

# Ökobilanz von Heizvarianten im Gastronomie-Aussenbereich

**Auftraggeber**

Philippe Stolz, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ)

**Verfasser\*innen**

Thomas Kägi, Lea Weber & Livia Waldburger, Carbotech AG

Anzahl Seiten: 18

Zürich, 11. November 2020

## Impressum

**Titel**

Ökobilanz von Heizvarianten im Gastronomie-Aussenbereich

**Auftraggeber**

Philippe Stolz, Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich (UGZ)

**Auftragnehmerin**

Carbotech AG, Zürich

**Autor\*innen**

Thomas Kägi, Lea Weber & Livia Waldburger

**Projektleitung / Kontakt**

Thomas Kägi

+41 44 444 20 17

t.kaegi@carbotech.ch

**Hinweis**

Für den Inhalt ist ausschliesslich die Auftragnehmerin verantwortlich.

**Version**

1.1

**Datum**

11. November 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>1 Ausgangslage und Zielsetzung</b>	<b>5</b>
<b>2 Methodik und Vorgehen</b>	<b>5</b>
2.1 Zielsetzung und Rahmenbedingungen	6
2.1.1 Zielsetzung	6
2.1.2 Funktionelle Einheit	6
2.1.3 Anwendung und Zielgruppe der Studie	6
2.1.4 Beschreibung der Heizvarianten	6
2.1.5 Systemgrenze	7
2.2 Sachbilanz	8
2.2.1 Modellierung des Produktsystems	8
2.2.2 Vordergrunddaten	8
2.2.3 Hintergrunddaten	10
2.2.4 Sensitivitäten	10
2.3 Wirkbilanz und Bewertung der Umweltbelastung	10
<b>3 Resultate und Diskussion</b>	<b>12</b>
3.1 Vergleich Heizvarianten	12
3.2 Sensitivitätsbetrachtungen	14
3.3 Unsicherheitsanalyse	15
<b>4 Grenzen der Studie</b>	<b>17</b>
<b>5 Fazit und Empfehlungen</b>	<b>17</b>
<b>6 Literatur</b>	<b>18</b>

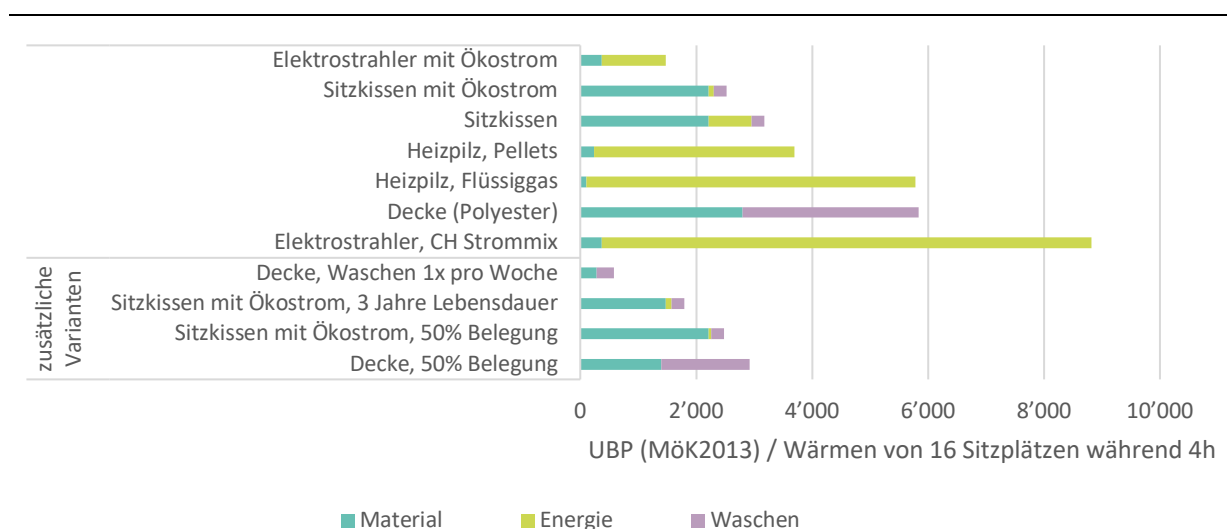
# Zusammenfassung

Durch die Covid-19-Pandemie wird bei Gastronomiebetrieben der Wunsch grösser, auch im Winter Aussensitzplätze anzubieten und diese zu heizen oder warm zu halten. In Anbetracht dieser Situation ist die Abklärung nach den ökologisch sinnvollsten Mitteln zur Heizung oder zum Warmhalten von Aussensitzplätzen zentral, weshalb die Abteilung Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich (UGZ) die vorliegende Ökobilanzstudie in Auftrag gab.

Ziel in diesem Projekt ist, im ökologischen Kontext eine Empfehlung zur Heizmethode in Aussenbereichen von Gastronomiebetrieben abzugeben. Dafür wählte der UGZ fünf mögliche Wärmespender auf Aussensitzplätzen für eine vergleichende Ökobilanz: Heizpilz mit Flüssiggas (Propan/Butan), Heizpilz mit Pellets (Holz), Elektroheizstrahler, Heizkissen mit Akku und Decken aus Polyester. Als funktionelle Einheit definierten wir die Wärmeversorgung von 16 Sitzplätzen im Aussenbereich während vier Stunden.

Für die verschiedenen Wärmespender berechneten wir sowohl den Umweltfussabdruck in Umweltbelastungspunkten (UBP) anhand der Methode der ökologischen Knappheit 2013 als auch den CO<sub>2</sub>-Fussabdruck in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (kg CO<sub>2</sub> eq) nach IPCC 2013.

Aus den Resultaten (Abbildung 1) können folgende Erkenntnisse abgeleitet werden: Wenn im Aussenbereich von Gastronomiebetrieben geheizt werden soll, dann mit Elektrostrahlern, die mit zertifiziertem Ökostrom betrieben sind, oder mit Sitzkissen. Aus Sicht des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks zwar sinnvoll, aus Sicht des Umweltfussabdrucks jedoch weniger überzeugend, ist das Wärmen mit Pellets-Heizpilzen. Nicht empfohlen wird das Wärmen mit Flüssiggas-Heizpilzen, mit Elektrostrahlern, die mit Schweizer Strommix betrieben sind, oder der Einsatz von Decken, solange diese nach jedem Gast gewechselt und gewaschen werden müssen. Sollte es möglich sein, die Decken nur einmal pro Woche auszutauschen und zu waschen, wäre dies die ökologischste Option.



**Abbildung 1: Vergleich des Umweltfussabdrucks für das Wärmen von 16 Sitzplätzen im Aussenbereich während 4 Stunden mit verschiedenen Heizkörpern und einer Decke**

# 1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Abteilung Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich (UGZ) befasst sich mit dem Schutz der Umwelt und dem Erhalt der natürlichen Lebensgrundlagen in der Stadt Zürich. Durch die Covid-19-Pandemie wird bei Gastronomiebetrieben der Wunsch grösser, auch im Winter Aussensitzplätze anzubieten und diese zu heizen oder warm zu halten. In Anbetracht dieser Situation ist die Abklärung nach den ökologisch sinnvollsten Mitteln zur Heizung oder zum Warmhalten von Aussensitzplätzen zentral. Aus diesem Grund wurde die vorliegende Ökobilanzstudie in Auftrag gegeben.

Ziel in diesem Projekt ist, dem UGZ im ökologischen Kontext eine Empfehlung zur Heizmethode in Aussenbereichen in Gastronomiebetrieben abzugeben. Der UGZ hat zu diesem Zweck fünf mögliche Wärmespender auf Aussensitzplätzen für einen Vergleich gewählt. Für die folgenden fünf Varianten soll eine Ökobilanz als Entscheidungsgrundlage erstellt werden:

1. Heizpilz mit Flüssiggas (Propan/Butan)
2. Heizpilz mit Pellets (Holz)
3. Elektroheizstrahler
4. Heizkissen mit Akku
5. Decken aus Polyester

## 2 Methodik und Vorgehen

Heute besteht ein breiter Konsens, dass die Ökobilanz die umfassendste und aussagekräftigste Methode ist, um die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen zu beurteilen. Daher wird diese Methode verwendet, um die Umweltauswirkungen der genannten Produkte zu eruieren.

Die Ökobilanzierung respektive Lebenszyklusanalyse („Life Cycle Assessment“, LCA) ist eine Methode, um die Auswirkungen menschlicher Tätigkeiten auf die Umwelt zu erfassen, zu beurteilen und daraus Optimierungspotentiale abzuleiten. Aufgrund der Komplexität der Natur und des globalen Wirtschaftssystems reicht es nicht, nur einzelne Problemstoffe oder lokale Auswirkungen zu betrachten. Aus dem Anspruch an eine umfassende Beurteilung ergeben sich die folgenden Anforderungen an die Methode:

- Möglichst umfassende Berücksichtigung der verschiedenen Umweltauswirkungen
- Berücksichtigung des gesamten Lebensweges
- Quantifizierung der Umweltauswirkungen
- Bewertung der verschiedenen Auswirkungen als Basis für Entscheidungen
- Wissenschaftlich abgestützt, um eine hohe Zuverlässigkeit und Akzeptanz zu erreichen

Die vorliegende Studie ist angelehnt an die Norm ISO 14'040; in einzelnen Punkten, wie der Verwendung von gesamttaggregierenden Methoden, weicht die vorliegende Studie von der Norm ab (siehe Kap. 2.3).

## 2.1 Zielsetzung und Rahmenbedingungen

Die Definition der zu untersuchenden und vergleichenden Systeme hängt von der Zielsetzung bzw. Fragestellung ab. Daraus ergeben sich unterschiedliche Rahmenbedingungen und Systemgrenzen. Die Systemgrenzen definieren, welche Prozesse und vorgelagerten Prozesse berücksichtigt werden. Dabei werden etwa der zeitliche Rahmen der verwendeten Daten sowie die zu untersuchenden Umweltauswirkungen festgelegt.

### 2.1.1 Zielsetzung

In der Studie wurden auf der methodischen Grundlage einer Ökobilanz die Umweltwirkungen von folgenden verschiedenen Heizvarianten berechnet:

1. Heizpilz mit Flüssiggas (Propan/Butan)
2. Heizpilz mit Pellets (Holz)
3. Elektroheizstrahler
4. Heizkissen mit Akku
5. Decken aus Polyester

### 2.1.2 Funktionelle Einheit

Vergleicht man ein Produkt mit Alternativen, müssen diese denselben Nutzen erbringen bzw. dieselbe Funktion erfüllen. Die Grösse, auf welche sich der Vergleich bezieht, wird als funktionelle Einheit bezeichnet. Als Grundlage diente die Überlegung, dass die Heizvarianten an einem durchschnittlichen Tag zwischen 18 Uhr und 22 Uhr in Betrieb sind.

Die funktionelle Einheit wurde in dieser Studie folgendermassen definiert:

- Wärmeversorgung für 16 Sitzplätze im Aussenbereich während vier Stunden.

Dabei wurden vier Tische mit je vier Sitzplätzen angenommen, in deren Mitte ein 6 kW Heizpilz platziert ist, der die Sitzplätze mit Wärme versorgt. Für die Variante Elektrostrahler wurde angenommen, dass jeweils zwei Tische mit je vier Sitzplätzen von einem Elektrostrahler mit 3 kW Leistung gewärmt werden. Bei den Heizkissen wurde mit zwei Heizkissen pro Sitzplatz gerechnet (2x16 Heizkissen). Bei der Decke wurde mit einer Decke pro Sitzplatz gerechnet, wobei die Decke während der aktuellen Situation mit Covid-19 nach jedem Gast gewechselt wird und innert der vier Stunden mit zwei Gästen gerechnet wurde (2x16 Decken).

### 2.1.3 Anwendung und Zielgruppe der Studie

Die Studie richtet sich in erster Linie an den Auftraggeber und die interessierte Öffentlichkeit.

### 2.1.4 Beschreibung der Heizvarianten

#### Heizpilz mit Flüssiggas (Propan/Butan)

Mit Flüssiggas betriebene Heizpilze sind häufig verwendete Heizkörper für Aussenbereiche. Sie weisen eine dem Namen entsprechende Pilzform auf. Unten befindet sich der Gas-Tank oder die Gasflasche, oben, unter dem Pilz-Hut, wird das Gas verbrannt. Durch die Verbrennung wird der Pilz-Hut, der auch Abstrahlelement genannt wird, aufgeheizt und verteilt die Wärme gleichmässig nach unten. Für die Wärmeversorgung von 16 Sitzplätzen in Zürich ist ein Heizpilz mit 6kW Leistung im Normalfall ausreichend.

#### Heizpilz mit Pellets (Holz)

Mit Holzpellets betriebene Heizpilze sind weniger stark verbreitet als Gas-Heizpilze. Bei den Pellets-Heizpilzen befindet sich die Flamme gleich über der Lagerung der Pellets, d.h. unten, etwa auf Kniehöhe. Oben befindet sich

jedoch wie bei den Gas-Heizpilzen eine pilzförmige Haube, welche dafür sorgt, dass sich die Wärme gleichmässig verteilt und nicht alle Wärme nach oben wegfließt. Für die Wärmeversorgung von 16 Sitzplätzen in Zürich ist ein Heizpilz mit 6kW Leistung im Normalfall ausreichend. Pellets-Heizpilze verfügen oft über ein Gebläse, das mit einer Batterie betrieben wird. Mangels Daten haben wir für diese Studie das Gebläse nicht separat modelliert, aber den Stromverbrauch und die Batterie berücksichtigt.

### **Elektroheizstrahler**

Ein Elektroheizstrahler, im vorliegenden Fall ein Deckenstrahler, wandelt elektrische Energie in Infrarotstrahlen um. Diese Infrarotstrahlen erwärmen die Oberflächen, auf welche die Strahlen treffen. So werden alle Personen, die sich im Bereich der Infrarotstrahlen befinden, gewärmt. Für die Wärmeversorgung von 16 Sitzplätzen in Zürich sind zwei Elektroheizstrahler mit je 3kW Leistung im Normalfall ausreichend.

### **Heizkissen mit Akku**

Mit einem Heizkissen wird eine einzelne Person, die auf dem Heizkissen sitzt, gewärmt. Ein Heizkissen wird durch elektrischen Strom, der in einem Akku gespeichert ist, betrieben. Die elektrische Energie wird mittels Drähten, die sich in dem Heizkissen befinden, in thermische Energie umgewandelt. Pro Sitzplatz werden zwei Heizkissen verwendet: eines für die Sitzfläche und eines für die Rückenlehne. Die Heizkissen haben eine integrierte Start-Stopp-Automatik, d.h. sie wärmen nur solange, wie ein Sitzplatz besetzt wird.

### **Decken aus Polyester**

Eine Decke dämmt die Wärmeenergie, die ein menschlicher Körper produziert (beim Sitzen durchschnittlich ca. 100 W) nach aussen. Durch die Decke kann die Wärmeenergie nicht in die Umgebung entweichen. Dadurch friert eine Person viel weniger schnell, als wenn keine Decke vorhanden ist. Pro Gast wird aufgrund des aktuellen Corona-Schutzkonzepts für Gastronomiebetriebe eine Decke benötigt. Die Decke wird nach jedem Gast gewaschen. Wir gehen von zwei Gästen pro Sitzplatz und Abend aus.

## **2.1.5 Systemgrenze**

Die vorliegende Ökobilanz betrachtet die ökologischen Auswirkungen der Produkte über den gesamten Lebensweg, d.h. *cradle to grave* (von der Wiege bis zur Bahre). Wir erfassen und bewerten entsprechend des Ökobilanz-Ansatzes soweit möglich alle umweltrelevanten Prozesse innerhalb der Systemgrenze von der Extraktion der Rohstoffe, über deren Verarbeitung zu Heizkörpern, Brennstoffen und Textilien, inklusive der Transportprozesse, der Nutzung in einem Gastronomiebetrieb bis zur Entsorgung der Produkte.

Die Systemgrenze der vorliegenden Studie umfasst im Wesentlichen die folgenden als relevant betrachteten Stoff- und Energieflüsse (siehe Abbildung 2):

- Bereitstellung der Materialien und der Energie zur Herstellung der Heizkörper und der Decke
- Transporte von Rohstoffen und Hilfsstoffen
- Abfälle bei der Herstellung der Heizkörper und der Decke
- Bereitstellung der Energie für den Betrieb der Heizkörper

Für alle diese Prozesse werden die Auswirkungen durch Emissionen in Boden, Luft und Wasser sowie der Ressourcenbedarf (stoffliche und energetische Ressourcen oder Landnutzung) berücksichtigt.

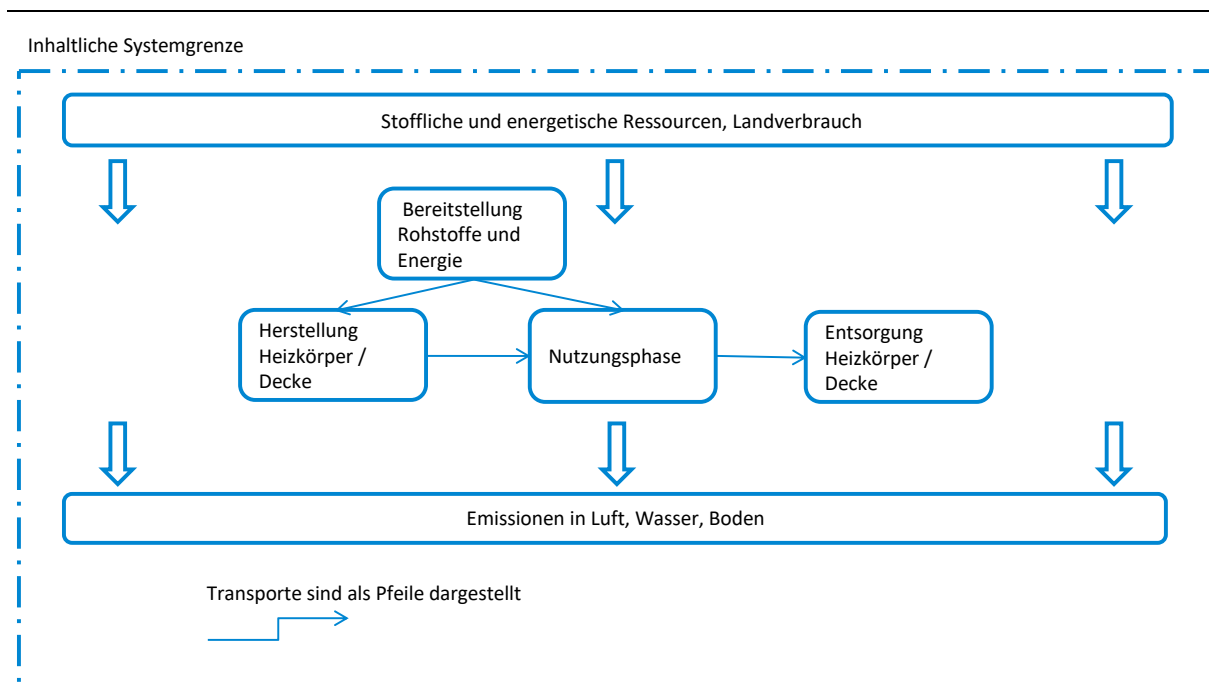


Abbildung 2: Schematische Darstellung der berücksichtigten Prozesse

## 2.2 Sachbilanz

### 2.2.1 Modellierung des Produktsystems

In der Sachbilanz wird ein Modell für das zu bilanzierende System entworfen und es werden die Energie- und Stoffflüsse der damit verbundenen Prozesse erfasst. Diese umfassen:

- Die Beziehungen eines Prozesses mit anderen Prozessen der Technosphäre, wie z. B. Menge an benötigten Rohmaterialien, Hilfsstoffen, Energiebedarf, Transporte oder Verwertungs- beziehungsweise Entsorgungssysteme.
- Die Beziehungen eines Prozesses mit seiner natürlichen Umwelt der Ökosphäre, wie z. B. Bedarf an Ressourcen (fossile Energieträger, Landressourcen etc.) und Emissionen, wie z. B. CO<sub>2</sub>, VOC, Methan, Stickoxide u. a.

Die Sachbilanz wurde mit der Ökobilanz-Software SimaPro Version 9 (PRé Consultants, 2018) berechnet und als Basis für die Wirkbilanz verwendet.

### 2.2.2 Vordergrunddaten

In der folgenden Tabelle sind sowohl die technischen Daten der Heizkörper wie auch die Materialzusammensetzung und der Energiebedarf aller untersuchten Produkte aufgelistet.



**Tabelle 1: Zusammenstellung der wichtigsten Daten der betrachteten Varianten**

Input	Einheit	Heizpflz, Flüssiggas	Heizpflz, Pellets	Elektroheizstrahler	Heizkissen	Decke	Bemerkung
Leistung	kW	6kW	6kW	2*3kW	16*2*0.015kW	0	
Lebensdauer	Jahre	5	5	2	2	100 Waschgänge	
Gewicht	kg	16	30	3.6	1.5	1	
Materialzusammensetzung:	%						Beruhet auf eigenen Abschätzungen und Annahmen
Stahl	%	90	74				
Eisen/Draht					14		
Aluminium	%	5		85			
Glas	%		24	5			
Kunststoff	%	5		5			
Polyester	%				24	100	
Polyurethan	%				48		
Elektronik	%			5	3		
Akku	%		2		11		
Kabel	m			2			
Verbrennungsemissionen		Analog Erdgasheizung mit Anpassung CO <sub>2</sub> /MJ für Propan / Butan gemäss IIR 2020	Analog Pelletsheizung mit Anpassung Emissionswerte gemäss IIR 2020	keine	keine	keine	IIR 2020: Switzerland's Informative Inventory Report 2020 (FOEN, 2020): Angepasste Emissionen: B(a)P, CO, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , PM <sub>2.5</sub> , PM <sub>10</sub> , Cd, Dioxin, Hg, SO <sub>2</sub>
Energieabgabe pro 4h Nutzung	kWh	24	24	2*12	16*2*0.06	0	
Gasbedarf pro 4h Nutzung	kg	1.875					
Pelletsbedarf pro 4h Nutzung	kg		5.5				
Strombezug pro 4h Nutzung	kWh		0.145	24	2.112		10% Ladeverlust bei Akkuladen
Infrastrukturbedarf pro 4h Nutzung		0.00133	0.00133	0.00333	0.00667	0.02	2 Decken pro Abend mit Lebensdauer 100 Waschgänge
Waschen pro 4h Nutzung					1/10	2	Annahme Decke: 2 Gäste pro Stuhl und 4h: ergibt 2 Decken, die benötigt und gewaschen werden müssen Annahme Kissen: kann wie Stuhl gereinigt werden. Daher nur Bezug 1x pro 2 Wochen in Wäsche
Waschen pro kg Textilien					30°, 10g Waschmittel	30°, 10g Waschmittel	Gemäss PEFCR T-Shirts (Pesnel & Payet, 2019). Kein Tumbler, da aufgrund des Materials nicht möglich.

### 2.2.3 Hintergrunddaten

Die Vordergrunddaten wurden mit den Hintergrunddaten der Ökoinventardatenbank UVEK 2018 (basiert auf der ecoinvent V2.2 Datenbank mit UVEK-eigenen Aktualisierungen) verknüpft. Die Verwendung dieser Hintergrunddaten hat eine hohe Akzeptanz. Die Verwendung einer einheitlichen Grundlage erhöht die Konsistenz der Hintergrunddaten und ermöglicht damit eine bessere Vergleichbarkeit der Resultate.

### 2.2.4 Sensitivitäten

Die Wahl der verschiedenen Szenarien kann das Resultat massgeblich beeinflussen. Zur Evaluierung der Sensitivitäten rechnen wir folgende zusätzlichen Szenarien:

- Verwendung von Ökostrom beim Elektrostrahler und Heizkissen
- Lebensdauer von 3 statt 2 Jahren beim Heizkissen
- Decken werden nur 1 Mal pro Woche gewaschen: Anstatt dass die Decken nach jedem Gast gewechselt und gewaschen werden, wird pro Sitzplatz für eine Woche eine Decke verwendet.
- Halbe Auslastung der 16 Sitzplätze anstelle voller Auslastung.

## 2.3 Wirkbilanz und Bewertung der Umweltbelastung

In diesem Schritt wird zuerst die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Die Berechnung der Wirkbilanz beinhaltet die folgenden zwei Teilschritte:

- Klassifizierung (Einteilung der Stoffe aus der Sachbilanz bezüglich ihrer Auswirkungen)
- Charakterisierung (Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt):  
Dabei werden die einzelnen Substanzen entsprechend ihres Schädigungspotenzials bezüglich einer Leitsubstanz gegeneinander gewichtet. Daraus ergeben sich die Schädigungspotenziale bezüglich einer bestimmten Umweltauswirkung. Beim Treibhauspotential z.B. wird CO<sub>2</sub> als Leitsubstanz verwendet und Beiträge von weiteren Treibhausgasen wie Methan und Lachgas werden in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet.

Beim Resultat der Wirkbilanz handelt es sich um eine Zusammenstellung von verschiedenen Indikatoren, welche jeweils einen Aspekt der Umweltauswirkungen beschreiben. Von all diesen Indikatoren wird einzig das Treibhauspotential (CO<sub>2</sub>-Fussabdruck) nach IPCC 2013, GWP 100a (IPCC, 2013) einzeln ausgewiesen aufgrund seiner Relevanz. Um eine fundierte Entscheidungsbasis zu erhalten, können die verschiedenen Auswirkungen gewichtet und zu einer Kennzahl zusammengefasst werden. Die Gewichtung verschiedener Umweltauswirkungen ist ein Prozess, in welchen Werthaltungen einfließen und welcher deshalb für eine hohe Akzeptanz möglichst breit abgestützt wird.

Im Rahmen dieser Studie wurde die Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013) verwendet. Die Bewertung mittels der Methode der ökologischen Knappheit wurde unter Mitarbeit des Bundesamts für Umwelt entwickelt und ist in der Schweiz etabliert. Diese Methode wurde gewählt, weil sie für die Bewertung sowohl die Umweltsituation als auch die Umweltziele der Schweiz berücksichtigt (vgl. Abbildung 3) und somit bezüglich Werthaltung breit abgestützt ist. Betreffend der Verwendung der gesamttaggregierenden Methoden weicht die vorliegende Studie von der ISO Norm 14'040 ab<sup>1</sup> (ISO 14040, 2006).

Obwohl diese Methode die Werthaltung der schweizerischen Umweltpolitik widerspiegelt, hat sie auch international eine hohe Akzeptanz. Die Resultate werden in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt.

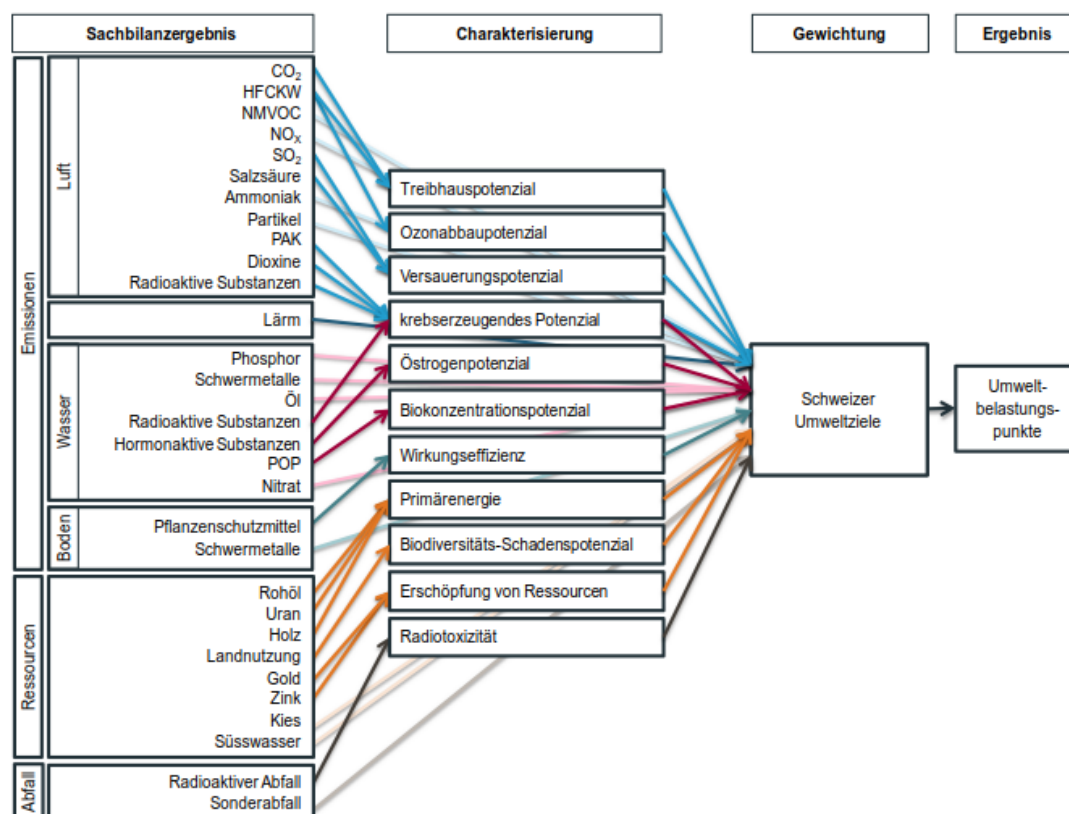


Abbildung 3: Grundschema der Methode der ökologischen Knappheit (Grafik aus Frischknecht & Büsser Knöpfel, 2013)

<sup>1</sup> Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamttaggregierenden Methoden teilweise abgelehnt. Dabei ist zu beachten, dass auch eine Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z. B. nur der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck betrachtet wird, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit Null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z. B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und zur Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamttaggregierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich, sondern notwendig (Kägi u. a., 2016), um die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

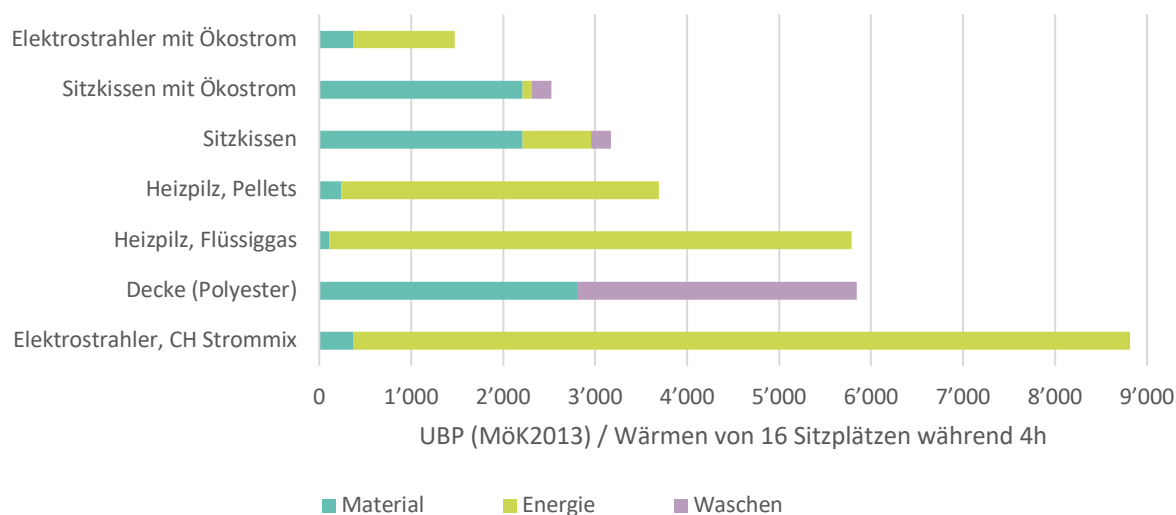
## 3 Resultate und Diskussion

### 3.1 Vergleich Heizvarianten

#### Umweltfussabdruck

Der Elektrostrahler betrieben mit Ökostrom weist den tiefsten Umweltfussabdruck auf. Der Grund für das gute Abschneiden ist die tiefe Umweltbelastung des verwendeten zertifizierten Ökostroms. Die Herstellung des Elektrostrahlers ist im Vergleich zum Strombedarf wenig relevant (Abbildung 4).

An zweiter Stelle folgt das Sitzkissen mit Ökostrom. Beim Sitzkissen sind vor allem die Herstellung des Kissens und des benötigten Akkus von Relevanz, wobei das Kissen rund 2/3 und der Akku 1/3 zur Umweltbelastung beitragen. Der Strombedarf ist im Falle von Ökostrom wenig relevant. Falls der Schweizer Verbraucherstrommix verwendet wird, erhöht sich der Umweltfussabdruck um rund ein Viertel. Das zweiwöchig anfallende Waschen trägt ebenfalls eher wenig zum Umweltfussabdruck bei.



**Abbildung 4: Vergleich des Umweltfussabdrucks für das Wärmen von 16 Sitzplätzen im Aussenbereich während 4 Stunden mit verschiedenen Heizkörpern und einer Decke**

Einen ähnlich hohen Umweltfussabdruck wie das Sitzkissen generiert der mit Pellets betriebene Heizpilz. Beim Pellets-Heizpilz wird der Umweltfussabdruck von Verbrennungsemissionen wie Partikeln, Stickoxiden, Dioxin und Cadmium dominiert. Die Herstellung des Heizpilzes ist wenig relevant.

Nochmals einen grösseren Umweltfussabdruck als die oben beschriebenen Varianten generiert der mit Flüssiggas betriebene Heizpilz. Der Umweltfussabdruck wird von den direkten Verbrennungsemissionen (v.a. CO<sub>2</sub>) und der Herstellung und Bereitstellung des Flüssiggases dominiert. Die Herstellung des Heizpilzes selber ist im Vergleich dazu vernachlässigbar.

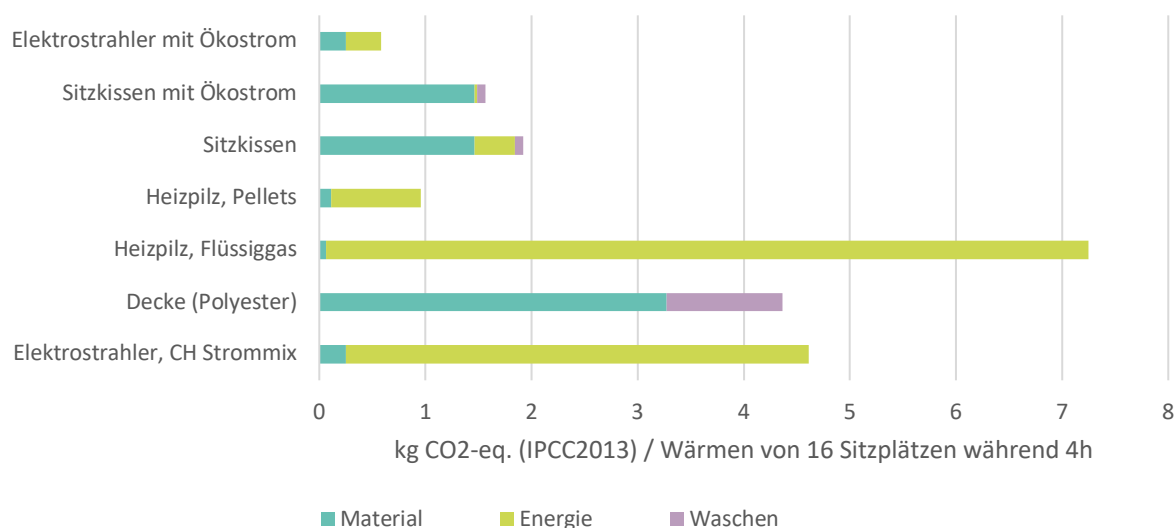
Die Decke weist einen ähnlich grossen Fussabdruck wie der Flüssiggas-Heizpilz auf. Hier wird der Umweltfussabdruck davon dominiert, dass die Decke nach jedem Gast gewaschen werden muss aufgrund des Corona Schutzkonzepts. Unter Annahme von zwei Gästen pro Abend und Sitzplatz benötigt es für 16 Sitzplätze jeden Abend 32 Decken, die gewaschen werden müssen. Bei einer angenommenen Lebensdauer von 100 Waschgängen zieht dies einen hohen Materialverbrauch pro Nutzung nach sich. Der Umweltfussabdruck reduziert sich massiv, wenn die Decken nur einmal pro Woche gewaschen werden (siehe dazu Kap. 3.2).

Den grössten Umweltfussabdruck weist der Elektrostrahler mit Schweizer Verbraucherstrommix auf. Hier zeigt sich die Relevanz der Zusammensetzung des Schweizer Verbraucherstrommix, der nebst Wasserkraft einen grossen Anteil an Atomkraft und Importstrom aufweist. Beim Importstrom handelt es sich um nicht überprüfbare Energieträger, für die gemäss Erhebung der Association of Issuing Bodies (AIB) ein von fossilen und nuklearen Technologien dominierter Strommix angenommen wurde.

### CO<sub>2</sub>-Fussabdruck (Treibhauspotential)

Beim CO<sub>2</sub>-Fussabdruck schneidet ebenfalls der Elektrostrahler mit Ökostrom am besten ab, wobei die Herstellung des Elektrostrahlers in etwa gleich viel beiträgt wie der Bedarf an Ökostrom (Abbildung 5). An zweiter Stelle beim CO<sub>2</sub>-Fussabdruck folgt der mit Pellets betriebene Heizpilz, welcher besser abschneidet als das Sitzkissen. Der Grund für das bessere Abschneiden des Pellets-Heizpilzes beim CO<sub>2</sub>-Fussabdruck im Vergleich zum Umweltfussabdruck liegt darin, dass der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck die meisten für den Umweltfussabdruck relevanten Verbrennungsemissionen nicht berücksichtigt und beim Pellets-Heizpilz die CO<sub>2</sub>-Emissionen biogener Natur sind.

Die Decken weisen zusammen mit dem Elektrostrahler mit Schweizer Verbrauchermix einen wesentlich höheren CO<sub>2</sub>-Fussabdruck auf als die oben genannten Varianten. Der Flüssiggas-Heizpilz ist klar die Variante mit dem grössten CO<sub>2</sub>-Fussabdruck.



**Abbildung 5: Vergleich des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks für das Wärmen von 16 Sitzplätzen im Aussenbereich während 4 Stunden mit verschiedenen Heizkörpern und einer Decke**

Es wird dieselbe Reihenfolge dargestellt wie beim Umweltfussabdruck. Damit wird gut ersichtlich, welche Varianten beim CO<sub>2</sub>-Fussabdruck im Vergleich zum Umweltfussabdruck abweichen

## 3.2 Sensitivitätsbetrachtungen

Die Sensitivitätsbetrachtung zum Ökostrom wurde aufgrund ihrer Relevanz bereits im Kapitel 3.1 dargestellt. Die anderen Sensitivitätsbetrachtungen werden hier behandelt (Abbildung 6 und 7).

Wird die Decke nur einmal pro Woche gewaschen und nicht nach jedem Gast gewechselt (wie das vor Covid-19 der Fall gewesen wäre), reduziert sich der Umweltfussabdruck um rund 90%. Die Decke schneidet nun bezüglich Umweltfussabdruck sogar besser ab als der Elektrostrahler mit Ökostrom und aus Sicht des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks in etwa ähnlich.

Eine Verlängerung der Lebensdauer beim Sitzkissen (und Akku) auf insgesamt 3 Jahre bewirkt eine Reduktion der Umweltbelastung um rund 30% im Vergleich zum Sitzkissen mit 2 Jahren Lebensdauer. Das Sitzkissen schneidet nun bezüglich Umweltfussabdruck ähnlich gut ab wie der Elektrostrahler mit Ökostrom, jedoch aus Sicht des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks immer noch schlechter.

Bei einer Auslastung der Sitzplätze von 50 % statt 100 % verändert sich bei den Heizpilzen und Elektrostrahlern das Resultat nicht, da genau gleich viel geheizt wird. Bei den Sitzkissen werden nur die Hälfte der Sitzkissen benötigt und somit nur halb so viel Strom verbraucht (die Sitzkissen haben eine integrierte Start-Stopp Automatik). Auf die Lebensdauer und die Anzahl der Waschgänge hat die 50 % Auslastung keinen Einfluss (es wird davon ausgegangen, dass die Kissen trotzdem nach 2 Jahren witterungs- und nutzungsbedingt an ihr Lebensende gelangen).

Bei den Decken werden nur halb so viele Decken benötigt, was den Umwelt- und CO<sub>2</sub>-Fussabdruck gerade halbiert. Bezüglich Umweltfussabdruck schneiden die Decken dann ähnlich gut ab wie die Sitzkissen mit Schweizer Verbraucherstrommix. Aus Sicht des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks schneiden die Decken in etwa gleich ab wie die Sitzkissen mit Schweizer Verbraucherstrommix, jedoch wesentlich schlechter als der Pellets-Heizpilz.

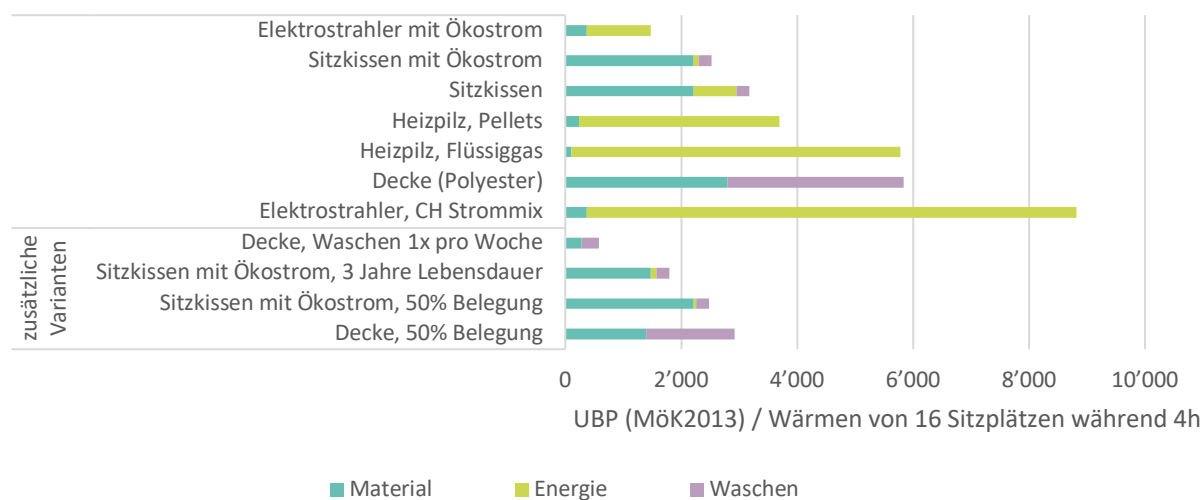
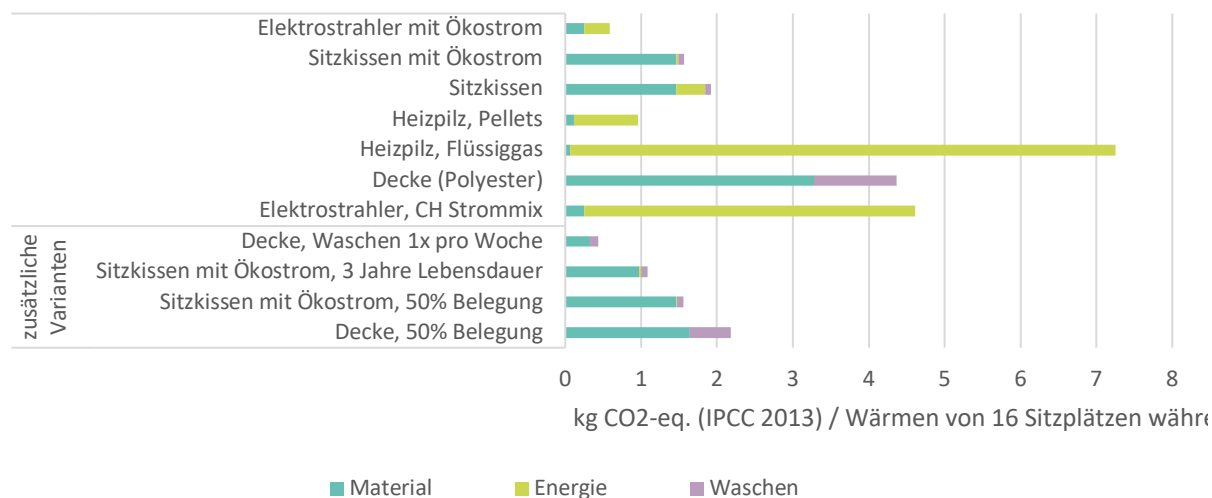


Abbildung 6: Vergleich des Umweltfussabdrucks zusätzlicher Varianten für das Wärmen von 16 Sitzplätzen während 4 Stunden



**Abbildung 7: Vergleich des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks zusätzlicher Varianten für das Wärmen von 16 Sitzplätzen während 4 Stunden**  
 Es wird dieselbe Reihenfolge dargestellt wie beim Umweltfussabdruck. Damit wird gut ersichtlich, welche Varianten beim CO<sub>2</sub>-Fussabdruck im Vergleich zum Umweltfussabdruck abweichen

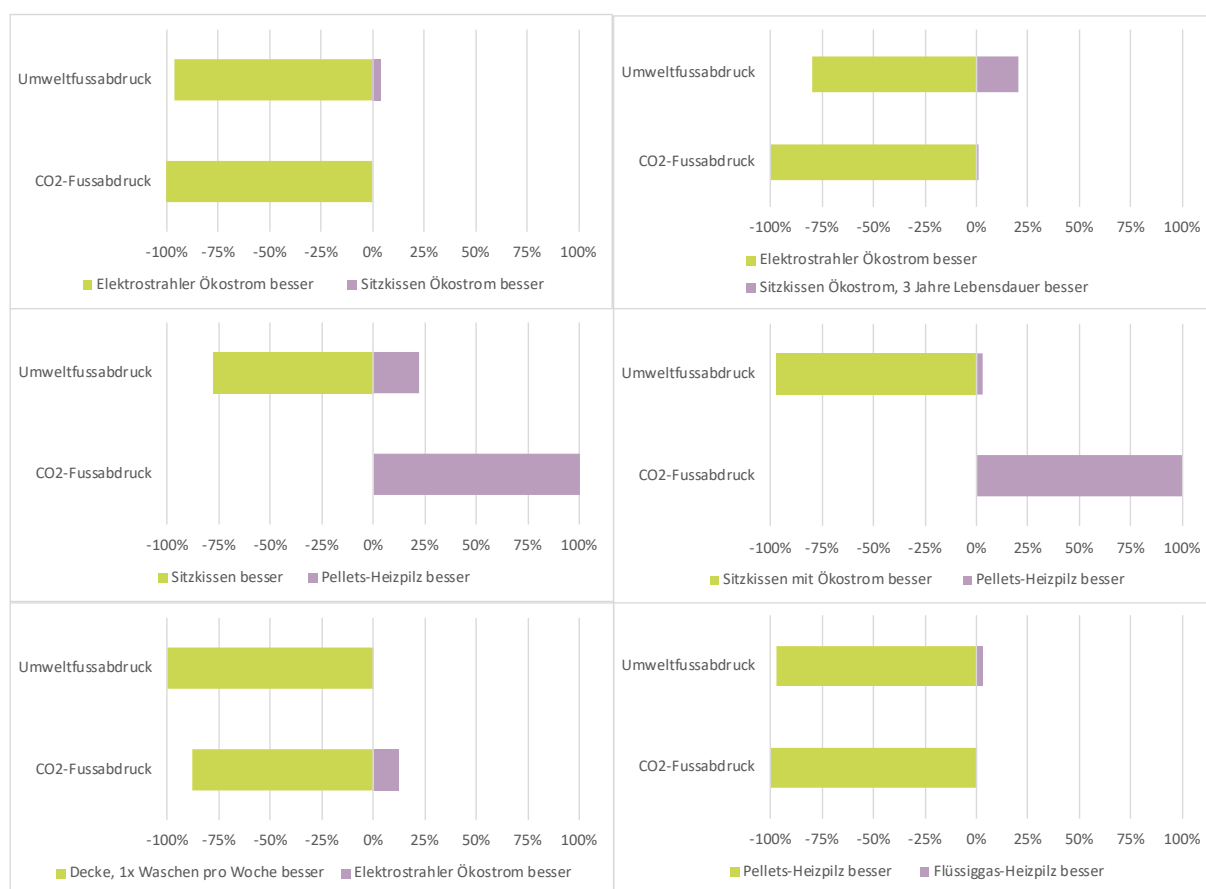
### 3.3 Unsicherheitsanalyse

Mittels Monte Carlo Analyse wurde für ausgewählte Vergleiche betrachtet, inwiefern Unterschiede in den Resultaten wirklich signifikant sind (Abbildung 8). Die Unsicherheitsanalyse zeigt, dass die Unterschiede zwischen dem Elektrostrahler mit Ökostrom und dem Sitzkissen mit Ökostrom zugunsten des Elektrostrahlers liegen. Das Resultat ist aus Umweltsicht nicht ganz so deutlich, wenn beim Sitzkissen 3 Jahre Lebensdauer angenommen werden. Das Sitzkissen mit Schweizer Verbraucherstrommix wiederum schneidet aus Umweltsicht nicht signifikant besser ab als der Pellets-Heizpilz. Beim CO<sub>2</sub>-Fussabdruck verhält es anders und der Pellets-Heizpilz schneidet besser ab als das Sitzkissen. Die Unsicherheitsanalyse zeigt weiter, dass der Flüssiggas-Heizpilz einen signifikant höheren Umweltfussabdruck und einen signifikant höheren CO<sub>2</sub>-Fussabdruck aufweist als der Pellets-Heizpilz. Die Decke, falls sie nur ein Mal pro Woche gewaschen wird, schneidet signifikant besser ab als der Elektrostrahler mit Ökostrom.

Aus der Unsicherheitsanalyse resultiert folgende Rangfolge:

1. Decke, falls nur 1x pro Woche gewaschen
2. Elektrostrahler mit Ökostrom
3. Sitzkissen, mit Ökostrom (und mit verlängerter Lebensdauer)
4. Sitzkissen mit Schweizer Strommix und Pellets-Heizpilz (Zu beachten ist hier, dass aus Sicht des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks die Rangfolge zwischen Sitzkissen und Pellets-Heizpilz zu Gunsten des Pellets-Heizpilz ist.)
5. Schlechter als alle oben genannten Varianten schneiden in jedem Fall ab: Flüssiggas-Heizpilz, Elektrostrahler mit Schweizer Verbraucherstrommix und Decke, falls sie nach jedem Gast gewaschen wird.

Für die restlichen Varianten wurde keine zusätzliche Unsicherheitsanalyse durchgeführt. Es ist anzunehmen, dass die Decke mit 50 % Belegung im selben Rang liegt wie das Sitzkissen. Beim Sitzkissen hat die 50 % Belegung einen minimalen Einfluss, so dass dies keine Rangveränderung ergibt.



**Abbildung 8: Unsicherheitsanalyse mit Monte Carlo Simulation mit 1000 Durchgängen. Der grüne bzw. violette Balken zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass die entsprechende Variante einen tieferen Umwelt- bzw. CO<sub>2</sub>-Fussabdruck verursacht.**



## 4 Grenzen der Studie

Die Resultate sind nicht ohne weiteres auf andere Regionen übertragbar, in denen es viel kälter ist oder die einen anderen Strommix aufweisen.

Sie sind auch nur gültig für die getroffene Annahme, dass 16 Sitzplätze gewärmt werden: Je vier Sitzplätze an vier Tischen, in deren Mitte ein Heizpilz steht oder über je zwei Tischen jeweils ein Elektrostrahler installiert ist.

In dieser Studie wurde nicht berücksichtigt, dass gerade bei Heizpilzen auch leistungsfähigere Modelle auf dem Markt sind. Würde für 16 Sitzplätze nicht ein 6kW sondern ein 14kW Heizpilzmodell verwendet, käme der Umweltfussabdruck mindestens doppelt so hoch zu liegen und wäre dann wesentlich höher im Vergleich zu den anderen ökologischen Varianten.

Beim Elektrostrahler steht und fällt das Resultat mit dem eingesetzten Strommix. Der tiefe Umweltfussabdruck wird nur erreicht, wenn wirklich zertifizierter Ökostrom verwendet wird. Günstige Wasserstromzertifikate, bei denen eine Doppelzählung nicht ausgeschlossen werden kann und die nicht zu einem minimalen Zubau an erneuerbarer Energie beitragen, sind zu vermeiden.

Der Wärmeeffekt der Sitzkissen ist nicht wirklich vergleichbar mit dem Wärmeeffekt der Heizstrahler. Der Gast wird zwar am Gesäss und am Rücken gewärmt, jedoch bleiben die Extremitäten und die Bauchseite sowie der Kopf ungewärmt. Das Wärmegefühl ist somit definitiv nicht dasselbe wie bei den Heizstrahlern. Diese ungleiche Wärmefunktion wurde in dieser Studie vernachlässigt.

Die Studie betrachtet nur die ökologischen Auswirkungen und sagt nichts über soziale oder ökonomische Auswirkungen aus.

## 5 Fazit und Empfehlungen

Wenn im Aussenbereich von Gastronomiebetrieben geheizt werden soll, dann mit Elektrostrahlern, die mit zertifiziertem Ökostrom betrieben sind, oder mit Sitzkissen. Aus Sicht des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks zwar sinnvoll, aus Sicht des Umweltfussabdrucks jedoch weniger überzeugend, ist das Wärmen mit Pellets-Heizpilzen. Nicht empfohlen wird das Wärmen mit Flüssiggas-Heizpilzen, mit Elektrostrahlern, die mit Schweizer Verbraucherstrommix betrieben sind, oder der Einsatz von Decken, solange diese nach jedem Gast gewechselt und gewaschen werden müssen. Sollte es möglich sein, die Decken nur einmal pro Woche auszutauschen und zu waschen, wäre dies jedoch die ökologischste Option.

## 6 Literatur

- ecoinvent. (2018). *ecoinvent 2018: Version 3.5*. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- FOEN. (2020). *Switzerland's Informative Inventory Report (IIR)* (S. 374). Bern: Federal Office for the environment FOEN.
- Frischknecht, R., & Büsler Knöpfel, S. (2013). *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (No. 1330) (S. 256). Bern: Bundesamt für Umwelt.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013 the Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, u. a., Hrsg.). New York: Cambridge University Press.
- ISO 14040. (2006). *Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines*. Geneva.
- Kägi, T., Dinkel, F., Frischknecht, R., Humbert, S., Lindberg, J., De Mester, S., u. a. (2016). Session “Midpoint, endpoint or single score for decision-making?”—SETAC Europe 25th Annual Meeting, May 5th, 2015. Conference Session Report. *Int J Life Cycle Assess*, 21(1), 129–132. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0998-0>
- Pesnel, S., & Payet, J. (2019). Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) T-shirts, 130. PRé Consultants. (2018). SimaPro 8.5 (Version 8.5.0). PRé Consultants.