

Brennwerttechnik

Umweltbelastung durch Kohlendioxid aus fossilen Brennstoffen

Kohlendioxid liefert den größten Beitrag zum Treibhauseffekt. Es gibt aber keine Möglichkeit, Kohlendioxidemissionen zu vermeiden, solange man auf fossile Energieträger wie Kohle, Heizöl, Erdgas oder Flüssiggas angewiesen ist. Alle diese Brennstoffe enthalten mehr oder weniger Kohlenstoff (C), aus dem bei der Verbrennung mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff (O₂) Kohlendioxid (CO₂) entsteht.

Die Kohlendioxidemissionen lassen sich nur verringern, wenn durch bessere Nutzungsgrade bei der Wärmeerzeugung weniger Brennstoff verbraucht wird. Verbesserungen sind bei der konventionellen Heizungstechnik aber nur noch begrenzt möglich.

Eine größere Verbesserung des Nutzungsgrades lässt sich jedoch durch die Brennwerttechnik erreichen, welche die latente Wärme des Wasserdampfes (Verdampfungswärme) in den Rauchgasen durch Kondensation nutzt und zusätzlich den Rauchgasen mehr fühlbare Wärme entzieht.

Wasserdampf in den Rauchgasen

In den Rauchgasen ist neben dem Kohlendioxid auch Wasser in Form von Dampf enthalten, je nach Brennstoff mehr oder weniger. Bei der Verbrennung von Erdgas entstehen bis zu 1,5 Liter Wasser in Dampfform pro Kubikmeter Erdgas, bei Heizöl sind es bis zu 0,9 Liter Wasser pro Liter Heizöl. Dieser Dampf enthält aber relativ viel Wärme, wie das folgende Beispiel zeigt:

- um 1 Liter Wasser von 10 °C auf 100 °C zu erwärmen, benötigt man ca. 0,1 kWh
- um dieses 100 °C heiße Wasser in Dampf zu verwandeln, sind weitere ca. 0,6 kWh erforderlich (Verdampfungswärme)

Bei normalen Heizkesseln und auch bei Niedertemperaturheizkesseln muss eine Kondensation vermieden werden, da dies zu Korrosionsschäden an den Kesselheizflächen führen könnte. Die im Wasserdampf enthaltene Verdampfungswärme entweicht ungenutzt mit den Rauchgasen. Die Rauchgase werden nämlich nur so weit abgekühlt, dass sie ohne Kondensation durch den Schornstein abziehen.

Brennwertgeräte nutzen – zumindest teilweise – die in den Rauchgasen enthaltene Verdampfungswärme und entziehen den Rauchgasen zusätzlich mehr fühlbare Wärme, da sie die Rauchgase stärker abkühlen als normale Niedertemperaturheizkessel. Nach der Energieeinsparverordnung „ist ein Brennwertkessel ein Heizkessel, der für die Kondensation eines Großteils des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes konstruiert ist.“

Heizwert und Brennwert

Die in den Rauchgasen als fühlbare Wärme enthaltene Energie bezeichnet man als Heizwert H_u (unterer Heizwert) eines Brennstoffes.

Werden die Rauchgase weiter abgekühlt, so kondensiert der enthaltene Wasserdampf an den Heizflächen, wenn die Taupunkttemperatur unterschritten wird. Der Wasserdampf gibt bei der Kondensation die Verdampfungswärme ab, die nun genutzt werden kann. Die Verdampfungswärme wird latente oder verborgene Wärme genannt, da während der Verdampfung bzw. der Kondensation keine Temperaturänderung stattfindet. Fühlbarer und latenter Wärmeinhalt zusammen werden als Brennwert H_o (oberer Heizwert) bezeichnet. Man nennt daher Geräte, welche die fühlbare Wärme der Rauchgase besser und darüber hinaus die latente Wärme des Wasserdampfes nutzen, Brennwertgeräte.

Heizwert und Brennwert sowie der Prozentsatz, um den der Brennwert größer ist als der Heizwert, sind in Abbildung 1 für verschiedene Brennstoffe zusammengestellt.

	Erdgas	Flüssiggas		Heizöl EL
		Propan	Butan	
	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/m ³	kWh/Liter
Brennwert H_o	10,3	28,1	37,2	10,6
Heizwert H_u	9,3	25,8	34,3	10,0
Brennwert H_o größer als Heizwert H_u	11 %	9 %	8 %	6 %
Abgas-Taupunkt	56 °C	53 °C	52 °C	47 °C
Kondenswassermenge in kg/kWh H_u	0,16	0,13	0,12	0,09

Abbildung 1: Vergleich von Heizwert und Brennwert, Abgas-Taupunkt und Kondenswassermenge für verschiedene Brennstoffe

Aufgrund des großen Anteils von Wasserstoff im Erdgas (Methan CH₄) ist die Wasserdampfmenge in den Rauchgasen relativ groß und der Brennwert um rd. 11 % größer als der Heizwert. Bei Flüssiggas ist der Brennwert noch 8 - 9 % größer als der Heizwert, bei Heizöl um 6 %. Die Nutzung der Brennwerttechnik ist daher beim Erdgas am wirkungsvollsten, doch auch bei Flüssiggas und Heizöl EL ergibt sich noch eine beachtenswerte Einsparung an Brennstoff.

Die Taupunkttemperatur ist bei Heizöl niedriger als bei Erdgas (siehe Abbildung 1). Das heißt, die Brennwertnutzung setzt bei Heizöl erst bei niedrigeren Temperaturen ein als bei Erdgas. Mit Niedertemperaturheizkesseln ist es technisch nicht möglich, den Rauchgasen die gesamte fühlbare Wärme zu entziehen. Der Nutzungsgrad ist daher stets kleiner als 100 %. Damit ein direkter Vergleich von Brennwertgeräten mit konventionellen Wärmeerzeugern möglich ist, bezieht man die im Brennwertbetrieb erhaltene Nutzwärme, also fühlbare Wärme + Kondensationswärme, auf den Heizwert H_u. So ergeben sich Nutzungsgrade von rechnerisch über 100 %.

Brennwertgeräte

Die Rauchgase geben ihre Wärme an die Wärmetauscherflächen ab. Bei den ersten Brennwertgeräten wurde an einen normalen Niedertemperatur-Heizkessel ein zusätzlicher Wärmetauscher angebracht. Am ersten Wärmetauscher, den Heizflächen des Niedertemperaturheizkessels, werden die Rauchgase auf Temperaturen abgekühlt, die noch oberhalb des Taupunktes liegen. Am zweiten, zusätzlichen Wärmetauscher werden die Rauchgase unter die Taupunkt-Temperatur abgekühlt, es kommt zur teilweisen Kondensation des in den Rauchgasen enthaltenen Wasserdampfes (siehe Abbildung 2).

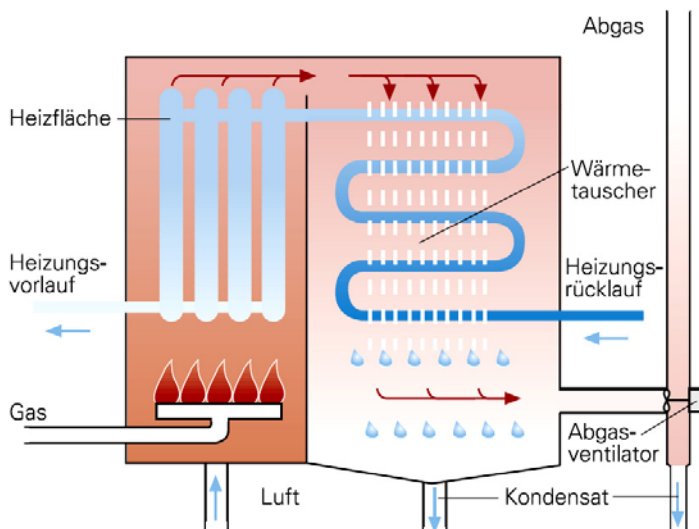


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Gasbrennwertkessels

Heute haben die meisten Brennwertgeräte einen „integrierten“ Wärmetauscher, d. h., die beiden Wärmetauscher, Heizfläche und zusätzlicher Wärmetauscher, sind konstruktiv zu einem zusammengefasst. Ausführung und Anordnung der Wärmetauscher sind bei den einzelnen Fabrikaten unterschiedlich. Die verwendeten Materialien dürfen durch das leicht saure Kondenswasser nicht angegriffen werden. Hauptsächlich werden Wärmetauscher aus Aluminiumlegierungen und aus Edelstählen verwendet.

In Abbildung 2 ist ein Gasbrennwertkessel mit atmosphärischem Brenner dargestellt. Die Heizflächen sind so angeordnet, dass das Kondensat ungehindert abfließen kann. Das Heizgas (Rauchgas) und das Kondensat strömen im Wärmetauscher in die gleiche Richtung (mit dem Gefälle), damit das Kondensat nicht wieder an wärmere Stellen gelangt und verdampft. Das Kesselwasser und die Rauchgase dagegen strömen bei praktisch allen Brennwertkesseln in entgegengesetzter Richtung.

Brennwertgeräte für Erdgas gibt es mit herkömmlicher Feuerungstechnik, aber auch mit besonders schadstoffarmen Brennern wie Vormischbrennern oder Flächenbrennern. Es werden aber auch Brennwertkessel mit Ölbrennern angeboten. Zu beachten ist aber, dass die Kesselhersteller zum Teil schwefelarmes Heizöl verlangen, da der Schwefelanteil im Heizöl zur Bildung von schwefeliger Säure und Schwefelsäure führt, was zu Korrosionsproblemen an den Heizflächen des Heizkessels führen kann. Der Schwefelgehalt von Heizöl EL auf maximal 0,2 % oder 2.000 mg/kg festgelegt. Für das heute teilweise schon angebotene schwefelarme Heizöl ist der Schwefelgehalt auf maximal 50 mg/kg beschränkt.

Abgasführung

Bei den herkömmlichen Wärmeerzeugern werden die Abgase durch den Schornsteinzug abgeführt, der sich aufgrund des Auftriebs der heißen Rauchgase bildet. Der Querschnitt des Schornsteins ist so bemessen, dass eine Kondensation sicher vermieden wird.

Die Rauchgase enthalten bei Eintritt in den Schornstein noch Restfeuchte, denn nur ein Teil des Wasserdampfes kondensiert im Brennwertkessel. Da die Rauchgase auch noch weiter abgekühlt werden, kommt es im Schornstein zu weiterer Kondensation. Ein konventioneller Schornstein ist für die Brennwerttechnik daher nicht geeignet. Außerdem entsteht aufgrund der niedrigen Abgastemperaturen von Brennwertgeräten kein Kaminzug, die Rauchgase müssen durch ein Gebläse hinausbefördert werden. Bei Brennwertgeräten müssen die Abgasleitungen daher so dicht sein, dass sie mit leichtem Überdruck betrieben werden können. Weder Abgase noch Kondensat dürfen austreten können. Zusätzlich muss rings um die Abgasleitung eine „Hinterlüftung“ vorhanden sein, um eventuell austretende Abgase sicher abzuführen.

Die Abgasleitung ist vor Inbetriebnahme vom Bezirksschornsteinfegermeister auf die geforderte Dichtigkeit zu prüfen.

Da die Abgasleitungen gegen das leicht saure Kondensat beständig sein müssen, werden sie aus Edelstählen, aus Glas, aus Kunststoffen oder aus Aluminium hergestellt. Die verschiedenen Ausführungen unterscheiden sich nicht nur durch das Material, sondern auch durch die Verbindungstechnik und die Art der Montage. Die Abgasleitungen werden als komplette Systeme geliefert. Wenn die Abgasleitungen aus brennbaren Stoffen bestehen oder aus Materialien, die bei höheren Temperaturen nicht formbeständig sind (z. B. Kunststoffe), müssen sie mit einem Temperaturwächter im Abgasweg ausgerüstet sein.

Kondenswasser

Da Brennwertgeräte den Rauchgasen die Verdampfungswärme teilweise entziehen, fällt Kondenswasser an, das leicht sauer bis sauer ist. Der pH-Wert ist:

- ca. 3,5 bis 5,5 bei Erdgas
- ca. 1,5 bis 3,5 bei Heizöl (aufgrund des Schwefelgehalts von Heizöl)

Zum Vergleich: Der pH-Wert von Regenwasser liegt zwischen 4 und 5,5, von Haushaltssessig bei 3.

Die Kondenswassermenge ist bei einem Brennwertgerät von 15 kW und 1.600 Betriebsstunden bei Erdgas rd. 2,9 Kubikmeter pro Jahr und bei Heizöl rd. 1,6 Kubikmeter. Maßgebend für die Einleitung des Kondensats in die öffentliche Kanalisation sind die kommunalen Abwasserbestimmungen. Sie orientieren sich in der Regel an den Richtlinien der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV-DVWK).

Das Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 251 „Kondensate aus Brennwertkesseln“, sieht u. a. vor, dass bei Gasbrennwertgeräten mit einer Nennleistung bis 25 kW das Kondensat grundsätzlich ohne Neutralisation in das häusliche Abwassersystem eingeleitet werden darf.

Bei Brennwertkesseln für Heizöl ist das Kondensat deutlich saurer und muss daher im Allgemeinen vor der Einleitung in das Abwassersystem neutralisiert werden (ein pH-Wert 6,5 = „schwach sauer“ bis pH-Wert 7 = „neutral“ ist zu erreichen). Zur Neutralisation wird das Kondensat durch einen Behälter mit Kalkstein- oder Marmorgranulat geleitet.

Unter bestimmten Bedingungen kann das Kondensat aus Öl-Brennwertkesseln direkt in die Kanalisation geleitet werden. Wichtigste Voraussetzung dafür ist, dass ausschließlich schwefelarmes Heizöl verwendet wird und die vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden. Die Einhaltung der Grenzwerte muss durch den Hersteller des Brennwertgerätes nachgewiesen werden.

Heizöl gilt als schwefelarm, wenn maximal 50 Milligramm Schwefel pro Kilogramm enthalten sind. Um sicherzustellen, dass bei Ölheizungen ohne Neutralisation ausschließlich schwefelarmes Heizöl eingefüllt wird, ist ein entsprechender Hinweis am Einfüllstutzen und an der Tankanlage anzubringen. Aber auch in diesem Fall sind die kommunalen Abwasserbestimmungen zu beachten.

Rücklaufemperatur und Nutzungsgrad

In welchem Umfang die Verdampfungswärme von einem Brennwertgerät genutzt werden kann, hängt von der Rücklaufemperatur des Heizsystems ab.

Die Rücklaufemperatur bestimmt, wie weit die Rauchgase abgekühlt werden und wie viel Wasserdampf kondensiert. Bei guten Wärmetauschern liegt die Abgastemperatur ca. 5 - 15 ° C höher als die Rücklaufemperatur. Da Brennwertgeräte wie normale Niedertemperatur-Heizkessel mit gleitender, nach der Außentemperatur geregelter Kesseltemperatur betrieben werden, ändert sich die Rücklaufemperatur während des Jahres.

Die Rücklaufemperatur sollte so niedrig sein, dass im größten Teil der Heizperiode Wasserdampf aus den Rauchgasen kondensiert, die Verdampfungswärme – zumindest teilweise – genutzt werden kann.

Der optimale Nutzungsgrad wird daher im Allgemeinen nicht bei Vollast, d. h. bei der niedrigsten Außentemperatur erreicht, da dann die Rücklaufemperatur relativ hoch ist, sondern bei 30 bis 60 % Auslastung, nämlich bei Außentemperaturen zwischen 0 ° C und + 10 ° C und entsprechend niedrigen Rücklaufemperaturen. In Abbildung 3 ist der Nutzungsgrad eines Erdgas-Brennwertgerätes in Abhängigkeit von der Abgastemperatur schematisch dargestellt.

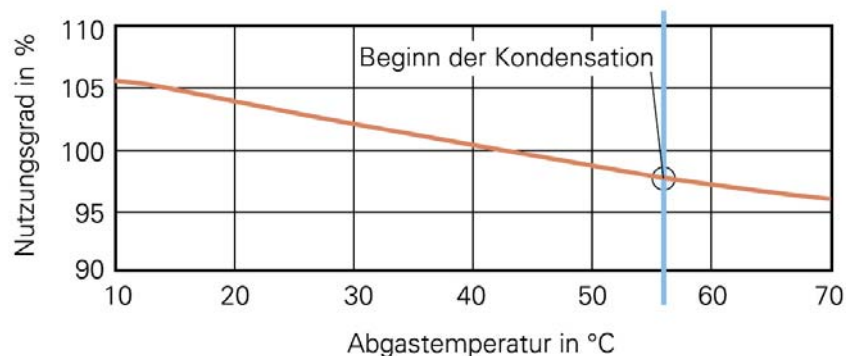


Abbildung 3: Schematischer Zusammenhang zwischen Abgastemperatur und Nutzungsgrad eines Erdgas-Brennwertgerätes

Der Nutzungsgrad steigt an, je niedriger die Abgastemperatur wird. Der leichte Anstieg des Nutzungsgrades vor Beginn der Kondensation bei 56 ° C beruht darauf, dass den Rauchgasen mehr fühlbare Wärme entzogen wird. Erst bei einer Abkühlung der Rauchgase unter 56 ° C kommt es zur Kondensation und damit zur Nutzung der Verdampfungswärme. In größerem Umfang aber erst, wenn die Rauchgase noch weiter abgekühlt werden. Der Nutzungsgrad steigt an, je niedriger die Abgastemperaturen werden. Bei Heizöl setzt die Kondensation erst bei 47 ° C ein, siehe Abbildung 1.

Am günstigsten sind natürlich Heizungsanlagen, deren maximale Vorlauftemperatur bei ca. 55 °C liegt. Die maximale Rücklauftemperatur ist dann ca. 40 °C, sodass in diesem Falle den Rauchgasen während der gesamten Heizperiode viel Verdampfungswärme entzogen werden kann. Aber auch Heizsysteme mit einer Vorlauf-/Rücklauftemperatur von 70/50 ermöglichen einen kondensierenden Betrieb während der meisten Zeit, sodass ca. 90 % der benötigten Heizwärme im Brennwertbetrieb erzeugt werden. Selbst Heizsysteme mit Vorlauf/Rücklauf 90/70 können noch ca. 30 % der Heizwärme im Brennwertbetrieb liefern.

Aber auch außerhalb des Brennwertbetriebs ist der Nutzungsgrad von Brennwertgeräten höher als bei normalen Niedertemperaturkesseln, da die Rauchgase tiefer abgekühlt werden und ihnen mehr fühlbare Wärme entzogen wird.

Verbrennungsluft

Der Einfluss der Verbrennungsluftmenge (Luftüberschuss) ist zu beachten. Der Wasserdampftaupunkt wird von der Verbrennungsluftmenge und dem damit verbundenen CO₂-Gehalt bzw. O₂-Gehalt der Rauchgase beeinflusst. Je niedriger der Luftüberschuss, d. h., je höher der CO₂-Gehalt bzw. je niedriger der O₂-Gehalt der Rauchgase ist, desto höher ist der Wasserdampftaupunkt und damit die Nutzung des Brennwerteffektes (siehe Abbildung 4).

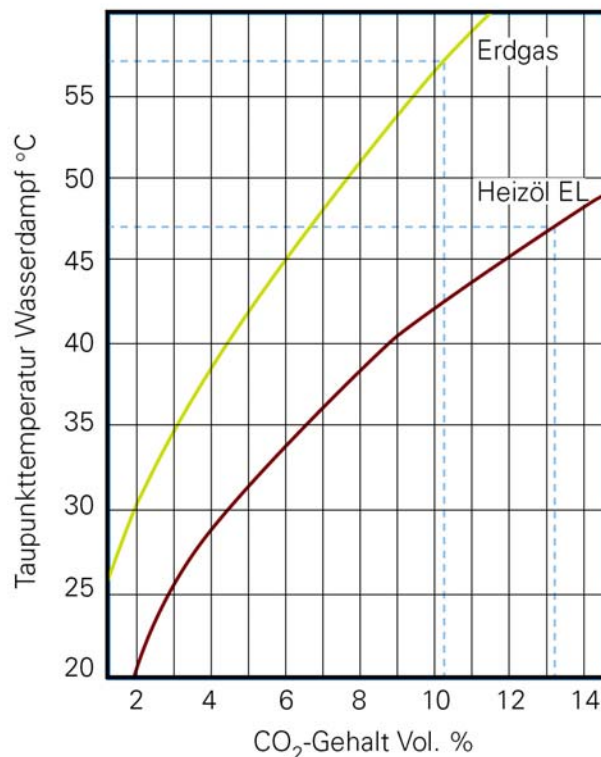


Abbildung 4: Wasserdampf-Taupunkttemperatur in Abhängigkeit vom CO₂-Gehalt der Rauchgase

Bei der Einstellung des Brenners wird daher versucht, einen CO₂-Gehalt der Rauchgase von 10,5 % für Erdgas und 13,5 % für Heizöl EL zu erreichen. Dann liegt der Wasserdampftaupunkt möglichst hoch, es besteht aber noch nicht die Gefahr, dass Luftmangel und damit eine unvollständige Verbrennung eintreten.

Anforderungen an das Heizsystem

Brennwertgeräte werden wie konventionelle Heizkessel an das Heizsystem angeschlossen. Dieses ist aber in einigen Punkten an die Besonderheiten der Brennwerttechnik anzupassen. Um möglichst niedrige Rücklauftemperaturen zu erreichen, ist eine Temperaturdifferenz (Spreizung) von 20 °C zwischen Vor- und Rücklauftemperatur anzustreben, d. h., die Pumpenleistung sollte nicht zu hoch eingestellt werden.

Ist ein Mischer erforderlich, so muss ein 3-Wege-Mischer anstelle eines 4-Wege-Mischers verwendet werden. Ein 4-Wege-Mischer regelt die Vorlauftemperatur des Heizkreises, mischt aber gleichzeitig dem Kesselrücklauf heißes Vorlaufwasser bei. Die Rücklaufanhebung, wie diese Erhöhung der Temperatur des Rücklaufwassers genannt wird, verringert die mögliche Kondensation im Heizkessel. Bei einem 3-Wege-Mischer fließt das Rücklaufwasser ohne Temperaturänderung durch den Mischer zum Heizkessel, wodurch die größtmögliche Kondensation erreicht wird.

Auch ein Überströmventil hebt die Rücklauftemperatur an, wenn es öffnet. Das Überströmventil sollte daher stillgelegt werden. Um einen hohen Druck im Rohrsystem und Strömungsgeräusche an den Thermostatventilen zu vermeiden, sollte eine drehzahlgeregelte Pumpe eingebaut werden. Ein zu hoher Luftüberschuss erhöht nicht nur wie bei konventionellen Heizkesseln die Abgasverluste, sondern verdünnt zusätzlich die Abgase, wodurch die relative Feuchte der Abgase sinkt. Gleichzeitig wird der CO₂-Gehalt geringer, sodass die Kondensation erst bei niedrigeren Temperaturen einsetzt (siehe auch Abbildung 3).

Warmwasserbereitung

Es empfiehlt sich, das Warmwasser mit einem Speicher zu bereiten, der vom Brennwertgerät über einen Wärmetauscher beheizt wird. Brennwertgeräte erreichen auch bei der Warmwasserbereitung im Sommer gute Nutzungsgrade. Die Rücklauftemperatur ist aufgrund der Kaltwasser-Einlauftemperatur von ca. + 10 ° C fast immer ausreichend niedrig, um im Kondensationsbetrieb zu arbeiten.

Die Warmwasserspeicher sind wie bei konventionellen Heizkesseln anzuschließen. Die Wärmetauscher der Warmwasserspeicher sollten aber eine große Fläche haben, damit das Heizwasser stark abgekühlt wird. Besonders geeignet sind so genannte Schichtenspeicher. Das kalte Wasser aus dem unteren Bereich des Speichers wird in einem Plattenwärmetauscher erwärmt und von oben in den Speicher „eingeschichtet“. Die Durchmischung mit dem kälteren Wasser im unteren Teil des Speichers ist gering. Dadurch wird das Heizungswasser im Plattenwärmetauscher stark abgekühlt, sodass der Kessel im Kondensationsbetrieb arbeitet.

CE-Zeichen und EG-Konformitätserklärung

Entsprechend der Energieeinsparverordnung dürfen nur noch Heizkessel eingebaut werden, welche mit der CE-Kennzeichnung versehen sind. Das CE-Zeichen bestätigt, dass das Produkt den EU-Richtlinien entspricht, die grundlegende Mindestanforderungen an das Produkt stellen. Produkte mit dem CE-Zeichen dürfen in der EU frei gehandelt und in Betrieb genommen werden, unterliegen keinerlei Verboten, Einschränkungen oder nationalen Regelungen.