



(10) **DE 10 2015 116 789 A1** 2017.04.06

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 116 789.1**

(22) Anmeldetag: **02.10.2015**

(43) Offenlegungstag: **06.04.2017**

(51) Int Cl.: **F23B 80/02 (2006.01)**

F23C 9/06 (2006.01)

(71) Anmelder:
Weber, Dieter, Dr., 64380 Roßdorf, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

(74) Vertreter:
**Maiwald Patentanwalts GmbH, 40212 Düsseldorf,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2009 012 905 B3

DE 10 2006 046 599 A1

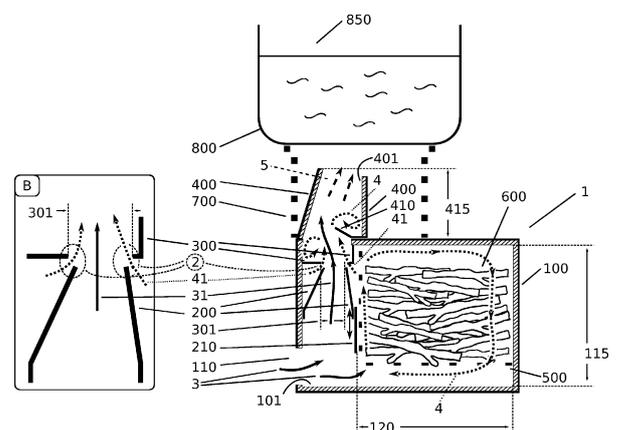
DE 20 2008 000 034 U1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Portabler Erhitzer für den Betrieb mit Biomasse als Brennstoff**

(57) Zusammenfassung: Erhitzer (1), welcher die Energie für die Erwärmung aus der Verbrennung eines festen, flüssigen oder schmelzenden Brennstoffs (600, 610) bezieht, umfassend einen primären Brennraum (100) mit mindestens einer zumindest teilweise luftdurchlässigen Ablage (500) zur Aufnahme mindestens einer Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs (600, 610), wobei die dem Brennstoff (600, 610) abgewandte Seite der Ablage (500) für den Zutritt von Umgebungsluft (3) zugänglich (110) ist, wobei im Abzugsweg der bei der primären Verbrennung des Brennstoffs (600, 610) im primären Brennraum (100) entstehenden primären Verbrennungsgase (4) mindestens eine Drosselstelle (2) vorgesehen ist, die die primären Verbrennungsgase (4) teilweise passieren lässt und teilweise zurückhält.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen transportablen Erhitzer, geeignet beispielsweise zur Erwärmung von Speisen, Getränken oder Brauchwasser, der insbesondere mit Biomasse als Brennstoff betreibbar ist.

Stand der Technik

[0002] Nahrung durch Garen bei hoher Temperatur zuzubereiten ist ein Grundbedürfnis der Menschheit. Praktisch jeder Haushalt hat in irgendeiner Form einen Kochherd. So ein Kochherd gibt auf einer kleinen Fläche eine hohe, regelbare Wärmeleistung ab. Er soll dabei sicher betrieben werden können, keine schädlichen Abgas erzeugen und keinen Schmutz verursachen. Für den täglichen Einsatz soll der Betrieb weiterhin kostengünstig möglich sein.

[0003] Beim Camping oder bei Expeditionen muss so ein Kochherd und seine Verbrauchsmaterialien, wie zum Beispiel Brennstoff, mitgeführt werden. Für diese Anwendung muss der Herd klein und leicht sein, damit man ihn gut transportieren kann. Weit verbreitet sind dafür kleine Gaskocher, die aus Flüssig-gaskartuschen betrieben werden, Ethanol-Brenner, Festbrennstoff-Kocher wie zum Beispiel ein Esbit-Kocher, und mit Benzin oder Petroleum betriebene Kocher. Für alle diese Lösungen muss Brennstoff mitgeführt und/oder vor Ort gekauft werden.

[0004] Elektroherde sind für mobile Anwendungen nur in Gegenden mit guter Infrastruktur, wie zum Beispiel Campingplätzen, verbreitet, weil nur hier eine ausreichend leistungsstarke Stromquelle zur Verfügung steht.

[0005] Für kurze Touren und in Gegenden mit ausreichender Infrastruktur funktionieren diese Lösungen hervorragend, weil die jeweils mitgeführte Menge an Brennstoff gering ist und bei Bedarf neuer Brennstoff gekauft werden kann. Bei langen Touren in Gegenden mit schwacher Infrastruktur kann die Brennstoff-Versorgung für die etablierten Lösungen ein Problem sein. Der Brennstoff kann einen erheblichen Anteil am Volumen und Gewicht des Gepäcks haben und die Mobilität bzw. die mögliche Länge einer Tour begrenzen. Weiterhin ist die Ernährung auf Lebensmittel beschränkt, die sich mit wenig Wärmezufuhr zubereiten lassen. Ein Beispiel ist Fertignahrung, die mit heißem Wasser aufgegossen wird. Einige trockene Nahrungsmittel mit günstig hohem Nährwert bei geringem Gewicht und langer Lagerfähigkeit, wie Hülsenfrüchte und Reis, sind wegen der langen Kochzeit und dementsprechend hohem Brennstoff-Verbrauch keine Option.

[0006] Biomasse, wie beispielsweise trockenes Holz, ist in der Natur als Brennstoff reichlich verfügbar, muss also nicht transportiert werden. Für statio-

näre Anwendungen sind mit Holz befeuerte Kochherde vor etwa 100 Jahren noch der Standard gewesen und sind heute durchaus noch in alten Gebäuden anzutreffen. Diese Herde eignen sich hervorragend zum Kochen, weil sie die weiter oben beschriebenen Nachteile weitgehend umgehen, indem die Verbrennung in einem abgeschlossenen Feuerungsraum mit regelbarer Zuluft sowie einem starken, kontrollierten Abzug durch einen Kamin kontrolliert wird. Diese Herde sind im Allgemeinen so schwer, dass ein Transport in unwegsamem Gelände ausgeschlossen ist.

[0007] Ohne einen solchen Herd hat ein Holzfeuer zum Kochen eine Reihe von Nachteilen:

- Rauchentwicklung, insbesondere bei nicht ausreichend getrocknetem Brennstoff.
- Naturzerstörung durch Brandflecken sowie Verschmutzung durch Asche und Kohlenreste.
- Brandgefahr durch Funken und Glut.
- Schwer regelbar, muss ständig geschürt werden.
- Schwer zu entfachen.
- Kochgerät wird durch Ruß und Teer verunreinigt.

[0008] Für mobiles Kochen mit Biomasse gibt es auf dem Markt eine Reihe von Lösungen. Einfache Modelle funktionieren nach dem Prinzip des Hobo-Ofens, einem nach oben offenen Gefäß mit Öffnungen zur Luftzufuhr im unteren Bereich. Diese Lösungen erreichen eine bessere Verbrennung als ein offenes Feuer, indem sie den Verbrennungsprozess in einem kleinen, heißen Bereich konzentrieren, haben aber insgesamt die gleichen weiter oben beschriebenen Nachteile.

[0009] Bekannt sind weiterhin Biomasse-Kocher, die einen mehrstufigen Verbrennungsprozess verwenden. Hierbei wird der Brennstoff zunächst in einem ersten Verbrennungsschritt unter Luftmangel verschwelt. Das entstehende Gemisch aus Verbrennungsgasen und unverbrannten Pyrolysegasen wird dann in einem zweiten Schritt als Kochflamme verbrannt. Diese Lösungen benötigen ein Gebläse, weil der natürliche Auftrieb der heißen Flammengase ohne einen hohen Kamin nicht genug Luftströmung im dicht gepackten Brennstoffbett erzeugt. Das Gebläse kann entweder mit Batterien betrieben werden, die dann statt Brennstoff mitgeführt werden müssen, oder durch einen teuren, schweren und komplexen thermoelektrischen Generator, der die Verbrennungshitze zur Stromerzeugung für das Gebläse verwendet. Bei diesen Lösungen wird die Ausgangsleistung über das Gebläse durch die Luftzufuhr und damit die Leistungserzeugung der Primärverbrennung reguliert. Diese Öfen erzeugen sehr viel Rauch, bis das Brennstoffbett heiß genug geworden ist, um genug brennbare Gase für eine stabile Sekundärverbrennung zu erzeugen.

[0010] Kommerziell erhältlich ist weiterhin eine Hybridlösung aus Hobo-Ofen und Kocher mit Sekundär-

verbrennung. Hier wird ein Hobo-Ofen in ein zweites Gefäß eingesetzt. Die heiße Luft im Zwischenraum zwischen innerem und äußerem Gefäß steigt auf und wird im oberen Bereich über Öffnungen der Flamme im Hobo-Ofen zugeführt. Dieser Ofen benötigt kein Gebläse und erreicht mit seiner kontrollierten Luftführung und Wärmerückgewinnung unter guten Bedingungen eine bessere Verbrennung als ein einfacher Hobo-Ofen, ist aber ansonsten vergleichbar.

Aufgabe und Lösung

[0011] Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, einen Erhitzer für den mobilen Einsatz bereitzustellen, der mit Biomasse, insbesondere mit Holz, betreibbar ist und die oben beschriebenen Nachteile eines Holzfeuers besser überwindet als die Lösungen nach dem bisherigen Stand der Technik.

[0012] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch einen Erhitzer gemäß Hauptanspruch. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den darauf rückbezogenen Unteransprüchen.

Gegenstand der Erfindung

[0013] Im Rahmen der Erfindung wurde ein Erhitzer entwickelt. Dieser Erhitzer kann insbesondere dazu ausgebildet sein, Speisen, Getränke oder Brauchwasser zu erwärmen. Der Erhitzer bezieht die Energie für die Erwärmung aus der Verbrennung eines festen, flüssigen oder schmelzenden Brennstoffs. Er umfasst einen primären Brennraum mit mindestens einer zumindest teilweise luftdurchlässigen Ablage zur Aufnahme einer Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs, wobei die dem Brennstoff abgewandte Seite der Ablage für den Zutritt von Umgebungsluft zugänglich ist.

[0014] Neben der Erwärmung von Speisen, Getränken und Brauchwasser hat Feuer noch viele weitere Anwendungszwecke. Dazu gehört beispielsweise das Erwärmen von Werkstoffen im Zuge der Verarbeitung, wie etwa Stahl im Schmiedefeuer oder Keramik im Brennofen. Weiterhin ist Feuer als Wärmequelle zu Heizzwecken weit verbreitet. Der hier beschriebene Erhitzer wurde primär als ein Kocher bzw. Brenner entwickelt, der bessere Eigenschaften als etablierte Lösungen hat. Das schließt selbstverständlich andere Anwendungsmöglichkeiten für ein stabiles, sauberes Feuer mittels eines erfindungsgemäßen Erhitzers nicht aus.

[0015] Die Ablage ist vorteilhafterweise aus austenitischem Edelstahl oder NiCr gefertigt. Drahtgitter, Streckmetall oder Lochblech sind denkbare Ausführungsformen. Die Ablage kann aus einem Stück gefertigt, aber auch geteilt sein.

[0016] Für flüssige oder schmelzende Brennstoffe wie etwa Kerzenwachs als Zusatzbrennstoff oder als Hauptbrennstoff kann ein geeigneter Träger, wie etwa Holz, andere Biomasse, Glaswolle, Holzkohle, Keramikwolle oder poröse Keramik, mit dem Brennstoff getränkt werden. Dieser Träger wird dann wie ein fester Brennstoff auf der Ablage platziert. Zusätzlich kann eine Auffangschale für abtropfenden Flüssigbrennstoff unter der Stapelung bzw. Schüttung des Trägers vorgesehen sein.

[0017] Erfindungsgemäß ist im Abzugsweg der bei der primären Verbrennung des Brennstoffs im primären Brennraum entstehenden primären Verbrennungsgase mindestens eine Drosselstelle vorgesehen, die die primären Verbrennungsgase teilweise passieren lässt und teilweise zurückhält.

[0018] Es wurde erkannt, dass bereits dieses Zurückhalten die Wirkung hat, dass die primären Verbrennungsgase teilweise in die Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs zurückgeführt werden. Durch weitere Maßnahmen zur Führung des zurückgehaltenen Anteils der primären Verbrennungsgase kann dieser Effekt verstärkt bzw. unterstützt werden. Derartigen Maßnahmen können beispielsweise darin bestehen, dass im primären Brennraum Kanäle vorgesehen oder Freiräume freigehalten werden, durch die der zurückgehaltene Anteil der primären Verbrennungsgase ausgehend von der Drosselstelle strömen kann. Es kann aber auch beispielsweise die primäre Verbrennung im primären Brennraum so gesteuert werden, dass der Brennstoff in bestimmten Bereichen kälter ist als in anderen Bereichen, so dass in diesen Bereichen der zurückgehaltene Anteil der primären Verbrennungsgase abgekühlt wird und in die Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs hinein sinkt. Dies kann beispielsweise dadurch bewirkt werden, dass der primäre Brennraum nur an einigen wenigen Stellen, oder sogar nur an einer Stelle, eine Luftzuführung aufweist. Je weiter dann ein Bereich in der Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs von dieser Luftzuführung entfernt ist, desto geringer ist die Temperatur, die in diesem Bereich erreicht wird. Schließlich ist die Gasdurchlässigkeit der Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs, die unter anderem von der Packungsdichte der Stapelung oder Schüttung abhängt, ein weiterer Freiheitsgrad, mit dem gesteuert werden kann, inwieweit das Zurückhalten eines Teils der primären Verbrennungsgase in eine Rückführung dieses Teils in die Stapelung oder Schüttung umgemünzt wird.

[0019] Es wurde erkannt, dass speziell die bei der primären Verbrennung von Biomasse als Brennstoff entstehenden Verbrennungsgase brennbares Pyrolysegas, unbrennbares CO₂ sowie Wasserdampf enthalten. Das Mengenverhältnis, in dem diese drei Komponenten entstehen, ändert sich je nach dem Stadium des Abbrandes, in dem sich die Biomasse

se befindet. Biomasse enthält natürlicherweise immer einen Anteil an gebundenem Wasser, der durch natürliche Trocknung unter Umgebungsbedingungen nicht entfernt werden kann, sondern nur bei erhöhter Temperatur, mit einem Trocknungsmittel oder im Vakuum. Wenn einem Feuer Biomasse zugeführt wird, verbrennt diese nicht sofort, sondern in drei Stufen:

- Zunächst wird die Biomasse getrocknet, indem das in ihr gebundene Wasser durch Erwärmung freigesetzt wird. Dieser Prozess verbraucht Energie, und der freigesetzte Wasserdampf unterhält keine Verbrennung, sondern wirkt erstickend auf das Feuer.
- Wenn das Wasser ausgetrieben ist, erhitzt sich die Biomasse, bis sich die Bestandteile in feste und brennbare gasförmige Produkte umsetzen. Die gasförmigen Produkte brennen als Flamme ab. Ein Teil der Pyrolyseprodukte hat einen hohen Siedepunkt, größenordnungsmäßig über 100 °C. Wenn dieser Anteil nicht verbrennt und sich abkühlt, kondensiert er zu festen und flüssigen Rauchpartikeln oder schlägt sich als Ruß und Teer an kalten Oberflächen nieder. Die Pyrolyse verbraucht keine oder nur wenig Energie.
- Wenn nicht mehr genug Gas erzeugt wird, um bei dessen Verbrennung die zugeführte Luft direkt und vollständig umzusetzen, dann verbrennen die kohlenstoffreichen Pyrolysereste als Glut, bis nur noch mineralische Reste, die Asche, zurückbleiben.

[0020] Damit ist die Verbrennung von Biomasse inhärent instabil: Nach Brennstoff-Zufuhr geht die Leistung zunächst zurück und es kann sich insbesondere bei nicht ganz trockenem Brennstoff Rauch bilden, weil die Flammen durch Wärmeverlust und Wasserdampf erstickt werden. Dann setzt die Pyrolyse ein und es bilden sich verstärkte Flammen. Diese erhitzen den Brennstoff immer stärker, sodass immer mehr Gas erzeugt wird und die Leistung stark ansteigt. Sobald die Pyrolyse abgeschlossen ist, erzeugt die Glut wieder eine geringere Leistung und es bilden sich keine Flammen mehr.

[0021] Ein stabiles, durch Brennstoff-Zufuhr limitiertes Biomasse-Feuer muss deswegen ständig so mit Brennstoff versorgt werden, dass alle drei Prozesse in einem labilen dynamischen Gleichgewichtszustand gehalten werden. Nur bei Pellet-Heizungen, die einen gut dosierbaren Brennstoff mit konstanten Eigenschaften verbrennen, geschieht das automatisch. Ein offenes Feuer und ein Hobo-Ofen, der mit Brennstoffmangel betrieben wird, benötigen ständige Aufmerksamkeit, um dieses dynamische Gleichgewicht zu erhalten. Durch das ständige Schüren des Feuers ist ein Mensch, der gleichzeitig kochen möchte und vielleicht noch andere Aufgaben hat, stark mit Multitasking belastet. Es benötigt sehr viel Erfahrung, um die für das Kochen nötige Ausgangsleistung punktgenau einzustellen und über längere Zeit zu halten.

[0022] Der Erfinder hat nun erkannt, dass durch den gedrosselten Abzug der primären Verbrennungsgase und ihre teilweise Rückführung in die Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs eine Rückkopplung geschaffen werden kann, die wiederum als Stellgröße auf die primäre Verbrennung einwirkt. Dadurch entsteht letztendlich eine geschlossene Regelschleife für die bei der primären Verbrennung erzeugte Leistung.

[0023] Indem die Verbrennungsgase nicht vollständig abziehen können, stauen sie sich zum Teil im primären Brennraum auf. Dadurch kann Umgebungsluft die Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs nicht komplett durchdringen, sondern nur einen Teil des Brennstoffs erreichen. Es durchläuft also nicht der gesamte Brennstoff auf einmal den beschriebenen dreistufigen Verbrennungsprozess, der zunächst für die Trocknung Energie aus der Umgebung benötigt und anschließend stark variierende Mengen an Energie abgibt. Stattdessen wird der Brennstoff portionsweise verbraucht. Wenn der aktuell brennende Teil des Brennstoffs pyrolysiert und durch die Verbrennung des Pyrolysegases Energie erzeugt, wird ein Teil dieser Energie darauf verwendet, den nächsten Teil des Brennstoffs zu trocknen. Dieser Teil wird pyrolysiert werden und mehr Energie freisetzen, wenn der aktuell brennende Teil des Brennstoff in sein letztes Stadium der Verbrennung eintritt und die von ihm abgegebene Leistung abnimmt. Insoweit werden gerade die starken Schwankungen der abgegebenen Leistung, die beim Verbrennen von Biomasse gegenüber höherwertigen Brennstoffen entstehen, vergleichmäßig. Gerade für das Kochen ist es häufig erforderlich, eine mittlere Leistung über einen längeren Zeitpunkt konstant zu halten.

[0024] Insbesondere kann nach dem Anzünden des Erhitzers zunächst nur ein kleiner Teil des Brennstoffs erwärmt werden, während der Rest erst nach und nach getrocknet und aufgeheizt wird.

[0025] Dabei gilt nach wie vor das Grundprinzip, dass, solange die zugeführte Luft vollständig mit dem Brennstoff umgesetzt wird, die Wärmeerzeugung proportional zur Luftzufuhr ist. Die Neuerung ist, dass durch das Aufstauen der primären Verbrennungsgase räumlich selektiert wird, in welchem Teilgebiet des primären Brennraums die Luft mit dem Brennstoff in Kontakt kommt. Die zugeführte Luft muss also nicht ausreichen, um den gesamten Brennstoff gleichzeitig zu verbrennen, sondern nur, um denjenigen Teil des Brennstoffs zu verbrennen, zu dem die Luft vordringen kann. Hierfür wiederum reicht diejenige Luftmenge aus, die ohne ein Gebläse oder einen Kaminzug nur durch natürliche Konvektion zur Verfügung steht. Wenn nun wiederum derjenige Teil des Brennstoffs, der gerade verbrannt wird, mit einer hinreichenden Luftmenge verbrannt wird, dann wird eine Bildung von Ruß, Teer und Rauch aus

den unvollständig verbrannten Pyrolysegasen vorteilhaft vermieden.

[0026] In der einfachsten Ausführungsform der Erfindung hat die Drossel einen festen Strömungsquerschnitt. In Verbindung mit bestimmten Brennstoffen, wie etwa Eichenholz mit normaler Restfeuchte, genügte dies in Versuchen des Erfinders bereits, um nach dem Anzünden ohne weiteres Zutun die Leistung zu stabilisieren und eine brauchbare Ausgangsleistung bei noch akzeptabler Ruß- und Rauchentwicklung zu erreichen.

[0027] Besonders vorteilhaft ist jedoch der Strömungsquerschnitt der Drosselstelle vom Benutzer regelbar. Dann kann eine deutlich größere Bandbreite an Brennstoffen verwendet und die abgegebene Leistung jeweils stabilisiert werden. Wird beispielsweise der Erhitzer angeheizt und brennt nur ein sehr kleiner Teil eines feuchten Brennstoffs, so kann durch besonders weites Öffnen der Drosselstelle verhindert werden, dass sich im Übermaß Wasserdampf im primären Brennraum aufstaut und das in der Entstehung befindliche Feuer wieder erstickt. Wenn ein hinreichend großer Bereich des Brennstoffs brennt und durch die Bildung von Pyrolysegasen bereits zum Teil reformiert ist, kann die Drosselstelle so weit geschlossen werden, dass sich ein stationärer Zustand einstellt. Wird ein besonders hochwertiger Brennstoff verwendet, der ohne vorherige Trocknung unmittelbar viel Pyrolysegas erzeugt, kann der Strömungsquerschnitt der Drosselstelle von vornherein verkleinert werden.

[0028] Unabhängig davon, welcher Brennstoff zum Einsatz kommt, kann somit letztlich eine stabile Ausgangsleistung eingestellt werden. Bei herkömmlichen Biomasse-Öfen, die die Ausgangsleistung über die zugeführte Luftmenge steuern, entscheidet hingegen die Rückwirkung der Ausgangsleistung auf die dem Brennstoff zugeführte Luftmenge darüber, ob die Ausgangsleistung stabil bleibt. Steigert die Pyrolyse den Luftdurchsatz, was wiederum die Pyrolyse ankurbelt, kann ein Ofen thermisch durchgehen. Hat umgekehrt eine Reduzierung der Ausgangsleistung unter ihren Maximalwert die Wirkung, dass der Luftdurchsatz durch den Brennstoff sinkt, kann dies dazu führen, dass das Feuer erlischt. Viele Öfen dieser Art eignen sich somit nur zum einmaligen Erhitzen, nicht aber zum längeren Kochen bei mittlerer Leistung. Der erfindungsgemäße Erhitzer hält seine eingestellte Ausgangsleistung in den Versuchen des Erfinders bei ausreichender Brennstoffmenge über mehr als eine Stunde konstant, während beispielsweise ein konventioneller Hobo-Ofen alle 3–5 Minuten mit frischem Brennstoff versorgt werden muss.

[0029] Des Weiteren verbessert die teilweise Rückführung der primären Verbrennungsgase auch die Unterdrückung der Rußbildung. Rußbildung ist eines

der Hauptprobleme beim Kochen mit Holz und anderer Biomasse. Es bilden sich unter ungünstigen Bedingungen dicke und zum Teil stark abfärbende Krusten auf den mit dem Erhitzer erwärmten Töpfen.

[0030] Ruß besteht zu einem großen Teil aus Kohlenstoff. Er entsteht in einer Flamme, wenn gasförmige organische Substanzen unter Sauerstoffmangel erhitzt werden. Hierbei werden die organischen Moleküle durch die Hitze aufgebrochen und reagieren zu einer Vielzahl von Produkten. Dabei trennen sich tendenziell wasserstoffhaltige und kohlenstoffhaltige Bestandteile. Kohlenstoff und stark kohlenstoffhaltige Zwischenprodukte fallen dabei als kleine Partikel aus der Gasphase aus. Eine Flamme, die Rußpartikel enthält, leuchtet gelblich bis rötlich, weil die Rußpartikel erhitzt werden und glühen.

[0031] Beispielsweise wird ein typischer Hobo-Kocher in Verbindung mit dem zu erwärmenden Topf verbrennungstechnisch ungünstig, weil der Topf genau die starke Erhitzung organischer Moleküle unter Sauerstoffmangel provoziert. In dem Hobo-Kocher wird dem Holz-Brennstoffbett von unten Luft zugeführt. Hier setzt die Primärverbrennung aus dem Holz die Pyrolysegas frei. Diese strömen durch das Brennstoffbett und brennen dann weiter oben mit zusätzlicher Luft von den Seiten ab. Unter günstigen Bedingungen führt das ohne Topf zu einer sauberen, vollständigen Verbrennung. Mit Topf spaltet sich der Zentralbereich des Gasstroms am Topfboden auf. Im Zentralbereich haben die Gase den geringsten Sauerstoffgehalt, das heißt die höchste Tendenz zur Rußbildung. Gleichzeitig ist diese Zone am kältesten, weil das Brennstoffbett die Gase auf eine vergleichsweise niedrige Temperatur kühlt. Genau diese kühle, brennstoffreiche Zone fließt jetzt am Topfboden entlang. Sobald sich der Gasstrom aufspaltet, gelangt mehr Sauerstoff von unten an diesen Gasstrom. Die Verbrennung setzt ein und intensiviert sich, wodurch die unverbrannten Gase stark erwärmt werden und augenblicklich viel Ruß bilden. Dieser setzt sich in großen Teilen am Topfboden fest, bevor er verbrennen kann.

[0032] Somit ist es zur Unterdrückung von Ruß sinnvoll, einzeln oder in Kombination

- die Flammentemperatur abzusenken, damit weniger Moleküle durch die Hitze aufgebrochen werden und Ruß bilden;
- genügend Sauerstoff zuzuführen, damit die organischen Substanzen möglichst vollständig verbrennen, statt Ruß zu bilden; und/oder
- gebildeten Ruß zurückzuhalten, um ihn im Nachhinein vollständig zu verbrennen.

[0033] Gemäß dem bisherigen Stand der Technik ist es problematisch, dass diese Maßnahmen schwierig zu dosieren sind. Werden sie nicht ausreichend angewandt, bildet sich Ruß. Werden sie hingegen

im Übermaß angewandt, haben sie die Tendenz, die Flamme zu löschen, wobei sich starker Rauch entwickelt.

[0034] Der Erfinder hat nun erkannt, dass die teilweise Rückführung der primären Verbrennungsgase durch die Drosselstelle zum Einen die Flammentemperatur absenkt und zum Anderen dem Brennstoff auch Sauerstoff in gebundener Form zuführt. Dabei nimmt die Menge der rückgeführten primären Verbrennungsgase tendenziell mit der aktuellen Intensität der Verbrennung im primären Brennraum, und damit mit der aktuellen Ausgangsleistung des Erhitzers, zu. Es kann also nicht zu einer Negativspirale dergestalt kommen, dass die löschende Wirkung der Rückführung die Ausgangsleistung vermindert und dies wiederum die löschende Wirkung verstärkt. Stattdessen bleibt trotz guter Rußunterdrückung die Ausgangsleistung nach wie vor stabil.

[0035] Gerade Biomasse als Brennstoff hat einen vergleichsweise hohen Wassergehalt. Beispielsweise enthält Holz natürlicherweise etwa 20 Massenprozent Wasser. Die primären Verbrennungsgase enthalten daher neben brennbaren Pyrolysegasen viel Wasserdampf und CO_2 . Beide Gase senken zum Einen die Flammentemperatur, was das Rußwachstum bremst. Zum Anderen führen sie der Flamme auch Sauerstoff in gebundener Form zu. Kommt nun auf jedes Kohlenstoffatom, das der Temperatur der Flamme ausgesetzt ist, mindestens ein chemisch verfügbares Sauerstoffatom, so reagiert der Kohlenstoff zu gasförmigem CO oder CO_2 . Ruß bildet sich entweder überhaupt nicht, oder er bildet sich nur kurzzeitig und verbrennt dann wieder.

[0036] Dieser Effekt wird dadurch verstärkt, dass durch das teilweise Aufstauen der primären Verbrennungsgase gemäß der Erfindung der Brennstoff portionsweise verbraucht wird. Für eine effektive Rußunterdrückung muss der chemisch verfügbare Sauerstoff also nur ausreichen, um jedem Kohlenstoffatom im gerade brennenden Teilgebiet des Brennstoffs ein Sauerstoffatom bereitzustellen.

[0037] Schließlich wirkt die Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs im primären Brennraum auch als einfacher Filter. Werden die primären Verbrennungsgase teilweise in den Brennstoff zurückgeführt, kann sich darin enthaltener Ruß wieder am Brennstoff ablagern und nachverbrannt werden.

[0038] In der hier beschriebenen Erfindung wird das Wasser im Brennstoff zur Rußunterdrückung genutzt, indem zum einen das Design mit kontrollierter Rückströmung in der Flamme, Luft-Vorheizung und Isolierung eine stabile Flamme bei vergleichsweise hohem Wassergehalt ermöglicht und zum anderen das Wasser durch die Anordnung der Brennkammer und weiterer Elemente in der richtigen Menge gleichmäßig

aus dem Brennstoff freigesetzt und der Flamme zugeführt wird.

[0039] In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist mindestens ein sekundärer Brennraum vorgesehen, der sowohl für die die Drosselstelle passierenden primären Verbrennungsgase als auch für den Zutritt von Umgebungsluft zugänglich ist.

[0040] Ein Kaminzug im herkömmlichen Sprachgebrauch unterscheidet sich von einem sekundären Brennraum im Kontext der vorliegenden Erfindung technisch dadurch, dass dem Gasstrom die Nutzwärme überwiegend vor Eintritt in den Kaminzug entzogen wird. Dadurch steht nur noch ein geringer Anteil der Wärme des Gasstroms als treibende Kraft für den Auftrieb des Gasstroms durch den Kaminzug zur Verfügung. Dieser Verlust an Auftrieb wird bei einem herkömmlichen Kaminzug dadurch kompensiert, dass er mindestens doppelt so hoch wie der primäre Brennraum ist. Im Kontext der vorliegenden Erfindung wird dagegen dem Gasstrom die Nutzwärme erst nach dem Passieren des sekundären Brennraums entzogen, während der primäre Brennraum vorteilhaft wärmeisoliert ist. Eine Wärmeabgabe aus dem primären Brennraum erfolgt vorteilhaft im Wesentlichen durch einen Vorheizer für Luft, die dem sekundären Brennraum zugeführt ist, und kommt insoweit dem Auftrieb des Gasstroms zugute. Zugleich wird dem Gasstrom im sekundären Brennraum durch die sekundäre Verbrennung weitere Wärme zugeführt, die den Auftrieb verstärkt. Dadurch kann der sekundäre Brennraum im Verhältnis zum primären Brennraum deutlich niedriger sein als ein herkömmlicher Kaminzug.

[0041] Im sekundären Brennraum verbrennen insbesondere die bei der primären Verbrennung des Brennstoffs im primären Brennraum erzeugten brennbaren Pyrolysegase. Bei der Verbrennung eines gasförmigen Brennstoffs ist es wesentlich einfacher, ein zur Rußunterdrückung hinreichendes Angebot an chemisch verfügbarem Sauerstoff bereitzustellen, als bei der Verbrennung eines festen Brennstoffs. Der gasförmige Brennstoff hat eine viel größere Oberfläche, an der Sauerstoff vorgelegt werden kann. Indem aus dem ursprünglichen Brennstoff brennbare Pyrolysegase gebildet werden, wird dieser Brennstoff somit in eine Form veredelt bzw. reformiert, die tendenziell sauberer verbrennt. Der zum Kochen verwendete Topf ist nur der Flamme und/oder den Abgasen dieser sauberen Sekundärverbrennung ausgesetzt. Sollte sich bei der primären Verbrennung im primären Brennraum Ruß gebildet haben, so bleibt dieser im Wesentlichen im primären Brennraum eingeschlossen. Soweit dieser Ruß nicht ohnehin nachverbrannt wird, kommt er zumindest nicht in Kontakt mit dem Topf. Beispielsweise kann Holzkohle als Pyrolyserest gut im primären Brennraum nachverbrennen.

[0042] Dabei sind die Pyrolysegase im sekundären Brennraum nicht nur mit Umgebungsluft vorge-mischt, sondern auch mit den übrigen Komponenten der primären Verbrennungsgase, insbesondere Wasserdampf und CO_2 . Beide Gase stellen zum Einen zusätzlichen chemisch gebundenen Sauerstoff für die Sekundärverbrennung bereit. Zum Anderen senken sie auch die Flammentemperatur der Sekundärverbrennung, so dass für eine rußfreie Verbrennung der Pyrolysegase eine geringere Menge an Umgebungsluft erforderlich ist. Diese geringere Menge kann durch natürliche Konvektion zugeführt werden, ohne dass hierfür ein Gebläse oder Kaminzug erforderlich wäre. Die teilweise Rückführung der primären Verbrennungsgase in den Brennstoff und die dadurch bewirkte Rückkopplung auf die Ausgangsleistung bewirkt, dass die primären Verbrennungsgase das für eine rußarme sekundäre Verbrennung im sekundären Brennraum optimale Mischungsverhältnis aus Pyrolysegasen, Wasserdampf und CO_2 beinhalten. Wird Holz hingegen gemäß Stand der Technik ohne Drosselung im Abzugsweg der primären Verbrennungsgase verbrannt, so wird etwa Wasserdampf in stark schwankenden Mengen abgegeben, die einerseits zeitweise nicht mehr zur Unterdrückung der Rußbildung ausreichen und andererseits zeitweise das Feuer durch Wärmeentzug und Ersticken löschen. Deswegen hat ein typisches Holzfeuer eine leuchtende Flamme und keine blaue Flamme, wie sie etwa bei der Verbrennung von Spiritus oder von Erdgas in einer vorgemischten Flamme entsteht. Gemäß der vorliegenden Erfindung verbrennen die Pyrolysegase im sekundären Brennraum mit überwiegend blauer Flamme ähnlich einer Spiritusflamme, wenn der Arbeitspunkt richtig eingestellt wurde.

[0043] Da die Pyrolysegase ein edlerer Brennstoff sind als die ursprüngliche Biomasse, können sie bei höheren Temperaturen verbrannt werden, ohne Ruß zu erzeugen. Eine hohe Temperatur der sekundären Verbrennung ist wiederum vorteilhaft für die effektive Übertragung der erzeugten Wärme in den zum Kochen verwendeten Topf. Durch die Aufteilung der Verbrennung auf eine primäre und eine sekundäre Verbrennung ist somit die unmittelbar am Topfboden vorgelegte Temperatur der sekundären Verbrennung von der Temperatur der primären Verbrennung, die im Hinblick auf die Brennstoffausnutzung und Rußunterdrückung sinnvoll ist, entkoppelt. Weiterhin ist die sekundäre Verbrennung schnell regelbar wie bei einem Gaskocher bei gleichzeitig erhöhter Betriebssicherheit, da kein Gasvorrat benötigt wird, der bei einem Leck eine Verpuffung oder Explosion antreiben kann.

[0044] Die teilweise Rückführung brennbarer Pyrolysegase in den Brennstoff hat weiterhin die Wirkung, dass dieser edlere Brennstoff genutzt wird, um schlechter flüchtige Anteile des ursprünglichen Brennstoffs nachzuverbrennen. Dadurch wird letzt-

endlich der Brennstoff insgesamt besser ausgenutzt, die Menge an zurückbleibender Asche minimiert und eine Rußbildung vermieden.

[0045] Dass der Brennstoff im primären Brennraum portionsweise verbrannt wird, vergleichmäßig nicht nur die Ausgangsleistung der primären Verbrennung, sondern auch die Zusammensetzung der primären Verbrennungsgase. Die primären Verbrennungsgase haben im Verlauf des Abbrands eine vergleichsweise konstante Zusammensetzung und enthalten deutlich mehr CO_2 als beispielsweise bei einem typischen Hobo-Kocher.

[0046] Vorteilhaft sind die primären Verbrennungsgase und die Umgebungsluft gemeinsam durch mindestens eine Öffnung in den sekundären Brennraum geführt. Dann ist besonders einfach, den Nachschub beider Komponenten ohne ein Gebläse oder einen Kaminzug allein durch die mit der primären Verbrennung erzeugte Wärme anzutreiben. Diese Wärme steckt beispielsweise in der Temperatur der primären Verbrennungsgase.

[0047] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung sind die primären Verbrennungsgase näherungsweise konzentrisch mit einer zentralen Strömung aus der Umgebungsluft in den sekundären Brennraum geführt, d.h., die Strömung der Umgebungsluft ist im Wesentlichen von der Strömung der primären Verbrennungsgase umgeben. Dabei müssen beide Strömungen nicht zwangsläufig rotationssymmetrisch sein. Eine einstellbare Asymmetrie eine oder beider Strömungen kann beispielsweise genutzt werden, um einen asymmetrischen Abbrand im primären Brennraum, wie er beispielsweise durch ungleichmäßige Beladung des primären Brennraums verursacht werden kann, auszugleichen.

[0048] Die näherungsweise konzentrische Führung der Strömungen aus Umgebungsluft und primären Verbrennungsgasen hat die Wirkung, dass sich in der Mitte des Gasstroms, der in den sekundären Brennraum geführt ist, die Zone mit dem größten Sauerstoffangebot und der geringsten Rußbildung befindet. Wenn der Abgasstrom der sekundären Verbrennung durch den auf den Erhitzer aufgesetzten Topfboden aufgespaltet wird, kommen im Wesentlichen nur die Abgase aus dieser Zone in Kontakt mit dem Topfboden. Somit kann sich am Topfboden kein Ruß abscheiden, selbst wenn die Flamme der sekundären Verbrennung in ihren Außenbereichen Ruß enthält. Die sekundäre Verbrennung kann auch direkt am Topfboden erfolgen, was Energieverluste durch den Transport der mit der sekundären Verbrennung erzeugten Wärme minimiert.

[0049] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung entspricht der Strömungswiderstand mindestens einer Öffnung, durch die die primä-

ren Verbrennungsgase und die Umgebungsluft gemeinsam in den sekundären Brennraum geführt sind, mindestens dem Strömungswiderstand einer quadratischen Öffnung mit einer Kantenlänge, MIX, zwischen 20 mm und 50 mm, bevorzugt zwischen 22 mm und 40 mm. Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Erhitzers ist, dass er nur durch den Auftrieb von Verbrennungsgasen angetrieben wird und ohne ein zusätzliches Gebläse auskommt. Dies bringt es mit sich, dass insgesamt vergleichsweise wenig Antriebsleistung für Gasströme zur Verfügung steht, so dass die Dimensionierung der Strömungsquerschnitte kritischer ist als bei herkömmlichen Kochern mit Gebläse. Zugleich ist die Verbrennung potentiell selbstverstärkend, d.h., eine hohe Leistung kann zusätzlichen Auftrieb erzeugen, der wiederum die Leistung weiter erhöht. Der Strömungswiderstand der besagten Öffnung ist ein Maß für die mit dem Erhitzer maximal erzielbare Ausgangsleistung. In den Versuchen der Erfinder hat sich herausgestellt, dass ein Strömungswiderstand in den genannten Bereichen einen optimalen Kompromiss im Hinblick auf Stabilität der Ausgangsleistung, Toleranzen für die mechanischen Dimensionen bei der Herstellung des Erhitzers und Rußunterdrückung darstellt unter Berücksichtigung der Randbedingung, dass Größe und Gewicht des Erhitzers für Campingzwecke akzeptabel sein sollen.

[0050] Für eine Ausführung minimaler Größe und geringer Leistung sollte der Wert für MIX bei 22 mm liegen. Für eine Ausführung im oberen Leistungsbereich ist ein Wert von 40 mm für MIX günstig. Größere Öffnungen sind ohne weiteres möglich, die darauf abgestimmten restlichen Maße ergeben dann aber Lösungen, die eher für den halbstationären Betrieb geeignet wären und eine übermäßig große Ausgangsleistung haben. Die Form der Öffnung ist nicht ausschlaggebend, es kommt auf den äquivalenten Strömungswiderstand an. Dem Konstrukteur ist es also freigestellt, eine für Fertigung und Handhabung günstige Form zu wählen.

[0051] Für eine zuverlässige Selbstregulierung der Ausgangsleistung in der beschriebenen Weise ist vorteilhaft der Strömungswiderstand der Öffnung, durch die die primären Verbrennungsgase und die Umgebungsluft gemeinsam in den sekundären Brennraum geführt sind, der begrenzende Faktor für den gesamten Gasstrom durch den Erhitzer. Alle anderen Öffnungen oder Leitungen sollten dann größer sein bzw. einen geringeren Strömungswiderstand haben. Das bedeutet, die Größe dieser Öffnung definiert in Relation den verfügbaren Wertebereich für alle anderen Maße des Erhitzers.

[0052] In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Umgebungsluft durch mindestens einen Vorheizler, der durch die primäre Verbrennung im primären Brennraum erwärm-

bar ist, in den sekundären Brennraum geführt. Die Vorheizung kann einen erheblichen Teil der Wärme aus der primären Verbrennung aufnehmen, was die Pyrolyse bremst und eine saubere und stabile Verbrennung der Pyrolysegase auch bei hohem CO₂- und Wassergehalt erlaubt. Es findet also ein Energietransfer von der primären Verbrennung in die sekundäre Verbrennung statt. Zu diesem Energietransfer, der Teil der Selbstregulierung des erfindungsgemäßen Erhitzers ist, trägt auch die Abfuhr der in den primären Verbrennungsgasen enthaltenen Wärmeenergie sowie der in diesen primären Verbrennungsgasen chemisch gebundenen Energie bei.

[0053] In diesem Zusammenhang weist der primäre Brennraum, und/oder der sekundäre Brennraum, vorteilhaft eine thermische Isolierung auf. Dies minimiert Verluste und garantiert eine stabile Verbrennung auch bei geringer Ausgangsleistung. Zugleich wird die Handhabung des Erhitzers vereinfacht, indem der Erhitzer an der Außenseite der Wandung des primären Brennraums, und/oder des sekundären Brennraums, berührbar gemacht werden kann. Weiterhin wird das Außenmaterial des primären Brennraums, bzw. des sekundären Brennraums, vor der Einwirkung starker Hitze geschützt. So kann auch ein Außenmaterial verwendet werden, das der maximalen Verbrennungstemperatur von etwa 800 °C nicht standhält.

[0054] Für die Isolierung des primären Brennraums, und/oder des sekundären Brennraums, haben sich Dicken zwischen 6 mm und 12 mm bewährt. Eine dünnere Isolierung sorgt für eine ungünstig hohe Temperatur der Außenseite der Wandung, geringere Effizienz und schlechtere Stabilität bei geringer Leistung durch den hohen Wärmeverlust. Eine dickere Isolierung verbraucht viel Platz, addiert Gewicht und hat für die Funktion des Erhitzers keine nennenswerten Vorteile, außer einer sehr niedrigen Temperatur der Außenseite der Wandung.

[0055] Als Isolationsmaterial werden vorteilhafterweise keramische Materialien verwendet. Günstig sind Keramikfilz, Keramikvlies, Keramikpapier, Keramikwolle oder Keramikgewebe, sowie Materialverbunde und Gemische mit diesen Bestandteilen. Diese Isolationsschicht hat für ein vorteilhaftes geringes Gewicht des Erhitzers ein spezifisches Flächengewicht von weniger als 1000 g/m², besser weniger als 500 g/m². Das Material ist vorteilhafterweise kein Gefahrstoff, das heißt es besteht aus biologisch abbaubaren Fasern und/oder Fasern mit einem Durchmesser von gleich oder mehr als 6 µm. Geeignet sind zum Beispiel Materialien basierend auf Erdalkali-Silikaten, wie Calciumsilikat oder Calcium-Magnesium-Silikat. Fasern mit einem hohen Anteil an SiO₂ sind ebenfalls günstig. In einer weiteren günstigen Ausführungsform enthält die Isolationsschicht ein keramisches Aerogel.

[0056] Vorteilhafterweise ist das Isolationsmaterial an der Innenseite ganz oder teilweise von einer Diffusionsbarriere bedeckt, welche verhindert, dass verdampfter Teer aus den Pyrolysegasen durch die Isolierung diffundiert und in der kälteren Außenschicht kondensiert. Dieser Effekt verringert die Isolationswirkung nach und nach. Günstigerweise ist die Diffusionsbarriere eine dünne Metallfolie. Günstigerweise ist sie dünner als 100 µm, noch besser dünner als 50 µm. Günstigerweise besteht die Folie aus austenitischem Edelstahl, Nickel, NiCr oder einer Nickel-Basislegierung.

[0057] In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung liegt der höchste Punkt, an dem die primären Verbrennungsgase den primären Brennraum verlassen können, im Betrieb des Erhitzers mindestens 10 mm unterhalb des höchsten Punkts des primären Brennraums, und/oder der höchste Punkt, an dem die primären Verbrennungsgase den primären Brennraum verlassen können, ist vom Benutzer einstellbar. Je tiefer der der höchste Punkt, an dem die primären Verbrennungsgase den primären Brennraum verlassen können, unter dem höchsten Punkt des primären Brennraums liegen, desto größer ist der Anteil der primären Verbrennungsgase, der in den Brennstoff zurückgeführt wird. Ist dieser Höhenunterschied geringer, werden das Anheizen und ein Betrieb mit schlechtem Brennstoff vereinfacht. Dafür erfordert die sekundäre Verbrennung im sekundären Brennraum mehr Luft und eine bessere Durchmischung dieser Luft mit den primären Verbrennungsgasen, damit bei dieser sekundären Verbrennung eine Rußbildung zuverlässig unterdrückt wird.

[0058] Vorteilhaft enthält der Vorheizers mindestens einen beweglichen Teil, der zugleich einen beweglichen Teil der Drosselstelle bildet. Dann kann der Vorheizers die der sekundären Verbrennung zugeführte Umgebungsluft zum Erwärmen und zum Anderen ihr Mischungsverhältnis mit den primären Verbrennungsgasen regulieren, während er als dritte Funktion zusätzlich noch die Ausgangsleistung der primären Verbrennung im primären Brennraum steuert. Insbesondere kann durch die Mehrfachnutzung des Vorheizers diese Ausgangsleistung unmittelbar an ein zugehöriges Mischungsverhältnis der Umgebungsluft mit den primären Verbrennungsgasen gekoppelt sein. Beide Verbrennungsprozesse sind dann stets optimal aufeinander abgestimmt, und es ist nur noch ein Bedienelement in einem Freiheitsgrad vom Benutzer zu betätigen, um die Ausgangsleistung zu wählen.

[0059] In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Drosselstelle durch mindestens ein den sekundären Brennraum begrenzendes Durchlasselement mit einer Öffnung, durch die die primären Verbrennungsgase und die Umgebungsluft

gemeinsam in den sekundären Brennraum geführt sind, einerseits und durch den beweglichen Teil des Vorheizers andererseits gebildet.

[0060] Dabei ist vorteilhaft ein maximaler Abstand zwischen dem Durchlasselement und dem beweglichen Teil des Vorheizers von mindestens MIX einstellbar. Dann kann die tatsächlich verfügbare Maximalleistung des Erhitzers voll ausgeschöpft werden, und der verfügbare Parameterbereich kann hin zu wasserhaltigen Brennstoffen optimiert werden.

[0061] Ist der Abstand zwischen dem Durchlasselement und dem beweglichen Teil des Vorheizers maximal, hat der Erhitzer die maximale Leistung für die primäre Verbrennung und mischt den primären Verbrennungsgasen vor der sekundären Verbrennung nur wenig Umgebungsluft zu. Diese Stellung wird zum Anheizen und bei Betrieb mit relativ feuchtem oder aus anderen Gründen schlecht brennendem Brennstoff gewählt. Hier sind so viel CO₂ und Wasser im Pyrolysegas enthalten, dass sich auch bei wenig zugemischter Umgebungsluft zuverlässig kein Ruß bildet, auf Kosten der Flammentemperatur.

[0062] Bei sehr gutem Brennstoff und voll aufgeheiztem primärem Brennraum sollte der Abfluss von Pyrolysegasen aus dem primären Brennraum durch das Durchlasselement stark gedrosselt sein. Gleichzeitig sollte dann den primären Verbrennungsgasen vor der sekundären Verbrennung eine maximale Menge an Umgebungsluft zugemischt werden. Der Vorheizers kann dann insbesondere eine Mündung aufweisen, die mit der Öffnung im Durchlasselement korrespondiert. Er kann an dieser Mündung insbesondere etwa die gleiche Form und Größe haben wie die Öffnung im Durchlasselement, sodass in der oberen Position des Vorheizers günstigerweise ein weniger als 3 mm breiter Spalt zwischen Vorheizers und Durchlasselement bleibt, noch besser weniger als 1 mm bei großen Ausführungsformen. Der Strömungswiderstand einer Öffnung oder Rohrleitung hängt sehr stark, mit der vierten Potenz, vom Durchmesser ab. Bei länglichen Öffnungen ist dabei das jeweils kleinere Maß, d.h. nicht die Spalllänge sondern die Spaltbreite ausschlaggebend. Für eine gute Verbrennung sollte die der sekundären Verbrennung zugeführte Umgebungsluft auf eine ausreichend hohe Temperatur gebracht werden, um zu verhindern, dass die Flamme der sekundären Verbrennung erlischt. Der Erfinder hat in Experimenten die Maße des Vorheizers variiert und so den verfügbaren Wertebereich ausgelotet.

[0063] Bei sehr gutem Brennstoff und voll aufgeheiztem primärem Brennraum ist die verfügbare Leistung mit ausreichender Rußunterdrückung durch die Kapazität des Vorheizers hinsichtlich Temperatur und Volumenstrom begrenzt. Der Strömungswiderstand des Vorheizers soll deswegen etwa gleich oder ge-

ringer dem Strömungswiderstand der Öffnung im Durchlasselement sein. Vorteilhaft der bewegliche Teil des Vorheizers nach oben konvergent mit einer oberen Öffnung passend zur Öffnung im Durchlasselement. Diese Bauform erfüllt die Bedingung zum Strömungswiderstand. Die Heiz-Kapazität des Vorheizers ist in etwa proportional zur Oberfläche, wobei lange, schmale Formen wegen besserer Durchmischung bei gleichem Volumenstrom eine bessere Wärmeübertragung und höhere Temperatur erreichen als kurze, breite. Der Volumenstrom hingegen wächst bei gleichem Förderdruck mit der vierten Potenz des Querschnitts. Der Vorheizer kann also nicht einfach geometrisch skaliert werden, weil dann die Temperatur der für die sekundäre Verbrennung zugemischten Luft bei großen Ausführungen in ungünstiger Weise niedriger wird. Eine mathematische Überschlagsrechnung aus den Gesetzen für Rohrströmungen, einfachen Annahmen zur Wärmeübertragung und dem Auftrieb der heißen Gase im Vorheizer ergibt, dass die Höhe des Vorheizers in etwa proportional zum Quadrat von MIX sein sollte, um bei allen Größen eine in etwa gleiche Temperatur der für die sekundäre Verbrennung zugemischten Luft (Sekundärluft) zu erreichen.

[0064] In Experimenten des Erfinders ergaben bei $MIX = 22$ mm eine Vorheizer-Höhe von 40 mm (beweglich) + 20 mm (fest) und bei $MIX = 40$ mm eine Vorheizer-Höhe von 160 mm (beweglich) + 40 mm (fest) gute Resultate. Bei $MIX = 35$ mm ergab eine Vorheizer-Höhe von 40 mm (beweglich) + 35 mm (fest) nur bei geradem und nicht konisch zulaufendem Profil gerade noch ausreichende Flammenstabilität. Bei $MIX = 45$ mm ergab eine Vorheizer-Höhe von 60 mm (beweglich) + 45 mm (fest) unbrauchbar schlechte Verbrennungseigenschaften. Der feststehende Teil des Vorheizers entspricht bei typischen Ausführungsformen dem Aktuationsbereich des Vorheizers, also wie oben beschrieben idealerweise MIX. Entsprechend dieser Ergebnisse und passend zur oben genannten Formel ist der Quotient aus MIX und der Wurzel der Gesamt-Vorheizer-Höhe in Millimetern idealerweise kleiner drei und die obere Grenze für diesen Quotienten ist etwa vier. Bei größeren Werten neigt der Erhitzer im gedrosselten Zustand zum Rauchen, weil die Flamme instabil wird. Im ungedrosselten Zustand brennt die Flamme weiter, allerdings möglicherweise mit unvollständiger Rußunterdrückung.

[0065] Bei Werten von MIX deutlich über 40 mm ergeben sich bei der hier beschriebenen Bauform sehr schlanke, hohe Lösungen wegen des langen Vorheizers. Diese haben dann insoweit ungünstigere Proportionen, weil sie insbesondere wegen des starken Zugs durch den Auftrieb der heißen Gase stärker zum thermischen Durchgehen neigen. Eine Lösung mit in irgendeiner Form aufgeteiltem oder seitlich oder hinten um die Brennkammer herum geführtem Sekun-

därluft-Vorheizer wäre für sehr hohe Leistungen jenseits einfacher Koch-Anwendungen besser. Typische Kaminöfen mit Sekundärluft-Vorheizung sind so aufgebaut. Die hier beschriebene Erfindung ist hingegen für die weiter oben beschriebenen Werte von MIX im Leistungsbereich für das Kochen sehr kompakt und gleichzeitig leistungsfähig. Nichtsdestotrotz ist es natürlich möglich, eine Lösung für großes MIX zu konstruieren, die dann eine intensive, leistungsstarke und stark beschleunigte Flamme erzeugt und sorgfältig geregelt werden sollte.

[0066] Vorteilhaft sind die primären Verbrennungsgase als eine den Vorheizer umlaufende Strömung in den sekundären Brennraum geführt. Sie können im Interesse einer guten Rußunterdrückung bei gleichzeitig hoher Ausgangsleistung insbesondere näherungsweise konzentrisch um die Strömung der für die sekundäre Verbrennung zugemischten Luft in den sekundären Brennraum geführt sein. Nach dem zuvor Gesagten müssen beide Strömungen nicht rotationsymmetrisch sein und kann eine gewisse einstellbare Asymmetrie einen asymmetrischen Abbrand des Brennstoffs im primären Brennraum ausgleichen.

[0067] Um eine den Vorheizer umlaufende Strömung zu erzeugen, sollte im Bereich des Durchlasselements ein ausreichend großer seitlicher Abstand zwischen der Innenseite der Außenwand der sekundären Brennkammer einerseits und dem Vorheizer andererseits bleiben. In Experimenten des Erfinders hat sich an beiden Seiten ein Richtwert von $MIX/2$ für den Freiraum bewährt. Der Abstand sollte nicht kleiner sein als $MIX/3$, weil dann nicht genug Gas um den Vorheizer herumströmt. Größere Werte als $MIX/2$ haben verbrennungstechnisch keinen Nachteil, aber verbrauchen unnötig viel Platz. Dadurch ist die Gesamtbreite der sekundären Brennkammer im Bereich des Durchlasselements für eine günstige Lösung $2x MIX + 2x$ die Dicke der thermischen Isolierung.

[0068] Der Abstand zwischen der Öffnung des Durchlasselements und der Stirnseite des sekundären Brennraums entspricht vorteilhaft etwa dem Seitenabstand entsprechen, also $MIX/2$.

[0069] Die Durchmischung der primären Verbrennungsgase mit der für die sekundäre Verbrennung zugemischten Umgebungsluft kann noch weiter gesteigert werden, indem der sekundäre Brennraum als Kamin ausgebildet ist und/oder indem der sekundäre Brennraum mindestens ein Strömungshindernis zur Verwirbelung der für die sekundäre Verbrennung zugemischten Umgebungsluft mit den primären Verbrennungsgasen aufweist.

[0070] Unter einer Ausbildung als Kamin wird in diesem Zusammenhang verstanden, dass der sekundäre Brennraum den physikalischen Kamineffekt her-

vorrufft, d.h. dass die aus ihm austretenden sekundären Verbrennungsgase in ihm einen Unterdruck erzeugen, der wiederum Luft und/oder primäre Verbrennungsgase ansaugt und die Verbrennung im sekundären Brennraum anfacht. Ist der sekundäre Brennraum als Kamin ausgebildet, ist die sekundäre Verbrennung somit positiv rückgekoppelt.

[0071] Das Strömungshindernis kann beispielsweise ein Flammenhalter sein, der eine Rückströmung bzw. Verwirbelungen erzeugt und so die Flamme der sekundären Verbrennung stabilisiert.

[0072] In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist mindestens ein zusätzlicher Luftkanal vorgesehen, der Umgebungsluft zur Drosselstelle zu führen vermag und durch eine für die Umgebungsluft zumindest teilweise durchlässige Wandung vom Brennstoff in der primären Brennkammer getrennt ist.

[0073] Dieser Kanal vereinfacht das Anheizen, weil sich hier eine erste, stabile Verbrennungszone mit ausreichend Platz für den Gasfluss ausbilden kann. Dieser Kanal hat vorteilhaft einen deutlich geringeren Querschnitt als MIX, um das Fortschreiten der primären Verbrennung in den restlichen Brennstoff zu unterstützen. Geringe Querschnitte erschweren das erste Zünden, aber vereinfachen den weiteren Betrieb, während größere Querschnitte die erste Zündung beschleunigen, aber die Neigung des Erhitzers zum selbsttätigen Erlöschen nach dieser ersten Zündung begünstigen. Werte um MIX/2 für die Kantenlänge funktionieren gut in der Praxis.

[0074] Der Bereich der Brennkammer, welcher den Brennstoff enthält, hat in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung als Richtwert für die Tiefe das gleiche Maß wie die Gesamthöhe des Gehäuses des Erhitzers. Insbesondere wenn zugleich nur an einer Stirnseite des Gehäuses ein Lufteinlass angeordnet ist, hat dies die Wirkung, dass der Arbeitspunkt in Bezug auf die Wegstrecke von diesem Lufteinlass zu demjenigen Teil des Brennstoffs, der am weitesten von diesem Lufteinlass entfernt ist, optimal eingestellt ist. Diese Wegstrecke kann optional auch mit einer Kurve oder mit im Gehäuse angeordneten Schikanen weiter verlängert werden, um bei gleicher maximaler Entfernung zwischen dem Lufteinlass und dem hiervon am weitesten entfernten Teil des Brennstoffs den Erhitzer kompakter bauen zu können.

[0075] Besonders brauchbare Eigenschaften ergeben sich bei einer Tiefe zwischen einem Drittel der Höhe und dem 1½ fachen der Höhe. Eine geringe Tiefe lässt den Erhitzer schneller anheizen, verringert die Rückströmung und verbessert also den Betrieb bei schlechtem Brennstoff. Gleichzeitig ist der Brennstoff-Vorrat und damit die Brenndauer kleiner, und der Erhitzer neigt mehr zum Rußen, insbesonde-

re in der Endphase des Abbrands. Ein Erhitzer mit größerer Tiefe ist schwerer anzuheizen und neigt in der Anfangsphase stärker zum Rauchen und Ausgehen, weil das große, kalte Brennstoffbett die Rückströmung verstärkt. Brennt er einmal, ermöglicht er einen langen Betrieb mit stabilem Arbeitspunkt und exzellenter Rußunterdrückung durch ausgewogene, stabile Abgasrückführung, Reaktion und Filterung im Glutbett und Wasser-Zufuhr aus dem Brennstoff.

[0076] Die Gesamt-Tiefe des Gehäuses ist damit in dieser Ausgestaltung als Richtwert die Gehäuse-Höhe plus 1½ x MIX mit einem weiten Spielraum, um Brenndauer und Brenn-Charakteristik nach Wunsch zu optimieren. In Versuchen des Erfinders sind eher kurze Brennkammern für sehr kleine und sehr große Lösungen vorteilhaft, weil so bei kleinen Lösungen auch bei geringer Höhe noch eine kräftige Verbrennung erreicht wird und bei großen Lösungen die Brenndauer im Rahmen bleibt, das heißt kleiner als eine Stunde bei einer typischen Beladung ist. Mittlere Lösungen ermöglichen hingegen einen tieferen primären Brennraum und erreichen so besonders ausgewogene Eigenschaften.

[0077] Je größer das Volumen des sekundären Brennraums ist, desto gleichmäßiger und vollständiger ist die Verbrennung. Ein großes Volumen ist vorteilhaft, um die Verweilzeit der brennenden Gase zu maximieren und die Strömungsgeschwindigkeit zu minimieren. Hierbei ist es insbesondere vorteilhaft, wenn der Querschnitt des sekundären Brennraums deutlich größer ist als die Öffnung bzw. Öffnungen, durch die ihm die primären Verbrennungsgase und Umgebungsluft zugeführt sind. Ist beispielsweise ein Gemisch aus primären Verbrennungsgasen und Umgebungsluft durch eine Öffnung in einem Durchlasselement in den sekundären Brennraum geführt, entstehen durch den abrupten Querschnittsübergang vom Durchlasselement zum sekundären Brennraum Turbulenzen und Rückströmungen, welche die Verbrennung und Flammenstabilität begünstigen. In einem zu engen oder zu kleinen sekundären Brennraum ist die Fließgeschwindigkeit der Gase so hoch, dass die Flamme abreißt und erst oberhalb der Mündung, durch die die Gase den sekundären Brennraum an seinem oberen Ende wieder verlassen, bzw. gar nicht brennt. Weiterhin unterdrückt Wandkontakt die Radikal-Kettenreaktionen der Flamme und verschlechtert so die Verbrennung. Beide Effekte führen zu Teerabscheidungen und Rauch.

[0078] Für die praktische Anwendung hingegen ist es wiederum vorteilhaft, wenn der sekundäre Brennraum so klein wie möglich ist, um wenig Platz zu verbrauchen. In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird ein optimaler Kompromiss zwischen diesen gegenläufigen Anforderungen erzielt, indem der sekundäre Brennraum optimaler Weise eine Höhe von etwa der Hälfte der Höhe

des primären Brennraums hat, mit einem günstigen Bereich zwischen dem 0,3-Fachen und 0,7-Fachen der Höhe des primären Brennraums. Die natürliche Zugrichtung der Gase durch den sekundären Brennraum verläuft bis auf Verwirbelungen und Rückströmungen im Betrieb des Erhitzers im Wesentlichen entlang dessen Höhe, und im Betrieb des Erhitzers verlaufen die Höhen des primären Brennraums und des sekundären Brennraums im Wesentlichen zueinander parallel.

[0079] In einer weiteren besonders vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der sekundäre Brennraum als vom primären Brennraum separates und abnehmbares Teil bzw. als mehrere zumindest teilweise abnehmbare Teile ausgebildet. Zum Transport sind zumindest einige Teile des Erhitzers, die den sekundären Brennraum bilden, ganz oder teilweise in einem Teil des Erhitzers verstaubar, das den primären Brennraum bildet, und/oder das Teil bzw. einige der Teile des Erhitzers, die den primären Brennraum bilden, sind ganz oder teilweise in einem Teil des Erhitzers verstaubar, das den sekundären Brennraum bildet.

[0080] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung sind voluminöse Teile des Erhitzers wie der primäre oder sekundäre Brennraum zerlegbar und/oder faltbar, so dass sie im verpackten Zustand weniger Platz verbrauchen als im betriebsbereiten Zustand. Ein quaderförmiger Brennraum kann beispielsweise durch ein Bodenteil, ein Deckenteil und zwei L-förmig geknickte Seitenteile oder vier rechteckige Seitenteile gebildet werden. Variationen dieses Prinzips und analoge Gestaltungen für andere Grundformen sind ohne weiteres ableitbar.

[0081] Insoweit der sekundäre Brennraum im Betrieb des Erhitzers an einem Randbereich des primären Brennraums montiert ist, ist eine Formgebung des sekundären Brennraums vorteilhaft, die die bei der sekundären Verbrennung entstehenden sekundären Verbrennungsgase in Richtung eines Mittelbereichs über dem primären Brennraum umlenkt. Das ist günstig, um einen Topf, der durch die sekundären Verbrennungsgase erwärmt werden soll, mittig und damit stabil auf dem Erhitzer zu platzieren.

[0082] Um den sekundären Brennraum zum Transport des Erhitzers im leeren primären Brennraum verstaubar zu machen, kann beispielsweise seine äußere Breite gleich oder geringer der inneren Breite des primären Brennraums sein, und seine äußere Tiefe kann gleich oder geringer der verfügbaren Tiefe im primären Brennraum sein. Das ist im mittleren und hohen Bereich von MIX technisch besonders einfach. Um bei dieser relativ schmalen Bauform des sekundären Brennraums ein ausreichendes Volumen zu erreichen, ist der sekundäre Brennraum dann im Betrieb des Erhitzers vorteilhaft zumindest teilweise

über dem Teil des primären Brennraums angeordnet, der den Brennstoff enthält. In diesem Überlappungsbereich entsteht eine vorteilhafte Rückströmung, die keinen oder nur einen sehr kleinen Flammenhalter erfordert.

[0083] Um umgekehrt, insbesondere in Ausgestaltungen für kleine Werte von MIX mit kleinem primärem Brennraum, den primären Brennraum zumindest teilweise im leeren sekundären Brennraum verstaubar zu machen, kann beispielsweise die innere Breite des sekundären Brennraums gleich oder größer der äußeren Breite des Gehäuses sein, und die innere Tiefe des sekundären Brennraums ist gleich oder größer der äußeren Tiefe des Gehäuses sein, das den primären Brennraum enthält. Ist beispielsweise das Gehäuse als Dose mit abnehmbarem Deckel ausgebildet, so kann der Boden des Brenner-Kamins getrennt vom Rest und fest mit dem Deckel verbunden sein, während der Rest abnehmbar ist.

[0084] Die Mündung (Auslassöffnung) bzw. die Mündungen des sekundären Brennraums, durch die die sekundären Verbrennungsgase im Betrieb aus ihm austreten, hat in einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung einen Strömungswiderstand, der deutlich geringer ist als der Widerstand der Öffnung, durch die die primären Verbrennungsgase und/oder die Luft für die sekundäre Verbrennung in ihn geführt sind. Diese Öffnung kann sich beispielsweise im Durchlasselement befinden, das den sekundären Brennraum begrenzt. Besagtes Verhältnis der Strömungswiderstände begünstigt den Gesamtgasfluss und stabilisiert das Mischungsverhältnis zwischen primären Verbrennungsgasen und Luft im sekundären Brennraum, weil so der entstehende Unterdruck im sekundären Brennraum bei gedrosselter Zufuhr an primären Verbrennungsgasen bevorzugt Luft durch den Vorheizers ansaugt. Mehr Leistung und höhere Flammentemperatur sorgen so automatisch für mehr Luftzufuhr. Andernfalls würde die Anordnung bei hoher Leistung dazu neigen, hin zu fetten Gemischen instabil zu werden. Zu große Auslassöffnungen lassen hingegen einen Rückstrom kalter Luft von oben zu, was zu einer ungleichmäßigen und instabilen Verbrennung führt. Günstigerweise ist die Auslassöffnung des sekundären Brennraums als konvergente Düse mit einem Mündungs-Durchmesser von etwa $1\frac{1}{2}$ x MIX ausgeführt. Der vorteilhafte Bereich liegt dabei zwischen 1,3 x MIX und 1,7 x MIX. Die Form des Auslasses spielt keine Rolle und kann vom Anwender hinsichtlich Fertigung und Platzbedarf optimiert werden, nur der Strömungswiderstand muss diesen Dimensionen entsprechen. In diesem Bereich ist einerseits das Gemisch stabilisiert und der Gesamtfluss optimiert, andererseits wird der Rückstrom von kalter Außenluft unterbunden.

[0085] Der Topf soll mindestens einen vertikalen Abstand von der Mündung des sekundären Brennraums

haben, welcher dem Mündungsquerschnitt des sekundären Brennraums entspricht. So ist ein ungestörter Gasfluss aus der Mündung und am Topfboden entlang gewährleistet.

[0086] Der primäre Brennraum und/oder der sekundäre Brennraum sind vorteilhafterweise aus dünnem, hitzebeständigem Metallblech gefertigt. Vorteilhafterweise ist das Blech dünner als 0,2 mm. Die Flächen sind vorteilhafterweise mit Sicken versehen und/oder gewellt und/oder anderweitig geprägt, um bei dünner Materialstärke eine hohe Steifigkeit zu erreichen. Als Materialien kommen rostfreier austenitischer Stahl, emaillierter Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, Titan und Aluminium in Frage.

[0087] Der Vorheizler, das Durchlasselement und/oder das Strömungshindernis im sekundären Brennraum können beispielsweise aus austenitischem Edelstahl, Titan, Nickel, NiCr oder einer Nickel-Basislegierung gefertigt sein. Für den Vorheizler sind weiterhin Silber oder dick vernickeltes Kupfer vorteilhaft, um die Wärmeleitung, und damit die Übertragung von Wärme aus der primären Verbrennung auf die durch den Vorheizler strömende Luft, zu erhöhen.

[0088] In einer beispielsweise Ausführung ist der Erhitzer insgesamt quaderförmig und hat einen einzigen Vorheizler und einen einzigen sekundären Brennraum. Das ist fertigungstechnisch und funktionell günstig, aber kein Muss. Denkbar sind neben Quadern, insbesondere schmalen Quadern, viele verschiedene Formen für den primären Brennraum, wie Zylinder, Pyramidenstümpfe, elliptische Formen, irreguläre Formen usw. Ein Vorheizler ist vorteilhaft an einer Seite des primären Brennraums bzw. in direkter Nähe eines Lufteinlasses angeordnet. Jeder Lufteinlass leitet vorteilhaft die Luft jeweils in Richtung des primären Brennraums und unterhalb der Ablage für den Brennstoff. Die Gase aus dem primären Brennraum strömen vorteilhaft durch ein oder mehrere Mischelemente in einen oder mehrere sekundäre Brennräume, wo sie mit der vorgeheizten Umgebungsluft verbrennen. Denkbar sind zum Beispiel Ausführungsformen mit zwei Lufteinlässen, wo zwei Erhitzer nach obigem Schema jeweils auf der Brennstoffseite zu einer Kombination verbunden werden, die einen einzigen primären Brennraum mit zwei Vorheizern und Lufteinlässen auf gegenüberliegenden Seiten enthält. Weiterhin sind auch Ausführungsformen mit zwei oder mehr nebeneinander liegenden Vorheizern, welche die Luft in getrennte sekundäre Brennräume oder einen gemeinsamen sekundären Brennraum leiten, denkbar.

[0089] Insbesondere Ausführungsformen, bei denen die Decke des primären Brennraums nicht eben ist, sondern in Richtung des Brennstoffes schräg oder stufenförmig ansteigt oder nach unten zeigende Fortsätze bzw. Blenden hat, können weitere günstige Ei-

genschaften aufweisen. Hier wird die fallende Tendenz zur Rückströmung, d.h. zunehmende Rußbildung mit fortschreitendem Abbrand, ausgeglichen durch eine mit dem Abbrand größer werdende effektive Stufenhöhe zwischen Brennkammerdecke und Durchlass-Element, was wiederum den Rückstrom verstärkt und Ruß unterdrückt.

[0090] Der Vorheizler ist in der beispielhaften Ausführungsform ein Pyramidenstumpf mit rechteckigem Querschnitt. Der Erfinder hat auch Lösungen mit geradem, d.h. nicht pyramidenförmigem Vorheizler mit rechteckigem Querschnitt sehr erfolgreich betrieben. Weiterhin sind runde, elliptische, vieleckige, sternförmige oder irreguläre Querschnitte ohne weiteres denkbar. Weiterhin kann der Vorheizler innen und/oder außen Rippen für bessere Wärmeübertragung aufweisen. Solche Rippen auf der Innenseite können zum Beispiel bei großen Werten von MIX niedrigere Bauformen mit sehr dickem Vorheizler ermöglichen, weil sie die Wärmeübertragung in den Gasstrom verbessern und gleichzeitig die Flussrate verringern, was zu einer günstigen höheren Sekundärlufttemperatur führt.

[0091] Der sekundäre Brennraum kann ebenfalls in vielen Formen ausgeführt werden, solange er den weiter oben beschriebenen Bedingungen genügt. Sowohl runde als auch quadratische oder rechteckige Grundformen haben in Versuchen des Erfinders gut funktioniert.

[0092] Ein Kocher soll bei Maximalleistung möglichst viel Wärme in den Topf eintragen, um zum Beispiel Wasser schnell zum Kochen zu bringen. Gleichzeitig soll er effizient sein, das heißt die Energie des Brennstoffs möglichst vollständig in den Topf eintragen. Für beides sind eine große Wärmeübertragungsfläche am Topf und eine hohe Temperatur der Flamme günstig. Für eine hohe Leistung muss weiterhin der Volumenstrom einer Flamme groß sein, das heißt hohe Fließgeschwindigkeit und/oder ein großer Querschnitt für einen großen Brennstoffumsatz pro Zeiteinheit. Für eine hohe Effizienz sollte der Gasstrom bei konstanter Wärmeübertragungsfläche möglichst dünn sein, um das heiße Gas in möglichst engen Kontakt mit der Oberfläche zu bringen. Ein gleichzeitig effizienter und leistungsfähiger Kocher sollte deswegen heiße Gase mit hohem Druck und/oder hoher Fließgeschwindigkeit erzeugen, damit genug Antrieb für einen schnelle Gasfluss in einem engen Spalt bzw. über eine große Kontaktfläche vorhanden ist. Weiterhin ist es günstig, wenn die Verbrennung möglichst nahe am Topf stattfindet, damit Transportverluste vermieden werden.

Spezieller Beschreibungsteil

[0093] Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand von Figuren verdeutlicht, ohne dass

der Gegenstand der Erfindung hierdurch beschränkt wird. Es ist gezeigt:

[0094] Fig. 1: Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Erhitzers **1** in geschnittener Seitenansicht.

[0095] Fig. 2: Geschnittene Aufsicht auf den in **Fig. 1** gezeigten Erhitzer **1**.

[0096] Fig. 3: Fortschritt des Abbrandes des Brennstoffs **600**, **610** im primären Brennraum **100**.

[0097] Fig. 4: Räumliche Ausdehnung von Verbrennungszonen **6a**, **6b** und mit Pyrolysegasen gefüllten Zonen **7** bei geringer Ausgangsleistung (a) und bei maximaler Ausgangsleistung (b) des Erhitzers **1**.

[0098] Fig. 5: Ausgestaltung des sekundären Brennraums **400**, die das mittige Aufstellen eines Topfes auf dem Erhitzer **1** erleichtert.

[0099] Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Erhitzers **1** in geschnittener Seitenansicht. Der primäre Brennraum **100** mit dem Brennstoff **600** ist als wärmeisolierte Kammer ausgebildet. Luft **3** tritt durch eine Öffnung **110** an der Stirnseite von unten zu. Der primäre Brennraum **100** mit Höhe **115** und Tiefe **120** ist mit einem Isolationsmaterial **101** thermisch isoliert. Der Brennstoff **600** liegt auf einem Rost oder einer anderen Auflagefläche **500** mit einem Abstand zum Boden des primären Brennraums **100**. Auf der Stirnseite befindet sich ein Vorheizter **200**, **210**. Der Rost **500** ist an seinem dem Vorheizter **200**, **210** zugewandten Ende so ausgebildet, dass der Pfad durch den Vorheizter **200**, **210** frei von Brennstoff bleibt.

[0100] Im gezeigten Beispiel ist der Vorheizter **200**, **210** zweiteilig ausgeführt, sodass ein Teil **200** beweglich ist. Dieser bewegliche Teil **200** bildet zusammen mit einem Durchlasselement **300** die Drosselstelle **2** für die primären Verbrennungsgase **4** und fungiert zugleich als variables Mischelement, mit dem das Mischungsverhältnis zwischen der der sekundären Brennkammer **400** zugeführten Luft (Sekundärluft) **3** und den dieser sekundären Brennkammer zugeführten primären Verbrennungsgasen fungiert. Die vorgeheizte Sekundärluft **3** und die primären Verbrennungsgase **4** aus dem primären Brennraum gelangen durch die Öffnung **301** im Durchlasselement **300** gemeinsam in den sekundären Brennraum **400**. Dabei sind die primären Verbrennungsgase **4** konzentrisch mit einer zentralen Strömung **31** aus der Umgebungsluft **3** geführt.

[0101] Das Durchlasselement **300** liegt tiefer als die Decke des primären Brennraums **100** und hat im Übergangsbereich eine Stufe, so dass der höchste Punkt, an dem die primären Verbrennungsgase **4** den primären Brennraum verlassen können, um

die Höhe dieser Stufe nach unten versetzt ist. Dadurch bildet sich hier eine Rückströmung der heißen Gase **4** aus der primären Verbrennung in Richtung des primären Brennraums **100** aus. Weiterhin ist im sekundären Brennraum **400** ein Strömungshindernis in Form eines Flammenhalters **410** vorgesehen, der ebenfalls eine wirbelartige Rückströmung hervorruft. Dadurch wird die Flamme im sekundären Brennraum **400** stabilisiert. Der ebenfalls mit einer thermischen Isolierung **401** versehene sekundäre Brennraum **400** lenkt dann die Flamme und die im sekundären Brennraum **400** erzeugten sekundären Verbrennungsgase **5** auf den Topfboden **800**, damit der Topfinhalt **850** erwärmt wird. Der Topf ist durch eine geeignete Vorrichtung **700** über dem sekundären Brennraum **400** angeordnet.

[0102] Die Gasströme im Erhitzer **1** sind in **Fig. 1** durch Pfeile veranschaulicht, wobei die unterschiedlichen Gasarten durch unterschiedliche Linienarten symbolisiert sind. Ein Luftstrom **3** ist als durchgezogene Linie, eine Strömung aus primären Verbrennungsgasen **4** ist als gepunktete Linie, und eine Strömung aus sekundären Verbrennungsgasen **5** ist als gestrichelte Linie dargestellt. Die Luft **3** tritt durch den Einlass **110** ein und teilt sich dann in einen Zweig für vorgeheizte Sekundärluft durch den Vorheizter **200**, **210** und einen Zweig für die primäre Verbrennung, der in Richtung des Brennstoffs **600** umgelenkt wird. Im Brennstoff **600** läuft die primäre Verbrennung ab, welche mit dem Sauerstoff der Luft **3** ein Gemisch **4** aus Pyrolysegasen, Wasser und CO₂ erzeugt. Dieser heiße Gasstrom **4** steigt dann entlang des Sekundärluft-Vorheizers **200**, **210** durch seinen Auftrieb auf. Im Bereich des Durchlasselements **300** spaltet sich dieser Gasstrom **4** auf in einen Zweig, der durch das Durchlasselement **300** in den als Kamin ausgebildeten sekundären Brennraum **400** gelangt, und einen Zweig, der in Richtung auf den Brennstoff **600** abgelenkt wird. Insoweit bilden das bewegliche Teil **200** des Vorheizers und das Durchlasselement **300** die Drosselstelle **2**. Der Bereich der Drosselstelle **2** wird zum besseren Verständnis durch die Ausschnittsvergrößerung B verdeutlicht.

[0103] Das Verhältnis zwischen dem in den sekundären Brennraum **400** geführten Anteil der primären Verbrennungsgase **4** und dem in Richtung auf den Brennstoff **600** zurückgeführten Anteil hängt vom vertikalen Abstand zwischen dem Durchlasselement **300** und der Decke des primären Brennraums **100**, dem Gesamt-Gasstrom an primären Verbrennungsgasen **4** und vom Verhältnis der Strömungswiderstände der einzelnen Zweige ab. Eine höhere vertikale Stufe, ein höherer Strömungswiderstand des Durchlasses in den sekundären Brennraum **400**, ein höherer Gesamtstrom sowie ein geringerer Strömungswiderstand für die Rückführung fördern hierbei eine stärkere Rückführung. Die rückgeführten Gase werden durch den verhältnismäßig kühlen Brenn-

stoff **600** abgekühlt und sinken im hinteren Bereich des primären Brennraums **100** ab. Dabei erwärmen und trocknen sie den Brennstoff **600** und nehmen dadurch zusätzlich Wasser auf. Diese abgekühlten Gase fließen dann unter dem Brennstoff **600** in Richtung Lufteinlass **110** und mischen sich dort mit der Zuluft **3**. Hier liefern sie Wasser und CO₂ zur Rußunterdrückung und senken gleichzeitig die Flammentemperatur.

[0104] Die primäre Verbrennung überträgt durch direkten Flammen-Kontakt und durch Wärmestrahlung Energie in den Sekundärluft-Vorheizer **200, 210**. Dieser erhitzt sich dadurch stark und gibt seinerseits die Wärme in die Sekundärluft **3** ab. Die Sekundärluft **3** steigt dann ebenfalls durch ihren Auftrieb angetrieben auf.

[0105] Wird der bewegliche Teil **200** des Sekundärluft-Vorheizers nach oben bewegt, so verengt sich der Spalt zwischen ihm und dem Durchlasselement **300**. Das Mischungsverhältnis des Gasgemischs aus primären Verbrennungsgasen **4** und Luft **3**, das dem sekundären Brennraum zugeführt wird, verschiebt sich zugunsten der Luft **3**. Gleichzeitig wird die Rückführung der primären Verbrennungsgase **4** durch den Brennstoff **600** verstärkt. Wird der bewegliche Teil **200** des Vorheizers nach unten bewegt, so vergrößert sich der Spalt, mehr Brenngase **4** aus dem primären Brennraum **100** gelangen in den sekundären Brennraum **400**, und die Rückführung wird abgeschwächt. Die vorgeheizte Sekundärluft **3** wird als zentrale Strömung **31** in den sekundären Brennraum **400** geleitet. Dadurch bildet sich dort in der Mitte eine Zone mit viel Sauerstoff-Angebot, die dann weiter oben an den Topfboden **800** gelangt. Wie weiter zuvor beschrieben, reduziert das die Rußbildung am Topfboden **800** stark.

[0106] Fig. 2 zeigt eine geschnittene Aufsicht auf den in Fig. 1 gezeigten Erhitzer **1**. Um das Verhältnis der Perspektiven zwischen den Fig. 1 und Fig. 2 zu verdeutlichen, ist in Fig. 2 eine Schnittlinie A-A eingezeichnet. Fig. 1 ist eine Schnittzeichnung in einer Schnittebene, die senkrecht zur Zeichenebene von Fig. 2 entlang der Schnittlinie A-A verläuft.

[0107] In der Perspektive von Fig. 2 wird der zusätzliche Luftkanal **510** offenbar, der Umgebungsluft **3** zur Drosselstelle **2** zu führen vermag und durch eine für die Luft **3** zumindest teilweise durchlässige Wandung **515**, etwa ein Gitter, vom Brennstoff **600** im primären Brennraum **100** getrennt ist. Dieser zusätzliche Luftkanal **510** erlaubt einen starken Gasstrom für die primäre Verbrennung. Das ist besonders beim Anheizen wichtig, weil hier die primäre Verbrennung erst in Gang kommen muss und ansonsten viel Rauch produziert.

[0108] Der Brennstoff **600** brennt zuerst dort ab, wo Luft **3** zugeführt wird. Hier bildet sich nach einiger Zeit eine Zone mit Glutresten **610**. Fig. 3 verdeutlicht die Situation im primären Brennraum **100** nach etwa 50 % Abbrand des Brennstoffs **600**. Die Glutreste **610** setzen bei der weiteren Verbrennung keine brennbaren Pyrolysegase, sondern vor allem CO₂ und CO frei. Da die Glutreste nahe am Lufteinlass **110** und gleichzeitig nahe am Durchlass **301** in den sekundären Brennraum **400** liegen, brennen sie bevorzugt ab, und das CO₂ gelangt bevorzugt in den sekundären Brennraum **400**. Hier hilft der erhöhte CO₂-Gehalt, Rußbildung zu vermeiden. Gleichzeitig brennt der Brennstoff **600, 610** insgesamt gleichmäßig ab, und nach Erlöschen der Flamme im primären Brennraum **100** bleibt im Vergleich zu üblichen Holzvergaser-Öfen nur wenig Glut **610** zurück. Die rückgeführten Verbrennungsgase und Pyrolysegase streichen ebenfalls durch dieses Glutbett **610**. Dadurch werden sie stark erwärmt, und das enthaltene CO₂ und Wasser werden bereits zum Teil mit den brennbaren Bestandteilen der Glutreste **610** umgesetzt. Ruß, der sich durch die starke Erwärmung in dieser Zone bildet, wird bevorzugt am Glutbett **610** abgeschieden, so dass er nicht in den sekundären Brennraum **400** gelangen kann.

[0109] Die primären Verbrennungsgase **4**, die bei Trocknung und Pyrolyse entstehen, können nur dann verbrennen, wenn sie mit Luft **3** vermischt werden. Sie sind deutlich heißer als die Zuluft **3**, steigen deshalb durch ihren Auftrieb auf und sammeln sich im oberen Bereich des primären Brennraums **100**. Dort kann keine Luft **3** Zutreten. Damit findet im oberen Bereich des primären Brennraums **100** keine Verbrennung statt. Verbrennung findet nur im unteren Bereich des primären Brennraums **100** statt sowie im sekundären Brennraum **400**, wo sich Zuluft **3** und heiße Pyrolysegase (primäre Verbrennungsgase) **4** mischen können.

[0110] Fig. 4 zeigt die räumliche Ausdehnung der primären Verbrennungszone **6a**, der sekundären Verbrennungszone **6b** und der mit Pyrolysegasen **4** gefüllten Zone **7**. Die Verbrennungszonen **6a** und **6b** sind jeweils mit Strichen (–) schraffiert. Die im primären Brennraum **100** eingeschlossene, mit Pyrolysegasen **4** gefüllte Zone **7** ist mit Punkten schraffiert.

[0111] Fig. 4a zeigt die Situation bei geringer Ausgangsleistung des Erhitzers **1**, also bei fast ganz geschlossener Drosselstelle **2**. Die Grenze zwischen der Verbrennungszone **6a** und der mit Pyrolysegasen **4** gefüllten Zone **7** ist keine scharfe Grenze, sondern ein gradueller Übergangsbereich. In der mit Pyrolysegasen **4** gefüllten Zone **7** ist keine Luft **3** vorhanden, so dass die Pyrolysegase **4** in dieser Zone **7** erstickend wirken.

[0112] Ohne den Abfluss der primären Verbrennungsgase **4** durch die Drosselstelle **2** und das Durchlasselement **300** in den sekundären Brennraum **400** würde die in **Fig. 4a** gezeigte Anordnung das Feuer durch seine eigenen Verbrennungsprodukte ersticken. Durch das Durchlasselement **300** können kontrolliert primäre Verbrennungsgase **4** und Pyrolyseprodukte aus dem primären Brennraum abziehen, sodass frische Luft **3** nachströmen und das Feuer unterhalten kann. Der Gasstrom durch die Drosselstelle (Spalt) **2** zwischen dem beweglichen Teil **200** des Vorheizers und dem Durchlasselement **300** hängt hierbei empfindlich von der Spaltweite ab. Diese lässt sich verstellen, indem der bewegliche Teil **200** des Vorheizers vertikal verschoben wird.

[0113] Bei konstanter Spaltweite und in etwa konstanter Temperatur im primären Brennraum **100**, und dadurch in etwa konstantem Überdruck durch den Auftrieb, ist der Gasfluss durch die Drosselstelle **2** konstant. Der Gesamtstrom ist dabei der Luftzustrom **3** in den primären Brennraum **100** minus die im primären Brennraum **100** verbrauchten Gase plus die im primären Brennraum **100** erzeugten Gase **4**. Erzeugt der primäre Brennraum durch effektive Pyrolyse mehr Gase **4**, so verringert sich also der Luftzustrom, weil die Gase **4** die Zuluft **3** verdrängen. Die Verbrennungszone verkleinert sich dadurch. Das verringert die Leistung der primären Verbrennung und somit die Gasproduktion. Fallende Gasproduktion im primären Brennraum **100** lässt hingegen mehr Luft **3** in den primären Brennraum **100** gelangen, was die primäre Verbrennung fördert und die Gaserzeugung erhöht. Dadurch pendelt sich ein stabiles dynamisches Gleichgewicht ein.

[0114] Bei welcher Ausgangsleistung dieser dynamische Gleichgewichtszustand liegt, lässt sich über die Spaltweite zwischen dem beweglichen Teil **200** des Vorheizers und dem Durchlasselement **300** regulieren. **Fig. 4b** verdeutlicht die vergrößerte Verbrennungszone **6a**, die sich ergibt, wenn der bewegliche Teil **200** des Vorheizers ganz nach unten bewegt und die Drosselstelle **2** somit maximal geöffnet ist.

[0115] Die Drosselstelle **2** soll maximal geöffnet werden, wenn der Erhitzer **1** hochfährt oder wenn der Brennstoff **600** zu viel Wasser freisetzt, sodass die Flamme im sekundären Brennraum **400** erstickt. Diese relative Anordnung des Vorheizers **200**, **210** und des Auslasses aus dem primären Brennraum **100** zueinander ist vorteilhaft, weil sich so mit einem einzigen Stallelement die Ausgangsleistung, das Mischungsverhältnis und die Stärke der Rückströmung zur Rußunterdrückung regulieren lässt. Eine feste Anordnung ist nur für bestimmte Kombinationen aus Brennstoff und Ausgangsleistung geeignet, weil verschiedene Brennstoffe und die verschiedenen Abbrand-Phasen sehr unterschiedliche Einstellungen benötigen. Sehr hochwertige Brennstoffe, wie zum

Beispiel Kerzenwachs oder Kienspan, setzen sehr viel brennbare Gase frei, sodass Abgas-Rückführung und Luftzufuhr in den sekundären Brennraum **400** maximal sein müssen. Hierzu wird der bewegliche Teil **200** des Vorheizers ganz nach oben bewegt. Beim Anheizen und bei Betrieb mit Kohle bzw. Glutresten **610** der primären Verbrennung sollte hingegen die primäre Verbrennung maximiert und die Rückführung unterdrückt werden. Hierzu bewegt man den beweglichen Teil **200** des Vorheizers ganz nach unten. Je nach Bedarf lassen sich alle Zwischenwerte erreichen, sodass eine optimale Verbrennung gewährleistet ist.

[0116] Die Eigenschaften eines Erhitzers gemäß der oben beschriebenen Anordnung hängen sehr stark von der genauen Dimensionierung ab. Hierzu müssen die einzelnen Maße sowohl absolut als auch relativ zueinander bestimmte Wertebereiche einhalten. Abweichungen führen entweder zu einer zu hohen Ausgangsleistung mit Rußbildung oder einer zu niedrigen Ausgangsleistung mit Rauchentwicklung. Weiterhin soll der Einstellbereich für den Arbeitspunkt sowohl die Startphase und den Betrieb mit nicht ganz trockenem Brennstoff als auch den Betrieb bei voll aufgeheiztem, trockenem und hochwertigem Brennstoff abdecken.

[0117] Der Lufteinlass **110** sollte für eine kompakte Bauform mindestens genauso hoch wie MIX sein, für bessere Verbrennung bei schlechtem Brennstoff besser 30 % bis 50 % höher als MIX. Wenn möglich sollte der Einlass **110** über die gesamte Breite der (in den **Fig. 1** und **Fig. 3** bis **Fig. 5** senkrecht zur Zeichenebene verlaufenden) Stirnseite des primären Brennraums **100** verlaufen. Mindestens sollte er so breit wie MIX sein. So wird sichergestellt, dass der Lufteinlass **110** den Fluss nicht limitiert und somit keine luftbegrenzte Situation eintreten kann, die besonders beim Anheizen instabil ist und zum Ausgehen neigt.

[0118] Der Luftdurchlass zwischen dem unteren, fixen Teil **210** des Sekundärluft-Vorheizers und dem primären Brennraum **100** soll mindestens die Höhe MIX haben, besser die Höhe des Lufteinlasses **110**. Er sollte mindestens die Breite MIX haben, besser über die gesamte Breite des primären Brennraums **110** verlaufen, damit beim Anheizen und bei schlechtem Brennstoff der gesamte Luftstrom für die primäre Verbrennung zur Verfügung steht. Die Höhe dieses Luftdurchlasses limitiert die Pyrolyserate, die der Erhitzer **1** noch kontrollieren kann. Bei sehr hoher Pyrolyserate entsteht so viel Gas **4**, dass es durch diese Öffnung rückwärts vom primären Brennraum **100** in den Vorhitzer **200**, **210** abströmt und dann im Sekundärluft-Vorhitzer **200**, **210** verbrennt. Benötigt diese Verbrennung mehr Luft **3**, als zugeführt werden kann, so rußt der Erhitzer **1** stark, kann nicht mehr weiter gedrosselt werden und geht bei sehr effektivem

Brennstoff **600**, wie zum Beispiel Kohlenwasserstoffen, thermisch durch.

[0119] Für die Gesamthöhe des Gehäuses, das den primären Brennraum **100** beherbergt, ergibt sich also $2x$ die Dicke der Isolierung **101** plus als Richtwert $MIX^2/9$ für den Vorheizter **200, 210** plus $1,3 \cdot MIX$ für den Lufteinlass **100** plus 10 mm für die Stufe am Durchlasselement **300**, mit den weiter oben beschriebenen Spielräumen.

[0120] Der Freiraum zwischen dem Rost **500** und dem Boden des primären Brennraums **100** hat einen großen Einfluss auf die Eigenschaften, weil hier die Rückströmung der primären Verbrennungsgase **4** aus dem Brennstoff **600, 610** frontal auf die zuströmende Frischluft **3** trifft. Es bildet sich durch die Selbstregulierung eine dynamische Grenzschicht. Liegt diese weiter hinten in Richtung Brennstoff **600, 610**, so wird dem Brennstoff **600, 610** mehr Frischluft **3** zugeführt, und der Abgas-Rückstrom wird unterdrückt. Liegt die dynamische Grenzschicht weiter vorn, so gelangt weniger Luft **3** an den Brennstoff **600, 610**, und der Rückstrom ist stärker. Ein größerer Abstand des Rostes **500** vom Boden des primären Brennraums **100** fördert den Zustrom von Luft **3**, weil der Abgas-Rückstrom dann nicht durch den Strömungswiderstand des unteren Freiraums, sondern vom Strömungswiderstand des Brennstoffbetts **600, 610** begrenzt ist, während die Zuluft **3** mit viel geringerem Strömungswiderstand aus dem Lufteinlass **110** zur Verfügung steht. Der Erhitzer **1** heizt so besonders gut an und funktioniert besser mit weniger gutem Brennstoff **600, 610**, während er bei gutem Brennstoff **600, 610** stärker gedrosselt werden sollte und wegen des schwächeren Abgasrückstroms mehr zum Rußen neigt. Ist der Freiraum kleiner, so „gewinnt“ die Rückströmung und weniger Luft **3** gelangt an den Brennstoff **600, 610**, mit umgekehrtem Effekt auf die Eigenschaften.

[0121] In Versuchen des Erfinders lag der untere sinnvolle Grenzwert für den Freiraum unter dem Rost etwa bei $MIX \times MIX$, während der obere Grenzwert etwa bei der Größe des Lufteinlasses **110** liegt. In der Gesamtschau wiegt der mögliche Betrieb mit feuchterem Holz die Nachteile des Drosselns bei trockenem Holz mehr als auf, und größere Freiräume sind daher aus Sicht des Erfinders besser in der Praxis. Denkbar ist weiterhin ein schräg stehender oder anderweitig nach hinten verengter Freiraum, der mit zunehmendem Abbrand die Rußunterdrückung verstärkt, oder ein variables Element, wie zum Beispiel eine Verschlussplatte oder ein bewegliches Bodenblech, mit dem der Luftstrom unter den Rost **500** kontrolliert werden kann, insbesondere um einen durchgehenden Erhitzer **1** wieder „einzufangen“ oder Betrieb mit sehr hochwertigem Brennstoff **600, 610** wie Kerzenwachs zu erlauben.

[0122] Fig. 5 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des Erhitzers **1**. Gegenüber den Fig. 1 bis Fig. 4 ist hier die Form des sekundären Brennraums **400** verändert. Zum Einen ist die Mündung dieses sekundären Brennraums **400** zur Mitte des Erhitzers **1** hin verschoben, damit ein mittig auf den Erhitzer **1** aufgesetzter Topf zentraler erwärmt werden kann. Zum Anderen ist der sekundäre Brennraum **400** besonders schmal (gemessen senkrecht zur Zeichenebene und daher in Fig. 5 nicht sichtbar). Stattdessen ist er besonders tief (gemessen von links nach rechts). Dadurch ist der sekundäre Brennraum **400** beim Transport des Erhitzers **100** im zerlegten Zustand besser verstaubar.

[0123] Der Mechanismus, um den beweglichen Teil **200** des Vorheizers vertikal zu verschieben, ist in der schematischen Darstellung nicht enthalten. In den Prototypen des Erfinders ist ein grob U-förmiges Drahtelement mit dem beweglichen Teil **200** des Vorheizers verbunden und wird durch die Lufteinlassöffnung **110** nach außen geführt. Dort kann dieses Element zur Kontrolle des beweglichen Teils **200** des Vorheizers verwendet werden. Weiterhin denkbar sind Schneckenantriebe, Zahnradantriebe, Seilzüge usw. Wichtig ist nur, dass der Vorheizter **200, 210** genau unter dem Durchlass-Element positioniert werden kann, der bewegliche Teil **200** des Vorheizers vertikal verschoben und arretiert werden kann und im gedrosselten Zustand nur wenig Gas **4** aus dem primären Brennraum **4**, und statt dessen viel vorgeheizte Luft **3**, in den sekundären Brennraum strömt.

[0124] Ausführungsformen des Erhitzers **1** mit minimiertem Strömungswiderstand sind besonders günstig. Die hier beschriebene Ausführungsform ist nur in geringem Maße strömungsmäßig optimiert. Im Vordergrund stand stattdessen eine möglichst einfache Fertigung der Prototypen bei vertretbar guten Gesamteigenschaften. Insbesondere numerische Simulationen der Gasströmungen können Lösungen mit deutlich reduziertem Widerstand und damit höherer Leistung bei kompakterer Bauform ergeben. Diese optimierten Lösungen haben vermutlich hochgradig irreguläre Formen, ähnlich einem modernen Formel-1-Auto. Insbesondere die Mündung des Vorheizers **200, 210** in Verbindung mit dem Durchlasselement **300** hat vermutlich noch viel Raum für Optimierungen, um den Gasen im sekundären Brennraum **400** möglichst viel kinetische Energie zur Durchmischung und damit zur sauberen Verbrennung mitzugeben.

Bezugszeichenliste

1	Erhitzer
2	Drosselstelle
3	Luft
4	primäre Verbrennungsgase
5	sekundäre Verbrennungsgase
6a, 6b	Verbrennungszonen

7	mit Pyrolysegas gefüllte Zone
31	zentrale Strömung der Luft 3
41	Strömung der primären Verbrennungsgase 4
100	primärer Brennraum
101	thermische Isolierung des primären Brennraums 100
110	Lufteinlass
115	Höhe des primären Brennraums 100
120	Tiefe des primären Brennraums 100
200	beweglicher Teil des Vorheizers
210	fester Teil des Vorheizers
300	Durchlasselement
301	Öffnung im Durchlasselement 300
400	sekundärer Brennraum
401	thermische Isolierung des sekundären Brennraums 400
410	Strömungshindernis im sekundären Brennraum 400
415	Höhe des sekundären Brennraums 400
500	Ablage für den Brennstoff 600, 610
510	zusätzlicher Luftkanal
515	Wandung des zusätzlichen Luftkanals
600	Brennstoff
610	zu Glutresten umgewandelter Brennstoff 600
700	Aufnahme für den Topf
800	Topfboden
850	Topfinhalt
A-A	Schnittlinie
B	Detailausschnitt mit hervorgehobener Drosselstelle

Patentansprüche

1. Erhitzer (1), welcher die Energie für die Erwärmung aus der Verbrennung eines festen, flüssigen oder schmelzenden Brennstoffs (600, 610) bezieht, umfassend einen primären Brennraum (100) mit mindestens einer zumindest teilweise luftdurchlässigen Ablage (500) zur Aufnahme mindestens einer Stapelung oder Schüttung des Brennstoffs (600, 610), wobei die dem Brennstoff (600, 610) abgewandte Seite der Ablage (500) für den Zutritt von Umgebungsluft (3) zugänglich (110) ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Abzugsweg der bei der primären Verbrennung des Brennstoffs (600, 610) im primären Brennraum (100) entstehenden primären Verbrennungsgase (4) mindestens eine Drosselstelle (2) vorgesehen ist, die die primären Verbrennungsgase (4) teilweise passieren lässt und teilweise zurückhält.

2. Erhitzer (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungsquerschnitt der Drosselstelle (2) vom Benutzer regelbar ist.

3. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein sekundärer Brennraum (400) vorgesehen ist, der so-

wohl für die die Drosselstelle (2) passierenden primären Verbrennungsgase (4) als auch für den Zutritt von Umgebungsluft (3) zugänglich ist.

4. Erhitzer (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die primären Verbrennungsgase (4) und die Umgebungsluft (3) gemeinsam durch mindestens eine Öffnung (301) in den sekundären Brennraum (400) geführt sind.

5. Erhitzer (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die primären Verbrennungsgase (4) näherungsweise konzentrisch mit einer zentralen Strömung (31) aus der Umgebungsluft (3) in den sekundären Brennraum (400) geführt sind.

6. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 4 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Strömungswiderstand mindestens einer Öffnung (301) mindestens dem Strömungswiderstand einer quadratischen Öffnung mit einer Kantenlänge, MIX, zwischen 20 mm und 50 mm, bevorzugt zwischen 22 mm und 40 mm, entspricht.

7. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass Umgebungsluft (3) durch mindestens einen Vorheizer (200, 210), der durch die primäre Verbrennung im primären Brennraum (100) erwärmbar ist, in den sekundären Brennraum (400) geführt ist.

8. Erhitzer (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Vorheizer (200, 210) mindestens einen beweglichen Teil (200) enthält, der zugleich einen beweglichen Teil der Drosselstelle (2) bildet.

9. Erhitzer (1) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drosselstelle (2) durch mindestens ein den sekundären Brennraum (400) begrenzendes Durchlasselement (300) mit einer Öffnung (301), durch die die primären Verbrennungsgase (4) und die Umgebungsluft (3) gemeinsam in den sekundären Brennraum (400) geführt sind, einerseits und durch den beweglichen Teil (200) des Vorheizers (200, 210) andererseits gebildet ist.

10. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die primären Verbrennungsgase (4) als eine den Vorheizer (200) umlaufende Strömung (41) in den sekundären Brennraum (400) geführt sind.

11. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der sekundäre Brennraum (400) als Kamin ausgebildet ist.

12. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 3 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass der sekundäre Brennraum (400) mindestens ein Strömungshindernis (410) zur Verwirbelung der für die sekundäre Ver-

brennung zugemischten Umgebungsluft (3) mit den primären Verbrennungsgasen (4) aufweist.

13. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens ein zusätzlicher Luftkanal (510) vorgesehen ist, der Umgebungsluft (3) zur Drosselstelle (2) zu führen vermag und durch eine für die Umgebungsluft (3) zumindest teilweise durchlässige Wandung (515) vom Brennstoff (600, 610) im primären Brennraum (100) getrennt ist.

14. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass der höchste Punkt, an dem die primären Verbrennungsgase (4) den primären Brennraum (100) verlassen können, im Betrieb des Erhitzers (1) mindestens 10 mm unterhalb des höchsten Punkts des primären Brennraums (100) liegt und/oder vom Benutzer einstellbar ist.

15. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der primäre Brennraum (100), und/oder der sekundäre Brennraum (400), eine thermische Isolierung (101, 401) aufweist.

16. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass der sekundäre Brennraum (400) eine Höhe (415) zwischen dem 0,3-Fachen und dem 0,7-Fachen der Höhe (115) des primären Brennraums (100) aufweist.

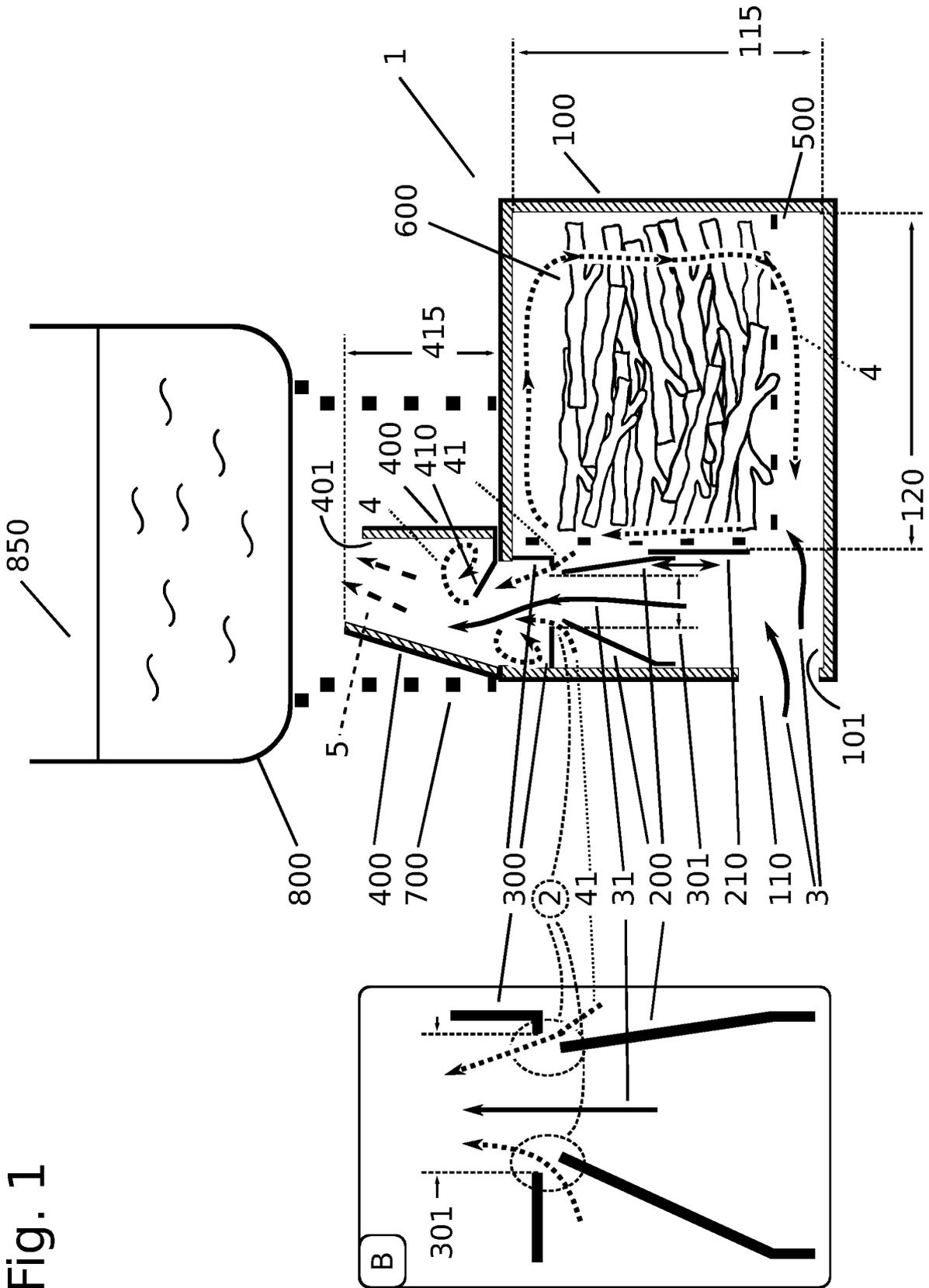
17. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein oder mehrere Teile des sekundären Brennraums (400) als vom primären Brennraum (100) separate und abnehmbare Teile ausgebildet sind und dass zum Transport mindestens ein Teil des Erhitzers (1), das den sekundären Brennraum (400) bildet, ganz oder teilweise in einem Teil des Erhitzers (1) verstaubar ist, das den primären Brennraum (100) bildet, und/oder das ein oder mehrere Teile des Erhitzers (1), die den primären Brennraum (100) bilden, ganz oder teilweise in einem Teil des Erhitzers (1) verstaubar sind, das den sekundären Brennraum (400) bildet.

18. Erhitzer (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass der primäre Brennraum (100), und/oder der sekundäre Brennraum (400), zerlegbar und/oder faltbar ausgebildet ist, so dass der primäre Brennraum (100), und/oder der sekundäre Brennraum (400), im verpackten Zustand des Erhitzers (1) weniger Volumen einnimmt als im betriebsbereiten Zustand des Erhitzers (1).

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1



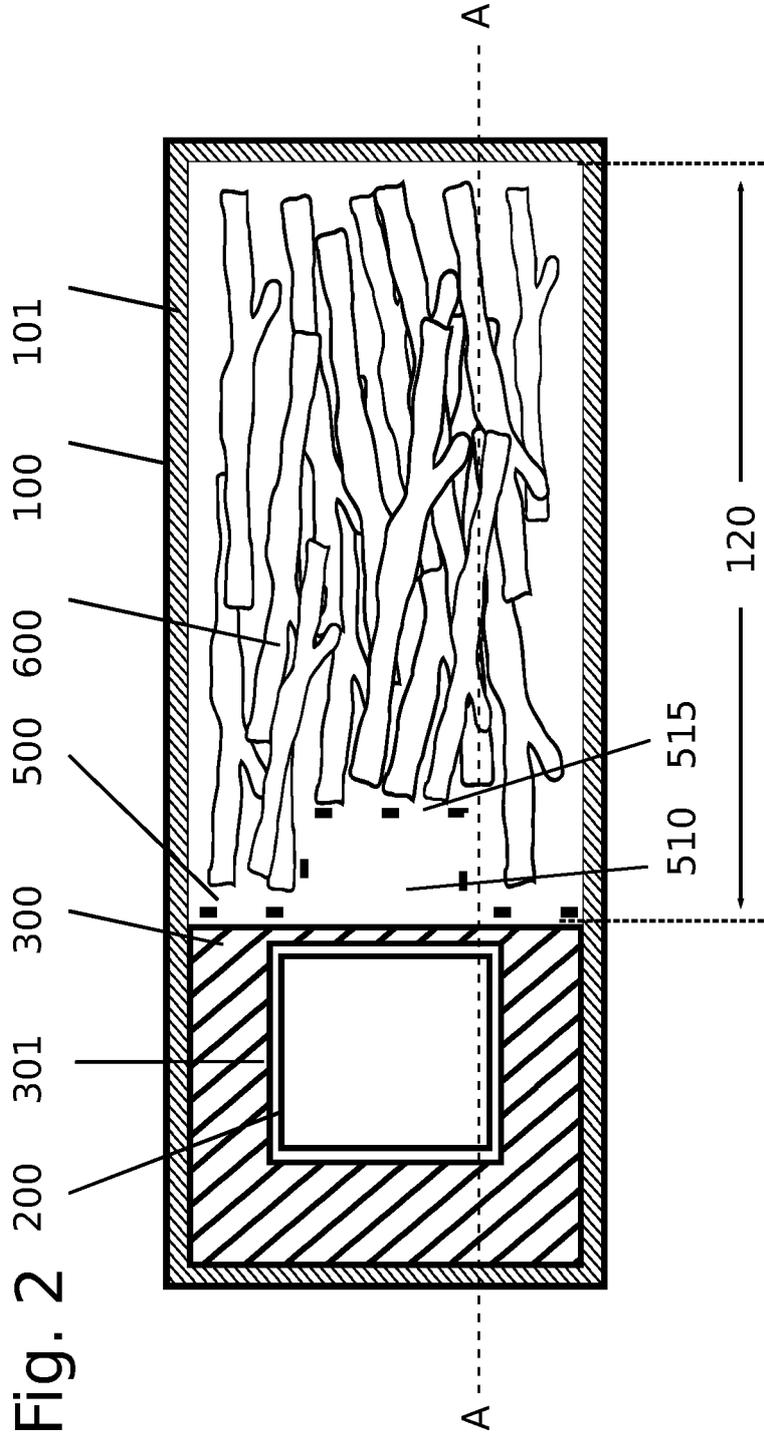


Fig. 3

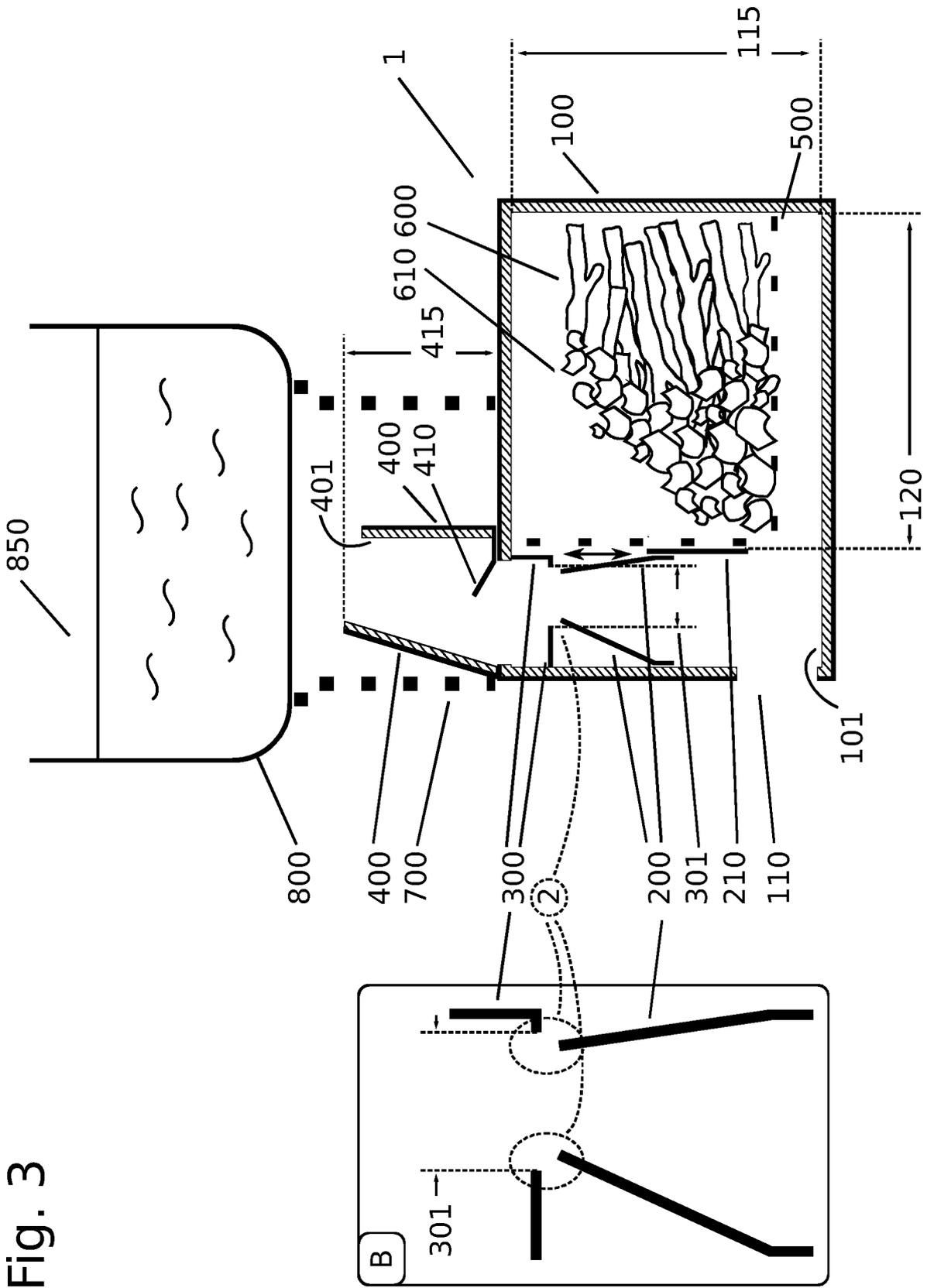


Fig. 4a

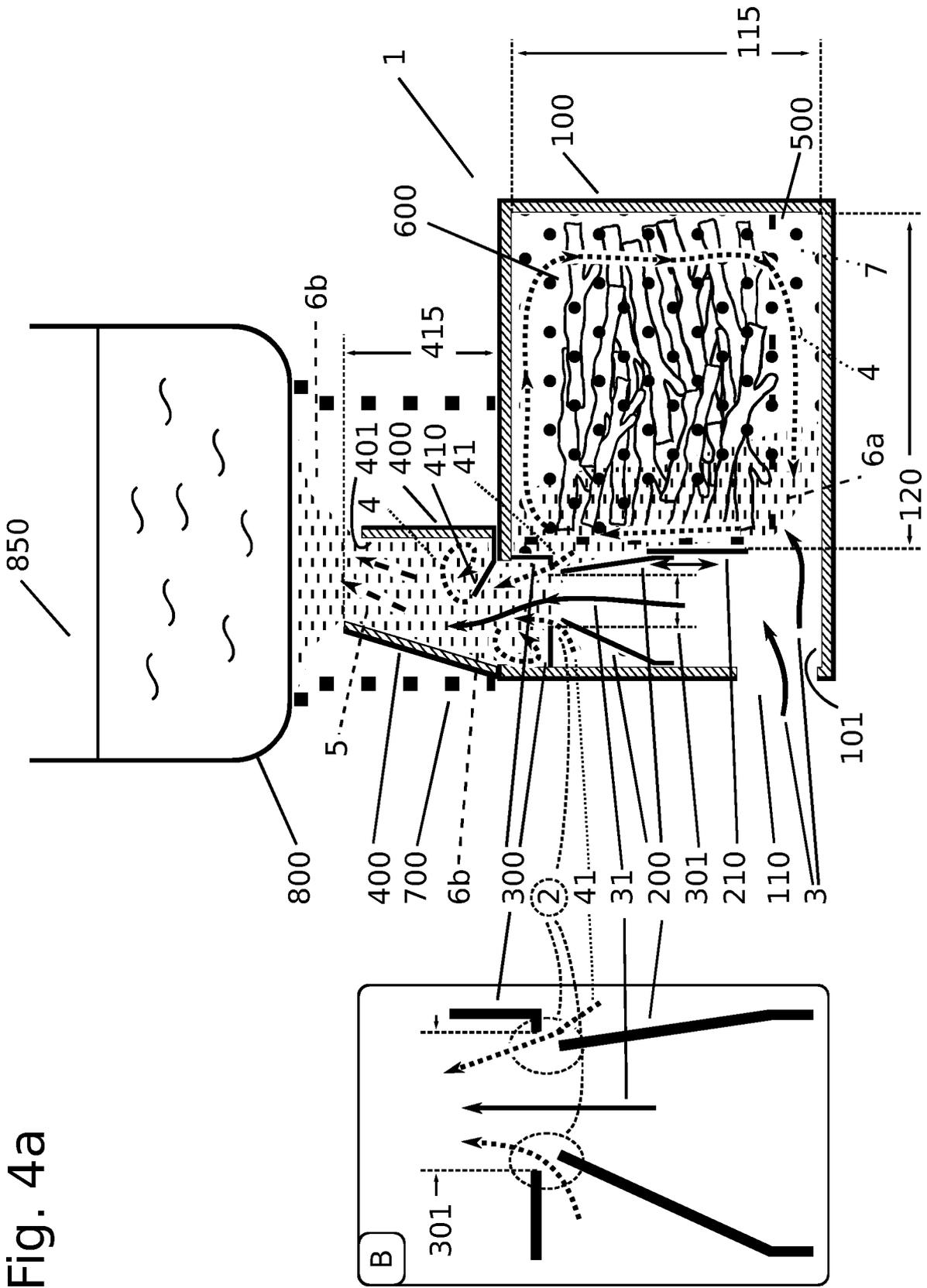


Fig. 4b

