



# FRONIUS GEN24 PLUS – NACHHALTIGE TECHNOLOGIE FÜR EINE GRÜNE ZUKUNFT LEBENSZYKLUSANALYSE (LCA)

DI Mag. Harald Pilz

**to4to**  
together for tomorrow

 **Fraunhofer**  
IZM

© Fronius International GmbH

Version 05 05/2021

Business Unit Solar Energy / System Technology

Research & Development Technologies

Fronius behält sich alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vor. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung von Fronius reproduziert oder unter Verwendung elektrischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Es wird darauf hingewiesen, dass alle Angaben in diesem Dokument trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Autors oder von Fronius ausgeschlossen ist. Geschlechterspezifische Formulierungen beziehen sich gleichermaßen auf die weibliche und männliche Form.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Einleitung: DIE NACHHALTIGE VISION</b> .....	<b>4</b>
1.1	Zielsetzung.....	4
1.2	Definition einer Lebenszyklusanalyse.....	5
1.2.1	Was ist eine Lebenszyklusanalyse? .....	5
1.2.2	Warum ist eine LCA sinnvoll? .....	5
1.2.3	Die Ökobilanz im europäischen Kontext.....	6
<b>2</b>	<b>LCA: DIE SAMMLUNG RELEVANTER DATEN</b> .....	<b>7</b>
2.1	LCA für die GEN24 Plus .....	7
2.2	Produktion .....	8
2.3	Nutzungsphase .....	9
2.4	End-of-Life Phase .....	9
<b>3</b>	<b>LCA: DIE UMWELTLEISTUNGEN DES GEN24 PLUS</b> .....	<b>10</b>
3.1	Der CO <sub>2</sub> -Fußabdruck des GEN24 Plus.....	10
3.2	Vorteile des GEN24 Plus .....	15
<b>4</b>	<b>FAZIT: LEARNINGS AUS DER LCA</b> .....	<b>16</b>
4.1	Verwendung und Qualität der LCA .....	16
4.2	Die nächsten Schritte nach vorn: Auf dem Weg zur Nachhaltigkeit! .....	17

# 1 EINLEITUNG: DIE NACHHALTIGE VISION

Seit Jahrzehnten ist die globale Erwärmung eine der größten Herausforderungen für die menschliche Gesellschaft. Die Folgen des Klimawandels sind verstärkte Naturkatastrophen, Klimaflüchtlinge, Luftverschmutzungsproblemen und vieles mehr. Doch nicht nur das: Auch andere große Probleme sind mit den Umweltschäden verbunden, wie etwa der Verlust der biologischen Vielfalt, die Krise der natürlichen Ressourcen, die Zunahme von Gesundheitskatastrophen usw. Diese Bedrohungen stellen das Gleichgewicht unserer Gesellschaften in Frage und gefährden die Zukunft der Menschheit. Viele Berichte, die fortwährend veröffentlicht werden, beschreiben die Wahrscheinlichkeit bzw. Wahrnehmung solcher Bedrohungen für die menschliche Gesellschaft, wie zum Beispiel Analysen des IPCC<sup>1</sup> oder des Weltwirtschaftsforums<sup>2</sup>.

Daher ist es dringend notwendig, diesen massiven Bedrohungen entgegenzutreten. In den letzten Jahren wurden viele Maßnahmen getroffen um den ökologischen Fußabdruck unserer Gesellschaft, Produkte und Dienstleistungen so weit wie möglich zu reduzieren. Typischerweise sollten Produkte und Dienstleistungen nicht mehr dem linearen Weg "take-make-waste" folgen, sondern ein zirkuläres Design haben, wie es zum Beispiel im Sustainable Development Goal 12 der Vereinten Nationen verankert ist: "Verantwortungsvoller Konsum und Produktion". Darüber hinaus kann der rein finanzielle Nutzen nicht mehr das einzige Kriterium sein, sondern es sollten auch Nachhaltigkeitsfaktoren berücksichtigt werden.

Um die verheerenden Auswirkungen des Klimawandels zu begrenzen, haben einige wichtige politische Institutionen Normen, Gesetze sowie Strategien implementiert. Um diese Entwicklung zu begleiten und auch um die eigene Verantwortung wahrzunehmen, hat Fronius das Thema Nachhaltigkeit als einen seiner Kernwerte identifiziert. Die Fronius Vision mit dem Namen "24 Stunden Sonne" beschreibt eine Zukunft, in der 100 % des weltweiten Energiebedarfs durch erneuerbare Quellen gedeckt wird. Um 24 Stunden Sonne zu verwirklichen, setzt sich Fronius für die Entwicklung nachhaltiger und optimal gestalteter Produkte unter Berücksichtigung aller Lebenszyklusphasen ein. Um dies zu erreichen und zukünftige bewusste Entscheidungen zu ermöglichen, ist ein wissenschaftliches und faktenbasiertes Verständnis der Nachhaltigkeitsleistungen von Produkten notwendig. Eine Lebenszyklusanalyse (LCA) oder Ökobilanz ist eine der gebräuchlichsten und international standardisierten wissenschaftlichen Methoden, um die Umwelteinflüsse eines Produktes über seine gesamte Lebensdauer zu analysieren. Im Jahr 2020 ist mit der Fertigstellung der ersten Fronius Ökobilanz für eine der Produktfamilien, den Fronius GEN24 Plus, ein neuer bedeutender Schritt gelungen.

## 1.1 Zielsetzung

Ziel dieses White Papers ist es, das Konzept der Lebenszyklusanalyse, ihre Anwendung auf die Produktfamilie Fronius GEN24 Plus und die wichtigsten Ergebnisse sowie Interpretationen dazu vorzustellen. Das Paper soll

---

<sup>1</sup> Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen <https://www.ipcc.ch/reports/> (abgerufen am 19/04/2021)

<sup>2</sup> "The Global Risks Report" (2021): [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_Global\\_Risks\\_Report\\_2021.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf) (abgerufen am 19/04/2021)

einen Überblick über die wichtigsten LCA-Ergebnisse bieten, ohne in alle Berechnungen und Details einzutauchen.

## 1.2 Definition einer Lebenszyklusanalyse

In den folgenden Abschnitten wird die Lebenszyklusanalyse bzw. Ökobilanz definiert und die Interessen, die sich daraus ableiten sowie ihre Entwicklung und Anwendung im europäischen Kontext dargestellt.

### 1.2.1 Was ist eine Lebenszyklusanalyse?

Eine Lebenszyklusanalyse (LCA) oder Ökobilanz ist eine wissenschaftliche Methodik, die seit den 1990er Jahren entwickelt wird, um Umweltanalysen durchzuführen. Die Methode zielt darauf ab, die ökologischen Auswirkungen aller Inputs und Outputs (Material, Energie, Emissionen, Ressourcen...) eines Produkts (oder einer Dienstleistung) während seiner gesamten Lebensdauer abzubilden und damit ein umfassendes Bild der Umweltleistung eines Produkts zu liefern. Zwei ISO-Normen (14040 und 14044) unterstützen die Struktur, Gültigkeit und Konsistenz der Rahmenbedingungen einer LCA. Um eine vollständige Lebenszyklus-Perspektive zu gewährleisten, haben Fronius und sein LCA-Partner Harald Pilz von to4to<sup>3</sup> ("Together for tomorrow") einen "Cradle-to-Grave"-Ansatz in der Ökobilanz gewählt, der alle Phasen von der Beschaffung über die Produktion und Nutzung bis zum End-Of-Life (EoL) einschließlich des Transports berücksichtigt (wie in Abbildung 1 dargestellt). Um die Qualität der Fronius Ökobilanz weiter zu steigern und zu verifizieren, wurde in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des Fraunhofer IZM<sup>4</sup>, einer der weltweit renommiertesten Institutionen für die Nachhaltigkeit von Elektronikprodukten, ein LCA-Review durchgeführt. Als Ergebnis liefert diese LCA eine ganzheitliche, detaillierte und geprüfte Analyse des ökologischen Fußabdrucks des Produkts.

### 1.2.2 Warum ist eine LCA sinnvoll?

Die erhaltenen LCA-Ergebnisse ermöglichen es, ein tiefes Verständnis und Wissen über die Umweltleistungen des Produkts und dessen mögliche Grenzen zu erlangen.

Der Bedarf an umweltrelevanten Produktdaten nimmt weiter zu:

- / Da Fronius bestrebt ist, die Nachhaltigkeitsleistungen seiner bestehenden und zukünftigen Produkte noch weiter zu verbessern, besteht die Notwendigkeit, diese Entwicklung wissenschaftlich zu belegen, zu überwachen und zu verstehen. Ökobilanzen sind eine der wenigen standardisierten und konsistenten Methoden zur Modellierung von Umweltauswirkungen. Auf Basis dieser evidenzbasierten Analyse kann Fronius eine aktive Rolle bei der Umsetzung von "24 Stunden Sonne" spielen. So können nachhaltigere und effizientere Lösungen entwickelt werden, von denen nicht nur die Kunden, sondern auch die Umwelt profitieren.

Deshalb hat Fronius das Programm "Sustainability by Design" gestartet, um diese Maßnahmen zu beschleunigen. Ein erster Schritt war diese LCA.

---

<sup>3</sup> To4to - <https://www.to4to.at/>

<sup>4</sup> Website: <https://www.izm.fraunhofer.de/> (abgerufen am 19/04/2021)

Ein zunehmendes Bewusstsein und eine steigende Nachfrage nach evidenzbasierten nachhaltigen Lösungen lassen sich auch in verschiedenen Anforderungen des PV-Marktes beobachten:

- / Die Europäische Kommission hat Umweltrichtlinien für Produkte entwickelt und versucht, diese zu fördern, die auf Lebenszyklusanalysen basieren (die sogenannte PEFCR: "Product Environmental Footprint Category Rule"<sup>5</sup>).
- / Neuere PV-Ausschreibungen legen den Schwerpunkt auf Produkte mit niedrigem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Zum Beispiel hat CRE in Frankreich für 2021 eine neue PV-Ausschreibung (700 MW) gestartet, die Module mit geringen Umweltauswirkungen fordert<sup>6</sup>.
- / Es werden mehr und mehr jene Nachhaltigkeitsdatenbanken genutzt, in denen Produkte mit umweltfreundlichen Leistungen gefördert werden. Upcyclea<sup>7</sup> in Frankreich oder Byggvarubedomningen<sup>8</sup> in Schweden sind einige Beispiele.

Eine LCA mit einer soliden wissenschaftlichen Analyse und einem externen LCA-Review wird die Vision von "24 Stunden Sonne" untermauern und Fronius bei bewussten Entscheidungen im Entwicklungsprozess unterstützen.

### 1.2.3 Die Ökobilanz im europäischen Kontext

Fronius engagiert sich auch im globalen Kontext mit zunehmender Aufmerksamkeit und Bewusstsein für den ökologischen Fußabdruck von Energiesystemen. Auf europäischer Ebene enthalten bereits mehrere Dokumente Richtlinien für Umweltbewertungen, die unter anderem auf dem LCA-Ansatz basieren. Andere europäische Initiativen unterstreichen die Notwendigkeit, eine nachhaltige Zukunft aufzubauen und eine effiziente Energiewende zu betreiben:

- / Der EU Green Deal<sup>9</sup>, veröffentlicht im Jahr 2019, legt das ehrgeizige Ziel fest, dass Europa im Jahr 2050 klimaneutral sein soll.
- / Die Ökodesign- und Energielabel-Programme<sup>10</sup>, die die Europäische Kommission bis 2023-2024 umsetzen will: Diese Labels fördern umweltfreundliche Produkte. Weiters verbieten sie den Verkauf von Geräten am EU-Markt, die die Mindestanforderungen nicht erfüllt.
- / Die kommende Gesetzgebung wird auch die Umsetzung effizienter und nachhaltiger Energiesysteme begünstigen, wie z. B. die Richtlinie für erneuerbare Energien II (REDII)<sup>11</sup> oder die EU-Taxonomie für die EU-Verordnung 2020/852 ("Rahmen zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen")<sup>12</sup>.

---

<sup>5</sup> Quelle: [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/PEFCR\\_OEFSR\\_en.htm#final](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/PEFCR_OEFSR_en.htm#final) (abgerufen am 12/04/2021)

<sup>6</sup> Quelle: <https://www.pv-magazine.com/2021/02/19/france-launches-700-mw-tender-for-large-scale-pv/> (abgerufen am 19/04/2021)

<sup>7</sup> Quelle: <https://www.upcyclea.com/> (abgerufen am 09/04/2021)

<sup>8</sup> Quelle: <https://byggvarubedomningen.se/> (abgerufen am 09/04/2021)

<sup>9</sup> Quelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (abgerufen am 09/04/2021)

<sup>10</sup> Für weitere Informationn über den laufenden Prozess: <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau//product-groups/462/documents> (abgerufen am 09/04/2021)

<sup>11</sup> Quelle: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L\\_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC) (abgerufen am 09/04/2021)

<sup>12</sup> Quelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32020R0852> (abgerufen am 09/04/2021)

## 2 LCA: DIE SAMMLUNG RELEVANTER DATEN

Um eine Ökobilanz durchzuführen, ist ein Schlüsselement die Sammlung relevanter Daten über das untersuchte Produkt. Das folgende Kapitel beschreibt die verschiedenen Lebenszyklusphasen und die Aspekte, die berücksichtigt werden.

### 2.1 LCA für die GEN24 Plus

Um die Vision "24 Stunden Sonne" zu unterstützen, muss die Fronius Produktfamilie GEN24 Plus ihre Umweltleistungen und -vorteile unter Beweis stellen.

In diesem Zusammenhang und basierend auf den ISO-Normen für LCA (ISO 14040/44) wurden 3 Hauptlebenszyklusphasen gebildet und gründlich analysiert, wie in Abbildung 1 zu sehen ist:

- / Die Produktionsphase (einschließlich der Beschaffung von Rohstoffen)
- / Die Nutzungsphase
- / Die End-of-Life (EoL)-Phase

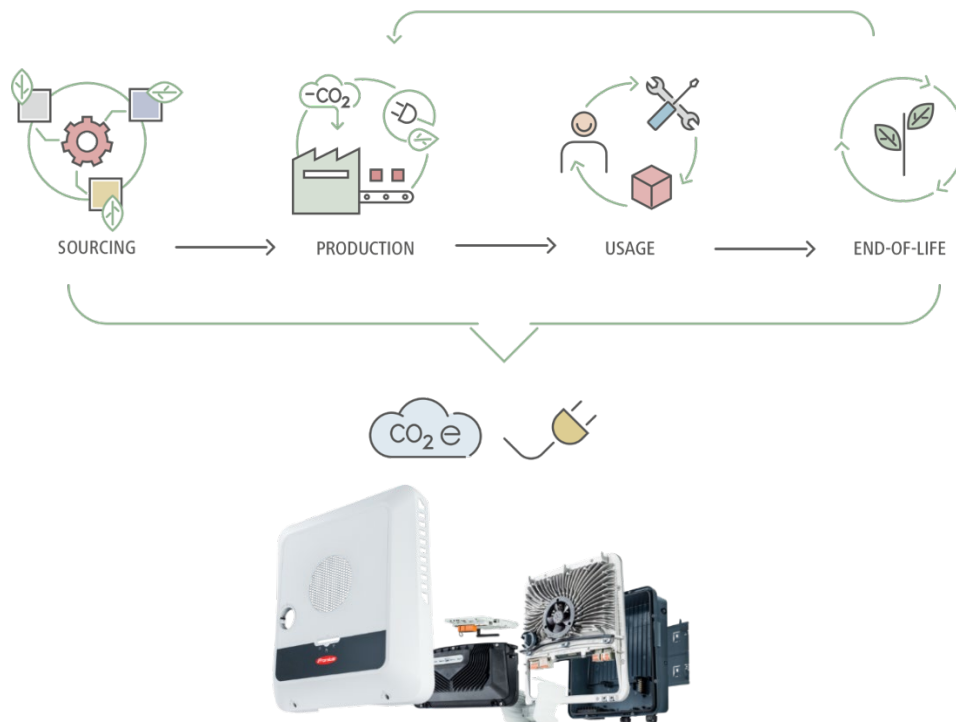


Abbildung 1: Der GEN24 Plus und die damit verbundenen verschiedenen Lebenszyklusphasen

Die Umweltwirkungskategorien wurden auf Grundlage der ILCD-Methodik (ILCD, 2018<sup>13</sup>) gebildet, wie z. B.:

- / Das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP), das den Treibhausgas-Erwärmungseffekt abbildet der von einem Produkt während seiner gesamten Lebensdauer ausgeht (in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent).
- / Der kumulative Energiebedarf (CED), der den direkten und indirekten Energiebedarf während des gesamten Lebenszyklus des Produkts misst (in MJ-Äquivalenten)

<sup>13</sup> Quelle: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/index.html#menu1> (abgerufen am 20/04/2021)

Die Umweltwirkungen eines Produkts beschränken sich nicht nur auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen oder den Energiebedarf, sondern beziehen sich auch auf andere Kategorien. Um eine ganzheitliche und vollständige Betrachtung zu ermöglichen, wurden in der von Fronius durchgeführten Ökobilanz unter anderem auch der Ressourcenverbrauch von Metallen, die Humantoxizität und die Feinstaubemissionen berücksichtigt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird sich der Beitrag in den folgenden Kapiteln jedoch auf die beiden häufigsten und wichtigsten Kategorien konzentrieren: das Treibhauspotenzial und den kumulativen Energiebedarf. Die in der Ökobilanz verwendete Datenbank für Hintergrundprozesse (Sekundärdaten) ist „ecoinvent“ (Version 3.7.1, 2020<sup>14</sup>), eine der weltweit vollständigsten und gängigsten LCI (Life Cycle Inventory)-Datenbanken.

## 2.2 Produktion



Die Produktionsphase berücksichtigt alle relevanten Prozesse von der Rohstoffgewinnung über die Veredelung und Aufbereitung, die Komponentenproduktion bis hin zur Produktion des GEN24 Plus an den Fronius Produktionsstandorten. Mehrere Datensätze wurden nach Bedarf aus der ecoinvent-Datenbank extrahiert. Die Produktion des GEN24 Plus in den Fronius Produktionsstandorten wurde auf Basis von Primärdaten abgebildet, wobei z.B. der Stromverbrauch in der Produktionslinie, der Bedarf an Lötpaste, das potentielle Abfallaufkommen und -management sowie der Einsatz von Verpackungen berücksichtigt wurden. Insgesamt wurden für die folgenden Gerätetypen LCA-Modelle entwickelt:

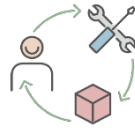
- / Primo GEN24 Plus 3,0 und 6,0 kW
- / Symo GEN24 Plus 5,0 und 10,0 kW

---

<sup>14</sup> Quelle: <https://www.ecoinvent.org/> (abgerufen am 20/04/2021)



## 2.3 Nutzungsphase



Im zweiten Schritt berücksichtigt die Nutzungsphase die Zeit, in der der GEN24 Plus in einer PV-Anlage im Einsatz ist und eventuell repariert wird. Sie berücksichtigt daher mehrere Faktoren, wie z. B.:

- / Die Lebensdauer des Wechselrichters, festgelegt auf einen standardisierten Wert von 20 Jahren.
- / Die Länder, in denen das System verwendet wird. Dieser Parameter beeinflusst die Stromerzeugungskapazität der PV-Anlage und die Transportwege für das Produkt. In der GEN24 Plus LCA gibt es 6 Länderszenarien: Australien, Österreich, Brasilien, Deutschland, Polen und USA (2 Unteroptionen, New York und Los Angeles).
- / Die Verluste des Wechselrichters: Hier wird ein Standardwert von 3 % (97 % Wirkungsgrad) festgelegt.
- / Die Reparaturprozesse wurden ebenfalls mit den folgenden Szenarien modelliert:
  - / Austausch des Lüfters oder der Datenkommunikationseinheit (sog. "Pilot") (beide vor Ort),
  - / Austausch von 4 Varistoren am Leistungsteil
  - / Austausch des kompletten Leistungsteils (beides im Fronius International Repair Center).

## 2.4 End-of-Life Phase



In der nächsten Phase (End-of-Life, EoL) wird analysiert in welcher Form das Produkt weiter verwendet oder recycelt werden kann.

Hierfür wurden fünf Hauptszenarien erstellt, um die möglichen EoL-Behandlungen darzustellen:

- / Deponierung
- / Müllverbrennung ohne Metallrecycling
- / Kombination aus Metallrecycling Fe+Al+Cu mit Müllverbrennung
- / Recycling ohne vorherige Demontage (von 5 Hauptkomponenten des GEN24 Plus)
- / Recycling mit vorheriger Demontage (von 5 Hauptkomponenten von GEN24 Plus)

Je nach gewählter Alternative variieren die Umweltauswirkungen bzw. der Nutzen. Zum Beispiel erzeugt die Deponierung mehr Umweltbelastungen als das Recycling mit Demontage (siehe Abschnitt 3.1).

### 3 LCA: DIE UMWELTLEISTUNGEN DES GEN24 PLUS

Nachdem nun alle relevanten Daten gesammelt wurden, werden in den nächsten Abschnitten die Umweltleistung und die LCA-Ergebnisse für den GEN24 Plus detaillierter beschrieben. Insbesondere werden einerseits die CO<sub>2</sub>-Bilanz im Detail dargestellt und andererseits die Vorteile des GEN24 Plus aufgezeigt.

#### 3.1 Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des GEN24 Plus

Natürlich kann ein Wechselrichter, im Gegensatz zu beispielsweise einem Baum, nicht buchstäblich CO<sub>2</sub> (oder andere schädliche Schadstoffe) aus der Atmosphäre ziehen. Allerdings trägt ein Wechselrichter (und eine PV-Anlage) dazu bei, viel weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen auszustoßen als die analysierte Alternative (Strom aus dem Netz). Durch diesen Vergleich (PV-Anlage vs. nationales Stromnetz) kann man abschätzen, wie viel CO<sub>2</sub>-Emissionen durch die Nutzung von Solarenergie vermieden werden.

In diesem Whitepaper wird ein spezifisches Szenario verwendet, um eine konkrete Vorstellung davon zu vermitteln, was man in diesem Zusammenhang aus einem LCA-Modell<sup>15</sup> herauslesen kann.

**Tabelle 1: Szenariobeschreibung**

Fronius Wechselrichter	Ort der Nutzung	Lebensdauer des Wechselrichters	End-of-life Strategie
Symo GEN24 10.0	Australien	20 Jahre	Recycling ohne Demontage

Zunächst einmal ist es bei einer Ökobilanz sinnvoll, die Ergebnisse im Blick zu behalten: Ein Wechselrichter ist nur ein Teil des PV-Systems. Daher wird im Folgenden eine Übersicht auf Ebene der PV-Anlage gegeben, um eine Vorstellung von den relativen Beiträgen der verschiedenen Teile einer PV-Anlage (Module, Wechselrichter usw.) zu vermitteln. Die Informationen zum CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der PV-Module wurden der LCA-Datenbank „ecoinvent“ entnommen, kombiniert mit Literaturrecherchen von Fronius. Daher gibt Abbildung 2 lediglich eine Größenordnung an, wobei zu beachten ist, dass die Anteile je nach Daten oder Szenarien leicht variieren können (ein paar Prozent).

---

<sup>15</sup> Aufgrund der Komplexität und der umfangreichen Ergebnisse (mehrere 1000 mögliche Variationen) konnte Fraunhofer IZM nicht alle Szenarios und Werte überprüfen. Im Fokus der Review standen die generelle Struktur und Methodik der LCA.

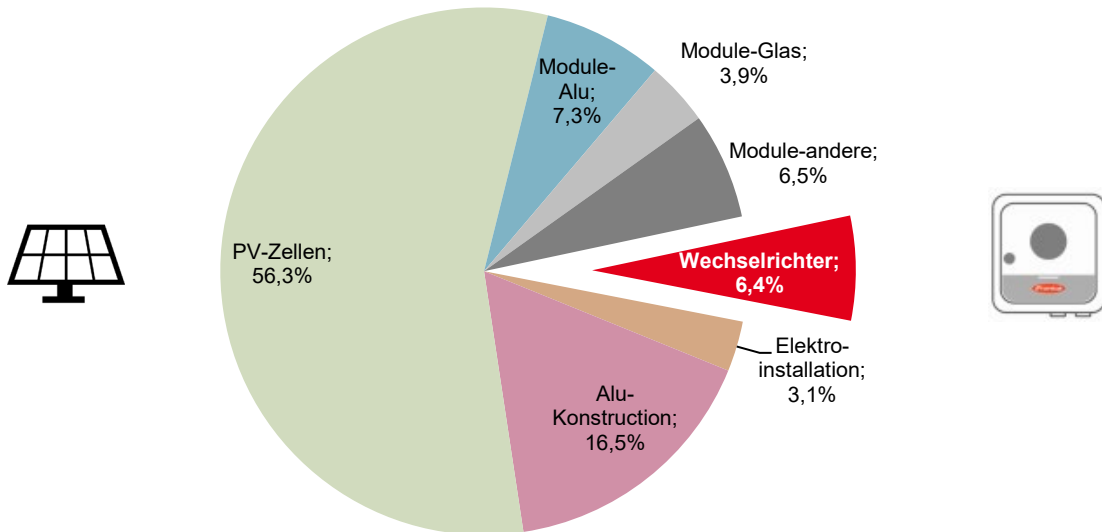


Abbildung 2: Relativer Beitrag des PV-Wechselrichters (australisches Szenario) und der PV-Module zur Klimabilanz

Im gewählten Szenario ist der Wechselrichter für 6,4 % der Umweltauswirkungen der gesamten PV-Anlage verantwortlich (dies kann je nach Szenario zwischen 6-8 % variieren). Somit werden 6,4 % des Umweltnutzens der gesamten PV-Anlage dem Wechselrichter zugerechnet.

In den folgenden Grafiken wird der Fokus auf den Wechselrichter gelegt, für welchen primäre und zuverlässige Daten gesammelt werden konnten und somit detaillierte Analysen durchgeführt werden konnten. Die folgende Grafik zeigt den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Wechselrichters (verbunden mit einer PV-Anlage), in absoluten Werten von kg CO<sub>2</sub>-eq.

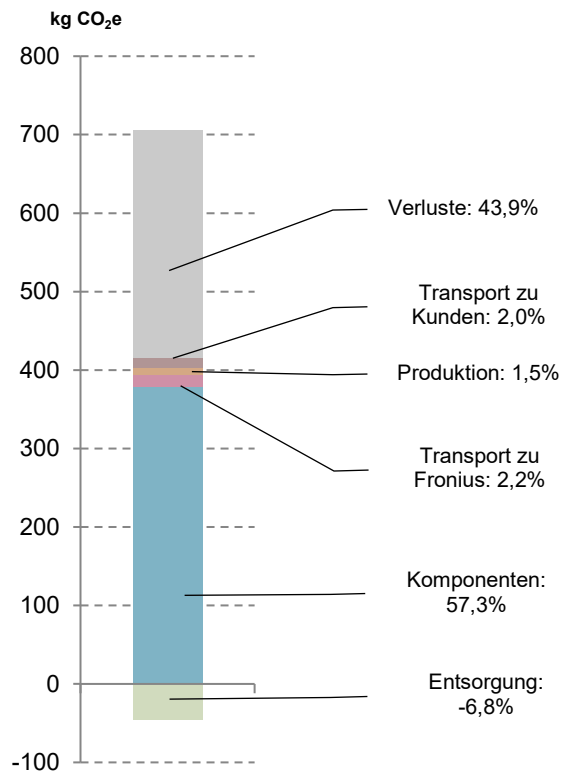


Abbildung 3: CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Symo GEN24 10.0 Plus in absoluten Werten und in relativen Beiträgen nach Lebenszyklusphasen

Aus dieser Grafik lassen sich mehrere wichtige Aussagen bzw. Interpretationen ableiten:

- / **Die Herstellungsphase der Komponenten:** Die für die Komponenten erforderlichen Herstellungsprozesse (Metalle, elektronische Komponenten, Kunststoffe usw.) haben einen erheblichen Anteil am CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Wechselrichters. Dieses Ergebnis unterstreicht die Bedeutung des Einflusses der Lieferkette und die Notwendigkeit, eine gemeinsame Anstrengung mit allen Beteiligten entlang der Lieferkette zu entwickeln, um die Umwelleistung von Wechselrichtern in Zukunft weiter zu verbessern. In diese Richtung wurden bei Fronius bereits entsprechende Anstrengungen unternommen. So wird zum Beispiel für die Hauptmetallkomponente des Wechselrichters mehr als 90 % recyceltes Aluminium verwendet.
- / **Die Produktionsphase:** Die Produktion des Wechselrichters am Fronius Produktionsstandort hat nur einen geringen Anteil am CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Dies beweist, dass der Produktionsprozess bereits optimiert ist. Außerdem stammt die am Produktionsstandort verwendete Energie aus erneuerbaren Energiequellen (Ökostromvertrag + lokale PV-Anlage). Mit den PV-Anlagen an den Produktionsstandorten produziert Fronius fast 2.000 MWh Solarstrom pro Jahr.
- / **Der Transport der Komponenten zu Fronius und der Transport der Fronius Wechselrichter zu den Kunden:** Auch diese Schritte haben einen geringen Anteil am CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Wechselrichters. Der Hauptgrund dafür ist, dass Fronius Luftfracht so weit wie möglich vermeidet und Züge, LKWs oder Seefracht bevorzugt und somit einen relativ kleinen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ermöglicht.
- / **Die Verluste:** Jedes Produkt hat einen "embodied carbon footprint" (vergleichbar mit einem "CO<sub>2</sub>-Rucksack"), der sich aus allen dahinter liegenden Herstellungsprozessen, Transporten etc. ergibt. Folglich hat auch Strom aus einer PV-Anlage einen CO<sub>2</sub>-Rucksack (mit einem Wert von ca. 20-80 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh), der niedriger ist als der CO<sub>2</sub>-Rucksack des Stroms aus dem Netz (im Bereich von ca. 100-1200 g CO<sub>2</sub>-

eq/kWh, je nach Land). Der GEN24 Plus wird mit einem Verlustwert von 3% angegeben, was bedeutet, dass ein gewisser Anteil des Stroms aus den PV-Modulen als Wärme verloren geht. 3% ist ein relativ niedriger Wert, aber da der PV-Wechselrichter 20 Jahre lang genutzt wird, müssen die Verluste für die gesamte Lebensdauer hinzugerechnet werden. Selbst bei dem hohen Wirkungsgrad des GEN24 Plus (97 %) führt dieser Effekt zu einem signifikanten Anteil der Verluste (im Rahmen der Nutzungsphase) am Gesamtergebnis des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks.

**/ Das Abfallmanagement:** Fronius folgt der WEEE-Richtlinie und ist bestrebt, die Wiederverwertbarkeit seiner Produkte zu erhöhen. Daher kann durch die Substitution und Vermeidung von neuer Rohstoffgewinnung und geringerem Energiebedarf eine Umweltgutschrift (negativer Wert im Balkendiagramm der Abbildung 3) erzielt werden. Der verantwortungsvolle und bewusste Umgang mit den Ressourcen der Erde ist eine Kernverpflichtung für Fronius und erhöht den Umweltnutzen.

Eine weitere Möglichkeit, die Ergebnisse der Ökobilanz zu nutzen, besteht darin, den relativen Beitrag der einzelnen Komponenten des GEN24 Plus Wechselrichters selbst zu verstehen, wie in der folgenden Grafik dargestellt:

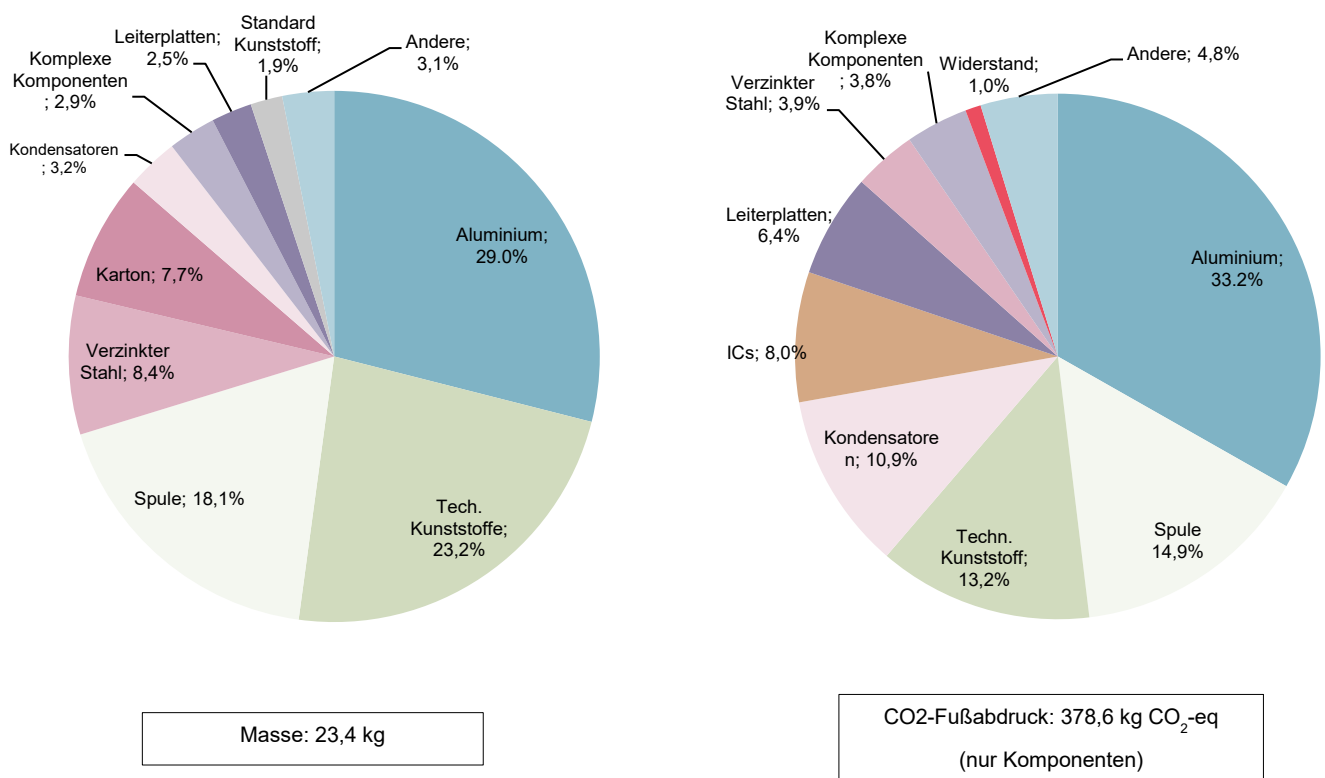


Abbildung 4: Relativer Beitrag der Komponenten des Symo GEN24 10.0 Plus nach Masse (links, in % kg) und nach dem CO<sub>2</sub>-Fußabdruck (rechts, in % kg CO<sub>2</sub>-eq).

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, haben das Aluminium, die technischen Kunststoffe und die Spulen den größten Anteil an der Masse und am CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Symo GEN24 10.0 Plus. Die Kondensatoren stellen einen interessanten Fall dar, da sie nur 3,2 % der Masse ausmachen, aber für 10,9 % des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks

verantwortlich sind (ICs sogar noch mehr mit einer sehr geringen Masse und einem hohen CO<sub>2</sub>-eq). Dieses LCA-Ergebnis zeigt, dass Elemente mit einer geringen Masse aufgrund der energieintensiven Prozesse aus den vorgelagerten Stufen (Herstellung etc.) einen erheblichen Umwelteinfluss haben können. Im Vergleich dazu haben technische Kunststoffe einen geringen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck im Verhältnis zu ihrer Masse.

In Bezug auf das Abfallmanagement zeigen die LCA-Ergebnisse ebenfalls, dass der Umweltnutzen umso größer ist, je umfangreicher der End-of-Life-Managementprozess ist, wie in Abbildung 5 dargestellt. Die negativen Werte stellen die Gutschrift für die Substitution von Primärmaterialien oder den Einsatz fossiler Energie dar.

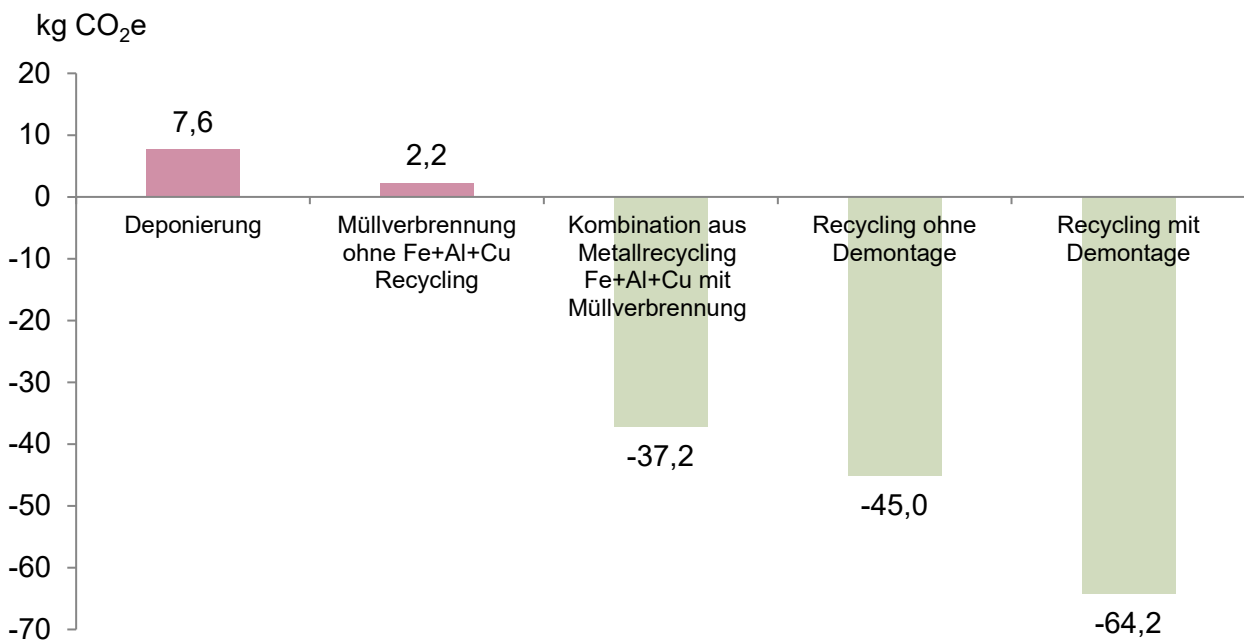


Abbildung 5: Umweltkosten bzw. -nutzen von End-of-Life-Prozessen für Symo GEN24 10.0 Plus

Darüber hinaus bestätigen die LCA-Ergebnisse, dass die von Fronius durchgeführten Reparaturprozesse einen hohen Umweltnutzen im Vergleich zu einem Austausch des gesamten Produkts bieten. Wenn beispielsweise das Leistungsteil nach 20 Jahren ausgetauscht wird, ermöglicht dies eine Verlängerung der Lebensdauer des Wechselrichters um 20 Jahre. Da die Lebensdauer des Wechselrichters in erster Linie von der Funktion des Leistungsteils abhängt, können bei dieser Reparatur alle anderen Teile des Wechselrichters für eine längere Lebensdauer verwendet werden. Dies hat zur Folge, dass sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des Wechselrichters innerhalb seiner Lebensdauer sogar um ca. 70 kg CO<sub>2</sub>-eq verringert (der gesamte CO<sub>2</sub>-Fußabdruck der Produktion des Wechselrichters liegt zunächst bei ca. 660 kg CO<sub>2</sub>-eq), zurückzuführen auf die verlängerte Lebenszeit nach Austausch des Leistungsteils.

Am Ende sollte nicht vergessen werden, dass alle bisherigen Grafiken nur die Wirkungskategorie Treibhauspotenzial betrachtet haben. Die gleiche Analyse kann für andere Wirkungskategorien (Humantoxizität, Ressourcenverbrauch von Metallen, Feinstaub usw.) durchgeführt werden.

### 3.2 Vorteile des GEN24 Plus

Nachdem nun ein Überblick über den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck des **Symo GEN24 10.0 Plus** gegeben wurde, werden in dem folgenden Abschnitt die Vorteile des Geräts beschreiben.

Die Nutzung von Strom aus einer PV-Anlage mit einem Symo GEN24 10.0 Plus in Australien würde einen durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von **38,0 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh** verursachen. Im Vergleich dazu würde die Nutzung von Strom aus dem australischen Stromnetz einen CO<sub>2</sub>-Fußabdruck im Bereich von **600-1000 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh** verursachen (ca. 15-25 mal höher, u.a. aufgrund des Kohleverbrauchs)<sup>16</sup>.

Im Vergleich dazu entsprechen die eingesparten CO<sub>2</sub>-Emissionen der gesamten PV-Anlage (nicht nur des Wechselrichters) über 20 Jahre grob geschätzt ca. 600 gepflanzten Bäumen<sup>17</sup>. Ein weiterer grober Vergleich ist mit Autos mit Verbrennungsmotor möglich, wobei ein durchschnittlicher Verbrauch von 5 l Benzin pro 100 km berücksichtigt wird. Basierend auf der ecoinvent-Datenbank würde der Nutzen einer PV-Anlage mit Fronius Symo GEN24 Plus 10.0 in Australien über 20 Jahre (Nutzen der gesamten PV-Anlage, nicht nur des Wechselrichters) das CO<sub>2</sub>-Emissionsäquivalent von ca. 1.800.000 mit dem Auto gefahrenen km einsparen. Für das gleiche PV-Anlagen-Nutzungsszenario ergäbe sich eine CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparung, die ca. 100 Hin- und Rückflügen Wien-New York entspricht<sup>18</sup>. Die Vergleiche für Bäume, km-Autos oder Flugreisen dienen hier nur dazu, eine Größenordnung anzugeben und sind keine standardisierten oder geprüften Werte (abhängig von der verwendeten Ressource).

Basierend auf den LCA-Ergebnissen liegt die **CO<sub>2</sub>-Amortisationszeit** (Zeit, in der die vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Produkts ausgleichen) je nach Szenario im Bereich von **0,8-3,7 Jahren**. Für das verwendete Szenario in Australien liegt der Wert bei 0,8 Jahren. Nach dieser Amortisationszeit **spart der Besitzer eines GEN24 Plus im Vergleich zur Alternative mit Strom aus dem Netz CO<sub>2</sub>-Emissionen ein** und erzeugt damit einen positiven Effekt für die Umwelt. Wenn ein GEN24 Plus Wechselrichter 20 Jahre lang genutzt wird, kann die Gesamtmenge der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Äquivalente **bis zu 26 Mal höher** sein als die Gesamtmenge der CO<sub>2</sub>-Emissionen für den gesamten Lebenszyklus des Geräts.

Die **energetische Amortisationszeit** liegt im Bereich von 0,9-2,2 Jahren (für das verwendete Szenario: 0,9 Jahre). Bei Erreichen dieser Amortisationszeit hat die PV-Anlage die Energiemenge produziert, die für ihre gesamte Lebensdauer benötigt wird (Energie für Herstellung, Transport, etc.). Danach produziert die PV-Anlage "Extra-Energie", die einen **energetischen Mehrwert für das Ökosystem** darstellt.

Wenn ein GEN24-Wechselrichter 20 Jahre lang verwendet wird, kann die **erzeugte Gesamtenergiemenge bis zu 21-mal höher sein** als die Gesamtenergiemenge, die für den gesamten Lebenszyklus des Geräts benötigt wird.

---

<sup>16</sup> Durchschnitt basierend auf: <https://www.electricitymap.org/map>, ecoinvent, <http://www.cleanenergyregulator.gov.au/NGER/National%20greenhouse%20and%20energy%20reporting%20data/electricity-sector-emissions-and-generation-data/electricity-sector-emissions-and-generation-data-2019-20>

<sup>17</sup> Basierend auf dem folgenden Dokument: Nam et al. 2016: "Allometric Equations for Aboveground and Belowground Biomass Estimations in an Evergreen Forest in Vietnam" (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4910975/>)

<sup>18</sup> Flug-Emissionsberechnungen basierend auf: [https://co2.myclimate.org/en/flight\\_calculators/new](https://co2.myclimate.org/en/flight_calculators/new)

## 4 FAZIT: LEARNINGS AUS DER LCA

Nachdem nun eine Ökobilanz erfolgreich durchgeführt wurde, werden im Folgenden einige Hinweise zur weiteren Verwendung einer Ökobilanz und zu den nächsten Schritten auf dem Nachhaltigkeitspfad von Fronius gegeben.

### 4.1 Verwendung und Qualität der LCA

Die GEN24 Plus LCA ist ein wichtiger Schritt für die Fronius Aktivitäten im Bereich Nachhaltigkeit. Ein klares, auf wissenschaftlichen Fakten basierendes Wissen wird nun über den Wechselrichter gewonnen und kann für die Entwicklung weiterer Produkte mit noch geringeren Umweltauswirkungen genutzt werden. Darüber hinaus belegen die LCA-Ergebnisse die beeindruckende Umwelleistung der Fronius GEN24 Plus Produktfamilie und können für Anfragen bezüglich Nachhaltigkeitsanforderungen (Auflagen, Ausschreibungen, etc.) verwendet werden.

Da Ökobilanzen in den nächsten Jahren immer mehr Verbreitung finden werden, wird es höchstwahrscheinlich Versuche geben, Ökobilanz-Ergebnisse von verschiedenen Unternehmen zu vergleichen. In diesem Zusammenhang sollten einige Vorsichtsmaßnahmen oder kritische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Vergleiche zwischen Ökobilanzen können besonders herausfordernd sein, da sich der Umfang des untersuchten Systems unterscheiden kann und die angewandte Methodik oder die Datenquellen erheblich divergieren können. Es gibt noch kein einheitliches, international anerkanntes LCA-Rahmenwerk (vor allem was die angewandte Methodik betrifft), was möglicherweise unterschiedliche Ergebnisse ermöglicht. In dieser Hinsicht besteht ein Bedarf an klarer Transparenz und Kommunikation über die LCA-Modellierung, die Systemdefinition und die angewandte Methodik. Trotz der aktuellen Schwierigkeiten in der Welt der LCA-Methodik hat Fronius sein Bestes gegeben, um die höchste Qualität und Validität der Ergebnisse zu gewährleisten. Die LCA wurde in Zusammenarbeit mit Harald Pilz (to4to) durchgeführt, einem Experten für Nachhaltigkeitsbewertungen mit großer Erfahrung in LCAs. Der ISO 14040/44-LCA-Review-Prozess, der mit Mitarbeitern des Fraunhofer-Instituts IZM - einem externen Dritten - durchgeführt wurde, ist eine weitere konkrete Maßnahme in diese Richtung. Ziel des LCA-Reviews ist es, die Qualität und Konsistenz der durchgeführten LCA-Arbeiten zu verifizieren, zu bestätigen und zu unterstützen. Das Fraunhofer IZM ist eine etablierte Institution und international anerkannt für sein Wissen und seine Expertise im Bereich Elektronik und PV-Systeme, einschließlich LCAs und Review-Prozesse<sup>19</sup>. Im Rahmen des Fronius LCA-Reviews fanden umfangreiche Recherchen und Diskussionen zu Elektronikkomponenten, Materialgehalt und -rückgewinnung sowie zur Validität von Sekundärdaten statt. Der LCA-Bericht und die allgemeine Modellierungsstruktur wurden überprüft und ein Review-Bericht des Fraunhofer IZM ist auf der Fronius-Website verfügbar (Link).

---

<sup>19</sup> Beispiel für eine Ökobilanz für Mobiltelefone: [https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2020/07/Fairphone\\_3\\_LCA.pdf](https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2020/07/Fairphone_3_LCA.pdf)



Außerdem ist Fronius in Gesprächen mit europäischen Gremien und Verbänden aktiv, um ein konsistentes und einheitliches LCA-Rahmenwerk in Europa zu fördern. Letztlich sind einige Hinweise oder Vergleichspunkte (mit Vorsicht) noch möglich, sollten aber dann von Fall zu Fall verglichen werden.

## **4.2 Die nächsten Schritte nach vorn: Auf dem Weg zur Nachhaltigkeit!**

Dank des tieferen Wissens und Bewusstseins über die Umweltleistungen des GEN24 Plus zeigte die LCA mehrere Möglichkeiten auf, die Nachhaltigkeitsleistungen des Geräts noch weiter zu steigern.

Basierend auf diesen Hinweisen werden spezifische Anforderungen definiert, die in den Produktentwicklungsprozessen angegangen werden und das Engagement von Fronius in Richtung Nachhaltigkeit bestätigen. Ein starker Fokus wird auf die Langlebigkeit, Effizienz, Reparierbarkeit und Recyclingmöglichkeiten der elektronischen Geräte gelegt. Es werden Investitionen getätigt, um die Material- sowie Energieeffizienz entlang der Lieferkette, der Produktion und der Nutzungsphase durch den Einsatz von nachhaltigen und recycelten Produkten weiter zu optimieren. Auf diese Weise kommen die Leistungen nicht nur den Kundenbedürfnissen, sondern auch der Umwelt zugute. Fronius ist bestrebt, die Nachhaltigkeitsleistungen seines Portfolios weiter erfolgreich zu steigern.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das GEN24 Plus LCA Projekt Fronius ermöglicht hat, ein tiefes Wissen über die Umweltleistungen seiner Produkte auf verschiedenen Ebenen (Komponenten, Prozesse, etc.) zu erlangen. Diese Analyse kann aktiv genutzt werden, um noch nachhaltigere Produkte zu entwickeln und eine Vielzahl von Nachhaltigkeitsanforderungen für Wechselrichter und PV-Systeme zu erfüllen.

Die Ökobilanz wird die führende Position von Fronius im Bereich Nachhaltigkeit für PV-Systeme stärken und kann die Umsetzung umweltfreundlicher PV-Systeme mit wissenschaftlichen und faktenbasierten Elementen erleichtern.

Der Detaillierungsgrad, der Umfang, die Flexibilität der Szenarien und die Qualität/Transparenz des gesamten GEN24 Plus LCA Prozesses wurde bisher selten in einer LCA angewendet und ist einzigartig in der Welt der PV-Wechselrichter.