



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
13.07.2022 Patentblatt 2022/28

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21C 7/06 (2006.01) C21C 7/072 (2006.01)
C21C 7/10 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21150490.7**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21C 7/072; C21C 7/06; C21C 7/10

(22) Anmeldetag: **07.01.2021**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Apfel, Jens**
77654 Offenburg (DE)
• **Buehler, Willi Anton**
77855 Achern (DE)

(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

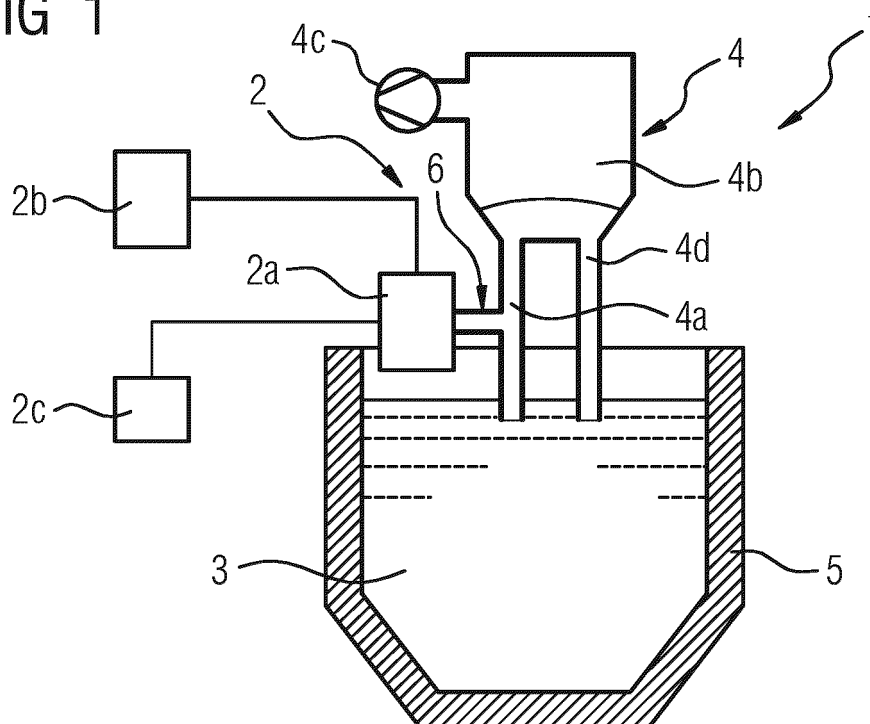
(71) Anmelder: **Primetals Technologies Germany GmbH**
91058 Erlangen (DE)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR STAHLPRODUKTION**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren (100) und eine Vorrichtung (1) zum Produzieren von Stahl sowie eine Anlage mit einer solchen Vorrichtung (1). Dabei wird mithilfe eines Lichtbogenofens Rohstahl (3) bereitgestellt (S1) und der bereitgestellte Rohstahl (3) in einem sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess vor dem

Gießen veredelt. Erfindungsgemäß wird dem bereitgestellten Rohstahl (3) während des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses ein Reaktionsmittel zugeführt (S2), von dem zumindest ein Teil mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl (3) zu einer Stickstoffverbindung reagiert.

FIG 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Produzieren von Stahl sowie eine Anlage mit einer solchen Vorrichtung.

[0002] Bei der Stahlerzeugung wird zwischen Legierungselementen und Verunreinigungen unterschieden. Während Legierungselemente dem Rohstahl zum Beispiel während eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses gezielt zugegeben werden, um bestimmte Materialeigenschaften zu erzielen, sind Verunreinigungen im Stahl unerwünscht. Sie gelangen etwa durch Einsatzstoffe oder die Prozessatmosphäre in den Stahl. Es ist im Allgemeinen ein Ziel bei der Stahlerzeugung, die Konzentration dieser Verunreinigungen möglichst gering zu halten.

[0003] Die konventionelle Route der Stahlherstellung über Hochofen und Konverter erlaubt es Stähle herzustellen, die Stickstoffgehalte von weniger als 30 ppm aufweisen.

[0004] Aufgrund ihrer Kohlenstoffdioxid-Emissionen und dem damit verbundenen negativen Einfluss auf das Klima verlieren die konventionellen Hochöfen jedoch an Attraktivität. Günstiger erscheinen vor diesem Hintergrund auf Lichtbogenöfen basierende Verfahren. Allerdings haben diese Verfahren den Nachteil, dass sich der Stickstoffgehalt im Rohstahl deutlich schlechter reduzieren lässt, insbesondere, da zu einem Großteil Schrott als Einsatzstoff (wieder-)verwendet wird.

[0005] Daher zielt neuere Forschung darauf ab, die Stahlherstellungsrouten über den Lichtbogenofen derart weiterzuentwickeln, dass auch hier eine Reduktion des Stickstoffgehalts im produzierten Rohstahl erreicht werden kann. Ein Ergebnis dieser Bemühungen resultiert in dem Ansatz, Wasserstoff oder eine Wasserstoffverbindung in den Lichtbogenofen einzuleiten, um Stickstoff aus den aufgeschmolzenen Einsatzstoffen zu binden.

[0006] Dabei wird der Wasserstoff oder die Wasserstoffverbindung durch poröse, sogenannte Spülsteine am Grund des Lichtbogenofens oder durch Dampfinjektion mittels entsprechender Einspritzdüsen an der Wandung des Lichtbogenofens in den Lichtbogenofen eingeleitet. Die Einleitung des Wasserstoffs oder der Wasserstoffverbindung findet dadurch in einem durch die Umgebungsbedingungen im Lichtbogenofen definierten thermodynamischen Zustand der aufgeschmolzenen Einsatzstoffe statt. Aufgrund der im Lichtbogenofen üblichen hohen Sauerstoffkonzentration ist dieser Zustand unter anderem durch eine geringe Stickstoff-Löslichkeit definiert.

[0007] Wie bereits erwähnt wird der mithilfe eines Lichtbogenofens produzierte Rohstahl im Allgemeinen im Rahmen eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses, auch zweiter metallurgischer Prozess genannt, vor dem endgültigen Gießen veredelt, um gewünschte Eigenschaften zu erhalten. Der vom Lichtbogenofen bereitgestellte Rohstahl kann zum Beispiel mithilfe eines Pfannenofens erneut oder weiter erhitzt, ins-

besondere auf eine gewünschte Gießtemperatur gebracht, und/oder dem Rohstahl Legierungselemente zugegeben werden. Dabei kommt es für gewöhnlich jedoch zur erneuten Aufnahme von Stickstoff, welche der zuvor im Lichtbogenofen ausgeführten Stickstoffreduktion entgegenwirkt. Dieser Effekt wird auch dadurch verstärkt, dass der Zustand des Rohstahls ohne die im Lichtbogenofen erhöhte Sauerstoffkonzentration durch eine hohe Stickstoff-Löslichkeit definiert ist.

[0008] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, den auf Lichtbogenofen basierenden Stahlerzeugungsprozess weiter zu verbessern, insbesondere derart, dass im Endprodukt ein geringerer Stickstoffgehalt erzielt wird.

[0009] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Stahlerzeugung sowie eine Anlage mit einer solchen Vorrichtung gemäß den unabhängigen Ansprüchen.

[0010] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche sowie der Beschreibung.

[0011] Beim erfindungsgemäßen Verfahren wird mithilfe eines Lichtbogenofens Rohstahl bereitgestellt und der bereitgestellte Rohstahl in einem sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess vor dem Gießen veredelt. Erfindungsgemäß wird dem bereitgestellten Rohstahl während des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses ein Reaktionsmittel zugeführt, von dem zumindest ein Teil mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl zu einer Stickstoffverbindung reagiert.

[0012] Rohstahl im Sinne der Erfindung ist das Produkt, das aus einem primärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess hervorgeht. Rohstahl bezeichnet also beispielsweise die Schmelze aus Einsatzstoffen wie zum Beispiel Roheisen oder Schrott, die zum Beispiel aus einem Hochofen-Konverter oder einem Lichtbogenofen entnommen, d. h. abgestochen, werden kann. Bei Rohstahl handelt es sich also insbesondere um unlegierten Stahl.

[0013] Der mithilfe des primärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses erzeugte Rohstahl lässt sich zum Beispiel in eine sogenannte Gusspfanne überführen. Dort kann der Rohstahl einem sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess unterzogen und dadurch beispielsweise eine bestimmte Legierung hergestellt werden. Aus der Gusspfanne heraus kann der derart prozessierte Rohstahl dann gegossen werden.

[0014] Ein sekundärmetallurgischer Stahlerzeugungsprozess im Sinne der Erfindung ist ein Teil des gesamten Stahlerzeugungsprozesses, bei dem das mit einem Hochofen-Konverter oder Lichtbogenofen erzeugte Produkt weiter verarbeitet, insbesondere veredelt, wird. Beim sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess kann der aus dem Hochofen-Konverter oder Lichtbogenofen abgestochene Rohstahl für das Gießen vorbereitet, zum Beispiel in einer Vakuumanlage entkarbonisiert (entkohlt) und/oder in einem Pfannenofen legiert, werden.

[0015] Ein Lichtbogenofen im Sinne der Erfindung ist eine Vorrichtung zum Aufschmelzen von Einsatzstoffen wie Schrott mithilfe eines Lichtbogens. Der Lichtbogen lässt sich dabei mithilfe von Elektroden erzeugen, die zu den Einsatzstoffen abgesenkt oder sogar bis in diese eingeführt werden.

[0016] Ein Aspekt der Erfindung basiert auf dem Ansatz, im Rohstahl enthaltenen Stickstoff nach dem Abstechen aus einem Lichtbogenofen während einem sekundärmetallurgischen Prozess zu binden. Zweckmäßigerweise wird dazu ein Reaktionsmittel, vorzugsweise Wasserstoff oder eine Wasserstoffverbindung, während dem sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess in den Rohstahl eingeleitet. Das Reaktionsmittel kann zum Beispiel in seiner gasförmigen Phase in den Rohstahl eingeblasen werden. Die dadurch im Rohstahl gebildeten Stickstoffverbindungen können dann, bevorzugt auf konventionelle Weise, entfernt werden. Beispielsweise können die Stickstoffverbindungen durch Entgasung aus dem bereitgestellten Rohstahl entfernt werden. Zweckmäßigerweise wird dazu vor dem Gießen des Rohstahls eine Vakuumentgasung durchgeführt.

[0017] Das Zuführen eines Reaktionsmittels in den Rohstahl während des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses drängt sich dem Fachmann hierbei nicht auf, da während des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses andere thermodynamischen Bedingungen herrschen als während des primärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses im Lichtbogenofen. Durch die deutlich höhere Löslichkeit von Stickstoff im "beruhigten" Rohstahl nach dem Abstechen aus dem Elektroofen steigt beispielsweise die für das Erreichen einer Wasserstoffsättigung benötigte Menge an Wasserstoff. Des Weiteren wirkt insbesondere Wasserstoff als Reaktionsmittel stark reduzierend und würde zu starkem Verschleiß der Spülsteine führen, insbesondere aufgrund deren Porenstruktur und der damit verbundenen vergrößerten Oberfläche.

[0018] In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Reaktionsmittel einem dem bereitgestellten Rohstahl zugeführten Prozessgas beigemischt. Um den Rohstahl zu bewegen, insbesondere zu rühren und/oder zu durchmischen, kann beispielsweise Argon, welches chemisch inert ist, dem Rohstahl zugeführt werden. So lässt sich Argon dem Rohstahl etwa in einem Pfannenofen blubbernd, d. h. unter Blasenbildung, zuführen. Durch die Beimischung des Reaktionsmittels kann zumindest ein Teil des Prozessgases eingespart werden. Der sekundärmetallurgische Stahlerzeugungsprozess kann dabei ungestört weiterlaufen.

[0019] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Menge des dem bereitgestellten Rohstahl zugeführten Reaktionsmittels variiert. Beispielsweise kann das Verhältnis von Reaktionsmittel zu Prozessgas variiert werden. Dadurch lässt sich die Bildung der Stickstoffverbindungen an den Verlauf des sekundärmetallurgischen Prozesses anpassen. Beispielsweise kann zu Beginn des sekundärmetallurgischen Prozesses eine

große Menge an Reaktionsmittel, d. h. mit hoher Zuführrate, zugeführt werden. Zweckmäßigerweise wird hierbei das Prozessgas zumindest nahezu vollständig von dem Reaktionsmittel ersetzt. Vor einer (Vakuum-)Entgasung kann die Menge an zugeführtem Reaktionsmittel, d. h. die Zuführrate, dann verringert werden, insbesondere auf Null reduziert werden. Insbesondere kann hierbei die Beimischung des Reaktionsmittels zum Prozessgas gestoppt werden. Dadurch lassen sich vor dem Gießen des Rohstahls Maßnahmen wie beispielsweise eine Entgasung einleiten, die nicht nur eine Entfernung der Stickstoffverbindungen aus dem Rohstahl, sondern auch des ungebundenen Reaktionsmittels erlauben.

[0020] Die Variation der Menge des zugeführten Reaktionsmittels kann auch vorteilhaft sein, wenn sich im Verlauf des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses die Bedingungen, unter denen das Reaktionsmittel zugeführt wird oder werden kann, ändern. Beispielsweise kann die Menge an zugeführtem Reaktionsmittel bei niedrigem Umgebungsdruck, insbesondere bei Anliegen eines Vakuums, gegebenenfalls verringert werden, da dann die Sättigungsgrenze für das Reaktionsmittel im Rohstahl geringer ist.

[0021] Zweckmäßigerweise wird der Anteil des Reaktionsmittels an einem Gemisch mit dem Prozessgas zumindest vermindert, wenn die Konzentration von Stickstoff im Rohstahl einen vorgegebenen Konzentrationschwellenwert erreicht oder unterschreitet. Einerseits kann dadurch Reaktionsmittel eingespart werden. Zum anderen ist so auch eine weitere Erhöhung der Konzentration von Reaktionsmittel im Rohstahl vermeidbar.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird ein Vakuum erzeugt und der bereitgestellte Rohstahl zumindest teilweise dem erzeugten Vakuum ausgesetzt. Das Reaktionsmittel kann dem Rohstahl vor oder während des Anlegens des Vakuums zugeführt werden. Zweckmäßigerweise wird das Reaktionsmittel demjenigen Teil des Rohstahls, der dem Vakuum ausgesetzt ist, zugeführt. Infolgedessen kann die Stickstoffentfernung aus dem Rohstahl wesentlich effizienter durchgeführt werden.

[0023] In einem Atmosphärendruck von 1013 mbar liegt die Sättigungskonzentration von Wasserstoff in Rohstahl bei etwa 22 ppm. In einem stärkeren Vakuum, bei dem der Druck unter 1 mbar liegt, liegt die Sättigungskonzentration dagegen bei weniger als 1 ppm. Daher kann bei geringeren Drücken die Sättigungskonzentration eines Reaktionsmittels einfacher und schneller erreicht werden. Infolgedessen kann der Wasserstoffüberschuss den Stickstoff im Rohstahl schneller binden.

[0024] Gegenüber dem Einleiten eines Reaktionsmittels im Lichtbogenofen hat die Einleitung des Reaktionsmittels in Rohstahl, der während dem sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess einem Vakuum ausgesetzt ist, daher den Vorteil, dass die zur Bindung des Stickstoffs im Rohstahl notwendige Menge an Reaktionsmittel deutlich geringer ist. Eine Bindung eines Großteils des Stickstoffs im Rohstahl, insbesondere bis

zu 80 %, ist so entsprechend deutlich schneller. Gleichzeitig werden Mittel zum Zuführen des Reaktionsmittels weniger stark oxidiert.

[0025] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl bei einem Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren zugeführt. Da das Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren ein kontinuierliches (Entgasungs-)Verfahren ist, lässt sich so auch eine kontinuierliche Stickstoffbindung und -entfernung erreichen. Insbesondere kann die mithilfe des Reaktionsmittels gebildete Stickstoffverbindung durch das Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren aus dem Rohstahl entfernt werden.

[0026] Zweckmäßigerweise wird das Reaktionsmittel dem Rohstahl in einer Steigleitung, durch die der Rohstahl in eine Vakuumkammer aufsteigt, zugeführt. Vorzugsweise wird das Reaktionsmittel in der Steigleitung gemeinsam mit einem Hubgas, insbesondere Argon, zugeführt. Insbesondere kann das Reaktionsmittel einem Hubgas wie Argon beigemischt werden. Das Gemisch lässt sich dann dem Rohstahl in der Steigleitung zuführen, bevorzugt unter Blasenbildung.

[0027] Vorzugsweise wird dabei der dem Hubgas beigemischte Anteil an Reaktionsmittel während dem Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren variiert. Insbesondere kann das Verhältnis von Reaktionsmittel und Hubgas variiert werden. Zu Beginn des Ruhrstahl-Heraeus-Verfahrens wird bevorzugt ausschließlich Hubgas in die Steigleitung eingeleitet, um ein Verstopfen der dazu vorgesehenen Öffnungen in der Hubgasleitung zu vermeiden. Sobald der Rohstahl in der Steigleitung aufgestiegen ist, lässt sich das Reaktionsmittel dem Hubgas beimischen, zum Beispiel im Verhältnis 50:50. Es ist aber auch denkbar, das Hubgas dann im Wesentlichen vollständig oder zumindest nahezu vollständig durch das Reaktionsmittel zu ersetzen. Nachdem genügend Reaktionsmittel zugeführt und Stickstoff aus dem Rohstahl entfernt wurde, kann der Anteil von Reaktionsmittel am Reaktionsmittel-Hubgas-Gemisch wieder verringert, insbesondere auf Null reduziert, werden. Dadurch kann das Reaktionsmittel wieder aus dem Rohstahl entfernt werden, bevor dieser gegossen wird.

[0028] Ein Vorteil des Zuführens des Reaktionsmittels beim Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren, insbesondere beim Zuführen gemeinsam mit dem Hubgas, besteht darin, dass das Zuführen einer großen Menge an (Hub-)Gas bzw. mit großer Zuführrate hierbei bereits a priori vorgesehen ist, um das Aufsteigen des Rohstahls in der Steigleitung zu bewirken. Diese Menge ist gegenüber der Menge sonstiger Gase, die dem Rohstahl während des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses oder auch dem primärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess im Lichtbogenofen üblicherweise zugesetzt werden, deutlich höher. Die Verwendung des Reaktionsmittels hierbei erlaubt es entsprechend, das Reaktionsmittel mit ebensolchen hohen Zuführraten zuzuführen. Dagegen wäre die Zuführung solch großer Mengen an Reaktionsmittel zum Beispiel über Spülsteine deutlich zeitaufwändiger.

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl mit einer Zuführrate von wenigstens 150 m³/h zugeführt. Die gewünschte Konzentration des Reaktionsmittels im Rohstahl kann daher besonders schnell erreicht werden.

[0030] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl in einem Pfannenofen oder einer Pfannenentgasungsanordnung zugeführt. Im Pfannenofen kann das Reaktionsmittel zeitgleich mit Legierungsstoffen zugeführt werden, wodurch der sekundärmetallurgische Stahlerzeugungsprozess effizient ausgeführt werden kann. Die gebildete Stickstoffverbindung kann dann bei einem nachfolgenden Entgasen, zum Beispiel mithilfe einer Pfannenentgasungsanordnung, durchgeführt werden.

[0031] In der Pfannenentgasungsanordnung kann das Reaktionsmittel dem Rohstahl unter Vakuumbedingungen zugeführt werden, was die bereits genannten Vorteile wie Reduktion der Sättigungskonzentration mit sich bringt.

[0032] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl mithilfe einer Einlaufanze zugeführt. Die Einlaufanze kann beispielsweise zumindest teilweise in den Rohstahl eingeführt werden, wenn sich dieser im Pfannenofen befindet. Alternativ kann die Einlaufanze zumindest teilweise in den Rohstahl eingeführt werden, wenn sich dieser in einer Pfannenentgasungsanordnung befindet. Das Reaktionsmittel kann dann in den Rohstahl eingeleitet werden, gegebenenfalls unter Blasenbildung. Es ist jedoch ebenfalls denkbar, dass die Einlaufanze nicht in den Rohstahl eingeführt, sondern oberhalb eines Rohstahlspiegels positioniert wird oder ist. Insbesondere kann die Einlaufanze in einer Vakuumkammer positioniert sein oder werden, in der bei dem Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren ein Vakuum zum Entgasen des Rohstahls erzeugt wird. Das Reaktionsmittel wird dann vorzugsweise auf den Rohstahl, insbesondere mit hohem Druck, aufgeblasen.

[0033] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die Einlaufanze zumindest teilweise in den bereitgestellten Rohstahl eingeführt, bevor das Reaktionsmittel durch die Einlaufanze geführt wird. Vorzugsweise wird beim Einführen der Einlaufanze in den Rohstahl jedoch ein Prozessgas von der Einlaufanze ausgeblasen. Zum einen lässt sich dadurch ein Verstopfen der Lanzenöffnung bzw. -düse beim Einbringen in den Rohstahl durch sich abkühlenden Rohstahl vermeiden. Zum anderen kann auf diese Weise ein Inkontaktbringen des Reaktionsmittels mit einer umgebenden Atmosphäre vermieden werden. Infolgedessen lassen sich unerwünschte Reaktionen des Reaktionsmittels in der Atmosphäre vermeiden.

[0034] Zweckmäßigerweise wird das Reaktionsmittel zumindest zeitweise gemeinsam mit einem Prozessgas, insbesondere Argon, durch die Einlaufanze zugeführt.

Insbesondere kann das Reaktionsmittel einem in den bereitgestellten Rohstahl eingeleiteten Spülgas beigemischt werden, vorzugsweise in einem vorgegebenen Mischungsverhältnis, beispielsweise in einem Verhältnis 50:50. Das Reaktionsmittel kann dadurch zur Bewegung des Rohstahls, insbesondere zu dessen Verrührung und/oder Vermischung, beitragen.

[0035] Es ist insbesondere denkbar, dass das Spülgas zumindest zeitweise vollständig oder zumindest nahezu vollständig durch das Reaktionsmittel ersetzt wird. Dadurch kann Spülgas eingespart und/oder die Zuführrate des Reaktionsmittels erhöht werden.

[0036] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Zuführen von Reaktionsmittel zumindest reduziert, insbesondere gestoppt, bevor die Einlauflanze aus dem bereitgestellten Rohstahl herausgezogen wird. Auch dadurch kann ein Inkontaktbringen des Reaktionsmittels mit der umgebenden Atmosphäre vermieden werden. Um auch beim Herausziehen der Einlauflanze ein Verstopfen der Lanzenöffnung bzw. -düse vermeiden zu können, wird hierbei vorzugsweise wieder Spülgas ausgeblasen.

[0037] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Reaktionsmittel als Teil eines Überschall-Dampfstrahls auf den bereitgestellten Rohstahl aufgeblasen. Vorzugsweise wird das Reaktionsmittel dabei bei dem Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren, insbesondere innerhalb der Vakuumkammer, auf den Rohstahl aufgeblasen. Dadurch muss eine Austrittsöffnung, durch die das Reaktionsmittel und/oder der Überschall-Dampfstrahl ausgeblasen wird, nicht von Rohstahl umgeben sein und ist daher nicht den im Rohstahl herrschenden extremen Bedingungen ausgesetzt.

[0038] Das Reaktionsmittel kann durch den hohen Druck des Überschall-Dampfstrahls durch den Spiegel des Rohstahls in den Rohstahl eindringen und dort die Stickstoff-Verbindung bilden.

[0039] Dabei ist es besonders vorteilhaft, wenn das Reaktionsmittel Wasserstoff ist, der als Bestandteil von Wasserdampf auf den Rohstahl aufgeblasen wird. Die H_2O -Moleküle können dann innerhalb des Rohstahls aufgebrochen werden, wo der Sauerstoff mit Kohlenstoff aus dem Rohstahl Kohlenstoffmonooxid bilden und damit entkarbonisieren kann. Der Wasserstoff kann mit dem Stickstoff aus dem Rohstahl N-H-Verbindungen, insbesondere Ammoniak (NH_3), bilden.

[0040] Um den Überschall-Dampfstrahl zu erzeugen, weist die Einlauflanze vorzugsweise eine Lavaldüse auf.

[0041] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird der Rohstahl nach dem Zuführen von Reaktionsmittel entgast, bevor er gegossen wird. Dadurch kann sichergestellt werden, dass alle oder zumindest ein Großteil der im Rohstahl gebildeten Stickstoffverbindungen aus dem Rohstahl entfernt werden, bevor dieser weiterverarbeitet wird. Das Resultat ist ein besonders stickstoffarmes Endprodukt.

[0042] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Erzeugen von Stahl weist eine Zuführeinrichtung auf, die dazu

eingerrichtet ist, mithilfe eines Lichtbogenofens bereitgestelltem Rohstahl während eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses zur Veredelung des Rohstahls vor dem Gießen ein Reaktionsmittel zuzuführen, von dem zumindest ein Teil mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl zu einer Stickstoffverbindung reagiert.

[0043] Vorzugsweise umfasst die Zuführeinrichtung eine Mischeinheit auf, die dazu eingerichtet ist, einem, insbesondere konventionellen, Prozessgas wie beispielsweise Argon das Reaktionsmittel beizumischen. Die Mischeinheit kann dabei dazu eingerichtet sein, den Anteil des dem Prozessgas beigemischten Reaktionsmittels zu variieren.

[0044] Die Zuführeinrichtung ist in einer bevorzugten Ausführungsform Teil einer Durchlaufentgasungsanordnung, die zum Ausführen des Ruhrstahl-Heraeus-Verfahrens eingerichtet ist.

[0045] Die Zuführeinrichtung kann insbesondere Teil einer Hubgaszuführung oder von dieser gebildet sein. Dadurch kann das Reaktionsmittel dem Rohstahl mit einer besonders hohen Zuführrate und daher in besonders kurzer Zeit zugeführt werden. Insbesondere kann das Reaktionsmittel kontinuierlich zugeführt und gebildete Stickstoffverbindungen entsprechend kontinuierlich aus dem Rohstahl entfernt werden.

[0046] Alternativ kann die Zuführeinrichtung als in einer Vakuumkammer der Durchlaufentgasungsanordnung angeordnete Einlauflanze ausgebildet sein. Die Zuführeinrichtung kann insbesondere Teil einer COB-Lanze oder von dieser gebildet sein. Eine COB-Lanze in der Vakuumkammer dient üblicherweise zum Aufblasen von Sauerstoff auf den Rohstahl in der Vakuumkammer, um den Rohstahl zu entkarbonisieren, kann gegebenenfalls aber auch zum ausschließlichen Aufblasen von in der Gasphase vorliegendem Reaktionsmittel, insbesondere Wasserstoff, ausgebildet sein.

[0047] In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Zuführeinrichtung als Einlauflanze ausgebildet oder bildet zumindest einen Teil einer solchen Einlauflanze. Die Einlauflanze ist vorzugsweise dazu eingerichtet, ein Prozessgas, insbesondere ein Spülgas wie zum Beispiel Argon, in den bereitgestellten Rohstahl einzuleiten, insbesondere während sich dieser in einer Gußpfanne, vorzugsweise in einem Pfannenofen und/oder einer Pfannenentgasungsanordnung, befindet.

[0048] Ferner betrifft die Erfindung eine Anlage zum Erzeugen von Stahl, die einen Lichtbogenofen zur Bereitstellung von Rohstahl und eine erfindungsgemäße Vorrichtung aufweist.

[0049] Die bisher gegebene Beschreibung vorteilhafter Ausgestaltungen der Erfindung enthält zahlreiche Merkmale, die in den einzelnen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammengefasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale können jedoch zweckmäßigerweise auch einzeln betrachtet und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammengefasst werden. Insbesondere sind diese Merkmale jeweils einzeln und in beliebiger

geeigneter Kombination mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der erfindungsgemäßen Vorrichtung sowie der erfindungsgemäßen Anlage kombinierbar. So sind Verfahrensmerkmale auch als Eigenschaft der entsprechenden Vorrichtungseinheit gegenständlich formuliert zu sehen und umgekehrt.

[0050] Die oben beschriebenen Eigenschaften, Merkmale und Vorteile dieser Erfindung sowie die Art und Weise, wie diese erreicht werden, werden klarer und deutlicher verständlich im Zusammenhang mit der folgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele, die im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Die Ausführungsbeispiele dienen der Erläuterung der Erfindung und beschränken die Erfindung nicht auf die darin angegebene Kombination von Merkmalen, auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Außerdem können dazu geeignete Merkmale eines jeden Ausführungsbeispiels auch explizit isoliert betrachtet, aus einem Ausführungsbeispiel entfernt, in ein anderes Ausführungsbeispiel zu dessen Ergänzung eingebracht und mit einem beliebigen der Ansprüche kombiniert werden.

[0051] Es zeigen:

FIG 1 ein erstes Beispiel einer Vorrichtung zum Erzeugen von Stahl, in dem eine Zuführeinrichtung als Hubgaszufuhr einer Durchlaufentgasungsanordnung ausgebildet ist;

FIG 2 ein zweites Beispiel einer Vorrichtung zum Erzeugen von Stahl, in dem eine Zuführeinrichtung eine in einer Vakuumkammer einer Durchlaufentgasungsanordnung angeordnete Einlaufflanze aufweist;

FIG 3 ein drittes Beispiel einer Vorrichtung zum Erzeugen von Stahl, in dem eine Zuführeinrichtung eine in einem Pfannenofen angeordnete Einlaufflanze aufweist;

FIG 4 ein viertes Beispiel einer Vorrichtung zum Erzeugen von Stahl, in dem eine Zuführeinrichtung eine in einer Pfannenentgasungsanordnung angeordnete Einlaufflanze aufweist; und

FIG 5 ein Beispiel eines Verfahrens zum Erzeugen von Stahl.

[0052] FIG 1 zeigt ein erstes Beispiel einer Vorrichtung 1 zum Erzeugen von Stahl mit einer Zuführeinrichtung 2. Die Zuführeinrichtung 2 ist dazu eingerichtet, mithilfe eines Lichtbogenofens bereitgestellten Rohstahl 3 während eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses zur Veredelung des Rohstahls 3 vor dem Gießen ein Reaktionsmittel beizumischen. Zumindest ein Teil des Reaktionsmittels kann mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl 3 zu einer Stickstoffverbindung reagieren. Die Zuführeinrichtung 2 ist dabei als Hubgaszufuhr 6 einer Durchlaufentgasungsanordnung 4 ausge-

bildet. Die Durchlaufentgasungsanordnung 4 ist zum Durchführen eines Ruhrstahl-Heraeus-Verfahrens eingerichtet.

[0053] Als Reaktionsmittel kann beispielsweise Wasserstoff eingesetzt werden. Dieser kann mit Stickstoff aus dem Rohstahl 3 zu Ammoniak reagieren.

[0054] Der bei einem primärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess erzeugte Rohstahl 3 ist in FIG 1 in einer Gusspfanne 5 angeordnet. Um Verunreinigungen aus dem Rohstahl 3 entfernen zu können, ist oberhalb der Gusspfanne 5 die Durchlaufentgasungsanordnung 4 ausgebildet.

[0055] Die Durchlaufentgasungsanordnung 4 weist eine Steigleitung 4a auf, durch die der Rohstahl 3 aus der Gusspfanne 5 in eine Vakuumkammer 4b aufsteigen kann. Die Vakuumkammer 4b ist mit einer Vakuumpumpe 4c verbunden, welche dazu eingerichtet ist, ein Vakuum in der Vakuumkammer 4b zu erzeugen. Dadurch lässt sich in der Vakuumkammer 4b der Partialdruck von Verunreinigungen verringern. Infolgedessen nimmt die Konzentration dieser Verunreinigungen in dem Teil des Rohstahls 3 ab, der sich gegenwärtig in der Vakuumkammer 4b befindet. Der derartig gereinigte bzw. entgaste Rohstahl 3 kann über eine Rückföhrleitung 4d zurück in die Gusspfanne 5 fließen.

[0056] Um den Rohstahl 3 aus der Gusspfanne 5 in die Vakuumkammer 4b zu befördern, ist die Hubgaszufuhr 6 dazu eingerichtet, ein Hubgas in die Steigleitung 4a einzuleiten. Zum Beispiel kann die Hubgaszufuhr 6 dazu eingerichtet sein, Bläschen des Hubgases in der Steigleitung 4a zu erzeugen. Dadurch verringert sich die effektive Dichte des Rohstahls 3 in der Steigleitung 4a gegenüber der Rückföhrleitung 4d, sodass der Rohstahl 3 in der Steigleitung 4a aufsteigt.

[0057] Die Zuführeinrichtung 2 weist im gezeigten Beispiel vorteilhaft eine Mischeinheit 2a auf, die dazu eingerichtet ist, dem Hubgas das Reaktionsmittel beizumischen. Zu diesem Zweck ist die Mischeinheit 2a vorzugsweise mit einem Reaktionsmittelreservoir 2b verbunden, beispielsweise einem Tank oder einer Versorgungsleitung. Zumindest ein Teil des dem Reaktionsmittelreservoir 2b entnommenen und mithilfe der Mischeinheit 2a dem Hubgas beigemischten Reaktionsmittels kann dann bereits in der Steigleitung 4a eine Stickstoffverbindung mit Stickstoff aus dem Rohstahl 3 bilden.

[0058] Zweckmäßigerweise ist die Hubgaszufuhr 6 dazu eingerichtet, das Hubgas bzw. das Hubgas-Reaktionsmittel-Gemisch mit einer verhältnismäßig großen Zuföhrerate dem Rohstahl 3 in der Steigleitung 4a zuzuföhren. Solch hohe Zuföhraten von beispielsweise 150 m³/h sind hierbei vorteilhaft, um den gleichmäßigen Durchfluss von Rohstahl 3 durch die Durchlaufentgasungsanordnung 4 sicherstellen zu können. Entsprechend können mithilfe der als Hubgaszufuhr 6 ausgebildeten Zuföhrereinrichtung 2 auch große Mengen von Reaktionsmittel dem Rohstahl 3 zugeföhrt werden. Dies ist ein Vorteil gegenüber der Zuföhrung von Reaktionsmittel beispielsweise über poröse Spölsteine oder wandmontierten Ein-

spritzdüsen zum Beispiel im Lichtbogenofen, die nur geringe Zuführraten erlauben.

[0059] Die Zuführeinrichtung 2 ist in bevorzugter Weise dazu eingerichtet, den Anteil des dem Hubgas beigemischten Reaktionsmittels zu variieren. Zweckmäßigerweise ist die Zuführeinrichtung 2 dazu mit einer Steuereinheit 2c verbunden. Die Steuereinheit 2c kann beispielsweise dazu eingerichtet sein, eine Ventilanordnung der Mischeinheit 2a zu steuern.

[0060] Um eine möglichst schnelle Entfernung des Stickstoffs aus dem Rohstahl 3 zu erzielen, kann die Steuereinheit 2c insbesondere dazu eingerichtet sein, nach Beginn des Ruhrstahl-Heraeus-Verfahrens - wenn bereits Rohstahl 3 in der Steigleitung 4a aufgestiegen ist - das Prozessgas, üblicherweise Argon, vollständig oder zumindest nahezu vollständig durch das Reaktionsmittel zu ersetzen. Bevor der Rohstahl 3 der Gusspfanne 5 zum Gießen entnommen wird, wird bevorzugt sichergestellt, dass nicht nur die Konzentration des Stickstoffs im Rohstahl 3, sondern auch die Konzentration des Reaktionsmittels (wieder) reduziert wird. Zweckmäßigerweise ist die Steuereinheit 2c daher dazu eingerichtet, die Reaktionsmittelzufuhr aus dem Reaktionsmittelreservoir 2b kurz vor dem Gießen des Rohstahls 3 zu unterbrechen, sodass die Hubgaszufuhr 6 nur noch Hubgas in die Steigleitung 4a einleitet.

[0061] FIG 2 zeigt ein zweites Beispiel einer Vorrichtung 1 zum Erzeugen von Stahl mit einer Zuführeinrichtung 2. Die Zuführeinrichtung 2 ist dazu eingerichtet, mithilfe eines Lichtbogenofens bereitgestellten Rohstahl 3 während eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses zur Veredelung des Rohstahls 3 vor dem Gießen ein Reaktionsmittel beizumischen. Zumindest ein Teil des Reaktionsmittels kann mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl 3 zu einer Stickstoffverbindung reagieren. Die Zuführeinrichtung 2 weist dabei eine in einer Vakuumkammer 4b einer Durchlaufentgasungsanordnung 4 angeordnete Einlaufanze 7 auf. Die Durchlaufentgasungsanordnung 4 ist zum Durchführen eines Ruhrstahl-Heraeus-Verfahrens eingerichtet.

[0062] Analog zum in FIG 1 gezeigten Beispiel weist die Durchlaufentgasungsanordnung 4 eine Steigleitung 4a mit einer Hubgaszufuhr 6, eine Vakuumpumpe 4c und eine Rückführleitung 4d auf. Damit kann der Rohstahl 3 aus einer Gussform 5 durch die Vakuumkammer 4b gefördert werden, wobei sich Verunreinigungen aus dem Rohstahl 3 entfernen lassen.

[0063] Die dabei in der Vakuumkammer 4b angeordnete Einlaufanze 7 ist dazu eingerichtet, das Reaktionsmittel dem Rohstahl 3 als Teil eines Überschall-Dampfstrahls 8, welcher einen Spiegel 3a des Rohstahls 3 in der Vakuumkammer 4b durchdringen kann, zuzuführen. Zu diesem Zweck ist die Einlaufanze 7 vorzugsweise mit einem Reaktionsmittelreservoir 2b verbunden.

[0064] In bevorzugter Weise ist die Einlaufanze 7 dazu eingerichtet, einen Wasserdampfstrahl mit Überschallgeschwindigkeit auf den Rohstahl 3 in der Vakuumkammer 4b zu blasen. Zu diesem Zweck kann die Einlauf-

lanze 7 eine Lavaldüse aufweisen.

[0065] Das Reaktionsmittel bilden in diesem Fall die Wassermoleküle aus dem Dampfstrahl 8, insbesondere der Wasserstoff aus dem Dampfstrahl 8. Im Rohstahl 3 können die Wassermoleküle aufgebrochen werden, so dass sich der Wasserstoff mit dem Stickstoff aus dem Rohstahl 3 verbinden kann. Die Verwendung von Wasserdampf ist hierbei besonders vorteilhaft, da gleichzeitig der in den Wassermolekülen enthaltene Sauerstoff zur Entkarbonisierung des Rohstahls 3 genutzt werden kann.

[0066] Beim Wasserdampfstrahl handelt es sich vorzugsweise um einen Dampfstrahl 8 aus überhitztem Wasserdampf. Das Reaktionsmittelreservoir 2b ist daher zweckmäßigerweise dazu eingerichtet, Wasserdampf zu überhitzen oder solchen überhitzten Wasserdampf, der auch als Heißdampf bezeichnet wird, bereitzustellen. Das Reaktionsmittelreservoir 2b kann zu diesem Zweck einen Überhitzer aufweisen.

[0067] FIG 3 zeigt ein drittes Beispiel einer Vorrichtung 1 zum Erzeugen von Stahl mit einer Zuführeinrichtung 2. Die Zuführeinrichtung 2 ist dazu eingerichtet, mithilfe eines Lichtbogenofens bereitgestellten Rohstahl 3 während eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses zur Veredelung des Rohstahls 3 vor dem Gießen ein Reaktionsmittel beizumischen. Zumindest ein Teil des Reaktionsmittels kann mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl 3 zu einer Stickstoffverbindung reagieren. Die Zuführeinrichtung 2 weist dabei eine in einem Pfannenofen 9 angeordnete Einlaufanze 7 auf.

[0068] Der Pfannenofen 9 setzt sich zusammen unter anderem aus einer Gußpfanne 5, die den Rohstahl 3 enthält, und einem mit Elektroden 10 bestückten Deckel 11, der auf die Gußpfanne 5 aufsetzbar ist. Mithilfe der Elektroden 10 ist der Pfannenofen 9 zweckmäßigerweise zum Temperieren des Rohstahls 3 eingerichtet, indem ein Lichtbogen zum Erhitzen des Rohstahls 3 erzeugt wird. Es lässt sich so zum Beispiel eine Gießtemperatur sehr präzise einstellen.

[0069] Der Pfannenofen 9 kann auch dazu eingerichtet sein, Legierungselemente in den Rohstahl 3 einzubringen. Dazu kann der Pfannenofen 9 eine Legierungsstoffzufuhr aufweisen (nicht gezeigt).

[0070] Um eine homogene Durchmischung des Rohstahls 3 insbesondere während des Erhitzens mit den Elektroden 10 oder Zufuhr von Legierungsstoffen zu erzielen, ist es bekannt, ein Prozessgas wie etwa Argon in den Rohstahl 3 einzuleiten. Dazu kann die Gußpfanne 5 an ihrem Grund angeordnete Spülsteine mit einer Porenstruktur aufweisen. Durch die Porenstruktur kann das Prozessgas dem Rohstahl 3 blubbernd, d. h. unter Blasenbindung, zugeführt werden. Das Prozessgas kann in diesem Fall auch als Spülgas bezeichnet werden.

[0071] Im vorliegenden Beispiel wird die Funktion der Spülsteine jedoch von der Einlaufanze 7 übernommen. D. h., dass die Einlaufanze 7 dazu eingerichtet ist, dass Prozessgas in den Rohstahl 3 einzuleiten und dadurch beispielsweise für eine Durchmischung des Rohstahls 3

zu sorgen.

[0072] Zweckmäßigerweise ist die Einlauflanze 7 vertikal verfahrbar ausgebildet, was durch die Pfeile im Bereich der Lanzenspitze angedeutet ist. Dadurch ist es möglich, die Einlauflanze 7 zum Beispiel vor der Absenkung des Deckels 11 auf die Gußpfanne 5 in den Rohstahl 3 abzusenken und nach dem Abheben des Deckels 11 zu einem späteren Zeitpunkt, insbesondere vor der Entnahme des Rohstahls 3 aus der Gußpfanne 5 zum Gießen aus dem Rohstahl 3, herauszuziehen.

[0073] Die Zuführeinrichtung 2 weist, ähnlich wie im in FIG 1 gezeigten Beispiel, eine Mischeinheit 2a auf, die mit der Einlauflanze 7 gekoppelt ist. Die Mischeinheit 2a ist zweckmäßigerweise dazu eingerichtet, dem Prozessgas das Reaktionsmittel beizumischen. Die Mischeinheit 2a ist dazu vorzugsweise mit einem Reaktionsmittelreservoir 2b verbunden.

[0074] Die Zuführeinrichtung 2 weist darüber hinaus vorzugsweise eine Steuereinheit 2c auf, die zu Steuerung der Mischeinheit 2a eingerichtet ist. Die Steuereinheit 2c kann dadurch insbesondere veranlassen, dass ein Anteil des dem Prozessgas beigemischten Reaktionsmittels variiert.

[0075] Um ein Inkontaktbringen des Reaktionsmittels mit der Atmosphäre im Pfannenofen 9 und/oder ein Verstopfen der Lanzennöffnung bzw. -düse mit abkühlendem Rohstahl 3 zu verhindern, kann die Steuereinheit 2c beispielsweise dazu eingerichtet sein, die Mischeinheit 2a derart zu steuern, dass vor und beim Absenken der Einlauflanze 7 lediglich das Prozessgas aus der Einlauflanze 7 ausgeblasen wird. Die Steuereinheit 2c kann weiter dazu eingerichtet sein, zu veranlassen, dass dem Prozessgas nach dem Absenken zumindest eines Teils der Einlauflanze 7 in den Rohstahl 3 das Reaktionsmittel beigemischt wird, insbesondere das Prozessgas vollständig oder zumindest nahezu vollständig durch das Reaktionsmittel ersetzt wird. Bevorzugt ist die Steuereinheit 2c auch dazu eingerichtet, zu veranlassen, dass unmittelbar vor und/oder beim Herausziehen der Einlauflanze 7 aus dem Rohstahl 3 lediglich das Prozessgas aus der Einlauflanze 7 ausgeblasen wird, d. h. das Reaktionsmittel (wieder) durch das Prozessgas ersetzt wird.

[0076] Der Vorteil der Einlauflanze 7 gegenüber am Grund des Pfannenofens 9 angeordneten Spülsteinen zum Einleiten von Prozessgas und insbesondere dem Prozessgas beigemischten Reaktionsmittel liegt in einer Verminderung der Reduktion und dem damit verbundenen verringerten Verschleiß. Beim Einblasen des Reaktionsmittels durch eine wohldefinierte Austrittsöffnung der Einlauflanze 7, insbesondere eine metallische Düse an der Lanzenspitze, ist die Reduktion aufgrund der höheren Strömungsgeschwindigkeit des Reaktionsmittels deutlich geringer ausgeprägt als beim Durchströmen der Porenstruktur von Spülsteinen.

[0077] FIG 4 zeigt ein viertes Beispiel einer Vorrichtung 1 zum Erzeugen von Stahl mit einer Zuführeinrichtung 2. Die Zuführeinrichtung 2 ist dazu eingerichtet, mithilfe eines Lichtbogenofens bereitgestellten Rohstahl 3 wäh-

rend eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses zur Veredelung des Rohstahls 3 vor dem Gießen ein Reaktionsmittel beizumischen. Zumindest ein Teil des Reaktionsmittels kann mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl 3 zu einer Stickstoffverbindung reagieren. Die Zuführeinrichtung 2 weist dabei eine in einer Pfannenentgasungsanordnung 12 angeordnete Einlauflanze 7 auf.

[0078] Die Pfannenentgasungsanordnung 12 ist zweckmäßigerweise zum Entgasen des Rohstahls 3 eingerichtet. Dazu kann die Pfannenentgasungsanordnung 12 dazu eingerichtet sein, eine Gusspfanne 5 in einem gasdicht verschließbaren Gehäuse 12a aufzunehmen. Das Gehäuse 12a ist mit einer Vakuumpumpe 12b verbunden, die dazu eingerichtet ist, ein Vakuum innerhalb des Gehäuses 12a herzustellen. Dadurch lässt sich im Gehäuse 12a der Partialdruck von Verunreinigungen verringern. Infolgedessen nimmt die Konzentration dieser Verunreinigungen im Rohstahl 3 ab.

[0079] Um eine homogene Durchmischung des Rohstahls 3 in der Gusspfanne 5 erreichen zu können, ist eine Einlauflanze 7 vorgesehen, die zum Ausblasen eines Prozessgases wie etwa Argon eingerichtet ist. Zweckmäßigerweise ist die Einlauflanze 7 vertikal beweglich ausgebildet, sodass zumindest ein Teil der Einlauflanze 7 nach Aufnahme der Gussform 5 durch das Gehäuse 12a in den sich in der Gussform 5 befindlichen Rohstahl 3 einführbar und, nach der Entgasung des Rohstahls 3, wieder herausziehbar ist.

[0080] Die Zuführeinrichtung 2 weist eine Mischeinheit 2a auf, um dem Prozessgas das Reaktionsmittel nach Bedarf beizumischen. Das Reaktionsmittel kann dabei einem Reaktionsmittelreservoir 2b entnommen und die Beimischung mithilfe einer Steuereinheit 2c gesteuert werden.

[0081] Die Einlauflanze 7 und die Zuführeinrichtung 2 können dabei wie im Zusammenhang mit FIG 3 beschrieben ausgebildet bzw. eingerichtet sein.

[0082] FIG 5 zeigt ein Beispiel eines Verfahrens 100 zum Erzeugen von Stahl.

[0083] In einem Verfahrensschritt S1 wird bei einem primärmetallurgischen Prozess mithilfe eines Lichtbogenofens aus Einsatzstoffen wie metallisches Eisen enthaltendes Material und/oder Schrott Rohstahl bereitgestellt. Vorzugsweise wird bereits im Rahmen des dieses Prozesses Stickstoff aus den eingeschmolzenen Einsatzstoffen entfernt. Zu diesem Zweck kann im Lichtbogenofen beispielsweise ein Reaktionsmittel, insbesondere Wasserstoff, etwa über Spülsteine mit Porenstruktur oder an einer Wandung des Lichtbogenofens montierte Einspritzdüsen in die Schmelze eingeleitet werden. Das Reaktionsmittel oder zumindest ein Teil davon kann dann eine Verbindung mit dem Stickstoff in der Schmelze bilden, welche der Schmelze über eine Gasabfuhr entzogen wird.

[0084] Um die Stickstoffkonzentration in dem derart bereitgestellten Rohstahl noch weiter zu verringern, wird dem Rohstahl in einem weiteren Verfahrensschritt S2

erneut ein Reaktionsmittel zugeführt. Dabei kann es sich um dasselbe, auch in Verfahrensschritt S1 verwendete Reaktionsmittel handeln. Alternativ ist es aber auch denkbar, in Verfahrensschritt S2 ein anderes Reaktionsmittel zu verwenden.

[0085] Vorzugsweise wird das Reaktionsmittel zumindest zeitweise gleichzeitig und/oder wechselseitig mit einem Prozessgas dem Rohstahl zugeführt. Das Reaktionsmittel wird dem Prozessgas dazu zweckmäßigerweise zumindest zeitweise beigemischt, wobei der dem Prozessgas beigemischte Anteil an Reaktionsmittel variierbar ist. Beispielsweise lässt sich der beigemischte Anteil an Reaktionsmittel in Abhängigkeit des Prozessverlaufs, insbesondere in Abhängigkeit der verbleibenden Stickstoffkonzentration im Rohstahl, variieren.

[0086] Die Beimischung des Reaktionsmittels zum Prozessgas, gegebenenfalls auch das zumindest zeitweise Ersetzen des Prozessgases durch das Reaktionsmittel, kann zum Beispiel im Rahmen eines Ruhrstahl-Heraeus-Verfahrens erfolgen. Das Reaktionsmittel wird dabei zweckmäßigerweise einem in eine Steigleitung eingeleiteten Hubgas beigemischt bzw. ersetzt das Hubgas zumindest zeitweise. Dadurch lässt sich das Reaktionsmittel dem Rohstahl nicht nur zu großen Mengen in besonders kurzer Zeit zuführen, sondern zusätzlich Hubgas einsparen.

[0087] Alternativ kann die Beimischung des Reaktionsmittels auch zu einem Spülgas zur homogenen Durchmischung des Rohstahls erfolgen, etwa in einem Pfannenofen bei der Temperierung und/oder der Legierung des Rohstahls, oder in einer Pfannenentgasungsanordnung vor und/oder während der Entgasung. Das Reaktionsmittel wird dabei zweckmäßigerweise durch eine Einlauflanze, die zunächst in den Rohstahl abgesenkt wird, in den Rohstahl ausgeblasen. Nachdem beispielsweise die Stickstoffkonzentration im Rohstahl auf oder unter einen vorgegebenen Wert gefallen ist, wird das Ausblasen von Reaktionsmittel aus der Einlauflanze gestoppt und die Einlauflanze wieder aus dem Rohstahl herausgezogen. Während des Einführens und Herausziehens in bzw. aus dem Rohstahl wird in bevorzugter Weise kontinuierlich das Spülgas aus der Einlauflanze ausgeblasen.

[0088] Eine Einlauflanze zum Zuführen des Reaktionsmittels lässt sich auch im Rahmen des Ruhrgas-Heraeus-Verfahrens vorteilhaft einsetzen. Hierbei wird mithilfe der Einlauflanze vorzugsweise ein das Reaktionsmittel enthaltener Überschall-Dampfstrahl auf den durch das Hubgas in eine Vakuumkammer aufgestiegenen Rohstahl geblasen. Der Überschall-Dampfstrahl kann den Spiegel des Rohstahls in der Vakuumkammer durchdringen, sodass das Reaktionsmittel im Rohstahl die Stickstoffverbindung bilden kann.

[0089] In einem weiteren Verfahrensschritt S3 wird die im Rohstahl gebildete Stickstoffverbindung aus dem Rohstahl entfernt. Zweckmäßigerweise wird der Rohstahl hierzu entgast.

[0090] Beim Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren findet das

Entgasen kontinuierlich in der Vakuumkammer und damit unmittelbar nach dem Zuführen des Reaktionsmittels in der Steigleitung statt. Es ist hierbei vorteilhaft, das Entgasen auch noch eine Weile fortzuführen, nachdem die Beimischung des Reaktionsmittels zum Hubgas gestoppt bzw. wieder nur noch reines Hubgas in die Steigleitung eingeleitet wird. Dadurch kann der Rohstahl auch von Reaktionsmittel befreit werden.

[0091] Alternativ kann das Entgasen in einem vom Zuführen des Reaktionsmittels unabhängigen, diskreten Entgasungsschritt erfolgen. Beispielsweise kann eine Gussform am Ende des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses in ein gasdicht verschließbares Gehäuse einer Pfannenentgasungsanordnung eingeführt und der darin enthaltene Rohstahl so vor dem Gießen entgast werden.

[0092] Obwohl die Erfindung im Detail durch das bevorzugte Ausführungsbeispiel näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

[0093]

1	Vorrichtung
2	Zuführeinrichtung
2a	Mischeinheit
2b	Reaktionsmittelreservoir
2c	Steuereinheit
3	Rohstahl
3a	Spiegel
4	Durchlaufentgasungsanordnung
4a	Steigleitung
4b	Vakuumkammer
4c	Vakuumpumpe
4d	Rückführleitung
5	Gusspfanne
6	Hubgaszufuhr
7	Einlauflanze
8	Dampfstrahl
9	Pfannenofen
10	Elektrode
11	Deckel
12	Pfannenentgasungsanordnung
12a	Gehäuse
12b	Vakuumpumpe
100	Verfahren

S1-S3 Verfahrensschritt

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zum Produzieren von Stahl, wobei

- mithilfe eines Lichtbogenofens Rohstahl (3) bereitgestellt (S1) und der bereitgestellte Rohstahl in einem sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozess vor dem Gießen veredelt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
dem bereitgestellten Rohstahl (3) während des sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses ein Reaktionsmittel zugeführt wird (S2), von dem zumindest ein Teil mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl (3) zu einer Stickstoffverbindung reagiert.
2. Verfahren (100) nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Reaktionsmittel einem dem bereitgestellten Rohstahl (3) zugeführten Prozessgas beigemischt wird.
3. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Menge des dem bereitgestellten Rohstahl (3) zugeführten Reaktionsmittels variiert wird.
4. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein Vakuum erzeugt und der bereitgestellte Rohstahl (3) dem erzeugten Vakuum zumindest teilweise ausgesetzt wird, wobei das Reaktionsmittel demjenigen Teil des Rohstahls (3), der dem Vakuum ausgesetzt ist, zugeführt wird.
5. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl (3) bei einem Ruhrstahl-Heraeus-Verfahren zugeführt wird.
6. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl (3) mit einer Zuführrate von wenigstens 150 m³/h zugeführt wird.
7. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl (3) in einem Pfannenofen (9) oder einer Pfannenentgasungsanordnung (12) zugeführt wird.
8. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Reaktionsmittel dem bereitgestellten Rohstahl (3) mithilfe einer Einlauflanze (7) zugeführt wird.
9. Verfahren (100) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Einlauflanze (7) zumindest teilweise in den bereitgestellten Rohstahl (3) eingeführt wird, bevor das Reaktionsmittel durch die Einlauflanze (7) geführt wird.
10. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Zuführen von Reaktionsmittel zumindest reduziert wird, bevor die Einlauflanze (7) aus dem bereitgestellten Rohstahl (3) herausgezogen wird.
11. Verfahren (100) nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Reaktionsmittel als Teil eines Überschall-Dampfstrahls (8) auf den bereitgestellten Rohstahl (3) aufgeblasen wird.
12. Verfahren (100) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Rohstahl (3) nach dem Zuführen von Reaktionsmittel entgast (S3) wird, bevor er gegossen wird.
13. Vorrichtung (1) zum Erzeugen von Stahl,
gekennzeichnet durch
eine Zuführeinrichtung (2), die dazu eingerichtet ist, mithilfe eines Lichtbogenofens bereitgestelltem Rohstahl (3) während eines sekundärmetallurgischen Stahlerzeugungsprozesses zur Veredelung des Rohstahls (3) vor dem Gießen ein Reaktionsmittel zuzuführen, von dem zumindest ein Teil mit Stickstoff aus dem bereitgestellten Rohstahl (3) zu einer Stickstoffverbindung reagieren kann.
14. Anlage zum Erzeugen von Stahl, mit einem Lichtbogenofen zur Bereitstellung von Rohstahl (3) und einer Vorrichtung (1) gemäß Anspruch 13.

FIG 1

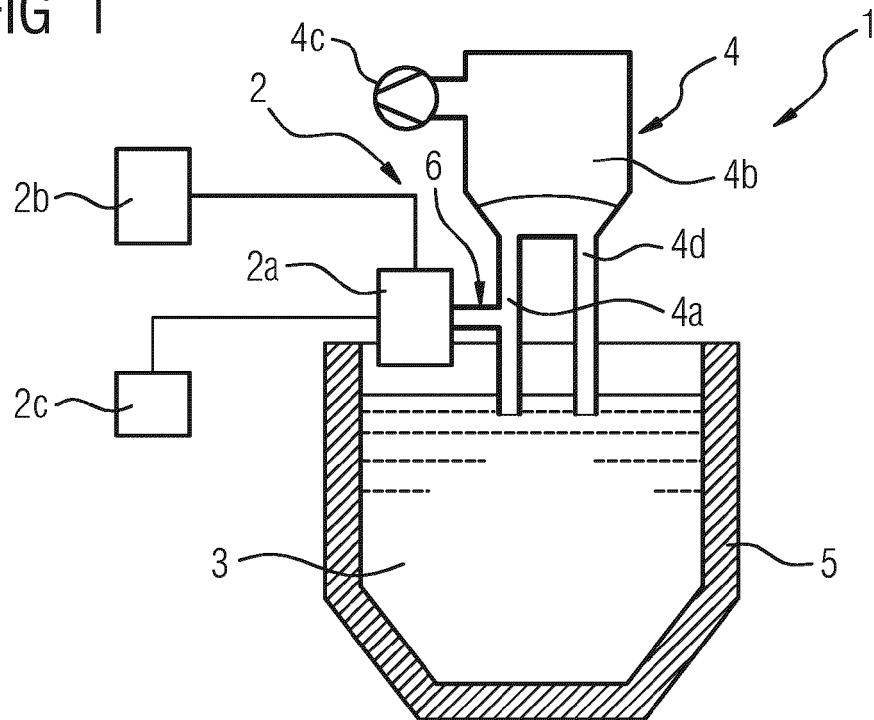


FIG 2

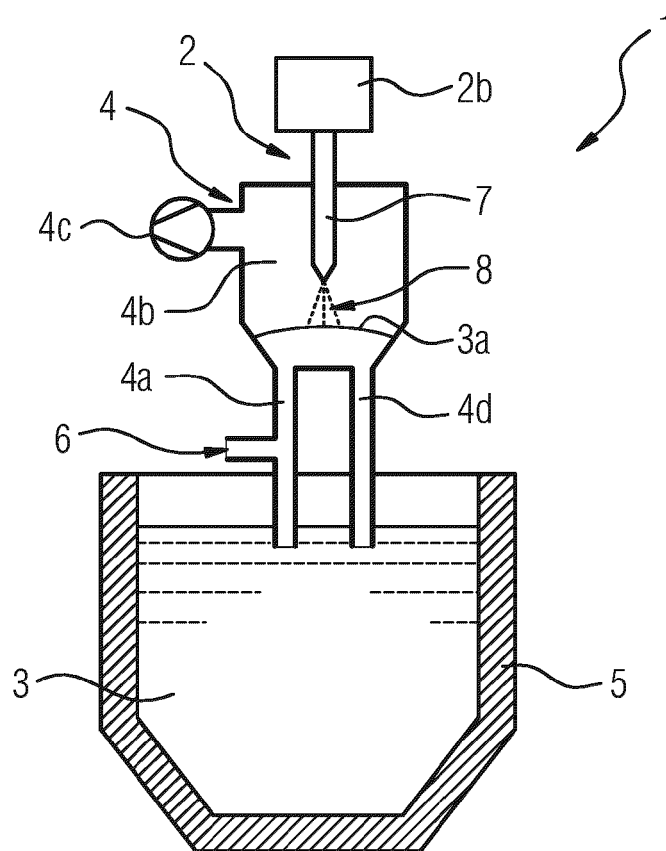


FIG 3

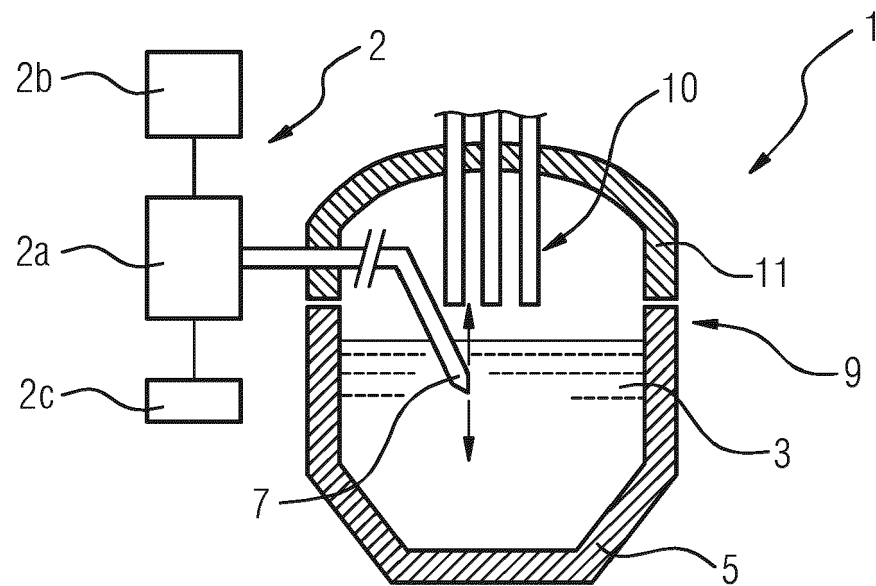


FIG 4

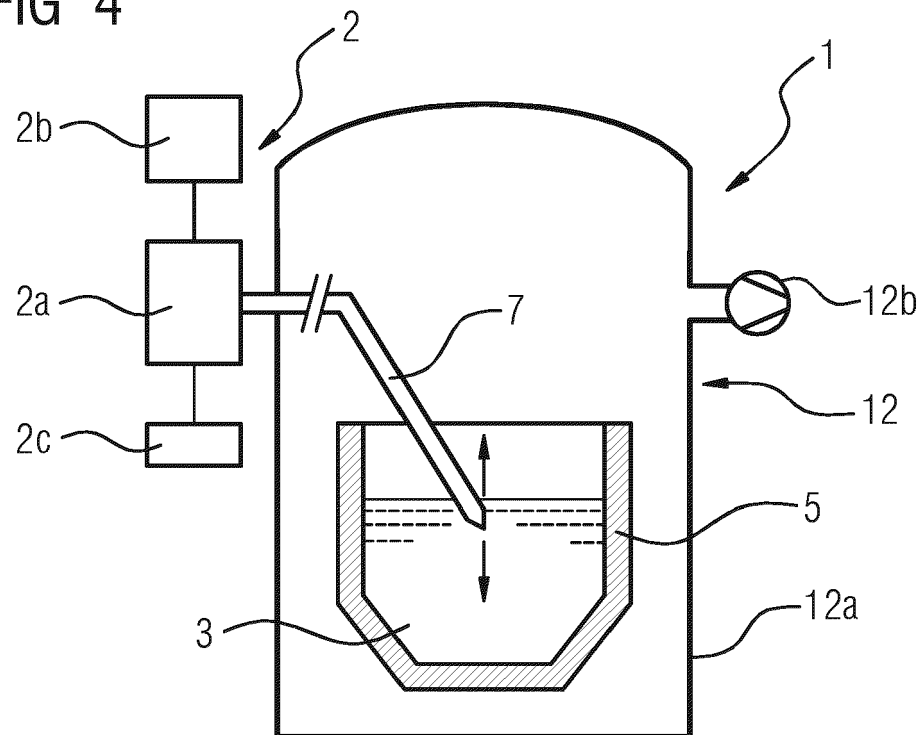
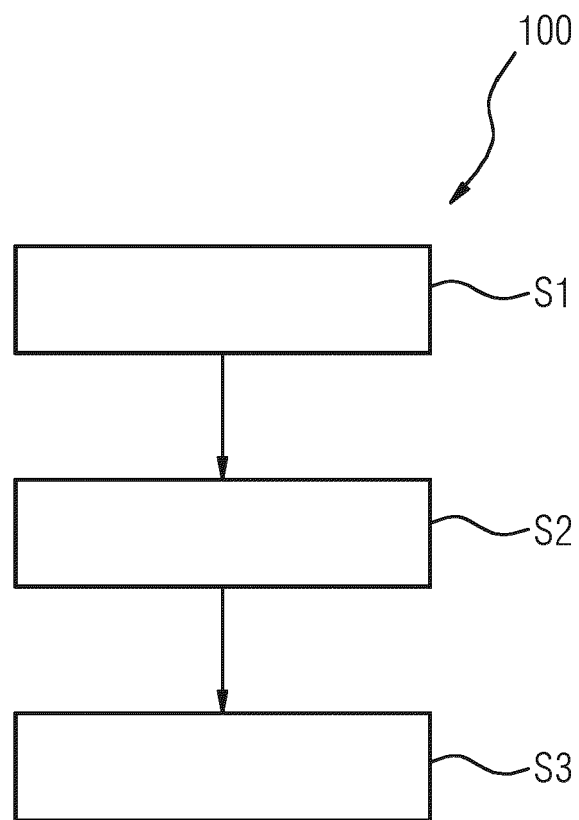


FIG 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 21 15 0490

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	CN 101 603 115 A (UNIV WUHAN SCIENCE & ENG [CN]) 16. Dezember 2009 (2009-12-16) * Seite 1, Zeile 12 - Seite 2, Zeile 12 * * Seite 2, Zeile 14 - Seite 4, Zeile 14 * -----	1-14	INV. C21C7/06 C21C7/072 C21C7/10
X	CN 109 628 705 A (UNIV TAIYUAN SCIENCE & TECH) 16. April 2019 (2019-04-16) * Absatz [0001] * * Absatz [0008] - Absatz [0034] * * Ansprüche 1-10 * -----	1-14	
X	DE 198 56 050 C1 (TECHNOMETAL GES FUER METALLTEC [DE]) 20. April 2000 (2000-04-20)	1,2,4	
A	* Spalte 1, Zeile 3 - Spalte 2, Zeile 28 * -----	3,5-14	
A	DE 10 57 342 B (FISCHER AG GEORG) 14. Mai 1959 (1959-05-14) * Abbildungen 1, 2 * * Spalte 2, Zeile 44 - Spalte 4, Zeile 15 * * Ansprüche 1-5 *	1-14	
	-----		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C21C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 18. Mai 2021	Prüfer Jung, Régis
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 15 0490

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

18-05-2021

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	CN 101603115 A	16-12-2009	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
15	CN 109628705 A	16-04-2019	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
	DE 19856050 C1	20-04-2000	DE 19856050 C1	20-04-2000
			WO 0034535 A1	15-06-2000
	-----	-----	-----	-----
20	DE 1057342 B	14-05-1959	KEINE	
	-----	-----	-----	-----
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82