

Impressum	
Zitiervorschlag	Christoph Meili;Niels Jungbluth;Maresa Bussa (2021) 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, Vorstadt 14, CH-8200 Schaffhausen Tel. 0041 44 940 61 35 meili@esu-services.ch www.esu-services.ch
Auftraggeber	WWF Schweiz Elmar Grosse Ruse Hohlstrasse 110, Postfach 8010 Zürich Telefon +41 44 297 23 57 Mobil +41 78 745 23 41 E-mail Elmar.GrosseRuse@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	16.11.21 07:46 - https://esuservices-my.sharepoint.com/personal/jungbluth_esuservices_onmicrosoft_com/Documents/ESU-intern/222 WWF/222 Amortisation Heizungssysteme/Meili-2021-Ökologische Amortisationsrechnung Heizungssysteme-v7.0.docx

Inhalt

INHALT	III
1 EINFÜHRUNG	1
2 ZIELDEFINITION UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN	3
2.1 Fragestellung	3
2.2 Amortisationsrechnung	3
2.3 Funktionelle Einheit	3
2.4 Geographische Rahmenbedingungen	4
2.5 Bewertung der Sachbilanzergebnisse	4
2.6 Systemgrenzen	4
2.6.1 Einbau	5
2.6.2 Betrieb	6
2.6.3 Entsorgung	6
2.7 Szenarien	6
2.7.1 Untersuchte Ersatzheizungen	6
2.7.2 Ersatz Ölheizung	7
2.7.3 Ersatz Gasheizung	7
2.7.4 Ersatz dezentrale Elektroheizkörper	7
2.7.5 Ersatz zentrale Elektroheizung	7
2.8 Veröffentlichung	8
2.9 Kritische Prüfung gemäß ISO-Normen	8
3 DATENERHEBUNG UND MODELLIERUNG DER SACHBILANZ	9
3.1 Vordergrunddaten	9
3.2 Modellierung	9
4 AUSWERTUNG	10
4.1 Analyse des Klimaänderungspotenzials	10
4.1.1 Heizungseinbau und Entsorgung	10
4.1.2 Herstellung vs. Betrieb	11
4.1.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung	12
4.1.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung	13
4.1.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentraler Elektroheizung	14
4.1.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung	15
4.2 Analyse des kumulierten Energiebedarfs aus nicht-erneuerbaren Quellen	16
4.2.1 Heizungsinstallation und Entsorgung	16
4.2.2 Herstellung vs. Betrieb	17
4.2.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung	18
4.2.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung	19
4.2.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentralen Elektroheizkörpern	20
4.2.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung	21
4.3 Analyse der Gesamtumweltbelastungen gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013	22
4.3.1 Heizungsinstallation und Entsorgung	22
4.3.2 Herstellung vs. Betrieb	23
4.3.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung	24
4.3.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung	25
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	31
A.1	Unsere Philosophie «fair consulting in sustainability»	31
A.2	Erfahrenes Projektteam	31
A.2.1	Dr. Niels Jungbluth, Geschäftsführer und Inhaber	31
A.2.2	Christoph Meili, Projektleiter Ökobilanzen	32
A.2.3	Maresa Bussa, Projektleiterin Ökobilanzen	32
A.3	Ökologische und soziale Verantwortung	32
A.4	Gemeinsame Werte in einem weltweiten Netzwerk	33
A.5	Mehr als 25 Jahre Erfahrung	34
B.	ISO 14040-44 (PRODUKTÖKOBILANZEN)	34
C.	ANHANG BEWERTUNGSMETHODEN	36
C.1	Klimaänderungspotential	36
C.2	Primärenergiefaktoren bzw. kumulierter Energieaufwand	37
C.3	Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte) (2013)	38

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 2021).

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 9.2 (SimaPro 2021)
Datenbanken	ESU-services 2021
Umweltbewertung	Folgende Bewertungsmethoden werden eingesetzt: <ul style="list-style-type: none"> - Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalenten bzw. CO₂-eq) unter Berücksichtigung des RFI Faktors für Flugverkehr (IPCC 2013; Jungbluth & Meili 2019) - Primärenergieaufwand, nicht-erneuerbar: fossile und nukleare Quellen, sowie Landtransformation (auch kumulierter Energieaufwand, KEA, gemäß Frischknecht et al. 2007b) - Bewertung verschiedener Arten von Umweltbelastungen in Luft, Wasser und Boden mit der Methode der ökologischen Knappheit (UBP bzw. Umweltbelastungspunkte) 2013 (Frischknecht et al. 2013)
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, M. Bussa, und Auftraggeber.

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:

- Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid-Äquivalenten bzw. CO₂-eq) unter Berücksichtigung des RFI Faktors für Flugverkehr (IPCC 2013; Jungbluth & Meili 2019)
- Primärenergieaufwand nicht erneuerbar, fossile und nukleare Quellen, sowie Landtransformation. (auch kumulierter Energieaufwand aus nicht-erneuerbaren Quellen, KEA, gemäss Frischknecht et al. 2007b)
- Bewertung verschiedener Arten von Umweltbelastungen in Luft, Wasser und Boden, inklusive Deponie nuklearer Abfälle und Landverbrauch mit der Methode der ökologischen Knappheit (UBP bzw. Umweltbelastungspunkte) 2013 (Frischknecht et al. 2013)

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

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

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

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

Nicht betrachtet wird der unterschiedliche Raumbedarf im Gebäude.

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

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 Kehrrechtverbrennungsanlage)
- 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

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

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

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 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.

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

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

- Ersatz durch Fernwärme: Anteil am Fernwärmenetz und Wärmetauscher, kein neues Verteilsystem
- Ersatz durch Holzpellettheizung: Heizung, Wärmespeicher, Kamin, kein neues Verteilsystem.

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 2021; Jungbluth et al. 2021a) 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 9.2) bearbeitet und ausgewertet (SimaPro 2021). 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, aufgliedert 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.

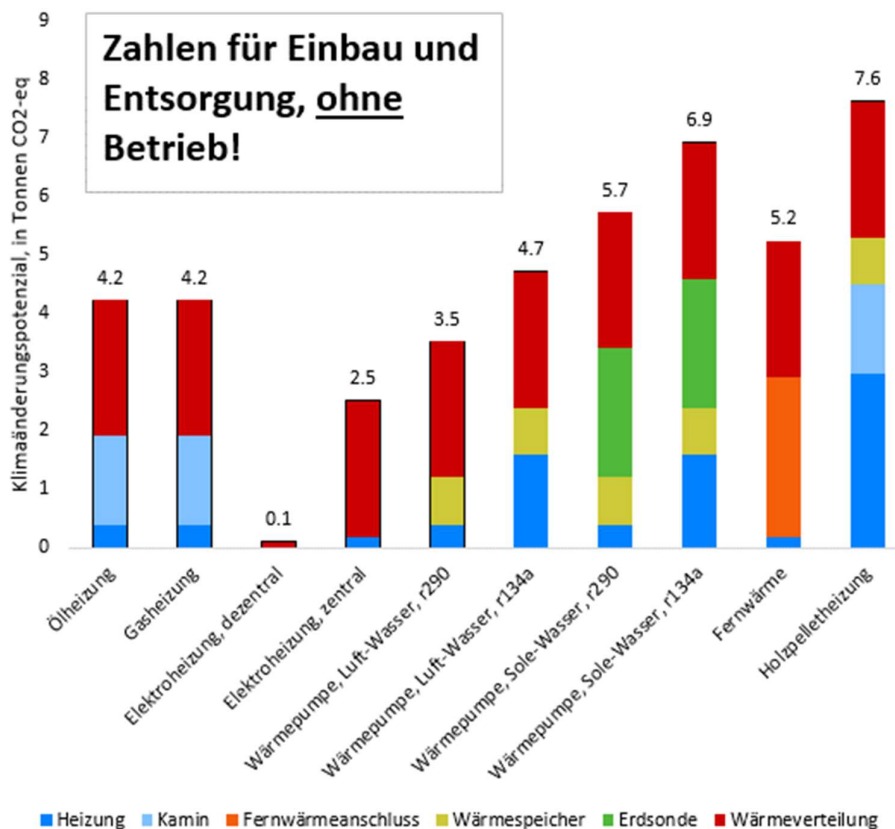


Fig. 4.1 Klimaänderungspotenzial der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung, aufgliedert nach Bauteil und zu entsorgender Baustoffe, ohne Betrieb, in kg CO₂-eq

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 Wärmeverteilsystem verursacht Treibhausgasemissionen in der Höhe von etwa 4.2 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 (~230 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 (~63 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 0.9 Tonnen CO₂-eq, also etwa 70-mal weniger verursachen als die Ölheizung.

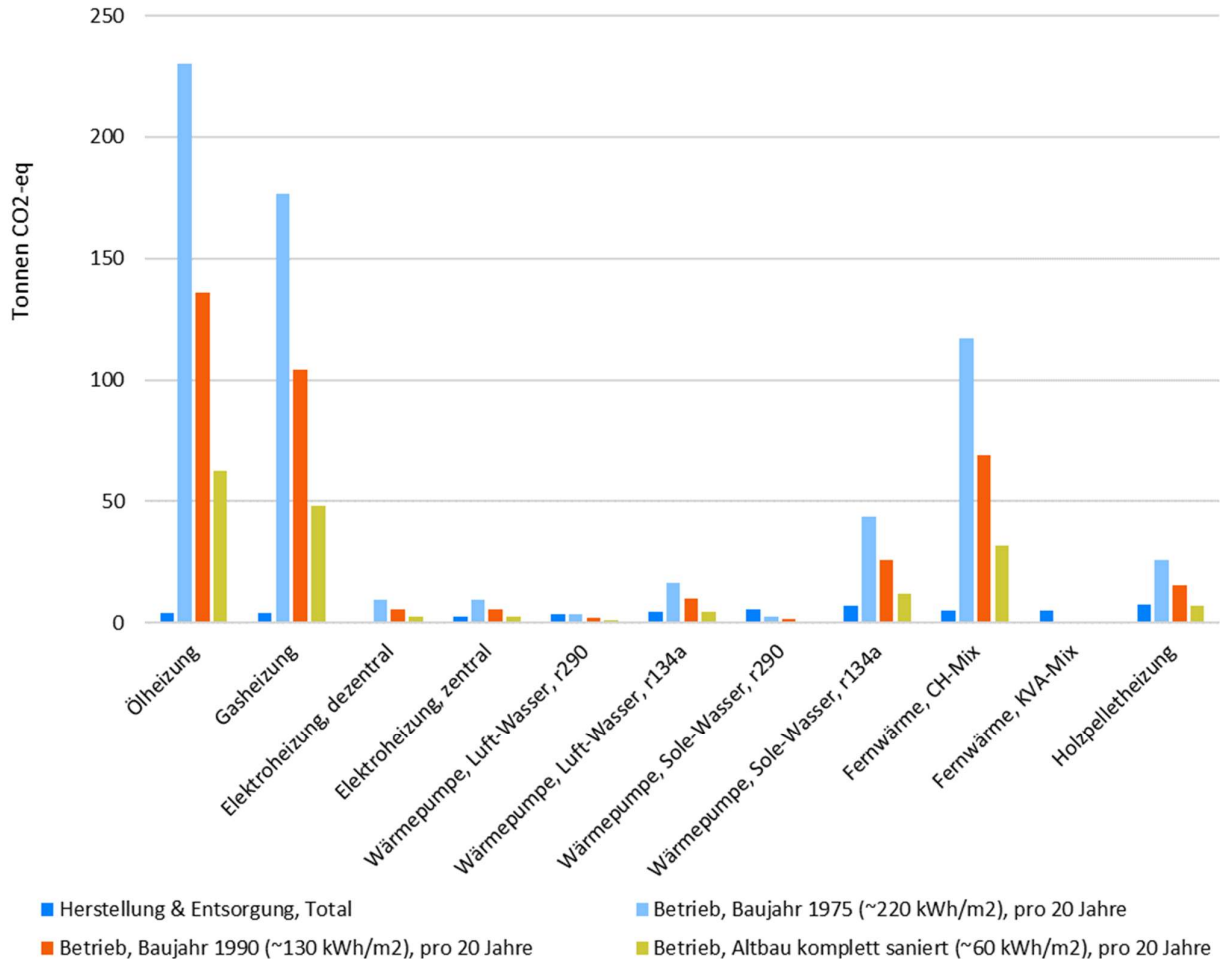


Fig. 4.2 Klimaänderungspotenzial der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung im Vergleich zum Heizungsbetrieb während der typischen Lebensdauer eines Heizsystems (etwa 20 Jahre) für verschiedene Gebäudestandards in kg CO₂-eq

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 1.4 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 1.9 Jahre. Der Umstieg würde sich also auch in diesem Fall lohnen.

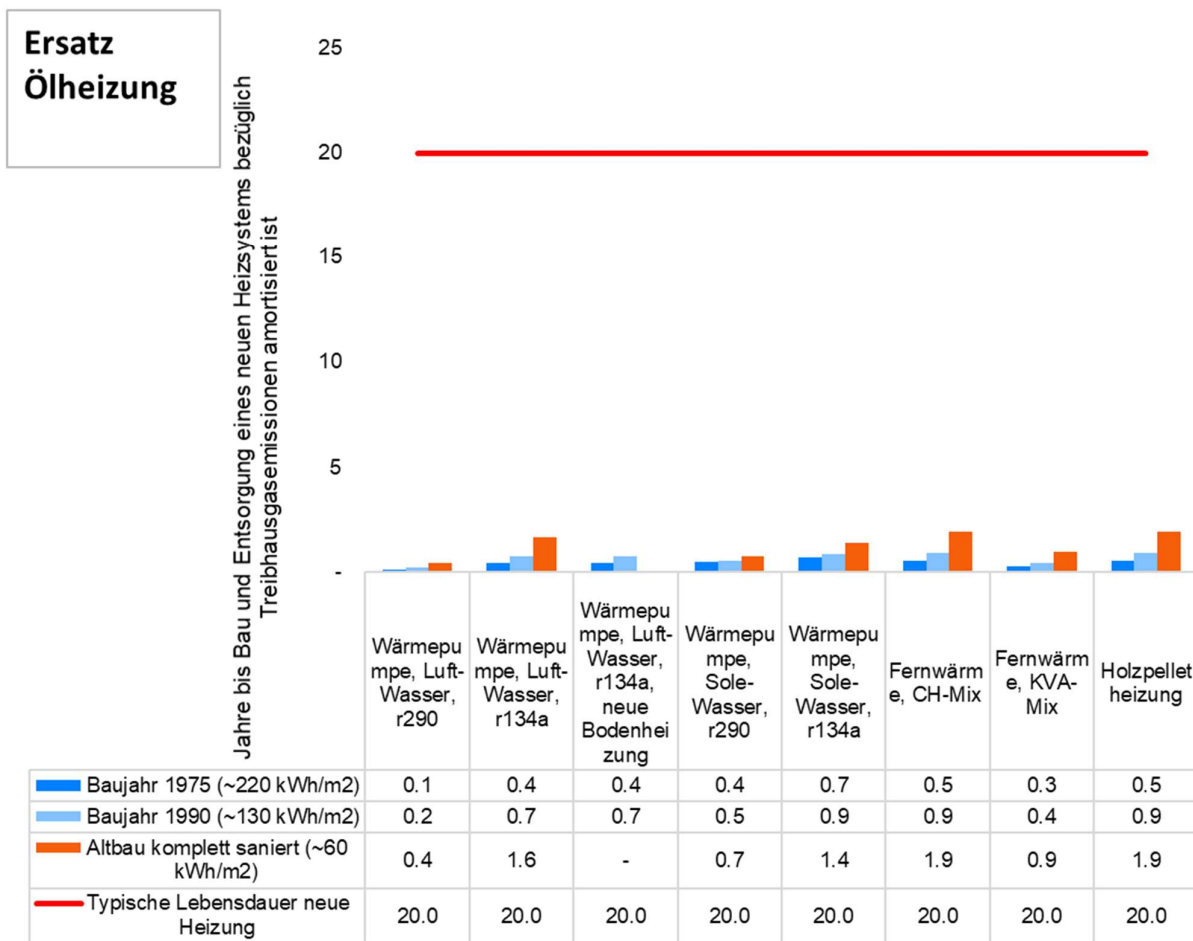


Fig. 4.3 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Ölheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

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 1.9 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 (~40) in einem gut sanierten Haus etwa 3.6 Jahre. Der Umstieg wäre also auch in diesem Fall lohnend.

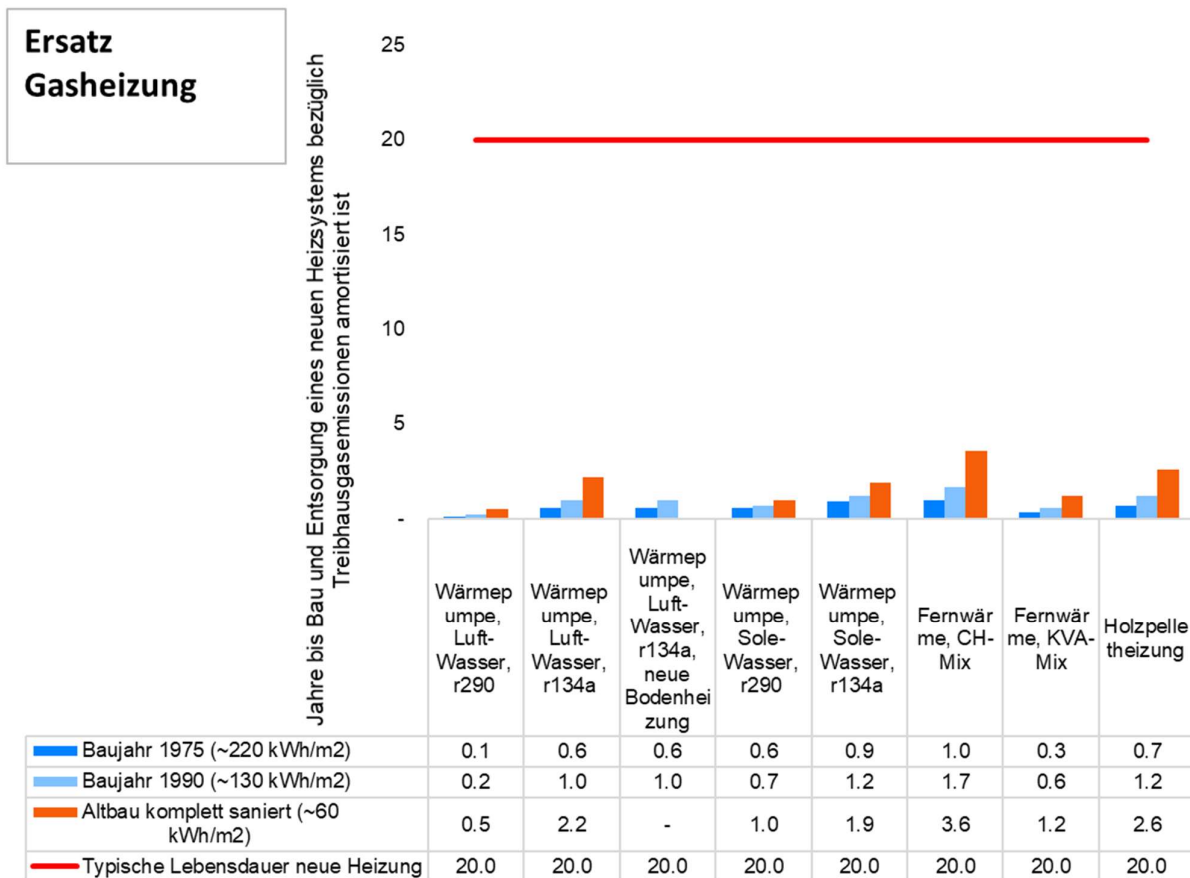


Fig. 4.4 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Gasheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

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 länger als die typischerweise anzunehmenden 20 Jahre. Deshalb wäre ein frühzeitiger Ersatz in diesem Fall nicht angezeigt.

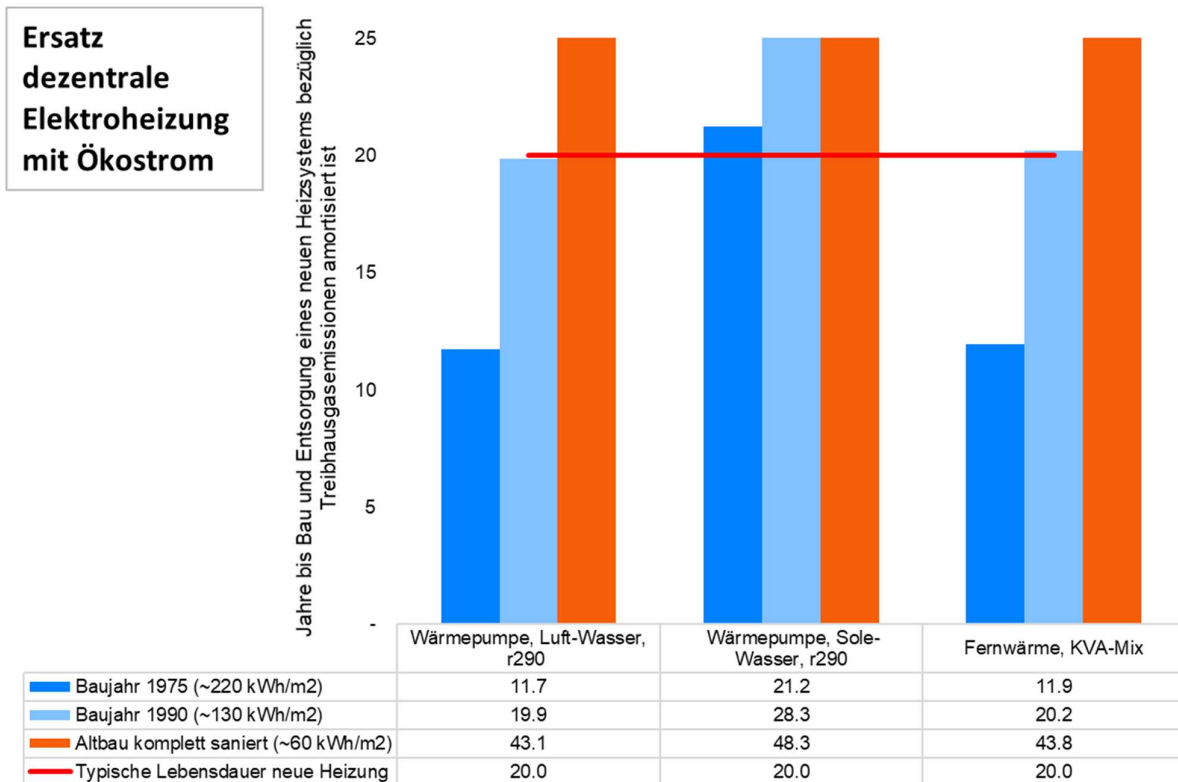


Fig. 4.5 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Elektroheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards. **Achtung:** Die Y-Achse wurde in dieser Graphik zwecks besserer Vergleichbarkeit der verschiedenen empfehlenswerten Varianten auf 25 Jahre begrenzt.

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 14.8 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

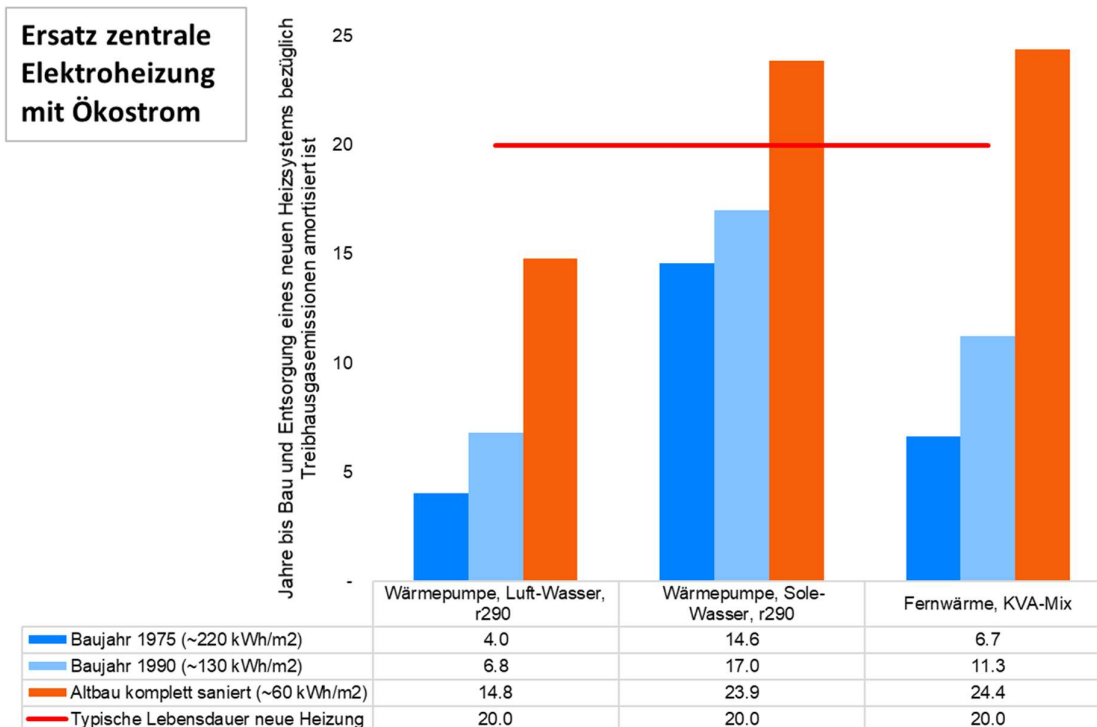


Fig. 4.6 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden zentralen Elektroheizung bezogen auf das Klimaänderungspotenzial, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards. **Achtung:** Die Y-Achse wurde in dieser Graphik zwecks besserer Vergleichbarkeit der verschiedenen empfehlenswerten Varianten auf 25 Jahre begrenzt.

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.

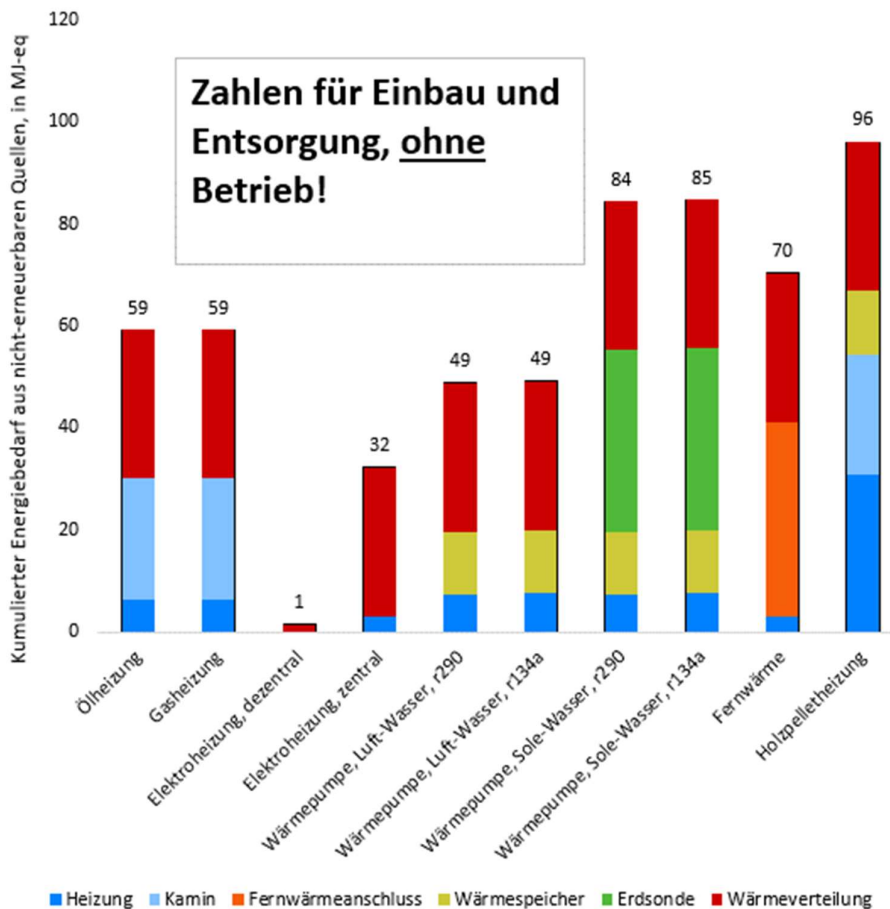


Fig. 4.7 Kumulierter Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen für die Heizungsinstallation inklusive Entsorgung, aufgliedert nach Bauteil und zu entsorgender Baustoffe, ohne Betrieb, in Megajoule-Äquivalenten (MJ-eq)

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 60 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 52-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 14-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 100-mal weniger Energie aus nicht-erneuerbaren Quellen benötigen als die Ölheizung.

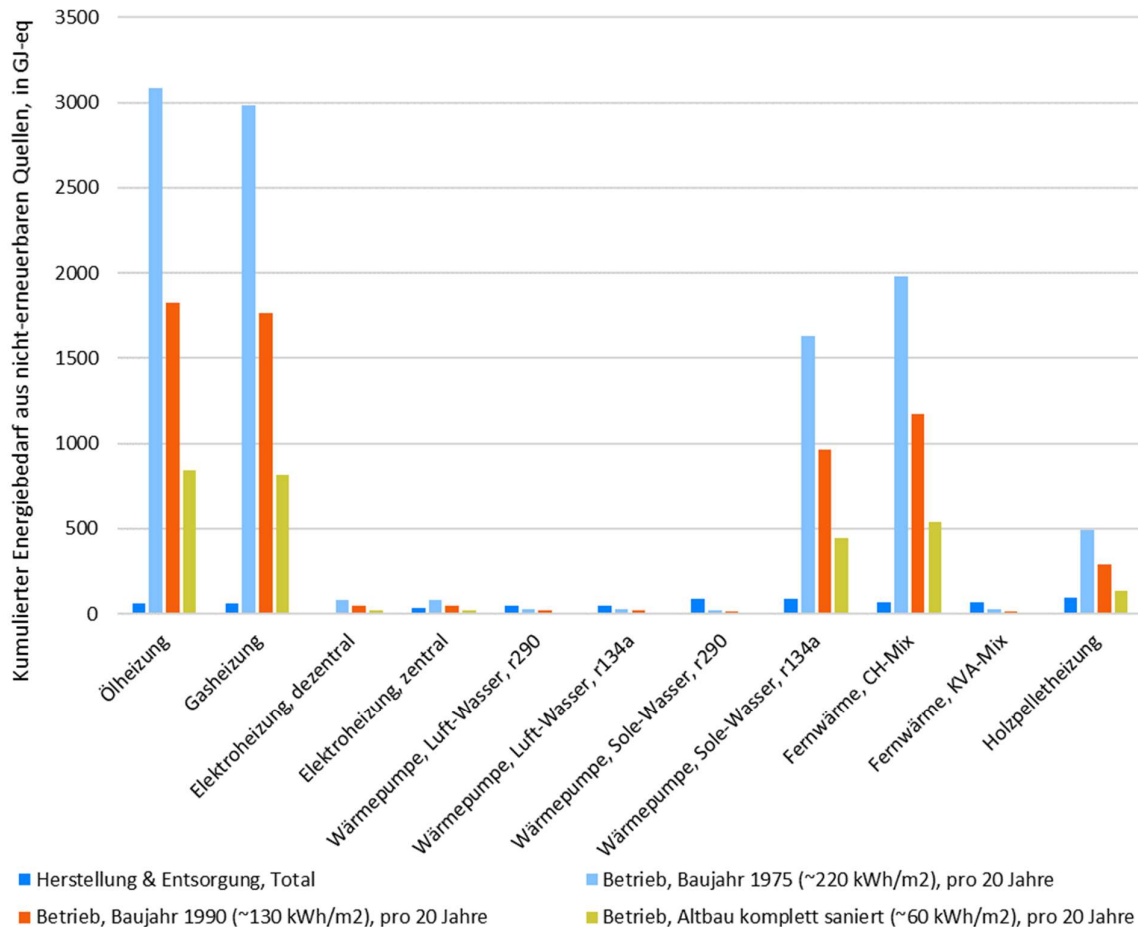


Fig. 4.8 Kumulierter Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung im Vergleich zum Heizungsbetrieb während der typischen Lebensdauer eines Heizsystems (etwa 20 Jahre) für verschiedene Gebäudestandards in Gigajoule-Äquivalenten (GJ-eq)

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 2.7 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

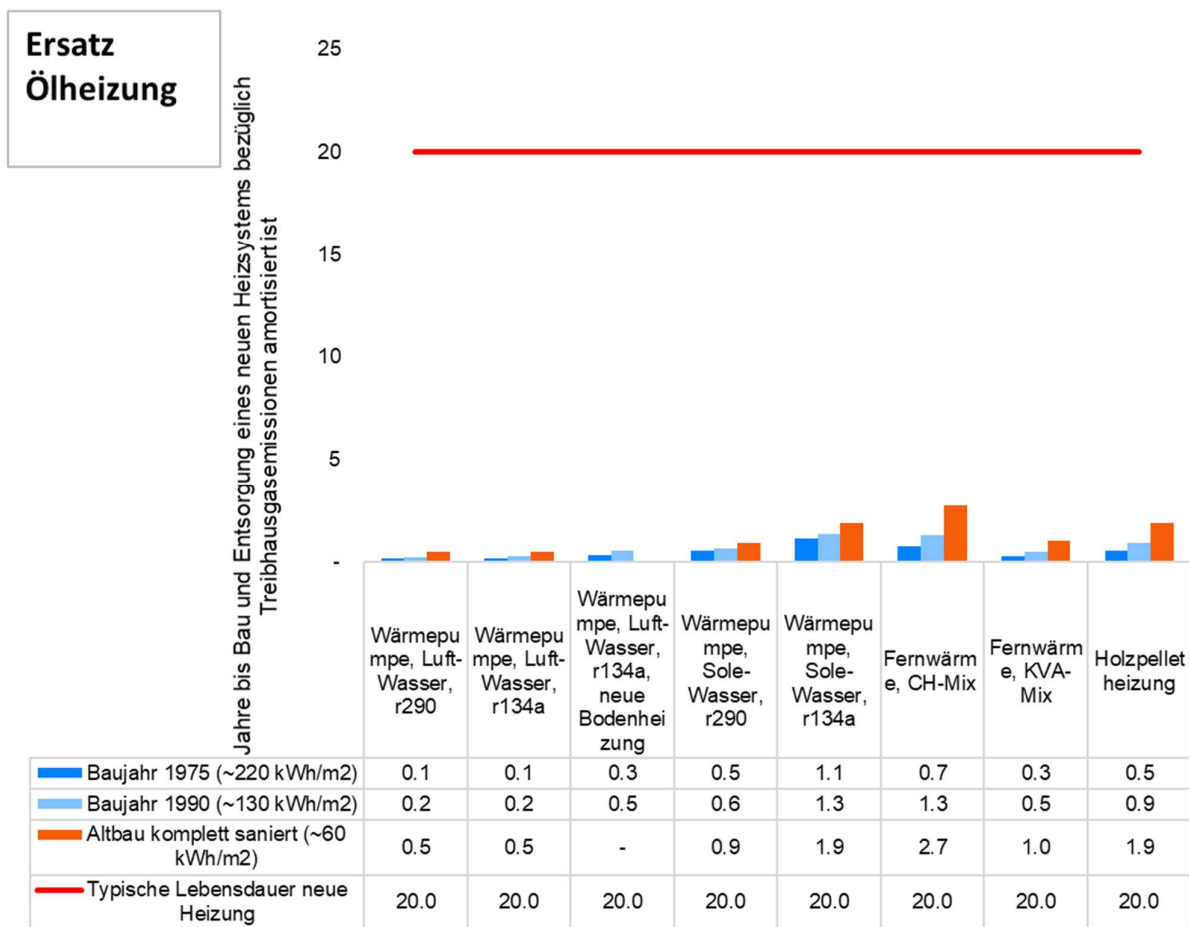


Fig. 4.9 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Ölheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

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 3 Jahren (oranger Balken) und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

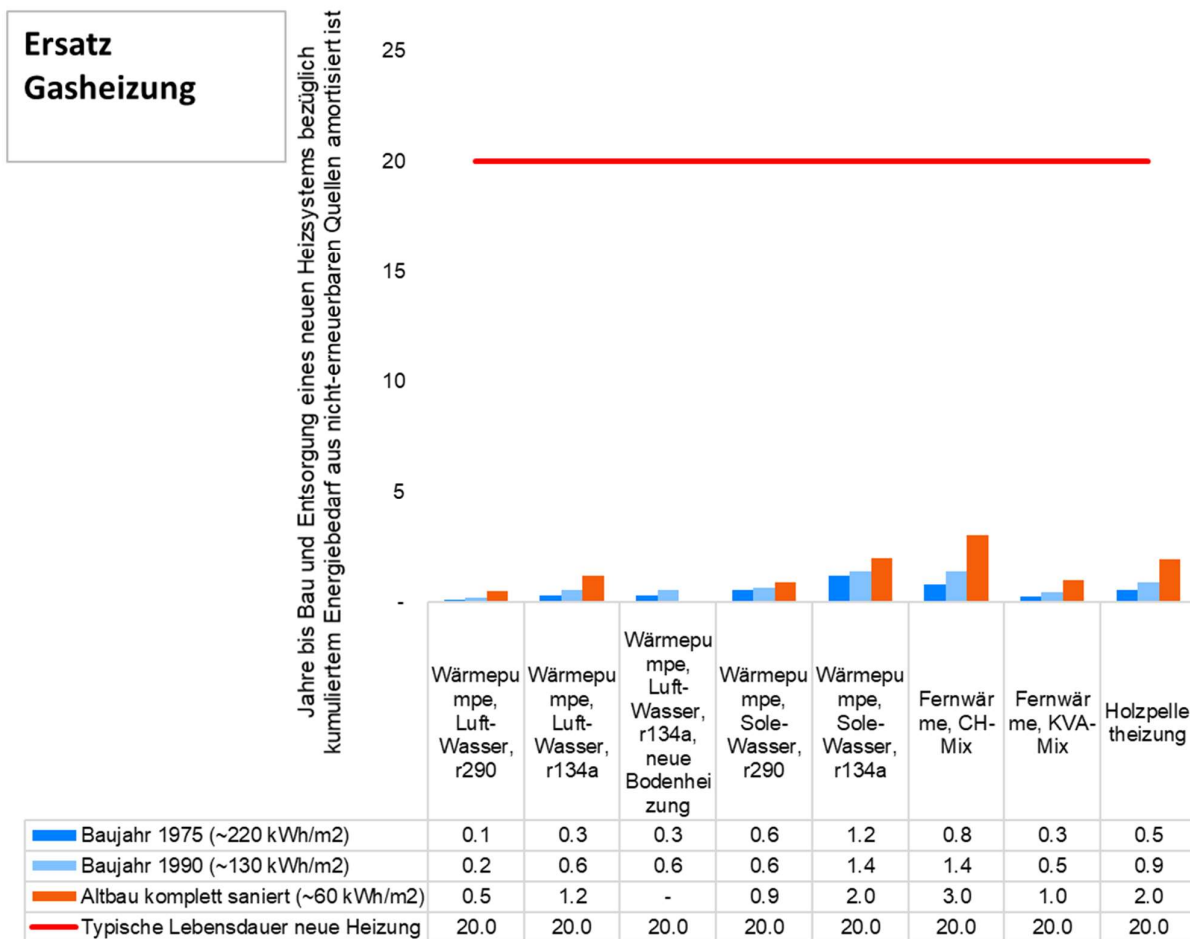


Fig. 4.10 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Gasheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

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-Wasserwärmepumpe knapp lohnen, da die Amortisationsdauer mit 19.3 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.

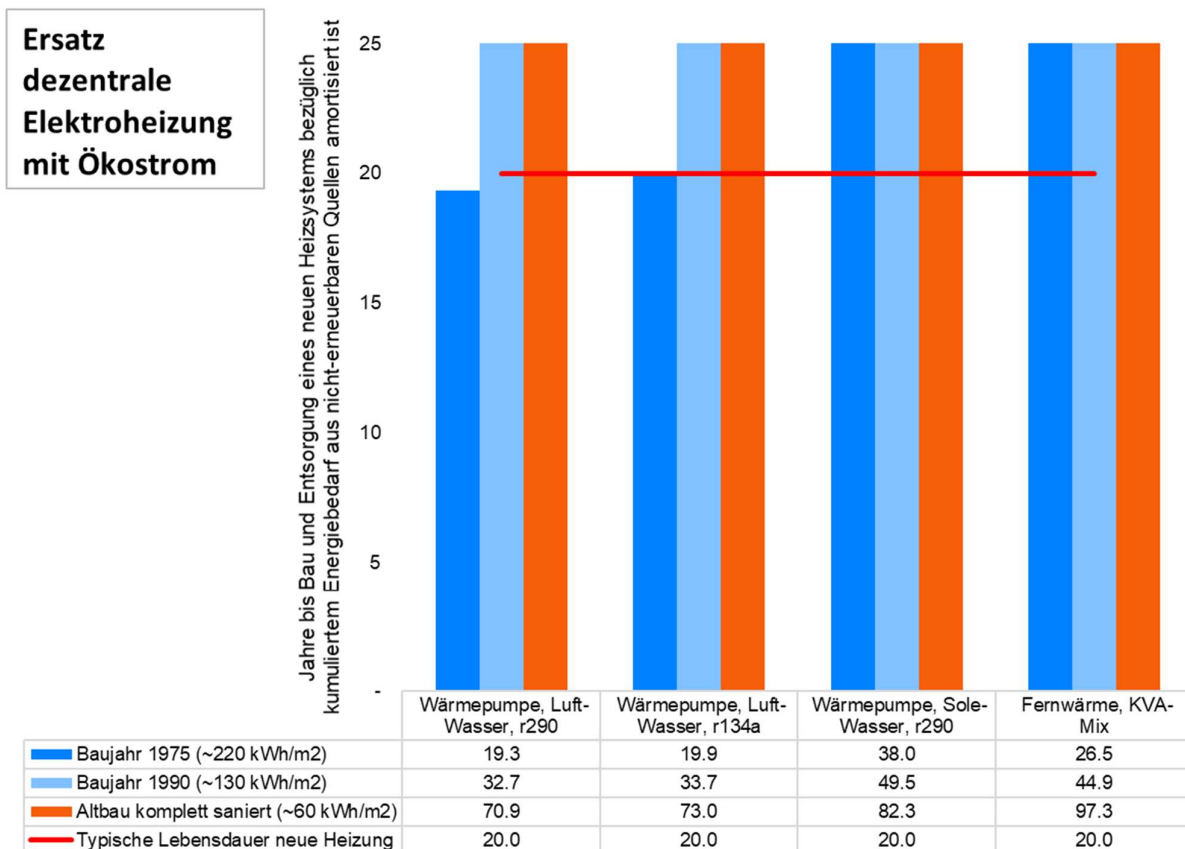


Fig. 4.11 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Elektroheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

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 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 Kehrriecht erzeugt wird (Amortisationsdauer von 15.6 Jahren, dunkelblauer Balken).

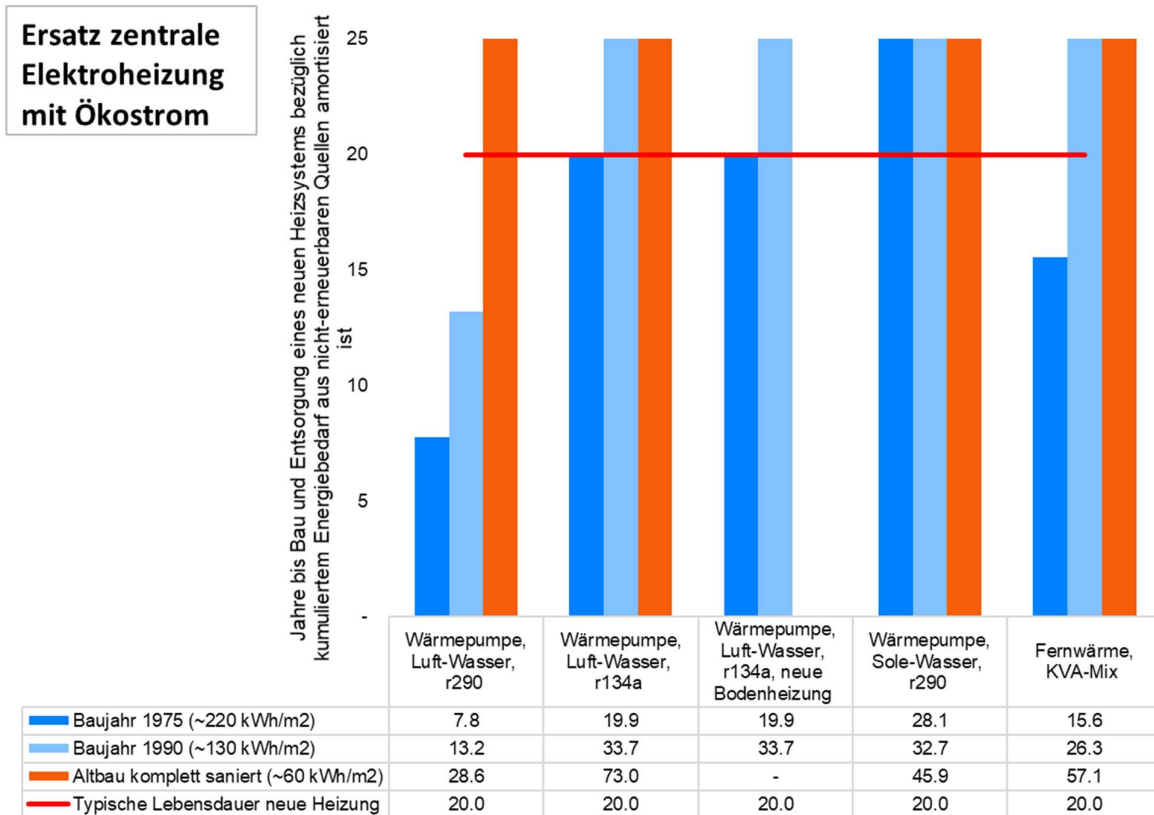


Fig. 4.12 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden zentralen Elektroheizung bezogen auf den kumulierten Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards. **Achtung:** Die Y-Achse wurde in dieser Graphik zwecks besserer Vergleichbarkeit der verschiedenen empfehlenswerten Varianten auf 25 Jahre begrenzt.

4.3 Analyse der Gesamtumweltbelastungen gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013

Die Gesamtumweltbelastung gemäß der Methode der ökologischen Knappheit 2013 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.

4.3.1 Heizungsinstallation und Entsorgung

Fig. 4.13 zeigt Umweltbelastungen gewichtet gemäß der Methode der ökologischen Knappheit 2013 für die Heizungsinstallation inklusive Entsorgung aufgliedert 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 (276 UB) die geringsten und eine Wärmepumpenheizung mit Erdsonde und klimaschädlichem Kältemittel r134a (12'282 UB) die größten Gesamtumweltbelastungen.

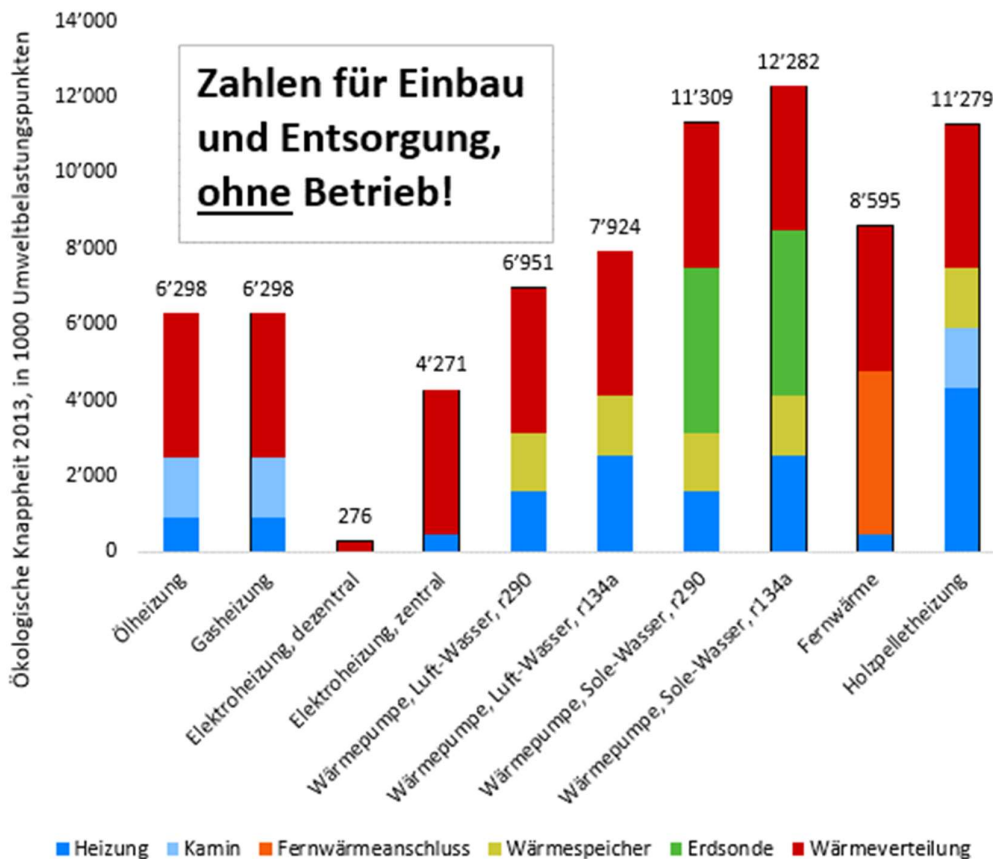


Fig. 4.13 Gesamtumweltbelastung gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013 auf Grund der Heizungsinstallation inklusive Entsorgung, aufgliedert nach Bauteil und zu entsorgender Baustoffe, ohne Betrieb, in Tausend Umweltbelastungspunkten.

4.3.2 Herstellung vs. Betrieb

Fig. 4.14 zeigt Umweltbelastungen gewichtet gemäß der Methode der ökologischen Knappheit 2013 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 6.3 Millionen Umweltbelastungspunkten (UBP, 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 25-fach höheren Energiebedarf (~160 Millionen UBP, hellblauer Balken).

In einem energetisch komplett sanierten Altbau (oliv-grüner Balken), verursacht der Betrieb der Ölheizung immer noch etwa 7-fach höhere Umweltbelastungen (~44 Millionen UBP, oliv-grüner Balken).

Im selben sanierten Gebäude würde eine mit Ökostrom betriebene Luft-Wasserwärmepumpenheizung im Betrieb über dieselben 20 Jahre, indirekt über die Stromerzeugung und Zulieferung, gerade mal 3 Millionen UBP, also etwa 15-mal weniger Umweltbelastungen verursachen als die Ölheizung.

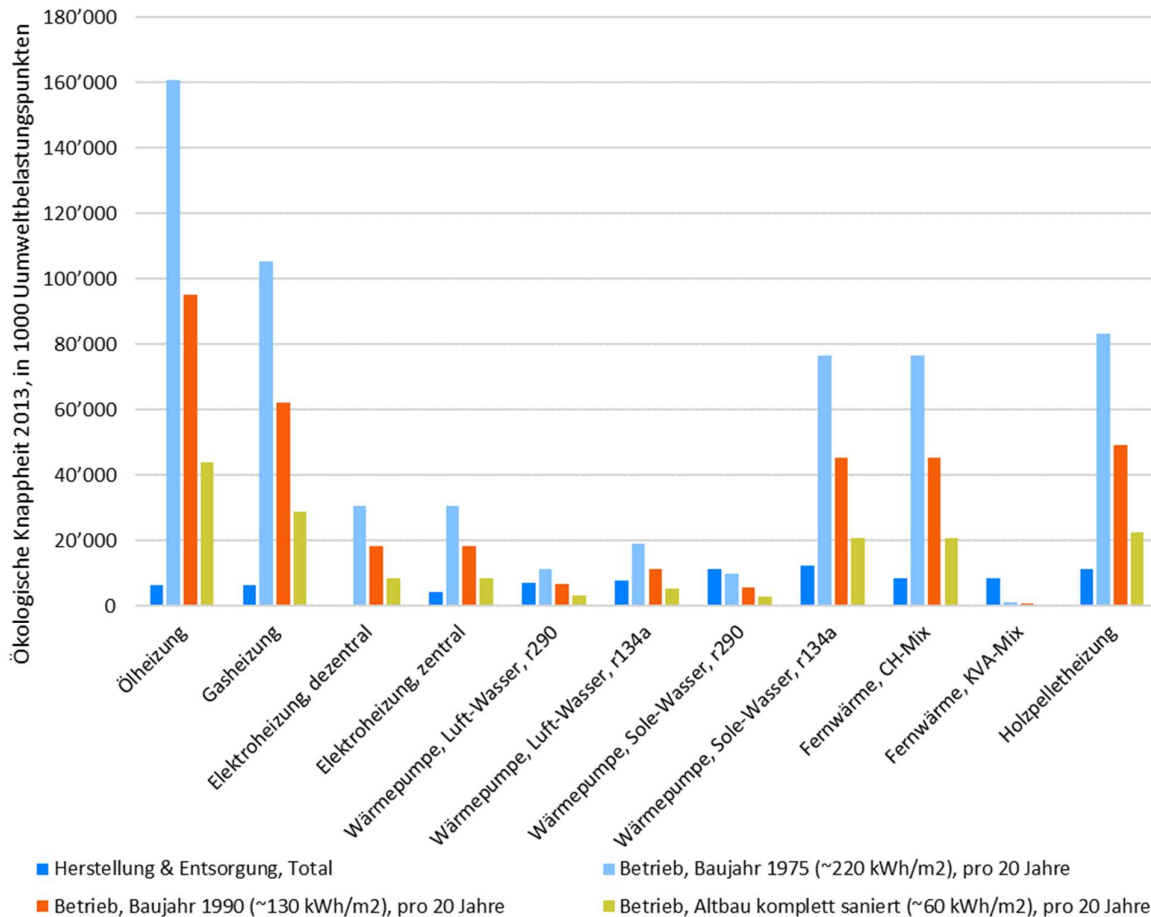


Fig. 4.14 Gesamtumweltbelastung, gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013, auf Grund der Heizungsinstallation, inklusive Entsorgung, im Vergleich zum Heizungsbetrieb, während der typischen Lebensdauer eines Heizsystems (etwa 20 Jahre), für verschiedene Gebäudestandards in Tausend Umweltbelastungspunkten.

4.3.3 Amortisationsdauer im Vergleich zur Ölheizung

Fig. 4.15 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013, 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 5.4 Jahren (oranger Balken) und somit vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

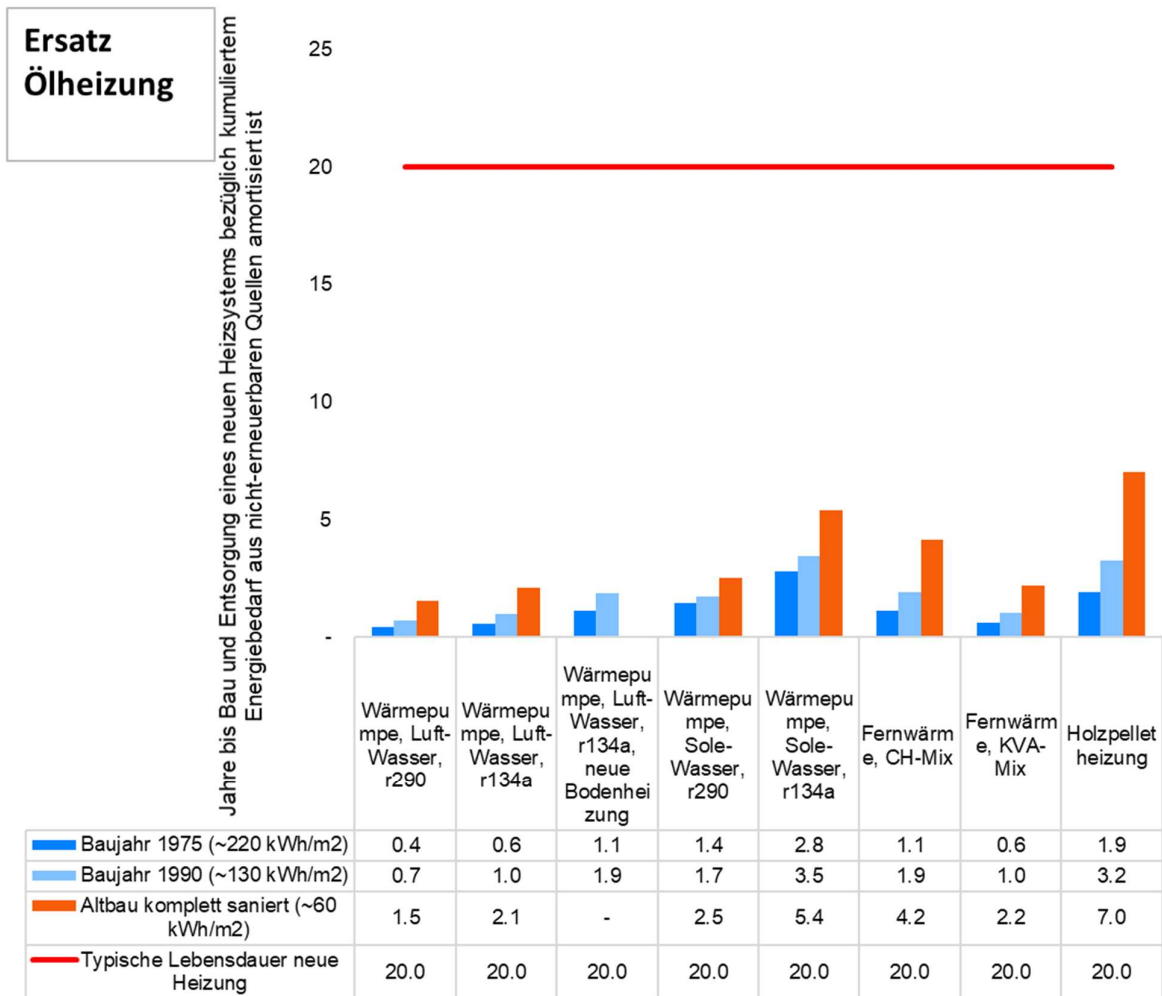


Fig. 4.15 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Ölheizung bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.3.4 Amortisationsdauer im Vergleich zur Gasheizung

Fig. 4.16 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013 (UBP), für den Ersatz einer Gasheizung durch andere Heizungstypen (vgl. Kap. 2.7.1). Sowohl für Wärmepumpen- wie auch Fernwärmeheizungen liegt die Amortisationsdauer für alle Gebäudestandards unter der typischen zu erwartenden Lebensdauer der Heizsysteme von etwa 20 Jahren. Anders als in den Betrachtungen bezüglich Klimaänderungspotenzial und kumuliertem Energiebedarf aus nicht-erneuerbaren Quellen lohnt sich ein Ersatz durch eine Pelletsheizung tendenziell nur in mittelmäßig bis schlecht gedämmten Gebäuden.

Stark gewichtet werden in den UBP 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 4.0 Jahren und somit deutlich vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

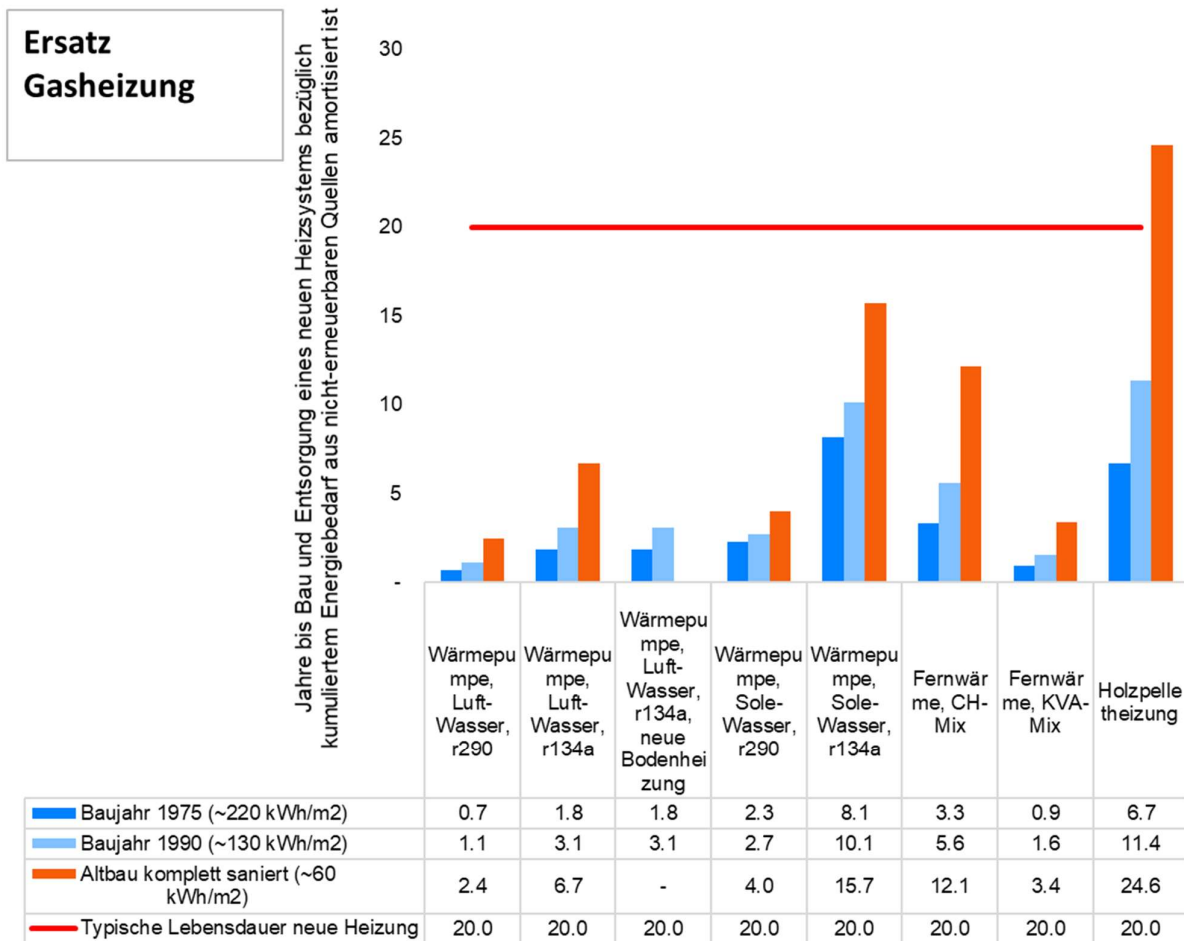


Fig. 4.16 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden Gasheizung bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards

4.3.5 Amortisationsdauer im Vergleich zu dezentralen Elektroheizkörpern

Fig. 4.17 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013 (UBP), 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 Methode der ökologischen Knappheit 2013 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 12 Jahren (hellblauer Balken) und somit klar vor dem typischen Ersatzzeitpunkt von 20 Jahren amortisiert.

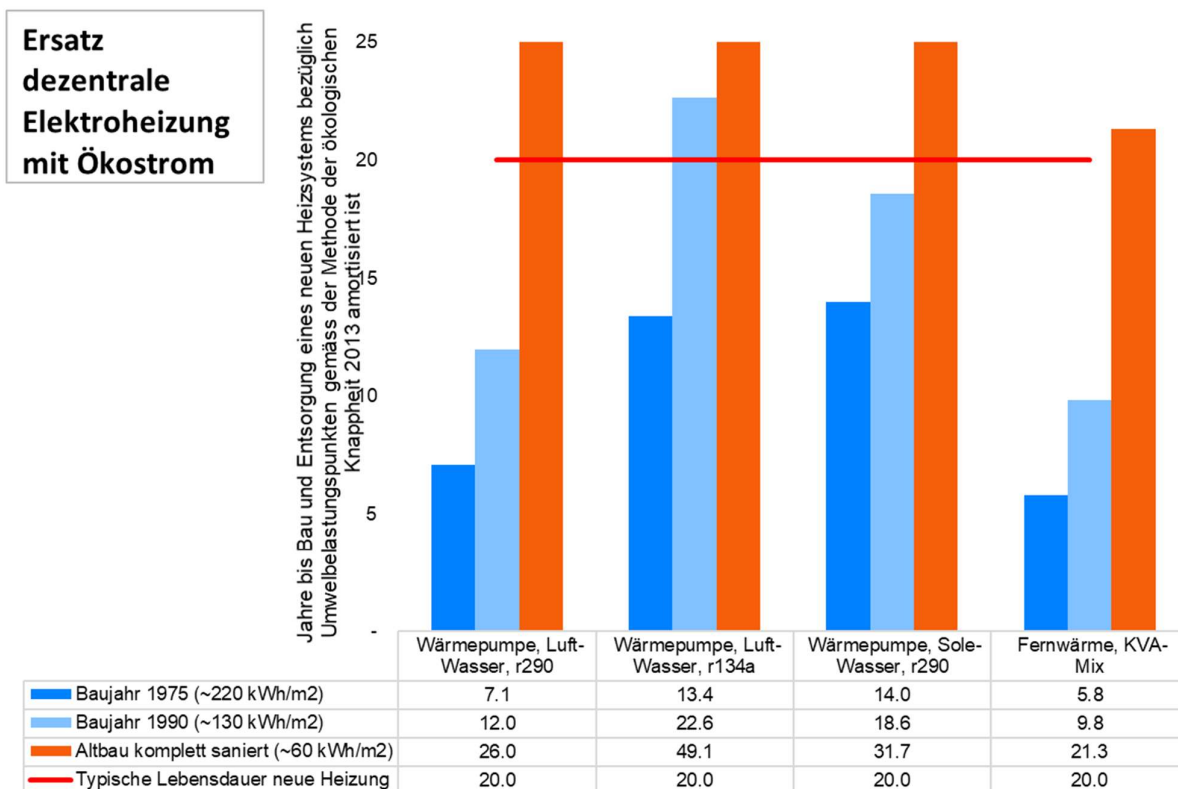


Fig. 4.17 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu bestehenden dezentralen Elektroheizkörpern bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards. **Achtung:** Die Y-Achse wurde in dieser Graphik zwecks besserer Vergleichbarkeit der verschiedenen empfehlenswerten Varianten auf 25 Jahre begrenzt.

4.3.6 Amortisationsdauer im Vergleich zu einer zentralen Elektroheizung

Fig. 4.18 zeigt die Amortisationsdauer in Jahren, bezogen auf die Gesamtumweltbelastungen, gemäß Methode der ökologischen Knappheit 2013, 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. Müssten jedoch zusätzliche bauliche Maßnahmen getroffen werden, und würde eine minderwertige Wärmepumpe mit hoher Anfälligkeit für Leckagen gewählt, würde sich ein frühzeitiger Ersatz nur in schlecht gedämmten Gebäuden lohnen.

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 bezogen auf die Gesamtumweltbelastung gemäß der Methode der ökologischen Knappheit 2013 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 11.9 Jahren, oranger Balken).

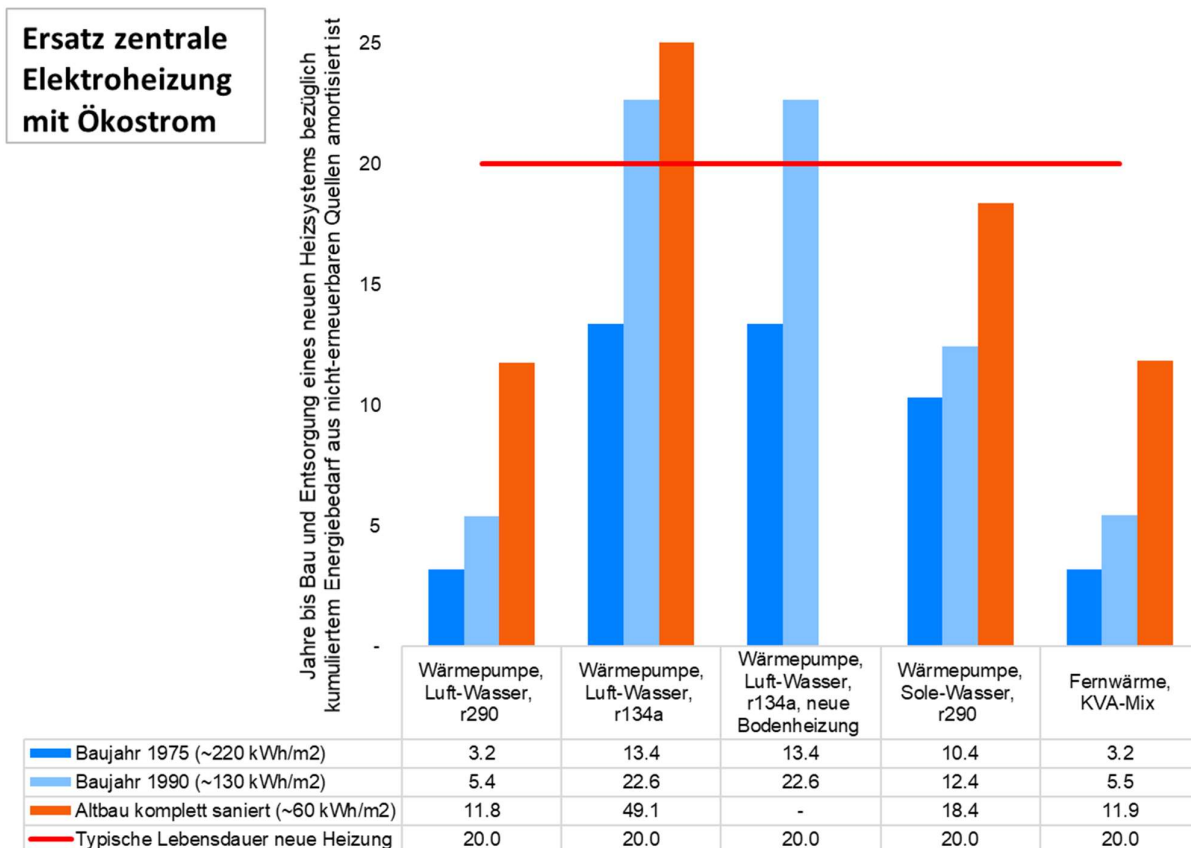


Fig. 4.18 Amortisationsdauer neuer Heizungssysteme im Vergleich zu einer bestehenden zentralen Elektroheizung bezogen auf die Gesamtumweltbelastung, gemäss Methode der ökologischen Knappheit 2013, in Jahren, für verschiedene Gebäudestandards. **Achtung:** Die Y-Achse wurde in dieser Graphik zwecks besserer Vergleichbarkeit der verschiedenen empfehlenswerten Varianten auf 25 Jahre begrenzt.

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 Methode der ökologischen Knappheit 2013 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

- 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 2021 ESU-services (2021) The ESU background database. ESU-services Ltd., Schaffhausen, retrieved from: www.esu-services.ch/data/database/.
- Frischknecht et al. 2007a Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischier 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., Hischier 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.

¹⁴ www.naturemade.org

- 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/wg1/>.
- 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 et al. 2021a Jungbluth N., Meili C., Bussa M., Malinverno N., Ulrich M., Eberhart M., Annaheim J., Keller R., Eggenberger S., König A., Doublet G., Flury K., Büsser S., Stucki M., Schori S., Itten R., Leuenberger M. and Steiner R. (2021a) 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/.
- Jungbluth et al. 2021b Jungbluth N., Muir K. and Scanu S. (2021b) Environmental report and product declaration 2020. ESU-services GmbH, Schaffhausen, CH, retrieved from: <http://esu-services.ch/news/reporting/>.
- KBOB et al. 2016 KBOB, eco-bau and IPB (2016) Ökobilanzdaten im Baubereich 2009/1:2016 Empfehlung Nachhaltiges Bauen. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html.
- 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.
- SimaPro 2021 SimaPro (2021) SimaPro 9.2 (2021) LCA software package. PRé Sustainability, Amersfoort, NL, retrieved from: www.simapro.ch.
- 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.

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 et al. 2021b; 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	Treibhausgas-emissionen	Umweltbelastungspunkte 2013	
		kg CO ₂ -eq	UBP	
Zeitbudget Beratung	d	12.3	147	253'340
Bahnreisen, CH	km	100	1	3'035
Bahnreisen, DE	km	500	32	31'905
Flugreisen	km	-	-	-
Hotelübernachtungen	-	2	61	58'836
Total			241	347'116

© ESU-services 2020

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.

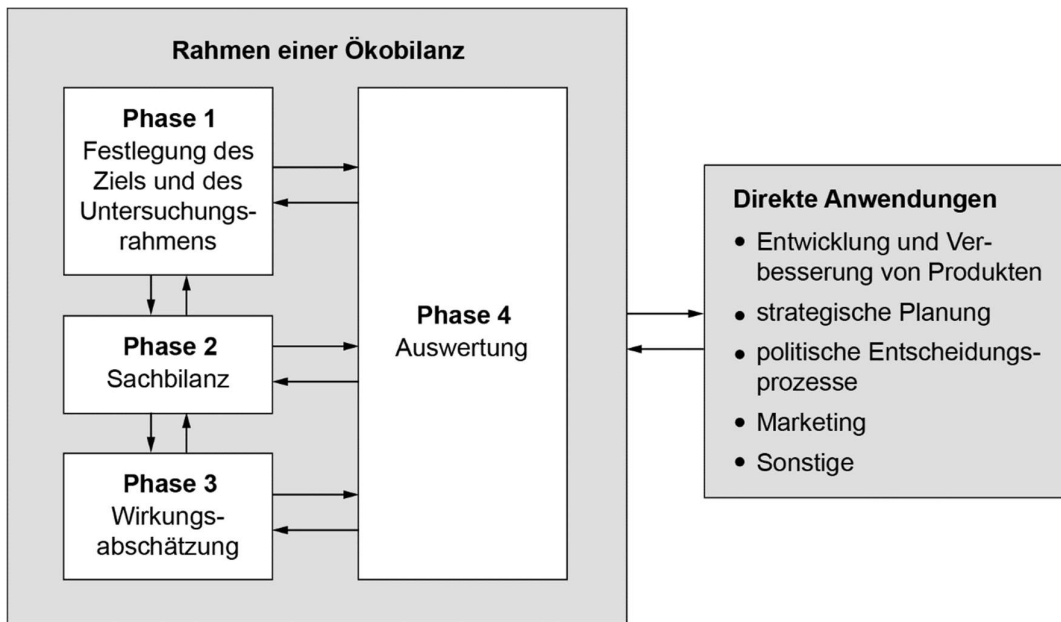


Fig. 6.1 Bestandteile einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA); Bezeichnungen in Deutsch (International Organization for Standardization (ISO) 2006a)

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 Kippunkten (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 2013). 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 standardmässig 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.

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

Die aktuellste Version der Charakterisierungsfaktoren wurde 2013 veröffentlicht (IPCC 2013). Auf Wunsch berücksichtigen wir in unserer Studie auch den zusätzlichen Effekt durch die Emissionen von Flugzeugen mit dem sogenannten RFI Faktor (Jungbluth & Meili 2019).

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 angepassten RFI Faktoren für Flugtransporte gerechnet.

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

1 kg CO ₂ -eq entspricht...	
5'671.5	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
11.7	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
1.0	Kilogramm fossiles CO ₂ , direkt emittiert
0.033	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
1.40	Liter Rohöl gefördert, mit Transport bis zur Raffinerie
3.5%	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2018
3.3%	des Tageskonsums einer Person in der Schweiz
2.9	km Transport einer Person per Flugzeug
5.4	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
121.6	km Transport einer Person per Fahrrad
12.5%	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
6.4%	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
19.7%	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2018
26.6	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
0.110	T-Shirts aus Baumwolle
0.47%	der Produktion eines Laptops
56%	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2018
100%	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 menge, 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 (Frischknecht 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 Kehricht 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 Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte) (2013)

Die Methode der ökologischen Knappheit erlaubt die Gewichtung der in einer Sachbilanz erfassten und berechneten Ressourcenentnahmen und Schadstoff-Emissionen. Die Grundlagen der Methode wurden erstmals 1978 (Müller-Wenk 1978) erarbeitet. Die erste Aktualisierung erfolgte 1998 (Brand et al. 1998). Eine weitere Aktualisierung fand zwischen 2005 und 2008 statt (Frischknecht et al. 2008). Die aktuellste Version wurde 2013 veröffentlicht (Frischknecht et al. 2013).

Die MoeK wurde in der Schweiz im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und unter Begleitung des Unternehmensverbandes für nachhaltiges Wirtschaften (öbu) entwickelt. Die Methode wird hier für eine Vielzahl von Studien von privaten und öffentlichen Auftraggebern durch Beratungsbüros und Forschungseinrichtungen angewendet. Teilweise wird die Anwendung auch gesetzlich vorgeschrieben (TrÖbiV 2009). Auch für die Planung von Bauwerken sind die Umweltbelastungspunkte einer von drei Umweltindikatoren (KBOB et al. 2016). Für die Darstellung von

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.

Ökobilanzergebnissen gegenüber der Öffentlichkeit und öffentlichen Stellen in der Schweiz ist dies damit die wichtigste Bewertungsmethode.

Die Methode der ökologischen Knappheit beruht auf dem Prinzip "Distance-to-target". Dabei werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) eines Landes und andererseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele des entsprechenden Landes als maximal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert.

Fig. 6.2 zeigt ein vereinfachtes Vorgehensschema dieser Bewertungsmethode. Daraus geht hervor, dass die Schritte Klassifizierung und Charakterisierung nur für einen Teil der Umweltprobleme durchgeführt werden. Ansonsten werden die Umwelteinwirkungen (Emissionen und Ressourcenverbrauch) und Abfallmengen aus der Sachbilanz direkt gewichtet.

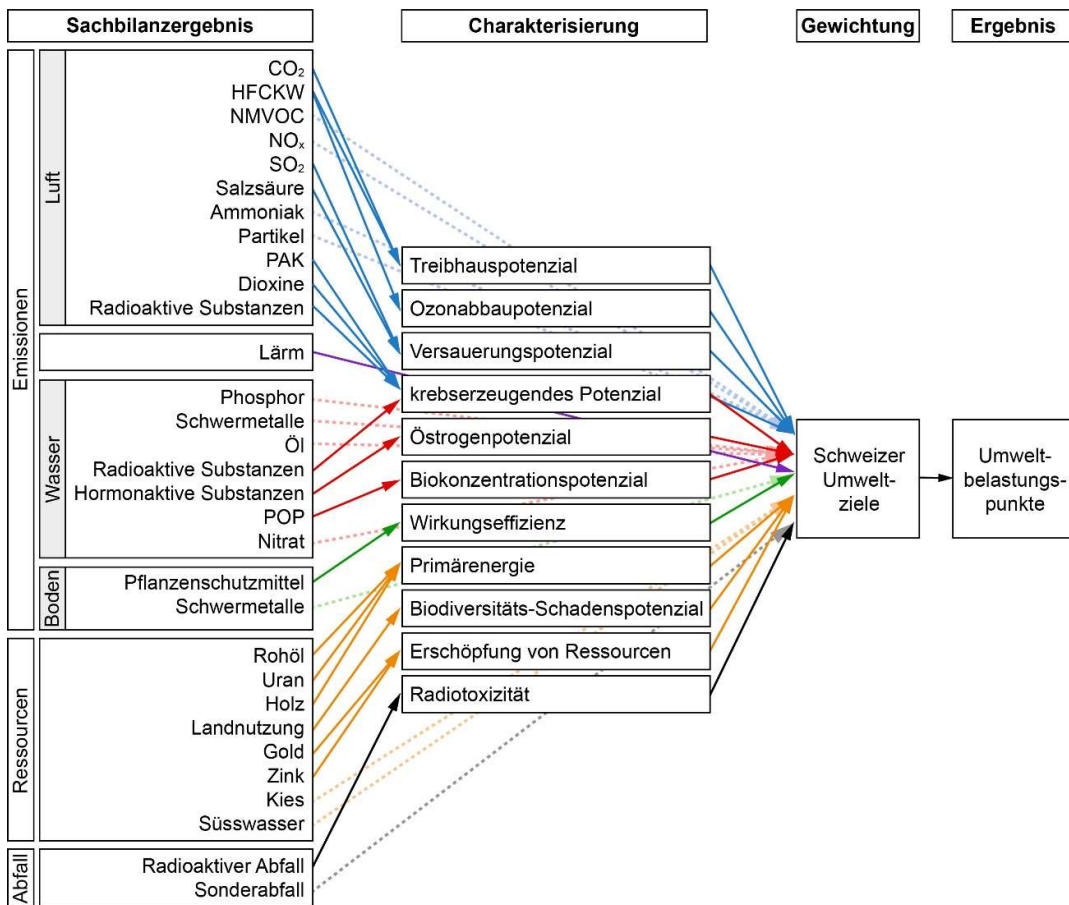


Fig. 6.2 Schematische Darstellung der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht et al. 2013)

Die Bewertung erfolgt mittels Ökofaktoren welche wie folgt definiert sind:

$$\text{Ökofaktor} = \underbrace{K}_{\substack{\text{Charakterisierung} \\ \text{(optional)}}} \cdot \underbrace{\frac{1 \cdot \text{UBP}}{F_n}}_{\text{Normierung}} \cdot \underbrace{\left(\frac{F}{F_k}\right)^2}_{\text{Gewichtung}} \cdot \underbrace{c}_{\text{Konstante}} \quad (8.1)$$

mit: **K** = **Charakterisierungsfaktor** eines Schadstoffs beziehungsweise einer Ressource

Fluss = Fracht eines Schadstoffs, Verbrauchsmenge einer Ressource oder Menge einer charakterisierten Umwelteinwirkung

F_n	=	Normierungsfluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf die Schweiz
F	=	Aktueller Fluss: Aktueller jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet
F_k	=	Kritischer Fluss: Kritischer jährlicher Fluss, bezogen auf das Referenzgebiet
c	=	Konstante ($10^{12}/a$)
UBP	=	Umweltbelastungspunkt: die Einheit des bewerteten Ergebnisses

Der Faktor c ist für alle Ökofaktoren identisch und dient der besseren Handhabbarkeit der Zahlen. Der erste Faktor dient der *Charakterisierung* und wird für Schadstoffe (beziehungsweise Ressourcen) angewendet, welche dieselbe Umweltwirkung verursachen (beispielsweise Klimaänderung). Der Charakterisierungsfaktor ist in dieser Methode optional, das heisst nicht alle Schadstoffe werden in dieser Methode charakterisiert. Der zweite Term dient der *Normierung* und enthält im Nenner den heutigen gesamtschweizerischen Fluss. Dieser wird entweder in charakterisierter Form angegeben (beispielsweise Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr), wenn der für den entsprechenden Schadstoff ein Charakterisierungsfaktor angewendet wird, oder in seiner ursprünglichen Form (beispielsweise Tonnen PM10 pro Jahr), wenn der Schadstoff keinen Charakterisierungsfaktor hat. Der dritte Term enthält den *Gewichtungsschritt*. Hier werden die aktuellen Emissionen einerseits und das angestrebte Emissionsziel ins Verhältnis gesetzt und quadriert.

Das Verhältnis aktueller zu kritischem Fluss wird als Quadrat berücksichtigt. Dies hat den Effekt, dass starke Überschreitungen vom Zielwert (kritischer Fluss) überproportional und starke Unterschreitungen unterproportional gewichtet werden, also eine zusätzliche Emission stärker gewichtet wird je höher die Belastungssituation bereits ist.

In der Diskussion der Ergebnisse werden einzelne Schadstoffe in verschiedene Schadstoffgruppen zusammengefasst. Dabei werden folgende Kategorien gemäss Tab. 6.4 unterschieden.

Tab. 6.4 Zuordnung von Schadstoffen und Ressourcen zu Umweltwirkungen und -themen in der Methode der ökologischen Knappheit (Frischknecht et al. 2013).

Belastungskategorie	Schadstoffe, Ressourcen, Vorsorgethema
Wasserkonsum	Verbrauchende Nutzung von Oberflächenwasser, Grundwasser, und Aquiferen
Energieressourcen	Nicht erneuerbar: Erdgas, Rohöl, Rohbraunkohle, Rohsteinkohle. Uran Erneuerbar: geerntete Mengen Holz, Solarstrahlung, kinetische Energie (Windenergie), potenzielle Energie (Wasserkraft), geothermische Energie
Mineralien	Dissipative (verbrauchende) Nutzung von Aluminium (in Bauxit), Cadmium, Chrom, Eisenerz, Indium, Kupfer, Dolomit, Kalkstein, Kies, Phosphor, etc.
Landnutzung	Landnutzungen verschiedenster Nutzungstypen
Klimawandel	Klimaänderungspotenzial durch die Emission von CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, FKW, PFK, SF ₆ , etc.
Ozonschichtabbau	Emission von FCKW, H-FCKW, Halone, Ether und Etherverbindungen die zum Abbau der Ozonschicht führen
Luftschadstoffe und Staub	Emission von SO ₂ , NO _x , NMVOC, NH ₃ , PM10, PM2.5
Krebserregende Luftschadstoffe	Emission von Benzol, Dieselruß, Dioxine, PAK
Schwermetalle in Luft	Emission von Blei, Cadmium, Quecksilber, Zink
Wasserschadstoffe	Emission von Stickstoff, Nitrat, Phosphor, CSB, AOX, Chloroform, PAK, hormonaktive Stoffe
Persistente organische Schadstoffe (POP)	Emission von persistenten organischen Schadstoffen
Schwermetalle ins Wasser	Emission von Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink
Pflanzenschutzmittel	Anwendung von Pflanzenschutzmittel in der Landwirtschaft und auf Industrieflächen
Schwermetalle in Boden	Emission von Blei, Cadmium, Kupfer, Zink
Radioaktive Substanzen in Luft	Emission von Kohlenstoff-14, Cäsium 137, Iod-129, etc.
Radioaktive Substanzen ins Wasser	Emission von Kohlenstoff-14, Cäsium 137, Iod-129, etc.
Lärm	Lärmemissionen von Lkw, Pkw, Bahn und Flugzeugen
Deponierte nicht-radioaktive Abfälle	In Untertagedeponien gelagerte Sonderabfälle, Deponierung Kohlenstoffhaltiger Abfälle
Deponierte radioaktive Abfälle	In Endlager deponierte radioaktive Abfälle

Bei den beiden Indikatoren für Abfälle wird nicht erläutert welche Art von Umweltbelastung in der Methode bewertet werden soll. Gemäss Autoren der Methode werden Abfälle nach dem Vorsorgeprinzip bewertet. Dieses Vorgehen entspricht nicht den Vorgaben der ISO 14044 für die Festlegung von Umweltindikatoren (International Organization for Standardization (ISO) 2006b). Auch die Herleitung der Öko-Faktoren für einzelne Schadstoffe folgt nicht den Vorgaben der ISO-Norm da diese nur teilweise nach Umweltproblemen gruppiert werden. Diese beiden Indikatoren sollten für ISO-konforme Ökobilanzen deshalb nicht verwendet werden.

Tausend Umweltbelastungspunkte (1000 UBP) entsprechen den in Tab. 6.5 gezeigten Referenzwerten.

Tab. 6.5 Referenzwerte für Produkte und Dienstleistungen, die 1000 Umweltbelastungspunkte verursachen

Tausend Umweltbelastungspunkte entsprechen...	
4'048.0	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
4.4	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
2.2	Kilogramm fossiles CO ₂ , direkt emittiert
0.083	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
0.07	Gramm Kupfereintrag in landwirtschaftlich genutztem Boden
0.60	Liter Rohöl gefördert, mit Transport bis zur Raffinerie
33.3	Kilogramm Kiesabbau
3.3	Gramm Pestizidanwendung in der Landwirtschaft
0.021	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2018
4.3	km Transport einer Person per Flugzeug
4.5	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
94.4	km Transport einer Person per Fahrrad
0.059	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
0.040	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
0.068	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2018
37.9	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
0.076	T-Shirts aus Baumwolle
0.0023	der Produktion eines Laptops
0.31	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2018
0.61	des täglichen Konsums für Möbeln und Haushaltsgeräten in der Schweiz, 2018

Für das Jahr 2021 wird mit der Veröffentlichung der Methode der ökologischen Knappheit 2021 gerechnet. ESU-services war in der Begleitgruppe zur Entwicklung vertreten.²¹

²¹ <https://www.oebu.ch/de/news/aktuelle-news/aktualisierung-der-schweizer-ockofaktoren-treten-sie-der-begleit-gruppe-bei!-4874.html>