Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Herausgeber: Eisenbibliothek

Band: 57 (1986)

Artikel: Der Übergang vom Stuckofen zum Flossofen aus metallurgischer Sicht

Autor: Köstler, Hans Jörg

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-378191

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Archäologie. Arb.-Gemeinsch. für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen, Reihe Naturwissenschaften, Nr. 91, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen 1961.

38 *Pleiner, R.: Eisenverhüttung in der «Germania Magna» zur römischen Kaiserzeit. 45. Ber. der Römisch-Germanischen Kommission 1964, Berlin 1965, S. 11/86, siehe bes. S. 64.*

39 *Malzacher, H.: Carinthia I, 160 (1970), S. 611/22.*

40 *Pleiner R.: Památky archeologické LX (1969), S. 458/87, siehe bes. S. 486/87.*

41 *Morton, G.R. u. Wingrove, J.: Steel Times, April 1970.*

42 *Schuster, W.F.: Das alte Metall- und Eisenschmelzen, Technologie und Zusammenhänge. Technikgeschichte in Einzeldarstellungen, Nr. 12 VDI-Verlag, Düsseldorf 1969.*

43 *Osann, B.: Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung. Verein Deutscher Eisenhüttenleute, Fachausschussbericht 9.001, Düsseldorf 1971, 170 S. u. Bildband.*

44 *Friede, H.M., Hejja, A.A., Koursaris, A. u. Steel, R.H.: Journ. South Afr. Inst. Min. Metall. 84 (1984), S. 285/97.*

45 *Aristoteles: Meteorologica IV-VIa (383a25-383b8), Übers. von H.D.P. Lee, ed. Loeb, London-Cambridge, Mass. 1962. Zitiert nach 2; vgl. 14, S. 81.*

Der Übergang vom Stuckofen zum Flossofen aus metallurgischer Sicht

Dr. Hans Jörg Köstler, Fohnsdorf

Im letztvergangenen halben Jahrtausend sind auf dem Gebiete der Eisenerzverhüttung und der Stahlerzeugung drei grundlegende Veränderungen vor sich gegangen:

- der Übergang vom Stuck-[1] zum Flossofen[2],
- die Verhüttung fast ausschliesslich mit Koks statt mit Holzkohle,
- die Einführung des Flussstahles anstelle des Schweissstahles[3].

Alle drei Massnahmen schufen nacheinander die Voraussetzungen für die zu Anfang des 19. Jhs. einsetzende Industrialisierung, die sich auch in einem enormen Gusseisen- und Stahlverbrauch ausdrückte. Dabei dürfte der allerdings wesentlich früher beginnenden und vielerorts sehr langsam platzgreifenden Erschmelzung flüssigen Roheisens anstatt der direkten Schweissstahlerzeugung die wichtigste Rolle zuzuordnen sein, denn erst der Floss- bzw. Hochofen[4] erlaubte eine Vervielfachung sowohl der spezifischen Ofenleistung als auch der Roheisenkapazität überhaupt.

Abb. 1 veranschaulicht zunächst die vom Eisenerz ausgehende Stahlherstellung auf direktem Weg (Rennfeuer/Schachtofen/Stuckofen-Ausheizfeuer) und auf indirektem Weg (Flossofen/Hochofen-Frischaggregat). Im ersten Fall entsteht eine ohne metallurgische Nachbehandlung niedriggekohlte, warmverformbare Luppe[5], während im anderen Fall (hochgekohltes) Roheisen erschmolzen wird, das zwecks Erzielung der Schmied- bzw. Walzbarkeit eines Frischprozesses bedarf. Die indirekte Stahlerzeugung bringt ausser grosser spezifischer Leistungen wirtschaftliche und qualitative Vorteile, welche ihrerseits die hochentwickelte Technologie aller Werkstoffe auf Eisenbasis ermöglicht haben.

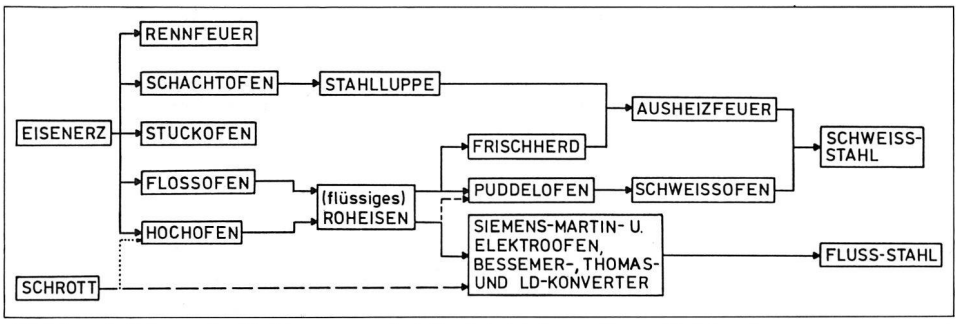

Abbildung 1: Schema der Stahlerzeugung (mit Berücksichtigung älterer Verfahren).

Vor Erörterung der metallurgischen Unterschiede zwischen Stuck- und Flossofenprozess sei die Herstellung eines Stuckes kurz dargestellt. Der 2–4 m hohe, schachtartige Ofen wurde nach Ingangsetzen der Blasbälge mit Holzkohle aufgeheizt und sodann mit Erz und Holzkohle begichtet. Während des Niedergehens der Beschikkung bildete sich im Gestell[7] eine Luppe (Stuck), die je nach Ofengrösse bzw. Gestelldurchmesser einige hundert Kilogramm oder gegen Ende des 18. Jhs. fast 2 Tonnen wog. Bei Prozessende stellte man die Bälge zur Seite, öffnete die Ofenbrust und zog mit einer Hakenkette, die sich auf einem wasserradbetriebenen Grindel aufwickelte, das heisse Stuck heraus, wie dies Abb. 2 zeigt. Das vor Weiterverarbeitung in Halbmasse geteilte Stuck enthielt ausser höchstens 1,5% Kohlenstoff keine nennenswerten Begleitelemente, jedoch viele Schlackeneinschlüsse. Der schlechte Reinheitsgrad, die ungleichmässige Kohlenstoffverteilung und die starke Porosität des Stuckes erforderten ein mehrmaliges Schmieden (Herausquetschen der Schlacke, Homogenisierung und Verdichtung), wofür die jeweilige Wiedererwärmung im Ausheizfeuer erfolgte.

Abbildung 2: Arbeiten beim Stuckofen: Herausziehen des Stuckes mit einer Kette (oben) und Teilen des Stuckes (Halbmasse). Ausschnitt aus einer mit 1613 datierten Zeichnung im Oberösterrichischen Landesarchiv, Linz (Donau). Nach E. Kurzel-Runtscheiner[6]

In heissgehenden Stucköfen – grössere Öfen mit günstigem Verhältnis Oberfläche/Inhalt und «scharf» blasenden Bälgen – entstand neben dem Stuck auch flüssiges Roheisen[8], das

fallweise direkt vergossen, meist jedoch zu Stahl gefrischt wurde. Bessere Gebrauchseigenschaften dieses Werkstoffes legten den Herstellungsweg Roheisen-Stahl generell nahe, so dass im hier näher betrachteten alpenländischen Raum während des 16. Jhs. eine Umstellung von Stuckauf Roheisenproduktion einsetzte[9], wofür natürlich Änderungen in Bau und Betrieb der Schmelzöfen erforderlich waren. Von Bedeutung für die neue Technologie erwies sich auch der geringere spezifische Holzkohlenverbrauch infolge besseren Wärmehaushaltes vor allem wegen des kontinuierlichen Schmelzbetriebes[10].

Der bereits angedeuteten Notwendigkeit höherer Temperaturen im Flossofen liess sich ausser durch schärferes Blasen auch durch Verengung des Gestelles gegenüber dem Stuckofen nachkommen, wodurch es zur Konzentrierung der Wärme in einem kleineren Gestellraum kommt. Aus den in Abb. 3 wiedergegebenen Beispielen geht der unterschiedliche Gestelldurchmesser deutlich hervor. Gestelldurchmesser und Brennstoffverbrauch können mit der Beziehung «Gestellbelastung» verknüpft werden, welche die Menge (oder Masse) des verbrannten Brennstoffes (hier Holzkohle), eine Zeiteinheit und die Gestellquerschnittsfläche enthält. Demnach müsste die Gestellbelastung des Flossofens grösser als jene des Stuckofens sein, damit es zu Aufkohlung und Verflüssigung des Eisens kommt.

Als aussagekräftiges Beispiel für diese Zusammenhänge erweisen sich die zu Anfang des 19. Jhs. in Krain (Slowenien) gleichzeitig betriebenen Stuck- und Flossöfen (Abb. 4), deren Gestellbelastung bei ca. 0,6 bzw. 2,6 m³ Holzkohle/h Schmelzzeit·m² Gestellquerschnittsfläche liegt. Weiters sind die Stucköfen wesentlich niedriger als die Flossöfen, in deren längerem Schacht bereits metallurgische Reaktionen ablaufen. Zu qualitativ gleichen Ergebnissen gelangt man bei Untersuchung der Öfen im Raume Hüttenberg in Kärnten (Abb. 5) sowie in Eisenerz beim Steirischen Erzberg (Abb. 6). Die Gegenläufigkeit von spezifischem Holzkohlenverbrauch einerseits und Schmelzleistung bzw. Gestellbelastung andererseits für die Eisenerzer Öfen ist als Ergebnis der intensiveren Verbrennung, der starken Windbeaufschlagung und des besseren Eisenausbringens im richtig dimensionierten Flossofen zu betrachten[15].

Das Bestreben, ausser Stuck möglichst viel Roheisen (Graglach) zu erzeugen, führte bei den Stucköfen zu einem grossen Holzkohlenverbrauch

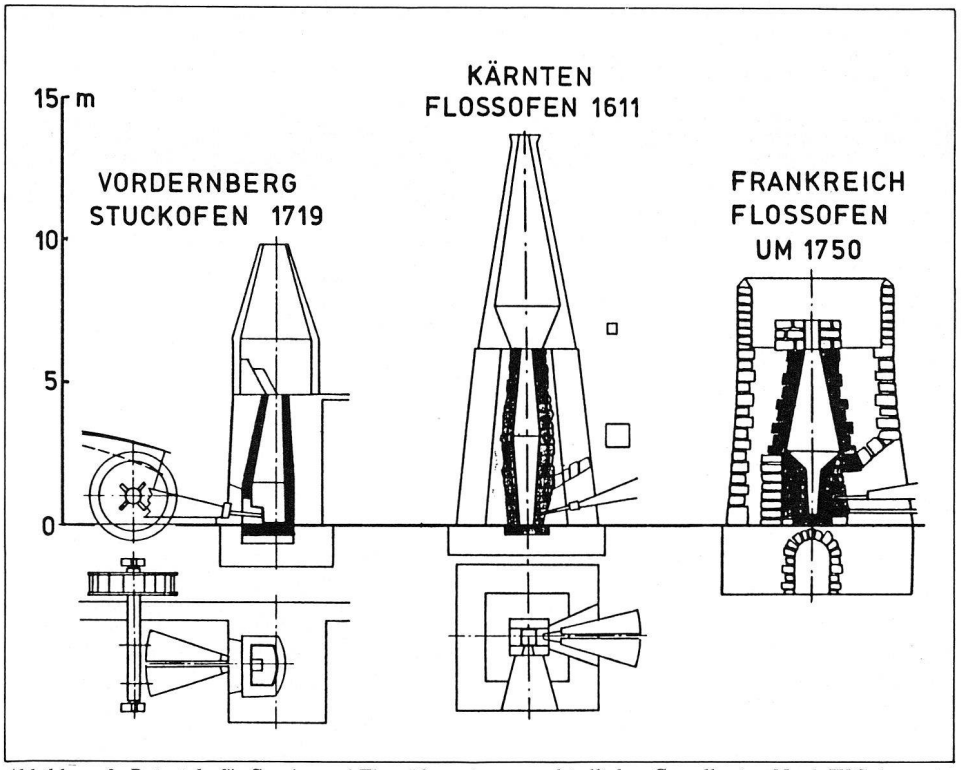

Abbildung 3: Beispiele für Stuck- und Flossöfen mit unterschiedlicher Gestellweite. Nach W. Schuster[11]

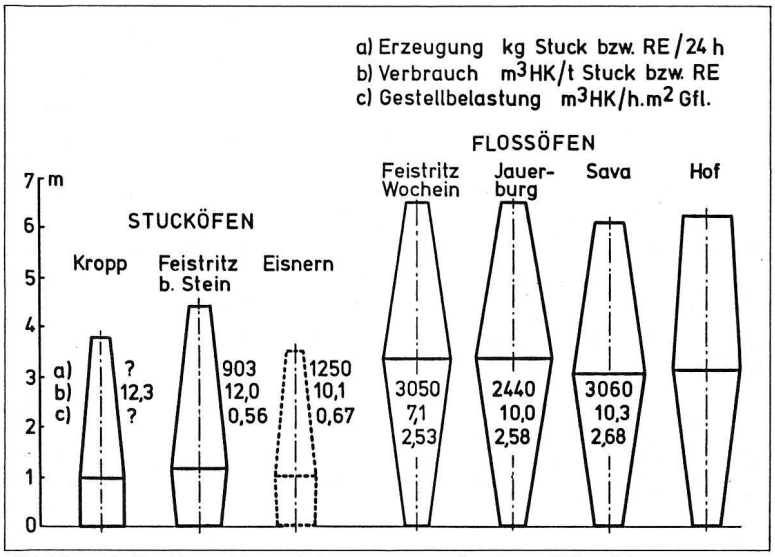

Abbildung 4: Profile und Betriebskennwerte von Stuck- und Flossöfen in Krain kurz vor 1810. Nach F. Marcher[12]

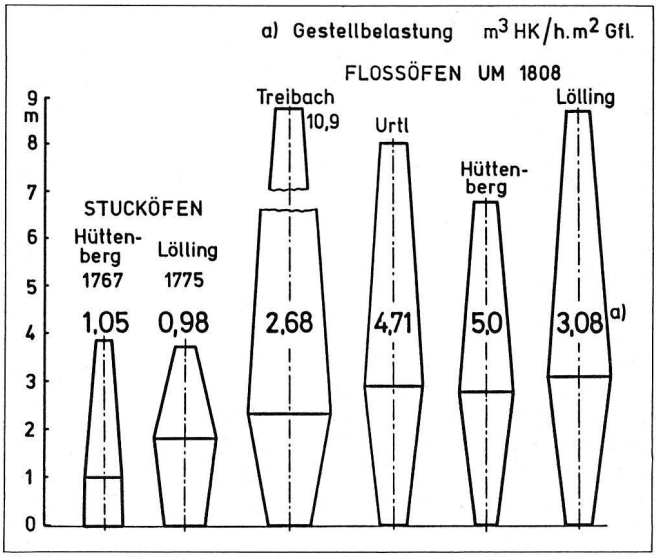

Abbildung 5: Profile von Stuck- und Flossöfen beim Hüttenberger Erzberg (Kärnten). Nach F. Münichsdorfer[13]

(16–22 m³/t Stuck und Roheisen), da man die Stucköfen (mit weitem Gestell) heiss betreiben musste. Gemäss Abb. 7 lag der Holzkohlenverbrauch der Hüttenberger Stucköfen bei viel geringerem Roheisenanteil um durchschnittlich ein Viertel niedriger als in Vordernberg. Andererseits veranlassten wirtschaftliche Vorteile die Gewerken, einen möglichst hohen Roheisenanteil zu erzielen, weil sich dadurch ihr Gewinn steigerte (Abb. 8). Einer generellen Umstellung standen aber der Wunsch eisenverarbeitender Betriebe nach Stuck und die schwierige Erlangung einer staatlichen Flossofenkonzession im Wege.

Die bereits angesprochene höhere Temperatur im engen Gestell des Flossofens ermöglicht eine Aufkohlung des Eisens und bewirkt dadurch eine Herabsetzung seines Schmelzpunktes bzw. seiner Liquidustemperatur sowie eine Verflüssigung. Da flüssiges Eisen ein verhältnismässig grosses Lösungsvermögen für Kohlenstoff aufweist, geht die Aufkohlung bis ca. 3,5–4,5%, d.h. in den Bereich des eutektischen Punktes im Eisen-Kohlenstoff-Schaubild (4,26%C; 1152°C). Im Gestell des Flossofens sammelt sich infolge hoher Temperatur und starker Aufkohlung flüssiges Roheisen; zwecks Vermeidung seiner Entkohlung durch Wind oder oxidierende Gase lässt man – im Gegensatz zum Stuckofen – die Schlacke nur knapp vor und/oder beim Roheisenabstich auslaufen.

Der Verhüttungsprozess zielt in erster Linie auf den Abbau des Sauerstoffs (Reduktion) im Wüstit (FeO) ab. Wie das Schaubild für die Temperaturabhängigkeit der freien Standardbildungsenthalpie für Metalloxide (Richardson-Diagramm, Abb. 9) angibt, nimmt diese Enthalpie mit steigender Temperatur zu, während jene des Kohlenmonoxids – des wichtigsten reduzierenden Stoffes – abnimmt, d.h. die Metalloxide werden instabiler, das Kohlenmonoxid wird stabiler. Dadurch wird eine Reduktion entweder erst möglich oder sie verläuft schneller oder weiter. Für die Eisenerzeugung im Floss- bzw. Stuckofen bedeutet dies ein umso besseres Ausbringen an Eisen und anderen Elementen (z.B. Silizium und Mangan), je höher die Temperatur der Reaktionspartner im Gestell liegt. (Darauf geht auch der

Zeit	Ofen \ Kenngröße		Verbrauch m³ HK / t Stk/RE	Erzeugung kg Stk/RE / 24 h	Gestellbelastung m³ HK / h. m² Gfl.
vor 1760	Stucköfen (Mittelwerte)		14,0	1800	0,9
1810	Floßöfen	Wendensteiner	13,2	2920	1,7
		Jungweißensteiner	11,3	3450	1,8
		Altweißensteiner	11,6	3700	1,8
	Hochöfen	Rupprecht	8,9	6890	2,5
		Wrbna	7,7	6740	2,2

Abbildung 6: Betriebskennwerte von Stuck-, Floss- und Hochöfen in Eisenerz (Steiermark). Nach B.I. Pantz und A.J. Atzl[14]

Kenngröße \ Ofen	Stuckofen in Hüttenberg 1767. Nach F. Münichsdorfer	14 Stucköfen in Vordernberg 1745. Nach P. Tunner
Stuck t	138	4510
Graglach t	8	1710
Wascheisen t	0	890
Erzeugung t	146	7110
kg G+W / t St	58	576
m³ HK / t Erzg.	14	(22) 16

Abbildung 7: Betriebskennwerte von Stucköfen in Hüttenberg (Kärnten) und in Vordernberg (Steiermark). Nach F. Münichsdorfer[16] *und P. Tunner*[17]

Kenngröße	STUCKOFEN	FLOSSOFEN
Eisenerz t	3,9	3,3
Holzkohle m³	25,6	19,1
Produkt	1 t Stuck	1 t Roheisen
Herstellkosten	100	77
Verkaufspreis	105	117
Gewinn	5	40

Abbildung 8: Stuck- und Flossofenbetrieb in Hüttenberg (Kärnten) im Jahre 1756. Nach F. Münichsdorfer[18]

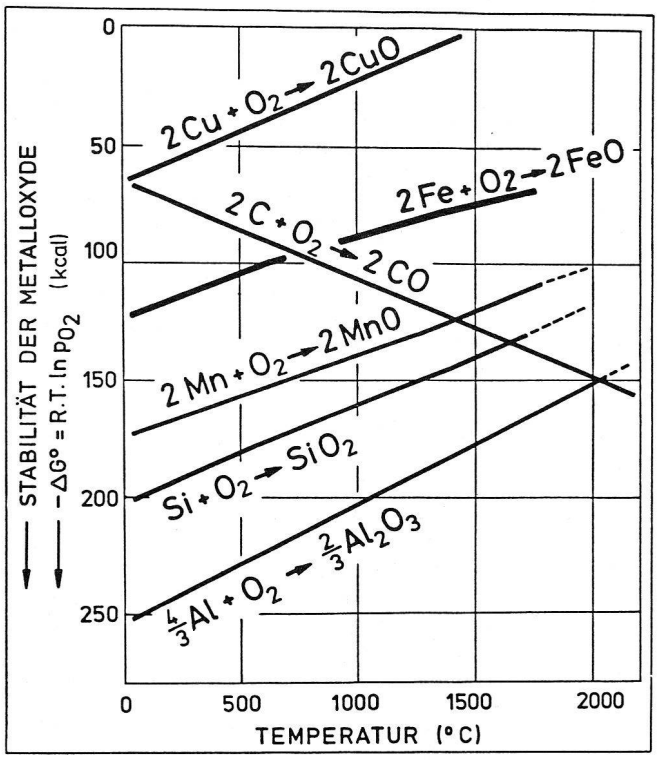

Abbildung 9: Temperaturabhängigkeit der freien Standardbildungsenthalpie ΔG° einiger Metalloxide und des Kohlenmonoxids (vereinfachte Darstellung). Nach E. Plöckinger und H. Straube[19]

hohe Eisengehalt der bei relativ niedrigen Temperaturen gebildeten Stuckofenschlacken zurück.) Die nun ebenfalls reduzierten Begleitelemente aus der Erzgangart gelangen in die flüssige Eisen-Kohlenstoff-Legierung, deren Liquidustemperatur sie weiter herabsetzen. Als Endprodukt von Reduzieren und Aufkohlen entsteht schliesslich Roheisen mit beispielsweise 4,0% Kohlenstoff, 1% Silizium, 2% Mangan, 0,1% Phosphor und 0,015% Schwefel.

Zusammenfassend ergibt sich, dass der Flossofenprozess im Ofenunterteil (Gestell) höhere Temperaturen erfordert, als sie im allgemeinen im Stuckofen auftreten; sie sind für Reduktion der Metalloxide und für die Aufkohlung des Eisens notwendig. Diese Temperaturen lassen sich durch ein kleineres Gestell sowie durch schärferes Blasen und etwas höheren Holzkohlensatz erzielen, wobei es infolge des günstigeren Wärmehaushaltes und des guten Eisenausbringens zu einem niedrigeren spezifischen Brennstoffverbrauch (m^3 Holzkohle/t Roheisen) kommt.

Anmerkungen

1 *Der Ausdruck «Stuck» (oder «Stück») leitet sich von dem im Ofen erschmolzenen «Stück Eisen» ab; der dafür ebenfalls übliche Begriff «Mass» stammt von «massa ferri»*

2 *Das flüssige Roheisen fliesst während des Abstiches aus dem Ofen und bildet bei Erstarrung eine «Flosse»*

3 *Die bei Prozessende teigige, poröse Luppe wird unter dem Hammer feuerverschweisst («Schweissstahl») und dabei verdichtet, während «Flussstahl» in flüssiger Form anfällt und zu Blöcken gegossen wird, die nach Erstarren im wesentlichen dicht sind*

4 *Eine scharfe Grenze zwischen Flossofen und Hochofen lässt sich nicht ziehen; i.a. gelten Eisenschmelzöfen mit höchstens ca. 8 m und Holzkohlenfeuerung als Flossöfen*

5 *Hier gleichbedeutend mit Stuck oder Mass*

6 *Erich Kurzel-Runtscheiner: Vier unbekannte Darstellungen zur Geschichte des österreichischen Eisenwesens. In: Beitr. Gesch. d. Eisenwesens in Oberösterreich I. Linz 1949, S. 18–23*

7 *Unterster Teil des Ofens*

8 *Im alpenländischen Raum nennt man das im Stuckofen erschmolzene Roheisen meist «Graglach»*

9 *Nach heutigem Forschungsstand wurde der erste österreichische Flossofen 1541 in Kremsbrücke (Liesertal/Kärnten) angeblasen*

10 *Zur Entnahme des Stuckes musste die Ofenbrust entfernt werden; dabei musste der Ofen leer sein, so dass der Betrieb längere Zeit unterbrochen war. Für den Roheisenabstich genügte das Öffnen des Abstichloches, wobei die Begichtung nur kurz oder gar nicht unterbrochen wurde*

11 *Wilhelm Schuster: Das alte Metall- und Eisenschmelzen, Technologie und Zusammenhänge. Technikgeschichte in Einzeldarstellungen Nr. 12. Düsseldorf 1969, Tafel 2 (Ausschnitt)*

12 *Franz Marcher: Notizen und Bemerkungen über den Betrieb der Hochöfen und Rennwerke. 1. Teil, 1. Abtlg., III. Heft (Krain), Tabelle III*

13 *Friedrich Münichsdorfer: Geschichtliche Entwicklung der Roheisen-Produktion in Kärnten. Klagenfurt 1873, Tafeln 1, 2, 7, 8 und 12*

14 *B. Ignaz Pantz und A. Josef Atzl: Versuch einer Beschreibung der vorzüglichsten Berg- und Hüttenwerke des Herzogthumes Steyermark. Wien 1814, S. 196*

15 *Rudolf Schaur: Streiflichter auf die Entwicklungsgeschichte der Hochöfen in Steiermark. In: Stahl u. Eisen 49 (1929), S. 489–498*

16 *Münichsdorfer, Geschichtliche Entwicklung..., S. 11*

17 *Peter Tunner: Betriebs-Resultate der Vordernberger Stücköfen vom Jahre 1745. In: Die st.-st. montanistische Lehranstalt zu Vordernberg, Jahrbuch III–VI (1843–1846), S. 411–413 Wascheisen: aus der Schlacke herausgelöste Roheisengranalien*

18 *Münichsdorfer, Geschichtliche Entwicklung..., S. 19*

19 *Erwin Plöckinger und Harald Straube: Die Edelstahlerzeugung – Schmelzen, Giessen, Prüfen. Wien–New York 1965, S. 57*

Aufgaben, Durchführung und Ergebnisse von Schmelzversuchen

Dr. Gerhard Sperl, Leoben

Einleitung

Die in diesem Rahmen diskutierten «Schmelzversuche» stellen nichts anderes dar als die sinngemässe Fortsetzung einer früher als «Probierkunst» bezeichneten Versuchsart, die im späten Mittelalter und der beginnenden Neuzeit dazu diente, einerseits die Zusammensetzung von Erzen und Gesteinen in kleinstem Massstab zu bestimmen, andererseits für die gefundene Erzart die beste metallurgische Behandlung zu sichern; das Alter dieser «Probierkunst» zu untersuchen, wäre eine reizvolle Aufgabe, man kennt allerdings bereits Rezepte aus der neuassyrischen Periode (ca. 7. Jh. v.Chr.), die als Probieranleitungen zu deuten sind.[1]

Wir wissen aber auch von Versuchen, die unserer heutigen Auffassung noch näher stehen, z.B. wenn Cosimo de' Medici um 1540 Versuche ausführen lässt, die Eisenerze des Festlandes der Toskana zu erproben, ob sie nicht das ihm schwerer zugängliche Erz aus Elba ersetzen könnten. Die Versuche gingen negativ aus.[2] Er musste sich auf Umwegen über die Gründung von Cosimopoli, dem heutigen Portoferraio, der wichtigen Erzlager, wenn auch nur auf Vertragsbasis, bemächtigen. Schmelzversuche im grossen Stil waren auch nötig, als man in Kärnten und im Gebiet des Steirischen Erzberges um 1760 die Umstellung von der direkten zur indirekten Eisenerzeugung im Flossofen vornahm.[3] Überhaupt ist die industrielle Revolution auf dem Gebiet des Eisenwesens ohne Schmelzversuche nicht denkbar und noch heute sind diese Grundlagen metallurgischer Neuerungen, man denke an den in Österreich 1949 zur Betriebsreife entwickelten LD-Prozess.[4]

Zur Rekonstruktion historischer Prozesse wurde der Schmelzversuch erstmals 1877 von Gundacker Graf Wurmbrandt[5] angewandt. Nicht bei jedem Schmelzversuch der letzten Zeit ist allerdings eine Mitteilung wie seine möglich: «Es genügt zu sagen, dass wir nach 26 Stunden löschten und nach Abzug der Schlacken bei 12 Pfund Eisen gewonnen hatten, welches, und dies muss hier hervorgehoben werden, nicht die Eigenschaften des Roheisens, sondern die des guten Schweisseisens verriet. Ich liess sofort ohne irgend einen weiteren Prozess eine Reihe von Proben ausschmieden, worunter Waffen, Stangen, usw...».[6]

Über Schmelzversuche dieser Art wurde bereits in diesem Raume vor mehreren Jahren diskutiert und eine gute Zusammenstellung darüber publiziert.[7] Zahlreiche Berichte gibt