

Fachbericht

Ökobilanzen von Wärmeerzeugern mit Leistungen von 50 kW bis 500 kW

Katrin Scharte, Hanna Seefeldt, Marco K. Koch

Ruhr-Universität Bochum
Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft

Oktober 2016

Das diesem Bericht zugrunde liegende Forschungsvorhaben „Begleitforschung des Wettbewerbs
„Energieeffiziente Stadt““ wird mit den Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung
(BMBF) unter dem Förderkennzeichen 03SF0415A gefördert.



Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	3
2	Grundlagen.....	4
2.1	Methode der Ökobilanzierung	4
2.1.1	Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens	4
2.1.2	Sachbilanz	5
2.1.3	Wirkungsabschätzung	6
2.1.4	Auswertung	7
2.2	Eigenschaften unterschiedlicher Wärmeerzeuger.....	7
2.2.1	Gas- und Öl-Kessel	7
2.2.2	Holz-Heizkessel	8
2.2.3	Wärmepumpen.....	8
2.2.4	Kraft-Wärme-Kopplung.....	8
2.2.5	Solarkollektoren.....	9
3	Ermittlung der Ökobilanzen.....	10
3.1	Ziel und Untersuchungsrahmen	10
3.1.1	Systemgrenzen	10
3.1.2	Funktionelle Einheit.....	12
3.1.3	Allokation.....	12
3.1.4	Datenqualität	13
3.1.5	Indikatoren zur Bewertung der Umweltauswirkungen	13
3.2	Sachbilanz.....	14
3.2.1	Beschreibung der recherchierten Datensätze und Heizkessel	14
3.2.2	Daten zum KEA und zu THG-Emissionen	16
3.3	Wirkungsabschätzung.....	18
3.3.1	Wirkungsabschätzung über den gesamten Lebenszyklus	18
3.3.2	Wirkungsabschätzung der Herstellungs- und Nutzungsphase	19
3.3.3	Bewertung der Datenqualität.....	20
3.4	Auswertung.....	21
3.4.1	Vergleich der Ergebnisse	21
3.4.2	Untersuchung der Anteile der Lebenszyklusphasen	22
4	Fazit.....	24
5	Literaturverzeichnis.....	25

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung
BHKW	Blockheizkraftwerk
COP	Coefficient of Performance (Leistungszahl)
GEMIS	Globales Emissionsmodell integrierter Systeme, Datenbank zur Umwelt- und Kostenanalyse von Energie-, Stoff- und Verkehrssystemen
GWP	Global Warming Potential
IINAS	Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien
ISO	Organization for Standardization
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KEA _{erneuerbar}	Energetisch und stofflich verwendete erneuerbare Primärenergie
KEA _{gesamt}	Energetisch und stofflich verwendete erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergie
KEA _{nicht erneuerbar}	Energetisch und stofflich verwendete nicht erneuerbare Primärenergie
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
ÖKOBAUDAT	Datenbank zur Bestimmung ökologischer Wirkungen im Lebenszyklus von Baumaterialien, Bau- und Transportprozessen
PENRT	Energetisch und stofflich verwendete nicht erneuerbare Primärenergie
PERT	Energetisch und stofflich verwendete erneuerbare Primärenergie
P _N	Nennleistung
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
THG	Treibhausgas
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.

1 Einführung

Die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudebereich ist eine relevante Maßnahme zur Erreichung der von der Bundesregierung im Energiekonzept 2010 festgelegten Ziele zur Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 50% gegenüber 2008 und der Treibhausgas-Emissionen (THG) um 80% gegenüber 1990 sowie zur Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 60% jeweils bis 2050. Die Bundesregierung hat daher das Ziel, die Sanierungsrate von weniger als 1%/a auf 2%/a zu erhöhen. [BUN2010]

Eine Maßnahme der energetischen Sanierung ist der Austausch von bestehenden gegen energieeffizientere Wärmeerzeuger. Insbesondere bei großen Mehrfamilienhäusern sowie Nichtwohngebäuden können durch diese Maßnahme hohe Einsparungen erreicht werden. Unklar ist jedoch, wie hoch der Primärenergiebedarf und die THG-Emissionen im Vergleich unterschiedlicher Wärmeerzeuger sind, insbesondere wenn der gesamte Lebenszyklus, also die Herstellung, Nutzung und Entsorgung, in die Betrachtung einbezogen wird. Solche Lebenszyklusanalysen unterschiedlicher Wärmeerzeuger in einem Leistungsbereich von 50 kW bis 500 kW sind das Ziel der nachfolgenden Untersuchung. Um Daten zum Primärenergieverbrauch und zu den THG-Emissionen über den ganzen Lebenszyklus zu erhalten, werden Ökobilanz-Daten recherchiert und verglichen.

Ökobilanzen sind eine Methode zur Analyse von Umweltwirkungen im Lebenszyklus unterschiedlicher Produkte. Ein Produkt kann dabei eine Dienstleistung, eine Software, eine Hardware oder ein verfahrenstechnisches Produkt sein. Die ersten Ökobilanzen wurden bereits in den 1970er Jahren in den USA durchgeführt und befassten sich mit Getränkeverpackungen. Umweltpolitische Hintergründe des Einsatzes von Ökobilanzen waren verstärkte Abfallprobleme, Engpässe in der Energieversorgung und zudem die Erkenntnis, dass die Ressourcen endlich sind. 1993 wurden die Richtlinien „Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice“ von der Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) veröffentlicht. Infolgedessen definierte die International Organization for Standardization (ISO) in den Normen ISO 14040 und 14044 die Methoden, um eine Ökobilanz zu erstellen, sodass heute weltweit einheitliche Normen zur Erstellung einer Ökobilanz vorliegen. Während die Norm ISO 14040 die Grundsätze und Rahmenbedingungen für eine Ökobilanz beschreibt, werden in ISO 14044 die Anforderungen und Methoden zur Erstellung einer Ökobilanz dargelegt. [DEU2006] [KLÖ2009]

Die nachfolgende Untersuchung wird in Anlehnung an diese Normen durchgeführt. Dabei gliedert sich die Untersuchung nach der Darstellung von Grundlagen entsprechend der Schritte zur methodischen Erarbeitung einer Ökobilanz. Diese sind die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung.

2 Grundlagen

Im Folgenden wird als Grundlage zur Ermittlung der Ökobilanzen die Methode der Ökobilanzierung, wie sie in dieser Untersuchung angewendet wird, kurz erläutert sowie eine Übersicht über häufig eingesetzte Wärmeerzeuger gegeben. Ebenso wie die nachfolgende Untersuchung orientiert sich die Beschreibung der Methode an den zur Untersuchung durchzuführenden Bearbeitungsschritten.

2.1 Methode der Ökobilanzierung

2.1.1 Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens

In der ersten Phase einer Ökobilanz müssen das Ziel der Untersuchung und der Untersuchungsrahmen festgelegt und auf die beabsichtigte Anwendung abgestimmt werden. Der Untersuchungsrahmen charakterisiert das zu untersuchende Produktsystem und dessen Funktionen, die Systemgrenzen sowie die funktionelle Einheit und die Datenverfügbarkeit und Tiefe der Studie. Dies ist relevant, um möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Nur durch die Nennung von Systemgrenzen und Rahmenbedingungen, unter denen die Untersuchung durchgeführt wird, können die Ergebnisse durch Dritte objektiv bewertet werden. [DEU2006], [DEU2009], [KLÖ2009]

Systemgrenzen

Produktsysteme sind in die Technosphäre und in die Umwelt integriert. Da bei der Erstellung der Ökobilanz der gesamte Lebensweg eines Produkts betrachtet wird, können die Input- und Outputdaten sehr unübersichtlich werden, wenn das System nicht zu der Umgebung abgegrenzt wird. Das macht es notwendig, Systemgrenzen zu ziehen. Zu dem Produktsystem gehören zum Beispiel die Gewinnung von Rohstoffen, die Inputs und Outputs der wesentlichen Herstellungs- und Verarbeitungsschritte, Vertrieb und Transport, Erzeugung und Verwendung von Energieträgern, Elektrizität und Wärme, die Verwendung und Instandhaltung von Produkten, die Abfallbeseitigung, die Verwertung gebrauchter Produkte, die Herstellung von Betriebsstoffen und Produktionsanlagen und zusätzliche Prozesse, wie beispielsweise Beleuchtung und Heizung. [DEU2009], [KLÖ2009]

Weitere Festlegungen umfassen die geografische und die zeitliche Systemgrenze. Die geografische Systemgrenze beschreibt die Region, auf die sich die Ökobilanz bezieht, während die zeitliche Systemgrenze den Zeithorizont bestimmt. Dies kann das Bezugsjahr der Ökobilanz oder die Lebens- oder Gebrauchsdauer des Produkts sein. [KLÖ2009]

Funktionen und funktionelle Einheit

Durch Ökobilanzen können Produktsysteme mit vergleichbarem Nutzen miteinander verglichen werden. Dazu ist eine eindeutige Beschreibung erforderlich. Die funktionelle Einheit gibt eine Bezugsgröße an, auf die die Input- und Outputdaten normiert werden. Sie muss eindeutig definiert und messbar sein, daher wird ein Referenzfluss festgelegt. Bei einem Vergleich von Getränkeverpackungen in

unterschiedlichen Größen könnte die funktionelle Einheit beispielsweise die Bereitstellung von 1.000 Litern Flüssigkeit sein. [DEU2006], [KLÖ2009]

2.1.2 Sachbilanz

In der Sachbilanz werden die Inputs und Outputs eines Produkts im Verlauf seines Lebenswegs zusammengestellt und quantifiziert. Sie ist eine Stoff- und Energieanalyse. Die Datenerhebung, die in dieser Phase erfolgt, kann gegebenenfalls sehr aufwendig sein. Falls spezifische Daten fehlen, können auch Abschätzungen auf der Basis von theoretischen Daten durchgeführt werden. Dies muss angegeben werden, genauso wie alle anderen Datenquellen. [DEU2006], [DEU2009], [KLÖ2009]

Allokation

Im Fall der Erzeugung von Koppelprodukten werden die über den Lebensweg auftretenden Umweltbelastungen den jeweiligen Produkten durch Allokation zugeordnet. Koppelprodukte sind Nebenprodukte, die während eines Prozesses entstehen. Die Allokation kann anhand unterschiedlicher Produktmerkmale, wie z. B. Masse, Energie oder Geldwert der Produkte erfolgen. Bei einer Allokation nach Masse werden die Inputs und Outputs den Massenverhältnissen der entstehenden Koppelprodukte entsprechend aufgeteilt. Weitere Allokationsverfahren, die in Ökobilanzen angewendet werden, sind die Allokation nach Molmasse oder Brennwert. [DEU2006], [DEU2009], [KLÖ2009]

Datenerfassung, Datenherkunft und Datenqualität

Eine Ökobilanz besteht aus Primärdaten, generischen Daten und, falls beides nicht verfügbar ist, Abschätzungen. Generische Daten werden durch ein Modell erstellt und basieren auf technischem Wissen, vgl. [KLÖ2009]. Generische Daten für eine Vielzahl von Produkten sind in Datenbanken verfügbar. Die für die nachfolgenden Untersuchungen eingesetzten Datenbanken sind das Globale Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS) und ÖKOBAUDAT. GEMIS entstand 1989 und wird zur Umwelt- und Kostenanalyse von Energie-, Stoff- und Verkehrssystemen benutzt. Herausgeber von GEMIS ist das Internationale Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und -strategien (IINAS). [INT2015B]

Die Baustoffdatenbank ÖKOBAUDAT wird vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zur Verfügung gestellt. Sie dient zur Bestimmung ökologischer Wirkungen im Lebenszyklus von Baumaterialien, Bau- und Transportprozessen. [BUN2015B]

Energieanalyse

Die Bewertung des Energieaufwands ist ein wichtiger Bestandteil der Sachbilanz, da Umweltprobleme häufig mit der Energieversorgung und dem Energieverbrauch verbunden sind. Dabei wird als kumulierter Energieaufwand (KEA) die Primärenergie berücksichtigt, die stofflich und energetisch benötigt wird, um die Endenergie bereitzustellen. Der KEA setzt sich aus den Energiebeträgen zusammen, die

zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes benötigt werden, und berücksichtigt somit den gesamten Lebensweg. In einer Ökobilanz werden häufig der $KEA_{\text{erneuerbar}}$, der den Einsatz erneuerbarer Energien umfasst und der $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$, der die fossilen Energieträger und anderweitige Energieressourcen berücksichtigt, unterschieden. [KLÖ2009]

2.1.3 Wirkungsabschätzung

Die Wirkungsabschätzung umfasst die Bewertung und Analyse der Größe und Bedeutung von potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems. Verbindliche Bestandteile der Wirkungsabschätzung sind nach [DEU2009]:

- die Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen,
- die Klassifizierung,
- die Charakterisierung,
- die Analyse der Datenqualität.

Auswahl der Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle

Wirkungskategorien dienen der strukturierten Bewertung von Umweltauswirkungen, unterteilt nach den jeweiligen Arten der Umweltauswirkungen. Es gibt keine feste Liste von Wirkungskategorien, ihre Auswahl erfolgt durch den Ersteller der Ökobilanz in Übereinstimmung mit dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen. Beispiele für Wirkungskategorien sind nach SETAC: Verbrauch abiotischer Ressourcen, Verbrauch biotischer Ressourcen und Naturraumbeanspruchung, Klimaänderung, stratosphärischer Ozonabbau, Bildung von Photooxidantien, Versauerung und Eutrophierung.

Der Wirkungsindikator soll die Wirkungen von Inputs und Outputs im Hinblick auf eine Wirkungskategorie darstellen. Hierfür dienen von Experten berechnete Charakterisierungsfaktoren. So wird zum Beispiel für die Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ der Indikator „Global Warming Potential“ (GWP) genutzt. Das GWP wird in kg CO₂ gemessen. Der Charakterisierungsfaktor gibt somit den Umrechnungsparameter wider, der das Verhältnis des Potenzials zur globalen Erwärmung von anderen Emissionen, wie beispielsweise Methan, zu dem Treibhausgas (THG) CO₂ beschreibt. Unter Berücksichtigung aller THG-Emissionen und ihrer Charakterisierungsfaktoren ergibt sich der Wirkungsindikator, die CO₂-äquivalenten Emissionen.

Eine unterstützende Größe zur Bewertung von Energiesparmaßnahmen ist der KEA. Er stellt selbst keinen Wirkungsindikator dar, doch er ergänzt die in den Wirkungskategorien Ressourcenverbrauch und Klimaänderung enthaltenen Informationen und wird zum Vergleich von Produktsystemen eingesetzt. [DEU2006], [FAS2001], [KAL2015], [KLÖ2009]

Klassifizierung, Charakterisierung und Analyse der Datenqualität

Die Klassifizierung entspricht der Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den ausgewählten Wirkungskategorien. Dabei wird berücksichtigt, dass es sowohl Sachbilanzergebnisse gibt, die einer ein-

zigen Wirkungskategorie zugeordnet werden können, als auch Sachbilanzergebnisse, die sich auf mehrere Wirkungskategorien beziehen. [DEU2006], [KAL2015]

Im Rahmen der Charakterisierung werden die Wirkungsindikatorwerte berechnet. Hierzu werden die Sachbilanzergebnisse unter Einsatz der Charakterisierungsfaktoren in gemeinsame Einheiten umgerechnet. [DEU2006], [KLÖ2009]

Im Fall des Einsatzes von Datenbanken werden die Umweltwirkungen durch die Wirkungsindikatoren direkt angegeben. Sowohl die Klassifizierung als auch die Charakterisierung erfolgen bereits bei der Berechnung der Datensätze. Daher sind sie kein direkter Bestandteil der nachfolgenden Untersuchung. Die Analyse der Datenqualität ist dabei behilflich zu erkennen, ob wesentliche Unterschiede in den Ergebnissen der Wirkungsabschätzung vorhanden sind, und um vernachlässigbare Sachbilanzergebnisse zu identifizieren. [DEU2006], [KLÖ2009]

2.1.4 Auswertung

In der Auswertung einer Ökobilanz werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gemeinsam betrachtet. Die Ergebnisse der Auswertung sollten dem Ziel und dem Untersuchungsrahmen entsprechen. Der Zweck dieser Phase liegt darin, aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen zu ziehen, Einschränkungen zu erläutern und Empfehlungen auszusprechen. [DEU2006]

2.2 Eigenschaften unterschiedlicher Wärmeerzeuger

2.2.1 Gas- und Öl-Kessel

Gas und Öl sind die am häufigsten zur Beheizung eingesetzten Brennstoffe. Ein Großteil konventioneller Heizkessel wird mit diesen Energieträgern betrieben. Die hierbei genutzten Kesselarten umfassen Standardkessel, Niedertemperatur- und Brennwertkessel. [FIT2005], [MAY2009], [REC2013]

Standardkessel sind Kessel, die Vorlauftemperaturen von über 70°C aufweisen. Um den Nutzungsgrad zu steigern, wurde die Niedertemperaturtechnologie entwickelt. Bei Niedertemperaturkesseln fällt die Abgastemperatur mit der im Teillastbetrieb sinkenden Kesseltemperatur ab. Dadurch verringern sich die Abstrahlungs- und Bereitschaftsverluste, was zu einer Erhöhung des Wirkungsgrads führt. Niedertemperaturkessel können Leistungen bis zu 10 MW erbringen. Ihre Nutzungsgrade liegen zwischen 91% und 96%. [FIT2005] [REC2013]

Demgegenüber wird bei der Brennwerttechnologie zusätzlich die Verdampfungswärme des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfs teilweise genutzt. Durch die Kondensation des Wasserdampfs wird die darin gebundene Verdampfungsenthalpie nutzbringend an das Kesselwasser abgegeben. Dadurch kann bei Gaskesseln der Nutzungsgrad um 10% bis 14% gegenüber Niedertemperaturkesseln verbessert werden, bei Ölkesseln verbessert er sich um 7% bis 10%. Die geringere Verbesserung der Öl-Brennwertkessel ist auf den geringeren Wasserstoffgehalt des Öls zurückzuführen. Insgesamt kann der Wirkungsgrad von Brennwertkesseln bei bis zu 109% liegen, was aus der heizwertbezogenen Be-

rechnung des Wirkungsgrades und der teilweisen Nutzung der Verdampfungswärme des Wassers resultiert. [FIT2005], [KLÖ2009], [MAY2009], [Rec2013]

2.2.2 Holz-Heizkessel

Biomasse gilt häufig als CO₂-neutraler Brennstoff, da bei vollständiger Verbrennung unter idealen Bedingungen so viel CO₂ freigesetzt wird, wie auch bei der natürlichen Verrottung der Pflanzen entstehen würde. [MAY2009], [REC2013], [SCH2012]

Als Brennstoff von Biomasse-Heizkesseln wird hauptsächlich Holz verwendet. Holz wird unter anderem in Form von Pellets oder Hackschnitzeln eingesetzt. Da über eine elektronische Steuerung ein optimales Verhältnis von Verbrennungsluft, Brennstoffmenge und Betriebstemperatur hergestellt wird, weisen Holzpellet-Kessel niedrige Abgastemperaturen und im Fall von Niedertemperaturkesseln einen feuerungstechnischen Wirkungsgrad von über 90% auf. Außerdem sind die Schadstoff- und Feinstaubemissionen im Verhältnis zu anderen Festbrennstoffkesseln sehr niedrig. Holzhackschnitzel-Kessel haben gegenüber den Pelletkesseln den Nachteil, dass mehr Platz für die Lagerung des Brennstoffs benötigt wird. Entsprechend eignen sie sich nur bedingt für den Einsatz zur Wärmeerzeugung in kleinen Heizungssystemen. [PIS2013]

2.2.3 Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe entzieht der Umgebung Wärme und gibt diese zum Heizen auf einem höheren Temperaturniveau wieder ab. Zum Einsatz kommen unter anderem die Wärmequellen Luft, Grundwasser, Erdreich und Prozesswärme.

Die Wärme wird auf ein Kältemittel übertragen, das in einem geschlossenen Kreisprozess die Umgebungswärme aufnimmt und an das Heizmedium abgibt. Die Kompressionswärmepumpe erhöht die Temperatur des durch die Umgebungswärme verdampften Kältemittels durch Kompression unter Einsatz elektrischer Energie. In einem Kondensator gibt das Kältemittel die Wärme ab und wechselt dabei in den flüssigen Aggregatzustand. Da maximale Temperaturen von 60°C erreicht werden, erfolgt der Einsatz vor allem bei Niedertemperatur-Heizungssystemen. Nach der Expansion wird das Kältemittel erneut dem Verdampfer zugeführt. [PIS2013]

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird durch die Leistungszahl (COP) charakterisiert. Sie gibt das Verhältnis zwischen der von der Wärmepumpe abgegebenen Wärmeleistung zu der zugeführten elektrischen Antriebsleistung an. Die Leistungszahlen liegen je nach Art der Wärmepumpe etwa in einem Bereich zwischen 1,8 und 5,8. [PIS2013], [REC2013]

2.2.4 Kraft-Wärme-Kopplung

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bezeichnet Systeme, die gleichzeitig Nutzwärme und elektrische Energie erzeugen. Die durch KWK erzeugte Wärme fließt zu 90% in Fernwärmenetze und zu 10% in Nahwärmenetze oder Einzelgebäude. Anlagen zur KWK können in drei Größen eingeteilt werden.

Kleine BHKWs werden zur Strom- und Wärmeversorgung von Ein- oder Mehrfamilienhäusern eingesetzt. Sie haben einen Leistungsbereich zwischen 5 kW und 100 kW. Bei großen Blockheizkraftwerken (BHKWs) handelt es sich um KWK-Anlagen, die vorwiegend den Wärmebedarf von Siedlungen, Industriebetrieben und Gewerbegebieten decken. Ihre Generatoren werden mit Dieselmotoren oder Gas betrieben. Die Nennleistung dieser Anlagen beträgt etwa 100 kW bis 10 MW. Zudem gibt es Heizkraftwerke, die Städte oder Industrieanlagen über ein Fernwärmenetz mit Wärme und außerdem auch mit Strom versorgen. Sie liegen in einem Leistungsbereich von etwa 50 MW bis zu mehreren hundert MW. [MAY2009], [PIS2013], [REC2013], [WES2013]

2.2.5 Solarkollektoren

Solarkollektoren wandeln das Sonnenlicht in Wärme um und übertragen diese auf einen Wärmeträger. Sie werden hauptsächlich zur Trinkwassererwärmung benutzt, aber sie können auch ergänzend zur Heizungsunterstützung eingesetzt werden.

Der Wirkungsgrad von Solarkollektoren wird durch optische und thermische Verluste beeinflusst. Die optischen Verluste betragen ca. 15%. Sie entstehen durch Reflexion der Strahlung an der Glasscheibe oder an dem Absorber des Kollektors sowie durch Transmission der Wärme durch die Kollektorabdeckung. Die Höhe der thermischen Verluste ist von der Differenz zwischen der Absorbtemperatur und der Umgebungstemperatur abhängig. Die Systemnutzungsgrade von solarthermischen Anlagen liegen zwischen 30% und 40%. In Deutschland ergeben sich somit Wärmeerträge von 350 kWh/(m²a) bis 500 kWh/(m²a). [PIS2013], [REC2013]

3 Ermittlung der Ökobilanzen

Die Erarbeitung der Ökobilanzen in den nachfolgenden Abschnitten beruht auf den dargelegten Grundlagen. Nach der Bestimmung des Ziels und Untersuchungsrahmens mit Festlegung der Systemgrenzen der Untersuchung erfolgt im Rahmen der Sachbilanz die Benennung und Bilanzierung der Produkte. Jedoch können die weiteren Bearbeitungsschritte zur Erstellung der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung, wie bereits in Abschnitt 2.1 erläutert, vereinfacht werden, indem auf bereits bestehende Datensätze für unterschiedliche Produkte zurückgegriffen wird. Die Datenbanken umfassen für jedes Produkt sowohl Daten der Sachbilanzen als auch der Wirkungsabschätzungen für die Herstellung, Nutzung und/oder Entsorgung. Die Bearbeitungsschritte der Klassifizierung und Charakterisierung der Ergebnisse der Sachbilanz sind somit nicht erforderlich.

3.1 Ziel und Untersuchungsrahmen

In die nachfolgende Untersuchung werden häufig eingesetzte Wärmeerzeuger aufgenommen, die in großen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden eingesetzt werden. Der berücksichtigte Leistungsbereich umfasst Wärmeerzeuger mit Leistungen zwischen 50 kW und 500 kW.

Um Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Bilanzierungsmethoden der verwendeten Datenbanken zu erläutern, werden im Folgenden Methoden und Annahmen aus GEMIS und ÖKOBAUDAT einander gegenübergestellt. Dieser Vergleich ist die Grundlage für die Festlegung des Untersuchungsrahmens der Ökobilanzen. Er berücksichtigt die Systemgrenzen, die funktionelle Einheit, die Allokation, die Datenqualität und die relevanten Umweltindikatoren.

3.1.1 Systemgrenzen

In ÖKOBAUDAT wird die Ökobilanz nach DIN EN 15804 in verschiedene Phasen eingeteilt. Dies sind die Herstellungsphase, die Nutzungsphase, die Entsorgungsphase sowie Gutschriften und Lasten außerhalb der Systemgrenzen. [DEU2013], [PEI2013]

Die Herstellungsphase umfasst die Bereitstellung von allen Stoffen, Produkten und Energien, die in das System Material- und Energieinputs liefernden Prozesse, auf diese Prozesse folgende Herstellungs- und Transportprozesse bis zum Werkstor sowie die Behandlung aller Abfälle, die durch diese Prozesse entstehen. Die Nutzungsphase beinhaltet den Energieeinsatz zum Betrieb des Wärmeerzeugers inklusive der Behandlung und des Transports von Abfällen, die beim Energieeinsatz entstehen. Nicht inbegriffen sind die Inspektion, Wartung und Reinigung, die Reparatur, der Austausch oder Ersatz eines Bauteils sowie die Verbesserung oder Modernisierung des Produkts. Die Entsorgungsphase beinhaltet die Abfallbehandlung. Hierzu gehören die Sammlung von Abfallfraktionen aus dem Abriss und die Abfallbehandlung von Stoffströmen, die zur Wiederverwendung, zum Recycling oder zur Energierückgewinnung genutzt werden. In diese Phase fließen teilweise auch Gutschriften ein. Die Gutschriften erfolgen über das Recyclingpotential, das durch negative Emissionen ausgedrückt wird. Schließlich liegen in ÖKOBAUDAT auch Informationen über Gutschriften und Lasten außerhalb der

Systemgrenze vor. Die Datenbank gibt Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recyclingpotentiale als Gutschriften in Form von negativen Emissionen an. [BUN2015A], [DEU2013]

In GEMIS besteht die Möglichkeit, die Systemgrenzen zu verändern. Hierdurch können sie an die Systemgrenzen in ÖKOBAUDAT angepasst werden. Wahlweise können die Bauvorleistungen sowie die nichtstationären Transporte im Ergebnis berücksichtigt werden. Des Weiteren kann ausgewählt werden, ob die Ressourcennutzung 100% beträgt. [FRI2007]

Bauvorleistungen umfassen die Materialvorleistungen zum Bau der erforderlichen Infrastruktur. Hierunter werden zum Beispiel bei einer Gasheizung die Prozesse zur Herstellung der Gaspipeline, der Gasaufbereitung und der Gasförderung verstanden. Sie schließen die Aufwendungen zum Bau von Gebäuden ein und umfassen ebenfalls den Bau des jeweiligen Wärmeerzeugers.

Unter nichtstationären Transporten werden nicht ortsfeste Transportprozesse, also Schiff-, Lkw- und Zugtransporte verstanden, während stationäre Transporte beispielsweise Stromtrassen und Pipelines sind.

Wird die Ressourcennutzung auf 100% gesetzt, dann wird der Nutzungsgrad von Primärenergie- oder Rohstoffgewinnungsprozessen bei der Berechnung des KEAs auf 100% gesetzt. Dies entspricht zwar nicht den Vorgaben zur Berechnung des KEAs nach VDI-Richtlinie 4600, ist jedoch mit internationalen Energiestatistiken kompatibel. [FRI2007], [VER2012]

In GEMIS werden die der Nutzung vorgelagerten Prozesse bilanziert. Die Lebenszyklusphase der Entsorgung wird nicht in die Berechnung einbezogen. [FRI2007]

Aus dem Vergleich der Systemgrenzen beider Datenbanken resultieren die nachfolgenden Festlegungen von Annahmen und Systemgrenzen auf Grundlage von [BUN2015A], [DEU2013], [FRI2007], [INT2015A], [PEI2013], [VER2012]:

- Bei der Untersuchung werden keine Gutschriften berücksichtigt, um die Umweltauswirkungen vollständig zu erfassen.
- Während die Datensätze in GEMIS sich auf die Herstellung und die Nutzung der Heizkessel beziehen, sind in ÖKOBAUDAT auch Daten zur Entsorgung und zum Recyclingpotential vorhanden. Bei der Wirkungsabschätzung im Vergleich aller Wärmeerzeuger wird die Entsorgungsphase aus ÖKOBAUDAT nicht berücksichtigt, um Vergleichbarkeit mit den Daten aus GEMIS zu gewährleisten. Damit beurteilt werden kann, wie hoch die Umweltauswirkungen der Entsorgung im Vergleich zur Herstellung und Nutzung der Heizkessel sind, wird eine zusätzliche Untersuchung der Daten aus ÖKOBAUDAT durchgeführt, die die Entsorgung einbezieht. Das Recyclingpotential wird dabei nicht berücksichtigt, um keine Gutschriften bilanzieren.
- In GEMIS werden ebenso wie in ÖKOBAUDAT die bei den Gewinnungsprozessen voreingestellten Nutzungsgrade verwendet, das heißt, es wird nicht von einer Ressourcennutzung von 100 % ausgegangen.

- Die nichtstationären Transporte werden in den Datensätzen aus GEMIS berücksichtigt. Sie sind ebenso in den Datensätzen aus ÖKOBAUDAT enthalten.
- In ÖKOBAUDAT sind die Bauvorleistungen nicht in den Datensätzen inbegriffen. Da in GEMIS die Herstellung des Wärmeerzeugers nicht von sonstigen Bauvorleistungen der Infrastruktur getrennt ausgewiesen werden kann, werden hier Bauvorleistungen berücksichtigt.
- In GEMIS wird von einer Nutzungsdauer von 15 Jahren ausgegangen. Da die Datensätze von ÖKOBAUDAT die Herstellung und Entsorgung der Wärmeerzeuger gesondert ausweisen, werden aus diesen Daten aufgrund der Annahme einer 15-jährigen Nutzungsdauer spezifische, mit den GEMIS-Daten vergleichbare Werte ermittelt.
- Bezugsjahr der Daten in GEMIS ist teilweise 2000 und teilweise 2005. Das Bezugsjahr der Datensätze aus ÖKOBAUDAT ist 2008.
- Der Ortsbezug ist in beiden Datenbanken Deutschland.
- Der Hilfsenergiebedarf in der Nutzungsphase wird in allen Datensätzen berücksichtigt.
- Für die in ÖKOBAUDAT angegebenen Leistungsbereiche der Heizkessel werden Mittelwerte gebildet.
- Im Folgenden beziehen sich alle Angaben, soweit nicht anders erwähnt, auf den Heizwert der eingesetzten Energieträger.

3.1.2 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit, auf die sich GEMIS bezieht, ist die Bereitstellung von 1 kWh Heizwärme. Dies entspricht der funktionellen Einheit der Datensätze der Nutzungsphase aus ÖKOBAUDAT. In der Herstellungs- und Entsorgungsphase hingegen ist die funktionelle Einheit in der Datenbank ÖKOBAUDAT in den meisten Datensätzen die Produktion eines Wärmeerzeugers. [FRI2007], [BUN2015A] Um Vergleichbarkeit der Daten zu erreichen, wird die Herstellung und Entsorgung des Heizkessels auf die funktionelle Einheit der Bereitstellung von 1 kWh erzeugter thermischer Energie umgerechnet. Die Umrechnung erfolgt nach folgender Gleichung:

$$\frac{KEA [kWh]}{th. \text{ Energie } [kWh]} = \frac{KEA [kWh]}{Vollbenutzungsstunden \left[\frac{h}{a}\right] \cdot Nutzungsdauer [a] \cdot Leistung [kW]} \quad (\text{Gl. 3-1})$$

Der Berechnung liegt eine Nutzungsdauer von 15 Jahren und eine Anzahl von 1.800 h/a Vollbenutzungsstunden zugrunde. [PIS2013]

3.1.3 Allokation

In der nachfolgenden Untersuchung ist die Allokation insbesondere bei dem Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung relevant. In GEMIS wird zur Aufteilung der Umweltauswirkungen auf die Koppelprodukte bei der Wärmeerzeugung durch BHKWs eine Allokation nach Anteilen erzeugter Energie

verwendet. Die Allokation von Produkten aus KWK spielt in ÖKOBAUDAT vor allem im Hinblick auf zwei Fernwärme-Datensätze der Nutzungsphase eine Rolle. Nach Angaben von [PEI2013] erfolgt die Allokation in ÖKOBAUDAT nach dem ökonomischen Wert der Produkte. Dieser Unterschied muss bei einem Vergleich der Ökobilanzen von BHKWs und Fernwärme berücksichtigt werden.

3.1.4 Datenqualität

In GEMIS gibt es fünf Abstufungen hinsichtlich der Datenqualität: sehr gut (validierte Daten aus Primärquellen), gut (nicht validierte Daten aus Primärquellen), mittel (sekundäre und abgeleitete Daten), einfache Schätzungen und vorläufige Daten. Die in dieser Arbeit verwendeten Daten werden als mittel eingestuft. In ÖKOBAUDAT werden die Daten durch ein internationales Review validiert. Auf die Daten werden je nach Bewertung Sicherheitsaufschläge von 10% bis 30% erhoben. Es besteht zudem eine Erklärung der Konformität mit Richtlinie DIN EN 15804. [BUN2015A], [FRI2007], [INT2015A], [PEI2013]

3.1.5 Indikatoren zur Bewertung der Umweltauswirkungen

Die Auswertungen berücksichtigen die Wirkungskategorie „Treibhauseffekt“ durch das GWP. Der Wirkungsindikator ist die CO₂-äquivalente Emission von Treibhausgasen.

Des Weiteren werden die Umweltauswirkungen durch den aus der Sachbilanz resultierenden Primärenergieverbrauch bewertet. In GEMIS wird der Primärenergieverbrauch durch den KEA der Herstellung und Nutzung charakterisiert. Dabei wird neben dem KEA_{erneuerbar} und dem KEA_{nicht erneuerbar} auch der KEA_{andere} aufgeführt. Während der KEA_{nicht erneuerbar} fossile und nukleare Primärenergien umfasst, berücksichtigt der KEA_{andere} den energetischen Einsatz von Reststoffen. [UMW1999] Im Gegensatz zu GEMIS erfolgt die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs in ÖKOBAUDAT über die Indikatoren zur Bewertung von Bauprodukten nach DIN EN 15804. Die für die nachfolgende Auswertung relevanten Indikatoren sind nach [BUN2015A], [RÜT2012]:

- PERT: stofflicher und energetischer Einsatz erneuerbarer Primärenergie,
- PENRT: stofflicher und energetischer Einsatz nicht erneuerbarer Energieträger.

Der KEA nach Abschnitt 2.1.2 wird den Bedeutungen aus GEMIS und ÖKOBAUDAT entsprechend Tabelle 3-1 zugeordnet.

Tabelle 3-1: Vereinheitlichungen der Indikatoren zur Bewertung des Primärenergieverbrauchs

Bezeichnung in der Wirkungsabschätzung	Äquivalent in GEMIS	Äquivalent in ÖKOBAUDAT
KEA _{erneuerbar}	KEA _{erneuerbar}	PERT
KEA _{nicht erneuerbar}	KEA _{nicht erneuerbar} + KEA _{andere}	PENRT
KEA _{gesamt}	KEA _{erneuerbar} + KEA _{nicht erneuerbar} + KEA _{andere}	PERT + PENRT

3.2 Sachbilanz

3.2.1 Beschreibung der recherchierten Datensätze und Heizkessel

In den Datenbanken ÖKOBAUDAT und GEMIS werden Datensätze zu 21 unterschiedlichen Wärmeerzeugern recherchiert. Die Wärmeerzeuger lassen sich nach Art und eingesetzten Energieträgern in folgende Gruppen einteilen: Gas-Kessel, Öl-Kessel, Holz-Kessel, Wärmepumpen, BHKWs und Fernwärme. Zu solarthermischen Anlagen können keine Datensätze im festgelegten Leistungsbereich mit vergleichbarem Referenzfluss ermittelt werden. Diese Art der Wärmeerzeugung ist daher in den Datensätzen nicht enthalten.

Die verwendeten Datensätze, Referenzflüsse und Datenbanken sind in den nachfolgenden Tabellen 3-2 und 3-3 aufgeführt. Die Daten aus GEMIS werden entsprechend der in Abschnitt 3.1.2 genannten Anpassungen im Hinblick auf die Allokation und weitere Rechenvorschriften geändert.

Einige Eigenschaften der untersuchten Wärmeerzeuger zeigt Tabelle 3-4.

Tabelle 3-2: Für die Auswertung verwendete Datensätze aus ÖKOBAUDAT (eigene Darstellung auf Grundlage von [BUN2015A])

Name des Datensatzes	Lebenszyklusphase	Referenzfluss
Gas-Niedertemperaturkessel 20-120 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Gas-Niedertemperaturkessel 20-120 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Gas-Niedertemperaturkessel 120-400 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Gas-Niedertemperaturkessel 120-400 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Gas-Brennwertkessel, 20-120 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Gas-Brennwertkessel, 20-120 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Gas-Brennwertkessel, 120-400 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Gas-Brennwertkessel, 120-400 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Öl-Niedertemperaturkessel 20-120 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Öl-Niedertemperaturkessel 20-120 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Öl-Niedertemperaturkessel 120-400 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Öl-Niedertemperaturkessel 120-400 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Öl-Brennwertkessel, 20-120 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Öl-Brennwertkessel, 20-120 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Öl-Brennwertkessel, 120-400 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Öl-Brennwertkessel, 120-400 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Holz-Hackschnitzelkessel, 20-120 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Holz-Hackschnitzelkessel, 20-120 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Holz-Hackschnitzelkessel, 120-400 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Holz-Hackschnitzelkessel, 120-400 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Holz-Pelletkessel, 20-120 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Heizkessel
Holz-Pelletkessel, 20-120 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Strom-Wärmepumpe Wasser-Wasser 70 kW	Herstellung, Entsorgung	1 Wärmepumpe
Strom-Wärmepumpe Wasser-Wasser (10/50)	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Fernwärme Übergabestation	Herstellung, Entsorgung	1 kg Masse (\approx 1 kW P_N)
Fernwärme 20-120 kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie
Fernwärme 120-400kW	Nutzung	1 kWh thermische Energie

P_N = Nennleistung

Tabelle 3-3: Für die Auswertung verwendete Datensätze aus GEMIS (eigene Darstellung auf Grundlage von [INT2015A])

Name des Datensatzes	Lebenszyklusphase	Referenzfluss
Holz-HS-Waldholz-Heizung-50 kW-2005	Herstellung, Nutzung	1 kWh Warmwasser
Holz-Pellet-Holzwirtsch.-Heizung-50 kW-2005	Herstellung, Nutzung	1 kWh Warmwasser
Gas-BHKW-Kat-050-DE-2000	Herstellung, Nutzung	1 kWh Warmwasser
Gas-BHKW-Kat-110-DE-2000	Herstellung, Nutzung	1 kWh Warmwasser
Gas-BHKW-Kat-250-DE-2000	Herstellung, Nutzung	1 kWh Warmwasser
Biogas-Gülle-BHKW-GM 500-DE-2005	Herstellung, Nutzung	1 kWh Warmwasser
Biogas-Mais/Gülle-BHKW-GM 500-DE-2005	Herstellung, Nutzung	1 kWh Warmwasser

Tabelle 3-4: Eigenschaften der untersuchten Heizkessel (eigene Darstellung auf Grundlage von [BUN2015A], [INT2015A])

Wärmeerzeuger	Bezugs-jahr	Leistung [kW]	Nutzungs-grad*	Datenbank
Gas-Niedertemperaturkessel	2008	70	90%	Ökobaudat
Gas-Niedertemperaturkessel	2008	260	91%	Ökobaudat
Gas-Brennwertkessel	2008	70	101%	Ökobaudat
Gas-Brennwertkessel	2008	260	102%	Ökobaudat
Öl-Niedertemperaturkessel	2008	70	90%	Ökobaudat
Öl-Niedertemperaturkessel	2008	260	91%	Ökobaudat
Öl-Brennwertkessel	2008	70	101%	Ökobaudat
Öl-Brennwertkessel	2008	260	102%	Ökobaudat
Holz-Hackschnitzelkessel	2005	50	85%	Gemis
Holz-Hackschnitzelkessel	2008	70	82%	Ökobaudat
Holz-Hackschnitzelkessel	2008	260	82%	Ökobaudat
Holz-Pelletkessel	2005	50	88%	Gemis
Holz-Pelletkessel	2008	70	87%	Ökobaudat
Strom-Wärmepumpe (Wasser-Wasser)	2008	70	3,8	Ökobaudat
Gas-BHKW	2000	90	53%	Gemis
Gas-BHKW	2000	198	57%	Gemis
Gas-BHKW	2000	375	52%	Gemis
Biogas-Gülle-BHKW	2005	450	44%	Gemis
Biogas-Mais-Gülle-BHKW	2005	450	44%	Gemis
Fernwärme	2008	70		Ökobaudat
Fernwärme	2008	260		Ökobaudat

*Wärmepumpe: Leistungszahl, BHKWs: Nutzungsgrade der Wärmeerzeugung

Die Leistungen der Wärmeerzeuger liegen in einem Bereich zwischen 50 kW und 450 kW. Die Nutzungsgrade der BHKWs umfassen in Bezug auf die Wärmeabgabe zwischen 44% und 57%. Demgegenüber variieren die Nutzungsgrade der mit Biomasse befeuerten Heizkessel zwischen 82% und 88%, während die Öl- und Gas-Kessel je nach Kesselbauart Nutzungsgrade von 90% bis 102% auf-

weisen. Aufgrund des niedrigeren Anteils von Wasserstoff im Heizöl im Vergleich zu dem Anteil im Erdgas liegen die heizwertbezogenen Nutzungsgrade von Öl-Brennwertkesseln grundsätzlich niedriger als die der Gas-Brennwertkessel. Die in den Datensätzen als gleich angenommenen Nutzungsgrade beruhen auf der Berechnung nach DIN 4701-10, die diesen Unterschied durch eine Änderung des Teillastverhaltens ausgleicht. [BUN2015A]

Die Wärmepumpe ist eine Kompressionswärmepumpe, die Grundwasser mit 10°C als Umweltwärme nutzt und mit 50°C an den Heizkreis abgibt. Ihre Leistungszahl beträgt 3,8. [BUN2015A]

Die Fernwärmedatensätze der Nutzungsphase aus ÖKOBAUDAT beruhen auf dem Einsatz von folgendem Brennstoffmix: 59,6% Erdgas, 25,3% Steinkohle, 10,6% Braunkohle, 4,5% Heizöl. In den Vorketten findet die Herstellung der Fernwärme-Übergabestation Berücksichtigung, während die Heizkraftwerke als bestehende Anlagen ohne Bauvorleistungen bewertet werden. [BUN2015A]

3.2.2 Daten zum KEA und zu THG-Emissionen

Obwohl der Wirkungsindikator der CO₂-äquivalenten Emissionen Bestandteil der Wirkungsabschätzung ist, werden die aus den Datensätzen recherchierten Emissionen zusammen mit den Daten des KEAs bereits an dieser Stelle aufgeführt. Die nachfolgenden Tabellen 3-5 bis 3-8 geben die aus den Datenbanken extrahierten Angaben strukturiert nach Datenbanken und Lebenszyklusphasen wieder. Da die funktionellen Einheiten, wie bereits beschrieben, in den Datenbanken nicht einheitlich sind, erfolgt im Rahmen der Wirkungsabschätzung eine Umrechnung der Werte, um die Daten vergleichbar zu machen.

Tabelle 3-5: KEA und CO₂-Äquivalente der Herstellung der Heizkessel aus ÖKOBAUDAT (eigene Darstellung auf Grundlage von [BUN2015A])

Wärmeerzeuger	Leistung [kW]	Referenzfluss	CO ₂ -Äquivalent [kg]	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	PERT + PENRT [MJ]
Gas-Niedertemperaturkessel	70	1 Heizkessel	1.827	1.573	24.400	25.973
Gas-Niedertemperaturkessel	260	1 Heizkessel	5.169	4.564	68.420	72.984
Gas-Brennwertkessel	70	1 Heizkessel	1.999	3.258	27.140	30.398
Gas-Brennwertkessel	260	1 Heizkessel	5.948	10.590	80.130	90.720
Öl-Niedertemperaturkessel	70	1 Heizkessel	2.167	2.076	28.780	30.856
Öl-Niedertemperaturkessel	260	1 Heizkessel	5.507	5.423	72.580	78.003
Öl-Brennwertkessel	70	1 Heizkessel	2.890	4.913	39.110	44.023
Öl-Brennwertkessel	260	1 Heizkessel	8.978	16.210	120.800	137.010
Holz-Hackschnitzelkessel	70	1 Heizkessel	2.172	888	29.600	30.488
Holz-Hackschnitzelkessel	260	1 Heizkessel	6.972	2.535	94.340	96.875
Holz-Pelletkessel	70	1 Heizkessel	2.474	1.034	33.360	34.394
Wärmepumpe	70	1 Wärmepumpe	3.851	3.196	116.900	120.096
Fernwärme Übergabestation		1 kg Masse (≈ 1 kW P _N)	6	5	86	90

P_N = Nennleistung

Tabelle 3-6: KEA und CO₂-Äquivalente der Abfallbehandlung der Heizkessel aus ÖKOBAUDAT
(eigene Darstellung auf Grundlage von [BUN2015A])

Wärmeerzeuger	Leistung [kW]	Referenzfluss	CO ₂ -Äquivalent [kg]	PERT [MJ]	PENRT [MJ]	PERT + PENRT [MJ]
Gas-Niedertemperaturkessel	70	1 Heizkessel	20,4	0,9	21,1	22,0
Gas-Niedertemperaturkessel	260	1 Heizkessel	62,6	3,3	67,8	71,1
Gas-Brennwertkessel	70	1 Heizkessel	40,3	1,8	40,1	41,8
Gas-Brennwertkessel	260	1 Heizkessel	136,5	6,8	139,4	146,2
Öl-Niedertemperaturkessel	70	1 Heizkessel	17,7	0,8	19,3	20,1
Öl-Niedertemperaturkessel	260	1 Heizkessel	48,3	2,7	54,7	57,4
Öl-Brennwertkessel	70	1 Heizkessel	62,0	2,9	62,5	65,4
Öl-Brennwertkessel	260	1 Heizkessel	210,4	10,6	215,3	225,9
Holz-Hackschnitzelkessel	70	1 Heizkessel	19,9	4,2	60,3	64,5
Holz-Hackschnitzelkessel	260	1 Heizkessel	70,6	16,4	223,8	240,2
Holz-Pelletkessel	70	1 Heizkessel	13,3	2,7	39,0	41,7
Wärmepumpe	70	1 Wärmepumpe	11,8	0,5	8,3	8,7
Fernwärme Übergabestation		1 kg Masse (≈ 1 kW P _N)	0,2	0,0	0,2	0,2

Tabelle 3-7: KEA und CO₂-Äquivalente der Nutzungsphase der Heizkessel aus ÖKOBAUDAT
(eigene Darstellung auf Grundlage von [BUN2015A])

Wärmeerzeuger	Leistung [kW]	CO ₂ -Äquivalent [kg/kWh]	PERT [MJ/kWh]	PENRT [MJ/kWh]	PERT + PENRT [MJ/kWh]
Gas-Niedertemperaturkessel	70	0,27	0,02	4,46	4,48
Gas-Niedertemperaturkessel	260	0,26	0,01	4,36	4,37
Gas-Brennwertkessel	70	0,24	0,02	3,99	4,01
Gas-Brennwertkessel	260	0,24	0,01	3,90	3,91
Öl-Niedertemperaturkessel	70	0,34	0,02	4,77	4,79
Öl-Niedertemperaturkessel	260	0,33	0,01	4,66	4,67
Öl-Brennwertkessel	70	0,30	0,02	4,27	4,29
Öl-Brennwertkessel	260	0,29	0,01	4,18	4,19
Holz-Hackschnitzelkessel	70	0,05	5,45	0,49	5,94
Holz-Hackschnitzelkessel	260	0,04	5,37	0,48	5,85
Holz-Pelletkessel	70	0,05	4,84	0,47	5,31
Wärmepumpe	70	0,17	4,00	2,34	6,34
Fernwärme	70	0,25	0,01	3,88	3,88
Fernwärme	260	0,25	0,01	3,84	3,85

Referenzfluss: 1 kWh thermische Energie

Tabelle 3-8: KEA und CO₂-Äquivalente der Herstellungs- und Nutzungsphase der Heizkessel aus GEMIS (eigene Darstellung auf Grundlage von [INT2015A])

Wärmeerzeuger	Leistung [kW]	CO ₂ -Äquivalent [kg/kWh]	KEA _{ern.} [kWh/kWh]	KEA _{n. ern.} [kWh/kWh]	KEA _{andere} [kWh/kWh]	KEA _{gesamt} [kWh/kWh]
Holz-Hackschnitzelkessel	50	0,04	1,193	0,118	0,004	1,315
Holz-Pelletkessel	50	0,03	1,155	0,110	0,004	1,269
Biogas-Gülle-BHKW	450	0,05	1,881	0,116	0,003	2,000
Biogas-Mais-Gülle-BHKW	450	0,13	1,972	0,219	0,003	2,193
Gas-BHKW	90	0,30	0,001	1,453	0,001	1,454
Gas-BHKW	198	0,28	0,001	1,313	0,001	1,315
Gas-BHKW	375	0,29	0,001	1,346	0,001	1,347

Referenzfluss: 1 kWh Warmwasser

3.3 Wirkungsabschätzung

Die Umrechnung der Angaben zur Herstellung und Entsorgung aus ÖKOBAUDAT in die funktionelle Einheit 1 kWh erzeugter thermischer Energie erfolgt unter Einsatz der Gleichung 3-1. Eine Anpassung der Werte aus GEMIS ist nicht erforderlich, da davon auszugehen ist, dass die erzeugte kWh Warmwasser der kWh thermischer Energie entspricht.

3.3.1 Wirkungsabschätzung über den gesamten Lebenszyklus

Ein Vergleich der berechneten und recherchierten Kennwerte über den gesamten Lebenszyklus kann nur für die Daten aus ÖKOBAUDAT durchgeführt werden, da die Entsorgung der Wärmeerzeuger in den Datensätzen aus GEMIS nicht enthalten ist.

Die THG-Emissionen der Wärmeerzeuger aus ÖKOBAUDAT liegen in einem Wertebereich von 0,045 kg/kWh bei Einsatz eines Holz-Hackschnitzelkessels bis 0,338 kg/kWh bei Nutzung eines Öl-Niedertemperaturkessels. Ein Vergleich der Emissionen unterschiedlicher Kesselarten zeigt, dass die Holz-Heizkessel die niedrigsten Emissionen aufweisen, da die Verbrennung von Holz als nachwachsendem Rohstoff als CO₂-neutral gewertet wird. [FRI2007] Die höchsten Werte ergeben die Ökobilanzen der Öl-Kessel. Aufgrund der geringeren Nutzungsgrade erzeugen die Niedertemperaturkessel jeweils mehr Emissionen als die Brennwertkessel.

Die KEA_{gesamt} der Heizkessel liegen in einem Bereich von 1,07 kWh/kWh bis 1,778 kWh/kWh. Die niedrigsten KEA_{gesamt} haben sowohl die Bereitstellung der Fernwärme als auch der Gas-Brennwertkessel mit einer Leistung von 260 kW. Demgegenüber weist die Wärmepumpe u.a. aufgrund der verhältnismäßig niedrigen Wirkungsgrade in den Vorketten der Stromerzeugung den höchsten KEA_{gesamt} auf, gefolgt von den Holz-Hackschnitzelkesseln. Im Unterschied zu den niedrigen THG-Emissionen resultiert aus dem Einsatz der Holz-Heizkessel im Vergleich zu den anderen Heizkesseln ein hoher KEA_{gesamt}. Dies lässt sich durch die im Vergleich zu den anderen untersuchten Heizkesseln niedrigen Nutzungsgrade begründen. (vgl. Tabelle 3-9)

Tabelle 3-9: KEA und CO₂-Äquivalente im Lebenszyklus von Wärmeerzeugern

Wärmeerzeuger	Leistung [kW]	CO ₂ -Äquivalent [kg/kWh]	KEA _{ern.} [kWh/kWh]	KEA _{n. ern.} [kWh/kWh]	KEA _{gesamt} [kWh/kWh]
Gas-Niedertemperaturkessel	70	0,271	0,0053	1,2426	1,2478
Gas-Niedertemperaturkessel	260	0,264	0,0029	1,2131	1,2160
Gas-Brennwertkessel	70	0,244	0,0053	1,1130	1,1183
Gas-Brennwertkessel	260	0,238	0,0030	1,0874	1,0904
Öl-Niedertemperaturkessel	70	0,338	0,0063	1,3285	1,3348
Öl-Niedertemperaturkessel	260	0,330	0,0039	1,2977	1,3016
Öl-Brennwertkessel	70	0,303	0,0064	1,1911	1,1975
Öl-Brennwertkessel	260	0,296	0,0041	1,1646	1,1687
Holz-Hackschnitzelkessel	70	0,047	1,5136	0,1417	1,6553
Holz-Hackschnitzelkessel	260	0,045	1,4927	0,1364	1,6291
Holz-Pelletkessel	70	0,054	1,3447	0,1360	1,4807
Wärmepumpe	70	0,168	1,1111	0,6672	1,7783
Fernwärme	70	0,255	0,0021	1,0776	1,0797
Fernwärme	260	0,253	0,0018	1,0682	1,0699

3.3.2 Wirkungsabschätzung der Herstellungs- und Nutzungsphase

In die Wirkungsabschätzung der Herstellung und Nutzung werden alle ermittelten Datensätze beider Datenbanken einbezogen. Einen Überblick über die Ergebnisse gibt Tabelle 3-10.

Die THG-Emissionen betragen im Vergleich aller untersuchten Wärmeerzeuger zwischen 0,03 kg/kWh und 0,34 kg/kWh. Dabei haben die Holz-Heizkessel sowie das Biogas-Gülle-BHKW ebenso wie bei der Untersuchung des gesamten Lebenszyklus die niedrigsten Emissionen. Die höchsten Werte ergeben sich ebenfalls bei Einsatz der Öl-Niedertemperaturkessel.

Bei einem Vergleich der Ergebnisse im Hinblick auf den KEA_{gesamt} lässt sich ein Wertebereich von 1,07 kWh/kWh bis 2,193 kWh/kWh feststellen. Die höchsten Werte haben die Biogas-BHKWs. Dies liegt an der Erzeugung des Biogases durch Fermentation mit Nutzungsgraden von 62% bzw. 65%. Die niedrigsten Verbräuche resultieren, wie auch bei den Ergebnissen der Bewertung über den gesamten Lebenszyklus, aus der Fernwärme-Versorgung gefolgt von dem Einsatz des Gas-Brennwertkessels. Gründe sind die Allokation der Fernwärme-Datensätze sowie die ausschließliche Berücksichtigung der Fernwärme-Übergabestation in der Herstellung. Die der Untersuchung zugrunde liegenden Gas-Brennwertkessel haben hohe Nutzungsgrade und im Vergleich zu den Öl-Brennwertkesseln niedrigere Aufwendungen bei der Herstellung der Kessel.

Tabelle 3-10: Übersicht der CO₂-äquivalenten Emissionen und des KEAs der Herstellung und Nutzung unterschiedlicher Wärmeezeuger

Wärmeezeuger	Leistung [kW]	CO ₂ -Äquiv. [kg/kWh]	KEA _{ern.} [kWh/kWh]	KEA _{n. ern.} [kWh/kWh]	KEA _{gesamt} [kWh/kWh]	Datenbank
Gas-Niedertemperaturkessel	70	0,27	0,0053	1,2426	1,2478	Ökobaudat
Gas-Niedertemperaturkessel	260	0,26	0,0029	1,2131	1,2160	Ökobaudat
Gas-Brennwertkessel	70	0,24	0,0053	1,1130	1,1183	Ökobaudat
Gas-Brennwertkessel	260	0,24	0,0030	1,0874	1,0904	Ökobaudat
Öl-Niedertemperaturkessel	70	0,34	0,0063	1,3285	1,3348	Ökobaudat
Öl-Niedertemperaturkessel	260	0,33	0,0039	1,2977	1,3016	Ökobaudat
Öl-Brennwertkessel	70	0,30	0,0064	1,1911	1,1975	Ökobaudat
Öl-Brennwertkessel	260	0,30	0,0041	1,1646	1,1687	Ökobaudat
Holz-Hackschnitzelkessel	50	0,04	1,1928	0,1222	1,3150	Gemis
Holz-Hackschnitzelkessel	70	0,05	1,5136	0,1417	1,6553	Ökobaudat
Holz-Hackschnitzelkessel	260	0,05	1,4927	0,1364	1,6291	Ökobaudat
Holz-Pelletkessel	50	0,03	1,1547	0,1138	1,2685	Gemis
Holz-Pelletkessel	70	0,05	1,3447	0,1360	1,4807	Ökobaudat
Wärmepumpe	70	0,17	1,1111	0,6672	1,7783	Ökobaudat
Gas-BHKW	90	0,30	0,0007	1,4536	1,4543	Gemis
Gas-BHKW	198	0,28	0,0007	1,3141	1,3147	Gemis
Gas-BHKW	375	0,29	0,0007	1,3467	1,3474	Gemis
Biogas-Gülle-BHKW	450	0,05	1,8812	0,1185	1,9997	Gemis
Biogas-Mais-Gülle-BHKW	450	0,13	1,9719	0,2214	2,1933	Gemis
Fernwärme	70	0,26	0,0021	1,0776	1,0797	Ökobaudat
Fernwärme	260	0,25	0,0018	1,0682	1,0699	Ökobaudat

3.3.3 Bewertung der Datenqualität

Im Hinblick auf die Datenqualität und die Vergleichbarkeit der ermittelten Werte ist insbesondere der Vergleich von Werten, die aus zwei unterschiedlichen Datenbanken resultieren, eine wichtige Fehlerquelle. Obwohl die Systemgrenzen beider Datenbanken in Abschnitt 3.1.1 einander soweit möglich angepasst wurden, können Unterschiede der Berechnungen und angenommenen Vorketten nicht vermieden werden. Ein Beispiel sind die Unterschiede der Systemgrenzen im Hinblick auf die Bauvorleistungen.

Zudem musste, um Vergleichbarkeit der Daten im Hinblick auf die funktionelle Einheit zu erreichen, eine Umrechnung der Daten aus ÖKOBAUDAT auf Basis grober Schätzwerte erfolgen. Insbesondere der verwendete Wert der Jahresvollbenutzungsstunden ist als Schätzwert ein Faktor, der die Ergebnissenauigkeit stark vermindern kann. Da die Umrechnung jedoch nur für die Werte der Herstellung durchgeführt wird und diese, wie in der Auswertung näher untersucht wird, einen geringen Anteil an den gesamten Kennwerten aufweist (vgl. Abschnitt 3.4.1), sind relativ geringe Ergebnissenauigkeiten der Berechnung zu erwarten.

Einen Hinweis auf vorhandene Unterschiede zwischen den ermittelten Werten der zwei Datenbanken geben die Angaben zu den Holzhackschnitzel-Kesseln und den Pellet-Kesseln, die als einzige Wärmeerzeuger Daten beider Datenbanken umfassen und somit einen direkten Vergleich ermöglichen. Trotz ähnlicher Tendenzen der Angaben zeigen sich hier leichte Unterschiede. Abweichungen können unter anderem aus den unterschiedlichen Bezugsjahren der Datensätze resultieren. Weitere Untersuchungen sind an dieser Stelle notwendig, um die Ursachen der Unterschiede zu bestimmen und auszuwerten.

Es muss des Weiteren festgestellt werden, dass einzelne getroffene Annahmen starken Einfluss auf die Ergebnisse ausüben können. Beispiele hierzu sind die Art der Allokation bei KWK sowie die in den Datensätzen festgelegten Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger. Bei der Bewertung der Ergebnisse der Ökobilanzen müssen diese Annahmen berücksichtigt werden, um die Aussagekräftigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang fehlen zur genauen Untersuchung zum Teil relevante Angaben in den Datensätzen. Ein Beispiel sind konkrete Angaben zu der Berechnungsgrundlage der Allokation bei den Fernwärme-Datensätzen aus ÖKOBAUDAT.

Diese qualitative Bewertung der Datenqualität macht deutlich, dass die Angaben der Wirkungsabschätzung als grobe Richtwerte verstanden werden sollten. Sie geben einen Hinweis auf die Umweltauswirkungen im Hinblick auf THG-Emissionen und den KEA unter Berücksichtigung der in der Untersuchung dargelegten Annahmen.

3.4 Auswertung

3.4.1 Vergleich der Ergebnisse

Ein Vergleich der Leistungen der Wärmeerzeuger im Hinblick auf die Ergebnisse der Herstellung und Nutzung zeigt, dass gleiche Arten von Wärmeerzeugern unterschiedlicher Leistungen ähnliche Ergebnisse aufweisen, die Wärmeerzeuger höherer Leistungen jedoch tendenziell geringere Werte sowohl der spezifischen THG-Emissionen als auch der KEA_{gesamt} erzielen. Eine Ausnahme bildet das Gas-BHKW mit 375 kW, das aufgrund eines geringeren angenommenen Nutzungsgrads höhere THG-Emissionen und KEA umfasst, als das Gas-BHKW mit einer Leistung von 198 kW. Weitere Ausnahmen bilden die Holzhackschnitzel- und Holzpellet-Kessel, die wie bereits im vorigen Abschnitt beschrieben, den einzigen direkten Vergleich zwischen den Datenbanken ermöglichen. Ein Grund für diese Unterschiede ist auch in diesem Fall der in den Datensätzen von GEMIS höher angenommene Nutzungsgrad der Wärmeerzeuger als in ÖKOBAUDAT. Weitere Unterschiede können in den angenommenen Vorketten begründet liegen, die zur konkreten Feststellung weiterer Gründe näher untersucht werden müssten.

Bei einem Vergleich der Biogas-BHKWs fällt auf, dass das Biogas-Gülle-BHKW nur 0,05 kg/kWh CO_2 -äquivalenter Emissionen aufweist, während bei Einsatz des Biogas-Mais-Gülle-BHKWs deutlich höhere CO_2 -äquivalente Emissionen von 0,13 kg/kWh anfallen. Ebenso sind die KEA des Biogas-Mais-Gülle-BHKWs höher als die des Biogas-Gülle-BHKWs. Ein Grund für diese Unterschiede ist, dass die Vorketten des Mais-Anbaus in die Ergebnisse einfließen, während die Gülle als Reststoff oh-

ne Berücksichtigung der Vorketten bilanziert wird. Zudem bestehen Unterschiede in den Nutzungsgraden der Fermentation der Biomasse (vgl. Abschnitt 3.3.2).

Werden die Ergebnisse der Herstellung und Nutzung im Hinblick auf den $KEA_{\text{erneuerbar}}$ und $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$ miteinander verglichen, so werden je nach Art des in der Nutzungsphase zur Wärmeerzeugung eingesetzten Energieträgers starke Unterschiede der Ergebnisse deutlich. Im Fall des Einsatzes nicht erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung liegt der $KEA_{\text{erneuerbar}}$ in einem Bereich zwischen 0,0007 kWh/kWh und 0,0064 kWh/kWh. Bei Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmeversorgung liegt der Wertebereich des $KEA_{\text{erneuerbar}}$ demgegenüber zwischen 1,111 kWh/kWh und 1,972 kWh/kWh. Ähnliche, nicht ganz so starke Unterschiede ergeben sich auch im Hinblick auf den $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$. Hier liegt der Wertebereich bei Einsatz erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung zwischen 0,114 kWh/kWh und 0,667 kWh/kWh. Der Wertebereich bei Einsatz nicht erneuerbarer Energien in der Nutzungsphase beträgt demgegenüber 1,068 kWh/kWh bis 1,454 kWh/kWh. Dieser Vergleich der Größen von $KEA_{\text{erneuerbar}}$ und $KEA_{\text{nicht erneuerbar}}$ gibt einen Hinweis auf die Relevanz der Nutzungsphase für den KEA_{gesamt} . Diese Vermutung bestätigt sich durch den Vergleich der Ergebnisse der Berechnungen über den gesamten Lebenszyklus mit den Werten, die sich auf die Herstellung und Nutzung beziehen (Tabelle 3-9 und Tabelle 3-10). Es sind zwischen den Werten kaum Unterschiede festzustellen, was auf sehr geringe Aufwendungen der Entsorgung im Vergleich zur Herstellung und Nutzung schließen lässt. Um die Beiträge der Lebenszyklusphasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung zu den THG-Emissionen und dem KEA_{gesamt} genauer zu bewerten, erfolgt im folgenden Abschnitt eine Untersuchung der Anteile der Lebenszyklusphasen an den THG-Emissionen und dem KEA_{gesamt} des ganzen Lebenszyklus.

3.4.2 Untersuchung der Anteile der Lebenszyklusphasen

Um zu bewerten, welchen Einfluss die Lebenszyklusphasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung auf die Ergebnisse der Ökobilanzen haben, werden anhand der Daten der Datenbank ÖKOBAUDAT die THG-Emissionen und der KEA_{gesamt} der einzelnen Phasen miteinander verglichen.

Es zeigt sich, dass die Phase der Nutzung der Wärmeerzeuger sowohl im Hinblick auf die CO_2 -äquivalenten Emissionen als auch auf den KEA_{gesamt} mit Abstand den höchsten Anteil an den Ökobilanzen ausmacht. Die CO_2 -äquivalenten Emissionen der Nutzung haben Anteile von 97,5% im Fall des Holzhackschnitzelkessels mit einer Leistung von 70 kW bis 99,9% im Fall der Fernwärmeversorgung. Demgegenüber liegen die Anteile der Herstellung bei 0,09% (Fernwärme) bis 2,45% (Holzhackschnitzel-Kessel mit 70 kW). Die Anteile der Entsorgung sind demgegenüber mit 0,002% (Öl-Niedertemperaturkessel mit 260 kW) bis 0,011% (Öl-Brennwertkessel mit 70 kW) noch geringer als die der Herstellung. Abbildung 3-1 stellt den Anteil der Herstellung und Entsorgung dem Anteil der Nutzung für jeden Wärmeerzeuger auf einer logarithmischen Skala gegenüber.

Ähnliche Größenordnungen ergeben sich bei einem Vergleich der Lebenszyklusphasen im Hinblick auf den KEA_{gesamt} . Die Anteile der Nutzung betragen zwischen 99,0% (Wärmepumpe) und

99,9% (Fernwärme). Geringfügige Relevanz hat demgegenüber die Herstellung mit Anteilen von 0,09% (Fernwärme) bis 0,99% (Wärmepumpe). Demgegenüber umfasst die Entsorgungsphase Anteile von 0,0001% (Wärmepumpe) bis 0,0008% (beide Öl-Brennwertkessel). (vgl. Abbildung 3-2)

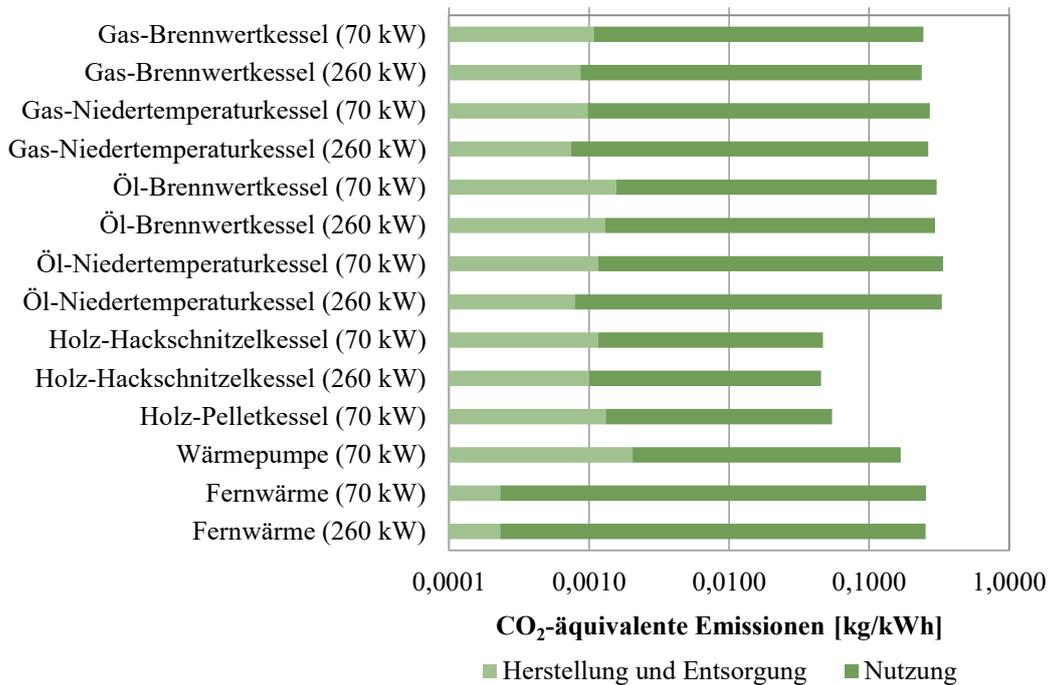


Abbildung 3-1: Anteile der Lebenszyklusphasen Herstellung und Entsorgung sowie Nutzung an den CO₂-äquivalenten Emissionen (beachte logarithmischen Skala)

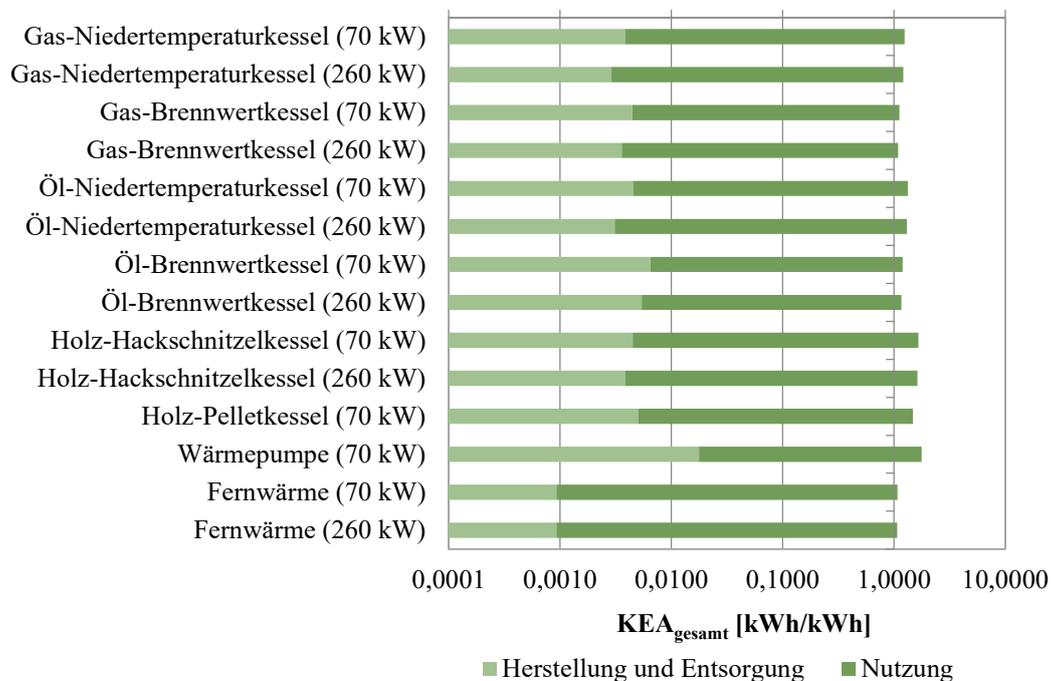


Abbildung 3-2: Anteile der Lebenszyklusphasen Herstellung und Entsorgung sowie Nutzung an dem KEA_{gesamt} (beachte logarithmischen Skala)

Die Ergebnisse dieser Auswertung machen deutlich, dass für die im vorigen Abschnitt dargestellten Ökobilanzen der Herstellung und Nutzung nur geringfügige Abweichungen in Größenordnungen von etwa 0,1% bis 3% zu den Werten des gesamten Lebenszyklus zu erwarten sind.

4 Fazit

Die durchgeführte Untersuchung gibt einen Überblick über die THG-Emissionen und KEA unterschiedlicher Heizkessel mit Leistungen zwischen 50 kW und 450 kW. Die Ermittlung und Auswertung der Daten erfolgt im Rahmen der Prozessschritte der Ökobilanzierung durch Festlegung des Ziels und Untersuchungsrahmens, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Auswertung.

Es können 21 Wärmeerzeuger beruhend auf Datensätzen der Datenbanken GEMIS und ÖKOBAUDAT in die Untersuchung einbezogen werden. Die Wirkungsabschätzung der Datensätze erfolgt im Hinblick auf ÖKOBAUDAT unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus, während die Datensätze aus GEMIS die Herstellungs- und Nutzungsphase umfassen. Zudem ist durch Anpassung der Datensätze ein Vergleich der Herstellung und Nutzung aller Wärmeerzeuger möglich. Die CO₂-äquivalenten Emissionen der Wärmeerzeuger liegen dabei in einem Bereich zwischen 0,03 kg/kWh und 0,34 kg/kWh bezogen auf die erzeugte thermische Energie. Für den KEA_{gesamt} resultieren aus der Untersuchung Werte zwischen 1,07 kWh/kWh und 2,19 kWh/kWh.

Im Rahmen der Auswertung wird festgestellt, dass bei allen Wärmeerzeugern der Datenbank ÖKOBAUDAT mit einem Anteil von mindestens 97% die Nutzungsphase den größten Hauptanteil der CO₂-äquivalenten Emissionen und des KEA_{gesamt} umfasst. Entsprechend ist der verwendete Energieträger zur Wärmeerzeugung in der Nutzungsphase der Haupteinflussfaktor auf die Anteile des KEA_{erneuerbar} und des KEA_{nicht erneuerbar} am KEA_{gesamt}.

Im Vergleich aller Wärmeerzeuger resultieren die höchsten THG-Emissionen aus der Nutzung von Öl-Niedertemperaturkesseln. Demgegenüber können bei der Nutzung von Biomasse die niedrigsten Emissionen festgestellt werden. Gleichzeitig resultieren aus der Nutzung der Biogas-BHKWs die höchsten KEA_{gesamt}, während die niedrigsten KEA_{gesamt} bei Einsatz von Fernwärme und Gas-Brennwertkesseln entstehen.

Eine Untersuchung der Datenqualität ergibt, dass die Angaben der Wirkungsabschätzung als grobe Richtwerte verstanden werden sollten. Sie geben einen Hinweis auf die Umweltauswirkungen im Hinblick auf THG-Emissionen und den KEA unter Berücksichtigung der in der Untersuchung dargelegten Annahmen. Aufgrund der Vereinheitlichung und des Vergleichs von Datensätzen aus zwei Datenbanken sind Unterschiede in den Berechnungen und zugrunde gelegten Vorketten vorhanden, die im Rahmen dieser Auswertung nicht näher untersucht werden.

5 Literaturverzeichnis

- [BUN2010] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 29. September 2010, www.enev-online.de/energiekonzept/100928_bmwi_energiekonzept_2010.pdf, Stand: 15.08.2014.
- [BUN2015A] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Ökobau.dat, Datenbank, <http://oekobaudat.de/datenbank/browser-oekobaudat.html>, Stand: 13.08.2015.
- [BUN2015B] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Ökobau.dat, Allgemeines, <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebauededaten/oekobaudat.html>, Stand: 14.08.2015.
- [DEU2006] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14044:2006, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2006.
- [DEU2009] Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2006, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2009.
- [DEU2013] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 15804. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte; Deutsche Fassung EN 15804:2012+A1:2013, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2013.
- [FAS2001] Faßbender Wynands, E.: Umweltorientierte Lebenszyklusrechnung. Instrument zur Unterstützung des Umweltkostenmanagements, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2001. ISBN: 978-3824475179.
- [FIT2005] Fitzner, K. [Hrsg.]: Raumklimatechnik, Band 3: Raumheiztechnik, 16. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2005. ISBN: 978-3540571803.
- [FRI2007] Fritsche, U. R.; Schmidt, K.: Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS). Handbuch zu GEMIS 4.4, Darmstadt, 2007. <http://www.gemis.de/g44handbuch.07.pdf>, Stand: 15.08.2015.
- [INT2015A] Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien (2015): Datenbank: Globales Emissions-Modell integrierter Systeme (GEMIS), Version 4.93, Darmstadt. <http://www.iinas.org/gemis-download-de.html>, Stand: 15.08.2015.
- [INT2015B] Internationales Institut für Nachhaltigkeitsanalysen und –strategien: Informationen zu GEMIS, <http://www.iinas.org/gemis-info-de.html>, Stand: 14.08.2015.
- [KAL2015] Kaltschmitt, M.; Schebek, L. (Hrsg.): Umweltbewertung für Ingenieure. Methoden und Verfahren, Springer-Verlag, Berlin, 2015. ISBN: 978-3642369889.
- [KLÖ2009] Klöpffer, W.; Grahl, B.: Ökobilanz (LCA). Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf. 1. Auflage, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2009. ISBN: 978-3527320431.
- [MAY2009] Mayr, F., Linke, W. (Hrsg.): Kesselbetriebstechnik, 12. Auflage, Dr. Ingo Resch Verlag, Gräfelfing, 2009. ISBN: 978-3930039135.
- [PEI2013] PE International (Hrsg.): Anpassung der Ökobau.dat an die europäische Norm EN 15804. Endbericht, 21. März 2013, Leinfelden – Echterdingen, 2013, http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqu alitaet/2013/AnpassungOekobaudat/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=1, Stand: 13.08.2015.
- [PIS2013] Pistohl, W.; Rechenauer, C.; Scheuerer, B. (2013): Handbuch der Gebäudetechnik Band 2. Heizung, Belüftung, Beleuchtung, Energiesparen. Planungsgrundlagen und Beispiele. 8., neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Düsseldorf: Werner. ISBN: 978-3-8041-4687-7.
- [REC2013] Recknagel, H., Schramek, E.-R. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik, 76. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München, 2013. ISBN: 978-3-8356-3134-2.

-
- [RÜT2012] Rüter, S.: Umwelt-Produktdeklarationen für Bauprodukte nach EN 15804, in: Holztechnologie, 53. Jg., 2012, Heft 4, S. 56 – 57.
- [SCH2012] Schabbach, T.; Wesselak, V.: Energie. Die Zukunft wird erneuerbar, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012. ISBN: 978-3-642243462.
- [SCH2014] Schabbach, T.; Leibbrandt, P.: Solarthermie. Wie Sonne zu Wärme wird, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2014. ISBN: 978-3-642-53906-0.
- [UMW1999] Umweltbundesamt (Hrsg.): KEA: mehr als eine Zahl. Basisdaten und Methoden zum Kumulierten Energieaufwand (KEA), 1999, www.iinas.org/tl_files/iinas/downloads/GEMIS/1999_g3-kea-brosch.pdf, Stand: 15.08.2015
- [VER2012] Verein Deutscher Ingenieure e.V. (Hrsg.): VDI Richtlinie 4600. Kumulierter Energieaufwand (KEA), Begriffe, Berechnungsmethoden, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2012.
- [WES2013] Wesselak, V. et al.: Regenerative Energietechnik, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013. ISBN: 978-3-642-24164-2.
- [WOS2012] Wosnitza, F.; Hilgers, H.: Energieeffizienz und Energiemanagement. Ein Überblick heutiger Möglichkeiten und Notwendigkeiten, Vieweg+Teubner Verlag | Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012. ISBN: 978-3-8348-1941-3.