

**Vorrichtung und Verfahren zur Nutzung elektrischer Energie
zur Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen**

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren,
mit denen sich elektrische Energie zur Herstellung von
5 Eisen aus oxidischen Eisenerzen nutzen lässt.

Die Herstellung von Eisen aus oxidischen Eisenerzen erfolgt
üblicherweise im Hochofenprozess durch eine Reduktion von
oxidischem Eisenerz mit Kohlenmonoxid, das durch
Luftoxidation von Koks erzeugt wird. Dabei entstehen große
10 Mengen an Kohlendioxid. Die Eisenherstellung im
Hochofenprozess führt deshalb zu großen
Kohlendioxidemissionen aus fossilen Kohlenstoffquellen.

Um die Kohlendioxidemissionen aus dem Hochofenprozess zu
verringern, können dem Hochofen Kohlenwasserstoffe, wie
15 Mineralöl oder Erdgas, oder molekularer Wasserstoff als
Reduktionsmittel zugeführt werden, die einen Teil des Koks
ersetzen.

Als Alternative zum Hochofenprozess wurde eine Reihe von
sogenannten Direktreduktionsverfahren entwickelt, bei denen
20 an Stelle der Reduktion mit aus Koks erzeugtem
Kohlenmonoxid eine Reduktion mit Kohlenmonoxid enthaltendem
Synthesegas oder einem anderen Reduktionsmittel erfolgt.
Auch diese Prozesse nutzen aber in der Regel fossile
Kohlenstoffquellen als Reduktionsmittel oder als
25 Ausgangsmaterial für die Herstellung des Reduktionsmittels.

Für eine weitere Reduktion der Kohlendioxidemissionen ist
es wünschenswert, für die Herstellung von Eisen aus
oxidischen Eisenerzen an Stelle von fossilen Energiequellen
Energie aus erneuerbaren Quellen, insbesondere aus
30 Solarenergie oder Windkraft einsetzen zu können. Aus diesen
erneuerbaren Quellen wird die Energie allerdings in Form
elektrischer Energie erhalten, die im Hochofenprozess und

den Direktreduktionsverfahren nicht direkt für die Reduktion von oxidischem Eisenerz genutzt werden kann.

Um aus erneuerbaren Quellen erzeugte elektrische Energie im Hochofenprozess nutzen zu können wurde vorgeschlagen, durch
5 Elektrolyse von Wasser Wasserstoff herzustellen und den Wasserstoff dem Hochofen als Reduktionsmittel zuzuführen. Eine solche Elektrolyse ist allerdings technisch aufwendig und unwirtschaftlich.

Es besteht deshalb weiterhin Bedarf, elektrische Energie
10 für die Herstellung von Eisen aus oxidischen Eisenerzen effizienter nutzen zu können, um die Kohlendioxidemissionen bei der Eisenherstellung zu verringern. Es besteht insbesondere Bedarf für Verfahren, mit denen sich die elektrische Energie besser nutzen lässt als durch die
15 Verwendung von elektrolytisch aus Wasser erzeugtem Wasserstoff als Reduktionsmittel.

Es wurde nun gefunden, dass sich dies durch eine Kopplung einer elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einer Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen erreichen lässt,
20 bei der Wasserstoff aus der elektrothermischen Herstellung von Ethin als Reduktionsmittel für die Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen verwendet wird.

Gegenstand der Erfindung ist demnach eine Vorrichtung zur Nutzung elektrischer Energie zur Eisenherstellung aus
25 oxidischen Eisenerzen, die eine Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin aus Kohle oder einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases, eine Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen
30 und mindestens eine Gasleitung umfasst, die das Wasserstoff enthaltende Gas von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführt.

Gegenstand der Erfindung ist außerdem ein Verfahren zur Nutzung elektrischer Energie zur Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen, umfassend eine elektrothermische Herstellung von Ethin aus Kohle oder einem
5 kohlenwasserstoffhaltigen Gas unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases und eine Einspeisung dieses Gases als Reduktionsmittel in eine Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst eine Anlage zur
10 elektrothermischen Herstellung von Ethin aus Kohle oder einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases.

Bei einer elektrothermischen Herstellung von Ethin wird Ethin in einer endothermen Reaktion aus Kohlenwasserstoffen
15 oder Kohle hergestellt und die zur Durchführung der Reaktion erforderliche Wärme wird durch elektrischen Strom erzeugt. Für die elektrothermische Herstellung von Ethin können gasförmige oder verdampfte Kohlenwasserstoffe eingesetzt werden, vorzugsweise aliphatische
20 Kohlenwasserstoffe. Besonders geeignet sind Methan, Ethan, Propan und Butane, insbesondere Methan. Geeignete Anlagen zur elektrothermischen Herstellung von Ethin sind aus dem Stand der Technik bekannt, beispielsweise aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition, Vol. A1,
25 Seiten 115-122, aus DE 1 900 644 A1, aus EP 0 133 982 A2 und aus H. Brachold et al., Chem.-Ing.-Tech. 65 (1993) Seiten 293-297.

Bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin wird zusätzlich zu Ethin noch Wasserstoff als Koppelprodukt
30 erhalten. Die bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung ist deshalb ein Ethin und Wasserstoff enthaltendes Gas, das zusätzlich noch Ruß und von Ethin verschiedenen Kohlenwasserstoffe enthalten kann.

Die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin kann einen oder mehrere Apparate umfassen, in denen Ethin elektrothermisch erzeugt wird. Wenn die Anlage mehrere Apparate zur Erzeugung von Ethin umfasst, sind diese
5 vorzugsweise parallel angeordnet und können unabhängig voneinander betrieben werden. Die Verwendung von mehreren parallel angeordneten Apparaten ermöglicht durch An- und Abschalten einzelner Apparate eine stufenweise Veränderung der Erzeugung von Ethin bei Einhaltung der optimalen
10 Betriebsbedingungen in den einzelnen Apparaten und vermeidet Wirkungsgradverluste durch einen Teillastbetrieb.

Die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin umfasst vorzugsweise einen Lichtbogenreaktor. Die elektrothermische Herstellung von Ethin kann dabei in einem
15 einstufigen Prozess erfolgen, bei dem mindestens ein Kohlenwasserstoff mit einem Gasstrom durch den Lichtbogen geführt wird. Alternativ kann die elektrothermische Herstellung von Ethin in einem zweistufigen Prozess erfolgen, bei dem Wasserstoff durch den Lichtbogen geführt
20 wird und mindestens ein Kohlenwasserstoff hinter dem Lichtbogen in das im Lichtbogen erzeugte Wasserstoffplasma eingespeist wird. Vorzugsweise umfasst die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mehrere parallel angeordnete Lichtbogenreaktoren, die unabhängig voneinander
25 betrieben werden können.

Die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin umfasst vorzugsweise eine Vorrichtung, mit der sich die bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung ganz oder zum Teil rasch abkühlen
30 (quenchen) lässt. Die Reaktionsmischung wird dabei vorzugsweise auf Temperaturen von weniger als 250 °C abgekühlt. Zum raschen Abkühlen kann ein direktes Quenchverfahren wie zum Beispiel die Einspeisung von Kohlenwasserstoffen und/oder Wasser oder ein indirektes
35 Quenchverfahren, wie zum Beispiel die rasche Abkühlung in

einem Wärmetauscher mit Dampfgewinnung eingesetzt werden. Direktes Quenchen und indirektes Quenchen können auch miteinander kombiniert werden. In einer ersten Ausführungsform wird die Reaktionsmischung nur mit Wasser gequencht. Diese Ausführungsform zeichnet sich durch relativ geringe Investitionskosten aus. In einer bevorzugten Ausführungsform wird die Reaktionsmischung mit einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas oder einer kohlenwasserstoffhaltigen Flüssigkeit gemischt, wobei zumindest ein Teil der Kohlenwasserstoffe endotherm gespalten wird. Je nach Prozessführung wird dabei ein mehr oder minder breites Produktspektrum erzeugt, z. B. neben Ethin, Wasserstoff und gegebenenfalls Kohlenmonoxid auch Anteile an Ethan, Propan, Ethen und anderen niederen Kohlenwasserstoffen. Hierdurch kann die entstehende Wärme in einem wesentlich höheren Umfang einer weiteren Verwendung wie der endothermen Spaltung der Kohlenwasserstoffe zugeführt werden. Geeignete Vorrichtungen zum Quenchen der Reaktionsmischung sind aus dem Stand der Technik bekannt, beispielsweise aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition, Vol. A1, Seiten 108-110 und 116-118.

Die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin umfasst vorzugsweise eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ruß aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung unter Erhalt eines Produktgases. Dieses Produktgas enthält das erzeugte Ethin, den als Koppelprodukt gebildeten Wasserstoff und in der Regel weitere, von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe. Zur Abtrennung von Ruß können alle zu diesem Zweck in bekannten Verfahren zur Herstellung von Ethin eingesetzten Vorrichtungen eingesetzt werden, beispielsweise Zyklone, Wäscher oder Elektrofilter. Geeignete Vorrichtungen sind beispielsweise aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition, Vol. A1, Seiten 108-110 und 118 bekannt.

- Die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin umfasst vorzugsweise zusätzlich zu der Vorrichtung zur Abtrennung von Ruß noch eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ethin aus dem bei der Abtrennung von Ruß erhaltenen Produktgas. Bei der Abtrennung von Ethin wird ein Wasserstoff enthaltendes Gases erhalten, das neben Wasserstoff noch Anteile an nicht abgetrenntem Ethin und von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe enthalten kann. Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung zur Abtrennung von Ethin einen Verdichter, eine unter Druck betriebene Absorptionskolonne und eine unter einem geringeren Druck als die Absorptionskolonne betriebene Desorptionskolonne. Zur selektiven Absorption von Ethin können Wasser oder geeignete Lösungsmittel, wie zum Beispiel N-Methylpyrrolidon, Dimethylformamid oder Methanol verwendet werden. Geeignete Vorrichtungen zur Abtrennung von Ethin sind aus dem Stand der Technik bekannt, beispielsweise aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition, Vol. A1, Seiten 110-112.
- Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst zusätzlich zu der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin noch eine Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen. Die Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen kann ein Hochofen oder eine Anlage für eine sogenannte Direktreduktion von oxidischen Eisenerzen sein. Geeignete Anlagen für die Direktreduktion von oxidischen Eisenerzen sind bekannt aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Online-Ausgabe 2012, Stichwort Iron, 3. Direct Reduction Processes, DOI 10.1002/14356007.o14_o02.

Vorzugsweise ist die Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen ein Hochofen. In einem Hochofen werden oxidische Eisenerze überwiegend durch Kohlenmonoxid reduziert, das im Hochofen durch Luftoxidation von Koks erzeugt wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst zusätzlich zu der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin und der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen noch mindestens eine Gasleitung, die das Wasserstoff enthaltende Gas von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann dabei auch mehrere Gasleitungen umfassen, die jeweils Wasserstoff enthaltendes Gas unterschiedlicher Zusammensetzung von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen. In der Gasleitung kann zusätzlich ein Förderorgan, z.B. ein Gebläse, angeordnet sein, um das Wasserstoff enthaltende Gas von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin in die Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen zu fördern.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist die Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen ein Hochofen und die Gasleitung bzw. die Gasleitungen führen das Wasserstoff enthaltende Gas bzw. die Wasserstoff enthaltenden Gase einem unteren Abschnitt des Hochofens zu. Vorzugsweise führt die Gasleitung das Wasserstoff enthaltende Gas dem Hochofen oberhalb der Luftzufuhrleitungen zu.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung eine Gasleitung, mit der sich die bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung ganz oder zum Teil unmittelbar der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen lässt. Unmittelbar bedeutet hier, dass aus der Reaktionsmischung

keine Bestandteile abgetrennt werden. Besonders bevorzugt wird die Reaktionsmischung ungekühlt der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt um die Wärmeenergie der Reaktionsmischung möglichst vollständig der Anlage zur Eisenherstellung zuzuführen. Zu diesem Zweck ist bei dieser Ausführungsform die Gasleitung vorzugsweise wärmeisoliert.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung umfasst die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ruß aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung unter Erhalt eines Produktgases, sowie eine Gasleitung, mit der sich dieses Produktgas der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen lässt.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung umfasst die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin zusätzlich zu einer Vorrichtung zur Abtrennung von Ruß aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung unter Erhalt eines Produktgases noch eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ethin aus diesem Produktgas unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases, sowie eine Gasleitung, mit der sich dieses Wasserstoff enthaltende Gas der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen lässt. Besonders bevorzugt wird bei der Abtrennung von Ethin ein Gas erhalten, das neben Wasserstoff zusätzlich noch von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe enthält.

Die Gasleitungen der zuvor beschriebenen drei bevorzugten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Vorrichtung können auch in Kombination miteinander vorliegen und Wasserstoff enthaltendes Gas unterschiedlicher Zusammensetzung von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin der

Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen.

Bei den drei zuvor beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen ist die Gasleitung vorzugsweise mit einer
5 Vorrichtung zum Speichern von Gas verbunden, besonders bevorzugt mit einem Gasometer. Die Verbindung der Gasleitung mit einer Vorrichtung zum Speichern von Gas ermöglicht auch bei einem Betrieb der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit zeitlich
10 veränderlichem Durchsatz eine gleichmäßige Zufuhr von Wasserstoff enthaltendem Gas zur Anlage zur Eisenherstellung.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann zusätzlich einen Speicher für Ethin umfassen. Dieser Speicher ermöglicht es,
15 nachgeschaltete Umsetzungen von Ethin zu weiteren Produkten kontinuierlich weiterzubetreiben, auch wenn die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit zeitlich veränderlichem Durchsatz betrieben wird. Vorzugsweise erfolgt die Speicherung von Ethin gelöst in einem
20 Lösungsmittel, besonders bevorzugt in einem Lösungsmittel, das in einer Vorrichtung zur Abtrennung von Ethin zur Absorption von Ethin aus dem bei der Abtrennung von Ruß erhaltenen Produktgas verwendet wird.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann mit einer
25 Wetterprognose-Einheit verbunden sein. Eine solche Verbindung mit einer Wetterprognose-Einheit ermöglicht es, den Betrieb der Vorrichtung so anzupassen, dass die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin einerseits angepasst an das Stromangebot aus Windenergie und
30 Sonnenenergie mit zeitlich veränderlichem Durchsatz betrieben werden kann und andererseits stets ausreichend Ethin für den kontinuierlichen Betrieb einer nachgeschalteten, Ethin verbrauchenden Anlage bereit steht. So kann, je nach Ergebnis der Wetterprognose,
35 beispielsweise ein Speicher für Ethin auf einen hohen oder

tiefen Füllstand gebracht werden. Darüber hinaus kann eine Anlage zur Weiterverarbeitung des Ethins auf geänderte Betriebsweisen vorbereitet und eingestellt werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann außerdem gekoppelt
5 mit Ethin verbrauchenden Anlagen betrieben werden. Wenn in den Ethin verbrauchenden Anlagen als Nebenprodukt Wasserstoff oder Kohlenwasserstoff enthaltende Gase anfallen, dann wird die erfindungsgemäße Vorrichtung mit der Ethin verbrauchenden Anlage vorzugsweise so gekoppelt,
10 dass das als Nebenprodukt anfallende, Wasserstoff oder Kohlenwasserstoff enthaltende Gas in eine Gasleitung eingespeist wird, mit der Wasserstoff enthaltendes Gas von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen
15 Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Nutzung elektrischer Energie zur Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen umfasst eine elektrothermische Herstellung von Ethin aus Kohle oder einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas unter Erhalt
20 eines Wasserstoff enthaltenden Gases und eine Einspeisung dieses Gases als Reduktionsmittel in eine Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen. Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise in der weiter oben beschriebenen erfindungsgemäßen Vorrichtung
25 durchgeführt. Vorzugsweise wird dabei ein Hochofen als Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen eingesetzt.

Im erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die elektrothermische Herstellung von Ethin vorzugsweise aus
30 einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas, besonders bevorzugt aus Erdgas. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform erfolgt die elektrothermische Herstellung von Ethin aus Kohle. Geeignete Verfahren zur elektrothermischen Herstellung von Ethin aus einem kohlenwasserstoffhaltigen
35 Gas oder aus Kohle sind aus dem Stand der Technik bekannt,

beispielsweise aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 5th Edition, Vol. A1, Seiten 115-122, aus DE 1 900 644 A1, aus EP 0 133 982 A2 und aus H. Brachold et al., Chem.-Ing.-Tech. 65 (1993) Seiten 293-297.

- 5 In der Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei der die elektrothermische Herstellung von Ethin aus Kohle erfolgt und die Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen ein Hochofen ist, wird der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin aus
10 Kohle als Nebenprodukt erhaltene Koks vorzugsweise aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung abgetrennt und dem Hochofen von oben zugeführt. Der abgetrennte Koks kann dazu granuliert, pelletiert oder brikettiert werden, bevor er dem Hochofen
15 zugeführt wird.

- Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise so betrieben, dass das Wasserstoff enthaltende Gas zusätzlich noch von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe enthält. Diese Kohlenwasserstoffe können nicht umgesetzte
20 Bestandteile eines eingesetzten kohlenwasserstoffhaltigen Gases sein oder in der elektrothermischen Herstellung von Ethin als Nebenprodukte gebildet werden. Alternativ oder zusätzlich können von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe erzeugt werden, indem die bei der elektrothermischen
25 Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung mit einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas oder einer kohlenwasserstoffhaltigen Flüssigkeit gemischt wird, sodass zumindest ein Teil der zugesetzten Kohlenwasserstoffe endotherm gespalten wird.

- 30 In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung Ruß abgetrennt und abgetrennter Ruß wird der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen
35 als Reduktionsmittel zugeführt. Vorzugsweise ist die Anlage

zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen ein Hochofen und der Ruß wird entweder als Reduktionsmittel einem unteren Abschnitt des Hochofens zugeführt oder zusammen mit Koks von oben dem Hochofen
5 zugeführt. Um den Ruß zusammen mit Koks dem Hochofen zuzuführen wird der Ruß vorzugsweise granuliert, pelletiert oder brikettiert, bevor er dem Hochofen zugeführt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus der bei der elektrothermischen
10 Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung zuerst Ruß abgetrennt und aus dem erhaltenen Produktgas anschließend Ethin abgetrennt unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases. Vorzugsweise werden bei der Abtrennung von Ethin die im Produktgas enthaltenen, von
15 Ethin verschiedenen Kohlenwasserstoffe nicht oder nur zum Teil abgetrennt, sodass das Wasserstoff enthaltende Gas zusätzlich noch die im Produktgas enthaltenen, von Ethin verschiedenen Kohlenwasserstoffe ganz oder teilweise enthält. Eine solche selektive Abtrennung von Ethin
20 ermöglicht die Nutzung der von Ethin verschiedenen Kohlenwasserstoffe als Reduktionsmittel und für die Energieerzeugung in der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen und erfordert weniger Energie und apparativen Aufwand als eine vollständige
25 Auftrennung des Produktgases.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird der Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorzugsweise in Abhängigkeit vom Angebot an elektrischer Energie verändert. Die Anlage zur elektrothermischen
30 Herstellung von Ethin kann dazu wahlweise ein- oder ausgeschaltet werden, beispielsweise abhängig vom aktuellen Strompreis an einer Strombörse. Alternativ kann die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin auch mit variabler Last so betrieben werden, dass ihr Stromverbrauch
35 einem aktuellen Überschuss an elektrischer Energie

entspricht. Die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin wird vorzugsweise mit überschüssiger elektrischer Energie betrieben. Überschüssige elektrische Energie kann von einem neben der erfindungsgemäßen Vorrichtung
5 befindlichen Stromerzeuger stammen, beispielsweise von einem benachbarten Kraftwerk, einem benachbarten Windgenerator oder einer benachbarten Photovoltaikanlage. Besonders bevorzugt wird überschüssige elektrische Energie einem Stromnetz entnommen. Überschüssige elektrische
10 Energie kann dabei einem Stromnetz als negative Regelenergie entnommen werden, um einen Überschuss der Stromeinspeisung in das Netz gegenüber der aktuellen Stromentnahme auszugleichen. Für das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise überschüssige elektrische
15 Energie eingesetzt, die aus Windenergie oder Solarenergie erzeugt wird.

Vorzugsweise wird dabei auch die Menge des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gases, das der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von
20 oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt wird, in Abhängigkeit vom Angebot an elektrischer Energie verändert. Die Menge des der Anlage zur Eisenherstellung zugeführten Gases kann dabei in gleichem Maß verändert werden wie der Durchsatz in der Anlage zur
25 elektrothermischen Herstellung von Ethin. Die Menge des der Anlage zur Eisenherstellung zugeführten Gases kann aber auch in geringerem Maß verändert werden als der Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin. Beispielsweise kann bei einem geringen Durchsatz in der
30 Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin die gesamte Menge an in dieser Anlage erzeugtem Wasserstoff der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt werden und bei einem hohen Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen
35 Herstellung von Ethin nur ein Teil des erzeugten Wasserstoff der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt

werden und der andere Teil einem Speicher oder einer anderen Verwendung zugeführt werden.

Alternativ zu oder in Kombination mit der im vorangehenden Absatz beschriebenen Ausführungsform kann die

- 5 Zusammensetzung des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gases, das der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt wird, in Abhängigkeit vom Angebot an elektrischer Energie verändert werden.
- 10 Beispielsweise kann das Verfahren in einer Vorrichtung durchgeführt werden, die sowohl eine Gasleitung umfasst, mit der vor einer Abtrennung von Ethin ein Ethin und Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird, als auch eine Gasleitung,
- 15 mit der nach Abtrennung von Ethin ein von Ethin abgereichertes, Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird. Die Vorrichtung kann so betrieben werden, dass bei einem geringen Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin
- 20 vorwiegend Ethin und Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird und bei einem hohen Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorwiegend ein von Ethin abgereichertes, Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur
- 25 Eisenherstellung zugeführt wird, damit die Schwankung der Menge an Reduktionsmittel, das der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen zugeführt wird, gering gehalten wird. Die Vorrichtung kann allerdings auch so betrieben werden, dass bei einem
- 30 geringen Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorwiegend ein von Ethin abgereichertes, Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird und bei einem hohen
- 35 Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorwiegend ein Ethin und Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird, sodass

die Kapazität der Vorrichtung zum Abtrennen von Ethin aus dem Produktgas klein gehalten werden kann.

Alternativ zu oder in Kombination mit den in den beiden vorangehenden Absätzen beschriebenen Ausführungsformen kann
5 die Temperatur des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gases, das der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt wird, in Abhängigkeit vom Angebot an elektrischer Energie verändert werden.

10 Beispielsweise kann das Verfahren in einer Vorrichtung durchgeführt werden, die sowohl eine erste Gasleitung umfasst, mit der sich die bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung ganz oder zum Teil unmittelbar der Anlage zur Eisenherstellung durch
15 Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen lässt, als auch eine zweite Gasleitung, mit der ein nach einem Abkühlen der Reaktionsmischung erhaltenes Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird. Die Vorrichtung kann so
20 betrieben werden, dass bei einem geringen Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorwiegend durch die erste Gasleitung bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung unmittelbar ohne Kühlung der Anlage zur
25 Eisenherstellung zugeführt wird und bei einem hohen Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorwiegend durch die zweite Gasleitung ein nach einem Abkühlen der Reaktionsmischung erhaltenes Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt
30 wird, damit die Schwankung der Wärmemenge, die der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen zugeführt wird, gering gehalten wird. Die Vorrichtung kann allerdings auch so betrieben werden, dass bei einem geringen Durchsatz in der Anlage zur
35 elektrothermischen Herstellung von Ethin vorwiegend durch die zweite Gasleitung ein nach einem Abkühlen der

Reaktionsmischung erhaltenes Wasserstoff enthaltendes Gas der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird und bei einem hohen Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorwiegend durch die erste Gasleitung
5 bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung unmittelbar ohne Kühlung der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird, damit die Kapazität der Vorrichtung zum Abkühlen der Reaktionsmischung der elektrothermischen Herstellung von Ethin klein gehalten
10 werden kann.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird das erfindungsgemäße Verfahren in einer Vorrichtung durchgeführt, die zusätzlich einen Gasspeicher umfasst. Bei einem hohen Angebot an elektrischer Energie wird die Anlage
15 zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einem höheren Umsatz betrieben und bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenes Gas einem Gasspeicher zugeführt. Bei einem niedrigen Angebot an elektrischer Energie wird die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einem niedrigeren Umsatz betrieben und Gas dem Gasspeicher entnommen. Besonders bevorzugt wird dabei die Menge des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gases, das der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als
20 Reduktionsmittel zugeführt wird, im Wesentlichen konstant gehalten. In dieser Ausführungsform lässt sich der Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin kurzfristig und in weiten Grenzen in Abhängigkeit vom Angebot an elektrischer Energie verändern, ohne dass
30 sich nachteilige Auswirkungen auf den Betrieb der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen ergeben.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lässt sich im Vergleich zu einem Hochofenprozess die CO₂-Emission bei der
35 Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen deutlich

verringern. Bei den Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen Ethin aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung abgetrennt wird und nicht der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen zugeführt wird, werden die CO₂-Emissionen der Anlage zur Reduktion von oxidischen Eisenerzen verringert. Bei den Ausführungsformen des Verfahrens, bei denen auch das erzeugte Ethin der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen zugeführt wird, wird durch den gegenüber den Einsatzstoffen höheren Energiegehalt von Ethin und optional durch die Wärmeenergie, die mit der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung in die Anlage zur Eisenherstellung eingebracht werden kann, ein Teil des Energiebedarfs für die Reduktion der oxidischen Eisenerzen gedeckt, sodass beispielsweise bei einem Hochofen die zugeführte Luftmenge und der Anteil an Koks, der für die Wärmeerzeugung im Hochofen verbrannt werden muss, verringert wird. Auch dies trägt zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen bei.

Im Vergleich zu einer Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse von Wasser hat das erfindungsgemäße Verfahren den Vorteil, dass bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin weniger elektrische Energie für die Erzeugung der gleichen Menge an Wasserstoff erforderlich ist und die anfallende Wärmeenergie noch genutzt werden kann, beispielsweise zur Dampferzeugung in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin oder zum Beheizen der Anlage zur Eisenherstellung, indem bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung unmittelbar ohne Kühlung der Anlage zur Eisenherstellung zugeführt wird, sodass die eingesetzte elektrische Energie effizienter genutzt wird.

Patentansprüche:

1. Vorrichtung zur Nutzung elektrischer Energie zur Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen, umfassend
 - a) eine Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin aus Kohle oder einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases,
 - b) eine Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen und
 - c) mindestens eine Gasleitung, die das Wasserstoff enthaltende Gas von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführt.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen ein Hochofen ist und die Gasleitung das Wasserstoff enthaltende Gas einem unteren Abschnitt des Hochofens zuführt.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen eine Anlage zur Direktreduktion von oxidischen Eisenerzen ist.
4. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin einen Lichtbogenreaktor umfasst.
5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Gasleitung umfasst, mit der sich die bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltene Reaktionsmischung ganz oder zum Teil unmittelbar der Anlage zur Eisenherstellung durch

Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen lässt.

6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasleitung wärmeisoliert ist.
- 5 7. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ruß aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung unter Erhalt
10 eines Produktgases umfasst und die Vorrichtung eine Gasleitung umfasst, mit der sich dieses Produktgas der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen lässt.
- 15 8. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ruß aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung unter Erhalt
20 eines Produktgases und eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ethin aus diesem Produktgas unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases umfasst und die Vorrichtung eine Gasleitung umfasst, mit der sich dieses Wasserstoff enthaltende Gas der Anlage zur
25 Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zuführen lässt.
9. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Vorrichtung zur Abtrennung von Ethin aus dem Produktgas unter Erhalt eines Gases umfasst, das
30 Wasserstoff und von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe enthält.

10. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasleitung mit einer Vorrichtung zum Speichern von Gas verbunden ist.
11. Verfahren zur Nutzung elektrischer Energie zur
5 Eisenherstellung aus oxidischen Eisenerzen, umfassend eine elektrothermische Herstellung von Ethin aus Kohle oder einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas unter Erhalt eines Wasserstoff enthaltenden Gases und eine Einspeisung dieses Gases als Reduktionsmittel in eine
10 Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen.
12. Verfahren gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass es in einer Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1
9 durchgeführt wird.
13. Verfahren gemäß Anspruch 11 oder 12, dadurch
15 gekennzeichnet, dass die elektrothermische Herstellung von Ethin aus einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas, vorzugsweise aus Erdgas, erfolgt.
14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch
20 gekennzeichnet, dass das Wasserstoff enthaltende Gas zusätzlich von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe enthält.
15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch
25 gekennzeichnet, dass aus der bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Reaktionsmischung Ruß abgetrennt und abgetrennter Ruß der Anlage zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt wird.
16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch
30 gekennzeichnet, dass der Durchsatz in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin in Abhängigkeit vom Angebot an elektrischer Energie verändert wird.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet,
dass die Menge des bei der elektrothermischen
Herstellung von Ethin erhaltenen Gases, das der Anlage
zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen
5 Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt wird, in
Abhängigkeit vom Angebot an elektrischer Energie
verändert wird.
18. Verfahren gemäß Anspruch 16 oder 17, dadurch
gekennzeichnet, dass die Zusammensetzung des bei der
10 elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen
Gases, das der Anlage zur Eisenherstellung durch
Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel
zugeführt wird, in Abhängigkeit vom Angebot an
elektrischer Energie verändert wird.
- 15 19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch
gekennzeichnet, dass die Temperatur des bei der
elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen
Gases, das der Anlage zur Eisenherstellung durch
Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel
20 zugeführt wird, in Abhängigkeit vom Angebot an
elektrischer Energie verändert wird.
20. Verfahren gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet,
dass bei einem hohen Angebot an elektrischer Energie die
Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit
25 einem höheren Umsatz betrieben und bei der
elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenes Gas
einem Gasspeicher zugeführt wird und bei einem niedrigen
Angebot an elektrischer Energie die Anlage zur
elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einem
30 niedrigeren Umsatz betrieben und Gas dem Gasspeicher
entnommen wird.
21. Verfahren gemäß Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet,
dass die Menge des bei der elektrothermischen
Herstellung von Ethin erhaltenen Gases, das der Anlage

zur Eisenherstellung durch Reduktion von oxidischen Eisenerzen als Reduktionsmittel zugeführt wird, im Wesentlichen konstant gehalten wird.