



---

## Sachstand

---

### **Energieeffizienz von Wärmepumpen und Beitrag des Sauerstoffs bei fossiler Feuerung**

Einzelfragen zur Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes

**Energieeffizienz von Wärmepumpen und Beitrag des Sauerstoffs bei fossiler Feuerung**  
Einzelfragen zur Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 034/23  
Abschluss der Arbeit: 16. Mai 2023  
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung  
und Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Energie- und Wärmebilanz von Wärmepumpen</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Beitrag des Sauerstoffs bei der fossilen Feuerung</b>	<b>9</b>

## 1. Einleitung

Mithilfe sog. Wärmepumpen wird die Umweltwärme aus Erdreich, Grundwasser oder Luft genutzt, um Gebäude zu beheizen und Warmwasser aufzubereiten. Der **heizenergieerzeugende Vorgang von Wärmepumpen unterscheidet sich grundsätzlich von dem bei fossiler Verbrennung**.

Bei einer Wärmepumpe wird Wärme aus der Umgebung genutzt: Die Wärmepumpe überführt die Umgebungswärme aus Erdreich, Grundwasser oder Luft über einen Wärmetauscher an ein Kältemittel. Dieses Kältemittel hat die Eigenschaft, dass es bereits bei niedrigen Temperaturen siedet. Dies wiederum hat zur Folge, dass schon wenig Wärme das Kältemittel zum Verdampfen bringt (Schritt 1: Verdampfung des Kältemittels). Mithilfe eines Kompressors wird das gasförmige Kältemittel sodann verdichtet. Der Kompressor wird auch als Verdichter bezeichnet (Schritt 2: Verdichtung des Kältemitteldampfes). Bei der Verdichtung erwärmt sich das gasförmige Kältemittel. Diese Wärme wird zur Beheizung des Wohnraums oder des Wassers genutzt. Dabei kühlt sich der Kältemitteldampf wieder ab und verflüssigt (Schritt 3: Abgabe der Wärme und Verflüssigung des Kältemittels). Der Wärmepumpenkreislauf kann von neuem beginnen. Als Kältemittel eignen sich unterschiedliche Stoffe. Für den Transport des Kältemittels im Kreislauf ist eine Pumpe erforderlich, deren Betrieb Energie in Form von Strom benötigt.

Bei der fossilen Verbrennung hingegen stammt Wärme aus der **Verbrennungsreaktion**, d. h. der fossile Brennstoff verbrennt, wodurch Wärme und CO<sub>2</sub> entstehen. Der Sauerstoff, in dessen Anwesenheit dies erfolgt, wird verbraucht; er verbrennt selbst jedoch nicht.

Das Bundeskabinett hat sich am 19. April 2023 auf eine Novellierung u. a. des Gebäudeenergiegesetzes geeinigt (Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung).<sup>1</sup> Dem Gesetzesentwurf zufolge sollen Heizungsanlagen ab dem 1. Januar 2024 nur eingebaut oder aufgestellt werden dürfen, wenn sie **mindestens 65 Prozent der mit der Anlage bereitgestellten Wärme mit erneuerbaren Energien oder unvermeidbarer Abwärme** erzeugen (sog. 65-Prozent-EE-Vorgabe). Der Entwurf hat den 1. Durchgang im Bundesrat passiert.<sup>2</sup>

Die im Gesetzesentwurf geforderte 65-Prozent-EE-Vorgabe soll für jede neu eingebaute Heizungsanlage - unabhängig ob im Bestand oder im Neubau - gelten.<sup>3</sup> **Diese Quote von 65 Prozent ist allerdings eine vereinfachende Zusammenfassung**, da viele in Ansehung des Gesetzesentwurfs zulässige Heizoptionen zum 1. Januar 2024 die Quote von 65 Prozent noch nicht erreichen.

---

1 Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung, BR-Drs. 170/23, <https://dserver.bundestag.de/brd/2023/0170-23.pdf>.

2 Stellungnahme des Bundesrates, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung, BR-Drs. 170/23(B), <https://dserver.bundestag.de/brd/2023/0170-23B.pdf>.

3 Gesetzesentwurf der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung, [BR-Drs. 170/23](https://dserver.bundestag.de/brd/2023/0170-23.pdf), <https://dserver.bundestag.de/brd/2023/0170-23.pdf>, S. 40.

Der Gesetzentwurf führt gemäß seines § 71 verschiedene technologische Möglichkeiten zur Beheizung von Gebäuden aus, darunter beispielsweise auch den Anschluss ans Wärmenetz oder eine strombetriebene Heizung, die beide aktuell **noch keinen Anteil Erneuerbarer Energien von 65 Prozent haben würden**, aber **perspektivisch** diese Quote erreichen und überschreiten sollen. Weiterhin werden elektrisch angetriebene Wärmepumpen, solarthermische Anlagen und Heizungsanlagen zur Nutzung von Biomasse oder grünem und blauem Wasserstoff oder Wärmepumpenhybridheizungen - **ebenfalls losgelöst von einer vordefinierten Quote** an Erneuerbaren Energien - als zulässige Möglichkeiten benannt.<sup>4</sup> Die Wahlmöglichkeit zwischen den verschiedenen Techniken wurde und wird unter dem Schlagwort der „Technologieoffenheit“ diskutiert - und ist im Gesetzentwurf ausdrücklich verankert: „Der Gebäudeeigentümer kann frei wählen, mit welcher Heizungsanlage die Vorgabe nach Absatz 1 erfüllt wird.“ (§ 71 Abs. 2 Satz 1).<sup>5</sup>

Neben den genannten technologischen Optionen wird der **Einbau einer Wärmepumpe mit einem Mindestanteil von 65 Prozent Erneuerbaren Energien an der bereitgestellten Wärme** für zulässig erachtet.

Vor dem Hintergrund der geplanten Gesetzesnovellierung stellt sich die Frage, ob mit Blick auf den sog. Primärenergieaufwand<sup>6</sup> von Wärmepumpen derzeit ein Anteil von 65 Prozent an Erneuerbaren Energien an der produzierten Wärme erreicht werden kann. Darüber hinaus wird nach dem energetischen Anteil des Sauerstoffes beim Heizen mittels fossilen Energieträgern gefragt. In den nachfolgenden Kapiteln werden technische Details zur Energie- und Wärmebilanz von Wärmepumpen erörtert und auf die Rolle des Sauerstoffs beim fossilen Verbrennungsvorgang eingegangen.

## 2. Energie- und Wärmebilanz von Wärmepumpen

Im Neubau sind elektrische Wärmepumpen dem Bundesverband der Verbraucherzentralen zufolge gegenwärtig die am häufigsten installierten Heizungen.<sup>7</sup> Nach Angaben des Statistischen Bundesamtes kommen sie in 50,6 Prozent der 2021 errichteten Neubauten als primäre Heizung zum Einsatz. 2015 habe der Anteil noch bei 31,4 Prozent gelegen.<sup>8</sup>

---

4 <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/kabinettsfassung/geg-20230419.pdf?blob=publicationFile&v=1>.

5 § 71 Abs. 2 des Gesetzentwurfs der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung, <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/kabinettsfassung/geg-20230419.pdf?blob=publicationFile&v=1>.

6 Primärenergieaufwand: Der Primärenergiefaktor ist ein Maß für das Verhältnis von eingesetzter Primärenergie (einschließlich der vorgelagerten Prozesse z.B. bei der Stromerzeugung) zu abgegebener Endenergie. Je höher der Primärenergiefaktor, desto höher ist die notwendige Primärenergie. ([https://www.waermepumpen-portal.de/waermepumpe\\_kennzahlen.html](https://www.waermepumpen-portal.de/waermepumpe_kennzahlen.html)).

7 <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/waermepumpe-alles-was-sie-wissen-muessen-im-ueberblick-5439>.

8 [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22\\_226\\_31121.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/06/PD22_226_31121.html)

---

In Altbauten können Wärmepumpen vor allem dann eine energieeffiziente Heizungsoption sein, wenn die Immobilie energetisch saniert ist, sprich über moderne Fenster und eine zeitgemäße Dämmung der Außenfassade verfügt. Großflächige Heizungen erweisen sich als günstiger gegenüber kleinen Heizkörpern.<sup>9</sup> Eine pauschale Aussage, ob der Einbau einer Wärmepumpe sinnvoll ist, ist jedoch nicht möglich und muss in jedem Einzelfall kalkulatorisch ermittelt werden.

Maßgeblich für die Effizienz einer Wärmepumpe ist die **Jahresarbeitszahl**. Diese legt fest, wie viel Strom die Pumpe benötigt, um eine bestimmte Menge Wärme aus der Umgebungswärme (Luft, Boden, Wasser) zu liefern. Eine Jahresarbeitszahl von 4 bedeutet beispielsweise, dass die Wärmepumpe pro Kilowattstunde Strom im Schnitt vier Kilowattstunden Wärme ans Haus abgibt.

Die Jahresarbeitszahlen verfügbarer Pumpen können gemäß den Berechnungen des Umweltbundesamtes in Bereichen liegen, so dass die erzeugte Wärme zu mindestens 65 Prozent erneuerbar ist (vgl. hierzu Abb. 2). Die Technik hierfür ist somit prinzipiell verfügbar. Grundsätzlich unterscheidet sich die Energieeffizienz von Wärmepumpen aber auch abhängig vom genutzten Umweltmedium: In Neubauten erzielen Luftwärmepumpen mittlere Jahresarbeitszahlen<sup>10</sup> von 2,6 bis 3,3. Dagegen schneiden Erdwärmepumpen besser ab, mit mittleren Jahresarbeitszahlen in Neubauten von 3,2 bis 4,3. Die Arbeitszahlen von Grundwasser-Wärmepumpen fallen in etwa ähnlich wie bei Erdwärmepumpen aus.<sup>11</sup> Die Verbraucherzentrale Nordrhein-Westfalen gibt leicht andere, jedoch in der Tendenz ähnliche Werte an, die folgender Grafik entnommen werden können.

---

9 <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/waermepumpe-alles-was-sie-wissen-muessen-im-ueberblick-5439>.

10 Energieeffizienz von Wärmepumpen in Bezug auf die Kühlfunktion im Ganzjahresbetrieb; Quotient aus Jahres-Heizwärmeabgabe und Jahres-Elektroenergieaufnahme.

11 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#Umwelt>.

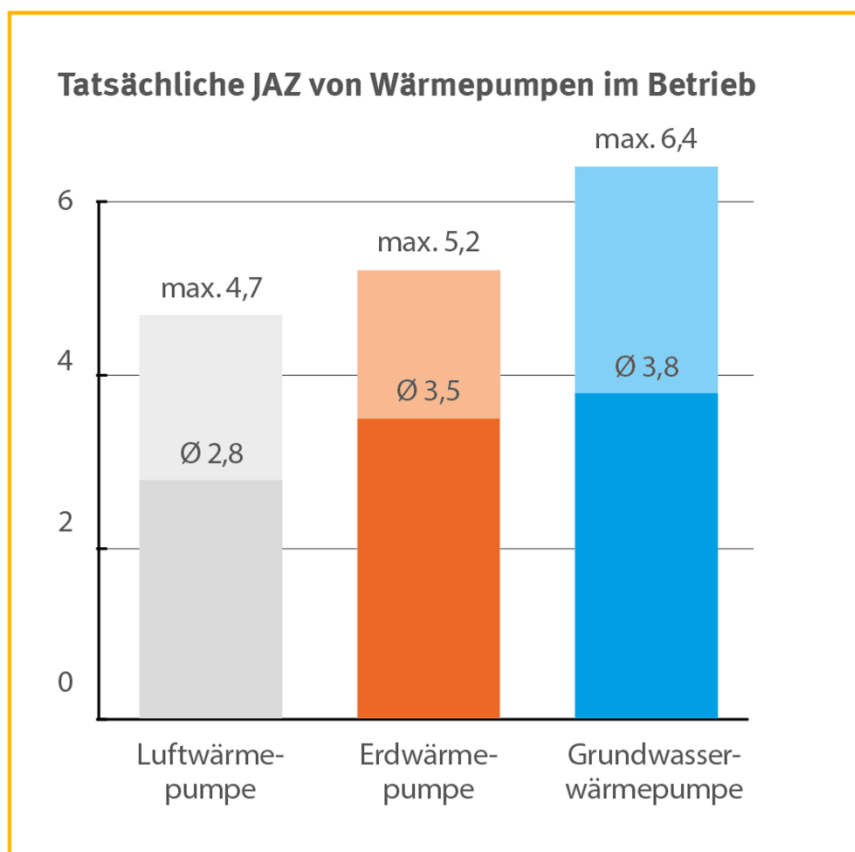


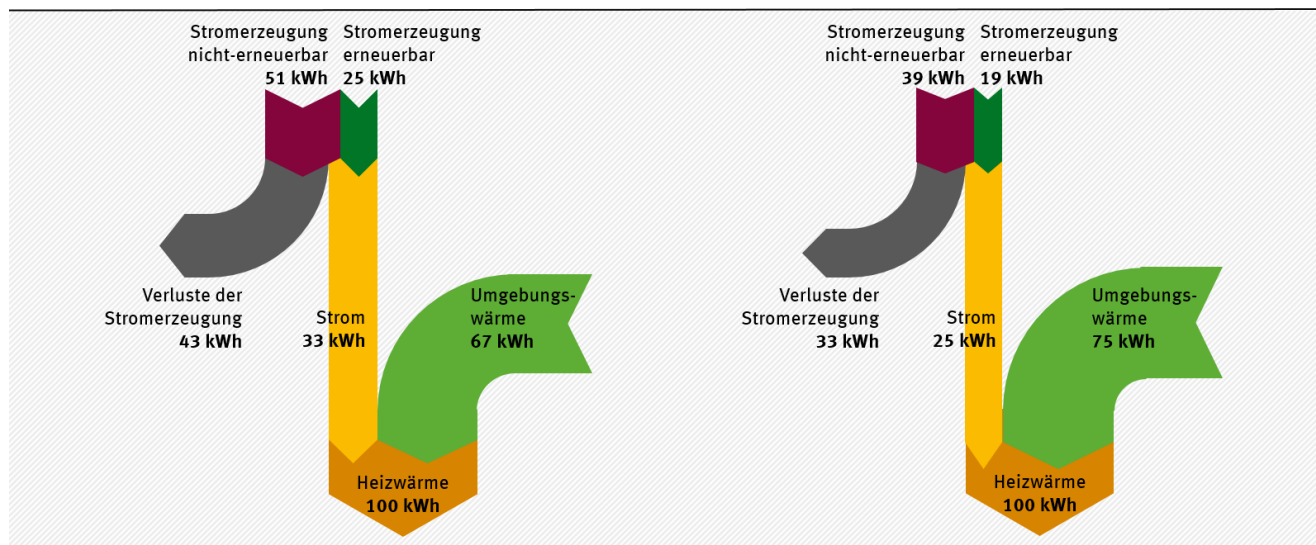
Abb. 1: Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen je nach verwendetem Medium<sup>12</sup>

Einen Überblick über die Verluste an Primärenergie bei der Wärmeerzeugung mithilfe einer Wärmepumpe gibt eine Analyse des Umweltbundesamtes: Damit eine Wärmepumpe zum Beispiel 100 kWh Heizwärme erzeugt, braucht sie bei einer Jahresarbeitszahl von 3,0 insgesamt 67 kWh Umgebungswärme und 33 kWh Strom. Für den benötigten Antriebsstrom müssen beim Strommix des Jahres 2021 in Summe 76 kWh Primärenergie eingesetzt werden, davon sind 51 kWh nicht-erneuerbar und 26 kWh aus erneuerbaren Energien. Bei einer Jahresarbeitszahl von 4,0 sind es nur noch 58 kWh Primärenergie.<sup>13</sup> Je höher der Anteil erneuerbarer Energien im Strommix, desto besser fällt die Bilanz aus.

12 <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/waermepumpe-alles-was-sie-wissen-muessen-im-ueberblick-5439>.

13 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen#Umwelt>.

### Elektro-Wärmepumpe: Energiebilanz



Energiebilanz elektrischer Wärmepumpen mit Jahresarbeitszahl 3,0 (links) und 4,0 (rechts).

Datensatz für Stromerzeugung: <https://www.probas.umweltbundesamt.de, Prozess „Netz-el-DE-lokal-HH/KV-2020“>

Quelle: Umweltbundesamt

Abb. 2: Energiebilanz von Wärmepumpen abhängig vom Strommix und der Jahresarbeitszahl<sup>14</sup>

Die Ermittlung der Effizienz im verbauten Zustand erfolgt gemäß dem Gesetzentwurf<sup>15</sup> bei Installation nach DIN V 18599: 2018-09<sup>16</sup>. Der Gesetzentwurf sieht vor, dass die Effizienz vor Inbetriebnahme durch eine berechtigte Person nachgewiesen wird. Der Nachweis ist vom Eigentümer und vom Aussteller mindestens zehn Jahre aufzubewahren und der nach Landesrecht zuständigen Behörde sowie dem bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger auf Verlangen vorzulegen.<sup>17</sup>

Ob eine Wärmepumpe im Einzelfall in eine neue Immobilie eingebaut werden kann und den Schwellenwert von 65 Prozent überschreitet, ist von weiteren Gegebenheiten wie den baulichen Voraussetzungen und der Zahl der Bewohnenden, der Dämmung der Gebäudehülle etc. abhängig und im konkreten Einzelfall gemäß DIN-Norm zu prüfen.<sup>18</sup> In Fällen, in denen eine Wärmepumpe

14 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waerme-pumpen#Umwelt>.

15 § 71 Abs. 2 des Gesetzentwurfs der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung, <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/kabinettsfassung/geg-20230419.pdf? blob=publicationFile&v=1>.

16 <https://www.beuth.de/de/vornorm/din-v-18599-1/293515783>.

17 § 71 Abs. 2 des Gesetzentwurfs der Bundesregierung, Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes, zur Änderung der Heizkostenverordnung und zur Änderung der Kehr- und Überprüfungsordnung, <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/gesetzgebungsverfahren/Webs/BMWSB/DE/Downloads/kabinettsfassung/geg-20230419.pdf? blob=publicationFile&v=1>.

18 <https://www.beuth.de/de/vornorm/din-v-18599-1/293515783>.



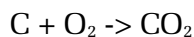
allein keine effiziente Heizmöglichkeit bietet und das 65 Prozent-Kriterium nicht erfüllt werden kann, sieht der Gesetzentwurf zahlreiche weitere Heiztechniken (Fernwärme, strombetriebene Heizung, Solarthermie, Hybridtechnik etc.) vor, die einen höheren Anteil an erneuerbaren Energien haben als eine rein fossil betriebene Heizung, aber auch nicht per se das 65 Prozent-Kriterium erfüllen müssen (siehe Einleitung). Solange weniger Kohlendioxid je Kilowattstunde emittiert wird, vermindert das gleichwohl den Treibhausgasausstoß verglichen mit einer fossil betriebenen Heizung.

### 3. Beitrag des Sauerstoffs bei der fossilen Feuerung

Grundsätzlich **verbrennt Sauerstoff bei der fossilen Feuerung selbst nicht**. Im Folgenden wird weitergehend und im Detail darauf eingegangen, ob und in welcher Höhe der Energiegehalt des Sauerstoffs bei der Verbrennung fossiler Energieträger zur Wärmeerzeugung beiträgt.

Bei der Verbrennung fossiler Energieträger – Kohle, Erdöl oder Gas – reagieren diese mit dem Sauerstoff der Luft vor allem zu Kohlendioxid. Dabei muss die Sauerstoffdoppelbindung des Sauerstoffmoleküls mit einer Bindungsenergie von 498,4 kJ/mol<sup>19</sup> aufgebrochen werden, was durch Zufuhr von thermischer Energie (Hitze) geschieht. Genauso muss die C-C-Bindung etwa im Energieträger Kohle gelöst werden. Kohlenstoff liegt in der Kohle überwiegend in der Modifikation des Graphit vor.<sup>20</sup> In dieser Modifikation beträgt die Kohlenstoff-Kohlenstoffbindungsenergie 614 kJ/mol. Bei der Verbrennung entstehen schließlich je Molekül Kohlendioxid zwei Kohlenstoff-Sauerstoffdoppelbindungen mit einer Bindungsenergie von jeweils 745 kJ/mol.

Die freiwerdende Energie bei der Verbrennung von Kohle mit Sauerstoff lässt sich über die Summe der Bindungsenergien abschätzen: Die Bindungsenergien der Ausgangsstoffe (hier: Kohlenstoff in der Modifikation des Graphit und Sauerstoff) sind von den Bindungsenergien im Produkt (hier: Kohlendioxid) abzuziehen:



Freiwerdende Energiemenge =  $(2 \times -745 \text{ kJ/mol}) - (-498,4 \text{ kJ/mol} - 610 \text{ kJ/mol}) = -381,6 \text{ kJ/mol}$

Je Mol entstehendem Kohlendioxid werden demnach ungefähr 381,6 Kilojoule an Wärme frei.

Alternativ bietet sich folgende Betrachtung an: Die freigesetzte Energiemenge bei chemischen Reaktionen, die so genannte **Reaktionsenthalpie**, wird auch mithilfe der Bildungsenthalpie berechnet. Damit man Reaktionsenthalpien beliebiger Reaktionen berechnen kann, benötigt man die molare Standard-Bildungsenthalpie. Sie ist die molare Reaktionsenthalpie für die Bildung eines Mols einer Verbindung aus den Elementen unter Standardbedingungen (298K, 1013hPa). Bei Elementen ist die molare Standard-Bildungsenthalpie definitorisch gleich Null. Die Bildungsenthalpien je Mol von vielen Verbindungen wurden gemessen und sind in chemischen Nachschlagwerken zu finden. Für die Reaktion von Kohlenstoff mit Sauerstoff zu Kohlendioxid lässt sich eine Reaktionsenthalpie von -394 kJ/mol nachschlagen, was in etwa dem obigen Schätzwert von

---

19 kJ= Kilojoule (1kJ=1000 Joule), Maßeinheit für Energie; mol= Stoffmenge mol (SI-Einheit).

20 <https://www.chemie.de/lexikon/Kohlenstoff.html>.

- 381,6 kJ/mol entspricht. Es werden also 394 Kilojoule Wärme je Mol entstehendem Kohlendioxid frei (- 394 kJ/mol). Die Verbrennung verläuft folglich unter Wärmefreisetzung, nachdem Wärme zum Aufbrechen der C-C und O-O-Doppelbindung zugeführt worden ist.

Sauerstoff allein steuert keine Heizwärme bei. Vielmehr erfordert das Aufbrechen der Sauerstoff-Sauerstoffbindung Energie. Eine Umsetzung von fossilen Energieträgern ist auch in anderen Medien als Sauerstoff, etwa Wasserdampf, möglich und wird in der chemischen Industrie auch praktiziert.

\*\*\*