



Fronius GEN24 & GEN24 Plus – Nachhaltige Technologie für eine grüne Zukunft

Lebenszyklusanalyse (LCA)

DI Mag. Harald Pilz

to4to
together for tomorrow

 **Fraunhofer**
IZM

© Fronius International GmbH

Version 03 09/2023

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 die männliche Form.

Inhalt

1 Einführung: Eine nachhaltige Vision	4
1.1 Ziel	5
1.2 Definition der LCA	5
1.2.1 Was ist eine LCA?	6
1.2.2 Warum ist eine LCA sinnvoll?	6
1.2.3 Die LCA im europäischen Kontext	7
2 LCA: Sammeln relevanter Daten für die Analyse	9
2.1 LCA für GEN24 [Plus]	9
2.2 Rohstoffe	10
2.3 Produktion	11
2.4 Nutzung	11
2.5 End-of-Life	12
3 LCA: Die Umweltleistung des GEN24 [Plus]	13
3.1 Der Carbon Footprint des GEN24 [Plus]	13
3.2 Umweltnutzen des Symo GEN24 10.0 [Plus]	20
3.3 Ergebnisse der LCA in verschiedenen Szenarien	21
4 Fazit: Der nächste Schritt	23
4.1 Verwendung und Qualität der LCA	23
4.2 Die nächsten Schritte in die Zukunft: Auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit....	24

1 Einführung: Eine nachhaltige Vision

In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die globale Erwärmung zu einer der größten Herausforderungen entwickelt, der sich menschliche Gesellschaften gegenübersehen. Dieses Phänomen hat zahlreiche Konsequenzen, unter anderem auffällige Naturkatastrophen, Klimaflüchtlinge, Luftverschmutzung und vieles mehr. Umweltschäden sind darüber hinaus mit anderen großen Problemen verknüpft, zum Beispiel mit dem Verlust der Artenvielfalt, Rohstoffkrisen, häufigeren Gesundheitskatastrophen und so weiter. Diese Gefahren sind eine Herausforderung für die Balance unserer Gesellschaften und bedrohen die Zukunft der Menschheit. In zahlreichen Berichten, die fortlaufend erscheinen, wird die Wahrscheinlichkeit oder Wahrnehmung dieser Gefahren durch menschliche Gesellschaften beschrieben, etwa in Analysen des IPCC¹ oder des Weltwirtschaftsforums².

Daher ist es dringend erforderlich, diese massiven Bedrohungen anzugehen. In den vergangenen Jahren wurden verschiedene Maßnahmen mit ehrgeizigen Plänen beschlossen, um die Umweltbelastung durch unsere Gesellschaften, Produkte und Dienstleistungen so weit wie möglich zu verringern. Typischerweise sollen Produkte und Dienstleistungen nicht mehr dem linearen Pfad „Take – Make – Waste“ folgen. Stattdessen wird ein Kreislaufansatz angestrebt, der zum Beispiel im Sustainable Development Goal 12 der Vereinten Nationen „Verantwortungsvoller Konsum und Produktion“ beschrieben wird. Des Weiteren können rein finanzielle Vorteile nicht mehr als alleinige Betrachtungskriterien herangezogen werden; auch Nachhaltigkeitsfaktoren müssen berücksichtigt werden.

Um die verheerenden Auswirkungen des Klimawandels zu beschränken, haben einige wichtige politische Institutionen Standards, Gesetze und Strategien implementiert. Um diese Weiterentwicklung zu begleiten und seiner Verantwortung gerecht zu werden, hat Fronius Nachhaltigkeit als einen der Kernwerte des Unternehmens identifiziert. Die Fronius-Vision „24 Stunden Sonne“ skizziert eine Zukunft, in der 100 % des weltweiten Energiebedarfs durch erneuerbare Quellen abgedeckt werden. Um das zu erreichen, will Fronius nachhaltige und optimal aufgebaute Produkte entwickeln, bei denen alle Phasen des Lebenszyklus berücksichtigt werden. Dafür und um zukunftsgerichtete Entscheidungen zu ermöglichen, wird ein wissenschaftliches und faktenbasiertes Verständnis der Nachhaltigkeitsleistung von Produkten benötigt. Eine Life Cycle Assessment ist eine der geläufigsten und international standardisierten wissenschaftlichen Methoden zur Analyse der Umwelteinflüsse eines Produkts im Verlauf seiner Nutzungsdauer. 2020 wurde mit der Durchführung der ersten Fronius Life Cycle Assessment (LCA) für Fronius GEN24

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change: <https://www.ipcc.ch/reports/> (Zugriff am 19.04.2021)

² „The Global Risks Report 2021“: http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Global_Risks_Report_2021.pdf (Zugriff am 19.04.2021)

[Plus], eine der Wechselrichtergenerationen des Unternehmens, ein großer Schritt nach vorn gemacht.

Da Fronius die Ergebnisse dieser LCA zur fortlaufenden Optimierung der Produktentwicklung nutzt, ist die Aktualität der Daten von besonderer Wichtigkeit. Aus diesem Grund werden Aktualisierungen der LCA bei Bedarf und Notwendigkeit durchgeführt. Und weil insbesondere im Zusammenhang mit dem Thema Nachhaltigkeit ein hoher Grad an Transparenz unerlässlich ist, ist auch das fortlaufende Kommunizieren dieser Aktualisierungen für Fronius sehr wichtig.

Datum der LCA-Aktualisierungen	Aktualisierter Inhalt
Februar 2023	<ul style="list-style-type: none"> – Mehr Detailtiefe durch intensiveren Einbezug von Primärdaten & Update der Ecoinvent-Datensätze auf Version 3.8 – Neue Datensätze des Carbon Footprints von PV-Modulen – Tiefere Integration des Nachtstromverbrauchs – Noch genauere Methode für Referenzoutput von PV-Anlagen (PVSol) in unterschiedlichen Ländern/Regionen – Ungarn als zusätzliches Land – Modellierung der Transporte analog zur neuesten Lebenszyklusanalyse (LCA Tauro).

1.1 Ziel

Dieses Whitepaper soll das Konzept einer Life Cycle Assessment, ihre Anwendung für die Produktfamilie GEN24 Plus sowie die relevantesten Ergebnisse und Interpretationen darlegen. Das Paper soll einen Überblick über die wichtigsten LCA-Ergebnisse bieten, ohne in alle Berechnungen und Details einzutauchen.

1.2 Definition der LCA

In den folgenden Abschnitten wird definiert, was eine LCA ist, und es werden die darin verfügbaren Informationen und die Entwicklung und Anwendung im europäischen Kontext erläutert.

1.2.1 Was ist eine LCA?

Ein Life Cycle Assessment (LCA; deutsch: Lebenszyklusanalyse) ist eine wissenschaftliche Methodik, die ab den 1990er Jahren entwickelt wurde, um Umweltanalysen durchzuführen. Die Methode beinhaltet die Modellierung der Umweltwirkungen aller Eingangs- und Ausgangsgrößen (Material, Energie, Emissionen, Ressourcen usw.) eines Produkts (oder einer Dienstleistung) über die gesamte Lebensdauer hinweg und soll ein umfassendes Bild der Umweltleistung eines Produkts aufzeigen. Zwei ISO-Normen (14040 und 14044) unterstützen die Struktur, Gültigkeit und Konsistenz der Rahmenbedingungen einer LCA. Um eine vollständige Sicht auf den Lebenszyklus zu gewährleisten, hat Fronius mit seinem LCA-Partner Harald Pilz von to4to³ („Together for tomorrow“) den Ansatz „Cradle-to-Grave“ für die LCA verfolgt und so alle Phasen des Lebenszyklus von der Beschaffung über die Produktion bis hin zur Nutzung und zum End-of-Life (EoL) einschließlich des Transports berücksichtigt (siehe Abbildung 1). Zur weiteren Steigerung und Kontrolle der Qualität der LCA von Fronius wurde in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IZM⁴, einem der weltweit renommiertesten Institute für Nachhaltigkeit von Elektronikprodukten, ein LCA-Review durchgeführt. Somit bietet diese LCA eine ganzheitliche, detaillierte und durch Peer-Review bestätigte Analyse der Ökobilanz des Produkts.

1.2.2 Warum ist eine LCA sinnvoll?

Die LCA-Ergebnisse liefern uns tiefes Wissen und Kenntnisse über die Umweltleistung und die möglichen Grenzen eines Produkts.

Umweltbezogene Produktdaten werden immer wichtiger:

- Da Fronius bestrebt ist, die Nachhaltigkeitsleistung seiner derzeitigen und zukünftigen Produkte noch weiter zu verbessern, ist es notwendig, diese Fortentwicklung wissenschaftlich nachzuweisen, zu überwachen und zu verstehen. LCAs sind eine der wenigen standardisierten und einheitlichen Methoden zur Modellierung von Umweltwirkungen und somit ein starkes Mittel. Anhand dieser evidenzbasierten Analyse kann Fronius eine aktive Rolle in der Implementierung und Erreichung der Ziele von „24 Stunden Sonne“ spielen. In der Folge können nachhaltigere und effizientere Lösungen entwickelt werden, von denen sowohl der Kunde als auch die Umwelt profitieren.

Aus diesem Grund hat Fronius das Programm „Sustainability by Design“ gestartet, um diese Maßnahmen zu beschleunigen. Dieser LCA-Prozess war der erste Schritt zur Umsetzung dieses Programms.

³ To4to - <https://www.to4to.at/>

⁴ Website: <https://www.izm.fraunhofer.de/> (Zugriff am 19.04.2021)

Auch in vielen Anforderungen an den PV-Markt lassen sich ein stärkeres Bewusstsein und eine höhere Nachfrage nach evidenzbasierten nachhaltigen Lösungen beobachten:

- Die Europäische Kommission hat Umweltleitlinien auf Basis von Lebenszyklusanalysen erarbeitet und veröffentlicht (genannt „PEFCR“ – Product Environmental Footprint Category Rules⁵). Darüber hinaus bekämpft die Europäische Kommission Nachhaltigkeitsbehauptungen ohne ausreichende Nachweise und sie will die Verbraucherinnen und Verbraucher auf den Übergang zu einer umweltfreundlichen Zukunft vorbereiten⁶.
- In aktuellen Photovoltaik-Ausschreibungen werden Produkte mit niedrigem Carbon Footprint bevorzugt. So hat zum Beispiel 2021 die Energieregulierungsbehörde (CRE) in Frankreich eine neue Photovoltaik-Ausschreibung (700 MW) veröffentlicht, die PV-Module mit geringer Umweltbelastung fordert⁷.
- Immer häufiger werden Nachhaltigkeitsdatenbanken genutzt, in denen Produkte mit umweltfreundlichen Leistungsdaten höher eingestuft werden. Upcyclea⁸ in Frankreich oder Byggvarubedomningen⁹ in Schweden sind Beispiele dafür.
- Auch nationale Behörden fordern verstärkt, die Nachhaltigkeit in den Vordergrund zu rücken, so z. B. die CMA (Competition & Markets Authority) im Vereinigten Königreich, die Unternehmen auffordert, den gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu berücksichtigen, der Reparatur-Index in Frankreich („Indice de réparabilité“) oder das Lieferkettengesetz in Deutschland¹⁰.

Vor diesem Hintergrund ist eine LCA auf Basis einer soliden wissenschaftlichen Analyse (im Gegensatz zu „groben Schätzungen“) zusammen mit einer LCA-Validierung ein probates Mittel, die Ziele von „24 Stunden Sonne“ zu erreichen und Fronius bei verantwortungsvollen Entscheidungen im Entwicklungsprozess zu unterstützen.

1.2.3 Die LCA im europäischen Kontext

Fronius führt nicht nur eine einzelne Initiative eines isolierten Unternehmens durch, sondern agiert in einem globalen Kontext, in dem der ökologische Fußabdruck von

⁵ Quelle: https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/PEFCR_OEFSR_en.htm#final (Zugriff am 12.04.2021)

⁶ Quelle: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_269 (Zugriff am 08.03.2022)

⁷ Quelle: <https://www.pv-magazine.com/2021/02/19/france-launches-700-mw-tender-for-large-scale-pv/> (Zugriff am 19.04.2021)

⁸ Quelle: <https://www.upcyclea.com/> (Zugriff am 09.04.2021)

⁹ Quelle: <https://byggvarubedomningen.se/> (Zugriff am 09.04.2021)

¹⁰ Quellen: CMA: <https://www.gov.uk/government/publications/green-claims-code-making-environmental-claims/environmental-claims-on-goods-and-services> (Zugriff am 08.03.2022), Reparatur-Index: <https://www.ecologie.gouv.fr/indice-reparabilite> (Zugriff am 08.03.2022) und Lieferkettengesetz: <https://www.bmz.de/de/entwicklungspolitik/lieferkettengesetz> (Zugriff am 08.03.2022)

Energiesystemen zunehmend Beachtung und Aufmerksamkeit erhält. Auf europäischer Ebene gibt es bereits mehrere Dokumente mit Leitlinien für Umweltbeurteilungen, unter anderem auf Basis des LCA-Ansatzes. Andere europäische Initiativen unterstreichen die Notwendigkeit, eine nachhaltige Zukunft aufzubauen und eine effiziente Energiewende zu gestalten:

- Der europäische Green Deal¹¹, 2019 veröffentlicht, setzt für Europa das ehrgeizige Ziel, bis 2050 klimaneutral zu sein.
- Die Europäische Kommission will Programme wie “Ecodesign“ und „Energy Label“¹² im Verlauf von 2023 und 2024 für Photovoltaik-Anlagen implementieren: Diese Kennzeichnungen werden Produkte mit besserer Umweltleistung fördern, und Anlagen, die nicht den Mindestanforderungen entsprechen, werden im EU-Binnenmarkt nicht mehr verkauft werden dürfen.
- Auch die aktuelle Gesetzgebung favorisiert die Einführung effizienter und nachhaltiger Energiesysteme. Beispiele dafür sind die Erneuerbare-Energien-Richtlinie III (REDIII)¹³ oder die Taxonomie-Verordnung (EU) 2020/852 („Rahmen zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen“)¹⁴.

¹¹ Quelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN> (Zugriff am 09.04.2021)

¹² Weitere Informationen zum laufenden Verfahren: <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/product-bureau//product-groups/462/documents> (Zugriff am 09.04.2021)

¹³ 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 (Zugriff am 09.04.2021)

¹⁴ Quelle: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32020R0852> (Zugriff am 09.04.2021)

2 LCA: Sammeln relevanter Daten für die Analyse

Ein entscheidendes Element für die Durchführung einer LCA ist die Sammlung relevanter Daten zum analysierten Produkt. Dieses Kapitel beschreibt die verschiedenen modellierten Lebenszyklusphasen und die berücksichtigten Aspekte.

2.1 LCA für GEN24 [Plus]

Die Produktfamilie Fronius GEN24 [Plus] soll die Vision „24 Stunden Sonne“ voranbringen und wurde daher auf ihre Umweltleistung und ihren ökologischen Nutzen untersucht.

Dazu wurden auf Basis der ISO-Standards für LCA (ISO 14040/44) vier wesentliche Lebenszyklusphasen modelliert und gründlich analysiert (siehe Abb. 1):

- Die Beschaffung von Rohstoffen
- Die Produktionsphase an Fronius Standorten
- Die Nutzungsphase
- Die End-Of-Life-Phase (EoL)

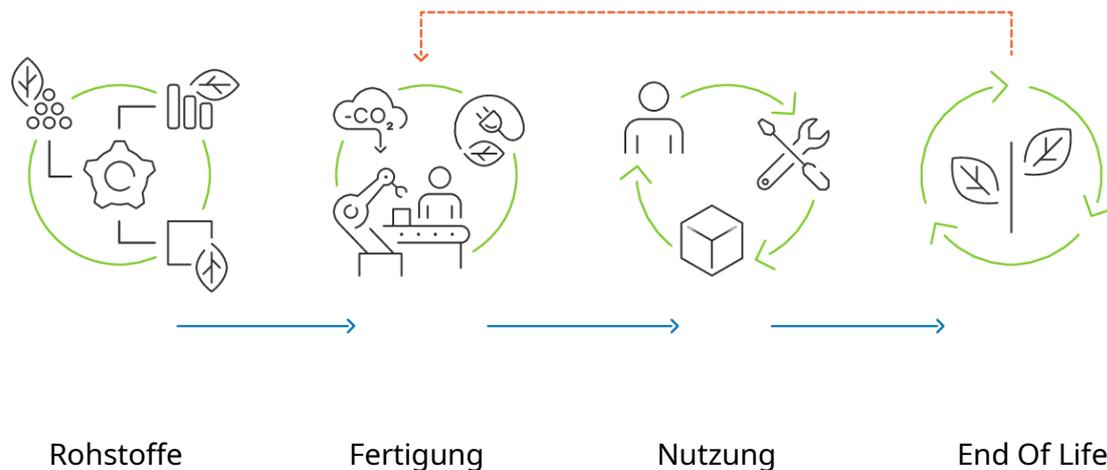


Abbildung 1: Der GEN24 [Plus] und seine Lebenszyklusphasen

Die Umweltbelastungskategorien wurden auf Basis der PEF/ILCD-2019/EF-3.0-Richtlinien (EPLCA, 2019¹⁵) berechnet, z. B.:

- Das Global Warming Potential (GWP), das den von dem Produkt über die gesamte Lebensdauer verursachten Treibhauseffekt abbildet (in kg CO₂-Äquivalent). „CO₂-Äquivalent“ ist die Einheit, mit der die Wirkung eines Produkts auf das GWP bewertet wird. „Äquivalent“ bezieht sich hier auf die Kombination verschiedener Treibhausgase, die in äquivalente Auswirkungen von CO₂ auf das GWP „umgewandelt“ wird. So entspricht die Emission von 1 kg Methan (CH₄) der Emission von 28 kg CO₂ über 100 Jahre (auf Basis der IPCC-2013-Methodik, die in der Datenbank ecoinvent v3.8 des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) verwendet wurde¹⁶).
- Der kumulierte Energieaufwand (KEA) misst die direkt und indirekt benötigte Energie über den gesamten Lebenszyklus des Produkts (in Megajoule-Äquivalent).

Die Umweltwirkung eines Produkts ist nicht nur auf die CO₂-Emissionen oder den Energiebedarf beschränkt, sondern betrifft auch weitere Kategorien. Um ein ganzheitliches und umfassendes Bild zu erhalten, wurden für die von Fronius durchgeführte LCA auch Faktoren wie „Metallischer Ressourcenverbrauch“, „Humantoxizität“ und „Feinstaubemissionen“ berücksichtigt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden in den folgenden Kapiteln dieses Papers nur die beiden geläufigsten und wichtigsten Wirkungskategorien betrachtet: das Treibhausgaspotenzial und der kumulierte Energieaufwand.

Für Hintergrundprozesse (Sekundärdaten) im LCA wurde die Datenbank ecoinvent (Version 3.8 2021¹⁷) verwendet, eine der weltweit umfassendsten und bekanntesten LCI Datenbanken (LCI = (Life Cycle Inventory)).

2.2 Rohstoffe

Zunächst werden in der Beschaffungsphase alle relevanten Prozesse von der Gewinnung und Veredelung der Rohstoffe bis hin zur Produktion der Komponenten betrachtet. In dieser Phase fanden intensive Gespräche und Untersuchungen mit den Lieferanten statt, um möglichst umfangreiche Primärdaten zu erhalten. Die Materialzusammensetzung der verschiedenen an Fronius gelieferten Bauteile wurde analysiert und mit Primärdaten oder gegebenenfalls der ecoinvent-Datenbank modelliert. Trotzdem wurden intensive Analysen zur Zusammensetzung der Bauteile durchgeführt, um möglichst detaillierte Ergebnisse zu erhalten. Analysen gab es insbesondere für den DC-Trennschalter, Sicherungen, Lüfter und andere Bauteile, die für die Analyse zerlegt wurden.

¹⁵ Quelle: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml> (Zugriff am 03.01.2022)

¹⁶ Quelle: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf (Tabelle 8.A.1, S. 731, Zugriff am 13.02.2023)

¹⁷ Quelle: <https://www.ecoinvent.org/> (Zugriff am 16.02.2022)

2.3 Produktion



Anschließend wird in der Produktionsphase die Herstellung des GEN24 [Plus] an den Fronius-Standorten betrachtet. Dieser Fertigungsprozess wurde auf Basis von Primärdaten modelliert, zum Beispiel unter Berücksichtigung des Stromverbrauchs der Fertigungslinie, des Bedarfs an Lötpaste, der potenziellen Entstehung und Handhabung von Abfällen sowie der Verwendung von Verpackungsmaterial. Bei Bedarf wurden mehrere Datensätze aus der ecoinvent-Datenbank extrahiert, um die Modellierung zu vervollständigen. Insgesamt wurden für folgende Gerätetypen LCA-Modelle erstellt:

- Primo GEN24 3.0 und 6.0 sowie 3.0 und 6.0 Plus
- Symo GEN24 5.0 und 10.0 sowie 5.0 und 10.0 Plus

2.4 Nutzung



Weiters wird dann der Zeitraum betrachtet, in der der GEN24 [Plus] aktiv in einer Photovoltaik-Anlage genutzt und möglicherweise repariert wird. Daher werden hier diverse Faktoren betrachtet, unter anderem:

- Lebensdauer des Wechselrichters: 20 Jahre wurden als Standardwert festgelegt.
- Länder, in denen das System im Einsatz ist. Dieser Parameter beeinflusst die Stromproduktionskapazität der Photovoltaik-Anlage und die Transportstrecke des Produkts. Bei der LCA für GEN24 Plus standen acht Länder zur Auswahl: Australien, Brasilien, Deutschland, Österreich, Polen, Ungarn und die USA (zwei Unteroptionen: New York und Los Angeles).
- Wechselrichterverluste: Dieser Wert wird auf Basis der PVSol-Modellierung für die verschiedenen Szenarien bestimmt, um eine möglichst realistische Modellierung zu erhalten (2022)¹⁸. PVSol bietet im Vergleich zu anderen standardisierten EU-Benchmarks realistischere Ergebnisse je nach Land und Parametern, es ist aber zudem möglich, die Überdimensionierung der Photovoltaik-Anlage zu modellieren (siehe Kapitel 3.1).
- Den Nacht- (oder Standby-)Verbrauch für die Datenerfassung oder den Zugriff auf die Benutzeroberfläche (8,2 W bei Primo-Geräten und 10 W bei Symo-Geräten).
- Reparaturprozesse wurden auch mit den folgenden Szenarien modelliert:
 - Austausch des Lüfters oder der Datenkommunikationseinheit (der Benutzeroberfläche des Wechselrichters) (jeweils vor Ort).
 - Austausch der vier Varistoren im Leistungsteil.

¹⁸ Quelle: <https://valentin-software.com/produkte/pvsol-premium/> (Zugriff am 16.02.2022)

- Austausch des kompletten Leistungsteils (jeweils im Reparaturzentrum von Fronius International).

Das defekte Element wird zur Abfallaufbereitung oder an einen Fronius-Standort zur Reparatur geschickt.

2.5 End-of-Life



Abschließend wird mit Blick auf die End-Of-Life-Phase (EoL) betrachtet, welche Möglichkeiten es zur Verarbeitung oder zum Recycling des Produkts gibt. Dazu wurden fünf Szenarien erarbeitet, um die möglichen Verarbeitungen am Ende der Nutzungsdauer zu modellieren:

- Deponierung
- Müllverbrennung
- Metallrecycling mit nachgelagerter Müllverbrennung
- Recycling ohne vorausgehende Demontage (der fünf Hauptbauteile des GEN24 [Plus])
- Recycling mit vorausgehender Demontage (der fünf Hauptbauteile des GEN24 [Plus])

Die Auswirkungen oder Vorteile für die Umwelt sind je nach gewählter Alternative verschieden. Bei der Deponierung wird die Umwelt zum Beispiel mehr beeinträchtigt als beim Recycling mit Demontage (siehe Kapitel 3.1).

3 LCA: Die Umweltleistung des GEN24 [Plus]

Nachdem nun alle relevanten Daten erfasst wurden, beschreiben die nächsten Kapitel ausführlicher die Umweltleistung und die LCA-Resultate des GEN24 Plus. Konkret wird der Carbon Footprint dargelegt und die Vorteile einer Photovoltaik-Anlage mit GEN24 [Plus] werden beschrieben.

3.1 Der Carbon Footprint des GEN24 [Plus]

Ein Wechselrichter kann im Gegensatz etwa zu einem Baum naturgemäß der Atmosphäre kein CO₂ (oder andere Schadstoffe) entziehen. Trotzdem ist es mit einem in eine Photovoltaik-Anlage integrierten Wechselrichter möglich, deutlich weniger CO₂ zu emittieren als mit der betrachteten Alternative – Stromentnahme aus dem Netz. Anhand dieses Vergleichs (Photovoltaik-Anlage vs. öffentliches Netz) können wir die Verringerung der CO₂-Emissionen durch die Nutzung von Solarenergie abschätzen. In diesem Whitepaper wird zur besseren Übersichtlichkeit ein spezifisches Szenario verwendet, um eine konkrete Vorstellung dessen zu vermitteln, was einem LCA-Modell entnommen werden kann¹⁹.

Tabelle 1: Szenariooptionen (die im Whitepaper berücksichtigten Optionen sind fett markiert)

1. Fronius-Wechselrichter	2. Einsatzort	3. End-of-Life-Strategie	4. Ergänzende Parameter
<ul style="list-style-type: none"> – Primo GEN24 [Plus] 3.0 kW – Primo GEN24 [Plus] 6.0 kW – Symo GEN24 [Plus] 5.0 kW – Symo GEN24 [Plus] 10.0 kW 	<ul style="list-style-type: none"> – Australien – Österreich – Brasilien – Deutschland – Ungarn – Polen – USA – NY – USA – LA 	<ul style="list-style-type: none"> – Deponierung – Abfallverbrennung – Kombination aus Metallrecycling und Verbrennung – Recycling ohne Demontage – Recycling mit Demontage 	<ul style="list-style-type: none"> – Lebenserwartung: 20 Jahre – Durchschnittlicher Reparaturverlauf – Strommix für Nachtverbrauch

Die Photovoltaik-Anlagen-Perspektive

Zunächst ist es sinnvoll, im Rahmen einer LCA die Beschränkungen der Ergebnisse zu bedenken: Ein Wechselrichter ist nur ein Teil einer Photovoltaik-Anlage. Daher folgt

¹⁹ Alle Variationen und spezifischen Werte des Szenarios konnten vom Team des Fraunhofer IZM nicht überprüft werden, weil die Komplexität und die Zahl der Resultate sehr hoch sind (es sind mindestens mehrere Tausend detaillierte Variationen möglich). Ungeachtet dessen wurden der allgemeine Aufbau und die Modellierung der LCA geprüft, und alle Szenarien folgen der gleichen Methodik zur Gewährleistung möglichst großer Einheitlichkeit.

unten eine Übersicht der Photovoltaik-Anlagenebene, um eine Vorstellung von den jeweiligen Beiträgen der einzelnen Teile einer Photovoltaik-Anlage (Solarmodule, Wechselrichter usw.) zu vermitteln. Informationen zum Carbon Footprint der Solarmodule wurden der LCA-Datenbank ecoinvent entnommen und mit Ergebnissen einer von Fronius durchgeführten Literaturrecherche kombiniert.

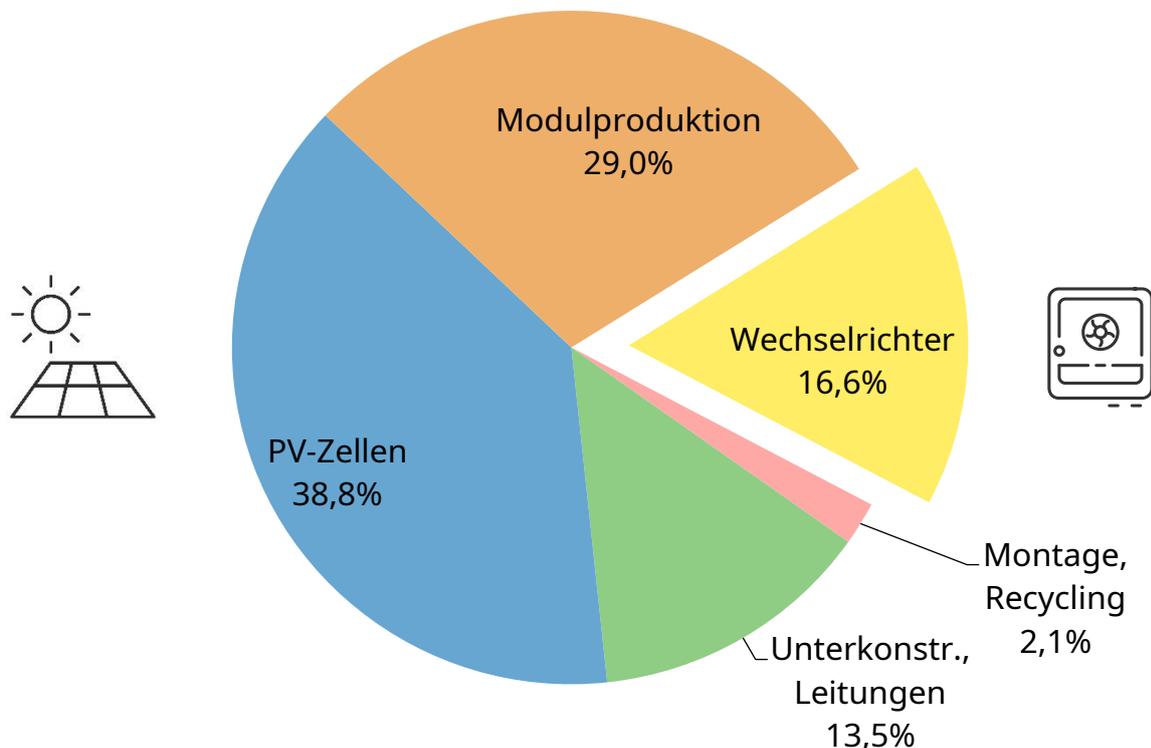


Abbildung 2: Relativer Beitrag des PV-Wechselrichters (australisches Szenario) zum Carbon Footprint der Photovoltaik-Anlage („Photovoltaik-Anlagen-Perspektive“).

Daher zeigt Abbildung 2 eine Übersicht auf der Anlagenebene, wobei die Anteile je nach Daten oder Szenarien leicht variieren können (um einige Prozent). Das Element „Balance of Systems“ („BoS“ in Abbildung 2) beinhaltet zusätzliche Bauteile, die für eine Photovoltaik-Anlage benötigt werden (unterstützende Infrastruktur, Verdrahtung, Kabel usw.).

Im gewählten Szenario ist der Wechselrichter für 16,6 % der Umweltwirkung der gesamten Photovoltaik-Anlage verantwortlich (dies kann je nach Szenario zwischen 9,30 % und 34,54 % variieren).

Der Carbon Footprint des GEN24 & GEN24 Plus Symo 10.0 kW in verschiedenen Lebenszyklusphasen

In den folgenden Grafiken liegt der Fokus auf dem Wechselrichter, für den primäre und zuverlässige Daten gesammelt werden konnten und für den detailliertere Analysen durchgeführt wurden. Die folgende Grafik zeigt den Carbon Footprint des

Wechselrichters allein (jedoch angeschlossen an eine Photovoltaik-Anlage) in Absolutwerten von kg CO₂-Äquivalenten (kg CO₂e).

Carbon Footprint (kg CO₂e)

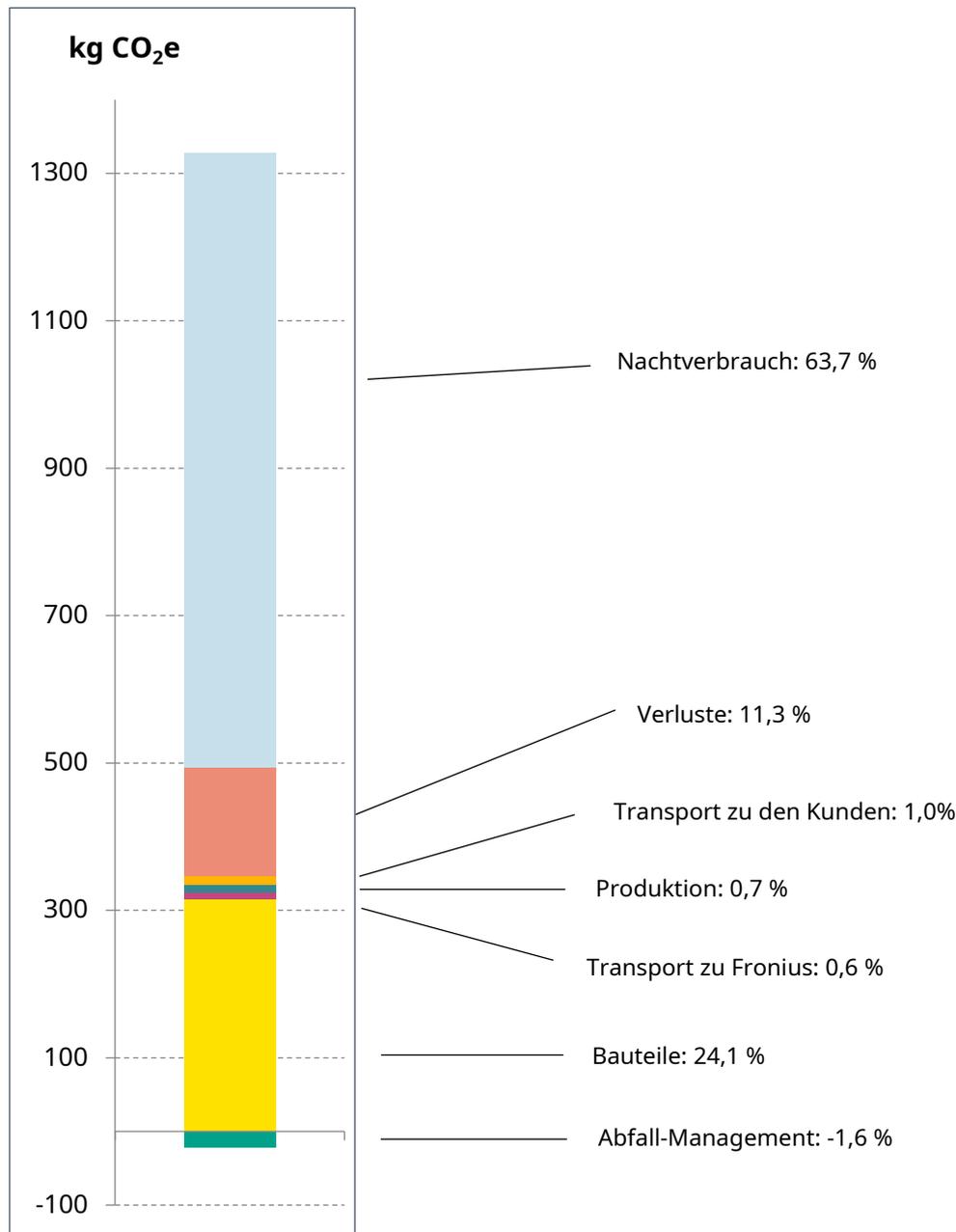


Abbildung 3: Carbon Footprint des Symo GEN24 10.0 [Plus] in Absolutwerten und in relativen Anteilen in den verschiedenen Lebenszyklusphasen. Die Grafik unterstreicht die Wichtigkeit der Beschaffungsphase und der Nutzungsphase.

In Abbildung 3 ist zu sehen, dass der gesamte Carbon Footprint des Symo GEN24 10.0 [Plus] bei 1307,0 kg CO₂e liegt (1327,9 kg CO₂e mit einer „Umweltgutschrift“ von -20,9 kg

CO₂e aufgrund der Abfallhandhabung). Darüber hinaus lassen sich mehrere wichtige Botschaften oder Interpretationen ableiten:

- Die Produktionsphase der Bauteile: Die für die Bauteile (Metalle, Elektronikbauteile, Kunststoffe usw.) erforderlichen Produktionsprozesse verursachen einen erheblichen Teil (fast ein Viertel) des Carbon Footprint des Wechselrichters. Dies verdeutlicht, welche wichtige Rolle die Lieferkette spielt und dass eine gemeinsame Anstrengung aller Beteiligten entlang der Lieferkette notwendig ist, um die Umweltleistung der Wechselrichter in der Zukunft weiter zu verbessern. In diesem Zusammenhang wurden bereits relevante Maßnahmen umgesetzt. So besteht zum Beispiel das wichtigste Metallbauteil des Wechselrichters zu über 90 % aus Recycling-Aluminium.
- Die Produktionsphase: Die Montage des Wechselrichters am Fertigungsstandort von Fronius ist nur für einen begrenzten Anteil des Carbon Footprint verantwortlich (0,7 % in diesem Szenario). Dies zeigt, dass der Produktionsprozess bereits optimiert ist. Außerdem stammt die am Fertigungsstandort von Fronius genutzte Energie aus erneuerbaren Quellen (grüner Stromvertrag und lokale Photovoltaik-Anlage). Mit den Photovoltaik-Anlagen an den Fertigungsstandorten produziert Fronius über 2000 MWh Solarenergie pro Jahr.
- Der Transport der Komponenten zu Fronius und der Transport der Fronius-Wechselrichter zu den Kunden: Diese Schritte verursachen ebenfalls nur einen begrenzten Anteil des Carbon Footprint eines Wechselrichters. Der Grund dafür ist im Wesentlichen, dass Fronius Luftfracht nach Möglichkeit vermeidet und eher auf Züge, LKW oder Seefracht setzt, was einen relativ kleinen Carbon Footprint ergibt (kombiniert weniger als 2 %).
- Die Verluste: Jedes Produkt hat einen eigenen Carbon Footprint (vergleichbar mit dem „CO₂-Rucksack“ oder einer „CO₂-Schuld“), der sich aus allen im Hintergrund ablaufenden Fertigungsprozessen, dem Transport und so weiter ergibt. Folglich hat auch der elektrische Strom aus einer Photovoltaik-Anlage einen CO₂-Rucksack (mit einem Wert von ungefähr 15-80 g CO₂e/kWh), der jedoch kleiner ist als der CO₂-Rucksack von elektrischem Strom aus dem Netz (etwa 100-1200 g CO₂e/kWh, je nach Land). Der Symo GEN24 10.0 [Plus] ist modelliert mit einem von der Software PVSol definierten Verlustwert unter Berücksichtigung der Sonneneinstrahlung des jeweiligen Landes (dies ist detaillierter als der Euro-Wirkungsgrad). Im australischen Szenario sind die Wechselrichterverluste mit 2,25 % beziffert, was bedeutet, dass eine gewisse Strommenge von den PV-Modulen mit ihrem CO₂-Rucksack als Wärme verloren geht. 2,25 % ist ein relativ niedriger Wert (je nach Szenario liegt der Wert zwischen 2,25 und 4,30 %), doch der PV-Wechselrichter wird 20 Jahre lang genutzt, so dass die Verluste über die gesamte Lebensdauer summiert werden müssen. Selbst beim hohen Wirkungsgrad des Symo GEN24 10.0 [Plus] (97,75% gemäß der PVSol-Modellierung), führt dieser Effekt zu den

Verlusten (in der Nutzungsphase) und trägt nennenswert zum gesamten Carbon Footprint bei (11,3 %).

- Der Nachtverbrauch: In diesem Szenario wird angenommen, dass die Photovoltaik-Anlage an ein Netz mit dem australischen Energiemix angeschlossen ist und dass der PV-Wechselrichter im Jahresmittel 12,10 Stunden im „Nachtmodus“ läuft. Aufgrund des relativ hohen Carbon Footprint des australischen Energiemixes ist der Carbon Footprint des Nachtverbrauchs erheblich (833,0 kg CO₂e, entsprechend 63,7 % des gesamten Carbon Footprint des Wechselrichters). Würde der Strom für den Nachtverbrauch jedoch aus erneuerbaren Quellen stammen, wäre der entsprechende Carbon Footprint des Nachtverbrauchs deutlich geringer (38,3 kg CO₂e, was einem Anteil von 7,5 % entspräche). Der relative Beitrag des PV-Wechselrichters zur Umweltwirkung im Verhältnis zur restlichen Photovoltaik-Anlage nimmt daher also ab und sinkt in den Bereich von 6,94 % bis 15,76 %, je nach Szenario (anstelle von 9,30 % bis 34,53 %, siehe die Anmerkungen unter Abbildung 2). Daher muss der Nachtverbrauch des PV-Wechselrichters so weit wie möglich reduziert werden, etwa durch Versorgung mit Strom aus erneuerbaren Quellen.
- Das Abfall-Management: Fronius folgt der WEEE-Richtlinie und ist bemüht, die Recyclingfähigkeit seiner Produkte zu erhöhen. Daher lässt sich eine Umweltgutschrift (negativer Wert im Säulendiagramm in Abbildung 3) durch die Ersetzung und Vermeidung der Gewinnung neuer Rohstoffe und durch verringerten Energiebedarf erzielen. Die verantwortungsvolle und bewusste Nutzung der Ressourcen unseres Planeten ist eine Kernverpflichtung von Fronius und erhöht den Umweltnutzen.

Vergleich zwischen Gewicht und Carbon Footprint

Aus den Ergebnissen des LCA lässt sich auch der relative Beitrag der einzelnen Bauteile des Wechselrichters Symo GEN24 10.0 [Plus] selbst ablesen, wie die folgenden Abbildungen zeigen:

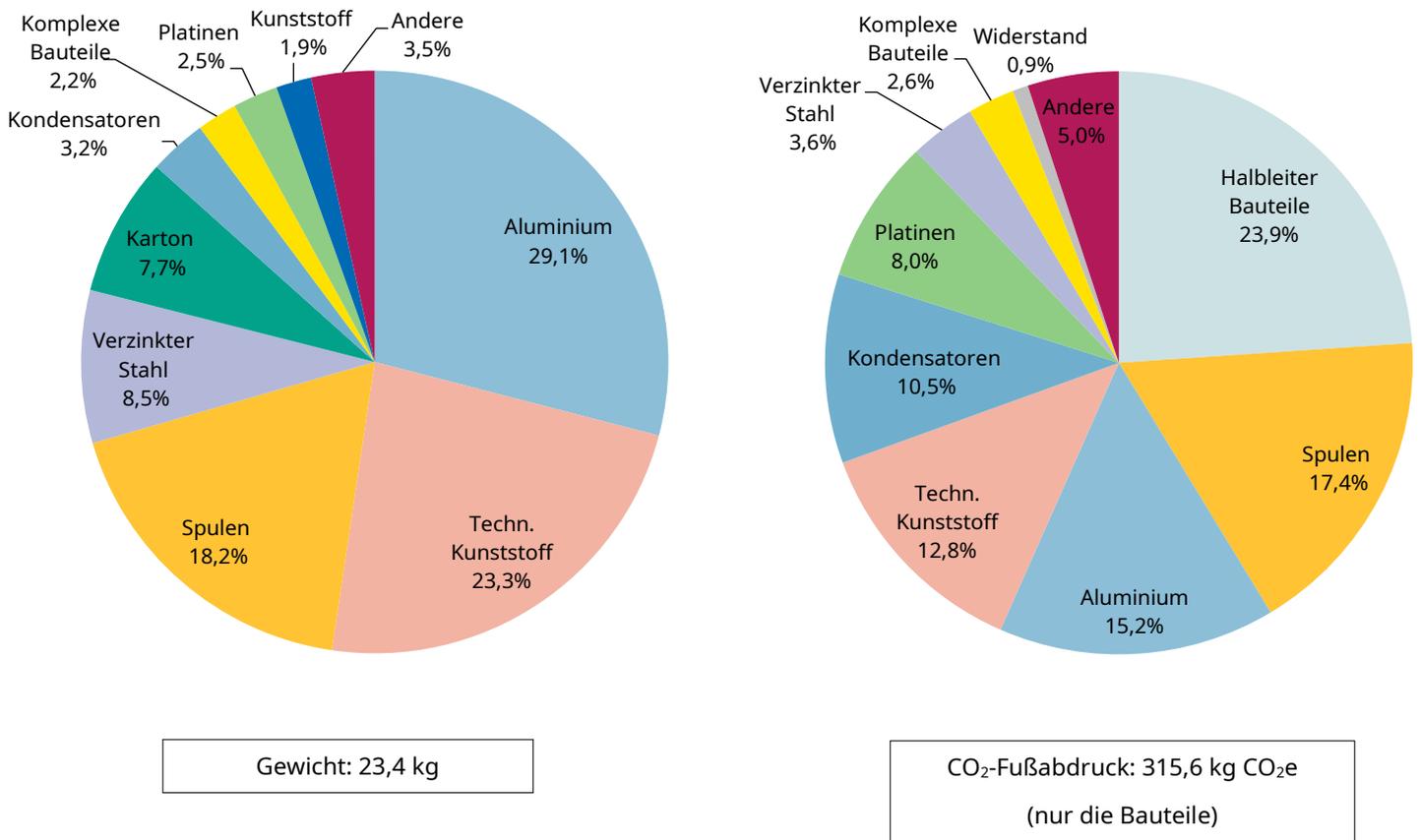


Abbildung 4: **Relativer Beitrag der Bauteile des Symo GEN24 10.0 [Plus] nach Gewicht (links, in % kg) und nach Carbon Footprint (rechts, in % kg CO₂e).** Die Abbildung zeigt, dass einige Elemente mit relativ geringem Gewichtsanteil erheblich zum Carbon Footprint beitragen.

Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, steuert Aluminium zwar den größten Gewichtsanteil bei, jedoch einen im Verhältnis kleineren Anteil zum Carbon Footprint des Symo GEN24 10.0 [Plus], fast um das Zweifache verringert. Andererseits steuern die Kondensatoren nur 3,2 % zum Gewicht bei, verursachen aber 10,5 % des Carbon Footprint. Bei den Halbleitern (ICs und Transistoren) ist es mit 0,1 % Gewichtsanteil, jedoch 23,9 % des Carbon Footprint, sogar noch auffälliger. Diese LCA-Ergebnisse zeigen, dass Elemente mit geringem Gewicht aufgrund der energieintensiven Prozesse in vorgelagerten Stufen (Produktion, Veredelung usw.) eine erhebliche Umweltwirkung haben können. Im Vergleich haben technische Kunststoffe ebenfalls einen relativ geringen Carbon Footprint (12,8 %) im Verhältnis zu ihrem Gewicht (23,3 %).

End-of-Life-Management

Im Hinblick auf das Abfall-Management zeigen die LCA-Ergebnisse, dass der Umweltnutzen bei umfangreicheren Maßnahmen zum End-of-Life-Management entsprechend größer ist, was Abbildung 5 zu entnehmen ist. Die negativen Werte zeigen die Gutschrift für die Ersetzung von Rohstoffen oder fossilen Energien.

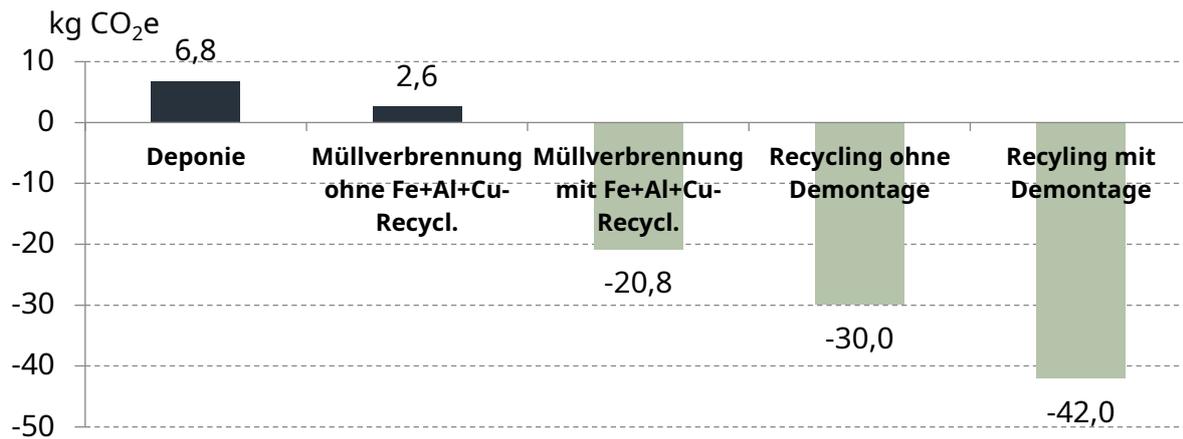


Abbildung 5: **Umweltkosten oder Umweltnutzen in der End-of-Life-Phase des Symo GEN24 10.0 [Plus]**. Die Option der Deponierung verursacht zusätzliche Emissionen. Der Umweltnutzen erhöht sich bei Wiederverwendung der Metalle und ist optimal mit Demontage.

Des Weiteren bestätigen die LCA-Ergebnisse, dass die von Fronius durchgeführten Reparaturprozesse im Vergleich zur Ersetzung des gesamten Produkts einen Umweltnutzen erbringen. Wenn zum Beispiel das Leistungsteil nach 20 Jahren ersetzt wird, ermöglicht dies eine Verlängerung der Lebensdauer des Wechselrichters um 20 Jahre. Da die Lebensdauer des Wechselrichters im Wesentlichen von der Funktion des Leistungsteils abhängig ist, können nach dieser Reparatur alle anderen Teile des Wechselrichters länger verwendet werden. Abgesehen davon können bei Reparatur eines vorhandenen Gerätes die Emissionen der Fertigung eines komplett neuen Gerätes (bei einem Austausch) vermieden werden, was bis zu etwa 300 kg CO₂e einspart.

3.2 Umweltnutzen des Symo GEN24 10.0 [Plus]

Nach diesem Überblick über den Carbon Footprint des Symo GEN24 10.0 [Plus] wird im Folgenden der Umweltnutzen des Gerätes beschrieben.

Die Nutzung von Strom aus einer Photovoltaik-Anlage mit einem Symo GEN24 10.0 [Plus] in Australien würde zu einem durchschnittlichen Carbon Footprint von **21,07 g CO₂e/kWh** führen. Im Vergleich dazu ergibt sich bei Nutzung von **Netzstrom aus dem australischen Energiemix** ein Carbon Footprint von **600 bis 950 g CO₂e/kWh** (ca. 28- bis 45-mal höher, unter anderem aufgrund der Nutzung von Kohle)²⁰.

Im Vergleich entsprechen die von der gesamten Photovoltaik-Anlage (nicht nur vom Wechselrichter) über 30 Jahre eingesparten CO₂-Emissionen dem Effekt von 1200 eingepflanzten Bäumen²¹. Ein weiterer großer Vergleich kann mit benzinbetriebenen Autos angestellt werden, wobei von 5 l/100 km ausgegangen wird. Auf Basis der ecoinvent-Datenbank würden die Vorteile einer Photovoltaik-Anlage mit Symo GEN24 10.0 [Plus] in Australien über 30 Jahre hinweg (Vorteil der gesamten Photovoltaik-Anlage, nicht nur der Anteil des Wechselrichters) zu Einsparungen von CO₂-Emissionen führen, die rund **3.663.083 km** mit dem Auto gefahrenen Kilometern entsprechen. Für das gleiche Nutzungsszenario der Photovoltaik-Anlage ergäben sich eingesparte CO₂-Emissionen entsprechend rund **240 Rundflügen von Wien nach New York**²².

Auf Grundlage der LCA-Ergebnisse liegt die **CO₂-Amortisationszeit** (die Zeit, die benötigt wird, bis die vermiedenen CO₂-Emissionen die CO₂-Emissionen des Produkts ausgeglichen haben) für die gesamte Photovoltaik-Anlage (30 Jahre – 1,5 Wechselrichter) im Bereich von **0,7 bis 3,3 Jahren**, je nach Szenario. Für das präsentierte australische Szenario liegt der Wert bei 0,7 Jahren. Nach dieser Amortisationszeit **spart eine Photovoltaik-Anlage mit Symo GEN24 10.0 [Plus] im Vergleich zur Entnahme von Strom aus dem Netz CO₂-Emissionen ein** und erzeugt so eine positive Wirkung für die Umwelt. Wenn eine Photovoltaik-Anlage 30 Jahre lang einen Symo GEN24 10.0 [Plus] nutzt, kann die Summe der vermiedenen **CO₂-Emissionen** bis zu **44,9-mal höher** sein als die Summe der CO₂, die für den gesamten Lebenszyklus der gesamten Photovoltaik-Anlage benötigt werden.

²⁰ Durchschnitt auf Basis von: <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-2020-21>

²¹ Basierend auf folgendem 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/>)

²² Die Berechnung der Flugemissionen basiert auf: https://co2.myclimate.org/en/flight_calculators/new. Die Werte für Bäume, Autokilometer und Flüge dienen hier lediglich zu Vergleichszwecken; es handelt sich dabei nicht um standardisierte oder validierte Zahlen (abhängig von der verwendeten Quelle).

Die **Energieamortisationszeit** liegt im Bereich von **0,6 bis 1,8 Jahren** (0,7 Jahre beim vorliegenden Szenario). Nach Ablauf dieser Amortisationszeit hat die Photovoltaik-Anlage die für seine gesamte Lebensdauer erforderliche Energie produziert (für Fertigung, Transport usw. erforderliche Energie). Anschließend produziert die Photovoltaik-Anlage „zusätzliche Energie“, die **einen Energie-Mehrwert für das Ökosystem erbringt**.

Wenn eine Photovoltaik-Anlage 30 Jahre lang als Wechselrichter einen Symo GEN24 10.0 Plus nutzt, kann die Gesamtmenge der **erzeugten Energie** bis zu **43,0-mal größer** sein als die Gesamtmenge an Energie, die für den gesamten Lebenszyklus der gesamten Photovoltaik-Anlage benötigt wird.

3.3 Ergebnisse der LCA in verschiedenen Szenarien

Da die Ergebnisse der LCA von vielen verschiedenen Faktoren abhängig sind, gibt es auch diverse Szenarien. Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Ergebnisse für ein sehr praxisnahes Szenario in mehreren Ländern.

Datenbasis für die Szenarien:

Gerät	Symo GEN24 10.0 [Plus]
Lebensdauer (Wechselrichter)	20 Jahre
Lebensdauer (Photovoltaik-Anlage und PV-Module)*	30 Jahre
Eingebetteter Carbon Footprint der PV-Module	984 kg CO ₂ e/kWp
End-of-Life-Variante für den Wechselrichter	Kombination aus Metallrecycling und Verbrennung
End-of-Life-Variante für Verpackungen aus Pappe	Abfallverbrennung
End-of-Life-Variante für Verpackungen aus Kunststoff	Abfallverbrennung
Nachtverbrauch	Aus dem Netz mit dem nationalen Energiemix

*Für die Lebensdauer der gesamten Photovoltaik-Anlage (Wechselrichter, PV-Module usw.) werden 1,5 Wechselrichter veranschlagt, da die vermutete Lebensdauer des Wechselrichters 20 Jahre beträgt und die der PV-Module 30 Jahre.

Land	Australien	Österreich	Brasilien	Deutschland	Einheit
Carbon Footprint PV-Wechselrichter	1307,04	787,01	695,25	953,19	kg CO ₂ e
Relativer Anteil am Carbon Footprint PV-Wechselrichter/Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	16,61 %	10,71 %	9,58 %	12,69 %	%
Energieamortisationszeit PV-Wechselrichter (20 Jahre)	0,47	0,95	0,57	0,69	Jahre
Energieamortisationszeit Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	0,71	1,43	0,86	1,03	Jahre
CO ₂ -Amortisationszeit PV-Wechselrichter (20 Jahre)	0,45	1,74	1,69	1,19	Jahre
CO ₂ -Einsparungen PV-Wechselrichter (20 Jahre)	-58,49	-9,03	-8,25	-15,98	Tonnen CO ₂ e
CO ₂ -Amortisationszeit Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	0,67	2,62	2,53	1,79	Jahre
CO ₂ -Einsparungen Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	-528,10	-126,40	-129,10	-188,94	Tonnen CO ₂ e
Land	Ungarn	Polen	USA - NY	USA - LA	Einheit
Carbon Footprint PV-Wechselrichter	915,89	1423,49	703,58	847,53	kg CO ₂ e
Relativer Anteil am Carbon Footprint PV-Wechselrichter/Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	12,25 %	17,83 %	9,69 %	11,44 %	%
Energieamortisationszeit PV-Wechselrichter (20 Jahre)	0,43	0,78	0,46	0,60	Jahre
Energieamortisationszeit Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	0,64	1,16	0,69	0,90	Jahre
CO ₂ -Amortisationszeit PV-Wechselrichter (20 Jahre)	1,26	0,69	1,91	1,00	Jahre
CO ₂ -Einsparungen PV-Wechselrichter (20 Jahre)	-14,50	-41,10	-7,36	-16,96	Tonnen CO ₂ e
CO ₂ -Amortisationszeit Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	1,90	1,04	2,87	1,50	Jahre
CO ₂ -Einsparungen Photovoltaik-Anlage (30 Jahre)	-177,53	-345,79	-113,96	-222,39	Tonnen CO ₂ e

4 Fazit: Der nächste Schritt

Nach erfolgreicher Durchführung einer LCA werden nun im Folgenden Informationen zur weiteren Verwendung der LCA und zu den weiteren Schritten auf dem Fronius-Nachhaltigkeitspfad gegeben.

4.1 Verwendung und Qualität der LCA

Die LCA des GEN24 [Plus] ist ein wichtiger neuer Schritt für die Nachhaltigkeitsaktivitäten bei Fronius. Klare Erkenntnisse auf Grundlage wissenschaftlicher Fakten wurden in Bezug auf den Wechselrichter erlangt und können nun genutzt werden, um weitere Produkte mit noch geringerer Umweltwirkung zu entwickeln. Darüber hinaus zeigen die LCA-Ergebnisse die eindrucksvolle Umweltleistung des Fronius GEN24 [Plus], und sie können als Belege dienen, wenn Nachhaltigkeitsforderungen gestellt werden (Anforderungen, Ausschreibungen usw.).

Da LCAs in den nächsten Jahren immer häufiger genutzt werden, wird es vermutlich Versuchen geben, die LCA-Ergebnisse unterschiedlicher Unternehmen zu vergleichen. In diesem Zusammenhang sollte ein vorsichtiger und kritischer Ansatz verfolgt werden. Vergleiche zwischen LCAs sind ziemlich herausfordernd, denn der Umfang des analysierten Systems kann ja nach angewandeter Methodik verschieden sein, und auch die Datenquellen können deutlich voneinander abweichen. Es gibt bisher noch kein einheitliches und international anerkanntes LCA-Rahmenwerk (insbesondere nicht für die anzuwendende Methodik), so dass sich potenziell variable Ergebnisse zeigen können. In diesem Kontext sind uneingeschränkte Transparenz und Kommunikation in Bezug auf die LCA-Modellierung, die Systemdefinitionen und die verwendete Methodik notwendig. Trotz der aktuellen Schwierigkeiten im Bereich der LCA-Methodik will Fronius hochwertige Ergebnisse liefern, die so repräsentativ und belastbar wie möglich sind. Die LCA wurde in Partnerschaft mit Harald Pilz (to4to) durchgeführt, ein Experte für Nachhaltigkeitsanalysen mit umfangreicher Erfahrung im LCA-Bereich. Die Überprüfung der LCA durch das Fraunhofer IZM nach ISO 14040/44 ist eine weitere konkrete Maßnahme zur Stützung dieses Ansatzes. Das LCA-Review sollte die Qualität und Einheitlichkeit der durchgeführten LCA-Schritte prüfen, bestätigen und unterstützen. Das Fraunhofer IZM ist eine bestens bekannte Einrichtung und international anerkannt für sein Fachwissen und seine Expertise im Bereich der Elektronik und der Photovoltaik-Anlagen, auch im Hinblick auf LCAs und Prüfungsverfahren²³. Während der Überprüfung der Fronius-LCA wurden zu den elektronischen Bauteilen, den Gehalten und der Rückgewinnung von Materialien sowie zur Validität von Sekundärdaten umfangreiche Recherchen unternommen und Gespräche geführt. Der LCA-Bericht und die allgemeine Modellierungsstruktur

²³ Beispiel eines LCA für Mobiltelefone: https://www.fairphone.com/wp-content/uploads/2020/07/Fairphone_3_LCA.pdf

wurden kontrolliert und ein Prüfungsbericht des Fraunhofer IZM steht auf der Fronius-Website zur Verfügung: [Prüfbericht](#)

Darüber hinaus beteiligt sich Fronius aktiv an Gesprächen mit europäischen Behörden und Verbänden, um einen einheitlichen und homogenen LCA-Bezugsrahmen in Europa zu fördern. In der Zwischenzeit können einige Schlüsse gezogen oder Vergleichsaspekte betrachtet werden, sofern man mit Bedacht und auf Basis von Einzelfällen vorgeht.

4.2 Die nächsten Schritte in die Zukunft: Auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit

Anhand der umfangreicheren Kenntnis und des Bewusstseins für die Umweltleistung des GEN24 [Plus] konnte die LCA mehrere Chancen zur nochmaligen Steigerung der Nachhaltigkeitsleistung zukünftiger Fronius-Geräte aufzeigen.

Auf Basis dieser Erkenntnisse werden spezifische Anforderungen definiert und in Produktentwicklungsprozessen bearbeitet, und dies unterstreicht das Engagement von Fronius für die Nachhaltigkeit. Ein starker Fokus wird auf lange Lebensdauer, Reparaturfähigkeit und Recycling-Optionen der elektronischen Bauteile gelegt. Es wird Investitionen geben, um die Materialien und die Energieeffizienz in der Lieferkette, in der Fertigungs- und in der Nutzungsphase weiter zu optimieren bis hin zur Nutzung nachhaltiger und wiederverwerteter Produkte. So wird die Leistung nicht nur dem Kunden zugutekommen, sondern auch der Umwelt. Fronius will die Nachhaltigkeitsleistung seines Portfolios weiterhin erfolgreich verbessern.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das LCA-Projekt für den GEN24 [Plus] Fronius tiefgreifende Kenntnisse der Umweltleistung seines Produkts auf verschiedenen Ebenen (Bauteile, Prozesse usw.) gebracht hat. Diese Analyse kann aktiv genutzt werden, um noch nachhaltigere Produkte zu entwickeln und eine Vielzahl verschiedener Nachhaltigkeitsvorgaben und Anforderungen für Wechselrichter und Photovoltaik-Anlagen zu erfüllen.

Die LCA stärkt die führende Position von Fronius bei der Nachhaltigkeit von Photovoltaik-Anlagen und kann dazu beitragen, dass auf Basis wissenschaftlich belegter Fakten umweltfreundliche Anlagen eingeführt werden.

Die Detailtiefe, der Umfang, die Flexibilität der Szenarien und die Qualität und Transparenz des gesamten LCA-Prozesses für den GEN24 sind bisher bei LCA nur selten erreicht worden und einzigartig in der Welt der PV-Wechselrichter.