

Integrierte Anlage und Verfahren zum flexiblen Einsatz von Strom

Die vorliegende Erfindung betrifft eine integrierte Anlage und ein Verfahren zum flexiblen Einsatz von Strom.

- 5 Der Einsatz erneuerbarer Energien, wie Windkraft, Solarenergie und Wasserkraft, gewinnt eine immer größere Bedeutung zur Stromerzeugung. Elektrische Energie wird typischerweise über langreichweitige, überregionale und länderübergreifend gekoppelte Stromversorgungsnetze, kurz als Stromnetze bezeichnet, an eine Vielzahl von Verbrauchern geliefert. Da elektrische Energie im Stromnetz selbst
- 10 beziehungsweise ohne weitere Vorrichtungen nicht in signifikantem Umfang speicherbar ist, muss die in das Stromnetz eingespeiste elektrische Leistung auf den verbraucherseitigen Leistungsbedarf, die sogenannte Last, abgestimmt werden. Die Last schwankt bekanntermaßen zeitabhängig, insbesondere je nach Tageszeit, Wochentag oder auch Jahreszeit. Klassisch wird der Lastverlauf in die drei Bereiche
- 15 Grundlast, Mittellast und Spitzenlast unterteilt, und elektrische Energieerzeuger werden je nach Typ geeignet in diesen drei Lastbereichen eingesetzt. Für eine stabile und zuverlässige Stromversorgung ist ein kontinuierlicher Gleichlauf von Stromerzeugung und Stromabnahme notwendig. Eventuell auftretende kurzfristige Abweichungen werden durch sogenannte positive oder negative Regelernergie bzw.
- 20 Regelleistung ausgeglichen. Bei regenerativen Stromerzeugungseinrichtungen tritt die Schwierigkeit auf, dass bei bestimmten Typen, wie Windkraft und Solarenergie, die Energieerzeugungsleistung nicht zu jedem Zeitpunkt vorhanden und in bestimmter Weise steuerbar ist, sondern z.B. tageszeitlichen und witterungsbedingten Schwankungen unterliegt, die nur bedingt vorhersagbar sind
- 25 und in der Regel nicht mit dem jeweils aktuellen Energiebedarf übereinstimmen.

Üblicherweise ist die Differenz zwischen der Erzeugungsleistung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien und dem aktuellen Verbrauch durch andere Kraftwerke bereitzustellen, wie beispielsweise Gas-, Kohle- und Kernkraftwerke. Mit zunehmendem Ausbau und Anteil der fluktuierenden erneuerbaren Energien an der

30 Stromversorgung müssen immer größere Schwankungen zwischen deren Leistung und dem aktuellen Verbrauch ausgeglichen werden. So werden bereits heute neben

Gaskraftwerken zunehmend auch Steinkohlekraftwerke in Teillast gefahren oder ganz heruntergefahren, um die Schwankungen auszugleichen. Da diese variable Fahrweise der Kraftwerke mit beträchtlichen Zusatzkosten verbunden ist, wird seit geraumer Zeit die Entwicklung alternativer Maßnahmen untersucht. Ein Ansatz ist es, 5 alternativ oder ergänzend zur Veränderung der Leistung eines Kraftwerks die Leistung von einem oder mehreren Verbrauchern anzupassen (z.B. Demand Side Management, Smart Grids). Ein weiterer Ansatz ist es, im Fall von hohen Erzeugungsleistungen aus erneuerbaren Energien einen Teil der Leistung zu speichern und in Zeiten von geringen Erzeugungsleistungen oder hohem Verbrauch 10 wieder auszuspeichern. Dazu werden bereits heute beispielsweise Pumpspeicherkraftwerke eingesetzt. In der Entwicklung befinden sich auch Konzepte zur Speicherung von Strom in Form von Wasserstoff durch elektrolytische Spaltung von Wasser.

Die hier beschriebenen Maßnahmen sind insgesamt mit beträchtlichen Zusatzkosten 15 und wirkungsgradbedingten Energieverlusten verbunden. Vor diesem Hintergrund wird verstärkt nach besseren Möglichkeiten gesucht, die durch die Verwendung von erneuerbaren Energien, insbesondere Windkraft und Solarenergie, auftretenden Unterschiede zwischen Strombereitstellung und Stromabnahme auszugleichen.

Von Anlagen zur Herstellung von Ethin in Lichtbogenreaktoren ist bekannt, dass 20 diese durch Zu- oder Abschalten von Lichtbögen sehr gut auf ein stark schwankendes Angebot an elektrischer Energie angepasst werden können. Allerdings ergibt sich hierbei das Problem, dass diese Anlagen in diesem Fall nur eine relativ geringe Auslastung aufweisen, so dass die Investitionskosten, bezogen auf die durch die Anlage im Jahresdurchschnitt erzeugte Menge an Ethin, sehr hoch 25 sind, wenn die Anlage nur bei einem Überschuss an elektrischer Energie betrieben wird.

Bei einer geschätzten Betriebsdauer von höchstens 20%, bezogen auf einen maximal möglichen Dauereinsatz, ergeben sich inakzeptabel lange 30 Amortisationszeiten, so dass eine Rentabilität nur durch staatliche Eingriffe oder außergewöhnliche Geschäftsmodelle gegeben sein kann. Diese Schätzung beruht darauf, dass die Anlage nur in Zeiten eines Überschusses an erneuerbaren Energien betrieben wird.

Weiterhin ist festzuhalten, dass für den Fall eines über längere Zeit geringen Angebots an erneuerbarer Energie Kraftwerke vorgehalten werden müssen, die die Deckung eines Grundbedarfs sicherstellen können. Die hierzu notwendige Vorhaltung von Kraftwerkskapazitäten muss betriebswirtschaftlich machbar sein oder
5 gegebenenfalls durch staatliche Regelungen finanziert werden, da auch in diesem Fall vergleichsweise hohe Fixkosten einer relativ geringen Betriebsdauer gegenüberstehen.

Konventionelle Kraftwerke, d. h. Kraftwerke, die auf fossilen oder biogenen Energieträgern oder auf Kernkraft basieren, können elektrische Energie planbar über
10 lange Zeit bereitstellen. Der Einsatz von auf fossilen Energieträgern oder Kernkraft basierten Anlagen soll allerdings aufgrund von politischen Gründen, insbesondere Gründen der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes, zunehmend zu Gunsten von Stromerzeugern reduziert werden, die auf erneuerbaren Energien basieren. Diese Stromerzeuger müssen jedoch bedarfsgerecht installiert und ihrerseits wirtschaftlich
15 betrieben werden können. Ab einem gewissen Grad an installierter Kapazität auf Basis erneuerbarer Energien ist es wirtschaftlich sinnvoller, statt eines weiteren Zubaus an Kapazitäten für erneuerbare Energien solche in Form von Speichern zu installieren, so dass in Zeiten eines Stromüberschusses durch erneuerbare Energie diese sinnvoll eingesetzt und gespeichert werden kann und in Zeiten eines
20 Stromunterschusses aus Energiespeichern oder konventionellen Kraftwerken Strom bereitgestellt werden kann. Bei einer zweckmäßigen Flexibilisierung des Energieverbrauchs kann hierbei angenommen werden, dass die Zeiten eines spürbaren Stromüberschusses oder Stromunterschusses geringer sein werden. Für diese geringen Zeiten besteht trotz allem die Notwendigkeit, die Stromversorgung
25 sicherzustellen, wobei dies möglichst wirtschaftlich bewerkstelligt werden sollte.

In Anbetracht des Standes der Technik ist es nun Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Anlage bereitzustellen, die nicht mit den Nachteilen herkömmlicher Verfahren behaftet ist.

Insbesondere war es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, Wege zu finden, die
30 es ermöglichen, die Flexibilität im Hinblick auf Speicherung und Nutzung von elektrischer Energie gegenüber dem Stand der Technik zu erhöhen.

Weiterhin sollte die Anlage flexibel betreibbar sein, so dass auf eine Veränderung von Stromangebot und/oder Stromnachfrage besonders flexibel reagiert werden kann, um beispielsweise wirtschaftliche Vorteile zu erzielen. Hierbei sollte die Anlage auch bei längeren Perioden eines hohen oder geringen Stromangebots zur
5 Speicherung oder Bereitstellung von elektrischer Energie eingesetzt werden können.

Ferner sollte durch die vorliegende Erfindung die Versorgungssicherheit verbessert werden.

Die Anlage und das Verfahren sollten weiterhin einen möglichst hohen Wirkungsgrad besitzen. Weiterhin sollte das erfindungsgemäße Verfahren unter Verwendung der
10 herkömmlichen und weithin vorhandenen Infrastruktur durchgeführt werden können.

Darüber hinaus sollte das Verfahren mit möglichst wenigen Verfahrensschritten durchgeführt werden können, wobei dieselben einfach und reproduzierbar sein sollten.

Weitere nicht explizit genannte Aufgaben ergeben sich aus dem
15 Gesamtzusammenhang der nachfolgenden Beschreibung und den Ansprüchen.

Gelöst werden diese sowie weitere nicht explizit genannte Aufgaben, die sich aus den einleitend diskutierten Zusammenhängen ergeben, durch eine integrierte Anlage, die eine Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin und eine Anlage zur Stromerzeugung integriert, indem die Anlagen über eine Leitung
20 verbunden werden, sodass in der Anlage zur Stromerzeugung ein Produktgas, das in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin erhalten wird, zur Erzeugung von Strom genutzt werden kann.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist dementsprechend eine integrierte Anlage die eine Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin und eine Anlage zur
25 Stromerzeugung umfasst und dadurch gekennzeichnet ist, dass die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin über eine Leitung mit der Anlage zur Stromerzeugung verbunden ist und die Leitung ein in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenes Produktgas der Anlage zur Stromerzeugung zuführt.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist außerdem ein Verfahren zum flexiblen Einsatz von Strom, bei dem in einer erfindungsgemäßen integrierten Anlage in Zeiten eines hohen Stromangebots die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin betrieben wird und mindestens ein Teil von neben Ethin erhaltenem Wasserstoff und/oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen gespeichert werden und in Zeiten eines geringen Stromangebots gespeicherter Wasserstoff und/oder gasförmige Kohlenwasserstoffe der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt werden.

Die erfindungsgemäße integrierte Anlage und das erfindungsgemäße Verfahren weisen ein besonders gutes Eigenschaftsprofil auf, wobei die Nachteile herkömmlicher Verfahren und Anlagen deutlich reduziert werden können.

Insbesondere wurde in überraschender Weise gefunden, dass es damit möglich wird, eine Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einer hohen Auslastung zu betreiben, wobei erneuerbare Energien bei einem Überschuss wirtschaftlich eingesetzt werden können. Weiterhin kann durch die Anlage ein Stromüberschuss aus erneuerbaren Energien, unter anderem Windkraft oder Photovoltaik, in eine speicherbare Form überführt werden.

Ferner kann elektrische Energie auch bei einer längeren Periode an einem geringen Angebot an erneuerbarer Energie auf besonders kostengünstige Weise bereitgestellt werden.

Eine Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin kann gut dynamisch betrieben werden, lässt sich also variabel auf das Stromangebot hin anpassen. Hierbei kann die integrierte Anlage auch bei längeren Perioden eines hohen oder geringen Stromangebots zur Speicherung oder Bereitstellung von elektrischer Energie eingesetzt werden. Hierbei können überraschend hohe Laufzeiten aller Komponenten der integrierten Anlage erzielt werden, so dass deren Betrieb sehr wirtschaftlich gestaltet werden kann.

Es kann außerdem vorgesehen sein, dass die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin regelbar ausgestaltet ist, wobei die Regelung in Abhängigkeit des Stromangebots erfolgt.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zur elektrothermischen Herstellung von Ethin Strom aus erneuerbaren Energien verwendet.

5 Darüber hinaus kann das Verfahren mit relativ wenigen Verfahrensschritten durchgeführt werden, wobei dieselben einfach und reproduzierbar sind.

Durch die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien ermöglicht die vorliegende integrierte Anlage die Bereitstellung von chemischen Folgeprodukten bei einer geringen Freisetzung von Kohlendioxid, da das erhaltene Ethin bei sehr hohen Umsatzgraden und im Vergleich zu alternativen Ausgangsstoffen bei geringerer
10 weiterer Energiezufuhr oder höherer Wärmefreisetzung zu vielen chemisch wichtigen Folgeprodukten umgesetzt werden kann.

Die erfindungsgemäße integrierte Anlage dient zur zweckmäßigen und flexiblen Verwendung von elektrischer Energie, hierin synonym auch als Strom bezeichnet. Die integrierte Anlage kann bei einem hohen Stromangebot elektrische Energie
15 speichern und insbesondere bei einem geringen Stromangebot elektrische Energie in ein Stromnetz einspeisen. Der Begriff Speicherung bezeichnet hierbei die Fähigkeit der Anlage, bei einem hohen Angebot an Strom diesen in eine speicherbare Form, vorliegend als chemische Energie, zu überführen, wobei diese chemische Energie bei einem geringen Angebot an Strom in elektrische Energie umgewandelt werden
20 kann. Die Speicherung kann dabei in Form des Koppelprodukts Wasserstoff erfolgen, das bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin aus Methan oder höheren Kohlenwasserstoffen zwangsläufig entsteht. Die Speicherung kann außerdem in Form von Produkten erfolgen, die bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin in einer parallel zur Bildung von Ethin ablaufenden
25 endothermen Umsetzung erhalten werden, beispielsweise durch eine Umsetzung von zwei Molekülen Methan zu Ethan und Wasserstoff. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass zwei Mol Methan (CH_4) einen geringeren Energiegehalt haben, als beispielsweise ein Mol Ethan (C_2H_6) und ein Mol Wasserstoff, so dass durch eine Umwandlung von Methan in Wasserstoff und einen Kohlenwasserstoff mit zwei oder
30 mehr Kohlenstoffatomen Energie gespeichert werden kann.

In konventionellen Anlagen zur Herstellung von Ethin wird relativ viel Energie aufgewendet, um die entstehenden Nebenproduktgase aufzuarbeiten, um diese gegebenenfalls in reiner Form zu verkaufen. In der vorliegenden Anlage kann diese Reinigung sehr viel einfacher ausgestaltet werden indem die Nebenproduktgase
5 energetisch verwendet werden.

Die erfindungsgemäße integrierte Anlage umfasst eine Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin. Der Begriff elektrothermisch bezeichnet dabei ein Verfahren, bei dem Ethin in einer endothermen Reaktion aus Kohlenwasserstoffen oder Kohle hergestellt wird und die zur Durchführung der
10 Reaktion erforderliche Wärme durch elektrischen Strom erzeugt wird. Vorzugsweise werden gasförmige oder verdampfte Kohlenwasserstoffe eingesetzt, besonders bevorzugt aliphatische Kohlenwasserstoffe. Besonders geeignet sind Methan, Ethan, Propan und Butane, insbesondere Methan. Bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin aus aliphatischen Kohlenwasserstoffen wird als Koppelprodukt Wasserstoff
15 erhalten.

Geeignete Anlagen zur elektrothermischen Herstellung von Ethin sind aus dem Stand der Technik bekannt, beispielsweise aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Band 1, 2012 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, DOI: 10.1002/14356007.a01_097.pub4, Seiten 296 bis 303, aus DE 1 900 644 A1 und aus
20 EP 0 133 982 A2.

Die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin umfasst vorzugsweise einen Lichtbogenreaktor. Die elektrothermische Herstellung von Ethin kann dabei in einem einstufigen Prozess erfolgen, bei dem mindestens ein Kohlenwasserstoff mit einem Gasstrom durch den Lichtbogen geführt wird. Alternativ kann die
25 elektrothermische Herstellung von Ethin in einem zweistufigen Prozess erfolgen, bei dem Wasserstoff durch den Lichtbogen geführt wird und mindestens ein Kohlenwasserstoff hinter dem Lichtbogen in das im Lichtbogen erzeugte Wasserstoffplasma eingespeist wird.

Der Lichtbogenreaktor wird vorzugsweise mit einer Energiedichte von 0,5 bis
30 10 kWh/Nm³, besonders 1 bis 5 kWh/Nm³ und insbesondere 2 bis 3,5 kWh/Nm³

betrieben, wobei sich die Energiedichte auf das durch den Lichtbogen geleitete Gasvolumen bezieht.

Die Temperatur in der Reaktionszone des Lichtbogenreaktors variiert aufgrund des Gasflusses, wobei im Zentrum des Lichtbogens bis zu 20000 °C erreicht werden und
5 am Rand die Temperatur etwa 600 °C betragen kann. Am Ende des Lichtbogens liegt die mittlere Temperatur des Gases vorzugsweise im Bereich von 1300 bis 3000 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 1500 bis 2600 °C.

Die Verweilzeit des Einsatzstoffes in der Reaktionszone des Lichtbogenreaktors liegt vorzugsweise im Bereich von 0,01 ms bis 20 ms, besonders bevorzugt im Bereich
10 von 0,1 ms bis 10 ms und speziell bevorzugt im Bereich von 1 bis 5 ms. Danach wird die aus der Reaktionszone austretende Gasmischung gequench, d.h. einer sehr schnellen Abkühlung auf Temperaturen von weniger als 250 °C unterzogen, um eine Zersetzung des thermodynamisch instabilen Zwischenprodukts Acetylen zu vermeiden. Zum Quenchen kann ein direktes Quenchverfahren wie zum Beispiel die
15 Einspeisung von Kohlenwasserstoffen und/oder Wasser oder ein indirektes 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 aus der Reaktionszone austretende
20 Gasmischung nur mit Wasser gequench. Diese Ausführungsform zeichnet sich durch relativ geringe Investitionskosten aus. Nachteilig ist jedoch, dass auf diese Weise ein beträchtlicher Teil der im Produktgas enthaltenen Energie nicht oder exergetisch minderwertig genutzt wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform, wird die aus der Reaktionszone austretende
25 Gasmischung 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 und Wasserstoff auch Anteile an Ethan, Propan, Ethen und anderen niederen
30 Kohlenwasserstoffen. Hierdurch kann die entstehende Wärme in einem wesentlich

höheren Umfang einer weiteren Verwendung wie der endothermen Spaltung der Kohlenwasserstoffe zugeführt werden.

Nach dieser Temperaturabsenkung, beispielsweise auf 150 bis 300 °C, werden feste Bestandteile, insbesondere Kohlenstoffpartikel, abgetrennt und die Gasmischung, die je nach Ausgangsstoffen neben Ethin und Wasserstoff noch weitere Stoffe, wie Ethen, Ethan, Kohlenmonoxid und flüchtige Schwefelverbindungen, wie H₂S und CS₂ enthalten kann, der weiteren Aufarbeitung zur Gewinnung von Ethin zugeführt. Ethin kann dabei aus der Gasmischung durch selektive Absorption in ein Lösungsmittel abgetrennt werden. Geeignete Lösungsmittel sind beispielsweise Wasser, Methanol, N-Methylpyrrolidon oder deren Gemische. Geeignete Methoden zur Abtrennung von Ethin aus der Gasmischung sind aus dem Stand der Technik bekannt, beispielsweise aus Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Band 1, 2012 Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, DOI: 10.1002/14356007.a01_097.pub4, Seiten 291 bis 293, 299 und 300, DE 31 50 340 A1 und WO 2007/096271 A1.

Die Leistungsaufnahme der elektrothermischen Anlage zur Herstellung von Ethin hängt von der geplanten Produktionskapazität an Acetylen ab. Wie bei den meisten anderen chemischen Produktionstechnologien sinken die spezifischen Investitionskosten (Kosten für die Investition bezogen auf die installierte Produktionskapazität) mit zunehmender Anlagengröße. Übliche Anlagengrößen zur Herstellung von Acetylen liegen im Bereich von wenigen 10.000 Tonnen Acetylen bis wenige 100.000 Tonnen Acetylen pro Jahr (gerechnet auf Volllast). Wie aus der Literatur entnommen werden kann, liegt der spezifische Energiebedarf im Reaktionsteil für die Erzeugung von Acetylen je nach eingesetztem Rohstoff im Bereich von ca. 9 bis ca. 12 MWh_{elektrisch} je Tonne Ethin. Einschließlich des Bedarfs an elektrischer Energie für die Aufarbeitung leitet sich daraus der absolute Leistungsbedarf der Acetylenanlage ab. Die gewünschte Produktionskapazität wird in der Regel durch eine parallele Anordnung von mehreren Lichtbogenreaktoren erzielt, die gemeinsam oder getrennt gesteuert werden können.

Die erfindungsgemäße integrierte Anlage umfasst außerdem eine Anlage zur Stromerzeugung, der über eine Leitung ein in der Anlage zur Herstellung von Ethin erhaltenes Produktgas zugeführt wird. Als Anlagen zur Stromerzeugung eignen sich dabei alle Anlagen, mit denen aus dem Produktgas elektrischer Strom erzeugt

werden kann. Vorzugsweise wird eine Anlage zur Stromerzeugung verwendet, die einen hohen Wirkungsgrad aufweist.

Das der Anlage zur Stromerzeugung zugeführte Produktgas enthält vorzugsweise Wasserstoff und/oder von Ethin verschiedene Kohlenwasserstoffe. Die Kohlenwasserstoffe können nicht umgesetzte Einsatzstoffe der elektrothermischen Herstellung von Ethin, bei einem Quench zugesetzte Kohlenwasserstoffe, durch das Quenchen gebildete Kohlenwasserstoffe oder Mischungen davon sein.

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Anlage zur Stromerzeugung eine Brennstoffzelle. In dieser Ausführungsform wird der Anlage zur Stromerzeugung vorzugsweise ein Produktgas zugeführt, das im Wesentlichen aus Wasserstoff besteht.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfasst die Anlage zur Stromerzeugung ein Kraftwerk mit einer Turbine. Besonders bevorzugt umfasst die Anlage eine Gasturbine, die mit Wasserstoff und/oder kohlenwasserstoffhaltigen Gasen betreibbar ist. Am meisten bevorzugt wird dabei eine Gasturbine verwendet, die sich mit Mischungen aus Wasserstoff und kohlenwasserstoffhaltigen Gasen wechselnder Zusammensetzung betreiben lässt.

Vorzugsweise ist das Kraftwerk mit einer Turbine ein Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk (GuD-Kraftwerk), auch Gas-und-Dampf-Kombikraftwerk genannt. In diesen Kraftwerken werden die Prinzipien eines Gasturbinenkraftwerkes und eines Dampfkraftwerkes verknüpft. Eine Gasturbine dient hierbei im Allgemeinen unter anderem als Wärmequelle für einen nachgeschalteten Abhitzeessel, der wiederum als Dampferzeuger für die Dampfturbine wirkt.

Der Anlage zur Stromerzeugung können zusätzlich zu dem bei der Herstellung von Ethin erhaltenen Produktgas noch weitere Stoffe zugeführt werden, beispielsweise zusätzlicher Wasserstoff für den Betrieb einer Brennstoffzelle oder zusätzlicher Brennstoff für den Betrieb einer Turbine oder die Beheizung eines Dampferzeugers.

Die Leistung der Anlage zur Stromerzeugung kann abhängig von der Produktionskapazität der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin gewählt werden. Vorzugsweise wird die Leistung der Anlage zur Stromerzeugung so

gewählt, dass der Strombedarf der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin bei Volllast vollständig durch die Anlage zur Stromerzeugung gedeckt werden kann. Dabei liegt das Verhältnis der elektrischen Leistung zur Ethin-Produktionskapazität vorzugsweise in einem Bereich von 2 bis 20 MW_{elektrisch} je t/h Ethin, besonders bevorzugt in einem Bereich von 5 bis 15 MW_{elektrisch} je t/h Ethin. Die Leistung kann dabei durch eine einzelne Vorrichtung oder einen Zusammenschluss von mehreren Vorrichtungen erzielt werden, wobei der Zusammenschluss (Pool) über eine gemeinsame Steuerung erzielt werden kann. Außerdem kann elektrische Energie für die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin aus dem Stromnetz bezogen werden. Ebenso kann die Anlage zur Stromerzeugung so dimensioniert werden, dass zusätzlich zur Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin auch weitere Stromverbraucher versorgt oder die über den Bedarf der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin hinausgehende elektrische Energie in ein Stromnetz eingespeist wird.

In der integrierten Anlage ist die Anlage zur elektrothermische Herstellung von Ethin über eine Leitung mit der Anlage zur Stromerzeugung verbunden, mit der der Anlage zur Stromerzeugung ein in der Anlage zur elektrothermische Herstellung von Ethin erhaltenes Produktgas zugeführt wird. Das Produktgas besteht vorzugsweise aus Wasserstoff und/oder kohlenwasserstoffhaltigen Gasen. Das Produktgas kann über die Leitung der Anlage zur Stromerzeugung gasförmig oder in verflüssigter Form zugeführt werden, wobei die Verflüssigung durch Erhöhen des Drucks oder Verringern der Temperatur erfolgen kann.

Die Leitung, die die Anlage zur elektrothermische Herstellung von Ethin mit der Anlage zur Stromerzeugung verbindet, weist vorzugsweise eine Länge von weniger als 10 km auf, besonders bevorzugt weniger als 1 km.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Anlage zur elektrothermische Herstellung von Ethin eine Vorrichtung zur Trennung des bei der elektrothermischen Herstellung erhaltenen Gasgemisches auf, wobei diese Vorrichtung mit der Anlage zur Stromerzeugung verbunden ist. In der Vorrichtung zur Trennung des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gasgemisches wird Ethin von Wasserstoff und anderen Kohlenwasserstoffen abgetrennt. Die von Ethin abgetrennte, Wasserstoff und Kohlenwasserstoffe enthaltende Mischung kann direkt

der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt werden. Alternativ kann aus der von Ethin abgetrennten Mischung Wasserstoff abgetrennt werden und wahlweise Wasserstoff oder ein dabei resultierendes kohlenwasserstoffhaltiges Gas der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt werden. Ebenso können auch Wasserstoff und ein
5 kohlenwasserstoffhaltiges Gas über getrennte Leitungen von der Vorrichtung zur Trennung des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gasgemisches der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt werden. Die Trennung von Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen kann bei der erfindungsgemäßen integrierten Anlage auch unvollständig erfolgen, ohne dass sich eine unvollständige Trennung
10 nachteilig auf den Betrieb der Anlage auswirkt, sodass gegenüber der vollständigen Trennung, wie sie in Anlagen zur elektrothermischen Herstellung von Ethin nach dem Stand der Technik durchgeführt wird, der apparative Aufwand und der Energieverbrauch für die Trennung verringern lassen.

In einer bevorzugten Ausführungsform der integrierten Anlage umfasst die Anlage
15 zur Stromerzeugung voneinander getrennte Vorrichtungen für die Erzeugung von Strom aus Wasserstoff und für die Erzeugung von Strom aus einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas, die vorzugsweise über getrennte Leitungen mit einer Vorrichtung zur Trennung des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gasgemisches verbunden sind. Besonders bevorzugt umfasst die Anlage
20 zur Stromerzeugung eine Brennstoffzelle für die Erzeugung von Strom aus Wasserstoff und ein Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk für die Erzeugung von Strom aus einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas. Bei dieser Ausführungsform können auch Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerke in der erfindungsgemäßen integrierten Anlage eingesetzt werden, die nicht zur Verstromung von wasserstoffreichen Gasen
25 geeignet sind.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die erfindungsgemäße integrierte Anlage zusätzlich mindestens einen Speicher für ein in der Anlage zur elektrothermische Herstellung von Ethin erhaltenes Produktgas auf, wobei der Speicher über Leitungen sowohl mit der Anlage zur elektrothermische Herstellung
30 von Ethin als auch mit der Anlage zur Stromerzeugung verbunden ist. Besonders bevorzugt ist der Speicher mit der zuvor beschriebenen Vorrichtung zur Trennung des bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenen Gasgemisches

verbunden, sodass im Speicher Wasserstoff und/oder von Ethin abgetrennte kohlenwasserstoffhaltige Gase gespeichert werden können. Vorzugsweise ist der Speicher ein Wasserstoffspeicher. Besonders bevorzugt umfasst die integrierte Anlage sowohl einen Wasserstoffspeicher als auch einen Speicher für von Ethin abgetrennte kohlenwasserstoffhaltige Gase.

Die integrierte Anlage kann zusätzlich noch eine Vorrichtung umfassen, mit der sich die Zusammensetzung eines bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenes Produktgases ändern lässt, bevor es der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt wird. Vorzugsweise umfasst sie integrierte Anlage zusätzlich eine Vorrichtung, mit der sich bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin als Koppelprodukt erhaltener Wasserstoff durch eine Fischer-Tropsch-Synthese oder eine Methanisierung zu Kohlenwasserstoffen umsetzen lässt. Die so erhaltenen Kohlenwasserstoffe können zusammen mit von Ethin abgetrennten Kohlenwasserstoffen oder davon getrennt der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt werden. Eine Umwandlung von Wasserstoff zu Kohlenwasserstoffen vereinfacht die Zufuhr von bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenem Produktgas bei Anlagen zur Stromerzeugung, in denen zur Stromerzeugung Kohlenwasserstoffe verbrannt werden und bei denen für einen zuverlässigen Betrieb der Gehalt an Wasserstoff im Brenngas in bestimmten engen Grenzen gehalten werden muss. Geeignete Anlagen zur Fischer-Tropsch-Synthese oder zur Methanisierung sind aus dem Stand der Technik bekannt, für die Methanisierung beispielsweise aus DE 43 32 789 A1 und WO 2010/115983 A1

In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die integrierte Anlage einen Dampferzeuger in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin, mit dem aus der Abwärme des elektrothermischen Verfahrens Dampf erzeugt wird, eine Vorrichtung, in der Strom aus Dampf erzeugt wird, in der Anlage zur Stromerzeugung, sowie eine Dampfleitung, mit der in dem Dampferzeuger erzeugter Dampf der eine Vorrichtung, in der Strom aus Dampf erzeugt wird, zugeführt wird. Vorzugsweise wird ein indirekter Quench des in einem Lichtbogenreaktor erhaltenen Reaktionsgases als Dampferzeuger verwendet. Die Vorrichtung, in der Strom aus Dampf erzeugt wird, ist vorzugsweise eine Dampfturbine oder ein Dampfmotor und besonders bevorzugt eine Dampfturbine. Am meisten bevorzugt ist die Dampfturbine

Teil eines Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerks. Mit dieser Ausführungsform kann in der Anlage zur Herstellung von Ethin erzeugte Abwärme zur Erzeugung von Strom eingesetzt werden und der Brennstoffbedarf für den Betrieb der Vorrichtung, in der Strom aus Dampf erzeugt wird, verringert werden.

- 5 In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße integrierte Anlage zusätzlich einen Speicher für Ethin. Dieser Speicher ermöglicht es, nachgeschaltete Umsetzungen von Ethin zu weiteren Produkten kontinuierlich weiterzubetreiben, auch wenn bei niedrigem Stromangebot in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin nur wenig oder gar kein Ethin produziert
10 wird. Vorzugsweise erfolgt die Speicherung von Ethin gelöst in einem Lösungsmittel, besonders bevorzugt in einem Lösungsmittel, das zur Absorption von Ethin bei der Abtrennung von Ethin aus dem Reaktionsgemisch der elektrothermischen Herstellung von Ethin verwendet wird.

- In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die erfindungsgemäße integrierte
15 Anlage mit einer Wetterprognose-Einheit verbunden. Eine solche Verbindung mit einer Wetterprognose-Einheit ermöglicht es, den Betrieb der Anlage so anzupassen, dass einerseits die Möglichkeit der Nutzung von preiswertem überschüssigen Strom und die Möglichkeit zur Strombereitstellung aus der Anlage zur Stromerzeugung bei geringem Stromangebot und dementsprechend hohem Strompreis genutzt werden
20 können und andererseits stets ausreichend Ethin für den kontinuierlichen Betrieb einer nachgeschalteten, Ethin verbrauchenden Anlage bereitzustellen. So kann, je nach Ergebnis der Wetterprognose, 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
25 eingestellt werden. So können bei einem längerfristigen Unterangebot an Strom diese Teile des Systems auf eine reduzierte Produktionsleistung eingestellt werden, so dass eine Betriebsunterbrechung aufgrund von fehlendem Ethin vermieden werden kann.

- Zusätzlich kann die integrierte Anlage mit einer Einheit zur Erstellung einer
30 Verbrauchsprognose verbunden sein, wobei diese Einheit bevorzugt einen Datenspeicher aufweist, der Daten über den historischen Verbrauch umfasst. Die Daten über den historischen Verbrauch können beispielsweise den Tagesverlauf,

den Wochenverlauf, den Jahresverlauf und weitere Verläufe über den Strombedarf und/oder die Stromerzeugung umfassen. Die Daten über die Verbrauchsprognose können auch spezifische Änderungen berücksichtigen, die beispielsweise in einem Zugang oder einem Wegfall eines Großverbrauchers bestehen. Zusätzlich oder
5 alternativ kann der Datenspeicher auch Daten über den historischen Verlauf von Strompreisen enthalten.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum flexiblen Einsatz von Strom wird in der erfindungsgemäßen integrierten Anlage in Zeiten eines hohen Stromangebots die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin betrieben und mindestens ein
10 Teil von neben Ethin erhaltenem Wasserstoff und/oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen gespeichert und in Zeiten eines geringen Stromangebots gespeicherter Wasserstoff und/oder gasförmige Kohlenwasserstoffe der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt. Vorzugsweise wird in dem Verfahren Wasserstoff gespeichert.

Bei dem Stromangebot kann sowohl ein Stromüberschuss als auch ein Stromunterschuss vorliegen. Ein Stromüberschuss ergibt sich, wenn zu einem Zeitpunkt mehr Strom aus erneuerbaren Energien bereitgestellt wird als zu diesem Zeitpunkt insgesamt an Strom verbraucht wird. Ein Stromüberschuss ergibt sich auch, wenn große Mengen an elektrischer Energie aus fluktuierenden erneuerbaren
20 Energien bereitgestellt werden und das Drosseln oder Abschalten von Kraftwerken mit hohen Kosten verbunden ist. Ein Stromunterschuss ergibt sich, wenn vergleichsweise geringe Mengen an erneuerbaren Energien zur Verfügung stehen und ineffiziente oder mit hohen Kosten verbundene Kraftwerke betrieben werden müssen. Die hier beschriebenen Fälle Stromüberschuss und Stromunterschuss
25 können sich auf verschiedene Weise erkennbar werden. Zum Beispiel können die Preise an den Strombörsen ein Indikator für die jeweilige Situation sein, wobei ein Stromüberschuss zu tieferen und ein Stromunterschuss zu höheren Strompreisen führt. Ein Stromüberschuss oder Stromunterschuss kann aber auch ohne unmittelbare Auswirkung auf den Strompreis vorliegen. Beispielsweise ist ein
30 Stromüberschuss auch dann gegeben, wenn der Betreiber eines Windparks mehr Leistung produziert als er prognostiziert und verkauft hat. Analog kann ein Stromunterschuss vorliegen, wenn er weniger Leistung produziert als er

prognostiziert hat. Erfindungsgemäß umfassen die Begriffe Stromüberschuss und Stromunterschuss alle diese Fälle.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise so betrieben, dass zumindest ein Teil des zur elektrothermischen Herstellung von Ethin benötigten Stroms mit der von der integrierten Anlage umfassten Anlage zur Stromerzeugung aus Produktgas erzeugt wird, das bei der elektrothermischen Herstellung von Ethin erhalten wird. Wenn in Zeiten eines hohen Stromangebots die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin betrieben wird, wird vorzugsweise die von der integrierten Anlage umfasste Anlage zur Stromerzeugung mit verringerter Leistung betrieben oder abgeschaltet und ein größerer Teil des zur elektrothermischen Herstellung von Ethin benötigten Stroms einem Stromnetz mit hohem Stromangebot entnommen. Analog wird, wenn in Zeiten eines geringen Stromangebots die von der integrierten Anlage umfasste Anlage zur Stromerzeugung betrieben wird, die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin vorzugsweise mit verringerter Leistung betrieben oder abgeschaltet und ein geringerer Teil des zur elektrothermischen Herstellung von Ethin benötigten Stroms dem Stromnetz entnommen oder Strom aus der von der integrierten Anlage umfassten Anlage zur Stromerzeugung in das Stromnetz eingespeist.

Das Speichern von neben Ethin erhaltenem Wasserstoff und/oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen erfolgt vorzugsweise in einem von der integrierten Anlage umfassten Speicher, besonders bevorzugt in einem wie zuvor beschrieben zwischen der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin und der Anlage zur Stromerzeugung angeordnetem Speicher. Alternativ kann die Speicherung aber auch in einem getrennten Speicher erfolgen, der mit der integrierten Anlage über eine Gasverteilung, beispielsweise ein Erdgasnetz, verbunden ist.

Die Art des Speichers ist unkritisch, so dass hierfür ein Drucktank, ein Flüssiggasspeicher, ein Speicher, bei dem Kohlenwasserstoffe in einem Lösungsmittel absorbiert sind, oder ein Speicher mit Gasadsorption an einem Feststoff eingesetzt werden kann. Für die Speicherung von Wasserstoff eignen sich außerdem chemische Speicher, in denen Wasserstoff durch eine reversible chemische Reaktion gespeichert wird. Vorzugsweise werden separate Speicher für Wasserstoff und für neben Ethin erhaltene gasförmige Kohlenwasserstoffe

verwendet. Die Kapazität des Speichers wird vorzugsweise so bemessen, dass die von der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin unter Volllast innerhalb von 2 Stunden produzierte Menge an Wasserstoff und/oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen aufgenommen werden kann, besonders bevorzugt die
5 innerhalb von 12 Stunden produzierte Menge und ganz besonders bevorzugt die innerhalb von 48 Stunden produzierte Menge.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin einen Lichtbogenreaktor auf und die aus dem Lichtbogenreaktor erhaltene Gasmischung wird zur Abkühlung mit
10 einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas und/oder einer kohlenwasserstoffhaltigen Flüssigkeit versetzt. Dabei wird, wie zuvor beschrieben, zumindest ein Teil der Kohlenwasserstoffe endotherm gespalten, sodass Spaltprodukte erhalten werden, die einen höheren Energiegehalt als die Ausgangsstoffe haben und bei Zufuhr zur Anlage zur Stromerzeugung eine größere Menge an elektrischer Energie liefern als
15 bei Zufuhr der Ausgangsstoffe erhalten würde. Diese Ausführungsform ermöglicht so eine Speicherung von dem Lichtbogenreaktor zugeführter elektrischer Energie in Form von energiereichen Spaltprodukten. Vorzugsweise werden Art und/oder Menge von kohlenwasserstoffhaltigem Gas und/oder Flüssigkeit in Abhängigkeit vom erwarteten Stromangebot gewählt. Besonders vorteilhaft ist dies bei einem
20 Verfahren, bei dem ein direkter Quench durch Versetzen mit kohlenwasserstoffhaltigem Gas und/oder Flüssigkeit in Kombination mit einem indirekten Quench mit Dampferzeugung eingesetzt wird, da sich dann durch die Wahl von Art und/oder Menge der im direkten Quench zugegebenen Kohlenwasserstoffe steuern lässt, wie hoch der Anteil der im Lichtbogenreaktor anfallenden Wärme ist, der in Form von Spaltprodukten für eine spätere
25 Stromerzeugung gespeichert wird und wie hoch der Anteil ist, der in Form von Dampf ohne Speicherung sofort zur Stromerzeugung genutzt wird.

Vorzugsweise stammt bei einem hohen Stromangebot die zur Herstellung von Ethin eingesetzte elektrische Energie zumindest teilweise aus erneuerbaren Energien,
30 besonders bevorzugt aus Windkraft und/oder Solarenergie. Allerdings ist festzuhalten, dass gemäß gegenwärtiger deutscher Rechtslage Strom, der durch erneuerbare Energien gewonnen wurde, auch ohne aktuellen Bedarf in das

Stromnetz eingespeist werden darf und vergütet werden muss. Konventionell erzeugter Strom kann deshalb zeitweise als „Überschuss“ vorliegen, da für einen Kraftwerksbetreiber ein Herunterfahren eines Kraftwerks unwirtschaftlicher sein kann als eine Abgabe von Strom unter dem Selbstkostenpreis. Diese durch den
5 Weiterbetrieb von konventionellen Anlagen erhaltene überschüssige elektrische Energie kann durch das vorliegende Verfahren wirtschaftlich verwertet, insbesondere gespeichert werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird als Anlage zur Stromerzeugung ein Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk eingesetzt und es
10 wird bei einem hohen Stromangebot die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einer Leistung von mehr als 80 % der Nennleistung und die Anlage zur Stromerzeugung mit 0-50 % der elektrischen Nennleistung betrieben und bei einem geringen Stromangebot die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einer Leistung von 0-50 % der Nennleistung und die Anlage zur Stromerzeugung mit
15 mehr als 80 % der elektrischen Nennleistung betrieben.

Bei einem hohen Stromangebot wird das Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk vorzugsweise mit einer Leistung von höchstens 40 % und besonders bevorzugt höchstens 30 % der elektrischen Nennleistung betrieben.

Bei einem geringen Stromangebot wird die Anlage zur elektrothermischen
20 Herstellung von Ethin vorzugsweise mit einer Leistung von höchstens 40 % und besonders bevorzugt höchstens 30 % der Nennleistung betrieben.

Wenn das Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk mit einer Kraft-Wärme-Kopplung betrieben wird, kann die elektrische Nennleistung des Kraftwerks entweder durch eine Veränderung der eingesetzten Menge an Gas oder durch eine Veränderung des
25 Anteils des als Prozessdampf entnommenen und nicht zur Stromerzeugung genutzten Dampfs eingestellt werden.

Zweckmäßigerweise werden im größten Teil der Betriebszeit bei einem mittleren Stromangebot sowohl die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin als auch die Anlage zur Stromerzeugung mit einer Leistung betrieben, bei der die
30 gesamte Menge von in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin

neben Ethin erhaltenem Wasserstoff und/oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen der Anlage zur Stromerzeugung zugeführt wird.

Durch diese Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann eine hohe Betriebszeit sowohl der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin als auch der Anlage zur Stromerzeugung und damit ein wirtschaftlicher Betrieb beider Anlagen erzielt werden.

Vorzugsweise umfasst das erfindungsgemäße Verfahren die Schritte

- a) Festlegen eines ersten Schwellwerts und eines zweiten Schwellwerts für ein Stromangebot,
- b) Bestimmung des Stromangebots,
- c) Veränderung der elektrischen Leistung der Anlage zur Stromerzeugung in Abhängigkeit vom Stromangebot, falls das Stromangebot den ersten Schwellwert überschreitet und Veränderung der Leistung der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin in Abhängigkeit vom Stromangebot, falls das Stromangebot den zweiten Schwellwert unterschreitet, und
- d) Wiederholen der Schritte b) und c).

Vorzugsweise werden die Schwellwerte abhängig vom aktuellen Füllstand des Speichers für Ethin oder abhängig von den Prognosen der Entwicklung von Verbrauch und Erzeugung von Ethin in den nächsten Stunden festgelegt. Wenn beispielsweise der Füllstand des Speichers für Ethin auf einen niedrigen Wert sinkt, wird der Schwellwert, unterhalb dessen die Leistung der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin reduziert wird, auf einen niedrigeren Wert festgelegt.

Das Stromangebot kann entweder direkt durch Abstimmung mit Stromerzeugern und/oder Stromverbrauchern oder indirekt über Handelsplattformen und/oder durch OTC-Verfahren und einen dazugehörigen Strompreis ermittelt werden. In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Stromangebot durch Abstimmung mit Stromerzeugern aus Windenergie und/oder Solarenergie ermittelt. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird das Stromangebot über den Strompreis auf einer Handelsplattform ermittelt.

Wenn das Stromangebot durch Abstimmung mit Stromerzeugern aus Windenergie und/oder Solarenergie ermittelt wird, wird vorzugsweise bei Überschreiten des ersten Schwellwerts die elektrische Leistung der Anlage zur Stromerzeugung entsprechend dem Stromüberschuss geändert und bei Unterschreiten des zweiten Schwellwerts die Leistung der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin entsprechend dem Stromunterschuss geändert.

Wenn das Stromangebot über den Strompreis auf einer Handelsplattform ermittelt wird, wird vorzugsweise bei Überschreiten des ersten Schwellwerts die elektrische Leistung der Anlage zur Stromerzeugung auf einen vorherbestimmten niedrigeren Wert geändert und bei Unterschreiten des zweiten Schwellwerts die Leistung der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin auf einen vorherbestimmten niedrigeren Wert geändert.

Die absolute Höhe des ersten Schwellwerts, ab dem eine Verringerung der Leistung der Anlage zur Stromerzeugung erfolgt, ist für diese Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens nicht wesentlich und kann anhand wirtschaftlicher Kriterien festgelegt werden. Gleiches gilt für den zweiten vorgegebenen Wert, unterhalb dessen eine Verringerung der Leistung der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin erfolgt.

Wenn die Leistung der beiden Anlagen aufeinander abgestimmt ist, werden vorzugsweise der erste vorgegebene und der zweite Schwellwert gleich gewählt.

Vorzugsweise wird das Stromangebot aus den Daten einer Wetterprognose vorausberechnet. Anhand des vorausberechneten Stromangebot werden dann vorzugsweise die oben genannten Schwellwerte für ein Stromangebot so gewählt, dass im Prognosezeitraum einerseits eine geplante Menge an Ethin produziert wird und andererseits die Speicherkapazität für neben Ethin erhaltenen Wasserstoff und/oder gasförmigen Kohlenwasserstoffe nicht überschritten wird.

Durch einen gemeinsamen Betrieb der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin und der Anlage zur Stromerzeugung bei einem mittleren Stromangebot können überraschend hohe Betriebszeiten erzielt werden, so dass eine hohe Rentabilität der Anlage erreicht wird.

Vorzugsweise wird die Anlage zur Stromerzeugung innerhalb eines Kalenderjahres mindestens 4000 Volllaststunden, bevorzugt mindestens 5000 Volllaststunden und besonders bevorzugt mindestens 5500 Volllaststunden betrieben. Die Volllaststunden errechnen sich dabei gemäß der Formel

5
$$\text{Volllaststunden} = W / P$$

wobei W die innerhalb eines Kalenderjahres bereitgestellte elektrische Arbeit in MWh und P die elektrische Nennleistung der Anlage in MW bezeichnen.

Wenn die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mindestens einen Lichtbogenreaktor umfasst, werden die Lichtbogenreaktoren vorzugsweise innerhalb
10 eines Kalenderjahres im Mittel mindestens 2500 Volllaststunden, bevorzugt mindestens 4000 Volllaststunden und besonders bevorzugt mindestens 5000 Volllaststunden betrieben. Die Volllaststunden errechnen sich dabei gemäß der Formel

$$\text{Volllaststunden} = \text{Produktion} / \text{Kapazität}$$

15 wobei „Produktion“ die innerhalb eines Kalenderjahres hergestellte Menge an Ethin in Tonnen und „Kapazität“ die gesamte Nennleistung der Lichtbogenreaktoren in Tonnen Ethin je Stunde bezeichnen.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens ergeben sich aus der zuvor dargelegten Beschreibung einer integrierten Anlage
20 gemäß der vorliegenden Erfindung.

Die vorliegende integrierte Anlage sowie das Verfahren eignen sich zur Herstellung von Ethin auf eine sehr wirtschaftliche und ressourcenschonende Weise. Ethin kann in viele wertvolle Zwischenprodukte überführt werden, wobei hierdurch eine überraschende Reduktion des Kohlendioxidausstoßes erzielt werden kann.

25 Diese überraschende Reduktion basiert auf mehreren synergistisch wirkenden Faktoren. Hierzu gehört die Tatsache, dass zur Herstellung von Ethin Strom aus erneuerbaren Energien eingesetzt werden kann, wobei die Herstellung von Ethin sehr flexibel an ein Stromangebot angepasst werden kann. Weiterhin kann Wasserstoff bei einem sehr hohen Stromnutzungsgrad erhalten werden, welcher

ohne Freisetzung von Kohlendioxid zur Erzeugung von elektrischer Energie eingesetzt werden kann. Weiterhin wird bei der Herstellung der wertvollen Folgeprodukte häufig Wärme freigesetzt. Diese Abwärme kann oftmals genutzt werden zur Deckung des Wärmebedarfs in anderen Prozessteilen (z.B. bei
5 destillativen Trennprozessen). Entsprechend reduziert sich der Kohlendioxidausstoß, wenn andernfalls eine Oxidation von Kohlenwasserstoffen zur Erzeugung der Prozesswärme notwendig wäre. Bei Ethin ist die spezifische Enthalpie höher als bei anderen üblichen Kohlenwasserstoffen, die alternativ zur Synthese der gleichen Endprodukte eingesetzt werden wie beispielsweise Ethylen oder Propylen. Somit
10 kann im Allgemeinen bei der Umsetzung mehr Abwärme erzeugt und für andere Anwendungen genutzt werden.

Ferner kann vorgesehen sein, dass das erzeugte Ethin zur Herstellung von Aceton, Butandiol oder ungesättigten Verbindungen mit einem Molekulargewicht von mindestens 30 g/mol umgesetzt wird. Zu den ungesättigten Verbindungen mit einem
15 Molekulargewicht von mindestens 30 g/mol zählen insbesondere Vinylether, vorzugsweise Methylvinylether oder Ethylvinylether; Vinylhalogenide, vorzugsweise Vinylchlorid; Acrylnitril; ungesättigte Alkohole, vorzugsweise Allylalkohol, Propargylalkohol, Butindiol und/oder Butendiol; Vinylacetylen; Acrylsäure und Acrylsäureester; Ester von Vinylalkohol, vorzugsweise Vinylacetat; Butadien und
20 Buten.

Das erzeugte Ethin kann außerdem selektiv zu Ethen hydriert werden.

Weiterhin können Nebenprodukte aus diesen Prozessen zur Erzeugung von Strom eingesetzt werden. Hierbei können gasförmige Nebenprodukte oder geeignete flüssige Nebenprodukte nach Verdampfung vorzugsweise in die Gasturbine
25 eingespeist werden. Feste Rückstände können, insbesondere unter Verwendung von Wasserstoff in brennbare Gase umgewandelt und anschließend in einer Gasturbine verstromt werden. Vorzugsweise wird das in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin erzeugte Ethin in mindestens einem weiteren Prozess zu einem weiteren Produkt umgesetzt und ein Nebenprodukt aus diesem Prozess wird
30 in der Anlage zur Stromerzeugung zur Erzeugung von Strom eingesetzt.

Ferner kann die bei einer Reaktion des Ethins zu einer ungesättigte Verbindung mit einem Molekulargewicht von mindestens 30 g/mol oder einer anderen Folgeverbindung erhaltene Abwärme zumindest teilweise zur Erzeugung von Strom eingesetzt werden. Vorzugsweise wird das in der Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin erzeugte Ethin in mindestens einem weiteren Prozess zu einem weiteren Produkt umgesetzt und in diesem Prozess erzeugte Wärme wird in der Anlage zur Stromerzeugung zur Erzeugung von Strom eingesetzt.

Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand von Figur 1 beispielhaft erläutert.

Figur 1: Schematischer Aufbau einer erfindungsgemäßen integrierten Anlage.

Figur 1 zeigt einen schematischen Aufbau einer erfindungsgemäßen integrierten Anlage 10, umfassend eine Anlage 12 zur elektrothermischen Herstellung von Ethin und eine Anlage 14 zur Stromerzeugung, wobei die integrierte Anlage 10 an ein zentrales Stromnetz 16 angeschlossen ist. Hierbei können die einzelnen Vorrichtungen unmittelbar an das zentrale Stromnetz 16 angeschlossen werden oder, wie in Figur 1 gezeigt, über einen Schalterpunkt 18 zur Stromübertragung an das zentrale Stromnetz 16 angeschlossen werden. Die Anlage 12 zur elektrothermischen Herstellung von Ethin ist dann über eine erste elektrische Verbindungsleitung 20 mit dem Schalterpunkt 18 zur Stromübertragung verbunden, die Anlage 14 zur Stromerzeugung ist über eine zweite elektrische Verbindungsleitung 22 mit dem Schalterpunkt 18 zur Stromübertragung verbunden und der Schalterpunkt 18 zur Stromübertragung ist mit dem zentralen Stromnetz 16 verbunden. Diese Ausführungsform kann Vorteile in den Installationskosten und/oder dem betrieblichen Aufwand haben.

In der in Figur 1 gezeigten Ausführungsform umfasst die integrierte Anlage 10 einen Wasserstoffspeicher 24, der über eine erste Verbindungsleitung 26 für Wasserstoff mit Wasserstoff aus der Anlage 12 zur elektrothermischen Herstellung von Ethin befüllt werden kann. Zur Erzeugung von elektrischer Energie kann der in dem Wasserstoffspeicher 24 gespeicherte Wasserstoff über die zweite Verbindungsleitung 28 für Wasserstoff der Anlage 14 zur Stromerzeugung zugeführt werden.

Weiterhin weist die integrierte Anlage 10 in der gezeigten Ausführungsform eine Steuerung 30 auf, die über eine erste Kommunikationsverbindung 32 mit der Anlage 12 zur elektrothermischen Herstellung von Ethin, über eine zweite Kommunikationsverbindung 34 mit der Anlage 14 zur Stromerzeugung, über eine
5 dritte Kommunikationsverbindung 36 mit dem Schaltpunkt 18 zur Stromübertragung und über eine vierte Kommunikationsverbindung 38 mit dem Wasserstoffspeicher 24 verbunden ist.

Die in der voranstehenden Beschreibung sowie den Ansprüchen, Figuren und Ausführungsbeispielen offenbarten Merkmale der Erfindung können zur Ausführung
10 der Erfindung auch in jeder beliebigen Kombination verwendet werden.

Bezugszeichenliste:

10	integrierte Anlage
12	Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin
14	Anlage zur Stromerzeugung
15 16	zentrales Stromnetz
18	Schaltpunkt zur Stromübertragung
20	erste elektrische Verbindungsleitung
22	zweite elektrische Verbindungsleitung
24	Wasserstoffspeicher
20 26	erste Verbindungsleitung für Wasserstoff
28	zweite Verbindungsleitung für Wasserstoff
30	Steuerung
32	erste Kommunikationsverbindung
34	zweite Kommunikationsverbindung
25 36	dritte Kommunikationsverbindung
38	vierte Kommunikationsverbindung

Patentansprüche:

1. Integrierte Anlage (10), umfassend eine Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin und eine Anlage (14) zur Stromerzeugung, dadurch
5 gekennzeichnet, dass die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin über eine Leitung (26, 28) mit der Anlage (14) zur Stromerzeugung verbunden ist und die Leitung ein in der Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin erhaltenes Produktgas der Anlage (14) zur Stromerzeugung zuführt.
- 10 2. Integrierte Anlage gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (14) zur Stromerzeugung eine Brennstoffzelle umfasst.
3. Integrierte Anlage gemäß Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (14) zur Stromerzeugung ein Kraftwerk mit einer Turbine umfasst.
- 15 4. Integrierte Anlage gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftwerk mit einer Turbine eine Gasturbine umfasst, die mit Wasserstoff und/oder kohlenwasserstoffhaltigen Gasen betreibbar ist.
5. Integrierte Anlage gemäß Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Kraftwerk mit einer Turbine ein Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk ist.
- 20 6. Integrierte Anlage gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin einen Lichtbogenreaktor umfasst.
7. Integrierte Anlage gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin eine Vorrichtung zur Trennung des bei der elektrothermischen Herstellung
25 erhaltenen Gasgemisches aufweist und die Vorrichtung zur Trennung des bei der elektrothermischen Herstellung erhaltenen Gasgemisches mit der Anlage (14) zur Stromerzeugung verbunden ist.
8. Integrierte Anlage gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die integrierte Anlage (10) mindestens einen Speicher
30 (24) für Wasserstoff und/oder von Ethin abgetrennte kohlenwasserstoffhaltige

Gase aufweist, der über eine Leitung (26) mit der Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin verbunden ist und über eine Leitung (28) mit der Anlage (14) zur Stromerzeugung verbunden ist.

- 5 9. Integrierte Anlage gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage zur elektrothermischen Herstellung von Ethin einen Dampferzeuger umfasst, mit dem aus der Abwärme des elektrothermischen Verfahrens Dampf erzeugt wird, die Anlage zur Stromerzeugung eine Vorrichtung umfasst, in der Strom aus Dampf erzeugt wird, und die integrierte Anlage eine Dampfleitung umfasst, mit der in dem 10 Dampferzeuger erzeugter Dampf der Vorrichtung, in der Strom aus Dampf erzeugt wird, zugeführt wird.
10. Integrierte Anlage gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass sie mit einer Wetterprognose-Einheit verbunden ist.
- 15 11. Verfahren zum flexiblen Einsatz von Strom, dadurch gekennzeichnet, dass in einer integrierten Anlage (10) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 in Zeiten eines hohen Stromangebots die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin betrieben wird und mindestens ein Teil von neben Ethin erhaltenem Wasserstoff und/oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen gespeichert werden und in Zeiten eines geringen Stromangebots gespeicherter Wasserstoff 20 und/oder gasförmige Kohlenwasserstoffe der Anlage (14) zur Stromerzeugung zugeführt werden.
- 25 12. Verfahren gemäß Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin einen Lichtbogenreaktor aufweist, und die aus dem Lichtbogenreaktor erhaltene Gasmischung zur Abkühlung mit einem kohlenwasserstoffhaltigen Gas oder einer kohlenwasserstoffhaltigen Flüssigkeit versetzt wird.
13. Verfahren gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Art und/oder Menge des Gases und/oder der Flüssigkeit in Abhängigkeit vom erwarteten Stromangebot gewählt wird.

14. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Stromangebot aus den Daten einer Wetterprognose vorausberechnet wird.
15. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet,
5 dass die Anlage (14) zur Stromerzeugung ein Gas-und-Dampfturbinen-Kraftwerk ist und in der integrierten Anlage (10) bei einem hohen Stromangebot die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einer Leistung von mehr als 80 % der Nennleistung und die Anlage (14) zur Stromerzeugung mit 0-50 % der elektrischen Nennleistung betrieben wird und bei einem
10 geringen Stromangebot die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mit einer Leistung von 0-50 % der Nennleistung und die Anlage (14) zur Stromerzeugung mit mehr als 80 % der elektrischen Nennleistung betrieben wird.
16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 15, umfassend die Schritte
15 a) Festlegen eines ersten Schwellwerts und eines zweiten Schwellwerts für ein Stromangebot,
b) Bestimmung des Stromangebots,
c) Veränderung der elektrischen Leistung der Anlage (14) zur
20 Stromerzeugung in Abhängigkeit vom Stromangebot, falls das Stromangebot den ersten Schwellwert überschreitet und Veränderung der Leistung der Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin in Abhängigkeit vom Stromangebot, falls das Stromangebot den zweiten Schwellwert unterschreitet, und
d) Wiederholen der Schritte b) und c).
- 25 17. Verfahren gemäß Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Schwellwert und der zweite Schwellwert gleich sind.
18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin mindestens einen Lichtbogenreaktor umfasst und die Lichtbogenreaktor innerhalb eines
30 Kalenderjahres im Mittel mindestens 2500 Volllaststunden, bevorzugt

mindestens 4000 Volllaststunden und besonders bevorzugt mindestens 5000 Volllaststunden betrieben wird.

19. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 18, dadurch gekennzeichnet,
dass die Anlage (14) zur Stromerzeugung innerhalb eines Kalenderjahres
5 mindestens 4000 Volllaststunden, bevorzugt mindestens 5000 Volllaststunden
und besonders bevorzugt mindestens 5500 Volllaststunden betrieben wird.
20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 19, dadurch gekennzeichnet,
dass das in der Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin
erzeugte Ethin in mindestens einem weiteren Prozess zu einem weiteren
10 Produkt umgesetzt wird und ein Nebenprodukt aus diesem Prozess in der
Anlage (14) zur Stromerzeugung zur Erzeugung von Strom eingesetzt wird.
21. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 20, dadurch gekennzeichnet,
dass das in der Anlage (12) zur elektrothermischen Herstellung von Ethin
erzeugte Ethin in mindestens einem weiteren Prozess zu einem weiteren
15 Produkt umgesetzt wird und in diesem Prozess erzeugte Wärme in der Anlage
(14) zur Stromerzeugung zur Erzeugung von Strom eingesetzt wird.