Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 74 (1956)

Heft: 11

Artikel: Die Verwendung von Sauerstoff in der Metallurgie, insbesondere zum Stahlfrischen

Autor: Stauffer, W. / Keller, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-62587

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: 11.07.2025

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

Die Verwendung von Sauerstoff in der Metallurgie, insbesondere zum Stahlfrischen

Von Obering. **W. Stauffer** und Dr.-Ing. **A. Keller**, Zürich

DK 669.184

1. Allgemeines über das Stahlfrischen

So gross seit jeher die Anstrengungen waren, Stahl auf direktem Wege, d. h. in einem einzigen Prozess aus dem Eisenerz herzustellen, und so mannigfaltig die entsprechenden denkbaren und praktisch erprobten Wege sind, so gering ist heute noch der Anteil des dieser Art erzeugten Stahles an der gesamten Erzeugungsmenge. Keines der heute in Gebrauch stehenden oder vorgeschlagenen Verfahren zur direkten Stahlgewinnung bietet Aussicht, das indirekte Verfahren in absehbarer Zeit zu verdrängen. Infolge dieser überragenden Bedeutung des Stahlherstellungsverfahrens über das Roheisen verdienen die Frischverfahren, die den zweiten Abschnitt auf dem Weg zum Stahl darstellen, wesentliche Beachtung.

Das im Hochofenprozess durch Reduktion hergestellte Roheisen weist 6 bis 10 % Beimengungen und Verunreinigungen auf, die im Frischprozess durch Oxydation auf einen Gehalt von etwa 0,3 % entfernt werden müssen, um einen Stahl mit allen erforderlichen Qualitäten zu erhalten. Die durch das Frischen bewirkte Veränderung der chemischen Zusammensetzung geht aus den in den Tabellen 1 und 2 zusammengestellten Beispielen hervor.

Das Stahlfrischen wird entweder im Siemens-Martin-Ofen oder im Konverter durchgeführt. Beim Siemens-Martin-Ofen wird, je nach den Einsatzstoffen, nach dem Roheisen-Erz-Verfahren oder dem Roheisen-Schrott-Verfahren gearbeitet; die Oxydation der zu entfernenden Elemente geht verhältnismässig langsam vor sich, so dass eine Charge 5 bis 8 Stunden beansprucht. Je nach Ofengrösse schwanken die Einsatzgewichte zwischen 20 und 600 t. Das Siemens-Martin-Verfahren liefert Stähle von guter Reinheit, d. h. mit niedrigem Gehalt an Phosphor, Schwefel und Stickstoff und eignet sich auch gut zur Herstellung von Edelstählen, d. h. besonders legierter Stähle. Der Konverter benötigt im Gegensatz zum Siemens-Martin-Ofen zur Durchführung des Frischprozesses keinen Brennstoff, da das Warmhalten der Charge und die Erhöhung der Temperatur vom Schmelzpunkt des Roheisens auf denjenigen des Stahles durch die Oxydation der Begleitelemente selbst erfolgt. Der Konverterinhalt beträgt etwa 30 t, die Chargendauer ist mit etwa 20 Minuten wesentlich geringer als beim Siemens-Martin-Ofen, so dass hohe Tagesleistungen von etwa 2000 t resultieren. Der Reinheitsgrad der im Konverter gefrischten Stähle ist etwas geringer als derjenige aus dem Siemens-Martin-Ofen. Der Schwefel- und Phosphorgehalt ist etwas und der Stickstoffgehalt ziemlich viel höher wegen der direkten und intensiven Luftberührung während des Frischens. Am Schluss des Frischens ist bei allen Verfahren zur Entfernung des Sauerstoffs, der im Stahl hauptsächlich in Form von FeO vorhanden ist, und sich bei der Warmverarbeitung ungünstig auswirken würde (Rotbruch des Stahles), eine Desoxydation mittels Mangan in Form von Ferromangan oder Spiegeleisen durchzuführen und gelegentlich auch noch eine Beruhigung mittels Aluminium, um die letzten Reste Sauerstoff zu entfernen.

Das Arbeiten im sauren Konverter (Bessemerverfahren) wird in Europa nur noch vereinzelt durchgeführt. Seine Anwendung beschränkt sich in erster Linie auf die USA und Russland. Stark verbreitet ist hingegen das basische Verfahren (Thomasverfahren), bei dem die Ausfütterung des Konverters aus gebranntem Dolomit besteht und wo eine basische Schlacke aufgegeben werden kann, die fähig ist, die Phosphorsäure aufzunehmen, so dass im Gegensatz zum Bessemerverfahren hier eine Phosphorentfernung aus dem Stahl möglich ist. Deshalb ist das Thomasverfahren der geeignete Windfrischprozess zur Verarbeitung der aus den europäischen Erzen hergestellten Roheisen, welche mit wenigen Ausnahmen reich an Phosphor sind.

Bei den Windfrischverfahren werden unter der Einwirkung des von unten eingeblasenen Windes die Eisenbegleiter Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor, Schwefel und auch gewisse Mengen Eisen in ihre Oxyde übergeführt und so als Gas entfernt oder in die Schlacke übergeführt. Die durch diese Verbrennung gelieferte Wärme deckt den gesamten Bedarf des Verfahrens und gestattet vielfach noch, beschränkte Mengen Schrott miteinzuschmelzen. Der Wärmehaushalt beim Thomasprozess mit einem üblichen Thomasroheisen stellt sich etwa gemäss Tabelle 3.

Tabelle 1. Veränderung der chemischen Zusammensetzung beim Frischen im Siemens-Martin-Ofen

	Ungefähre Zusammensetzung in Gewichtsprozenten	
	Stahlroheisen	fertiger SM-Stahl
Kohlenstoff . .	4,5	0,10
Silizium . . .	0,7	Spuren-0,6
Mangan . . .	3,0	0,40
Phosphor . . .	0,08	0,04
Schwefel . . .	0,04	0,04
Stickstoff . . .	0,006	0,006

Tabelle 2. Veränderung der chemischen Zusammensetzung beim Frischen im basischen Konverter

	Ungefähre Zusammensetzung in Gewichtsprozenten	
	Thomasroheisen	fertiger Thomasstahl
Kohlenstoff . .	3,6	0,10
Silizium . . .	0,4	Spuren-0,6
Mangan . . .	1,0	0,40
Phosphor . . .	2,0	0,07
Schwefel . . .	0,06	0,05
Stickstoff . . .	0,006	0,015

Tabelle 3. Wärmebilanz beim Thomasprozess

Wärmeeinnahmen:				
I	durch Oxydation von C zu CO und CO_2		33,1 %	
	durch Oxydation von Si		5,7 %	
	durch Oxydation von Mn		5,0 %	
	durch Oxydation von P		30,8 %	
	durch Oxydation von S		0,1 %	
	durch Oxydation von Fe zu Fe_3O_4		11,0 %	85,7 %
II	durch Verschlackung von SiO_2 und P_2O_5			14,3 %
				100 %
Wärmeausgaben:				
I	Erwärmung der Luftbestandteile und Verbrennungsgase:			
	Erwärmung von Sauerstoff (und CO + CO_2)	8,0 %		
	Erwärmung von Stickstoff	30,3 %		
	Erwärmung und Zersetzung von Wasser	4,1 %	42,4 %	
II	Erwärmung des Kalks, Austreiben von Wasser und Kohlendioxyd		21,6 %	
III	Erwärmung der Schlacke auf Stahltemperatur		7,5 %	
IV	Erwärmung des Eisen- bzw. Stahlbades auf Endtemperatur		18,0 %	
V	Wärmeverlust durch Strahlung u. Leitung		5,5 %	95,0 %
Zum Einschmelzen von Schrott verbleibt eine Wärmemenge von				5,0 %

Ueber den Zeitpunkt und die Reihenfolge der Oxydation der Begleitelemente gibt Bild 1 Auskunft. Es ist zu beachten, dass die Verbrennung der einzelnen Eisenbegleiter nicht gleichzeitig erfolgt, insbesondere, dass die Hauptverbrennung des Phosphors erst in der Nachblaseperiode einsetzt, d. h. erst, wenn der Kohlenstoff fast vollständig oxydiert ist. Im Laufe des Blasens tritt eine Zunahme des Stickstoffgehaltes von z. B. 0,01 auf 0,025 % ein und zwar besonders während der Nachblaseperiode, so dass ein zu langes Nachblasen den Gehalt dieses Störelementes im Stahl erhöht; ausserdem gelangt dadurch auch ein erhöhter Sauerstoffgehalt in die Schmelze. Ein Beispiel über die Zusammensetzung des Eisens bzw. des Stahles in den verschiedenen Stadien einer Charge zeigt Tabelle 4.

Der zur Aufnahme der Oxyde von Silizium, Mangan, Phosphor, Eisen usw. erforderliche Kalkzusatz bewegt sich in den Grenzen zwischen etwa 8 und 18 % des Roheiseneinsatzes. Am Schluss der Charge beträgt die Schlackenmenge etwa 25 kg/100 kg Roheisen. Bekanntlich wird die Thomasschlacke infolge des hohen Gehaltes an dem Roheisen entstammendem Phosphor in Form der Verbindung $3CaO \cdot P_2O_5$ nach entsprechender Aufbereitung zu einem wertvollen Düngemittel, was einen nicht unwesentlichen wirtschaftlichen Vorteil des Thomasverfahrens bedeutet.

Die Charge kann anhand der Intensität und der Farbe der aus der Konvertermündung austretenden Flamme beurteilt werden, indem die zu Beginn des Blasens noch kurze und wenig leuchtende Flamme während der Kohlenstoffverbrennung, der sogenannten Kochperiode, heller und länger wird und ihre Farbe ändert. In dieser Periode tritt ein starkes Aufwallen des Bades ein und es entsteht ein beträchtlicher Auswurf aus der Konverteröffnung. Beim Uebergang zur Nachblaseperiode wird die Flamme plötzlich kleiner und es entsteht ein Rauch, hauptsächlich aus sehr feinen Oxydteilchen bestehend. Massgebend für das Ende der Charge und damit für die Qualität des Stahles ist das Bruchaussehen einer ausgeschmiedeten und gebrochenen Schöpfprobe. Die richtige Erkennung des Chargenendes ist für das Blasverfahren sehr wichtig, da ein zu kurzes Blasen infolge Vorhandensein von noch zuviel Phosphor Phosphorbruch (Sprödigkeit bei Raumtemperatur) zur Folge hat, während bei zu langem Blasen die Möglichkeit einer starken Sauerstoffaufnahme des Bades besteht, was die Gefahr von Rotbruch (Sprödigkeit beim Verarbeiten bei Glühtemperatur) in sich schliesst. Ein Abfangen der Charge, d. h. ein Unterbrechen bei einem bestimmten, gewünschten Kohlenstoffgehalt ist im Thomasstahlwerk nicht möglich, da sonst ein untragbar hoher Phosphorgehalt im Stahl resultieren würde.

Infolge des Abbrandes der Eisenbegleiter in der Höhe von etwa 6,5 % und der Oxydation von Eisen in der Schlussphase des Blasens beträgt das Ausbringen an Thomasstahl ungefähr 90 % des eingesetzten Roheisens. Der Verlust gliedert sich ungefähr wie folgt:

Abbrand durch Oxydation der Eisenbegleiter	6,5 %
Abbrand durch Oxydation von Eisen	2,3 %
Verlust durch Konverterauswurf	1,2 %
Gesamtverlust	10,0 %

Um eine gute Entphosphorung zu gewährleisten, ist der Temperatur wesentliche Beachtung zu schenken. Um die Temperatur nicht zu hoch steigen zu lassen, insbesondere dann, wenn die Roheisenzusammensetzung überschüssige Wärme ergibt, ist eine Kühlung des Bades erforderlich. Diese kann entweder durch Zugabe von Kalk während des Blasens erfolgen, oder, was zweifellos wirtschaftlicher ist, durch Zugabe von Schrott, da im Stahlwerk solcher in mehr oder weniger grosser Menge immer anfällt. Die zum Einschmelzen von Schrott zur Verfügung stehende Wärme kann als eigentlicher Gewinn beim Thomasverfahren betrachtet werden. Bei üblicher Roheisenzusammensetzung kann ein Schrottzusatz von 4 bis 7 %, je nach Höhe des Phosphorgehaltes, gemacht werden, und zwar am besten gegen Ende der Charge, also währenddem die überschüssige Wärme zur Verfügung steht. Grundsätzlich besteht auch die Möglichkeit einer Erzzugabe zur Kühlung der Charge, da das Erz unter beträchtlichem Wärmeverbrauch durch das Roheisen reduziert wird. Diese Art der Kühlung ist jedoch weniger gebräuchlich.

Tabelle 4: Stahlzusammensetzung in verschiedenen Stadien einer Charge in Gewichtsprozenten

	Im Roheisen	*Bei Beginn des Nachblasens*	*Vor der Desoxydation*	*Im fertigen Stahl (unsiliziert)*
C	3,5	0,04	0,015	0,18
Si	0,40	0,007	0,01	0,02
Mn	1,0	0,25	0,20	0,4
P	2,1	1,2	0,06	0,07
S	0,10	0,07	0,05	0,05
N_2	0,004	0,010	0,015	0,015

Da die windgefrischten Stähle in ihrer Qualität nicht ganz dem Siemens-Martin-Stahl entsprechen und demzufolge eine gewisse Geringerbewertung erfahren, bleibt das Siemens-Martin-Verfahren trotz seinen etwas höheren Kosten in der Durchführung und der bedeutend längeren Chargendauer neben dem Windfrischverfahren bestehen. In gewissen Ländern und Gegenden, namentlich auf dem europäischen Festland, hat das Thomasverfahren auf Grund der Rohstofflage eine überragende Bedeutung, und es ist nicht verwunderlich, dass grösste Anstrengungen unternommen worden sind, um die Qualität und die Gebrauchseigenschaften der Thomasstähle zu verbessern. Eine überschlägige Rechnung (Bading) auf Grund des Schrottanfalles ergibt, dass etwa 35 % allen zu erzeugenden Stahles dem Siemens-Martin-Verfahren, welches ja vorwiegend Schrott verarbeitet, zufällt, so dass noch ein Anteil von etwa 65 % dem Konverterverfahren vorbehalten bleibt. Als Handelsstahl in normaler Güte besteht jedoch nur ein anteilmässiger Bedarf von etwa 40 %, so dass die restlichen 25 % durch Sondergüten zu decken wären. Diese Zahlen zeigen deutlich das Bedürfnis nach einer Gütesteigerung des windgefrischten Stahles.

Die Unterschiede zwischen windgefrischtem Stahl und Siemens-Martin-Stahl bestehen in erster Linie in der Temperaturlage des Steilabfalles der Kerbzähigkeit, indem bei windgefrischten Stählen die Kerbzähigkeit schon bei Raumtemperatur oder wenig darunter niedrige Werte aufweist, also Sprödigkeit aufzeigt, während bei den Siemens-Martin-Stählen die Kerbzähigkeit meist erst ziemlich unter 0 Grad absinkt. Wenn auch im Herstellungszustand dieser Unterschied noch nicht besonders ausgeprägt ist, so ist er sehr augenfällig im gealterten Zustand, d. h. nach einer Kaltverformung und Auslagerung. Bild 2 veranschaulicht den grossen Unterschied im Verhalten der beiden Stahlsorten. Die grössere Sprödigkeit bzw. Neigung zur Versprödung macht den Thomasstahl wenig geeignet zur Aufnahme hoher oder stossartiger Beanspruchungen, insbesondere im Bereich von Spannungsfeldern; deshalb muss in manchen Fällen, z. B. bei verhältnismässig hohen errechneten oder vermuteten Beanspruchungen und wo die Beanspruchungen stossartig auftreten können, von der Verwendung von Thomasstahl zu Gunsten des Siemens-Martin-Stahles abgesehen werden. So ist der Thomasstahl auch weniger begehrt zur Herstellung von Schweisskonstruktionen, da bei der Qualität der Schweissverbindungen die erwähnten Sprödigkeitseigenschaften eine massgebende Rolle spielen.

Der Grund für die Qualitätsunterschiede des Thomas- gegenüber dem Siemens-Martin-Stahl liegt im etwas höheren Gehalt des Thomasstahles an Phosphor, Schwefel, Sauerstoff und besonders an Stickstoff (s. Tabelle 1 u. 2); an Stickstoff enthält Siemens-Martin-Stahl 0,004 bis 0,007 %, Thomasstahl zwischen 0,01 und 0,03 %, während der Sauerstoffgehalt im Siemens-Martin-Stahl zwischen etwa 0,01 und 0,04 %, im Thomasstahl jedoch zwischen etwa 0,04 und 0,11 % schwankt. Im Laufe der letzten 15 Jahre wurden deshalb mehrere Verfahren entwickelt, um sogenannte «verbesserte Thomasstähle» mit einer möglichst guten Angleichung der Analyse an den Siemens-Martin-Stahl herzustellen. Die verschiedenen Verfahren sind in ihrem Endprodukt nicht ganz gleichwertig, da die einen darauf abzielen, den Phosphorgehalt, die andern den Stickstoffgehalt und wieder andere beides zu erniedrigen.

Der Gedanke der Anwendung von Sondermassnahmen bei der Erzeugung von windgefrischtem Stahl ist schon sehr alt und lag bereits der Erfindung von *Henry Bessemer* im Jahre 1856 zugrunde. Von verschiedener Seite wurden entsprechende Anregungen gemacht und Versuche durchgeführt, wie z. B. von Prof. *R. Durrer*, Gerlafingen, welcher eindrücklich auf die

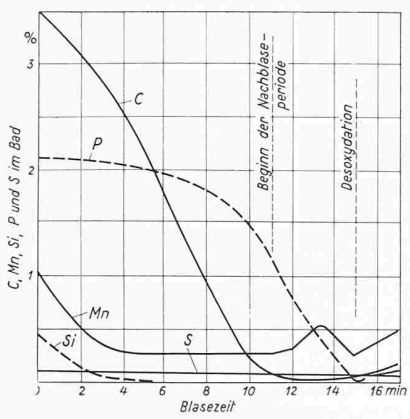

Bild 1. Beispiel des Verlaufes einer Thomascharge

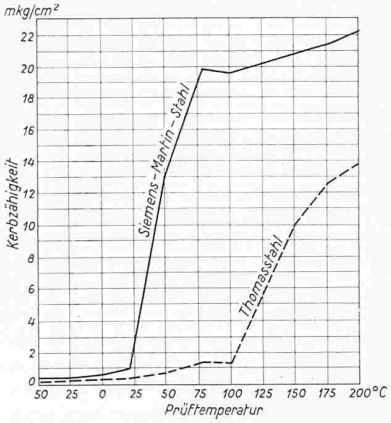

Bild 2. Kerbzähigkeits-Temperatur-Kurven eines Siemens-Martin- und eines Thomasstahles (unberuhigt) in gealtertem Zustand

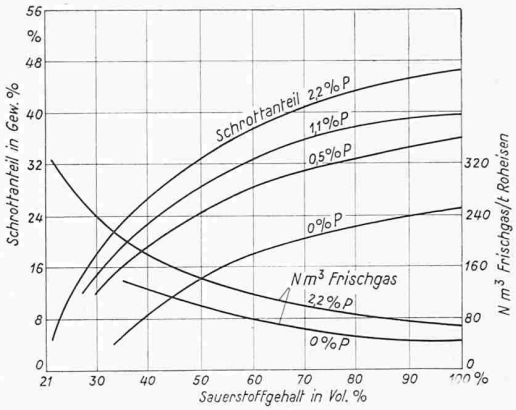

Bild 3. Frischgas- und Schrottverbrauch pro t Roheisen bei verschiedenen Phosphorgehalten im Roheisen in Abhängigkeit von der Sauerstoffanreicherung des Windes

Möglichkeiten der Verwendung von Sauerstoff in der Metallurgie aufmerksam machte.

Zu den ältesten Verfahren zur Verbesserung der Thomasstähle gehören die Schlackenbehandlungsverfahren, bei welchen der gefrischte Thomasstahl in flüssige Schlacke gegossen wird, um ihm den grössten Teil seines Phosphors zu entziehen.

Andere Verfahren sind diejenigen zur Verringerung des Stickstoffteildruckes, bei welchen der Stickstoffanteil im Frischgas durch Anreicherung des Windes mit Sauerstoff erniedrigt wird, oder indem der Stickstoff durch Verwendung von nahezu reinem Sauerstoff oder von Sauerstoff-Kohlensäure-Gemischen bzw. Sauerstoff-Wasserdampf-Gemischen nahezu vollständig ausgeschaltet wird. Die erwähnten Frischgasbestandteile übernehmen ebenfalls eine gewisse Frischwirkung; vielfach werden sie nicht während des ganzen Blasevorganges angewendet, sondern hauptsächlich in der Nachblaseperiode.

Andere Verfahren arbeiten wieder mit einer Verkürzung des Blasweges, um dadurch die Zeit der Berührung des Stickstoffes mit der Stahlschmelze zu verringern, indem mit niedriger Badhöhe, mit Schrägstellung des Konverters während der Entphosphorung (Schrägblasen) oder mit Lufteinführung nicht durch den Konverterboden, sondern von der Seite her (Seitenblasen) gearbeitet wird, oder dann mit einem Niedrighalten der Temperatur in der Nachblaseperiode, welche hinsichtlich der Stickstoffaufnahme besonders kritisch ist, indem als Kühlmittel Schrott (Wärmeverbrauch infolge Aufwärmen und Schmelzen), Kalkstein (Wirkung durch Kohlensäureaustreiben) oder Erz (Wirkung durch Reduktion) aufgegeben wird, wobei diesen Zusätzen, insbesondere dem Erz, auch eine gewisse Frischwirkung zukommt. Auch Verkürzung der Blasezeit durch Anwendung von besonders heissem Roheisen, sorgfältige Auswahl des Roheisens nach Analyse, Vorfrischen des Roheisens in der Pfanne durch Einführung von Sauerstoff, Anwendung von Hochdruckwind usw. vermögen eine Erniedrigung des Stickstoffgehaltes im Stahl zu bewirken.

Einige Verfahren zur Herstellung verbesserter Thomasstähle sind gelegentlich unter dem Zwang besonderer wirtschaftlicher Verhältnisse eingeführt und z. T. wieder verlassen worden, währenddem sich andere gut durchgesetzt haben und in grossem Masstabe angewendet werden. Eine Sonderstellung nimmt hierbei das Verfahren ein, welches reinen Sauerstoff als Frischmittel verwendet.

Die HPN-Stähle (Vereinigte Stahlwerke) wurden unter Verwendung von Kühlmitteln wie Schrott, Erz, Walzzunder oder Kalkstein hergestellt und erreichten Stickstoffgehalte von etwa 0,012 % und Phosphorgehalte unter 0,05 %. Bei der Erzeugung der MA-Stähle (Mannesmann Hüttenwerke) wurde seitliches Blasen angewendet, wobei Stickstoffgehalte zwischen 0,003 und 0,010 % und Phosphorgehalte von maximal 0,05 % erzielt wurden.

Einige Werke haben sich auf die Verwendung von Sauerstoff-Kohlensäure-Gemischen im Verhältnis 1:1 bis 1:4 oder von Sauerstoff-Wasserdampf-Gemischen verlegt, wodurch ebenfalls Stähle erzeugt werden können, welche in der Zusammensetzung und in ihrem Verhalten dem Siemens-Martin-Stahl nahezu oder völlig ebenbürtig sind. Die Verwendung von sauerstoffangereicherter Luft als Frischgas hat weite Verbreitung gefunden, z. B. in jenen Stahlwerken, welche lediglich ein Thomaswerk aufweisen, da infolge der je nach dem Sauerstoffgehalt des Windes mehr oder weniger grossen überschüssigen Wärme z. T. beträchtliche Mengen Schrott, welcher im Stahlwerk selbst anfällt, mit eingeschmolzen werden können. Ausserdem besitzt dieses Verfahren den weiteren Vorteil einer weitgehenden Unabhängigkeit von der Roheisenzusammensetzung, da nicht mehr der hohe Phosphorgehalt des Thomasroheisens gefordert werden muss. Das Arbeiten mit sauerstoffangereichertem Wind ist auf eine weniger grosse Wärmeentwicklung im Bad angewiesen als bei Anwendung gewöhnlicher Luft, da der Stickstoffanteil des Windes geringer ist und demzufolge weniger Stickstoff aufgewärmt werden muss. Es können so auch Roheisen verarbeitet werden, welche sich nicht zur Durchführung des Thomasprozesses eignen würden. Ein von *H. Kosminder* und *P. E. Hardt* aufgestelltes Diagramm (Bild 3) gibt in Funktion des Sauerstoffgehaltes des Gebläsewindes und des Phosphorgehaltes des Roheisens die mögliche Menge an einzuschmelzendem Schrott an. Dieses auf Berechnung basierende und durch die Praxis gut bestätigte Diagramm zeigt auf der linken Seite die beim gewöhnlichen Thomasprozess herrschenden Verhältnisse, wo bei einem Windverbrauch von etwa 320 m³ Luft und einem Phosphorgehalt des Roheisens von etwa 2,2 % noch ungefähr 5 % Schrott miteingeschmolzen werden können. Bereits ein leicht erhöhter Sauerstoffgehalt lässt das Verblasen eines entsprechend phosphorärmeren Roheisens zu oder erlaubt, schon ganz beträchtliche Mengen Schrott mit einzuschmelzen, und die erforderliche Windmenge sinkt anfänglich wesentlich. Bereits bei einem Sauerstoffgehalt von etwa 35 % gelingt es, ein sehr phosphorarmes Roheisen, z. B. ein Stahleisen, zu verblasen, oder bei Anwendung eines normalen Thomasroheisens ist ein Zusatz von über 20 % Schrott möglich. Bei noch höheren Sauerstoffanteilen können auch Roheisen mit verhältnismässig wenig Phosphor unter Schrottzusatz gefrischt werden.

Wesentlich ist auch die Erkenntnis, dass beim Verblasen von Stahleisen mit sauerstoffangereichertem Wind und gleichzeitiger Erzzugabe die Abbrandfolge der Eisenbegleiter verändert werden kann; insbesondere ist es möglich, die Entphosphorung vor die vollständige Entkohlung zu verlegen, so dass die Nachblaseperiode wegfällt und dadurch ein sauerstoff- und stickstoffarmer, mangan- und kohlenstoffhaltiger Stahl erreicht wird. Bei dieser Arbeitsweise liegt der Stickstoffgehalt zwischen etwa 0,007 und 0,010 %.

Das erste Werk, das betriebsmässig Thomasstahl mit sauerstoffangereicherter Luft herstellte, ist die Eisenwerk-Gesellschaft Maximilianshütte, Werk Sulzbach-Rosenberg, wo die Erzeugung nach dieser Methode etwa seit 1930 läuft. Das Werk hat die Aufgabe, den Eigenschrott im Thomaswerk anzuwenden und Stähle herzustellen, welche dem Siemens-Martin-Stahl möglichst gleichwertig sind. Andere Werke, welche den Schrott vorwiegend dem Siemens-Martin-Prozess zuführen, verwenden die überschüssige Wärme beim Blasen mit sauerstoffangereichertem Wind zur Reduktion von Erz, welches als Kühlmittel aufgegeben wird.

Die Sauerstoffanreicherung des Windes ist an gewisse Grenzen gebunden, da bei zu hohen Sauerstoffgehalten die Haltbarkeit des Konverterbodens verringert wird, infolge Bildung von Eisenoxyd und Verschlackung des Bodenmaterials in der Umgebung des Windeintrittes. Derartige Misserfolge traten an verschiedenen Stellen ein, so z. B. auf russischen Stahlwerken, wo versucht wurde, das Bessemerverfahren mit hochangereichertem Wind zu betreiben. Die Zweckmässigkeit des Arbeitens mit Sauerstoffanreicherung ist natürlich stark von verschiedenen Faktoren abhängig, wie z. B. von der Lage auf dem Erz- bzw. Roheisenmarkt, von der Beschaffungsmöglichkeit und dem Preis des Schrottes, von der Qualität des erblasenen Stahles, namentlich im Vergleich zu Siemens-Martin-Stahl und vom Preis des Brennstoffes für den Siemens-Martin-Prozess. In Anbetracht der Qualitätsverbesserung fällt der Preis für den Sauerstoff nicht entscheidend ins Gewicht; dieser wird bei betriebsmässiger Durchführung in Grossanlagen auf dem Werk selbst erzeugt, wie z. B. nach dem Linde-Fraenkl-Verfahren, bei dem die Trennung von Sauerstoff und Stickstoff aus der Luft durch Verdichten, Kühlen im Wärmeaustausch und Behandeln im Trenner erfolgt.

Es ist selbstverständlich, dass mit steigender Sauerstoffanreicherung bzw. mit geringer werdendem Stickstoffgehalt des Windes die Stickstoffgehalte im Stahl sinken; so wurde z. B. gefunden, dass bei 25 % Stickstoff im Wind der Gehalt im Stahl auf etwa 0,01 % und bei 2 % Stickstoff im Wind auf etwa 0,007 % absinkt. Bei solch niedrigen Stickstoffgehalten, d. h. beim Arbeiten mit ganz oder nahezu reinem Sauerstoff muss jedoch die Arbeitsweise gegenüber dem gewöhnlichen Thomasprozess wesentlich geändert werden.

2. Das Frischen im Konverter mit reinem Sauerstoff

Die vor etwa 15 Jahren begonnenen Versuche des Erblasens von Stahl im Konverter mit reinem Sauerstoff haben vor etwa drei Jahren zur Entwicklung eines betriebsreifen Verfahrens geführt. Seine Vorteile sind derart, dass ihm eine wesentliche Bedeutung beigemessen und eine grosse Zukunft vorausgesagt werden kann. Unter anderem bestehen sie in der Tatsache weitgehender Unabhängigkeit von der Roheisenzusammensetzung, so dass fast alle abbauwürdigen Erze als Rohstoffe für die Herstellung von Roheisen für die Stahlerzeugung herangezogen werden können, ferner in der Reinheit der erzeugten Stähle und damit in ihren guten Eigenschaften. Diese bedeutenden Vorteile des Konverterfrischens mit reinem Sauerstoff haben zur Folge, dass das Arbeiten mit besonderen Frischgasen, evtl. auch mit sauerstoffangereichertem Wind kaum mehr als eine Uebergangsstufe darstellt, und dass dem üblichen Windfrischverfahren und dem Siemens-Martin-Verfahren ein bedeutender Wettbewerber erwachsen ist.

Die Idee für das Arbeiten mit reinem Sauerstoff gab schon vor 100 Jahren der Erfinder des Konverterverfahrens, *Henry Bessemer* (1855). Ihre Verwertung für die grosstechnische Erzeugung hing jedoch, wie es schon bei den vorher erwähnten Verfahren der Fall war, von der technischen Möglichkeit der Erzeugung reinen Sauerstoffs zu billigem Preis ab. Die ersten Versuche wurden 1937 und später durch die Gutehoffnungshütte, Oberhausen, durchgeführt bzw. angeregt und z. T. durch *O. Lellep* vorgenommen (Hochfrequenzofen beziehungsweise 1 t-Konverter), währenddem in Aachen *C. V. Schwarz* Versuche vornahm, und später auch *W. W. Kondakow* in Russland, jeweils mit wechselndem Erfolg. Wegleitend für alle späteren Versuche und für die gesamte Weiterentwicklung des Verfahrens wurden die auf Veranlassung von *R. Durrer* 1948 durch *H. Hellbrügge* in Gerlafingen vorgenommenen Versuche mit zahlreichen Stahlroheisenschmelzen, bei denen im 2,5 t-Konverter reiner Sauerstoff aus einer wassergekühlten Düse schräg auf das Bad aufgeblasen wurde. Hierbei konnte auf bereits 1938 durchgeführte Versuche von R. Durrer an der Technischen Hochschule Berlin zurückgegriffen werden. Es zeigte sich, dass beim Aufblasen von Sauerstoff auf die Badoberfläche keinerlei Schwierigkeiten eintreten, und dass mit dieser Arbeitsweise sowohl aus Stahl- als auch aus Thomas- und aus Bessemer-Roheisen bei etwa 40 % Schrotteinsatz ein Stahl mit nur etwa 0,006 % Stickstoff erreicht werden kann.

Auf Grund dieser ermutigenden Resultate wurden bei den Vereinigten Oesterreichischen Eisen- und Stahlwerken in Linz Versuche im basischen Konverter durch Aufblasen von reinem Sauerstoff auf die Oberfläche des Bades durchgeführt; am 3. Juni 1949 konnte auf diese Weise erstmals ein hochwertiger Stahl erzeugt werden. Bald hernach sind entsprechende Versuche auch von der Alpinen Montan-Gesellschaft in Donawitz vorgenommen worden, und zwar in Gemeinschaftsarbeit mit Linz. In beiden Werken wurden insgesamt bis Ende 1950 mehrere 100 Schmelzen durchgeführt, nämlich in Linz anfänglich in der 2 t-Klein-Bessemerbirne und später in einem 15 t-Konverter, und in Donawitz im 5 t-Konverter. Die derart aus Stahlroheisen mit in weiten Grenzen liegenden Zusammensetzungen hergestellten Stähle erwiesen sich als vorzüglich und das Verfahren von hinreichender Wirtschaftlichkeit, so dass es für die betriebsmässige Stahlherstellung herangezogen werden konnte. Man entschloss sich deshalb sowohl in Linz als auch in Donawitz, Stahlwerke mit einer Jahresleistung von 150 000 bis 180 000 t Rohstahl zu erstellen, die nun grösstenteils im Betrieb stehen. Aus den in beiden Werken durchgeführten Versuchen geht hervor, dass Stähle mit Stickstoffgehalten von 0,004 bis 0,007 % ohne weiteres erzeugt werden können. Bald nach den erfolgreichen österreichischen Versuchen mit Stahlroheisen wurden in mehreren deutschen Hüttenwerken Versuche zur Stahlherstellung aus Thomasroheisen mit reinem Sauerstoff im Konverter durchgeführt, ferner auch in Schweden und USA, wo heute bereits Sauerstoffblasstahlwerke im Betrieb stehen.

Die auf Grund theoretischer Erwägungen vorauszusehenden und bei den Versuchen und der bisherigen betrieblichen Durchführung festgestellten Vorteile des Arbeitens mit reinem Sauerstoff können folgendermassen zusammengefasst werden:

1. Grosse Freizügigkeit in der Roheisenzusammensetzung. Es können Roheisensorten zur Stahlherstellung verwendet werden, welche sich nicht ausgesprochen für den Bessemer-, Thomas- oder Siemens-Martin-Prozess eignen. Unter diesem Gesichtspunkt können die Erzvorräte sowohl der eisenarmen wie der eisenreichen Länder ganz neu beurteilt werden. Staaten, wie USA und Kanada, wo vorwiegend nach dem Bessemerverfahren gefrischt wird, können auch phosphorhaltige Erze der Verwendung zuführen und die europäischen Staaten, die hauptsächlich nach dem Thomasverfahren arbeiten, können auch solche Erze verwenden, bei denen der geforderte Mindestphosphorgehalt nicht erreicht wird, ohne dass bei der Roheisenerzeugung im Hochofen Phosphorträger zugesetzt werden müssen.

2. Möglichkeit des Schrotteinschmelzens. Wie aus Bild 3 zu ersehen ist, können Schrottsätze bis zu 50 % angewendet werden, wenn mit einem Thomasroheisen gearbeitet und mit Schrottzusätzen bis zu 35 %, wenn phosphorarmes Roheisen verwendet wird. Der Vorteil des vollständigen Fortfalles des Stickstoffballastes gestattet also die Verwendung grosser Schrottmengen, mindestens aber jener Mengen, die in den Stahlwerken als Eigenschrott anfallen. Wo grosse Schrottmengen nicht zur Verfügung stehen, kann die freiwerdende Wärmemenge aber auch anderweitig verwendet werden, wie z. B. bei Zusatz von Erz oder Anwendung kalten Einsatzes. Es ist sehr bedeutungsvoll für das Verfahren, dass es gestattet, mit ganz verschiedenen Schrottmengen zu arbeiten und damit eine weitgehende Unabhängigkeit von der Schrottlage gewährleistet, ohne dass dadurch die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt wird.

3. Hohe Qualität des erzeugten Stahles. Durch den nahezu vollständigen Fortfall des Stickstoffs im Frischgas können auch bei stickstoffreichem Einsatz, wie z. B. bei Zusatz von Thomasstahl, niedrige Stickstoffgehalte bis zu einer Maximalgrenze von 0,007 % gewährleistet werden. Ausserdem ist auch der Gehalt der übrigen verunreinigenden Elemente derart gering, dass ein Stahl mit besten Qualitätseigenschaften resultiert. Die Möglichkeit der Erzeugung eines hochwertigen Stahles ist besonders in jenen Staaten und Werken von grösstem Vorteil, wo der Schrott für das Roheisen-Schrott-Verfahren nicht zur Verfügung steht, wo der Brennstoff zur Durchführung des Siemens-Martin-Verfahrens eingeführt werden muss, oder wo der Kapitalaufwand zur Erstellung eines Siemens-Martin-Werkes nicht verantwortet werden kann. Obgleich auch der Elektroofen einen hochwertigen Stahl ergibt, stellt er natürlich keine Ausweichmöglichkeit in obigem Sinne dar, da seine Verwendung nur in Gegenden mit be-

trächtlicher Erzeugungsmöglichkeit von hydroelektrischer Energie gerechtfertigt ist.

4. Niedrige Anlagekosten bei hoher Leistungsfähigkeit. Stellen schon die Anlagekosten eines mit üblichen Konvertern betriebenen Werkes nur einen Bruchteil derjenigen eines Siemens-Martin-Werkes dar, so sinken die Kosten beim Frischen mit reinem Sauerstoff noch weiter, da durch das Aufblasen des Sauerstoffes von oben der verhältnismässig teure und reparaturanfällige Nadelboden wegfällt. Die Erzeugungsanlage für den Sauerstoff fällt bei den Anlagekosten nicht besonders erschwerend ins Gewicht. Der erzeugte Stahl wird durch den Kapitaldienst in beträchtlich geringerem Ausmass belastet als beim Siemens-Martin-Stahl. Das Sauerstoffverfahren gestattet ausserdem, in kleinen Einheiten zu arbeiten, so dass die Erzeugung eines hochwertigen Stahles auch in kleinen Stahlwerken möglich wird. Dies hat besonders für eisenarme Länder Bedeutung, wie gegebenenfalls für die Schweiz, wo die Rohstoffgrundlage die Erstellung grosser Stahlwerke nicht zulässt. Die beträchtliche zur Verfügung stehende Wärmemenge beim Sauerstoffverfahren gestattet ausserdem, mit grösseren Mengen festen Einsatzes zu arbeiten, so dass das Verfahren nicht im gleichen Masse wie andere Frischprozesse an die Anlieferung des Roheisens in flüssiger Form gebunden ist, wodurch das Stahlwerk vom Hochofenwerk unabhängig wird. Ausserdem können auch andere Rohstoffe als Roheisen weitgehend zum Einsatz gelangen, wie z. B. die bei der direkten Stahlerzeugung anfallenden Eisenluppen oder der Eisenschwamm.

Anlässlich des Neuaufbaues der Oesterreichischen Stahlindustrie nach dem Krieg stand dieses Land vor einer besonders eigenartigen Situation. Die Stahlwerkproduktion musste der Hochofenproduktion angepasst werden, wobei Bedingung war, Stähle bester Qualität herzustellen, jedoch nicht ausschliesslich nach dem Siemens-Martin-Verfahren, da hierfür der Brennstoff fehlte. Die Einführung des Thomasverfahrens konnte schon aus qualitätsmässigen Gründen nicht in Frage kommen, vor allem aber auch deshalb, weil das Roheisen aus dem Erz des Erzberges hiefür wenig geeignet gewesen wäre; zudem kam nur ein Verfahren in Frage, welches den im Inland anfallenden Schrott verbraucht. Zur vollständigen Umstellung auf Elektrostahl fehlte die erforderliche elektrische Energie; so wurde das Sauerstoffrischen, wie es namentlich von den Versuchen von R. Durrer her bekannt war, als das zweckmässigste zur Einführung in Erwägung gezogen. Etwas anders waren die Verhältnisse, welche in Deutschland Veranlassung zur Durchführung von Grossversuchen gaben. Hier steht einem weiteren Ausbau der Siemens-Martin-Werke namentlich der Schrottmangel hindernd im Wege, jedoch besteht ein wesentlicher Bedarf an Stahl von Siemens-Martin-Güte, möglichst hergestellt aus einem mehr oder weniger hoch phosphorhaltigen Roheisen. Zur Verwertung der beim Prozess zur Verfügung stehenden Wärme wird weniger einem möglichen Schrottzusatz Beachtung geschenkt, sondern eher einem entsprechenden Zusatz an Erz.

Während das Verblasen von Thomasroheisen durch die Oxydation namentlich der Begleitelemente des Eisens pro t Roheisen eine Wärmemenge von 317 000 kcal liefert, stehen bei dem in Oesterreich geübten LD-Verfahren (Linzer-Düsenverfahren) Wärmemengen von 224 000 bis 264 000 kcal pro t Roheisen zur Verfügung, die erlauben, eine Schrottmenge von 17 bis 27 % des Roheiseneinsatzes einzuschmelzen. Dieses Wärmeangebot reicht also grösstenteils aus, um den Rücklaufschrott des Stahlwerkes, welcher bei Verarbeitung auf Stabstahl 15 bis 20 % und bei Verarbeitung auf Feinblech 25 bis 30 % beträgt, im Konverter zu verwerten, womit den österreichischen Verhältnissen vollauf Genüge geleistet ist. Beim Verblasen von Thomasroheisen mit reinem Sauerstoff kann, was für deutsche Verhältnisse von Bedeutung ist, bei völligem Fehlen von Schrott bis zu 13 % Erz, bezogen auf den Roheiseneinsatz, zugegeben werden.

Die Tatsache des niedrigen Stickstoffgehaltes im Stahl bei Anwendung von reinem Sauerstoff, wie sie von den früheren Versuchen her bekannt war, wurde durch die Untersuchungen an den LD-Schmelzen bestätigt. Es besteht jedoch die Voraussetzung, dass, wenn der Stickstoffgehalt des Stahles mit Sicherheit unter 0,010 % bleiben soll, Sauerstoff von mindestens 98 % Reinheit erforderlich ist. Bei den LD-Schmelzen liegen die Stickstoffgehalte zwischen 0,002 und 0,006 %, in den meisten Fällen bei 0,004 %. Die Phosphorgehalte bewegen sich zwischen 0,020 und 0,040 % und die Schwefelgehalte übersteigen selten die Grenze von 0,030 %. Weitere Untersuchungsergebnisse lassen erkennen, dass auch der Sauerstoffgehalt und der Gehalt an nicht metallischen Einschlüssen niedrig ist. Entsprechend günstige Resultate zeigten auch die deutschen Versuche mit Thomasstahl, indem z. B. ein Phosphorgehalt von weniger als 0,07 % mit Sicherheit eingehalten werden kann.

Der Verlauf des Frischens mit reinem Sauerstoff bei Aufblasen aus einer Düse auf die Badoberfläche ist dadurch gekennzeichnet, dass sich der Frischprozess nicht gleichzeitig in der Gesamtheit des Bades abspielt, sondern hauptsächlich an der Auftreffstelle des Sauerstoffs, im sogenannten Brennfleck, wo besonders hohe Temperaturen herrschen. Es kommt so eine Wechselwirkung zwischen der Badpartie im Brennfleck und dem übrigen Bad zustande, die insbesondere während der Kohlenstoffoxydation eine kräftige Umlaufbewegung des Bades gewährleistet. Bei der Durchführung des LD-Prozesses, z. B. beim Frischen eines Stahlroheisens Donawitzer Qualität mit 4,0 % C, 0,2 % Si, 2,6 % Mn, 0,10 Prozent P, 0,06 % S und 0,010 % N tritt schon bei Beginn des Blasens eine starke Oxydation von Kohlenstoff und Phosphor ein. Der Kohlenstoff verbrennt praktisch ausschliesslich zu CO. Durch die hohe Temperatur im Brennfleck bildet sich auf der Badoberfläche schon früh eine reaktionsfähige Schlacke zur Aufnahme des Phosphors, so dass die Phosphoroxydation bereits in den ersten Minuten grösstenteils beendet ist und niedrige Phosphorwerte erreicht sind, so lange noch immer beträchtliche Kohlenstoffgehalte in der Schmelze vorhanden sind. Es ist dadurch nicht erforderlich, eine Nachblaseperiode einzuschalten, d. h. nach der Kohlenstoffverbrennung weiter zu blasen. Während der gesamten Blasedauer ist infolge der Kohlenstoffverbrennung und der Unterschiede im spezifischen Gewicht der Schmelze im Bereich des Sauerstoffstrahles und der umliegenden Badpartien eine lebhafte Badbewegung vorhanden. Der im Brennfleck aufgenommene überschüssige Sauerstoff setzt sich abseits von der Auftreffstelle mit den zu oxydierenden Bestandteilen der Schmelze um. Der Siliziumgehalt fällt gleich in den ersten Minuten auf sehr niedrige Werte ab. Gegen das Ende des Schmelzverlaufes tritt eine Manganreduktion aus der Schlacke auf, was dazu führt, dass nach fast vollständigem Herausfrischen des Kohlenstoffs noch immer ein beträchtlicher Mangangehalt vorhanden ist, so dass sich eine Nachdesoxydation erübrigt; das Bad ist durch das verbleibende Mangan von selbst desoxydiert. Das Ende der Entkohlung zeigt sich durch das Verschwinden der Mündungsflamme an, so dass keine Gefahr des Ueberfrischens besteht. In der Regel werden die Stähle bis auf 0,06 bis 0,08 % Kohlenstoff heruntergefrischt und dann nötigenfalls in der Pfanne wieder aufgekohlt.

(Schluss folgt)

Beschränkter Projektwettbewerb für ein Ausflugsrestaurant auf dem Bäumli in Winterthur

DK 725.711

Aus dem Bericht des Preisgerichts

Das Preisgericht versammelt sich Dienstag, den 13. Dezember 1955, vormittags 9.00 Uhr, im Stadtratssaal. Anstelle des am Erscheinen verhinderten Stadtbaumeisters A. H. Steiner, Zürich, nimmt Ersatzmann Dr. W. Real, Stadtplanarchitekt, als ordentliches Mitglied des Preisgerichtes an den Beratungen teil. Das Preisgericht setzt sich demnach wie folgt zusammen:

1. Stadtrat H. Zindel, Bauamtmann, Vorsitzender
2. Stadtrat A. Schätti, Güteramtmann
3. E. F. Burckhardt, Architekt, Zürich
4. M. E. Haefeli, Architekt, Zürich
5. A. Reinhart, Stadtbaumeister, Winterthur
6. Dr. W. Real, Stadtplanarchitekt, Winterthur

Ersatzrichter: Stadtrat Dr. H. Bachmann, Finanzamtmann

Experten: E. Wartmann, Wirt, Winterthur, J. Müller, Stadtgärtner, Winterthur; Schriftführer: H. Müller, Bausekretär.