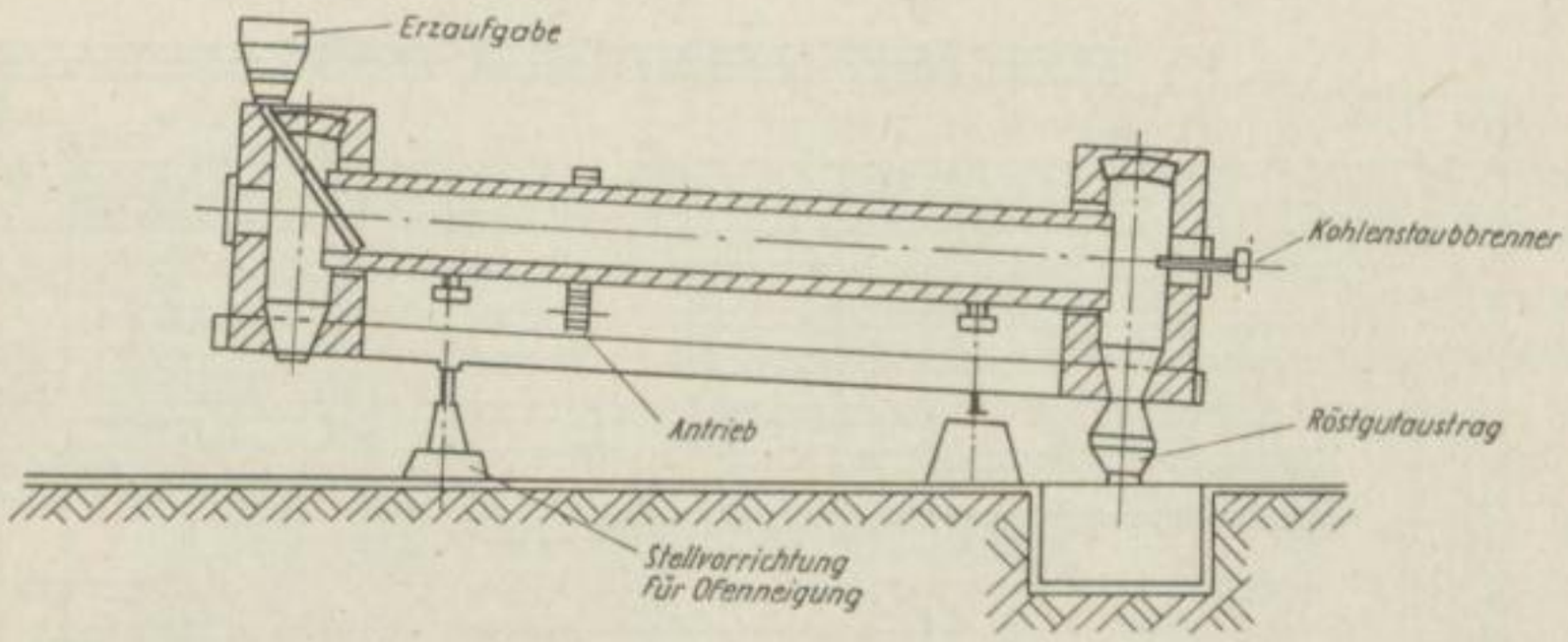


Bild 36. Drehrohrofen

Ende, wo sich auch die Feuerung befindet, ausgetragen. Um bei größeren Durchsätzen eine bessere Oxydationswirkung zu erreichen, wird bei dem Ofen von Debuch die Röstluft gleichmäßig und in genau regelbarer Menge über die ganze Ofenlänge durch geeignete Düsen zugeführt. Durch den Einbau von Wendeschaufeln wird weiterhin eine innigere Berührung des Luftsauerstoffes mit der Beschickung und durch die Anordnung von Stauringen eine längere Aufenthaltszeit des Erzes im Ofen herbeigeführt.

Bei der Abröstung von Sulfiden mit hoher Wärmetönung (z. B. bei FeS_2) in Drehrohröfen ist allerdings eine besondere Feuerung nicht nötig. Solche Öfen müßten dann eigentlich aus der Gruppe der Flammöfen ausscheiden und könnten vielleicht als Schachtöfen mit horizontaler oder geneigt liegender Ofenachse angesehen werden. Ähnliche Überlegungen wären dann allerdings auch für den ohne Feuerung betriebenen Wedge-Ofen und für den mit Feuerung betriebenen Parkes-Ofen anzustellen, die sich sonst in konstruktiver Hinsicht sehr ähnlich sind und gewöhnlich auch in der Gruppe der Etagen- oder Mehrherdtelleröfen zusammengefaßt werden. Da man bei den Röstöfen die Feuerung mehr als eine zufällige Einrichtung ansehen kann, wäre ihre Einteilung vielleicht nach anderen Gesichtspunkten zweckmäßiger. (Die bereits in Arbeit befindliche Systematik der Industrieöfen wird Klarheit in diese Angelegenheit bringen.)

3.212.3 *Gefäßflammöfen*

Eine weitere Gruppe von Flammöfen bilden die Gefäßflammöfen, die sich dadurch von den übrigen Ofentypen unterscheiden, daß sich zwischen dem Wärmgut und dem Brennstoff bzw. den Verbrennungsgasen die Wände eines Gefäßes befinden. Ist das Gefäß fest mit dem Ofenkörper verbunden, so bezeichnet man es als Muffel[2] und den Ofen als Muffelofen. (Handelt es sich um transportable Gefäße, so ist hierfür die Bezeichnung Tiegel üblich. Tiegelöfen spielen in der Rösttechnik jedoch keine Rolle.) Gefäßröstöfen bzw. Muffelröstöfen wurden besonders in der Zinkmetallurgie angewendet.

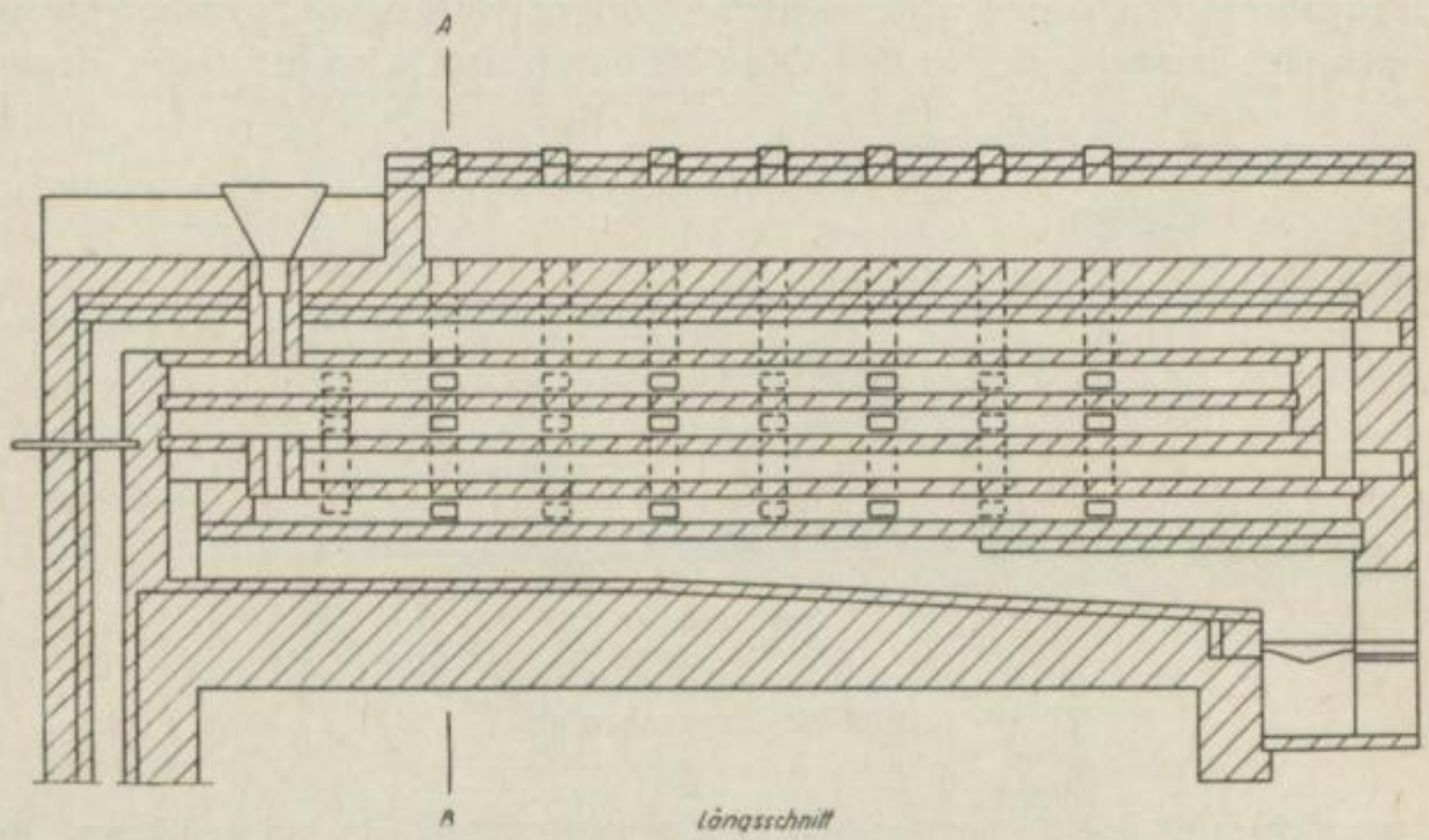


Bild 37a. Rhenania-Ofen

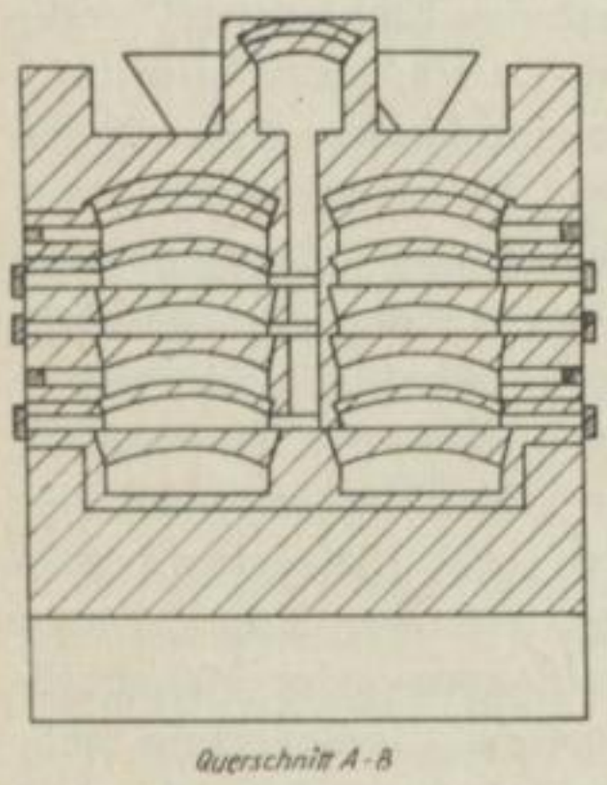


Bild 37b. Rhenania-Ofen

Bei den Gefäßflammöfen unterscheidet man Handfortschauflungsöfen mit rechteckigem und mechanische Krählöfen mit rundem Querschnitt. Der Handfortschaufler von Hasenclever, aus dem sich der sogenannte Rhenania-Ofen (Bild 37) entwickelt hat, besteht aus drei übereinanderliegenden gemuffelten Herden, von denen der unterste und der oberste beheizt werden. Ein Ofen vom Malétra-Typ ist der Ofen von Liebig und Eichhorn, dessen verbesserte Form der Delplace-Ofen (Bild 38) darstellt. Er besteht aus gewöhnlich zwölf kleinen zu einem Komplex vereinigten Einheiten mit je fünf bis sieben Herden.

[2] Die Begriffe „Muff", „Muffe", „Muffel" bedeuten soviel wie „gewölbte schützende Hülle".

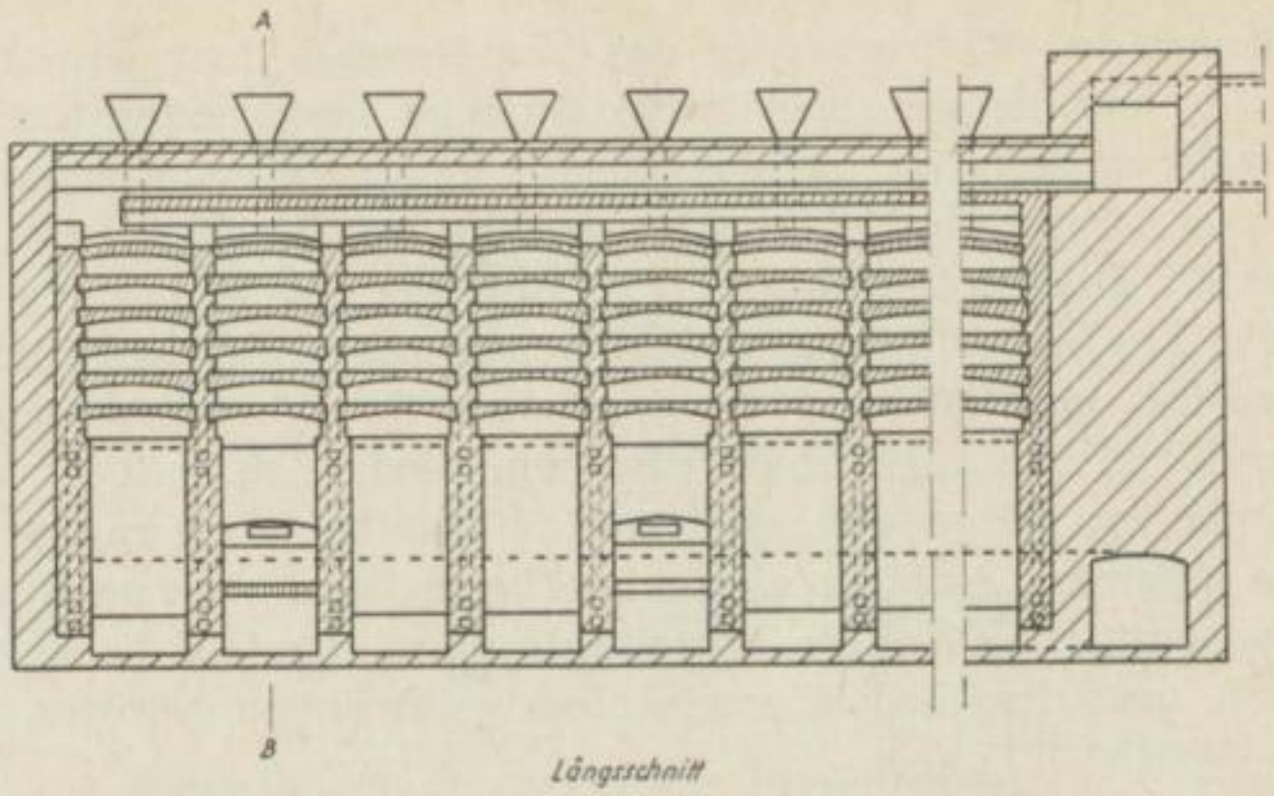


Bild 38a
Delplace-Ofen

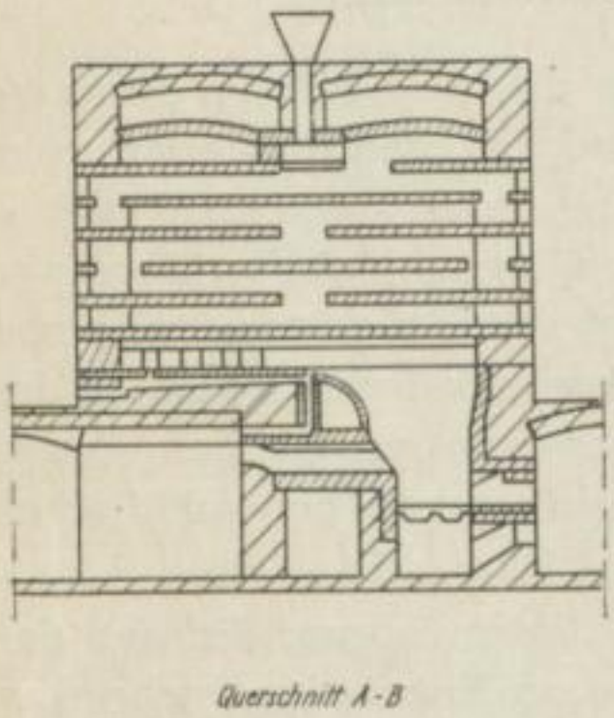


Bild 38b. Delplace-Ofen

Unter den mechanischen Muffelröstöfen hat sich der Spirlet-Ofen (Bild 39) besonders bewährt. Er stellt einen Mehrherdtellerofen mit gewöhnlich vier übereinander angeordneten Herden dar, von denen das Gewölbe des ersten (obersten) und dritten Herdes feststehen, während das Gewölbe des zweiten und vierten (untersten) Herdes mittels eines an der Peripherie der Herde angebrachten Zahnkranzes um die senkrechte Achse des Ofens gedreht wird. Der Ofen besitzt also im Gegen-

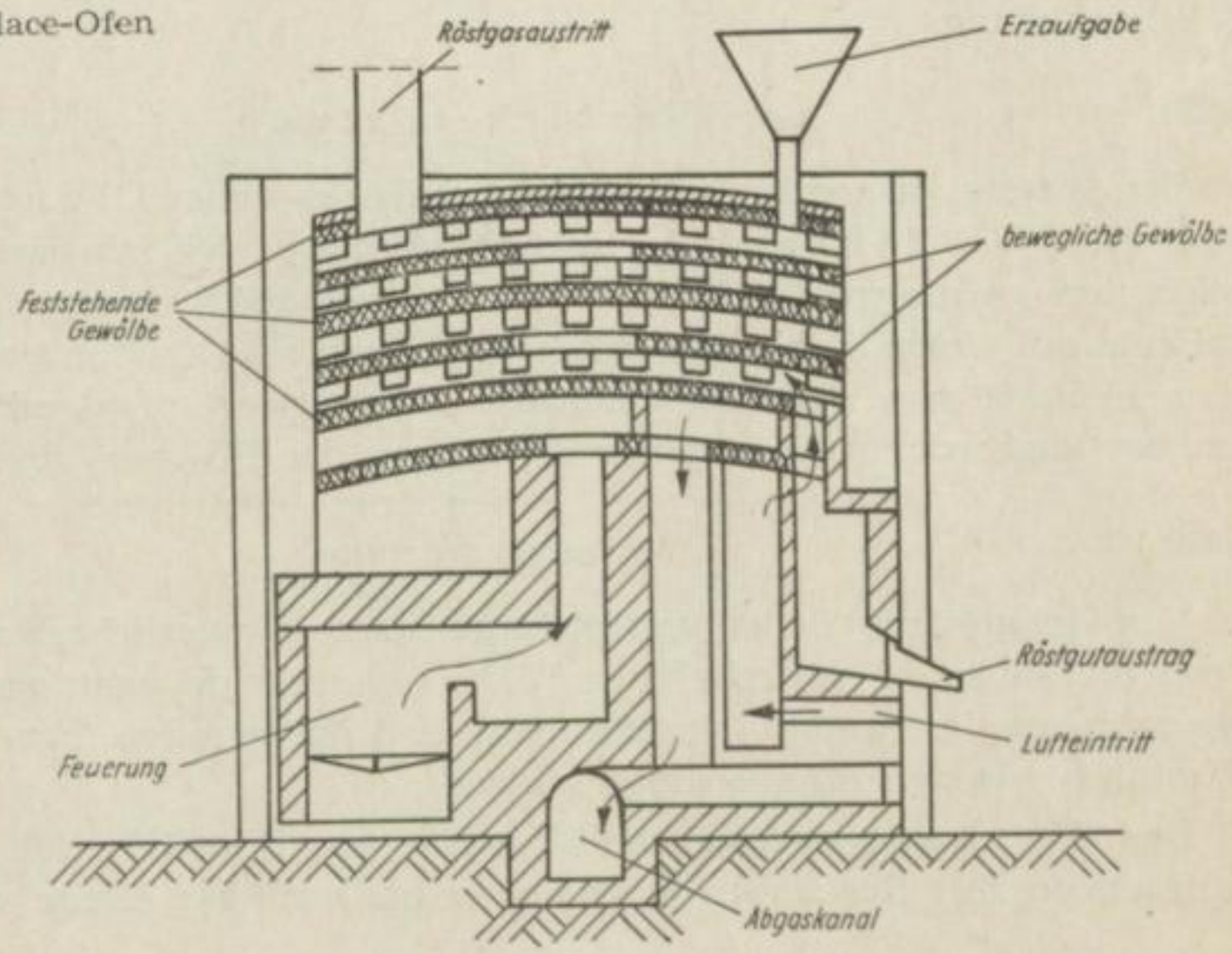


Bild 39
Spirlet-Ofen

satz zu den Mehrherdöfen des Mac-Dougall- bzw. Parkes-Types keine Mittelwelle, und die aus feuerfestem Material bestehenden Krähle sind in den Herdgewölben befestigt. Beheizt wird nur der unterste Herd, während für die Röstung auf den drei oberen Herden die bei der Oxydation freiwerdende Wärme genügt. Die Beschickung und Austragung des Röstgutes geht kontinuierlich vor sich. Die heißen Röstgase werden zur rekuperativen Vorwärmung der Oxydationsluft auf 450 bis 500° ausgenutzt. Der Vorteil dieser Bauweise besteht in der Möglichkeit, die Muffelhöhe sehr niedrig zu halten, wodurch die Reaktionswärme gut ausgenutzt wird und die Staubentwicklung gering ist. Dadurch, daß die gesamten Antriebsteile außen liegen, sind sie dem Einfluß der heißen Röstgase entzogen. Weitere Vorteile des Spirlet-Ofens sind geringer Brennstoff- und Kraftbedarf sowie niedrige Bedienungskosten.

3.22 Röstöfen für stückiges Endmaterial (Sinterapparate)

Eine Sonderstellung unter den Röstöfen nehmen die Sinterapparate ein. Sie sind, wie bereits erwähnt, gekennzeichnet dadurch, daß das feinkörnige Röstgut während des Röstvorganges durch Sinterung stückig gemacht (agglomeriert) wird. Die Sinterröstung verbindet also zwei technologische Vorgänge miteinander: erstens den physikalisch-technologischen der Stückigmachung von feinkörnigem Gut durch Sintern, und zweitens den chemisch-technologischen der Dissoziation von karbonatischen bzw. der Oxydation von sulfidischen Erzen. Weitgehend angewendet wird die Sinterröstung insbesondere bei sulfidischen Blei-, Zink- und Kupfererzen.

Man kennt im wesentlichen zwei Verfahren der Sinterröstung, die sich dadurch unterscheiden, daß die Oxydationsluft durch die zur Entzündung gebrachte Erzschicht geblasen oder gesaugt wird und spricht deshalb von Verblase- oder Saugzugröstung.

3.221 *Verblaseröstung*

Das älteste diskontinuierliche Verblase- oder Huntington-Heberlein-Verfahren wird in feststehenden oder fahrbaren, kippbar aufgehängten gußeisernen Sintertöpfen (Bild 40) durchgeführt. Das Röstgut ruht auf einem Siebboden, unter welchem die Röstluft mit einem Druck von etwa 10 bis 60 mm WS eingeblasen wird. Der Sintertopf ist mit einer heb- und senkbar angeordneten Haube zur Abführung der Röstgase abgedeckt.

3.222 *Saugzugröstung*

Von viel größerer Bedeutung ist heute das kontinuierliche Saugzug- oder Dwight-Lloyd-Verfahren. Hier unterscheidet man grundsätzlich wieder zwischen der runden (ringförmigen) und der geraden (bandförmigen) Ausführung sowie den Pfannensinteranlagen.

Der Tischapparat (runde Ausführung, Bild 41) stellt einen horizontalliegenden mit Roststäben ausgelegten und sich im Kreise drehenden Ring

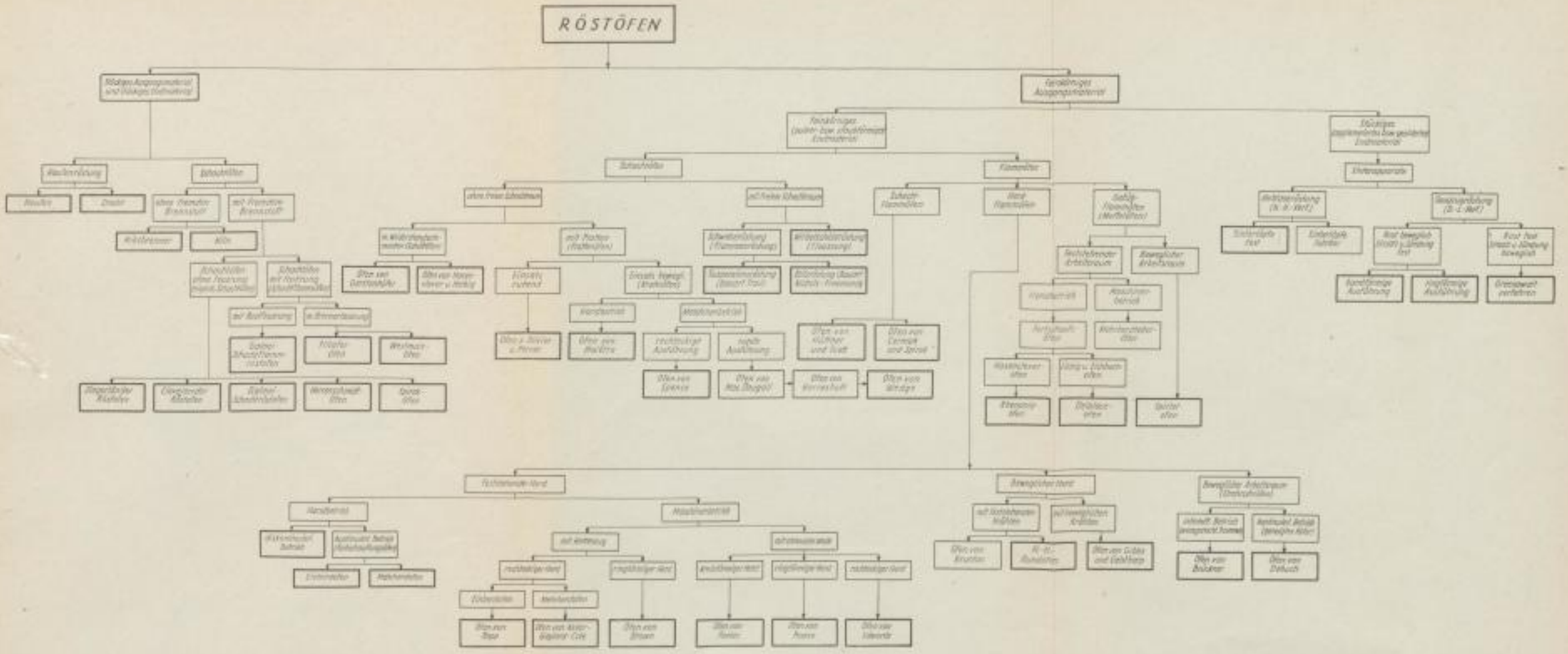


Bild 44. Systematik der Röstöfen

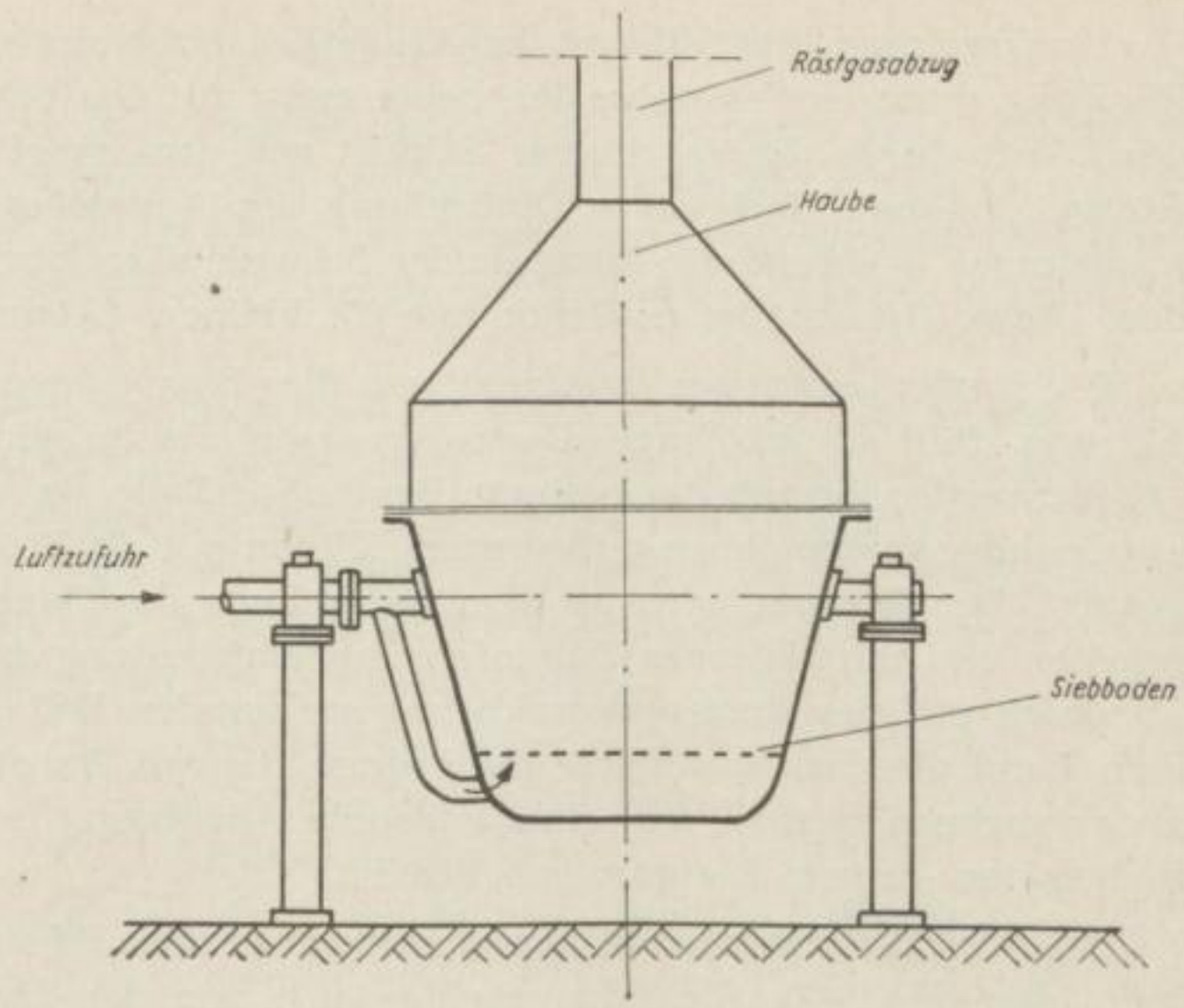


Bild 40
Huntington-Heberlein-Sintertopf

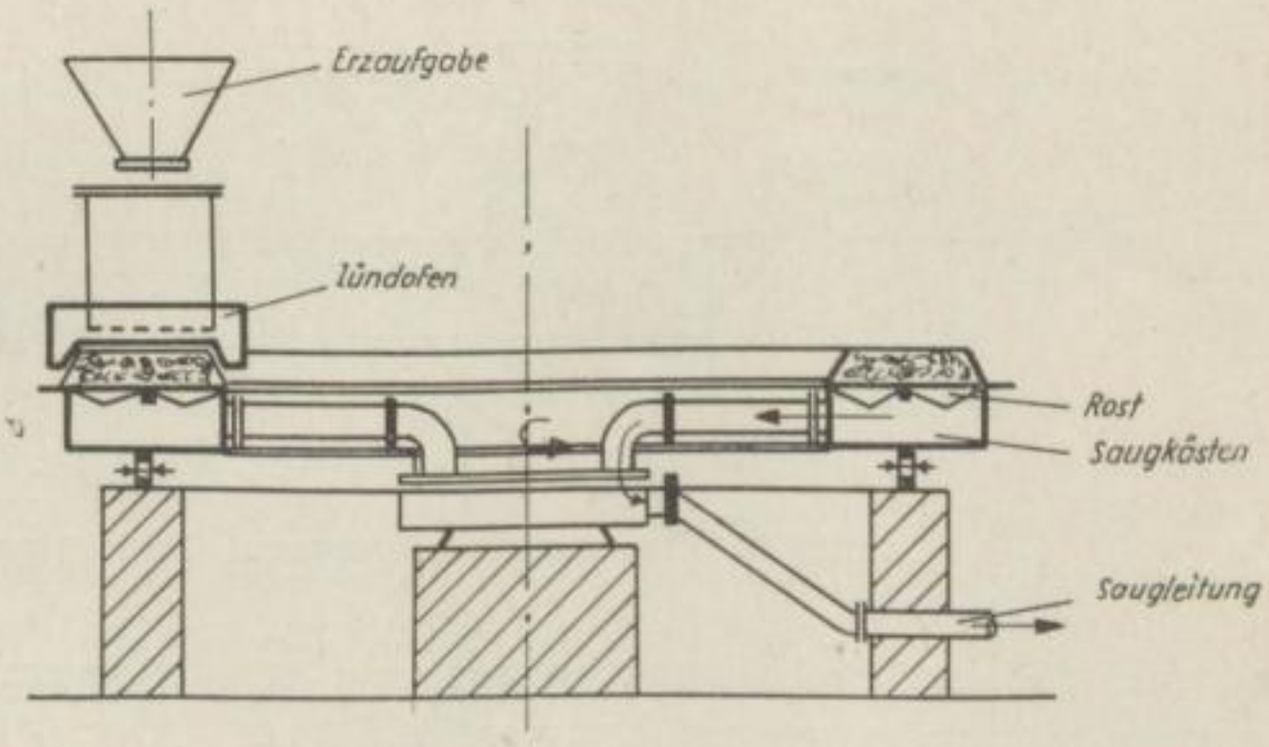


Bild 41
Dwight-Lloyd-Tischsinterapparat

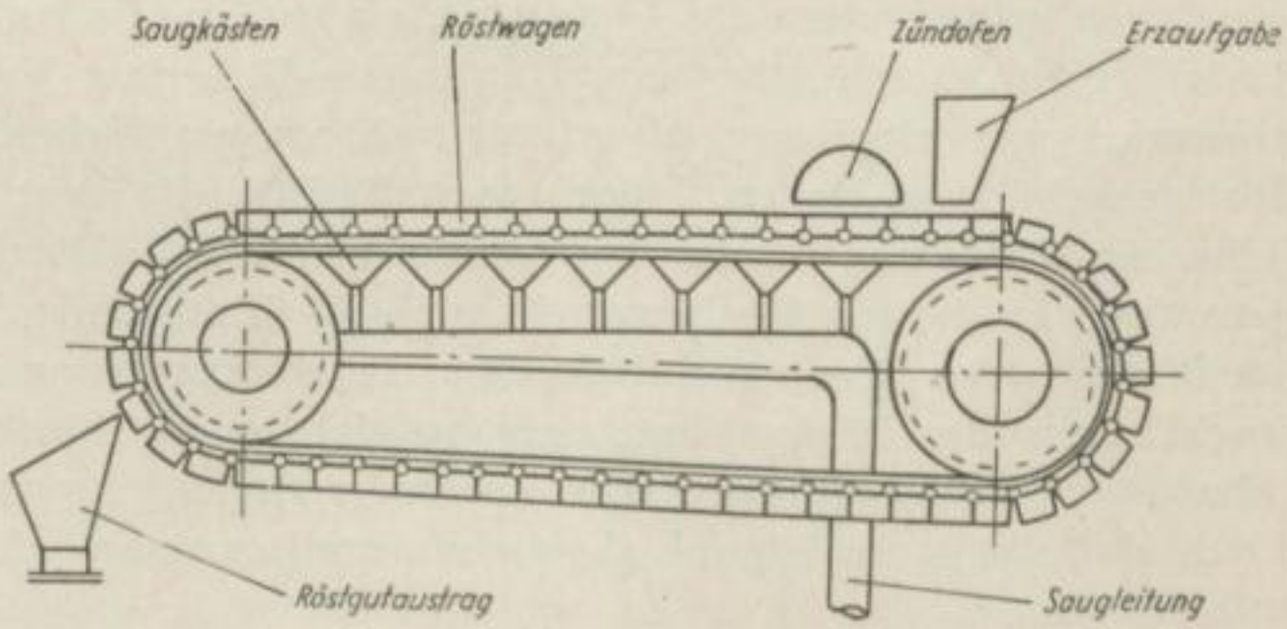


Bild 42
Dwight-Lloyd-Bandsinterapparat

dar, auf welchem das Röstgut kontinuierlich aufgebracht wird. Nach erfolgter Zündung, wozu ein feststehender, heute meist mit Gas beheizter Zündofen dient, wird Luft durch das in dünner Schicht auf dem ringförmigen Rost liegende Röstgut gesaugt. Nach einer Umdrehung des Apparates wird das Agglomerat ausgetragen, während die Röstgase der Schwefelsäurefabrikation zugeführt werden. Dieser Apparat ist natürlich nur für kleinere Leistungen geeignet.

Für große Leistungen kommen nur die Bandapparate (gerade Ausführung, Bild 42) in Frage. Diese Apparate, die in sehr großen Dimensionen gebaut werden, bestehen aus einem Band ohne Ende, das aus einzelnen, gelenkig miteinander verbundenen gußeisernen Kästen mit als Rost ausgebildetem Boden besteht. Das Röstgut wird an dem einen Ende des Bandes kontinuierlich aufgegeben und mittels eines Zündofens zur Entzündung gebracht. Zwischen dem Zündofen und der Austragsvorrichtung am unteren Ende des Bandes sind unter dem Band die Saugkammern angeordnet, die mit Exhaustoren derart miteinander verbunden sind, daß eine getrennte Abführung der anfangs SO_2-reichen und später -armen Röstgase möglich ist.

Eine dritte Saugzugsinterapparatur stellen die Pfannensinteranlagen dar (Bild 43). Sie unterscheiden sich von den Dwight-Lloyd-Apparaten

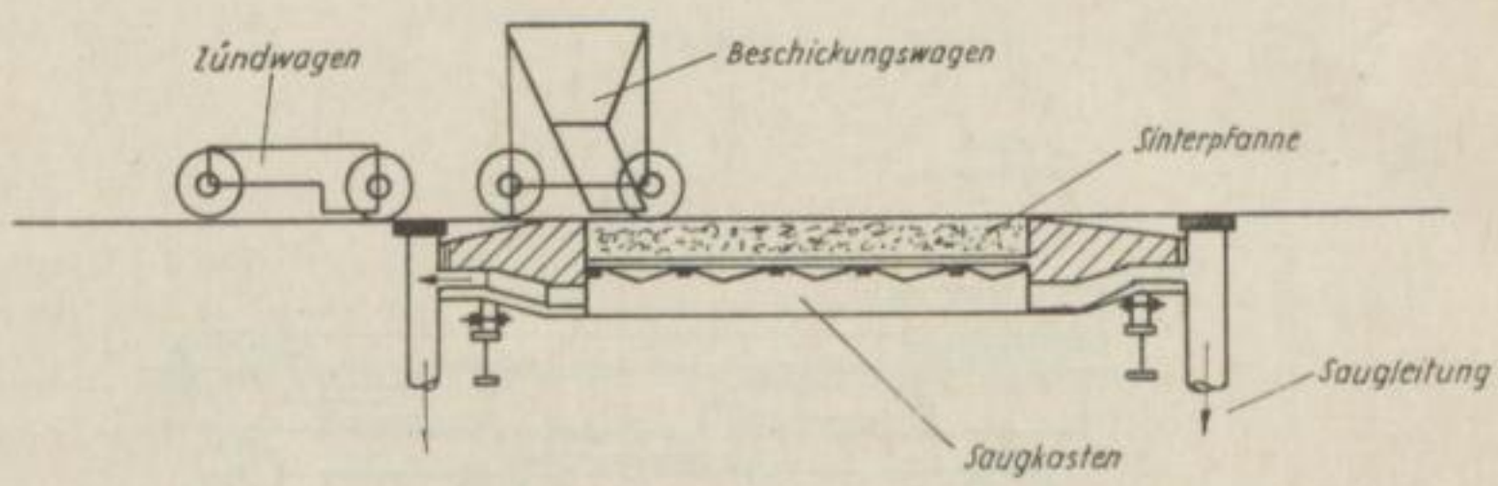


Bild 43. Greenawalt-Röstapparat (Sinterpfanne)

dadurch, daß ein Beschickungswagen und ein fahrbarer Zündofen über feststehende Sinterpfannen geführt werden.

Es sind im Laufe der Zeit verschiedene Ausführungen bekannt geworden, von denen insbesondere das Greenawalt-Verfahren zu nennen ist. Das Röstgut ruht, ähnlich wie beim Huntington-Heberlein-Verfahren, in einer feststehenden oder kippbaren, allerdings rechteckigen flachen Pfanne mit einem als Rost ausgebildeten Boden. Jedoch wird die Röstluft nicht wie beim Huntington-Heberlein-Verfahren hindurch geblasen, sondern hindurch gesaugt. Das besonders Neue an diesem Verfahren ist, daß die hintereinander angeordneten etwa nur 30 cm tiefen Pfannen mittels eines Beschickungswagens gefüllt werden und anschließend das Röstgut mittels eines fahrbaren Zündofens zur Entzündung gebracht wird. Das Röstgut wird entweder durch Kippen ausgetragen oder dadurch, daß die ganze Pfanne abgehoben und an einer dafür vorgesehenen Stelle entleert wird.

4 ZUSAMMENFASSUNG

Betrachten wir zusammenfassend die Ausführungen über „Röstprozesse und Röstapparate", wobei es dem Verfasser insbesondere darauf ankam, die große Mannigfaltigkeit der Röstöfen kurz beschreibend zu erfassen und, übersichtlich geordnet, in einem System darzustellen (Bild 44), so kommt man zu folgendem Ergebnis:

Alle Verfahren der Wärmebehandlung hüttenmännischer fester Stoffe (Erze) zu dem Zwecke, sie durch chemische Veränderung im festen Aggregatzustand in eine für die Weiterverarbeitung geeignete Beschaffenheit zu überführen, sollen als „Rösten" oder besser „metallurgisches Rösten" bezeichnet werden. Nach dem chemischen Charakter des Röstprozesses bzw. nach dem zur Anwendung kommenden Röstmittel sind zu unterscheiden:

oxydierendes (und sulfatierendes) Rösten,
chlorierendes Rösten und
reduzierendes Rösten.

Die Bezeichnung „Brennen" für die Dissoziation von karbonatischen Erzen ist der Einheitlichkeit der Benennung wegen zweckmäßiger durch die Bezeichnung

kalzinierendes Rösten

zu ersetzen.

Für die Durchführung von Röstoperationen spielt der physikalische Zustand des Ausgangsmaterials eine bedeutende Rolle. Da die Erze heute fast ausschließlich als aufbereitetes Konzentrat in feinkörniger Form vorliegen, haben Röstöfen, die nur für stückiges Ausgangsmaterial geeignet sind, nur noch untergeordnete Bedeutung. Für die Entwicklung und Systematik der Röstöfen ist ihre Kenntnis jedoch notwendig.

Bei den Röstöfen für feinkörniges Ausgangsmaterial sind nach dem physikalischen Endzustand des Röstgutes zu unterscheiden: Öfen, die ein pulverförmiges Endmaterial liefern (Pulverröstung), Apparate, bei denen durch gleichzeitige Sinterung ein stückiges Endmaterial anfällt (Sinterröstung).

Die Einteilung der sehr mannigfaltigen Öfen für Pulverröstung ist nach der in der Metallurgie üblichen Weise vorgenommen worden in

Schachtöfen,
Flammöfen und
Gefäßöfen.

Dabei hat sich allerdings gezeigt, daß es zweckmäßiger wäre, eine geeignetere Einteilungsweise zu wählen.

Unter den Schachtöfen haben zunächst die Öfen ohne freien Schachtraum größte Bedeutung erlangt. Sie haben sich bis zu den modernen mechanischen Großröstöfen, den sogenannten Etagen- oder Mehrherdtelleröfen des MacDougall-Typs entwickelt. Durch Fortlassung der mittleren Herde des Etagenofens und nach dem Vorbild der Verbrennung von Kohlenstaub in der Schwebe entstanden dann die Röstöfen mit freiem Schachtraum. Diese Röst-

verfahren sind unter dem Namen Schweberöstung oder Flammenröstung bekannt geworden. Zu den Schachtöfen mit freiem Schachtraum sind auch die nach dem Prinzip des Winkler-Generators gebauten Wirbelschicht-Röstöfen zu rechnen. Sie gehören zu den modernsten und zugleich leistungsfähigsten Apparaten der Rösttechnik.

Bei den Flammöfen wird eine Unterteilung in

Schachtflammöfen,
Herdflammöfen und
Gefäßflammöfen

für zweckmäßig gehalten.

Die Schachtflammöfen haben für die Pulverröstung wenig Bedeutung, wenn man nicht die eben genannten Schachtöfen mit freiem Schachtraum zu den Flammöfen rechnet. Diese arbeiten zwar nicht, wie die Flammöfen, mit einer besonderen Feuerung. Betrachtet man aber das bei der Schwebe- und Wirbelschichtröstung eingeblasene Röstgut gleichzeitig als Brennstoff, so liegen etwa die gleichen Verhältnisse vor wie bei den Schachtflammöfen.

Große Bedeutung haben dagegen die in den mannigfaltigsten Ausführungen vorliegenden Herdflammöfen erlangt. Die Herdflammöfen mit feststehendem Herd haben sich aus den handbetriebenen Fortschauflungsöfen über die mit Ketten- oder Drahtzug und schließlich mit stehender Welle arbeitenden Krählöfen entwickelt. Da sich die Herdflammöfen mit kreisförmigem Herd und stehender Welle von den Schachtöfen ohne freien Schachtraum mit kreisförmigem Querschnitt und stehender Welle nur durch die Feuerung unterscheiden, können diese Öfen gegebenenfalls auch zu den Schachtflammöfen gerechnet werden. Aus entwicklungsgeschichtlichen Gründen wird jedoch ihre Zuordnung zu den Herdflammöfen für besser gehalten.

Von den Herdflammöfen mit beweglichem Herd ist vor allem der Einherdtellerofen von Huntington-Heberlein mit feststehenden Krählen zu nennen, der besonders zum Vorrösten von bleihaltigen Erzen geeignet, aber durch den Etagenofen abgelöst worden ist.

Unter den Herdflammöfen mit beweglichem Arbeitsraum sind zu unterscheiden die Drehtrommelöfen mit kurzer waagerechter Trommel für intermittierenden Betrieb, die jedoch als Röstöfen heute kaum noch Bedeutung haben, und die Drehrohröfen mit langem geneigtem Rohr für kontinuierlichen Betrieb.

Was die Gefäßöfen betrifft, so werden sie in der Metallurgie richtig in einer selbständigen, den Schacht- und Flammöfen gleichwertigen Gruppe zusammengefaßt. Da die nach dem Gefäßprinzip arbeitenden und im allgemeinen als Muffelöfen bezeichneten Röstöfen aber ausschließlich mit einer Feuerung versehen sind, wird ihre Unterordnung in eine Untergruppe der Flammöfen für richtiger gehalten. Sie spielen vor allem in der Zinkmetallurgie eine Rolle.

Eine Sondergruppe unter den Röstapparaten stellen die Sinterapparate dar, die von feinkörnigem Material ausgehen und ein für viele Reaktionsprozesse geeignetes Agglomerat liefern. Die Sinterapparate zeigen eigentlich kaum die

Merkmale eines Industrieofens, weshalb für sie auch die Bezeichnung Ofen nicht angebracht ist.

Bei der Verblaseröstung nach Huntington-Heberlein, die in Sintertöpfen, zuweilen auch Konverter genannt, durchgeführt wird, tritt an Stelle des für den Industrieofen charakteristischen Ofenkörpers ein topfartiges Gefäß. Da nach erfolgter Zündung die in der Beschickung chemisch gebundene Wärme ausreicht, um den Röstprozeß zu Ende zu führen, fällt, wie bei den Röstschachtöfen, eine besondere Feuerung weg. Die Röstgase, die hier die Rolle der Verbrennungs- bzw. Abgase eines Ofens spielen, werden, wie bei jedem Industrieofen, durch eine entsprechende Vorrichtung abgeleitet. Es drängt sich deshalb die Frage auf, ob der Sintertopf, ähnlich wie der Konverter (Umwandler) zum Verblasen von Roheisen und Kupferstein, bei dem das umzuwandelnde Material, ebenfalls in einem Gefäß (Birne) befindlich, den zur Reaktion notwendigen Brennstoff enthält, zu den Industrieöfen zu zählen ist. Bei den Röstschachtöfen, sofern sie ohne zusätzlichen Brennstoff auskommen, wäre dann allerdings die gleiche Frage zu klären.

Den Industrieöfen noch unähnlicher sind die Apparate für die Saugzugröstung nach Dwight-Lloyd. Hier befindet sich das Röstgut weder in einem Ofenraum noch in einem Gefäß, sondern liegt frei auf einem sich langsam drehenden Tisch oder endlosen Band (Wanderrost). Ein offensichtlicher Behälter zur Aufnahme des Wärmgutes und eine Feuerung fehlen ganz.

Es soll im Rahmen dieses Aufsatzes dieses Problem nicht weiter verfolgt werden; denn so wie die Sinterapparate unter den Röstöfen eine Sonderstellung einnehmen, so nehmen schließlich die selbstgängigen Röstöfen, insbesondere die Schachtöfen, ebenfalls eine Sonderstellung unter den Industrieöfen ein. Die Frage wird in einer späteren Arbeit geklärt werden.

Die Verfahren zur Umwandlung von mineralischen Rohstoffen durch Wärmebehandlung ohne Änderung des festen Aggregatzustandes, die in der Metallurgie mit Rösten bezeichnet werden, haben, wie das aus der Entwicklung der Röstapparate nach verschiedenen Richtungen und aus der Mannigfaltigkeit der Ausführungen hervorgeht, eine hervorragende Bedeutung nicht nur in der metallurgischen, sondern auch in der chemischen Technik. Abgesehen vom kalzinierenden Rösten, das hauptsächlich in Zugschachtöfen (ohne Feuerung) oder in Schachtflammöfen (mit Rost- oder Brennerfeuerung) durchgeführt wird, geht man bei den übrigen Röstverfahren heute fast ausschließlich von feinkörnigem Ausgangsmaterial aus.

Für die Pulverröstung haben unter den Schachtöfen ohne freien Schachtraum die Etagenöfen ohne Zweifel zur Zeit noch die größte Bedeutung. Die aus diesen entstandenen Schachtöfen ohne freien Schachtraum, bei denen sich die Abröstung in der Schwebe vollzieht (Schweberöstung), stellen zwar einen Fortschritt in der modernen Rösttechnik dar. Wegen der kurzen Berührungszeit zwischen Röstgut und Röstluft ist jedoch eine Feinmahlung erforderlich, was bei der großen Härte der Erze mit hohen Mahlkosten verbunden ist. Diesen Nachteil weist

die Wirbelschichtröstung nicht auf. Dazu kommt noch als Vorteil die verhältnismäßig einfache Bauweise der Wirbelschichtröstapparate, die hohe, etwa zehnfache spezifische Leistung und die bedeutend bessere Energieausnutzung dieses Verfahrens. Die Wirbelschichtröstung verdient also in der Rösttechnik besonders starke Beachtung.

Unter den Röstflammöfen ist es vielleicht nur der moderne Drehrohrofen, der trotz seiner Nachteile Beachtung verdient.

Wünscht man, was häufig der Fall ist, ein stückiges Endmaterial, so kommt nur die Sinterröstung in Frage. Die unterbrechungslos arbeitende Dwight-Lloyd-Sinterbandanlage, die nur für große Leistungen geeignet ist, erfordert jedoch sehr hohe Anschaffungs-, Unterhaltungs- und Betriebskosten.

In dieser Arbeit, die natürlich keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, ist versucht worden, die für die Metallurgie wichtigen Röstöfen beschreibend zu erfassen und, übersichtlich geordnet, in einem System darzustellen (vgl. Bild 44). Solche Betrachtungen bilden die Grundlage für weitere Forschungsarbeiten auf dem fast unübersehbaren Gebiet der Industrieöfen. Der konstruktiv tätige Hüttenmann und der Wärmewirtschaftler müssen mit den apparativen Besonderheiten der Öfen vertraut sein, um die metallurgischen Prozesse mit einem Mindestaufwand an Brennstoff und Energie und mit bestmöglicher Ausnutzung der Rohstoffe durchführen zu können.

Literatur

[1] LEDEBUR, A.: Die Öfen für metallurgische Prozesse. 1878.

[2] SCHNABEL, C.: Handbuch der Metallhüttenkunde. I. Band 1894, II. Band 1896.

[3] SCHNABEL, C.: Lehrbuch der Allgemeinen Hüttenkunde. 1903.

[4] HILDEBRANDT, H.: Lehrbuch der Metallhüttenkunde. 1906.

[5] BORCHERS, W.: Hüttenwesen. 1908.

[6] GEITZ, A.: Metallurgie. I. und II. Band 1925 (Sammlung Göschen).

[7] RÖNTGEN, P.: Über den gegenwärtigen Stand des Metallhüttenwesens und seine voraussichtliche Weiterentwicklung. 1937.

[8] EUCKEN-JACOB: Der Chemie-Ingenieur. Band III, Teil 5, Kapitel IV: Hochtemperatur-Operation zur Verarbeitung fester Stoffe, Seite 274.

[9] Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie. Band I, Kapitel IV: Reaktionsöfen, Seite 776.

[10] WINNACKER-WEINGAERTNER: Chemische Technologie. Band I Anorganische Technologie 1950, Band II Anorganische Technologie 1950, Band III Metallurgie 1953.

[11] HENGLEIN, F. A.: Grundriß der chemischen Technik. 1949.

[12] TAFEL, V.: Lehrbuch der Metallhüttenkunde, Band I 1951, Band II 1953, Band III 1954.

[13] AWETISSJAN, CH. K.: Grundlagen der Metallurgie. 1951.

[14] MÜLLER, G.: Das Stückigmachen von Feinerz und Stäuben durch Sintern. Metallurgie und Gießereitechnik 1952, Heft 8.

[15] KIRCHBERG, H.: Magnetisierendes Rösten von Eisenerzen. Metallurgie und Gießereitechnik 1952, Heft 12.

[16] LÖSKUTOW, F. M.: Die Metallurgie des Zinks. 1953.

[17] LANGE, A.: Entwicklung und Probleme der modernen Rösttechnik. Freib. Forsch.-H. B 3, 1953.

[18] KAISER, R.: Das Magnesiumsulfatröstverfahren. Chemische Technik 1954, Heft 4.

[19] OST-RASSOW: Lehrbuch der chemischen Technologie. 1955.