

Impressum	
Zitervorschlag	Christoph Meili;Niels Jungbluth;Maresa Bussa (2022) Kurzstudie: Ökologische Amortisationsrechnung für Heizsysteme. ESU-services GmbH im Auftrag von WWF Schweiz, Schaffhausen, Schweiz, www.esu-services.ch/de/publications/
Auftragnehmer	ESU-services GmbH, Rheinstrasse 20, CH-8200 Schaffhausen Tel. 0041 44 940 61 35 meili@esu-services.ch www.esu-services.ch
Auftraggeber	WWF Schweiz, Hohlstrasse 110, Postfach 8010 Zürich Thomas Häusler, Telefon +41 44 297 21 76 E-mail thomas.haeusler@wwf.ch
Stichwörter	Heizungssysteme; ökologische Amortisationsrechnung; graue Energie; Systemwechsel; Carbon Footprint
Kurztext	In dieser Kurzstudie wird das Klimaänderungspotenzial, der kumulierte Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, sowie die Gesamtumweltbelastung von verschiedenen Heizungssystemen für die Produktion und Entsorgung denjenigen für die Nutzung gegenübergestellt.
Über uns	ESU-services GmbH wurde im Jahre 1998 gegründet. Die Hauptaktivitäten der Firma sind Beratung, Forschung, Review und Ausbildung im Bereich Ökobilanzen. Fairness, Unabhängigkeit und Transparenz sind wesentliche Merkmale unserer Beratungsphilosophie. Wir arbeiten sachbezogen und führen unsere Analysen unvoreingenommen durch. Wir dokumentieren unsere Studien und Arbeiten transparent und nachvollziehbar. Wir bieten eine faire und kompetente Beratung an, die es den Auftraggebern ermöglicht, ihre Umweltperformance zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern. Zu unseren Kunden zählen verschiedene nationale und internationale Firmen, Verbände und Verwaltungen. In einigen Bereichen wie Entwicklung und Betrieb webbasierter Ökobilanz-Datenbanken oder Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln und Konsummustern konnte unser Team Pionierarbeit leisten.
Urheberrecht	Soweit nicht anders vermerkt bzw. direkt vereinbart sind sämtliche Inhalte in diesem Bericht urheberrechtlich geschützt. Das Kopieren oder Verbreiten des Berichts als Ganzes oder in Auszügen, unverändert oder in veränderter Form ist nicht gestattet und Bedarf der ausdrücklichen Zustimmung von ESU-services GmbH oder des Auftraggebers. Der Bericht wird auf der Website www.esu-services.ch und/oder derjenigen des Auftraggebers zum Download bereitgestellt. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise <u>und</u> nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder dem Auftragnehmer oder Auftraggeber hergestellt werden können. Für Forderungen außerhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab. Ohne ausdrücklicher Zustimmung von ESU-services GmbH oder des Auftraggebers ist es nicht gestattet, den Bericht oder Teile davon auf anderen Websites bereitzustellen. In veränderter Form bedarf die Weiterverbreitung der Inhalte der ausdrücklichen Genehmigung durch ESU-services GmbH oder des Auftraggebers. Zitate, welche sich auf Aussagen der Autoren beziehen, sollen den Autoren vorgängig zur Verifizierung vorgelegt werden.
Haftungsausschluss	Die Informationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. Die Erstellung erfolgte im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. ESU-services GmbH und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung, oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. ESU-services GmbH und die Autoren lehnen jede rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder Folge-Schäden oder welche Schäden auch immer, ausdrücklich ab.
Inhaltliche Verantwortung	Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschließlich die AutorInnen dieses Berichts verantwortlich.
Version	27.09.22 09:33 - https://esuserVICES-my.sharepoint.com/personal/jungbluth_esuserVICES_onmicrosoft_com/Documents/ESU-intern/222 WWF/222 Amortisation Heizungssysteme/Bericht/Meili-2022-Ökologische Amortisationsrechnung Heizungssysteme-v1.0.docx

Inhalt

INHALT	III
1 EINFÜHRUNG	1
2 ZIELDEFINITION UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN	2
2.1 Fragestellung	2
2.2 Amortisationsrechnung	2
2.3 Funktionelle Einheit	2
2.4 Geographische Rahmenbedingungen	3
2.5 Bewertung der Sachbilanzergebnisse	3
2.6 Systemgrenzen	3
2.6.1 Einbau	4
2.6.2 Betrieb	5
2.6.3 Entsorgung	5
2.7 Szenarien	5
2.7.1 Untersuchte Ersatzheizungen	5
2.7.2 Ersatz Ölheizung	6
2.7.3 Ersatz Gasheizung	6
2.7.4 Ersatz dezentrale Elektroheizkörper	6
2.7.5 Ersatz zentrale Elektroheizung	6
2.8 Veröffentlichung	7
2.9 Kritische Prüfung gemäß ISO-Normen	7
3 DATENERHEBUNG UND MODELLIERUNG DER SACHBILANZ	8
3.1 Vordergrunddaten	8
3.2 Modellierung	8
4 AUSWERTUNG	9
4.1 Analyse des Klimaänderungspotenzials	9
4.1.1 Heizungseinbau und Entsorgung	9
4.1.2 Herstellung vs. Betrieb	10
4.1.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung	11
4.1.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung	12
4.1.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentraler Elektroheizung	13
4.1.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung	14
4.2 Analyse des kumulierten Energiebedarfs aus nicht-erneuerbaren Quellen	15
4.2.1 Heizungsinstallation und Entsorgung	15
4.2.2 Herstellung vs. Betrieb	16
4.2.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung	17
4.2.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung	18
4.2.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentralen Elektroheizkörpern	19
4.2.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung	20
4.3 Analyse der Gesamtumweltbelastungen gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck	21
4.3.1 Heizungsinstallation und Entsorgung	21
4.3.2 Herstellung vs. Betrieb	22
4.3.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung	23
4.3.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung	24
4.3.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentralen Elektroheizkörpern	26
4.3.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung	27

5	INTERPRETATION	28
5.1	Datenqualität und Unsicherheiten	28
5.2	Schlussfolgerungen	28
6	LITERATUR	29
A.	ESU-SERVICES GMBH	32
A.1	Unsere Philosophie «fair consulting in sustainability»	32
A.2	Erfahrenes Projektteam	32
A.2.1	Dr. Niels Jungbluth, Geschäftsführer und Inhaber	32
A.2.2	Christoph Meili, Projektleiter Ökobilanzen	33
A.2.3	Maresa Bussa, Projektleiterin Ökobilanzen	33
A.3	Ökologische und soziale Verantwortung	33
A.4	Gemeinsame Werte in einem weltweiten Netzwerk	34
A.5	Mehr als 25 Jahre Erfahrung	35
B.	ISO 14040-44 (PRODUKTÖKOBILANZEN)	35
C.	ANHANG BEWERTUNGSMETHODEN	37
C.1	Klimaänderungspotential	37
C.2	Primärenergiefaktoren bzw. kumulierter Energieaufwand	38
C.3	Anhang Bewertungsmethode PEF - Europäischer Umweltfußabdruck (2018)	39
C.3.1	Charakterisierungsmodelle	40
C.3.2	Klimawandel	40
C.3.3	Ozonabbau	40
C.3.4	Ionisierende Strahlung	41
C.3.5	Photochemische Ozonbildung	41
C.3.6	Feinstaub	41
C.3.7	Humantoxizität, nicht Krebs	41
C.3.8	Humantoxizität, Krebs	41
C.3.9	Versauerung	42
C.3.10	Eutrophierung bzw. Überdüngung	42
Süßwasser		42
Meer		42
Terrestrisch		42
C.3.11	Ökotoxizität, Süßwasser	42
C.3.12	Landnutzung	43
C.3.13	Wassernutzung	43
C.3.14	Ressourcennutzung, fossil	43
C.3.15	Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	43
C.3.16	Langzeitemissionen	43
C.3.17	Normierung und Gewichtung	43
C.3.18	Referenzwerte und Beispiele	44

1 Einführung

In der öffentlichen Debatte wird gemäß Auftraggeber häufig behauptet, es sei aus ökologischer Perspektive sinnvoller, bestehende fossile Heizungen bis an ihr technisches Lebensende weiter zu nützen als diese durch moderne Heizungen auf Basis erneuerbarer Energie zu ersetzen.

Die ESU-services GmbH verfügt über aktuelle Sachbilanzdaten zur Produktion, Nutzung und Entsorgung von verschiedenen Heizungssystemen für Schweizer Haushalte (ESU-services 2022a).

Innerhalb dieses Kurzauftrags wurden, basierend auf diesen Daten, Amortisationsrechnungen für den frühzeitigen Ersatz von Öl-, Gas- und Elektroheizungen angestellt.

Eine Kurzbeschreibung des Projektes inklusive Fragestellungen wird in Tab. 1.1 gezeigt.

Tab. 1.1 Übersicht zum Projekt

Titel	
	Kurzstudie: Ökologische Amortisationsrechnung für Heizsysteme
Auftraggeber	WWF Schweiz
Autoren	Christoph Meili;Niels Jungbluth;Maresa Bussa (ESU-services GmbH, Schaffhausen)
Untersuchte Produkte	Vergleich von verschiedenen Heizsystemen für Privathaushalte in der Schweiz.
Funktionelle Einheit	Für die Amortisationsrechnung werden zwei funktionelle Einheiten verglichen: <ul style="list-style-type: none"> • Bereitstellung von 1 Mega-Joule (MJ) Wärme, bzw. die Bereitstellung der Wärme pro Heizperiode in einem Gebäude mit definiertem Standard und 150m² beheizter Fläche (Typisches Einfamilienhaus im Schweizer Mittelland). • Herstellung, Installation und Entsorgung eines Heizsystems für ein Haus mit 150m² beheizter Wohnfläche
Fragestellung	Folgende Fragen sollen mit der Studie beantwortet werden: <ul style="list-style-type: none"> • In welchem Verhältnis stehen ausgewählte Umweltauswirkungen der Produktion und Entsorgung von Heizsystemen im Vergleich zu den Umweltwirkungen der Nutzung dieser Systeme? • Wie viele Jahre müsste ein, im Betrieb, umweltfreundliches System anstelle eines bestehenden Systems betrieben werden, bis die Umweltbelastungen der Herstellung und Entsorgung des neuen Systems amortisiert wären?
Bilanzraum	Es wird jeweils der gesamte Lebenszyklus von der Heizsystemproduktion und Installation über die Nutzung bis zur Entsorgung untersucht. Wo nichts anderes angegeben, wird von Standard- bzw. Durchschnittswerten ausgegangen.
Referenzjahr	Soweit möglich werden Sachbilanzdaten für das Jahr 2020 verwendet.
Software	SimaPro 9.4 (SimaPro 2022)
Datenbanken	ESU-services 2022a
Umweltbewertung	Folgende Bewertungsmethoden werden eingesetzt: <ul style="list-style-type: none"> • Carbon Footprint (IPCC 2021) inklusive zusätzlicher Einflüsse von Flugtransporten (Jungbluth & Meili 2019), für Zeithorizont von 100 Jahren • Primärenergieaufwand, nicht-erneuerbar: fossile und nukleare Quellen, sowie Landtransformation (auch kumulierter Energieaufwand, KEA, gemäß Frischknecht et al. 2007b) • Gesamtumweltbelastungen gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018)
Standards	In Anlehnung an ISO/TS 14040 und 14044 (International Organization for Standardization (ISO) 2006a, b)
Vergleichende Studie	Ja.
Publikation	Ja. Die Studie soll zur Information von Konsumenten und Entscheidungsträgern eingesetzt werden.
Dokumentation	Kurzbericht (Deutsch)
Kritische Prüfung	Keine externe Review, interne Prüfung durch N. Jungbluth.

2 Zieldefinition und Untersuchungsrahmen

Die Zielsetzung und der Untersuchungsrahmen werden hier festgelegt. Soweit möglich erfolgt die Festlegung der Systemgrenzen in Anlehnung an die ISO 14044ff Norm für Ökobilanzen¹ (International Organization for Standardization (ISO) 2006a) und an die ecoinvent Methodik (Frischknecht et al. 2007a).

2.1 Fragestellung

Die folgenden zwei Fragen sollen für plausible Anwendungsfälle in der Praxis beantwortet werden:

- In welchem Verhältnis stehen ausgewählte Umweltauswirkungen der Produktion und Entsorgung von Heizsystemen im Vergleich zu den Umweltwirkungen der Nutzung dieser Systeme?
- Wie viele Jahre müsste ein im Betrieb umweltfreundliches System anstelle eines weniger umweltfreundlichen Systems betrieben werden, bis die Umweltbelastungen der Herstellung und Entsorgung des neuen Systems wettgemacht/amortisiert wären?

2.2 Amortisationsrechnung

Die Amortisationsrechnung ist ein Verfahren der statischen Investitionsrechnung. Geht es um eine monetäre Rechnung, dient sie der Ermittlung der Kapitalbindungsdauer einer Investition.

Übertragen auf Ökobilanzbetrachtungen zeigt sie, wie lange es dauern würde, bis ein effizienteres System die Umweltbelastungen für die Umstellung auf dieses neue System wettmachen würde.

Im hier gezeigten Anwendungsfall werden die Umweltbelastungen der neuen Heizung auf Grund der Herstellung, Installation und Entsorgung geteilt durch die jährlich eingesparten Umweltbelastungen. Die jährlich eingesparten Umweltbelastungen entsprechen der Differenz der jährlichen prozessbedingten Umweltbelastungen des alten und des neuen Systems. Liegt die Amortisationsdauer tiefer als die anzunehmende Lebensdauer, so lohnt der vorzeitige Umstieg aus Umweltsicht.

Die Umweltbelastungen auf Grund des Einbaus und der Entsorgung der alten Heizung werden in dieser Betrachtung nicht mit einbezogen, da diese als gegeben betrachtet werden. Jemand hat entschieden z.B. eine Ölheizung einzubauen und hat damit die Verantwortung für die Umweltbelastungen auf Grund des Einbaus, der bisherigen Nutzung und der am Ende anfallenden Entsorgung übernommen. Nun entscheidet jemand (evtl. dieselbe oder eine andere Person), ob sie diese Heizung weiter nutzen möchte (Verantwortung für die weitere Nutzung) oder vorzeitig ein neues System einbauen möchte (Verantwortung für den Einbau, die Nutzung und die Entsorgung des neuen Systems minus die Weiternutzung des alten Systems).

Die hier gezeigten Berechnungen sind konservativ, da nicht berücksichtigt wird, dass eine bestehende alte Heizung irgendwann ohnehin ersetzt werden müsste und deshalb auch dort ein Heizungsersatz nötig würde. Die Resultate gelten ausschliesslich für den Fall, dass eine bestehende Öl-, Gas- oder Elektroheizung vorzeitig ersetzt würde.

2.3 Funktionelle Einheit

Für den Vergleich der Amortisationsdauer von Heizsystemen werden zwei funktionelle Einheiten einander gegenübergestellt:

¹ Das allgemeine Vorgehen bei Ökobilanzen wird auf unserer Homepage www.esu-services.ch/de/dienstleistungen/case-studies/ beschrieben.

- Bereitstellung von 1 Mega-Joule (MJ) Raumwärme, bzw. die Bereitstellung der Wärme pro Heizperiode in einem Gebäude mit definiertem Standard und 150m² beheizter Fläche.
- Herstellung, Installation und Entsorgung eines Heizsystems für einen Haushalt mit 150m² beheizter Wohnfläche

Bei der funktionellen Einheit wird das Temperaturniveau der Wärmebereitstellung nicht berücksichtigt. Dies ist für die Systemwahl relevant, falls neue Niedertemperatur-Heizungssysteme (Wärmepumpen) in schlecht gedämmten Häusern, ohne Sanierung der Wärmedämmung eingebaut werden sollen. In diesem Fall könnte es sein, dass ein rein erneuerbares Heizsystem (Solarkollektor, Wärmepumpe) nicht ausreichen würde, um die gewünschte Raumtemperatur zu erreichen. In einem solchen Fall müssten zusätzliche bauliche Maßnahmen umgesetzt werden, um das gewünschte Temperaturniveau zu erzeugen.

Nicht betrachtet wird zudem die Warmwasserbereitstellung. Diese ist teilweise mit der Raumwärmebereitstellung gekoppelt, weist aber andere Anforderungen (zeitlich, Wärmeniveau) auf.

2.4 Geographische Rahmenbedingungen

Die Studie wird für die Situation in der Schweiz erstellt. Es werden keine regionalen Unterschiede berücksichtigt.

Die Ergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Länder übertragen, da insbesondere die Stromproduktion je nach Land große Unterschiede bzgl. Herkunft der Energieträger aufweist.

2.5 Bewertung der Sachbilanzergebnisse

Für die Studie werden folgende Bewertungsmethoden eingesetzt:

- Carbon Footprint (IPCC 2021) inklusive zusätzlicher Einflüsse von Flugtransporten (Jungbluth & Meili 2019), für Zeithorizont von 100 Jahren
- Primärenergieaufwand, nicht-erneuerbar: fossile und nukleare Quellen, sowie Landtransformation (auch kumulierter Energieaufwand, KEA, gemäß Frischknecht et al. 2007b)
- Gesamtumweltbelastungen gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018)

Ein detaillierter Beschrieb der berücksichtigten Wirkungskategorien befindet sich im Anhang C.

2.6 Systemgrenzen

In der Studie wird der gesamte Lebenszyklus von der Heizsystemproduktion und Installation über die Nutzung bis zur Entsorgung untersucht.

Bei der Festlegung der untersuchten Varianten gibt es einen beträchtlichen Spielraum, da sich z.B. die persönlichen Wärmebedürfnisse (gewünschte Wohlfühltemperatur), das individuelle Lüftungsverhalten, und die regional unterschiedlichen klimatischen Bedingungen stark unterscheiden können.

Im Rahmen dieser Kurzstudie werden hierfür durchschnittliche Annahmen für den typischen Energieverbrauch in unterschiedlichen Gebäudestandards verwendet (vgl. Tab. 2.1)². Darauf basierend wird die benötigte Wärmeerzeugerleistung konservativ abgeschätzt.³

² <https://www.energiestiftung.ch/energieeffizienz-gebaeudestandards.html> und <https://www.energie-umwelt.ch/haus/renovation-und-heizung/gebaeudeplanung/waermebedarf-und-geak>, online 14.10.2021

Tab. 2.1 Wärmebedarf in Kilowattstunden pro Quadratmeter beheizter Fläche abhängig vom Gebäudestandard² und konservativ geschätzte Wärmeerzeugerleistung³

Gebäudestandard	Jährlicher Energiebedarf (kWh/m ²)	benötigte Wärmeerzeugerleistung (kW)
Baujahr 1975 (~220 kWh/m ²)	220	12.5
Baujahr 1990 (~130 kWh/m ²)	130	7.4
Altbau komplett saniert (~60 kWh/m ²)	60	3.4
MuKE 2008	38	2.2
MuKE 2014	35	2.0
Minergie-P	30	1.7

In den folgenden Kapiteln werden die technischen Spezifikationen für die untersuchten Heizsysteme beschrieben.

2.6.1 Einbau

Für die unterschiedlichen Heizsysteme werden die folgenden Infrastrukturelemente inklusive Transport für die Montage berücksichtigt:

- Öl- und Gasheizung (10kW): Heizung, Kamin, Bodenheizung
- Elektroheizung dezentral: Fünf separat gesteuerte Heizkörper (je ~2kW) mit etwa 5kg Gewicht⁴
- Elektroheizung zentral: Elektroheizung (Annahme: etwa 50kg, Materialien wie bei Ölheizung), Bodenheizung
- Wärmepumpe (Luft-Wasser, 10kW): Heizung, Bodenheizung und zusätzlicher Wärmespeicher (2000 Liter).
- Wärmepumpe (Sole-Wasser, 10kW): Heizung, Erdsonde inkl. Bohrung, abhängig von Gebäudestandard (220kWh/m²: 264m, 130kWh/m²: 156m, 60kWh/m²: 72m)⁵, Bodenheizung und zusätzlicher Wärmespeicher (2000 Liter).
- Fernwärme: Transportnetzwerk inklusive 20m Hausanschluss⁶, Wärmetauscher (Annahme: etwa 50kg, Materialien wie bei Ölheizung)
- Holzpelletsheizung (15kW): Heizung, Kamin, zusätzlicher Wärmespeicher (2000 Liter), Bodenheizung

Nicht betrachtet wird der unterschiedliche Raumbedarf im Gebäude.

Für alle Heizsysteme und Infrastrukturkomponenten wird von einer durchschnittlichen Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen.⁷

³ Wärmeerzeugerleistung berechnet für Mittelland ohne Warmwasseraufbereitung gemäss <https://www.hans-due-rig.ch/blog/heizleistung-berechnen/>, online 12.11.2021

⁴ Vergleich verschiedene Elektroheizungen mit Gewichtsangabe: <https://www.bild.de/vergleich/elektroheizung-test/>

⁵ <https://www.ekz.ch/de/blue/wissen/2021/wie-tief-muss-man-erdsonden-waermepumpe-bohren.html>

⁶ Durchschnittlich benötigte Netzlänge pro Haushalt (Annahme: 20MWh Wärme/Haushalt und Jahr), geschätzt basierend auf Gesamtverkauf und Netzlänge gemäß https://fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-deutsch/Verband/VFS-Jahresstatistiken/Jahresstatistik_Statistique_annuelle2017.pdf

⁷ Lebensdauertabelle des Hauseigentümergebietes: <https://www.hev-schweiz.ch/vermieten/verwalten/lebensdauertabelle>, Suche nach «Heizung», online 02.11.2021

2.6.2 Betrieb

Für den Vergleich der Wärmebereitstellung werden die Sachbilanzdaten für die Energiebereitstellung (inklusive Transport) und die direkten Emissionen berücksichtigt. Aufwände für Heizsysteminstallation und Entsorgung wurden für diese Vergleiche aus den bestehenden Datensätzen für die Wärmebereitstellung entfernt.

Gemäß Stromlandschaft Schweiz 2020-2022 ist Strom aus erneuerbaren Quellen in den meisten Gemeinden das Standardprodukt für Privathaushalte.⁸ Zudem sind hier laufend Verbesserungen bzgl. Anteil von Strom aus Photovoltaik und Windkraft zu erwarten. Deshalb wird für elektrisch betriebene Heizsysteme (Elektroheizung und Wärmepumpen) angenommen, dass im Betrieb Strom aus erneuerbaren Quellen, mit dem Label Naturemade star, bezogen wird. Diese Annahme gilt für das bestehende und das neu einzusetzende Heizsystem.

In Wärmepumpen werden unterschiedliche Kältemittel eingesetzt. Sollten diese im Betrieb oder bei der Entsorgung entweichen, würde teilweise ein hohes Klimaerwärmungspotenzial freigesetzt.⁹ In den bisher verfügbaren Datensätzen wird von etwa 4% Verlusten pro Jahr und dem Kältemittel R-134a mit einem Treibhauspotenzial von 1430kgCO₂-eq/kg Kältemittel ausgegangen.⁹

Neue und besonders effiziente Wärmepumpen gemäß www.topten.ch nutzen heute jedoch meist ein Kältemittel wie z.B. R-290 (Propan) mit einem Treibhauspotenzial von lediglich 3kgCO₂-eq/kg Kältemittel.⁹ Um die Bandbreite des Einflusses des Kältemittels abzudecken werden für die Wärmepumpen Szenarien für diese zwei Kältemittel gerechnet.

2.6.3 Entsorgung

Für die Entsorgung der Heizsysteme und zugehöriger Infrastruktur wurden in den Hintergrunddaten die folgenden Abfallkategorien berücksichtigt:

- Kunststoffe (Verbrannt in Kehrlichtverbrennungsanlage)
- Metalle (100% Recycling)
- Baustoffe (in Inertstoffdeponie)
- Kühlmittel für Wärmepumpen (Recycling, pessimistische Schätzung: 20% Verluste)

2.7 Szenarien

2.7.1 Untersuchte Ersatzheizungen

Für den Ersatz von bestehenden Heizungssystemen werden jeweils Varianten für Wärmepumpen-, Fernwärme- und Pelletsheizungen untersucht, sofern diese bzgl. des untersuchten Indikators im Betrieb geringere Umweltbelastungen verursachen als das bestehende System. Der Einbau von neuen Elektroheizungen wurde nicht untersucht. Der Neueinbau dieser Heizungen ist spätestens seit der Umsetzung der Mustervorschriften 2008 in nahezu allen Kantonen verboten. Vielerorts nicht mehr erlaubt ist auch der Ersatz von zentralen Elektrospeicherheizungen.¹⁰ Mit den aktuellen

⁸ Stromlandschaft Schweiz 2022-2022: <https://www.mynewenergy.ch/de/aktuell/mynewenergy-aktuell/2020/8/18/stromlandschaft-schweiz-relaunch/>, online 10.11.2021

⁹ Treibhauspotenzial unterschiedlicher Kältemittel: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/chemikalien/uv-umwelt-vollzug/anlagen-kaeltemittel-inverkehrbringen.pdf.download.pdf/UV-1726-D_Kaelteanlagen-Inverkehrbringen.pdf, Anhang 1, online 12.11.2021

¹⁰ <https://www.wwf.ch/sites/default/files/doc-2019-08/2019-08-Bericht-Kantonsrating-Gebaeude-Klimapolitik.pdf>

Mustervorschriften der Kantone (MuKE 2014) wird den Kantonen empfohlen, auch bestehende, zentrale wie dezentrale Anlagen zu verbieten und mit einer Sanierungspflicht bis in 15 Jahren zu belegen.¹¹

2.7.2 Ersatz Ölheizung

Für den Heizungsersatz werden folgende Annahmen getroffen:

- Ersatz durch Wärmepumpenheizung: Neue, zentrale Heizung, neuer Wärmespeicher und für Sole-Wassergeräte eine Erdsondenbohrung, standardmäßig kein neues Verteilsystem. Als Szenario wird bei Luft-Wasser-Geräten in schlecht gedämmten Gebäuden eine Variante mit neuer Fußbodenheizung gerechnet.
- Ersatz durch Fernwärme: Anteil am Fernwärmenetz, Wärmetauscher, kein neues Verteilsystem
- Ersatz durch Holzpellettheizung: Neue Heizung, neuer Wärmespeicher, kein neues Verteilsystem.

2.7.3 Ersatz Gasheizung

Analog zum Ersatz einer Ölheizung werden folgende Annahmen getroffen:

- Ersatz durch Wärmepumpenheizung: Zentrale Heizung, Wärmespeicher und für Sole-Wassergeräte eine Erdsondenbohrung, standardmäßig kein neues Verteilsystem. Als Szenario wird bei Luft-Wasser-Geräten in schlecht gedämmten Gebäuden eine Variante mit neuer Fußbodenheizung gerechnet.
- Ersatz durch Fernwärme: Anteil am Fernwärmenetz, Wärmetauscher, kein neues Verteilsystem
- Ersatz durch Holzpellettheizung: Heizung, Wärmespeicher, kein neues Verteilsystem.

2.7.4 Ersatz dezentrale Elektroheizkörper

Für den Ersatz von dezentralen Elektroheizkörpern wird angenommen, dass keine bestehende Infrastruktur weiterverwendet werden kann:

- Ersatz durch Wärmepumpenheizung: Zentrale Heizung, Wärmespeicher, Verteilsystem und für Sole-Wassergeräte eine Erdsondenbohrung.
- Ersatz durch Fernwärme: Anteil am Fernwärmenetz, Wärmetauscher, Verteilsystem
- Ersatz durch Holzpellettheizung: Heizung, Wärmespeicher, Kamin, Verteilsystem.

2.7.5 Ersatz zentrale Elektroheizung

Für den Ersatz einer zentralen Elektroheizung werden folgende Annahmen getroffen:

- Ersatz durch Wärmepumpenheizung: Heizung, Wärmespeicher und für Sole-Wassergeräte eine Erdsondenbohrung, standardmäßig kein neues Verteilsystem. Als Szenario wird bei Luft-Wasser-Geräten in schlecht gedämmten Gebäuden eine Variante mit neuer Fußbodenheizung gerechnet.
- Ersatz durch Fernwärme: Anteil am Fernwärmenetz und Wärmetauscher, kein neues Verteilsystem
- Ersatz durch Holzpellettheizung: Heizung, Wärmespeicher, Kamin, kein neues Verteilsystem.

¹¹ https://www.endk.ch/de/ablage/grundhaltung-der-endk/MuKE2014_d-2018-04-20.pdf

2.8 Veröffentlichung

Die Studie wird für den Gebrauch im Rahmen der Arbeit des Auftraggebers erstellt. Teile dieser Arbeit bzw. wichtige Kenngrößen und Ergebnisse sollen für die Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden. Die Studie kann veröffentlicht werden.

2.9 Kritische Prüfung gemäß ISO-Normen

Die Ökobilanz wird soweit möglich gemäß der ISO-Normen 14040ff erstellt. Eine Veröffentlichung ist vorgesehen. Bei einer Veröffentlichung der Studie werden die Vorgaben der ISO-Normen 14040ff für Ökobilanzen nur dann vollständig erfüllt, wenn ein externes kritisches Review der Gesamtstudie durchgeführt wird (International Organization for Standardization (ISO) 2006b).

Eine externe kritische Review wurde nicht in Auftrag gegeben.

3 Datenerhebung und Modellierung der Sachbilanz

3.1 Vordergrunddaten

Wo nichts anderes angegeben ist, wurden Datensätze aus bestehenden Projekten und Datenbanken verwendet (siehe Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Liste der verwendeten Datensätze.

1 p Auxiliary heating, electric, 5kW, at plant/CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 p Borehole heat exchanger 150 m/CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 m chimney/m/CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 p Heat storage 2000l, at plant/CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 p Heat distribution, hydronic radiant floor heating, 150m ² /CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 p Gas boiler/RER/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 p oil boiler 10kW/p/CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 MJ electricity, low voltage, naturemade star, at grid/CH S (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 p Furnace, pellets, 15kW/CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 p Heat pump, brine-water, 10kW/CH/I U (of project ESU database 2021 UVEK)
1 MJ Heat, at air-water heat pump 10kW, naturemade star, w-o heat pump/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ heat, at groundwater heat pump, 10kW, naturemade star, w-o heat pump and exchanger/MJ/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ heat, light fuel oil, at boiler 10kW, average, w-o boiler/MJ/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ Heat, natural gas, at boiler condensing modulating <100kW, w-o-boiler/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ Heat, wood pellets, at furnace 15kW, w-o furnace/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 km network, district heat, Wil/km/CH-Wil/I U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ operation, district heat, Wil/MJ/CH-Wil U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ district heat, average Switzerland/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ Heat, borehole heat exchanger, at brine-water heat pump, naturemade star, refrigerant R290, w-o infrastructure 10kW/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 MJ Heat, at air-water heat pump, naturemade star, w-o heat pump, refrigerant r290, 10kW/CH U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)
1 p Heat pump, brine-water, refrigerant r290, 10kW/CH/I U (of project 000 Primärenergiefaktoren verschiedene Projekte)

3.2 Modellierung

Die Modellierung der Sachbilanz erfolgt gemäß den im vorhergehenden Schritt erhobenen Daten. Wo keine spezifischen Informationen zur Verfügung gestellt werden, wird mit den bereits verfügbaren aktuellen Daten bzw. vertraulichen Daten der ESU-Datenbank (ESU-services 2022a, b) gerechnet. Weitere Informationen zu den verfügbaren Datenbanken sind auf einer Webpage verfügbar.¹²

Alle genutzten Hintergrunddaten sind elektronisch dokumentiert und im Rahmen des Datenverkaufs von ESU-services verfügbar.

¹² Eine detaillierte Beschreibung der verfügbaren Datenbanken steht auf <http://esu-services.ch/de/address/angebote/> zur Verfügung.

4 Auswertung

Es werden eine Reihe von Auswertungen für verschiedene Nutzungsszenarien und Vergleiche durchgeführt.

Die Sachbilanzdaten werden mit einer kommerziellen Ökobilanzsoftware (SimaPro 9.4) bearbeitet und ausgewertet (SimaPro 2022). Die bewerteten Ergebnisse werden auf Grundlage der erhobenen Informationen berechnet und grafisch ausgewertet. Zur Bewertung der kumulierten Sachbilanzdaten werden die Methoden gemäß Kapitel 2.5 verwendet:

4.1 Analyse des Klimaänderungspotenzials

Das Klimaänderungspotenzial für Herstellung und Entsorgung von Heizsystemen, sowie für deren Betrieb in Gebäuden mit 150m² beheizter Fläche und unterschiedlicher Wärmedämmung wird in den folgenden Unterkapiteln verglichen.

4.1.1 Heizungseinbau und Entsorgung

Fig. 4.1 zeigt das Klimaänderungspotenzial des Heizungseinbaus, inklusive Entsorgung, aufgegliedert nach Bauteilen, beispielhaft für Gebäude mit Dämmungsstandard 1990 (~130 kWh/m²).

Lesebeispiel:

Bezüglich Herstellung, Einbau und Entsorgung zeigen dezentrale, kleine Elektroöfen das geringste und eine Wärmepumpe mit Erdsonde das größte Klimaänderungspotenzial.

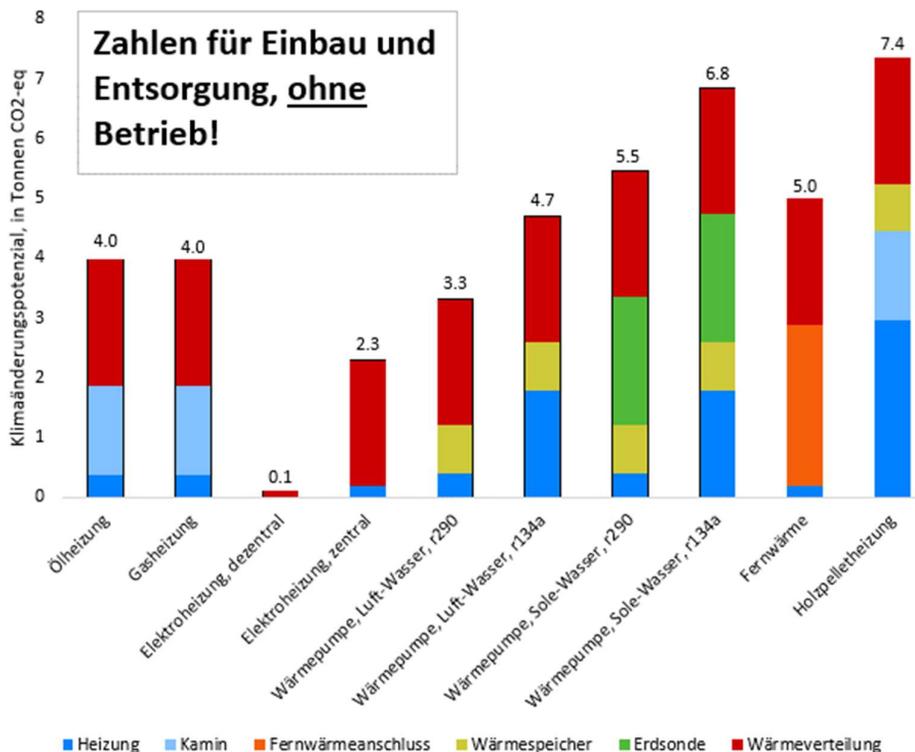


Fig. 4.1 Klimaänderungspotenzial der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung, aufgegliedert nach Bauteil und zu entsorgender Baustoffe, ohne Betrieb, in kg CO₂-eq

4.1.2 Herstellung vs. Betrieb

Fig. 4.2 zeigt das Klimaänderungspotenzial der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung im Vergleich zum Heizungsbetrieb während 20 Jahren (typische Lebensdauer) in Gebäuden mit unterschiedlich guter Wärmedämmung (vgl. Kapitel 2.7).

Lesebeispiel: Die Herstellung, Inbetriebnahme und Entsorgung einer Ölheizung inklusive Wärmeverteilungssystem verursacht Treibhausgasemissionen in der Höhe von etwa 4 Tonnen CO₂-eq (dunkelblauer Balken). In einem unsanierten Gebäude mit Baujahr 1975 oder früher verursacht der Betrieb bzw. die Verbrennung des Heizöls über eine typische Lebensdauer von 20 Jahren etwa 55-fach höhere Treibhausgasemissionen (~220 Tonnen CO₂-eq, hellblauer Balken).

In einem energetisch komplett sanierten Altbau (oliv-grüner Balken), verursacht der Betrieb der Ölheizung immer noch etwa 15-fach höhere Emissionen (~61 Tonnen CO₂-eq, oliv-grüner Balken).

Im selben sanierten Gebäude würde eine mit Ökostrom betriebene Luft-Wasser Wärmepumpenheizung mit modernem Kältemittel r290, im Betrieb über dieselben 20 Jahre, indirekt über die Stromerzeugung und Zulieferung, gerade mal 0.3 Tonnen CO₂-eq, also etwa 65-mal weniger verursachen als die Ölheizung.

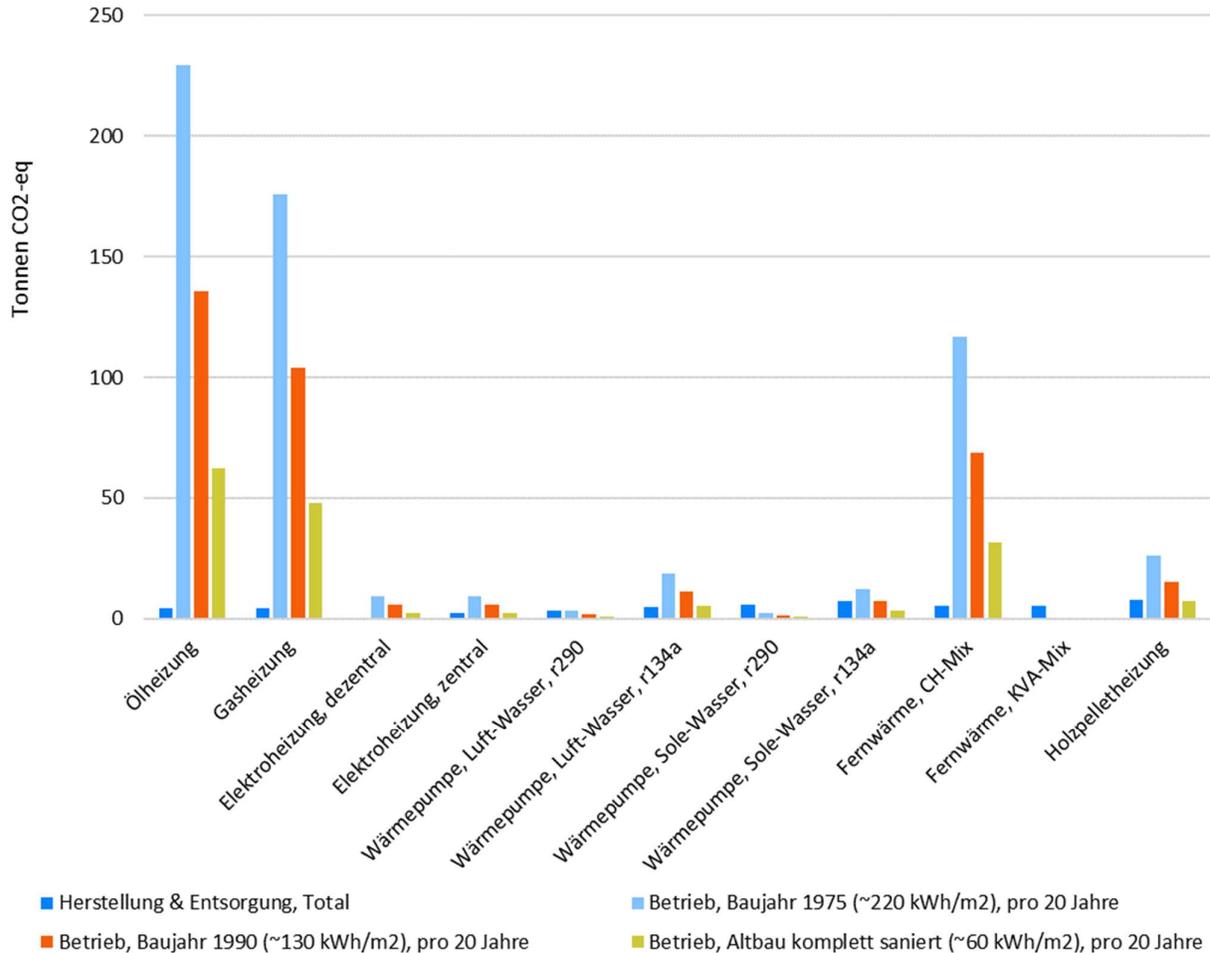


Fig. 4.2 Klimaänderungspotenzial der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung im Vergleich zum Heizungsbetrieb während der typischen Lebensdauer eines Heizsystems (etwa 20 Jahre) für verschiedene Gebäudestandards in Tonnen CO₂-eq

4.1.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung

Fig. 4.3 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, für den frühzeitigen Ersatz einer Ölheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Für alle gezeigten Heizungstypen liegt die Amortisationsdauer für alle Gebäudestandards deutlich unter der typischen zu erwartenden Lebensdauer der Heizsysteme von 20 Jahren. Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto deutlicher lohnt sich ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: Wäre das betrachtete Gebäude komplett energetisch saniert und hätte aktuell eine Ölheizung, so würde sich ein sofortiger Ersatz durch z.B. eine Luft-Wasser Wärmepumpe klar lohnen, auch wenn diese mit dem kaum noch verwendeten Kältemittel r134a betrieben würde. Das Klimaänderungspotenzial auf Grund der Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wäre innerhalb von 0.9 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

Müsste ein neuer Hausanschluss an ein Fernwärmenetz gelegt werden, dauert die Amortisationsdauer bei einem Fernwärmemix mit hohem Erdgasanteil etwa 2 Jahre. Der Umstieg würde sich also auch in diesem Fall lohnen.

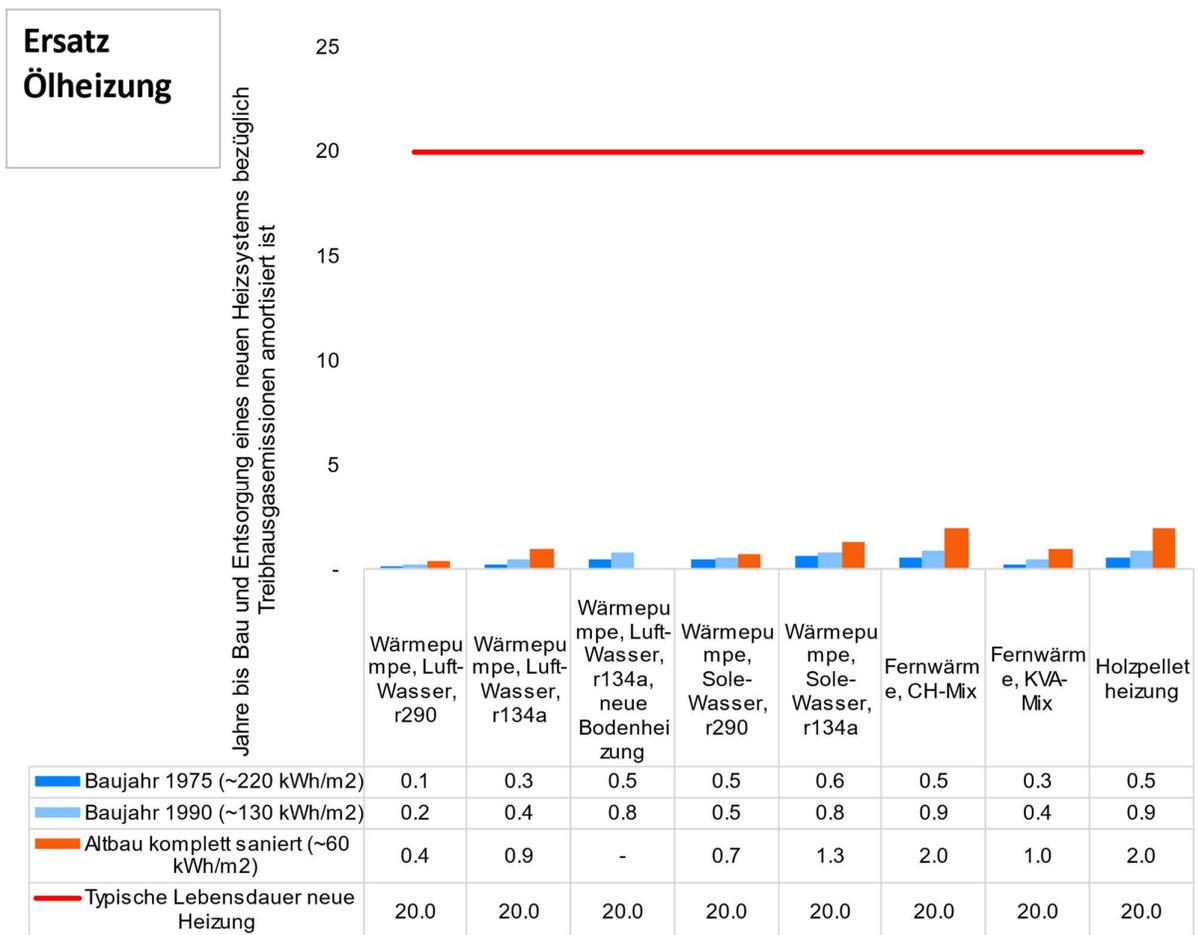


Fig. 4.3 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Ölheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.1.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung

Fig. 4.4 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, für den frühzeitigen Ersatz einer Gasheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Für alle gezeigten Heizungstypen und Gebäudestandards liegt die Amortisationsdauer, wie bereits für die Ölheizung, deutlich unter der typischen zu erwartenden Lebensdauer der Heizsysteme von etwa 20 Jahren. Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto deutlicher lohnt sich auch hier ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: Wäre das betrachtete Gebäude komplett energetisch saniert und hätte aktuell eine Gasheizung, so würde sich ein sofortiger Ersatz durch z.B. eine Wärmepumpe mit Erdsonde klar lohnen, auch wenn diese mit dem kaum noch verwendeten Kältemittel r134a betrieben würde. Das Klimaänderungspotenzial auf Grund der Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wäre innerhalb von 2.2 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

Müsste ein neuer Hausanschluss an ein Fernwärmenetz gelegt werden, dauert die Amortisationsdauer bei einem Fernwärmemix mit hohem Erdgasanteil (~40) in einem gut sanierten Haus etwa 3.4 Jahre. Der Umstieg wäre also auch in diesem Fall lohnend.

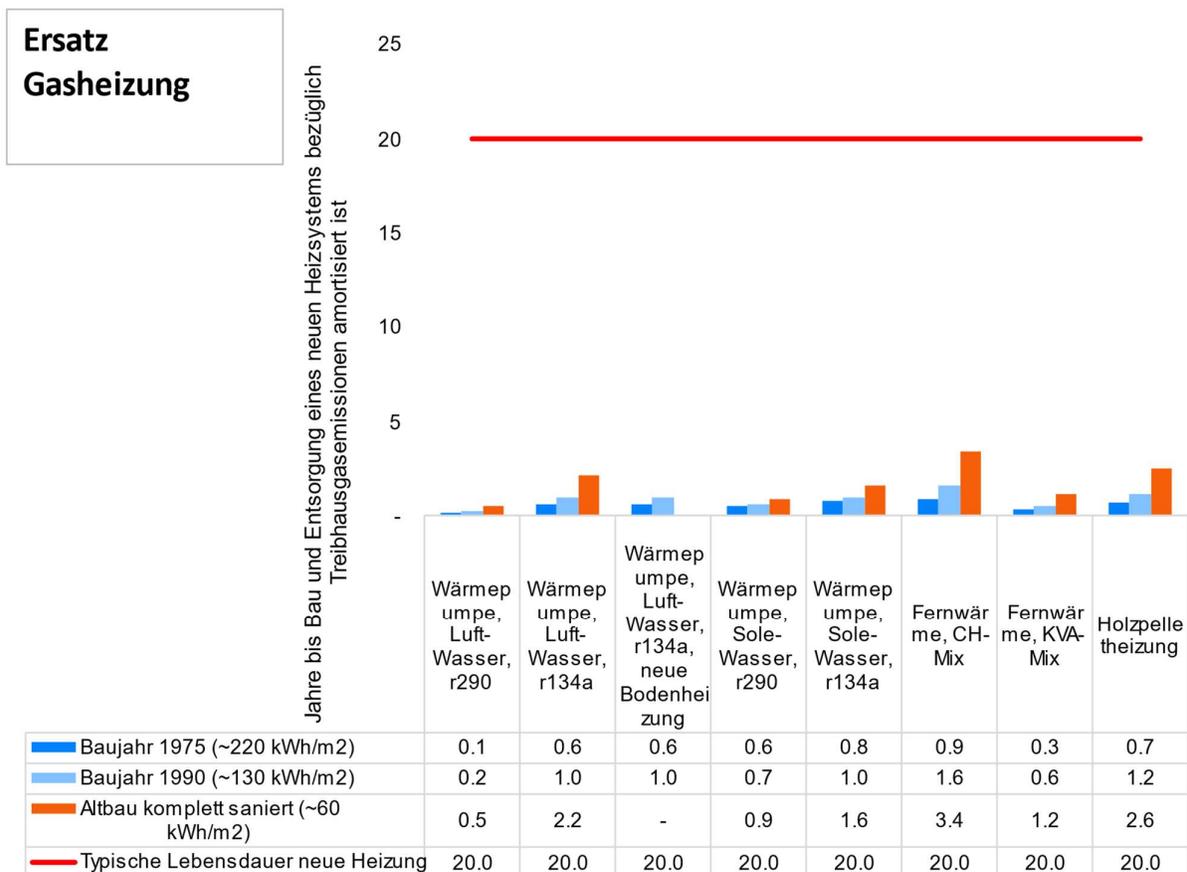


Fig. 4.4 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Gasheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.1.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentraler Elektroheizung

Fig. 4.5 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, für den frühzeitigen Ersatz von dezentralen Elektroheizkörpern durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1).

Da für die Privathaushalte angenommen wird, dass diese Strom aus erneuerbaren Energien (mit Label nature made star) beziehen, lohnt sich ein frühzeitiger Umstieg auf eine Wärmepumpe oder einen Fernwärmeanschluss nur in Gebäuden mit schlechter Wärmedämmung. Die Pelletsherstellung und deren Transport wie auch die Fernwärmebereitstellung mit relativ erdgaslastiger Erzeugung (~40%) verursacht höhere Belastungen als die Strombereitstellung. Daher ist ein frühzeitiger Umstieg von einer Elektroheizung mit Ökostrom auf eines dieser Systeme in Bezug auf die Treibhausgasemissionen nicht lohnend und wird deshalb nicht gezeigt. Wird die Elektroheizung nicht mit Ökostrom betrieben, lohnt sich ihr Austausch je nach System deutlich früher.

Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto eher lohnt sich ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: In einem schlecht gedämmten Gebäude (z.B. 220kWh/m²) würde sich ein sofortiger Ersatz durch eine Luft-Wasserwärmepumpe oder durch einen Fernwärmeanschluss anbieten, falls die Fernwärme fast ausschließlich aus erneuerbaren Quellen bzw. aus der Verbrennung von Abfällen gewonnen werden kann.

Für Gebäude mit einem Wärmebedarf von weniger als 130kWh/Jahr, wäre die Amortisationsdauer gleich, oder länger als die typischerweise anzunehmenden 20 Jahre. Deshalb wäre ein frühzeitiger Ersatz in diesem Fall nicht angezeigt.

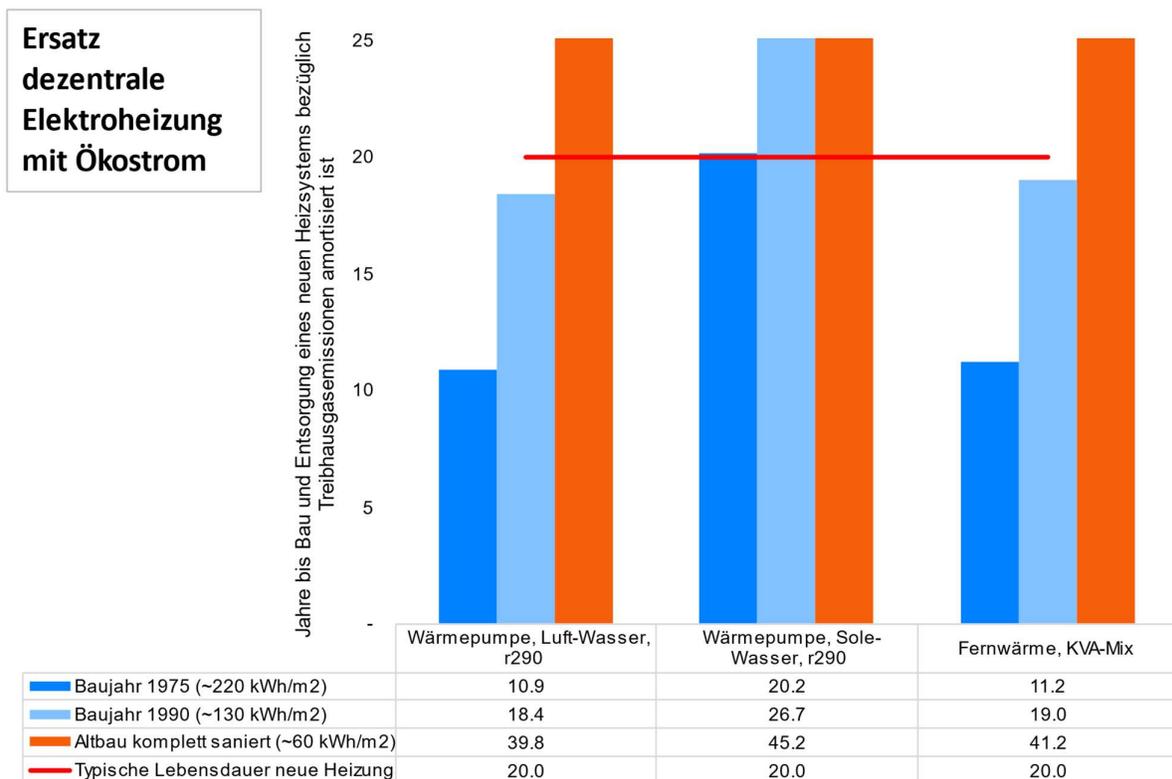


Fig. 4.5 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Elektroheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards.

4.1.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung

Fig. 4.6 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, für den frühzeitigen Ersatz einer zentralen Elektroheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1).

Ein frühzeitiger Umstieg auf eine moderne Luft-Wasserwärmepumpe (z.B. mit Kältemittel r290) ist für alle gezeigten Gebäudestandards sinnvoll, insbesondere wenn dafür (nebst der neuen Heizung inklusive Wärmespeicher) keine zusätzlichen baulichen Maßnahmen, wie z.B. der Einbau einer neuen Bodenheizung notwendig, sind.

Die Pelletsherstellung und deren Transport, wie auch die Fernwärmebereitstellung mit relativ erdgaslastiger Erzeugung (~40%), verursacht höhere Belastungen als die Strombereitstellung. Daher ist ein Umstieg von einer Elektroheizung mit Ökostrom auf eines dieser Systeme in Bezug auf die Treibhausgasemissionen nicht lohnend und wird deshalb nicht gezeigt.

Falls die Wärmepumpe mit einem besonders klimaschädlichen Kältemittel betrieben würde, könnte es auf Grund schlechter Wartung bzw. ungewollten Lecks sein, dass das Klimaänderungspotenzial dieser Wärmepumpen höher ausfällt. In diesem Worst-Case-Szenario wäre ein Umstieg auf eine Wärmepumpe nicht sinnvoll.

Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto eher lohnt sich ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: Ein sofortiger Ersatz durch eine moderne Luft-Wasserwärmepumpe lohnt sich auch in einem gut gedämmten Gebäude. Das Klimaänderungspotenzial auf Grund der Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wäre innerhalb von 14.5 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

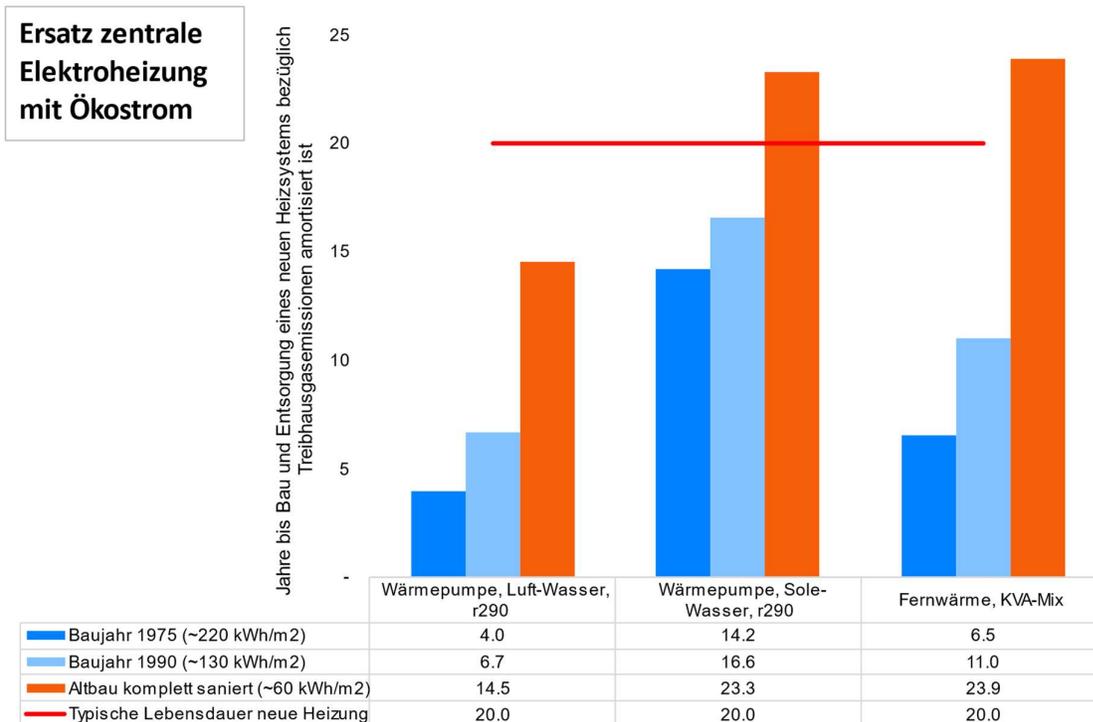


Fig. 4.6 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden zentralen Elektroheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards.

4.2 Analyse des kumulierten Energiebedarfs aus nicht-erneuerbaren Quellen

Der kumulierte Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Energiequellen für Herstellung und Entsorgung von Heizsystemen, sowie für deren Betrieb in Gebäuden mit 150m² beheizter Fläche und unterschiedlicher Wärmedämmung wird in den folgenden Unterkapiteln, für dieselben Optionen wie bereits in den Analysen für das Klimaänderungspotenzial, verglichen.

4.2.1 Heizungsinstallation und Entsorgung

Fig. 4.7 zeigt den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen (fossil, nuklear und Landtransformation) der Heizungsinstallation, inklusive Entsorgung, aufgliedert nach Bauteil, beispielhaft für Gebäude mit Dämmungsstandard 1990 (~130 kWh/m²).

Lesebeispiel:

Bezüglich Herstellung, Installation und Entsorgung zeigen dezentrale, kleine Elektroöfen den geringsten und eine Wärmepumpe mit Erdsondenbohrung den größten kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen.

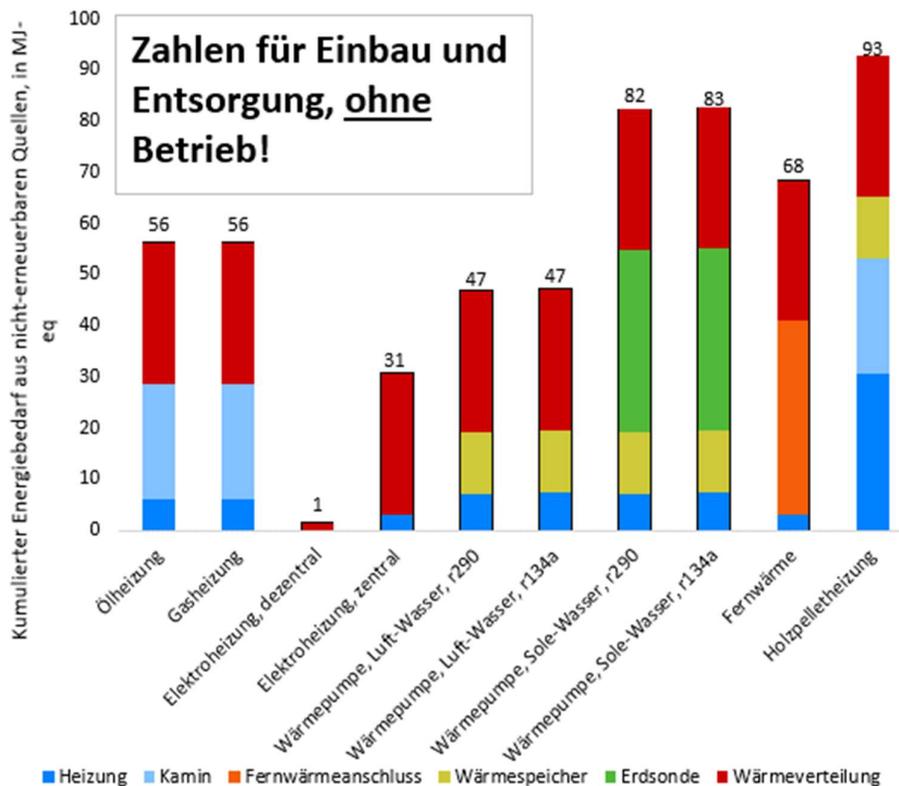


Fig. 4.7 Kumulierter Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen für die Heizungsinstallation inklusive Entsorgung, aufgliedert nach Bauteil und zu entsorgender Baustoffe, ohne Betrieb, in Megajoule-Äquivalenten (MJ-eq)

4.2.2 Herstellung vs. Betrieb

Fig. 4.8 zeigt den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen (fossil, nuklear und Landtransformation) der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung im Vergleich zum Heizungsbetrieb während 20 Jahren (typische Lebensdauer) in Gebäuden mit unterschiedlich guter Wärmedämmung (vgl. Kapitel 2.7).

Lesebeispiel: Die Herstellung, Inbetriebnahme und Entsorgung einer Ölheizung inklusive Wärmeverteilsystem verursacht einen kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen in der Höhe von 56 GJ-eq (dunkelblauer Balken). In einem unsanierten Gebäude, mit Baujahr 1975 oder früher, verursacht der Betrieb bzw. das benötigte Heizöl über eine typische Lebensdauer von 20 Jahren einen etwa 55-fach höheren Energiebedarf (~3100 GJ-eq, hellblauer Balken).

In einem energetisch komplett sanierten Altbau (oliv-grüner Balken), verursacht der Betrieb der Ölheizung immer noch einen etwa 15-fach höheren Energiebedarf (~840 GJ-eq, oliv-grüner Balken).

Im selben sanierten Gebäude würde eine mit Ökostrom betriebene Wärmepumpenheizung (Luft-Wasser) im Betrieb über dieselben 20 Jahre, indirekt über die Stromerzeugung und Zulieferung, gerade mal 7.9 GJ-eq, also etwa 105-mal weniger Energie aus nicht-erneuerbaren Quellen benötigen als die Ölheizung.

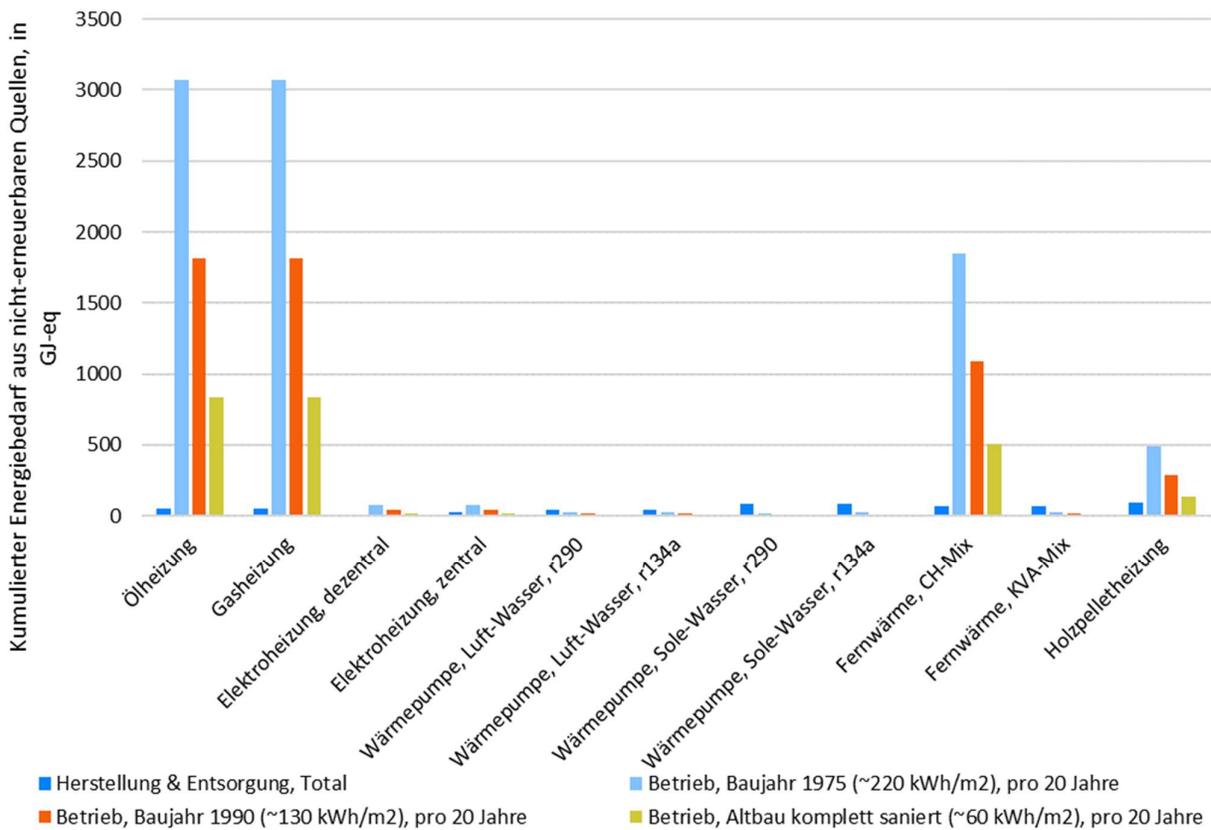


Fig. 4.8 Kumulierter Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung im Vergleich zum Heizungsbetrieb während der typischen Lebensdauer eines Heizsystems (etwa 20 Jahre) für verschiedene Gebäudestandards in Gigajoule-Äquivalenten (GJ-eq)

4.2.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung

Fig. 4.9 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen (fossil, nuklear und Landtransformation), für den Ersatz einer Ölheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Für alle gezeigten Heizungstypen liegt die Amortisationsdauer für alle Gebäudestandards deutlich unter der typischen zu erwartenden Lebensdauer der Heizsysteme von 20 Jahren. Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto deutlicher lohnt sich ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: Wäre das betrachtete Gebäude komplett energetisch saniert und hätte aktuell eine Ölheizung, so würde sich ein sofortiger Ersatz durch Fernwärme klar lohnen, auch wenn der Fernwärmemix einen relativ hohen Anteil der Wärme aus der Verbrennung von Erdgas (~40%) erzeugen würde. Der kumulierte Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen für die Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wäre innerhalb von 2.4 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

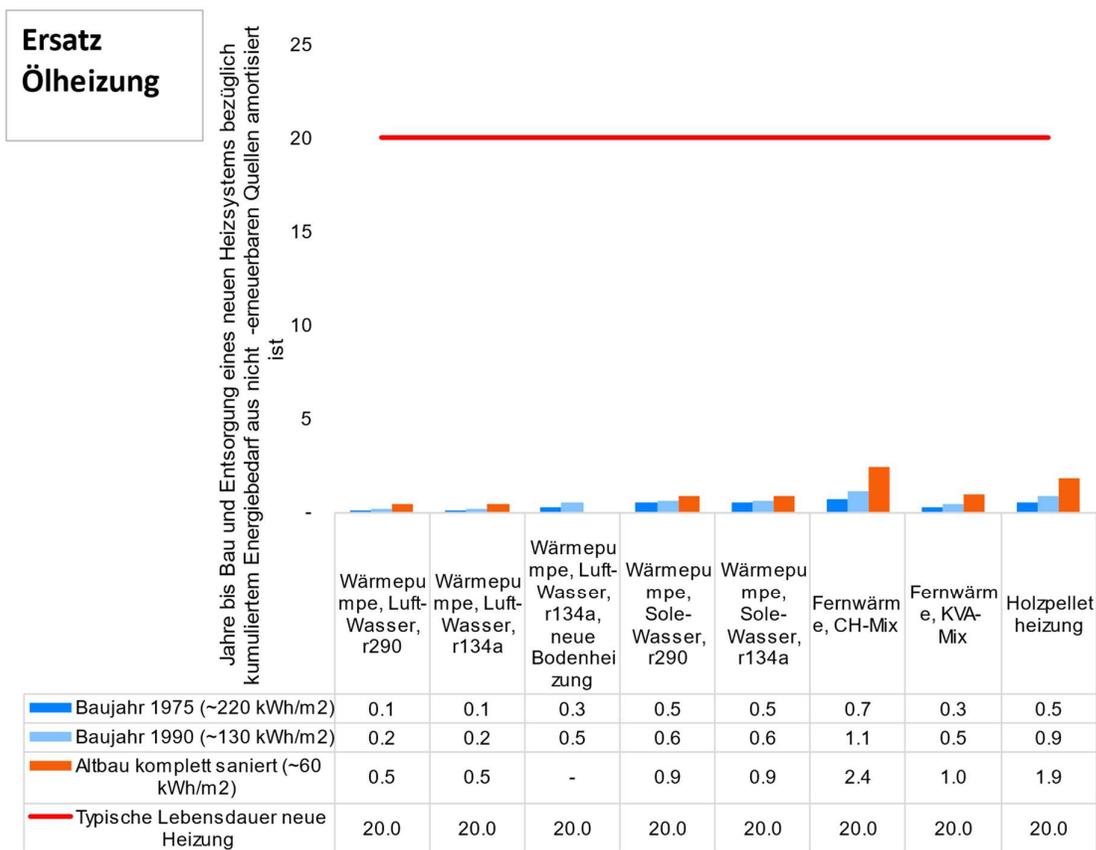


Fig. 4.9 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Ölheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.2.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung

Fig. 4.10 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen (fossil, nuklear und Landtransformation), für den Ersatz einer Gasheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Für alle gezeigten Heizungstypen und Gebäudestandards liegt die Amortisationsdauer, wie bereits für die Ölheizung, unter der typischen zu erwartenden Lebensdauer der Heizsysteme von etwa 20 Jahren. Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung desto deutlicher lohnt sich auch hier ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: Wäre das betrachtete Gebäude komplett energetisch saniert und hätte aktuell eine Gasheizung, so würde sich ein sofortiger Ersatz durch Fernwärme klar lohnen, auch wenn der Fernwärmemix einen relativ hohen Anteil der Wärme aus der Verbrennung von Erdgas (~40%) erzeugen würde. Der kumulierte Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen für die Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wäre innerhalb von 2.4 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

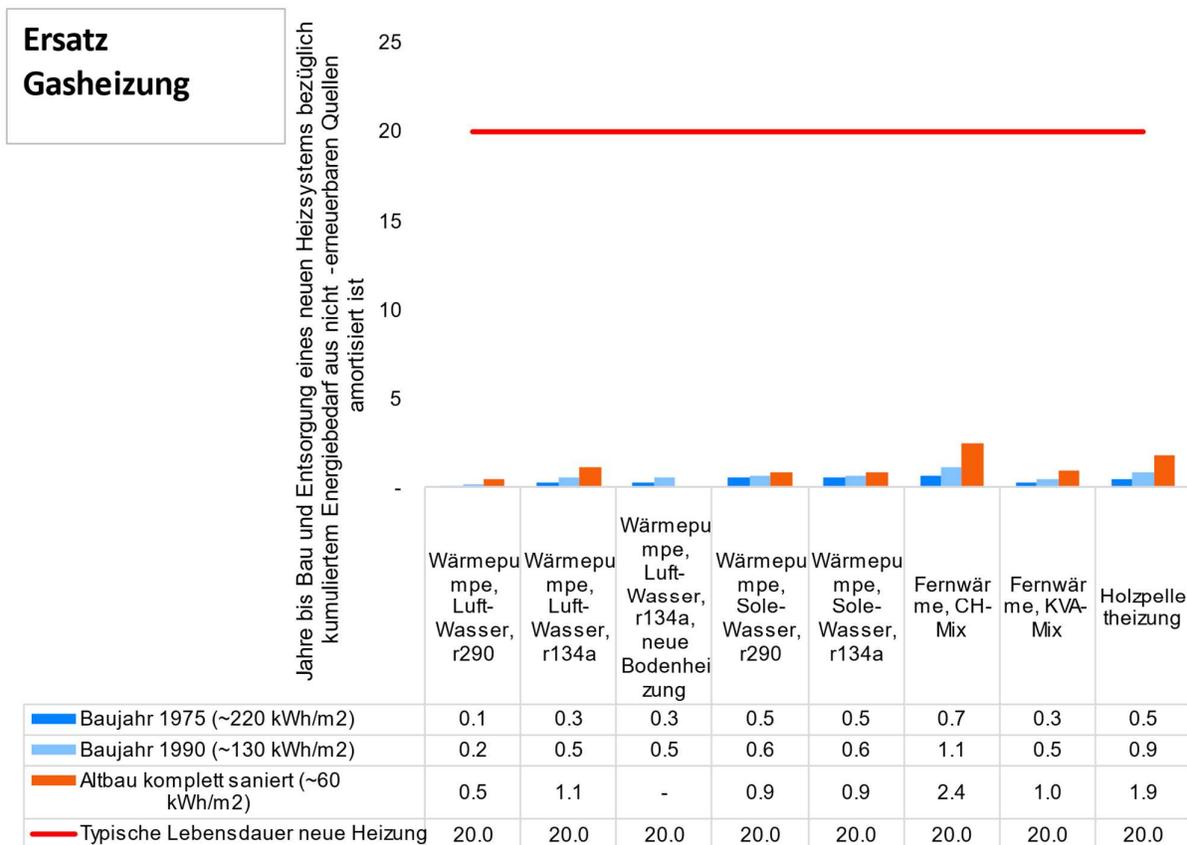


Fig. 4.10 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Gasheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.2.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentralen Elektroheizkörpern

Fig. 4.11 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen (fossil, nuklear und Landtransformation) für den Ersatz von dezentralen Elektroheizkörpern durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Da für die Privathaushalte angenommen wird, dass diese Strom aus erneuerbaren Energien beziehen, lohnt sich ein frühzeitiger Umstieg auf ein umweltschonenderes Heizsystem bzgl. kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen nicht. Die Pelletsherstellung und deren Transport wie auch die Fernwärmebereitstellung mit relativ erdgaslastiger Erzeugung (~40%) verursacht höhere Belastungen als die Strombereitstellung. Daher ist ein Umstieg von einer Elektroheizung mit Ökostrom auf eines dieser Systeme in Bezug auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen nicht lohnend und wird deshalb nicht gezeigt.

Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto eher könnte sich ein frühzeitiger Ersatz lohnen.

Lesebeispiel: In einem schlecht gedämmten Gebäude (220kWh/m²/Jahr) könnte sich ein sofortiger Ersatz durch eine moderne Luft-Wasserpumpe knapp lohnen, da die Amortisationsdauer mit 18.6 Jahren leicht kürzer ist als die typische Lebensdauer einer Heizung.

Für Gebäude mit geringerem Wärmebedarf, wäre die Amortisationsdauer länger als die typischerweise anzunehmenden 20 Jahre. Deshalb wäre ein frühzeitiger Ersatz von mit Ökostrom betriebenen Elektroheizkörpern in diesem Fall nicht angezeigt.

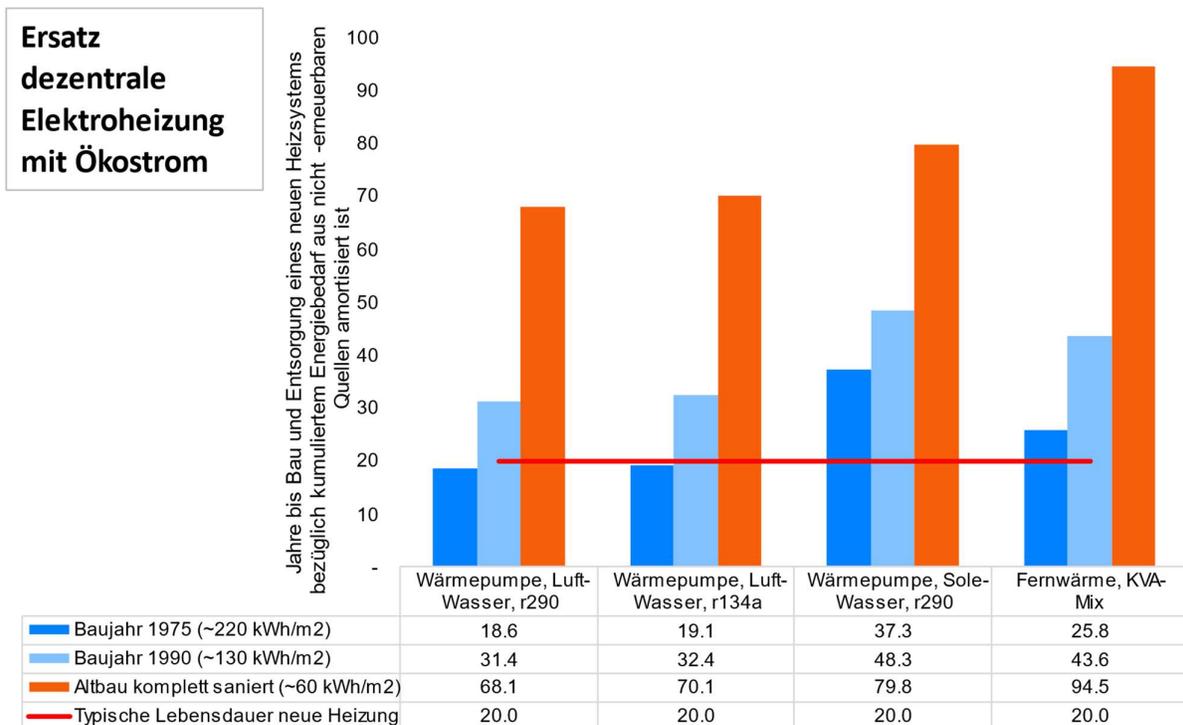


Fig. 4.11 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Elektroheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.2.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung

Fig. 4.12 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen (fossil, nuklear und Landtransformation), für den Ersatz einer zentralen Elektroheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Da für die Privathaushalte angenommen wird, dass diese Strom aus erneuerbaren Energien beziehen, lohnt sich ein frühzeitiger Umstieg auf eine moderne Luft-Wasser-Wärmepumpe nur in Gebäuden mit mittelmäßig bis schlechter Wärmedämmung und sofern dafür z.B. kein Einbau einer neuen Bodenheizung notwendig ist. Die Pelletsherstellung und deren Transport und Verbrennung wie auch die Fernwärmebereitstellung mit relativ erdgaslastiger Erzeugung (~40%) verursacht höhere Belastungen als die Strombereitstellung. Daher ist ein Umstieg von einer Elektroheizung mit Ökostrom auf eines dieser Systeme in Bezug auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen nicht lohnend und wird nicht gezeigt.

Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto eher könnte sich ein frühzeitiger Ersatz lohnen.

Lesebeispiel: In einem schlecht gedämmten Gebäude würde sich ein sofortiger Ersatz durch eine Fernwärmeheizung lohnen, sofern die Fernwärme größtenteils aus erneuerbaren Energieträgern bzw. der Verbrennung von Kehrlicht erzeugt wird (Amortisationsdauer von 15.4 Jahren, dunkelblauer Balken).

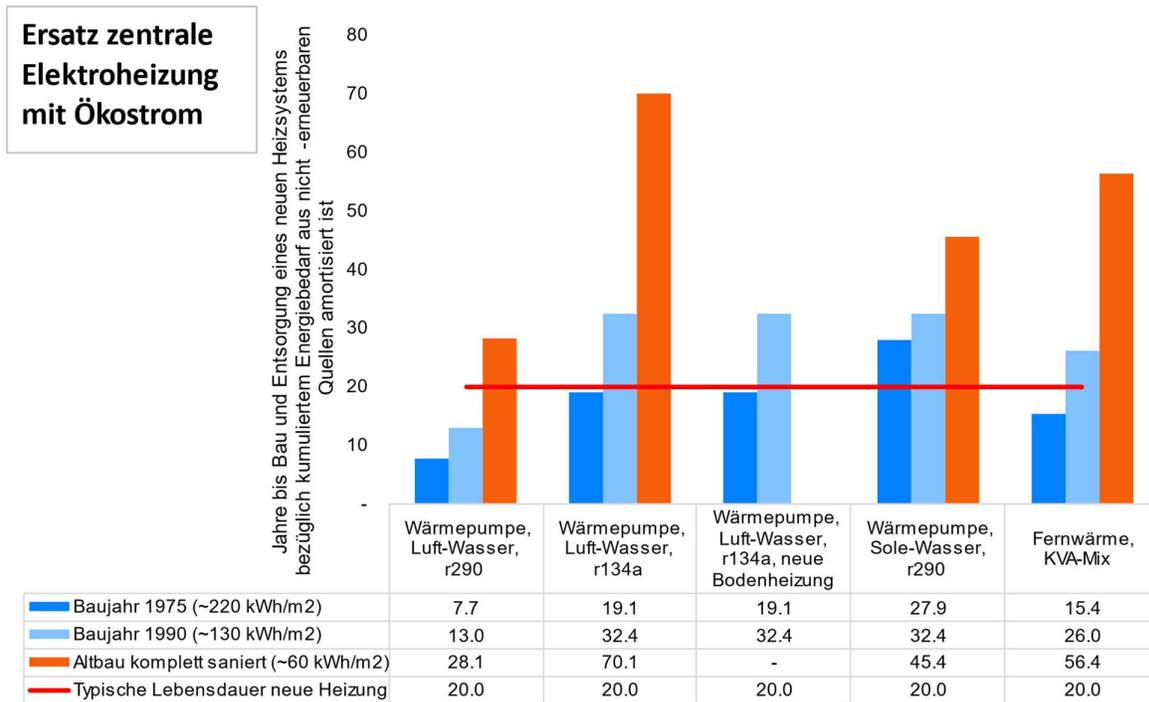


Fig. 4.12 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden zentralen Elektroheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards.

4.3 Analyse der Gesamtumweltbelastungen gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck

Die Gesamtumweltbelastung gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck für die Herstellung und Entsorgung von Heizsystemen, sowie für deren Betrieb in Gebäuden mit 150m² beheizter Fläche und unterschiedlicher Wärmedämmung wird in den folgenden Unterkapiteln, für dieselben Optionen wie bereits in den Analysen für das Klimaänderungspotenzial und den kumulierten Energiebedarf, verglichen (EF 3.0, Sala et al. 2018).

4.3.1 Heizungsinstallation und Entsorgung

Fig. 4.13 zeigt Umweltbelastungen gewichtet gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck für die Heizungsinstallation inklusive Entsorgung aufgegliedert nach Bauteil, beispielhaft für Gebäude mit Dämmungsstandard 1990 (~130 kWh/m²).

Lesebeispiel:

Wird nur Herstellung, Einbau und Entsorgung, ohne Betrieb, betrachtet, zeigen dezentrale, kleine Elektroöfen (0.01 EF-Punkte) die geringsten und eine Holzpellettheizung (0.60 EF-Punkte) die größten Gesamtumweltbelastungen.

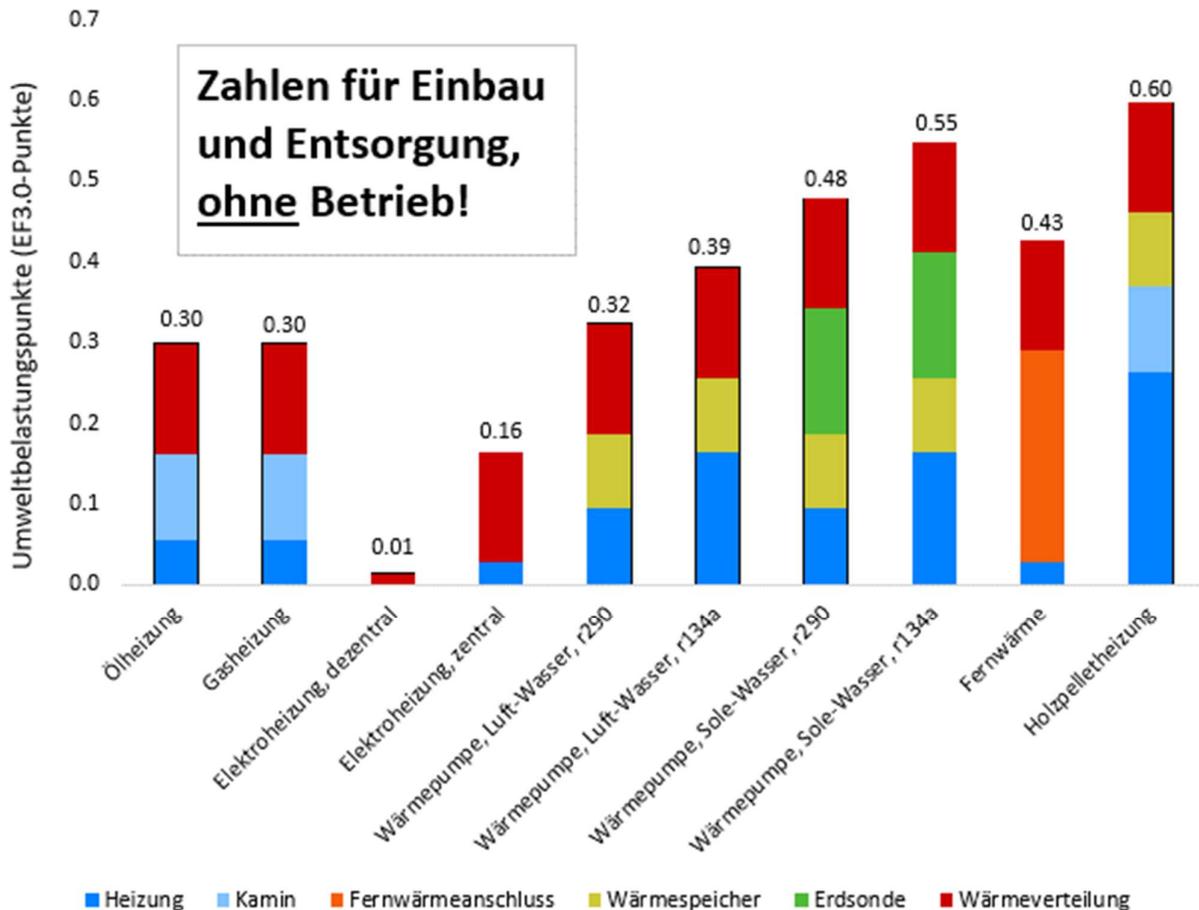


Fig. 4.13 Gesamtumweltbelastung gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck auf Grund der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung, aufgegliedert nach Bauteil und zu entsorgender Baustoffe, ohne Betrieb, in EF-Punkten.

4.3.2 Herstellung vs. Betrieb

Fig. 4.14 zeigt Umweltbelastungen gewichtet gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck auf Grund der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung im Vergleich zum Heizungsbetrieb während 20 Jahren (typische Lebensdauer) in Gebäuden mit unterschiedlich guter Wärmedämmung (vgl. Kapitel 2.7).

Lesebeispiel: Die Herstellung, Inbetriebnahme und Entsorgung einer Ölheizung inklusive Wärmeverteilsystem verursacht Umweltbelastungen in der Höhe von 0.3 Umweltbelastungspunkten (dunkelblauer Balken). In einem unsanierten Gebäude mit Baujahr 1975 oder früher verursacht der Betrieb bzw. das benötigte Heizöl über eine typische Lebensdauer von 20 Jahren einen etwa 40-fach höheren Energiebedarf (~12 EF-Punkte, hellblauer Balken).

In einem energetisch komplett sanierten Altbau (oliv-grüner Balken), verursacht der Betrieb der Ölheizung immer noch etwa 11-fach höhere Umweltbelastungen (~3.3 EF-Punkte, oliv-grüner Balken).

Im selben sanierten Gebäude würde eine mit Ökostrom betriebene Luft-Wasser-Wärmepumpenheizung im Betrieb über dieselben 20 Jahre, indirekt über die Stromerzeugung und Zulieferung, gerade mal 0.19 EF-Punkte, also etwa 18-mal geringere Umweltbelastungen verursachen als die Ölheizung.

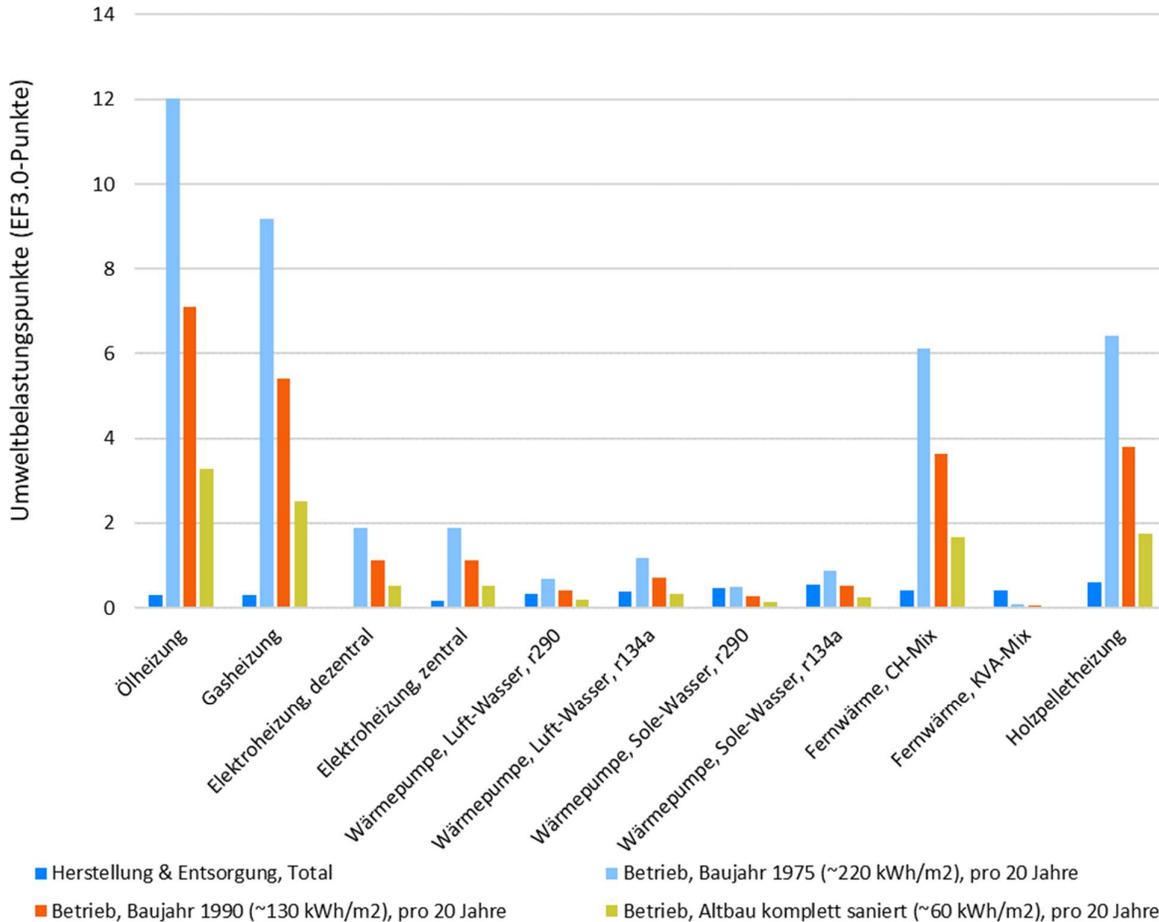


Fig. 4.14 Gesamtumweltbelastung, gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck, auf Grund der Heizungsinstallation, inklusive Entsorgung, im Vergleich zum Heizungsbetrieb, während der typischen Lebensdauer eines Heizsystems (etwa 20 Jahre), für verschiedene Gebäudestandards in EF-Punkten.

4.3.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung

Fig. 4.15 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck, für den Ersatz einer Ölheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Für alle gezeigten Heizungstypen liegt die Amortisationsdauer für alle Gebäudestandards unter der typischen zu erwartenden Lebensdauer der Heizsysteme von etwa 20 Jahren. Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto deutlicher lohnt sich ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: Wäre das betrachtete Gebäude komplett energetisch saniert und hätte aktuell eine Ölheizung, so würde sich ein sofortiger Ersatz durch z.B. eine Wärmepumpe mit Erdsonde klar lohnen, obwohl dafür eine neue Heizung, ein Wärmespeicher und eine Erdsondenbohrung installiert werden müssten und in diesem Worst-Case-Szenario davon ausgegangen wird, dass ein Großteil des klimaschädlichen Kältemittels durch Leckagen in die Luft entweicht. Die Umweltbelastungen auf Grund der Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wären beim Betrieb mit Ökostrom innerhalb von 2.2 Jahren (oranger Balken) und somit vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

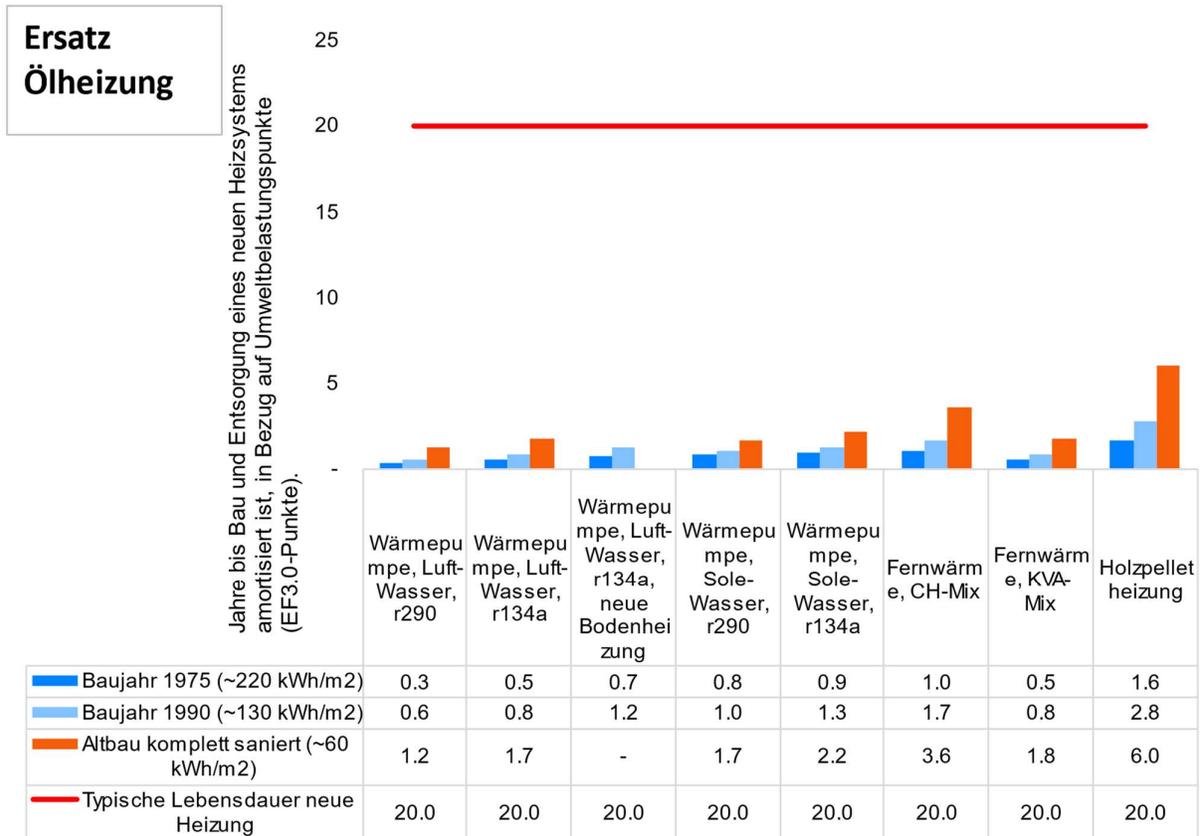


Fig. 4.15 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Ölheizung bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0), in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.3.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung

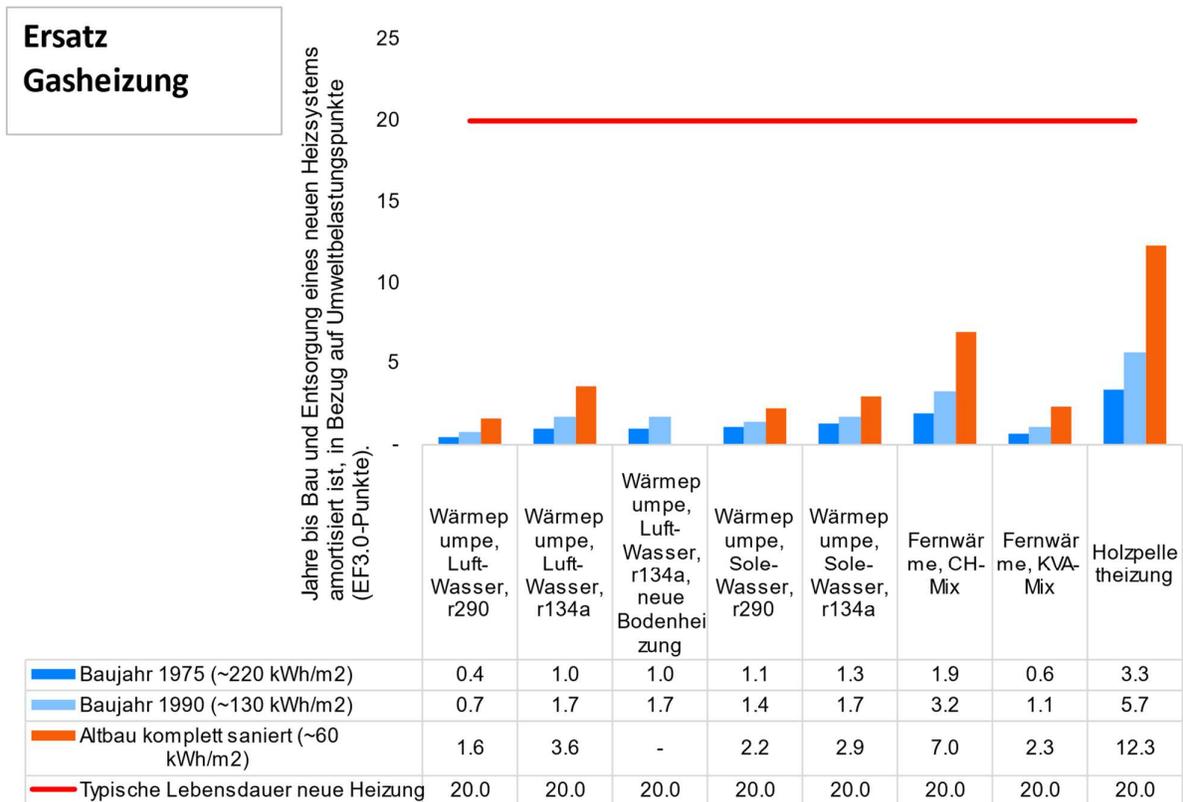


Fig. 4.16 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0), für den Ersatz einer Gasheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Für alle gezeigten Heizungstypen liegt die Amortisationsdauer für alle Gebäudestandards unter der typischen zu erwartenden Lebensdauer der Heizsysteme von etwa 20 Jahren. Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto deutlicher lohnt sich ein frühzeitiger Ersatz.

Stark gewichtet werden in der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck die Feinstaubemissionen bei der Pelletsheizung. Diese könnten durch den zusätzlichen Einbau eines Partikelfilters und regelmäßiger Wartung der Heizung reduziert werden. Wie zuvor gilt: Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung desto deutlicher lohnt sich auch hier ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: Wäre das betrachtete Gebäude komplett energetisch saniert und hätte aktuell eine Gasheizung, so würde sich ein sofortiger Ersatz durch z.B. eine moderne Wärmepumpe (Sole-Wasser, Kältemittel r290) lohnen. Die Gesamtumweltbelastungen für die Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wären beim Betrieb mit Strom aus erneuerbaren Quellen innerhalb von 2.2 Jahren und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

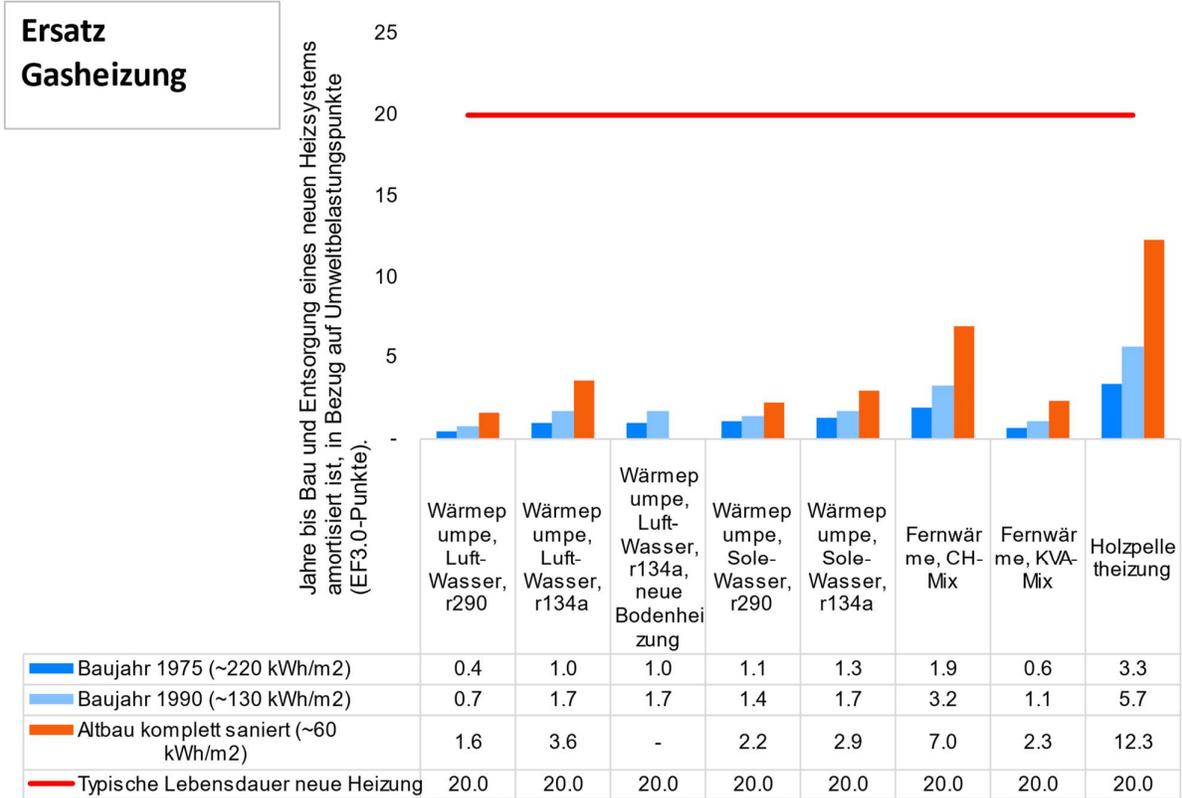


Fig. 4.16 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Gasheizung bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0), in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.3.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentralen Elektroheizkörpern

Fig. 4.17 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0), für den Ersatz von dezentralen Elektroheizkörpern durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Da für die Privathaushalte angenommen wird, dass diese Strom aus erneuerbaren Energien beziehen, lohnt sich ein frühzeitiger Umstieg auf eine Luft-Wasser-Wärmepumpe oder Fernwärme aus einer Kehrlichtverbrennungsanlage vorwiegend in Gebäuden mit mittelmäßig bis schlechter Wärmedämmung. Die Pelletsherstellung und deren Transport wie auch die Fernwärmebereitstellung mit relativ erdgaslastiger Erzeugung (~40%) verursacht höhere Belastungen als die Bereitstellung von Ökostrom. Daher ist ein Umstieg von einer Elektroheizung mit Ökostrom auf eines dieser Systeme bezogen auf die Gesamtumweltbelastung gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0) nicht lohnend und wird nicht gezeigt.

Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto eher könnte sich ein frühzeitiger Ersatz lohnen.

Lesebeispiel: In einem mittelmäßig gedämmten Gebäude würde sich ein sofortiger Ersatz durch z.B. eine moderne Wärmepumpe (Luft-Wasser, Kältemittel r290) lohnen. Die Gesamtumweltbelastungen für die Herstellung und Entsorgung des neuen Heizsystems wären beim Betrieb mit Strom aus erneuerbaren Quellen innerhalb von 9.1 Jahren (hellblauer Balken) und somit klar vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

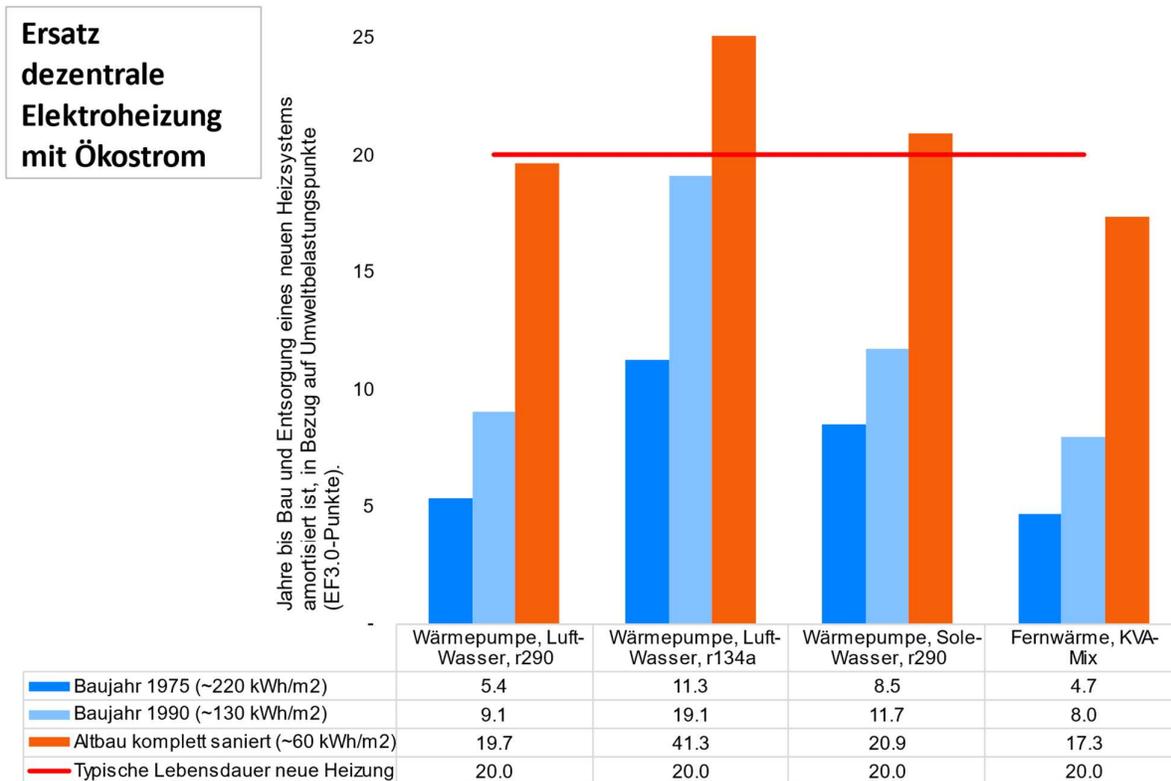


Fig. 4.17 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu bestehenden dezentralen Elektroheizkörpern bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0), in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards.

4.3.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung

Fig. 4.18 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0), für den Ersatz einer zentralen Elektroheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Hier lohnt sich ein frühzeitiger Umstieg auf eine moderne Luft-Wasser-Wärmepumpe in allen untersuchten Gebäudestandards. In gut gedämmten Gebäuden könnte der Einbau einer Wärmepumpe mit treibhauswirksamem Kühlmittel r134a kontraproduktiv sein, sofern dieses, wie im entsprechenden Szenario angenommen, durch Lecks teilweise austritt.

Die Pelletsherstellung und deren Transport und Verbrennung wie auch die Fernwärmebereitstellung mit relativ erdgaslastiger Erzeugung (~40%) verursacht höhere Belastungen als die Strombereitstellung. Daher ist ein Umstieg von einer Elektroheizung mit Ökostrom auf eines dieser Systeme bezogen auf die Gesamtumweltbelastung gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0) nicht lohnend und wird nicht gezeigt.

Je schlechter der Gebäudestandard bzw. die Wärmedämmung, desto stärker lohnt ein frühzeitiger Ersatz.

Lesebeispiel: In einem gut gedämmten Gebäude würde sich ein sofortiger Ersatz durch eine Fernwärmeheizung lohnen, sofern die Fernwärme größtenteils aus erneuerbaren Energieträgern bzw. der Verbrennung von Kehrlicht erzeugt wird (Amortisationsdauer von 11.8 Jahren, oranger Balken).

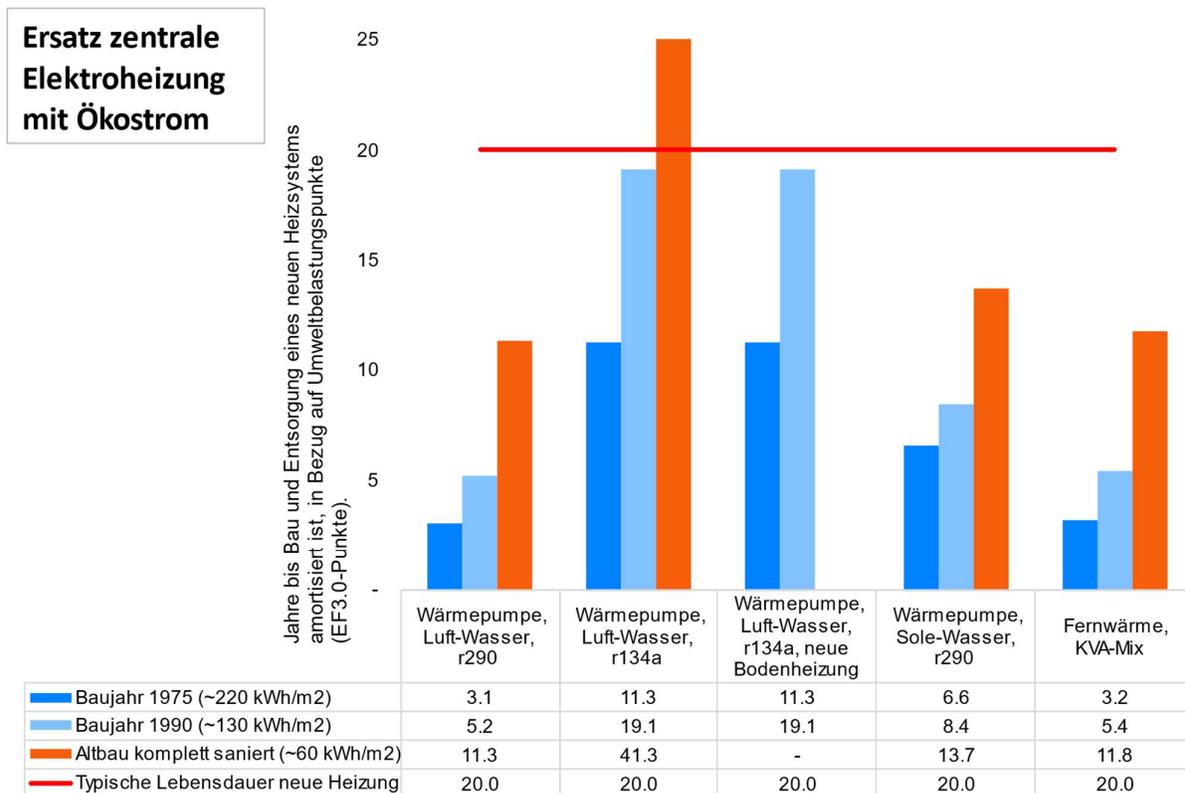


Fig. 4.18 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden zentralen Elektroheizung bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0), in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards.

5 Interpretation

Die Auswertungen werden entsprechend der Fragestellungen in Tab. 1.1 diskutiert.

5.1 Datenqualität und Unsicherheiten

Bei der Datenerhebung gibt es eine Reihe von Unsicherheiten. Diese können für den Vergleich von Heizsystemen in der Praxis relevant werden, falls die individuelle Situation stark von den getroffenen Annahmen abweicht.¹³ Generell wurden die Annahmen jedoch so getroffen, dass diese im Zweifel eher für das bestehende System als für einen frühzeitigen Ersatz sprechen würden. Beispielsweise wurden alte Datensätze von technisch weniger ausgereiften und daher tendenziell weniger effizienten Wärmepumpen mit niedriger Jahresarbeitszahl und hohen Kältemittlemissionen verwendet. Zudem wurde in einem Szenario betrachtet, wie die Wärmepumpen abschneiden würden, falls zusätzlich eine neue Bodenheizung eingebaut würde. Als weiteres Beispiel wurde bei der Fernwärme ein Mix mit hohem Anteil aus Erdgas berücksichtigt.

Auf Grund der gezeigten Szenarien lassen sich generell eindeutige Tendenzen ablesen:

- Bei höherem Infrastrukturbedarf als hier angenommen verlängert sich die Amortisationsdauer. Beispiel: Falls der Anschluss an die Fernwärmezuleitung länger ist, wären die Umweltbelastungen auf Grund der Umstellung höher im Vergleich zur Ersparnis im Betrieb. Es bräuchte also länger, bis die Investition amortisiert ist.
- Bei höherem Wärmebedarf, aber gleicher Auslegung der Heizung, verkürzt sich die Amortisationsdauer.

5.2 Schlussfolgerungen

Moderne, mit Ökostrom betriebene Wärmepumpen sowie Fernwärme aus erneuerbaren Quellen (und Kehrlichtverbrennungsanlagen) verursachen im Betrieb die geringsten Umweltbelastungen der hier untersuchten Heizsysteme. Basierend auf den Berechnungen zum Klimaänderungspotenzial, dem kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen und den Gesamtumweltbelastungen gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF3.0) lohnt sich in der Regel ein möglichst baldiger Umstieg von einer Öl- oder Gasheizung auf Wärmepumpen-, Pellets- oder Fernwärmeheizung, auch wenn die alte Heizungsanlage noch läuft.

In schlecht gedämmten Häusern lohnt sich in der Regel auch ein sofortiger Umstieg von Elektroheizung mit Ökostrom auf moderne Luft-Wasserwärmepumpen oder eine Fernwärmeheizung ab Kehrlichtverbrennungsanlage, auch wenn die alte Heizungsanlage noch funktioniert.

Bei Elektroheizungen und Wärmepumpen ist der Strommix relevant. Der in dieser Studie angenommene Ökostrommix mit dem Label Naturemade Star ist bezüglich Gesamtumweltbelastungen sehr gut. Allerdings ist es für Schweizer Privathaushalte auch möglich, ein umweltschädlicheres Produkt, vorwiegend mit Strom aus Atomkraftwerken und dem internationalen Handel zu beziehen. Die Studienergebnisse gelten daher nicht für Haushalte, die einen umweltschädlicheren Strommix beziehen. In diesen Fällen wird empfohlen einen umweltschonenderen Strommix zu beziehen bzw. im Falle

¹³ Beispiel: In der Modellierung wird die aktuelle Marktlage bzgl. Stromangebot und Nachfrage nicht berücksichtigt. Würde dies entweder in der Methode oder in der Sachbilanz mittels notwendiger Speichertechnologien berücksichtigt, würden Elektroheizungen vermutlich wesentlich schlechter abschneiden.

einer bestehenden zentralen Elektroheizung umgehend auf ein umweltfreundlicheres Heizungssystem zu wechseln.

Für Strom gibt es das Label «naturemade star»¹⁴, welches zusätzliche Aspekte berücksichtigt und auf jeden Fall empfohlen werden kann. Erneuerbare Stromprodukte ohne dieses Label sind hingegen nur eingeschränkt zu empfehlen.

Die andernorts gültige Faustregel, dass man aufwändig produzierte Gegenstände aus Umweltschutzgründen möglichst lange nutzen sollte, ist für Heizsysteme also falsch, sofern es Alternativen gibt, die in der Nutzungsphase deutlich weniger Umweltbelastungen verursachen als die bestehenden Systeme.

Verschiedene Systeme haben Vor- und Nachteile auch hinsichtlich der technischen Umsetzbarkeit. Vor einer Entscheidung müssen daher auch immer die tatsächlichen Bedingungen vor Ort berücksichtigt werden. Einen ersten Überblick hierzu gibt z.B. <https://erneuerbarheizen.ch/heizung-ersetzen-die-7-schritte/>.

6 Literatur

- BAFU 2021 BAFU (2021) Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit: Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: www.bafu.admin.ch/uw-2121-d.
- Bos et al. 2016 Bos U., Horn R., Beck T., Lindner J. P. and Fischer M. (2016) LANCA® - Characterisation Factors for Life Cycle Impact Assessment, Version 2.0. Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0953-8, Stuttgart.
- Boulay et al. 2018 Boulay A.-M., Bare J., Benini L., Berger M., Lathuilière M. J., Manzardo A., Margni M., Motoshita M., Núñez M., Valerie-Pastor A., Ridoutt B., Oki T., Worbe S. and Pfister S. (2018) The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). In: *Int J Life Cycle Assess*, **23**(2), pp. 368–378.
- Brand et al. 1998 Brand G., Scheidegger A., Schwank O. and Braunschweig A. (1998) Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 1997. Schriftenreihe Umwelt 297. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- ESU-services 2022a ESU-services (2022a) The ESU background database based on UVEK-LCI DQRv2:2018. ESU-services Ltd., Schaffhausen, retrieved from: www.esu-services.ch/data/database/.
- ESU-services 2022b ESU-services (2022b) Life cycle inventory database on demand: EcoSpold LCI database of ESU-services. ESU-services Ltd., Schaffhausen, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/data/data-on-demand/.
- Fantke et al. 2016 Fantke P., Evans J., Hodas N., Apte J., Jantunen M., Jolliet O. and McKone T. E. (2016) Health impacts of fine particulate matter. In: *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators: Volume 1*. (Ed. Frischknecht R. and Jolliet O.). pp. 76-99. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Paris.
- Fazio et al. 2018 Fazio S., Castellani V., Sala S., Schau E., Secchi M. and Zampori L. (2018) Supporting information to the characterisation factors of recommended EF Life Cycle Impact Assessment methods. European Commission, ISBN EUR 28888 EN, ISBN 978-92-79-76742-5, doi:10.2760/671368, JRC109369, Ispra.

¹⁴ www.naturemade.org

- Frischknecht et al. 2000 Frischknecht R., Braunschweig A., Hofstetter P. and Suter P. (2000) Modelling human health effects of radioactive releases in Life Cycle Impact Assessment. *In: Environmental Impact Assessment Review*, **20**(2), pp. 159-189.
- Frischknecht et al. 2007a Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirschler R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007a) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht et al. 2007b Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007b) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.esu-services.ch/data/ecoinvent/.
- Frischknecht et al. 2008 Frischknecht R., Steiner R. and Jungbluth N. (2008) Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 2006. Umwelt-Wissen Nr. 0906. ESU-services GmbH im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01031/index.html?lang=de.
- Frischknecht et al. 2013 Frischknecht R., Büsser Knöpfel S., Flury K. and Stucki M. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit: Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. treeze und ESU-services GmbH im Auftrag des Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, retrieved from: www.bafu.admin.ch/uw-1330-d.
- International Organization for Standardization (ISO) 2006a International Organization for Standardization (ISO) (2006a) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO 14040:2006; Second Edition 2006-06, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 2006b International Organization for Standardization (ISO) (2006b) Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO 14044:2006; First edition 2006-07-01, Geneva.
- IPCC 2013 IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, retrieved from: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wgl/>.
- IPCC 2021 IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, retrieved from: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>.
- Jungbluth & Meili 2019 Jungbluth N. and Meili C. (2019) Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index. *In: Int J Life Cycle Assess*, **24**(3), pp. 404-411, DOI: 10.1007/s11367-018-1556-3, retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1556-3>, <https://rdcu.be/bbKZk>.
- Jungbluth 2022 Jungbluth N. (2022) Environmental report and product declaration 2021. ESU-services GmbH, Schaffhausen, CH, retrieved from: <http://esu-services.ch/news/reporting/>.
- KBOB et al. 2022 KBOB, eco-bau and IPB (2022) Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2022 Empfehlung Nachhaltiges Bauen. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.kbob.ch und www.ecobau.ch
- Lee et al. 2021 Lee D. S., Fahey D. W., Skowron A., Allen M. R., Burkhardt U., Chen Q., Doherty S. J., Freeman S., Forster P. M., Fuglestvedt J., Gettelman A., De León R. R., Lim L. L., Lund M. T., Millar R. J., Owen B., Penner J. E., Pitari G., Prather M. J., Sausen R. and Wilcox L. J. (2021) The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *In: Atmospheric Environment*, **244**, pp. 117834, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>, retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689>.

- Müller-Wenk 1978 Müller-Wenk R. (1978) Die ökologische Buchhaltung: Ein Informations- und Steuerungsinstrument für umweltkonforme Unternehmenspolitik. Campus Verlag Frankfurt.
- PCR 2012 PCR (2012) Product Category Rules (PCR) for Research and Experimental Development Services in Natural Sciences and Engineering (UN CPC 811). The International EPD System.
- Posch et al. 2008 Posch M., Seppälä J., Hettelingh J. P., Johansson M., Margni M. and Jolliet O. (2008) The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. *In: Int J Life Cycle Assess*(13), pp. 477-486.
- Rosenbaum et al. 2008 Rosenbaum R. K., Bachmann T. M., Gold L. S., Huijbregts A. J., Jolliet O., Juraske R., Koehler A., Larsen H. F., MacLeod M., Margni M., McKone T. E., Payet J., Schuhmacher M., van de Meent D. and Hauschild M. Z. (2008) USEtox - the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle assessment. *In: International Journal of Life Cycle Assessment*, **13**(7), pp. 532-546.
- Sala et al. 2018 Sala S., Cerutti A. K. and Pant R. (2018) Development of a weighting approach for the Environmental Footprint. (ed. JRC). Publications Office of the European Union,, ISBN ISBN 978-92-79-68042-7, EUR 28562, doi:10.2760/945290, Luxembourg, retrieved from: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/development-weighting-approach-environmental-footprint>.
- Seppälä et al. 2006 Seppälä J., Posch M., Johansson M. and Hettelingh J. P. (2006) Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator. *In: Int J Life Cycle Assess*, **11**(6), pp. 403-416.
- SimaPro 2022 SimaPro (2022) SimaPro 9.4 LCA software package. PRé Sustainability, Amersfoort, NL, retrieved from: www.simapro.ch.
- Struijs et al. 2009 Struijs J., Beusen A., van Jaarsveld H. and Huijbregts M. A. J. (2009) Aquatic Eutrophication. *In: ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation factors* (Ed. Goedkoop M., Heijungs R., Heijbregts M. A. J., De Schryver A., Struijs J. and Van Zelm R.).
- TrÖbiV 2009 TrÖbiV (2009) Verordnung des UVEK über den Nachweis der positiven ökologischen Gesamtbilanz von Treibstoffen aus erneuerbaren Rohstoffen. *In: Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)*, Vol. Stand 15. April 2009, Switzerland, retrieved from: www.admin.ch/ch/d/sr/6/641.611.21.de.pdf.
- van Oers et al. 2002 van Oers L., De Koning A., Guinée J. B. and Huppes G. (2002) Abiotic resource depletion in LCA - improving characterization factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook. *In*, pp.
- Van Zelm et al. 2008 Van Zelm R., Huijbregts M. A. J., Den Hollander H. A., Van Jaarsveld H. A., Sauter F. J., Struijs J., Van Wijnen H. J. and Van de Meent D. (2008) European characterization factors for human health damage of PM10 and ozone in life cycle impact assessment. *In: Atmos Environ*, **42**, pp. 441-453.
- WMO 2014 WMO (2014) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014. World Meteorological Organisation, Geneva.

A.ESU-services GmbH

Dieses Projekt wurde von der ESU-services GmbH in Schaffhausen durchgeführt. Im Folgenden möchten wir uns kurz vorstellen.

A.1 Unsere Philosophie «fair consulting in sustainability»

Die ESU-services GmbH wurde im Jahre 1998 gegründet. Die Hauptaktivitäten der Firma sind Beratung, Forschung, Review und Ausbildung im Bereich Ökobilanzen. Fairness, Unabhängigkeit und Transparenz sind wesentliche Merkmale unserer Beratungsphilosophie. Wir arbeiten sachbezogen und führen unsere Analysen unvoreingenommen durch. Wir dokumentieren unsere Studien und Arbeiten transparent und nachvollziehbar. Wir bieten eine faire und kompetente Beratung an, die es den Auftraggebern ermöglicht, ihre Umweltperformance zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern. Zu unseren Kunden zählen verschiedene nationale und internationale Firmen, Verbände und Verwaltungen. Unser Team hat Pionierarbeit geleistet bei der Entwicklung und dem Betrieb webbasierter Ökobilanz-Datenbanken sowie bei der Erforschung von Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln, Biotreibstoffen und Konsummustern.

A.2 Erfahrenes Projektteam

Für ESU-services arbeiten verschiedene Experten, die alle auf dem Gebiet der ökologischen Bewertung von Lebenszyklen erfahren sind und von einem großen Netzwerk auf den für die Studie erforderlichen Gebieten profitieren. Zu Beginn des Projekts wird eine Person als Projektleiterin oder Projektleiter ernannt. Er oder sie ist der Hauptansprechpartner für den Kunden. Je nach Erfahrung und Verfügbarkeit können weitere Mitarbeiter die Arbeit unterstützen. Die Gesamtaufsicht und Qualitätssicherung für dieses Projekt liegen beim Geschäftsführer und Inhaber Dr. Niels Jungbluth.

A.2.1 Dr. Niels Jungbluth, Geschäftsführer und Inhaber

Dr. Sc. Techn. ETH Zürich, Dipl.-Ing. TU Berlin

Niels Jungbluth arbeitet seit dem Jahr 2000 bei ESU-services. Seine Hauptarbeitsgebiete sind Ernährung, Biomasse, Energiesysteme, Input-Output-Analysen und Ökologische Lebensstile. Er ist außerdem für das SimaPro Zentrum und den Datenverkauf von ESU-services verantwortlich. Niels ist Mitglied des Editorial Board des International Journal of Life Cycle Assessment. Er arbeitet für zahlreiche weitere wissenschaftliche Zeitschriften als Reviewer. Niels arbeitete als Berater für Organisationen wie die UN-Klima-Rahmenkonvention (UNFCCC), Deutsche Bundesstiftung Umwelt, CEN TC 383 Standard (Nachhaltigkeitskriterien von Biomasse), ISO PC 248 (nachhaltige Bioenergie), Evaluation von EU-Forschungsgesuchen, UNEP-SETAC life cycle initiative, Schweizer Treibstoffökobilanzverordnung (TrÖbiVO). Niels Jungbluth hat ein Doktorat in Ökobilanzen am Lehrstuhl Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften von Prof. Dr. R. Scholz (ETH Zürich) durchgeführt. Seine Dissertation zu den Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums wurde mit dem Greenhirn Preis 1999/2000 für angewandte Umweltforschung des Öko-Instituts Freiburg ausgezeichnet. In seiner vorhergehenden Diplomarbeit im Studiengang Technischer Umweltschutz an der TU Berlin hat er eine Ökobilanz für Kochbrennstoffe in Indien erstellt.



A.2.2 Christoph Meili, Projektleiter Ökobilanzen

M.Sc. ETH in Umweltingenieurwissenschaften

Christoph Meili hat Umweltingenieurwissenschaften an der ETH Zürich studiert mit Vertiefung in den Bereichen Ökologisches Systemdesign & Entsorgungstechnik sowie Bodenschutz. In seiner Masterarbeit erstellte er eine Stoffstromanalyse und Ökobilanz für die Hydrothermale Vergasung von Biomasse.



Christoph Meili arbeitet seit 2016 als Projektleiter bei ESU-services. Hier betreut er die regionale SimaPro-Kundschaft in der Schweiz, sowie in Deutschland, Österreich und Liechtenstein. Seit Beginn bei ESU-services erstellte er Ökobilanzen zur Bereitstellung von Energieträgern, zu kommunalen Energiesystemen, zu verschiedenen Elektrogeräten, sowie zu Verpackungsmaterialien und Essensrezepten. Des Weiteren bewertete er die Güte von Baumwoll-Labels und erarbeitete Kennwertmodelle für Laufwasserkraftwerke, Lebensstil-Analysen, Transport-Wege und Rohstoffförderung. Er führt Softwareschulungen sowie Einstiegskurse und Vorträge zu diversen Ökobilanzthemen an.

Seit 2012 arbeitet er zudem in einem Teilzeitpensum für den WWF Schweiz. In der Abteilung Markets ist er zuständig für den Footprintrechner, Umwelttipps für den Alltag sowie wissenschaftliche Arbeiten und externe Anfragen zu Konsumthemen.

A.2.3 Maresa Bussa, Projektleiterin Ökobilanzen

M.Sc. in Energie- und Umweltingenieurwesen

Maresa Bussa studierte Energie- und Umwelttechnik an der École des Mines de Nantes und der Technischen Universität Madrid. In ihrer Masterarbeit analysierte sie Optionen zur Anpassung an den Klimawandel auf dem Koh-Rong-Archipel in Kambodscha.



Von 2017 bis 2020 arbeitete sie an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf als wissenschaftliche Mitarbeiterin. Dabei analysierte sie innerhalb eines EU-Projekt die ökologischen und ökonomischen Aspekte der Nutzung von Cyanobakterien. Seit 2018 ist sie Doktorandin an der Technischen Universität München. Im Rahmen ihrer Promotion führte sie Ökobilanzen zu verschiedenen Mikroalgenkultivierungssystemen und Extraktionsmethoden durch. Maresa Bussa arbeitet seit 2020 für ESU-services. In ihren ersten Projekten untersucht sie Alternativen zur Kuhmilch als Getränk und leitet die Ökobilanzarbeiten im europäischen PROFUTURE Projekt zu Algen.

A.3 Ökologische und soziale Verantwortung

Unsere Kunden sind in der Regel an einer umweltfreundlichen Beschaffung interessiert. Auch die hier angebotene Dienstleistung ist mit einer indirekten Umweltbelastung für den Auftraggeber verbunden. Wir zeigen Kennzahlen zur ökologischen Nachhaltigkeit und Informationen zu unserer sozialen Verantwortung in unserem jährlich erscheinenden Umweltbericht¹⁵ (Jungbluth 2022; PCR 2012). Die Daten, die für den Umweltbericht von ESU-services GmbH erhoben wurden, ermöglichen es uns, die Umweltbelastungen zur Bearbeitung jedes einzelnen Projektes auszuweisen. Weil Geschäftsreisen eine grosse Bedeutung haben, werden diese bei den durchschnittlichen Belastungen pro Beratungsstunde ausser Acht gelassen und stattdessen spezifisch pro Projekt erfasst. Tab. 6.1 zeigt die Umweltbelastungen eines Beispielprojektes auf. Auf Wunsch erstellen wir für unsere

¹⁵ <http://esu-services.ch/de/news/reporting/>

Auftraggeber auch eine Vorabschätzung oder eine kostenlose Endabrechnung der Umweltbelastungen, die durch das Projekt bei uns verursacht werden.

Tab. 6.1 Beispiel für die Umweltauswirkungen eines bei ESU-services durchgeführten Projektes

Umweltbelastung für das Gesamtprojekt	Aufwand	Treibhausgasemissionen	Umweltbelastungspunkte 2021
		kg CO ₂ -eq	UBP'21
Zeitbudget Beratung	d	12.3	128
Bahnreisen, CH	km	100	1
Bahnreisen, DE	km	500	25
Flugreisen	km	-	-
Hotelübernachtungen	-	2	62
Total			216
			437'109

© ESU-services 2022

A.4 Gemeinsame Werte in einem weltweiten Netzwerk

ESU-services arbeitet mit verschiedenen Beratungsfirmen aus dem globalen SimaPro Netzwerk zusammen.¹⁶ So können wir auch internationale Projekte erfolgreich durchführen und Kompetenzen vielen Fachbereichen zusätzlich anbieten. Dieses Netzwerk ermöglicht uns Sachbilanzdaten für Produkte und Dienstleistungen aus aller Welt zu erheben oder darauf zuzugreifen. Damit kann ESU-services auch auf die Bedürfnisse großer Unternehmen eingehen. Wir teilen die folgenden ethischen Werte und Verpflichtungen mit diesem Netzwerk.



Wir vertrauen auf wissenschaftsbasierte Fakten, sind leidenschaftliche Mitarbeiter und helfen bei der Entwicklung nachhaltiger Lösungen. Unsere Werte und Überzeugungen stehen im Mittelpunkt unseres Handelns.

- Wir lieben den Planeten, er ist unser Zuhause.
- Wir arbeiten daran, seine Widerstandsfähigkeit durch nachhaltige Praktiken und verlässliche Kennzahlen zu erhalten.
- Lebenszyklusanalysen bilden den Kern von Nachhaltigkeitsbeurteilungen und sollen für alle zugänglich sein.
- SimaPro und Ökobilanz-basierte Entscheidungen werden in einem dynamischen Ökosystem, das eine Vielfalt von Welten, Systemen und Menschen verbindet, von zentraler Bedeutung sein.
- Innerhalb dieses Systems entwickeln wir gemeinsam mit Kunden, Partnern, Kleinunternehmen, Regierungsstellen, NGOs und anderen Interessengruppen praktikable Lösungen.

Unsere Verpflichtungen:

- Wir verpflichten uns zu Qualität, Genauigkeit und Transparenz.
- Wir verpflichten uns zu den faktenbasierten Ergebnissen. Wir werden keine Faktenverzerrungen vornehmen.

¹⁶ <http://esu-services.ch/de/netzwerk-kunden/partner/>

- Wir nutzen unsere Erfahrung und unser Wissen, um unsere Kunden zu informieren und nachhaltige Entwicklungen und Praktiken zu ermöglichen, um gemeinsam bessere Lösungen zu schaffen.
- Wir nutzen jede Gelegenheit, um unsere positive Wirkung zu maximieren.
- Wir begrüßen jeden, der sich für eine nachhaltige Entwicklung einsetzt und sehen ihn als Partner in diesem Prozess.

A.5 Mehr als 25 Jahre Erfahrung

Niels Jungbluth startete erste Forschungsarbeiten zum Thema Ökobilanz im Jahre 1994. Die ESU-services GmbH hat seit 1998 mehr als 300 Projekte erfolgreich durchgeführt. Eine vollständige Liste der durch ESU-services durchgeführten Projekte, der Auftraggeber und der Veröffentlichungen finden Sie auf unserer Homepage www.esu-services.ch/de/projekte/projektliste/.

B.ISO 14040-44 (Produktökobilanzen)

Die ursprüngliche Ökobilanz bzw. das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt¹⁷ verbundenen Umweltauswirkungen. Die Ökobilanz beruht auf einem Lebenszyklus-Ansatz. Damit werden die Umweltauswirkungen eines Produktes von der Rohstoffentnahme über Fertigung und Nutzung bis zur Entsorgung des Produktes und der Produktionsabfälle (von der Wiege bis zur Bahre, „cradle to grave“) erfasst und beurteilt.

Eine Ökobilanz lässt sich gemäß ISO 14040 grob in vier Phasen unterteilen (siehe Fig. 6.1):

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

¹⁷ Der Begriff Produkt schliesst hier Dienstleistungen mit ein.

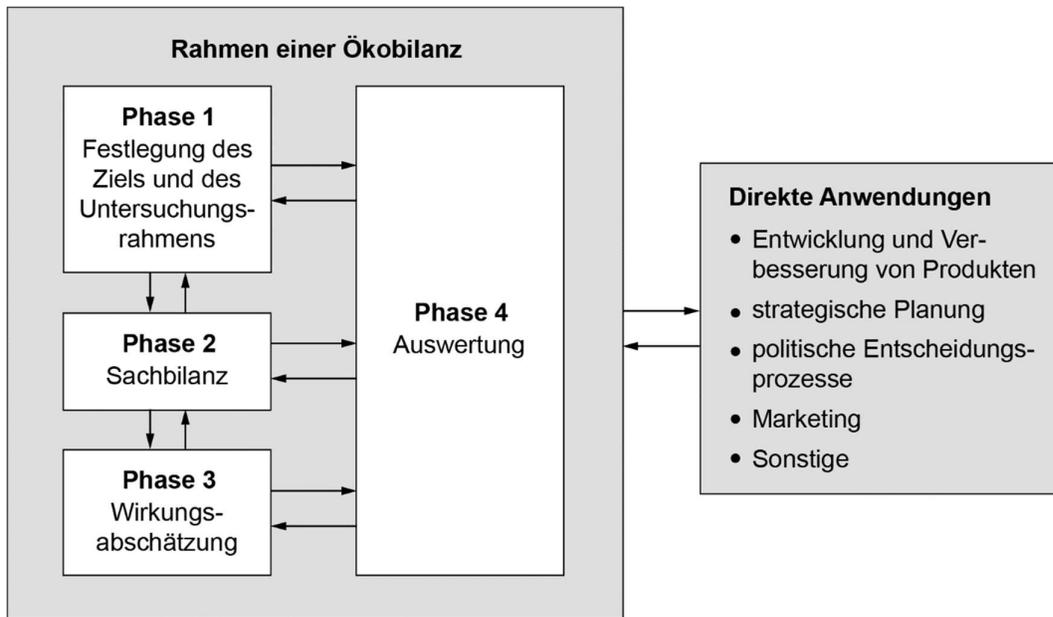


Fig. 6.1 Bestandteile einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA); Bezeichnungen in Deutsch (International Organization for Standardization (ISO) 2006a)

Die *Zieldefinition* (Phase 1) enthält die Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes, und die Definition der Bezugsgröße, der sogenannten funktionellen Einheit. Zudem werden diejenigen Umweltaspekte definiert, die bei Wirkungsabschätzung und der Interpretation berücksichtigt werden sollen. Der *Untersuchungsrahmen* wird abgesteckt, indem die Modellierungsweise und die für ein Produkt maßgebenden Prozesse bestimmt und beschrieben werden.

In der *Sachbilanz* (=Ökoinventar, Phase 2) werden die Umwelteinwirkungen¹⁸ und der Bedarf an Halbfabrikaten, Hilfsstoffen und Energie der am Produktlebenszyklus beteiligten Prozesse erfasst und zusammengestellt. Diese Daten werden in Bezug zum Untersuchungsgegenstand, der funktionellen Einheit gesetzt. Das Ergebnis der Sachbilanz sind die kumulierten Stoff- und Energieflüsse, die durch das Bereitstellen der funktionellen Einheit ausgelöst werden.

Ausgehend von der Sachbilanz wird die *Wirkungsabschätzung* (Phase 3) durchgeführt. Gemäß ISO 14040 wird die Wirkungsabschätzung in verschiedene Teilschritte unterteilt. Die ISO 14044 legt weder spezifische Verfahren fest, noch unterstützt sie die zugrunde liegenden, für die Ordnung der Wirkungskategorien verwendeten Werthaltungen. Die Werthaltungen und Beurteilungen innerhalb der Wirkungsabschätzung liegen in alleiniger Verantwortung des Autors und Auftraggebers der Studie.

In der *Auswertung* (Phase 4) werden die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zusammengefasst. Es werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert.

¹⁸ Ressourcennutzung und Schadstoffemissionen.

C. Anhang Bewertungsmethoden

C.1 Klimaänderungspotential

Der Klimawandel ist ein globales Problem. Er führt zu verschiedenen direkten und indirekten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die vom Menschen geschaffenen Infrastrukturen und Umweltschäden, wie z.B.:

- Wärmere oder kältere Temperaturen an bestimmten Orten und zu bestimmten Zeiten.
- Veränderungen der Menge, der jährlichen Verteilung und des Ausmaßes der Niederschläge und Schneefälle
- Änderungen in der Größe der Windgeschwindigkeiten
- Gletscherschmelze, die zum Verschwinden von Permafrostgebieten, höheren Meeresspiegel und Veränderungen im Salzgehalt der Ozeane führen.
- Versauerung der Ozeane durch höhere Kohlensäurekonzentration
- Veränderungen lokaler oder globaler Klimaphänomene wie Golfstrom, Monsunzeit etc.

Es gibt keine wirtschaftliche, technische Lösung, um diese Schäden rückgängig zu machen. Die Emissionen führen zu dauerhaften Veränderungen im Klimasystem der Erde. Bei der Überschreitung von sogenannten Kipppunkten (z.B. Abschmelzen polarer Gletscher, Klimaänderung im Regenwald, Veränderung globaler Meeresströmungen, etc.) führt dies zu einer selbstverstärkenden Rückkopplung. Da eine Lösung für dieses Problem noch nicht in Sicht ist, wird es von vielen Forschern als derzeitig drängendstes globale Umweltproblem angesehen.

Für diejenigen Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, wird das „global warming potential“ (GWP) nach IPCC als Wirkungsparameter beigezogen (IPCC 2021). Dabei werden Absorptionskoeffizienten für infrarote Wärmestrahlung, die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre und die erwartete Immissionsentwicklung berücksichtigt. Für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) wird dann die potenzielle Wirkung eines Kilogramms eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen eines Kilogramms CO₂ bestimmt. Somit können atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen CO₂ umgerechnet werden.

Wird nichts Genaueres angegeben, so wird häufig von einem Zeithorizont von 100 Jahren ausgegangen. Der kürzere Integrationszeitraum von 20 Jahren ist relevant, da dieser die Temperaturveränderungsrate maßgeblich bestimmt, welche wiederum die erforderliche Adaptionsfähigkeit für terrestrische Ökosysteme vorgibt. Die Verwendung der längeren Integrationszeiten von 500 Jahren entspricht auch etwa der Integration über einen unendlichen Zeithorizont und lässt Aussagen über das Potenzial der absoluten Veränderung zu (Meeresspiegelerhöhung, Veränderung der Durchschnittstemperatur).

Für den Indikator Klimaänderungspotenzial werden in der öffentlichen Diskussion eine Vielzahl zu meist synonyme Begriffe verwendet, z.B. Treibhausgasemissionen, Carbon Footprint, Klimabilanz, Klimawandel, Klimabelastung, Klimafußabdruck, CO₂-Fussabdruck, CO₂-Bilanz, etc. Diese Begriffe sind nicht klar definiert. Relevant für die Unterscheidung ist dabei nicht der Begriff an sich, sondern die verwendete Version der IPCC Charakterisierungsfaktoren, der Zeithorizont, die berücksichtigten Klimagase¹⁹ und der Einbezug von zusätzlichen Effekten durch den Luftverkehr.

Die aktuelle Version der Charakterisierungsfaktoren wurde 2021 veröffentlicht (IPCC 2021).

¹⁹ Einige weniger Autoren rechnen auch heute noch nur mit den Kohlendioxid Emissionen ohne Berücksichtigung weiterer Klimagase.

In unseren Studien weisen wir ab 2022 in der Regel nicht nur das GWP 100a aus, sondern zeigen wo relevant auch die Auswirkungen im Zeitraum von 20 Jahren. Diese werden in Anbetracht des Näherrückens von Kippunkten und im Hinblick auf kurzfristige Klimaneutralität immer wichtiger.

In der Regel berücksichtigen wir in unseren Studie auch den zusätzlichen Effekt durch die Emissionen von Flugzeugen mit dem sogenannten RFI Faktor (Jungbluth & Meili 2019). Dabei verwenden wir einen RFI von 1.7 bzw. 4 für das GWP bei 100a bzw. 20a (Lee et al. 2021).

Die aktuellen Emissionen pro Person und Jahr liegen in der Schweiz bei knapp 14 Tonnen CO₂-eq. Tab. 6.2 zeigt weitere typische Referenzwerte für diesen Indikator, dabei wurde mit der Methode IPCC mit den RFI Faktoren gerechnet.

Tab. 6.2 Referenzwerte für Produkte und Dienstleistungen, die 1kg CO₂-eq verursachen

GWP 20a	GWP 100a	1 kg CO ₂ -eq entspricht...
3'131.2	3'594.7	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
6.5	8.7	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
1.0	1.0	Kilogramm fossiles CO ₂ , direkt emittiert
0.012	0.034	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
0.93	1.76	Liter Rohöl gefördert, mit Transport bis zur Raffinerie
2.9%	3.4%	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2018
2.8%	3.3%	des Tageskonsums einer Person in der Schweiz
1.9	4.2	km Transport einer Person per Flugzeug
4.2	5.1	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
104.9	124.6	km Transport einer Person per Fahrrad
8.2%	10.2%	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
4.2%	6.5%	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
11.9%	18.6%	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2018
26.8	26.8	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
0.109	0.109	T-Shirts aus Baumwolle
0.47%	0.47%	der Produktion eines Laptops
40%	53%	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2018
77%	97%	des täglichen Konsums für Möbeln und Haushaltsgeräten in der Schweiz, 2018

C.2 Primärenergiefaktoren bzw. kumulierter Energieaufwand

Die Bereitstellung von Endenergie benötigt selbst Energie. Energie wird benötigt, um die Energie zu gewinnen, umzuwandeln, zu raffinieren, zu transportieren und zu verteilen, sowie bei allen Vorgängen, die erforderlich sind, um die Energie dem Gebäude oder dem Fahrzeug, das sie verbraucht, bis zum Bilanzperimeter zuzuführen.

Der Primärenergieaufwand (auch kumulierter Energieaufwand, KEA) widerspiegelt den Input an Primärenergieressourcen (Erdgas, Rohöl, Steinkohle, Braunkohle, Uran, Biomasse, Wasserkraft etc.), welche für die Bereitstellung der Endenergie (Brennstoffe, Treibstoffe, Strom, Fernwärme) nötig sind, inklusive Energieinhalt der Brenn- und Treibstoffe. In dieser Studie wird der nicht erneuerbare (fossile und nukleare Energieträger) und der erneuerbare Primärenergieaufwand gezeigt, gemäss Frischknecht et al. (2007b).

Die Graue Energie von Gütern und Dienstleistungen wird mit dem kumulierten Energieaufwand (Primärenergie) bewertet.

Der Primärenergiefaktor ist das Verhältnis der Primärenergie, die erforderlich ist, um dem Abnehmer eine bestimmte Nutzwärmemenge zu liefern, zu dieser Endenergiemenge. Er berücksichtigt die Energie, die erforderlich ist, um die Energie zu gewinnen, umzuwandeln, zu raffinieren, zu transportieren und zu verteilen, sowie alle Vorgänge, die erforderlich sind, um die Energie dem Gebäude, das sie verbraucht, bis zum Bilanzperimeter zuzuführen. Dieser Faktor umfasst nicht die Umwandlungsverluste im Innern des Gebäudes, aber die graue Energie der Wärmeerzeugeranlage (Heizkessel, Wärmepumpe etc.).

Die Primärenergiefaktoren werden auf Grund des kumulierten Energieaufwands gemäss den Ökobilanzdaten der ecoinvent Datenbank bestimmt (Frisknecht et al. 2007b). Als Eigenwert der Primärenergieressourcen werden die in Tab. 6.3 aufgeführten physikalischen Eigenschaften verwendet²⁰.

Tab. 6.3 Prinzip für die Bestimmung der Primärenergiefaktoren verschiedener Energieressourcen

Nicht erneuerbare Primärenergie:	
Fossil	Brennwert in der Lagerstätte
Nuklear	Energie des spaltbaren Urans, die im Leichtwasserreaktor erzeugt werden kann
Erneuerbare Primärenergie	
Wasser	Potenzielle Energie im Staubecken
Biomasse	Brennwert am Erntestandort
Sonne (Kollektor)	geerntete Solarstrahlung: Wärme am Ausgang des Kollektors
Sonne (Photovoltaik)	geerntete Solarstrahlung: Gleichstrom am Ausgang des Panels
Wind	geerntete kinetische Energie des Winds: mechanische Energie auf der Rotorwelle
Geothermie	Wärme (Sole, Warmwasser, Dampf) am Ausgang der Erdsonde
Umweltwärme (Luft)	Wärme am Ausgang des Luft-Wärmetauschers
Umweltwärme (Wasser)	Wärme am Eingang der Wärmepumpe
Abfälle	
Energie aus Kehrlicht und Abwärme	Abfälle enthalten keinen Primärenergiefaktor, da ihr Energieinhalt dem Endverbraucher bei der Lieferung belastet wird. Der Vollständigkeit halber werden sie teilweise mit aufgeführt.

In der vorliegenden Studie wird nur der primäre Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen berücksichtigt.

C.3 Anhang Bewertungsmethode PEF - Europäischer Umweltfußabdruck (2018)

Die Environmental Footprint (EF) Methode wird von der EF Initiative der Europäischen Kommission zur Bewertung von Umweltauswirkungen entwickelt und empfohlen. Die derzeitige Version in SimaPro basiert auf der EF Methode 3.0²¹. Sie enthält Vorschläge zur Normierung und Gewichtung.

²⁰ Je nach Zielsetzung sind verschiedene Rechenregeln anzuwenden (bei Grauer Energie beispielsweise nur die nicht erneuerbaren Primärenergien). Es ist zu beachten, dass zwischen nicht erneuerbaren und erneuerbaren Primärenergieformen ein prinzipieller Unterschied in der Einschätzung des Eigenwerts bestehen kann. Eine Aggregation über diese Kategorien hinweg ist deshalb mit Bedacht vorzunehmen.

²¹ <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>

C.3.1 Charakterisierungsmodelle

Die Charakterisierungsmodelle wurden in einer Publikation zusammengefasst (Fazio et al. 2018). Tab. 6.4 zeigt eine Beschreibung der berücksichtigten Wirkungskategorien. Ein detaillierter Beschrieb der berücksichtigten Wirkungskategorien folgt in den Unterkapiteln.

Tab. 6.4 In der EF-Methode verwendete (midpoint-)Wirkungskategorien (European Commission 2010; Fazio et al. 2018)

Wirkungskategorie	Modell zur Wirkungsanalyse	Indikator Einheit	Quelle
Klimawandel	Strahlungsantrieb als globales Erwärmungspotenzial über einen Zeithorizont von 100 Jahren	kg CO ₂ eq	IPCC 2013 + JRC adaptions
Ozonabbau	EDIP-Modell basierend auf den ODPs der World Meteorological Organization (WMO) über einen Zeithorizont von 100 Jahren	kg CFC-11 eq	WMO 2014 + integrations from other sources
Ionisierende Strahlung	Modell zur Auswirkung auf die menschliche Gesundheit	kg U ²³⁵ eq	Frischknecht et al. 2000
Photochemische Ozonbildung	LOTOS-EUROS-Modell	kg NMVOC eq	Van Zelm et al. 2008 as applied in ReCiPe
Feinstaub	Krankheitsinzidenz-Modell	Inzidenz der Krankheit	Fantke et al. 2016
Humantoxizität, nicht Krebs	USEtox® 2.1	CTUh	Rosenbaum et al. 2008
Humantoxizität, Krebs	USEtox® 2.1	CTUh	Rosenbaum et al. 2008
Versauerung	Kumuliertes Überschreitungsmodell	mol H ⁺ eq	Posch et al. 2008 Seppälä et al. 2006
Eutrophierung, Süßwasser	EUTREND-Modell	kg P eq	Struijs et al. 2009 as applied in ReCiPe
Eutrophierung, Meer	EUTREND-Modell	kg N eq	Struijs et al. 2009 as applied in ReCiPe
Eutrophierung, terrestrisch	Kumuliertes Überschreitungsmodell	mol N eq	Posch et al. 2008 Seppälä et al. 2006
Ökotoxizität, Süßwasser	USEtox® 2.1	CTUe	Rosenbaum et al. 2008
Landnutzung	Bodenqualitätsindex wie im LANCA-Modell	Punkte	Bos et al. 2016
Wassernutzung	AWARE-Modell	m ³ entzogen	Boulay et al. 2018
Ressourcennutzung, Fossil	CML-Modell	MJ eq	van Oers et al. 2002
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	Ultimate-Reserves-Modell	kg Sb eq	van Oers et al. 2002

C.3.2 Klimawandel

Wirkungsindikator: Klimaänderungspotential über 100 Jahre (kg CO₂-eq). Baseline-Modell des IPCC 2013 und weitere zusätzliche Faktoren berechnet durch die Forschungsstelle der Europäischen Kommission (IPCC 2013 + JRC adaptions). Zusätzliche Erläuterungen siehe Kapitel C.1.

C.3.3 Ozonabbau

Das Ozonabbaupotenzial (ODP) berechnet die zerstörerischen Auswirkungen auf die stratosphärische Ozonschicht über einen Zeithorizont von 100 Jahren. Die stratosphärische Ozonschicht reduziert die

Menge an UV-Strahlung, die den Boden erreicht und Schäden für Mensch, Tier, Pflanze und Material verursachen kann (WMO 2014).

C.3.4 Ionisierende Strahlung

Wirkungsindikator: Menschliche Expositionseffizienz bezogen auf Uranium-235 (Frischknecht et al. 2000).

C.3.5 Photochemische Ozonbildung

Ozon und andere reaktive Sauerstoffverbindungen werden als sekundäre Schadstoffe in der Troposphäre (nahe der Erdoberfläche) gebildet. Ozon wird durch die Oxidierung der primären Schadstoffe VOC (flüchtige, organische Verbindungen) oder CO (Kohlenstoffmonoxid) in der Anwesenheit von NOx (Stickoxide) unter Einfluss von Licht gebildet.

Wirkungsindikator: Das Ozonbildungspotential beschreibt den potenziellen Beitrag zur photochemischen Bildung von Ozon in der unteren Atmosphäre.

Die Methode verwendet räumliche Differenzierung und ist nur für Europa gültig. Das räumlich differenzierte LOTOS-EUROS Modell mittelt über 14'000 Rasterzellen bei einer marginalen Erhöhung der Ozonbildung, um die Europäischen Faktoren zu berechnen (Van Zelm et al. 2008).

Zur Berechnung des Ozonbildungspotenzials individueller NMVOC werden POCP herangezogen, welche die relativen Unterschiede des Ozonbildungspotentials zwischen den einzelnen NMVOC abbilden.

C.3.6 Feinstaub

Wirkungsindikator: Krankheitsvorfälle pro kg PM2.5 emittiert

Der Indikator wird mit der mittleren Steigung zwischen dem Arbeitspunkt der Emission Response Function (ERF) und des theoretischen minimalen Risikolevel abgeschätzt. Die Belastungsmodelle basieren auf Archetypen, welche die urbane und ländliche Umwelt, sowie deren Innenbereiche von Gebäuden einbeziehen (Fantke et al. 2016).

C.3.7 Humantoxizität, nicht Krebs

Wirkungsindikator: Vergleichbare Toxizitätseinheit für Menschen (Comparative Toxic Unit for human, CTUh) drückt den erwarteten Anstieg der Sterblichkeit in der Gesamtbevölkerung pro Masseinheit einer emittierten Chemikalie aus (Fälle pro Kilogramm).

Das hierfür verwendete Modell ist das USEtox consensus Modell (Multimedia Modell). Keine räumliche Differenzierung nebst Kontinenten und Weltregionen. Spezifische Gruppen von Chemikalien bedürfen weiterer Bearbeitung (Rosenbaum et al. 2008).

C.3.8 Humantoxizität, Krebs

Wirkungsindikator: Vergleichbare Toxizitätseinheit für Menschen (Comparative Toxic Unit for human, CTUh) drückt den erwarteten Anstieg der Sterblichkeit in der Gesamtbevölkerung pro Masseinheit einer emittierten Chemikalie aus (Fälle pro Kilogramm Emission).

Das hierfür verwendete Modell ist das USEtox Konsens-Modell (Multimedia Modell). Keine räumliche Differenzierung nebst Kontinenten und Weltregionen. Spezifische Gruppen von Chemikalien bedürfen weiterer Bearbeitung (Rosenbaum et al. 2008).

C.3.9 Versauerung

Diese Wirkungskategorie beschreibt mögliche Auswirkungen auf Boden und Süßwasser, die durch den Eintrag bestimmter Schadstoffe aus der Luft sauer werden. Wenn Säuren freigesetzt werden, sinkt der pH-Wert und der Säuregehalt steigt, was zum Beispiel zu einem weit verbreiteten Rückgang von Nadelwäldern und toten Fischen in Seen in Skandinavien führen kann.

Wirkungsindikator: Kumulative Überschreitungen. Charakterisiert die Veränderung der kritischen Belastungsüberschreitung in empfindlichen Bereichen von terrestrischen und Frischwasser Ökosystemen, in welchen sich versauernde Substanzen ablagern (Posch et al. 2008; Seppälä et al. 2006).

C.3.10 Eutrophierung bzw. Überdüngung

Ökosysteme werden durch Stoffe beeinflusst, die Stickstoff oder Phosphor enthalten (z.B. Gülle, Dünger). Die Folgen der Nährstoffanreicherung sind eine erhöhte Biomasseproduktion (organische Substanz) und eine verminderte Biodiversität, die sich aus dem vermehrten Wachstum der relativ wenigen Arten ergibt, die in der Lage sind, die erhöhte Menge an Nährstoffen zu nutzen. Beispiele sind Algenblüte in aquatischen Ökosystemen auf Kosten derjenigen Arten, die in einer nährstoffarmen Umgebung gedeihen. Ein beträchtliches Algenwachstum führt zum Verschwinden höherer Pflanzen, und der Abbau abgestorbener Algen führt zu einem Sauerstoffmangel, der die Menge der sauerstoffintensiveren Wassertiere (z.B. Speisefische) beeinträchtigen kann (Posch et al. 2008; Seppälä et al. 2006; Struijs et al. 2009).²²

Süßwasser

Wirkungsindikator: Phosphoräquivalente: Drückt aus, zu welchem Grad die emittierten Nährstoffe in Kompartiment Frischwasser gelangen (Phosphor wird als limitierender Faktor im Frischwasser betrachtet). Gültig für Europa. Durchschnittliche Charakterisierungsfaktoren von länderabhängigen Charakterisierungsfaktoren (Struijs et al. 2009).

Meer

Wirkungsindikator: Stickstoffäquivalentes: Drückt aus, zu welchem Grad die emittierten Nährstoffe ins Meer gelangen. Stickstoff wird als limitierender Faktor im Meer betrachtet (Struijs et al. 2009).

Terrestrisch

Wirkungsindikator: Kumulative Überschreitungen. Charakterisiert die Veränderung der kritischen Belastungsüberschreitung in empfindlichen Bereichen von terrestrischen Ökosystemen, in welchen sich eutrophierende Substanzen ablagern (Posch et al. 2008; Seppälä et al. 2006).

C.3.11 Ökotoxizität, Süßwasser

Wirkungsindikator: Vergleichbare Toxizitätseinheit für Ökosysteme (Comparative Toxic Unit for ecosystems, CTUe) drücken eine Abschätzung der potenziell betroffenen Fraktionen von Spezies (potentially affected fraction of species, PAF) integriert über Zeit und Volumen pro Masseinheit einer emittierten Chemikalie aus (PAF m³ year/kg).

Das hierfür verwendete Modell ist das USEtox Konsens-Modell (Multimedia Modell). Keine räumliche Differenzierung nebst Kontinenten und Weltregionen. Spezifische Gruppen von Chemikalien bedürfen weiterer Bearbeitung (Rosenbaum et al. 2008).

²² http://qpc.adm.slu.se/7_LCA/page_09.htm

C.3.12 Landnutzung

Wirkungsindikator: Bodenqualitätsindex

Charakterisierungsfaktor-Sets wurden von der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission vom LANCA® v 2.2 als Basismodell ausgehend neu berechnet. Von ursprünglich 5 Indikatoren wurden nur 4 in die Aggregation übernommen. Die mechanisch-chemische Filtration wurde aufgrund der hohen Korrelation mit mechanischer Filtration ausgeschlossen (Bos et al. 2016).

C.3.13 Wassernutzung

Wirkungsindikator: m³ dem Einzugsgebiet entzogene Wasseräquivalente.

Mit der Methode AWARE (Relative Available Water Remaining) wird die zur natürlichen Nutzung verbleibende Wassermenge für verschiedene Einzugsgebiete abgeschätzt, nachdem der Bedarf von Menschen und aquatischen Ökosystemen gedeckt ist (Boulay et al. 2018). Für die Verwendung mit Ökobilanzdaten werden u.a. in SimaPro und damit auch für diese Studie auf nationaler Ebene gemittelte Faktoren verwendet, die die zugrundeliegenden Hintergrunddaten nicht eine Differenzierung auf Ebene von Wassereinzugsgebieten erlauben.

C.3.14 Ressourcennutzung, fossil

Wirkungsindikator: Abiotische Ressourcenaufzehrung von fossilen Energieträgern (ADP fossil); basiert auf unteren Heizwerten.

ADP für Energieträger, basierend auf van Oers et al. 2002 wie umgesetzt in CML, v. 4.8 (2016). Modell für die Entnahme basiert auf use-to-availability Verhältnis. Komplette Substitution unter verschiedenen Energieträgern ist angenommen (van Oers et al. 2002).

C.3.15 Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle

Wirkungsindikator: Abiotische Ressourcennutzung von Mineralien und Metallen (ADP ultimate reserve).

ADP für Mineralien und Metalle, basierend auf van Oers et al. 2002 wie umgesetzt in CML, v. 4.8 (2016). Nutzungs-Modell basiert auf use-to-availability Verhältnis. Komplette Substitution unter verschiedenen Mineralien ist angenommen (van Oers et al. 2002).

C.3.16 Langzeitemissionen

Die Belastungen durch Langzeitemissionen werden von ESU in der Regel nicht berücksichtigt. Eine erste Auswertung mit Langzeitemissionen zeigte hohe Langzeitemissionen in der Wirkungskategorie Eutrophierung, Frischwasser durch Phosphate aus Abraumhalden der Kohleförderung. Es ist davon auszugehen, dass hier eine hohe Unsicherheit in der Hintergrunddatenbank vorliegt, welcher im Rahmen einzelner Studien nicht korrigiert werden kann. Auch andere Aspekte sprechen aus unserer Sicht dagegen den Langzeitemissionen ein hohes Gewicht in der Ökobilanz-Bewertung zuzusprechen (vgl. hierzu die ausführliche Diskussion in Frischknecht et al. 2007b).

C.3.17 Normierung und Gewichtung

Die Normierung²³ und Gewichtung²⁴ für die EF Methode wird in Tab. 6.5 gezeigt. Sie basiert auf folgenden Quellen:

²³ Berechnung der Größenordnung der Wirkungsindikatorwerte in Bezug auf die Referenzinformationen

²⁴ Umwandlung und eventuelle Zusammenfassung der Indikatorwerte über Wirkungskategorien hinweg zu einer Kenngröße für Umweltbelastungen auf Grundlage einer Gewichtung der Relevanz verschiedener Indikatoren.

- Normierungs- und Gewichtungssets: Annex 2 der Product Environmental Footprint Category Rules Guidance.²⁵
- Normierung: Weltbevölkerung zur Berechnung des NF pro Person: 6'895'889'018 Personen.²⁶
- Gewichtung gemäss (Sala et al. 2018).

Tab. 6.5 Normierung und Gewichtung für die EF Methode in SimaPro

Wirkungskategorien	Normalization	Weighting
Klimawandel	0.0001235	21.1%
Ozonabbau	18.64	6.3%
Ionisierende Strahlung	0.000237	5.0%
Photochemische Ozonbildung	0.02463	4.8%
Feinstaub	1680	9.0%
Humantoxizität, nicht Krebs	4354	1.8%
Humantoxizität, Krebs	59173	2.1%
Versauerung	0.018	6.2%
Eutrophierung, Süßwasser	0.6223	2.8%
Eutrophierung, Meer	0.05116	3.0%
Eutrophierung, terrestrisch	0.005658	3.7%
Ökotoxizität, Süßwasser	0.00002343	1.9%
Landnutzung	0.00000122	7.9%
Wassernutzung	0.00008719	8.5%
Ressourcennutzung, fossil	0.00001538	8.3%
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	15.71	7.6%

C.3.18 Referenzwerte und Beispiele

Die aktuellen konsumbedingten Umweltbelastungen pro Person und Jahr liegen in der Schweiz bei etwa 1.5 EF-Punkten. Tab. 6.6 zeigt weitere typische Referenzwerte für das EF-Punktesystem.

²⁵ https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf

²⁶ United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2011). World Population Prospects: The 2010 Revision, DVD Edition – Extended Dataset (United Nations publication, Sales No. E.11.XIII.7)

Tab. 6.6 Referenzwerte für Produkte und Dienstleistungen, die einen Mikro-EF Punkt verursachen

EF3.0	Ein Punkt entspricht
20'076'183	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
834	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
38'448	Kilogramm fossiles CO ₂ , direkt emittiert
1'032	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
42	Gramm Kupfereintrag in landwirtschaftlich genutztem Boden
8'924	Liter Rohöl gefördert, mit Transport bis zur Raffinerie
133	Gramm Pestizidanwendung in der Landwirtschaft
243	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2018
233	des Tageskonsums einer Person in der Schweiz
95'856	km Transport einer Person per Flugzeug
59'084	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
1'368'432	km Transport einer Person per Fahrrad
920	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
655	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
1'288	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2018
2'180	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
176	T-Shirts aus Baumwolle
11	der Produktion eines Laptops
3'176	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2018
5'670	des täglichen Konsums für Möbeln und Haushaltsgeräten in der Schweiz, 2018