



Sunny Central 4600 UP

Life Cycle Assessment



Inhalt

1. Vorwort	3
2. Was ist eine LCA und welchen Nutzen bietet sie?	4
3. Ziel und Umfang der zusammengefassten LCA	4
4. Life Cycle Inventory Analysis	5
4.1 Untersuchte Lebenszyklusphasen	5
4.2 Datenqualität	6
4.2.1 Produktionsphase	6
4.2.2 Nutzungsphase	7
4.2.3 End-of-Life-Phase	7
5. Life Cycle Impact Assessment – Auswirkungen entlang des Lebenszyklus	8
5.1 Untersuchte Umweltwirkungskategorien	8
5.2 Ergebnisse in der Umweltwirkungskategorie Klimawandel	8
5.2.1 Produktionsphase	10
5.2.2 Nutzungsphase	12
5.2.3 End-of-Life-Phase	12
6. Schlussfolgerungen und abgeleitete Maßnahmen	13

1. Vorwort

Die immer dramatischer fortschreitende globale Klimakrise, Umweltzerstörung, Artenschwund und Rohstoffknappheit durch eine über Jahrhunderte praktizierte lineare Wirtschaftsweise stellen die Menschheit vor nie gekannte Herausforderungen. Vor diesem Hintergrund rückt die Kreislaufwirtschaft immer mehr in den Fokus von Politik, Wirtschaft, Verbrauchern und der breiten Öffentlichkeit. Die Europäische Union stellt mit dem Circular Economy Action Plan (CEAP) als einem der Grundbausteine des European Green Deal die Weichen für einen „grünen“ Umbau der Wirtschaft, die Schaffung von Stoffkreisläufen und höhere Transparenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Diese Ziele müssen auch für die Hersteller von Technologien für erneuerbare Energien höchste Priorität haben. Der schnelle und forcierte Ausbau der globalen Erzeugungskapazitäten für erneuerbare Energien ist ein wichtiger Hebel im Kampf gegen die globale Klimakrise und zur Vermeidung weiterer Umweltzerstörung durch den Abbau von fossilen Brennstoffen. Gleichzeitig ist mit dem dringend benötigten Kapazitätsausbau jedoch ein hoher Aufwand an natürlichen Ressourcen verbunden. Für einen nachhaltigen Umbau der weltweiten Energieversorgungsstrukturen ist es daher elementar, die erforderlichen Technologien über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg im Einklang mit den Prinzipien der Kreislaufwirtschaft so nachhaltig und effizient wie möglich zu gestalten.

Dieses Verständnis ist bei der SMA Gruppe tief verankert. Mit über 4.500 Mitarbeiter*innen in 20 Ländern treiben wir seit über 40 Jahren weltweit den Umbau zu einer klimafreundlichen Stromversorgung auf Basis erneuerbarer Energien mit voran. Unsere Produkte und Lösungen werden auf allen Kontinenten für eine nachhaltige und effiziente Stromerzeugung, -speicherung und -nutzung eingesetzt. In bisher nicht elektrifizierten Gebieten ohne eigenes Stromnetz ermöglichen SMA Insellösungen eine zuverlässige Stromversorgung und somit wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung. Damit zählt die Geschäftstätigkeit der SMA Gruppe direkt auf das UN Sustainable Development Goal 7 „Bezahlbare und saubere Energie“ ein und trägt aktiv zur Bekämpfung der globalen Klimakrise bei.

Das Ziel der ganzheitlichen Nachhaltigkeit mit dem Anspruch, Nachhaltigkeit in allen Unternehmensbereichen zu leben und eine führende Rolle bei der Gestaltung einer besseren Zukunft zu übernehmen, steht im Zentrum unserer Unternehmensstrategie. Nachhaltiges Wirtschaften bedeutet für uns in allen Bereichen der Wertschöpfungskette einen verantwortungsvollen und respektvollen Umgang mit den Menschen, der Umwelt und den Ressourcen bei steigendem Anteil von dezentral erzeugten erneuerbaren Energien an der Versorgung.

Uns ist es wichtig, die Auswirkungen unserer Produkte auf die Umwelt zu kennen, um auf dieser Basis Maßnahmen abzuleiten und die Produktnachhaltigkeit zu verbessern. Ökobilanzen (Life Cycle Assessments; LCAs) unterstützen uns bei der Identifizierung der Einflussfaktoren auf die Nachhaltigkeitsleistung unserer Produkte entlang des Produktlebenszyklus. Um auch für unsere Kunden mehr Transparenz und Objektivität zu schaffen, haben wir, analog zu unserer bereits veröffentlichten LCA für den String-Wechselrichter Sunny Highpower PEAK3, eine weitere LCA für den Zentral-Wechselrichter Sunny Central 4600 UP von externen Expert*innen des Fraunhofer Instituts für Bauphysik IBP erstellen und unabhängig zertifizieren lassen.

In diesem Whitepaper fassen wir die Vorgehensweise bei der Erstellung der LCA zusammen und stellen die wichtigsten Erkenntnisse und Ergebnisse mit Fokus auf dem CO₂-Fußabdruck (EF3.1 Wirkungskategorie Klimawandel) des Sunny Central 4600 UP vor.

2. Was ist eine LCA und welchen Nutzen bietet sie?

Die Lebenszyklusanalyse ist eine etablierte wissenschaftliche Methode zur Quantifizierung der Umweltauswirkungen von Prozessen, Produkten und Dienstleistungen. Die Standardisierung der Methodik in den ISO-Normen 14040 und 14044 gewährleistet einen einheitlichen Ansatz und die erforderliche Transparenz, um ein umfassendes Bild der Nachhaltigkeitsleistungen des analysierten Produkts wiederzugeben. Eine LCA-Studie wird in vier Hauptschritten durchgeführt:

1. Definition von Ziel und Umfang,
2. Lebenszyklusinventaranalyse (Life Cycle Inventory Analysis; LCI),
3. Lebenszyklusfolgenabschätzung (Life Cycle Impact Assessment; LCIA),
4. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse.

Die Definition des Ziels legt die allgemeinen Absichten für die LCA-Studie fest, die sich im Umfang der Studie widerspiegeln müssen. In Übereinstimmung mit diesen Rahmenbedingungen werden in der LCI in einer umfassenden Datensammlung die Input- und Output-Ströme von Material und Energie entlang der Prozesskette erfasst. In der LCIA werden diese Ströme entsprechend ihrem Beitrag zu unterschiedlichen Umweltwirkungskategorien klassifiziert, anhand ihres prozentualen Anteils eingeordnet und über Charakterisierungsfaktoren entsprechend ihrer Wirkung zu Wirkpotenzialen addiert. Auf dieser Basis liefern die Ergebnisse einer LCA tiefgehende Informationen über die Umweltauswirkungen während des gesamten Lebenszyklus des bewerteten Produkts, identifizieren Hotspots sowie potenzielle Vorteile und Risiken und ermöglichen die Ableitung von Maßnahmen für die weitere Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung der untersuchten Produktlinie.

3. Ziel und Umfang der zusammengefassten LCA

Ziel der hier zusammengefassten LCA ist es, sämtliche potenziellen Umweltauswirkungen zu erfassen und zu bewerten, die entlang des Lebenszyklus eines Sunny Central UP 4600 Zentralwechselrichters entstehen. Um fundierte Entscheidungen zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung künftiger Produktgenerationen treffen zu können, sollten auf Basis der Analyse Hot Spots und relevante Parameter im Lebenszyklus des Wechselrichters identifiziert werden.

Der Sunny Central UP ist das leistungsstärkste System von SMA für PV-Großkraftwerke. Mit Systemspannungen von 1.500 VDC, liefert es bis zu 4.600 kVA. Die hohe Leistungsdichte reduziert die Anzahl der innerhalb eines Solar-Kraftwerks benötigten Wechselrichter-Einheiten. Der europäische Wirkungsgrad des Sunny Central 4600 UP liegt bei 98,7 Prozent. Bei korrekter Installation und Betrieb können wir auf Basis von umfangreichen Alterssimulationen für den Wechselrichter eine Lebensdauer

von 25 Jahren nachweisen. Für die vorliegende LCA wurde eine kürzere, für PV-Kraftwerke typische, Lebensdauer von 20 Jahren zugrunde gelegt.

Unabhängige Zertifizierung

Die in diesem Whitepaper zusammengefasste LCA wurde unabhängig von der DEKRA Assurance GmbH überprüft und zertifiziert. Die DEKRA bestätigt neben der Konformität der Erstellung mit den Anforderungen aus ISO 14040 und ISO 14044 eine professionelle Vorgehensweise nach aktuellem Stand der Wissenschaft und Technik sowie eine sehr große Detailtiefe. Darüber hinaus werden die zugrunde liegenden Daten, das Lebenszyklusmodell sowie die Annahmen und Berechnungen als angemessen und valide bezeichnet und führen nach Ansicht der Gutachter zu plausiblen Ergebnissen sowie relevanten Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

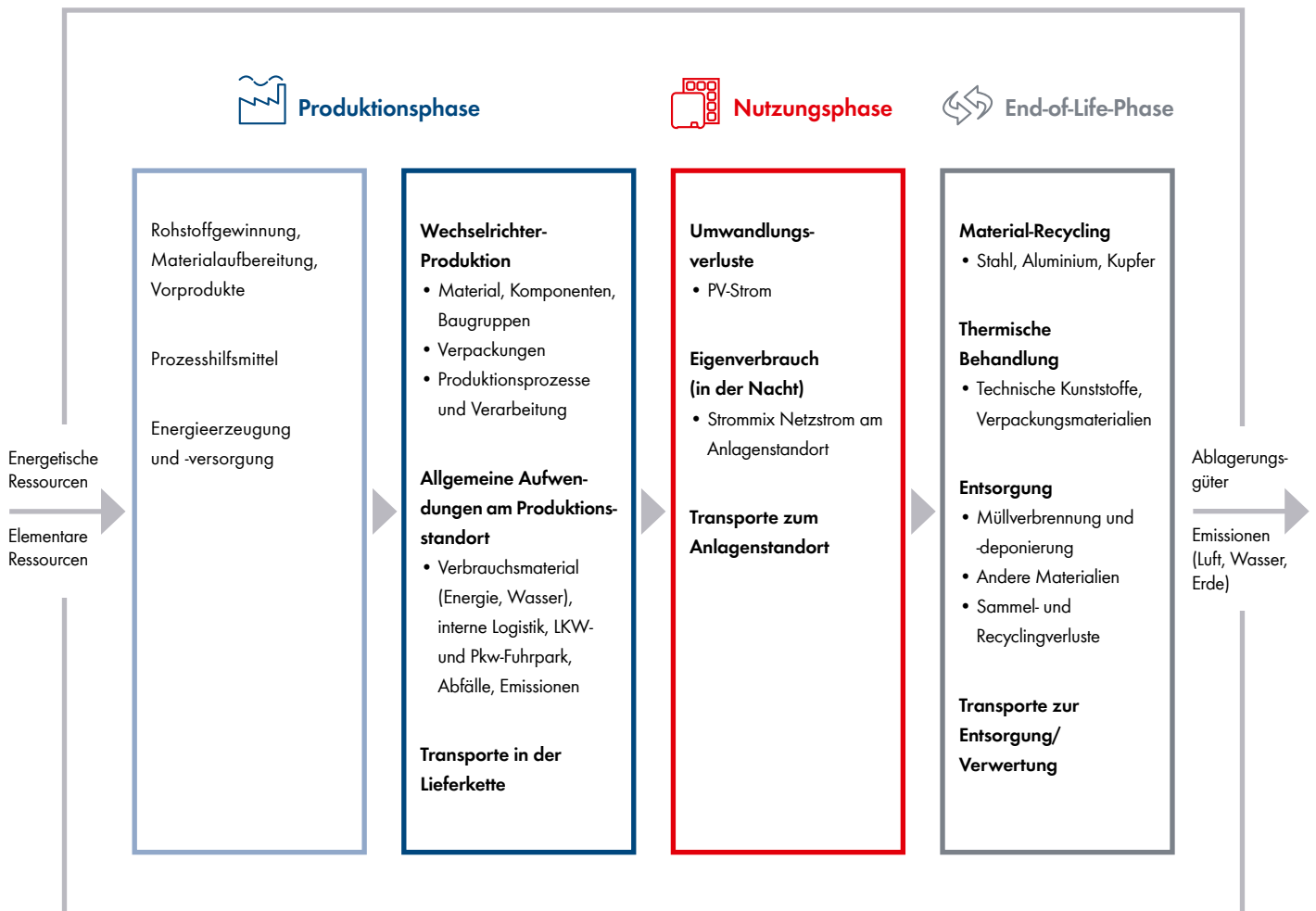
4. Life Cycle Inventory Analysis

4.1 Untersuchte Lebenszyklusphasen

Die Datensammlung für die Untersuchung der Umweltauswirkungen des Sunny Central 4600 UP umfasst den kompletten Lebenszyklus des Wechselrichters (Cradle-to-Grave) mit den drei Lebenszyklusphasen Produktion, Nutzung und End-of-Life. Die Produktionsphase schließt neben der direkten Wechselrichter-Produktion auch die vorgelagerten Prozesse wie Rohstoffgewinnung sowie Aufbereitung und Produktion von Materialien, Vorprodukten und

zugekauften Komponenten mit ein. In der Nutzungsphase lag der Fokus auf den Umwandlungsverlusten sowie dem Stromverbrauch des Wechselrichters im nächtlichen Standby-Modus. In der End-of-Life-Phase wurden die Recycling-, Verwertungs- und Entsorgungsprozesse analysiert. Darüber hinaus wurden auch die relevanten Transporte in den einzelnen Lebenszyklusphasen in die Betrachtung einbezogen.

Systemgrenzen der LCA-Studie



4.2 Datenqualität

Um eine möglichst vollständige Datenerfassung sowie eine sehr hohe Datenqualität und Transparenz über den gesamten Lebenszyklus des Wechselrichters zu gewährleisten lieferte SMA Daten zur Produktkonfiguration, den eingesetzten Materialien, der Produktion und der Nutzungsphase. Diese umfassen unter anderem eine detaillierte Produktstückliste (Bill of Materials, BOM) sowie weitere Informationen zu den verwendeten Komponenten und Materialien, Informationen über die Zulieferer, eine detaillierte Dokumentation des gesamten Fertigungsprozesses in der SMA Wechselrichter-Produktion sowie simulierte Betriebsprofile für die untersuchten Anwendungsfälle mit hochauflösenden Daten zu den technischen Schlüsselparametern in den einzelnen Betriebspunkten auf Minutenbasis.

Zusätzliche Informationen wurden in Interviews mit SMA Expert*innen aus den Bereichen Produktentwicklung, Supply Chain Management, Material Compliance, Einkauf und Nachhaltigkeit zusammen-

getragen. Die Daten wurden von den Expert*innen des Fraunhofer IBP überprüft und einer Plausibilitätskontrolle unterzogen.

Dort, wo im Bereich der Hintergrundprozesse (Produktion von Zuliefermaterialien und elektronischen Bauteilen, Prozesshilfsmittel und Energiebereitstellung in der vorgelagerten Prozesskette) keine Primärdaten zur Verfügung standen, wurde für die Systemmodellierung die renommierte Produktnachhaltigkeitssoftware LCA for Experts (GaBi) herangezogen und durch LCI-Modelle des Fraunhofer IBP ergänzt. Die GaBi-Datenbanken gehören mit über 15.000 regions- und länderspezifischen Datensätzen zu den größten konsistenten Datenbanken am Markt. Alle Datensätze werden in Übereinstimmung mit ISO 14044 erstellt und jährlich aktualisiert. Für die Ökobilanzierung von Elektronikprodukten steht eine Zusatz-Datenbank mit über 250 Datensätzen zur Verfügung, die eine möglichst genaue Abbildung spezifischer elektronischer Baugruppen ermöglicht.

4.2.1 Produktionsphase

Für die Produktionsphase wurde der gesamte Entstehungsprozess des Wechselrichters betrachtet, von der Rohstoffgewinnung bis zur Auslieferung an den Kunden. Grundlage für die Modellierung der Produktionsphase war die Produktstückliste des Sunny Central 4600 UP. Sie liefert detaillierte Informationen zur Struktur der Bauteile und Komponenten im Produkt, zu den verwendeten Materialien und zu den Arten von mechanischen und elektronischen Bauteilen und Baugruppen. Zusätzliche Primärdaten wurden unter anderem aus Stücklisten vom Lieferanten der Drosseln, Datenbankauszügen zum Produktdesign der verwendeten unbestückten Leiterplatten, technischen Datenblättern der verwendeten mechanischen und elektromechanischen Bauteile sowie aus dem Compliance Tool Silicon Experts gezogen. Auf diese Weise wurde die vollständige Massenbilanz des Wechselrichters in den Bestandsdaten abgebildet. Außerdem blieb bei diesem Ansatz die detail-

lierte Struktur der Bauteile und Komponenten im Produkt, so wie sie in der Stückliste dargestellt ist, erhalten.

Die Auswirkungen der Transporte wurden auf Basis der Gesamtmasse der entsprechenden Komponenten und Bauteile berechnet, die aus den jeweiligen Herkunftsländern der Lieferanten in die SMA Wechselrichter-Produktion am Hauptstandort Niestetal/Kassel geliefert wurden.

Zur Berechnung der allgemeinen Aufwendungen am Produktionsstandort wurden die jährlich für die gesamte SMA Wechselrichter-Produktion am Hauptstandort Niestetal/Kassel aggregierten Daten zu Energieverbrauch, Wasserverbrauch, Kraftstoffverbrauch des Fuhrparks und Abfallmengen auf eine Wechselrichter-Einheit (Nennleistung 4600 kW) heruntergerechnet.

4.2.2 Nutzungsphase

Die Nutzungsphase hat aufgrund ihrer langen Dauer einen erheblichen Einfluss auf die Umweltauswirkungen des Wechselrichters. Der Sunny Central 4600 UP ist für den Betrieb in PV-Kraftwerken mit bis zu 200 Prozent Überdimensionierung ausgelegt. Die Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase sind stark von der Nutzungsdauer sowie den spezifischen Randbedingungen der einzelnen Installation abhängig, wie z. B. den geographischen Gegebenheiten am Standort des PV-Kraftwerks, dem Anlagenaufbau, den genutzten PV-Modulen und weiteren Anlagenkomponenten sowie dem regionalen Strommix des für die Blindleistungsbereitstellung während der Nacht genutzten Netzstroms.

Für die Modellierung der Nutzungsphase wurden daher verschiedene Nutzungsszenarien betrachtet. Grundlage sind Daten aus zum Zeitpunkt der Studiererstellung aktuell betriebenen PV-Anlagen, die für den Einsatz des Sunny Central 4600 UP typische Randbedingungen aufweisen. Die Anlagen befinden sich an den folgenden Standorten in den Hauptzielmärkten des Wechselrichters:

- Tucson, Arizona (USA)
- Denver, Colorado (USA)
- San Francisco, Kalifornien (USA)
- Sevilla (Spanien)
- Kassel (Deutschland)

In den betrachteten Anwendungsfällen wird berücksichtigt, dass ein Sunny Central 4600 UP Wechselrichter mit einer Nennleistung von 4.600 kW an einen PV-Generator mit einer Leistung von 6.900 kW angeschlossen werden kann (150 Prozent Überdimensionierung). Dies ist zur optimalen Ausnutzung des Wechselrichters in der Praxis üblich.

Für die Berechnung der Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase sind die Verluste bei der Umwandlung des in den Solarmodulen erzeugten Gleichstroms in Wechselstrom durch den Wechselrichter sowie der nachts im Standby-Modus des Wechselrichters aus dem Netz bezogene Strom die bedeutendsten Faktoren. Für die Modellierung der Nutzungsphase wurden daher die jeweiligen regionalen Stromerzeugungsprozesse aus Photovoltaik zur Berechnung der potenziellen Umweltauswirkungen durch Umwandlungsverluste sowie der jeweilige regionale bzw. länderspezifische Strommix für den aus dem Netz bezogenen Fremdstromverbrauch in der Nacht basierend auf den entsprechenden GaBi-Datensätzen herangezogen. Zusätzlich flossen die Transportwege vom Produktionsstandort Niestetal/Kassel zu den Einsatzorten der Wechselrichter mit in die Betrachtung der Nutzungsphase ein. Eine Wartung, Instandhaltung oder Reparatur der Wechselrichter wurde hingegen nicht berücksichtigt.

4.2.3 End-of-Life-Phase

Die Analyse der potenziellen Umweltauswirkungen am Ende des Lebenszyklus des Wechselrichters basiert auf einem generischen LCA-Modell, das zur Abbildung der materialspezifischen Recycling-, Verwertungs- und Entsorgungsprozesse verwendet wurde. Dafür wurden die im Wechselrichter verbauten Materialien entsprechend ihren Verwertungsmöglichkeiten klassifiziert. Die materialspezifischen Recycling-, Verwertungs- und Entsorgungsprozesse wurden anhand der verfügbaren Datensätze aus den GaBi-Datenbanken abgebildet, da hierzu keine Primärdaten vorlagen. Auf der Grundlage dieses Modells konnten die verschiedenen Behandlungsoptionen am Ende des Lebenszyklus einschließlich Recycling, thermische Verwertung, Entsorgung und Deponierung vereinfacht analysiert werden.

Für Stahl, Eisen, Aluminium sowie Kupfer und Kupferlegierungen wurde dabei eine Recyclingquote von 95 Prozent angenommen. Die übrigen 5 Prozent Verluste wurden wie auf Deponien entsorgte Materialien behandelt. Für Kunststoffe, organische Materialien sowie die bestückten Leiterplatten und elektronischen Baugruppen wurde die thermische Verwertung in einer Abfallverbrennungsanlage angenommen.

Zur Berechnung der Auswirkungen der Transporte in der End-of-Life-Phase wurde für alle untersuchten Anwendungsfälle eine durchschnittliche LKW-Entfernung von 300 km zwischen dem jeweiligen Standort der PV-Anlage, in der der Wechselrichter eingesetzt war, und dem Standort der Verwertung/Entsorgung angenommen.

5. Life Cycle Impact Assessment – Auswirkungen entlang des Lebenszyklus

5.1 Untersuchte Umweltwirkungskategorien

Basierend auf der beschriebenen Datenbasis wurden die Umweltauswirkungen des Sunny Central 4600 UP anhand der 16 empfohlenen Umweltwirkungskategorien des European Environmental Footprint (EF3.1) analysiert. Dieser sehr umfangreiche Satz an Wirkungsabschätzungsmethoden deckt die Analyse potenzieller Umweltbelastungen in den Kategorien Klimawandel, Versauerung, Eutrophierung, Ozonabbau und Ozonbildung, Wasser- und Flächenverbrauch, Ressourcenverbrauch, Toxizität, ionisierende Strahlung und Feinstaubbildung ab.

Ziel des EF3.1 ist es, eine harmonisierte Methodik und eine Reihe von Umweltwirkungskategorien bereitzustellen, um die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks von Systemen und Produkten so

weit wie möglich vergleichbar zu machen. Die Umweltwirkungskategorien des EF3.1-Methodensets werden in zukünftigen europäischen LCA-Aktivitäten und -Anforderungen (z. B. PEF, OEF, etc.) an Bedeutung gewinnen. Dies wird auch die (bisher noch sehr eingeschränkte) Vergleichbarkeit der Ergebnisse von LCA-Studien über die Umweltauswirkungen von Produkten und Systemen verbessern.

Die folgende Darstellung der LCA-Ergebnisse für den Sunny Central 4600 UP fokussiert sich auf die Wirkungskategorie Klimawandel. Hier wurden die durch den Wechselrichter über den gesamten Produktlebenszyklus verursachten klimarelevanten Emissionen analysiert. Die Angaben erfolgen in Kilogramm CO₂-Äquivalenten (kg CO₂e).

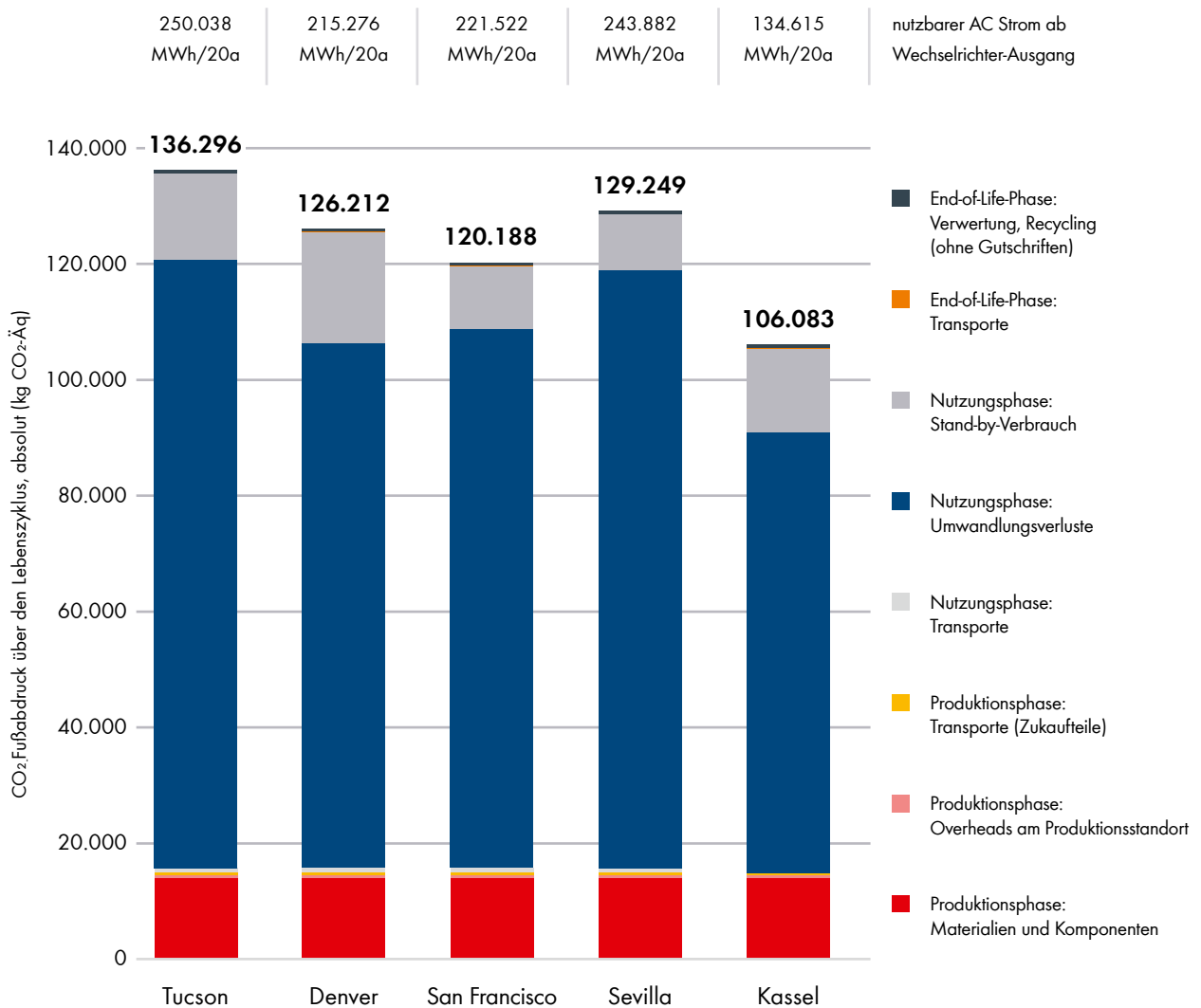
5.2 Ergebnisse in der Umweltwirkungskategorie Klimawandel

Die Ergebnisse des Life Cycle Impact Assessments zeigen, dass die Nutzungsphase des Wechselrichters über die Lebensdauer von 20 Jahren in allen untersuchten Anwendungsfällen sowie nahezu allen Wirkungskategorien den weitaus größten Anteil an den Umweltauswirkungen hat. Grund dafür sind in erster Linie die trotz des mit 98,7 Prozent sehr hohen europäischen Wirkungsgrads des Wechselrichters über diesen langen Zeitraum anfallenden Umwandlungsverluste.

Die Analyse der Umweltauswirkungen des Sunny Central 4600 UP in der Wirkungskategorie Klimawandel ergibt über den gesamten Lebenszyklus eines Wechselrichters hinweg einen Treibhausgasausstoß von 106.083 kg CO₂e (Anwendungsfall

Kassel) bis 136.296 kg CO₂e (Anwendungsfall Tucson). Unterschiede zwischen den einzelnen Anwendungsfällen sind auf die deutlich voneinander abweichenden Randbedingungen der untersuchten Anwendungsfälle zurückzuführen, die sich teilweise gegenseitig kompensieren. So ist beispielsweise der auf den ersten Blick geringere und damit günstigere CO₂e-Ausstoß im Anwendungsfall Kassel auf die erheblich niedrigere Energieausbeute an diesem Standort zurückzuführen. Dementsprechend fallen während der 20-jährigen Nutzungsphase deutlich geringere Umwandlungsverluste an als in Tucson. Die folgende Grafik veranschaulicht, welchen großen Einfluss die unterschiedlichen Randbedingungen in der Nutzungsphase auf den CO₂-Fußabdruck des Wechselrichters haben.

CO₂-Fußabdruck des Sunny Central 4600 UP



- CO₂e-Ausstoß eines Sunny Central 4600 UP über den gesamten Lebenszyklus hinweg in den fünf untersuchten Anwendungsfällen (Sunny Central 4600 UP an 6.900 kW PV-Anlage, ohne Gutschriften am Lebensende, absolut).

Erst wenn die Ergebnisse, auf die für die Entscheidungsfindung zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung relevante funktionelle Einheit von 1 kWh des durch den Wechselrichter umgewandelten Wechselstroms überführt werden, wird der CO₂-Fußabdruck

der einzelnen Anwendungsfälle direkt vergleichbar. Für 1 kWh Wechselstrom am Wechselrichter-Ausgang fallen für den Sunny Central 4600 UP im Anwendungsfall Tucson 0,0111 g CO₂e an, im Anwendungsfall Kassel hingegen 0,0161 g.

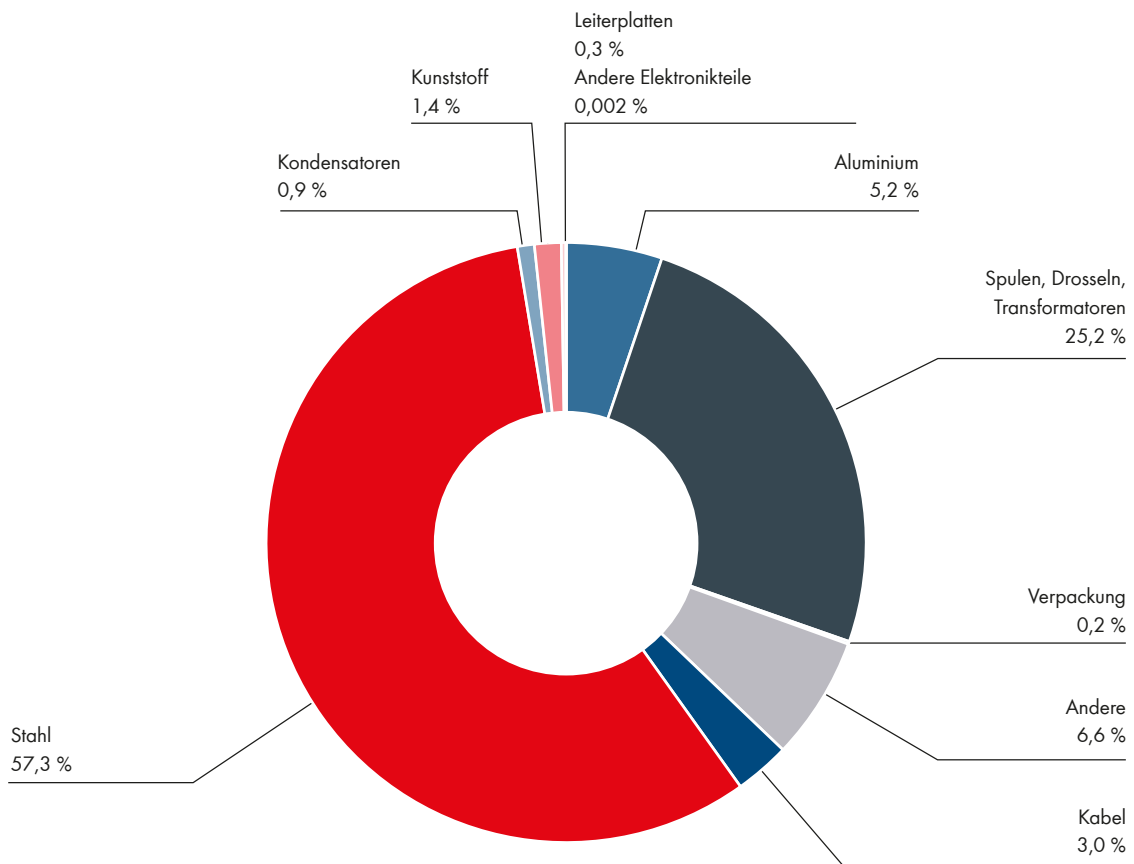
5.2.1 Produktionsphase

Die Produktionsphase hat mit einem Anteil von 10,9 Prozent (Anwendungsfall Tucson) bis 14 Prozent (Anwendungsfall Kassel) den zweitgrößten Anteil am CO₂-Fußabdruck des Sunny Central 4600 UP. Während die klimaneutral mit Strom und Wärme versorgte Wechselrichter-Produktion am SMA Hauptstandort in Niestetal/Kassel hier kaum einen Ausschlag gibt, fallen die Extraktions- und Herstellungsprozesse der verwendeten Materialien und Komponenten mit Emissionen von 14.037 kg CO₂e besonders ins Gewicht. Die Analyse der Massenanteile der verschiedenen Materialien und Bauteile sowie ihres anteiligen CO₂e-Ausstoßes an

der Gesamtbilanz des Wechselrichters ist daher ausschlaggebend für die Identifizierung der Hot Spots in der Produktionsphase.

Wie die Grafik unten zeigt, nehmen Stahlteile mit einem Anteil von 57,3 Prozent den weitaus größten Massenanteil am Sunny Central 4600 UP ein. Es folgen Spulen, Drosseln und Kondensatoren mit einem Massenanteil von 25,2 Prozent. Aluminiumteile und unbestückte Leiterplatten haben dagegen mit 5,2 Prozent bzw. 0,3 Prozent einen deutlich geringeren Massenanteil an dem Wechselrichter.

Prozentuale Massenanteile am Sunny Central 4600 UP

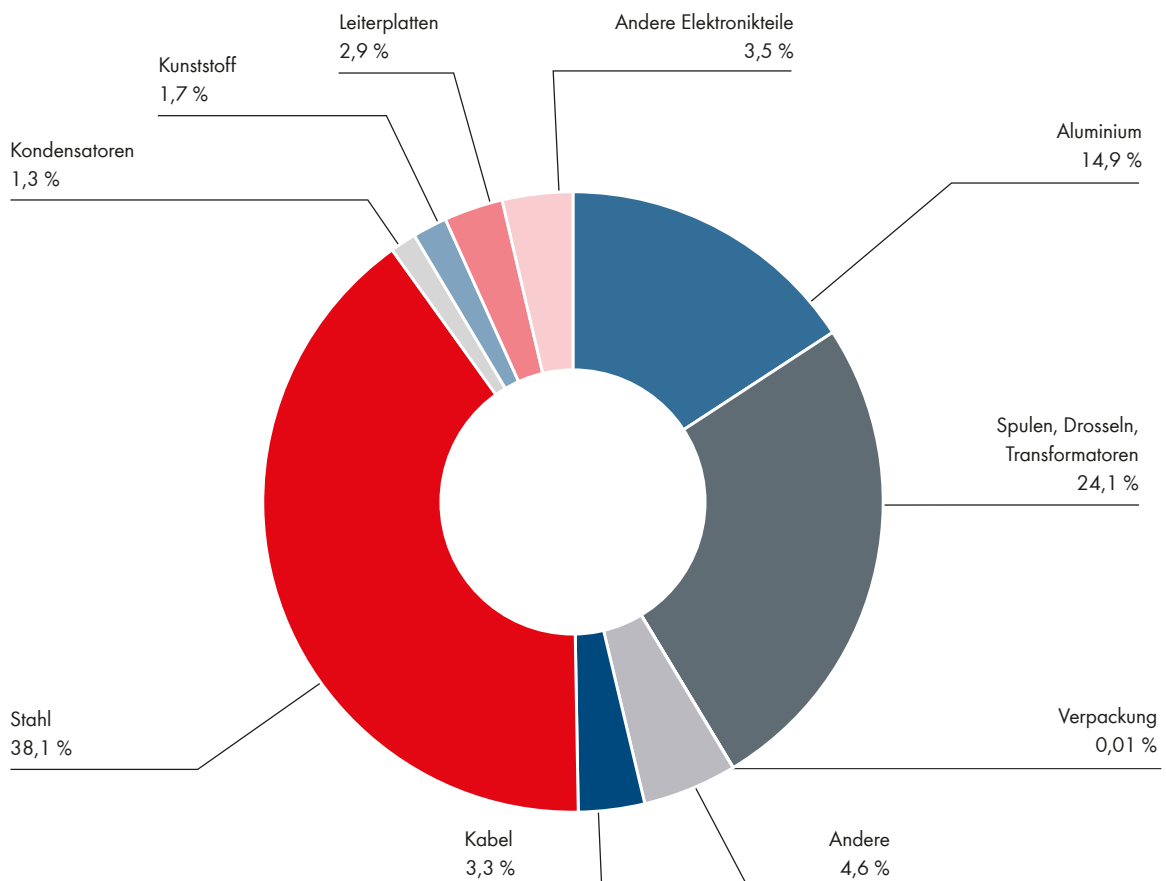


- ° Prozentuale Massenanteile der einzelnen Materialien und Komponenten an einem Sunny Central 4600 UP, Gesamtgewicht 3.880,4 kg (inkl. Verpackung)

Betrachtet man dagegen den prozentualen Anteil des CO₂e-Ausstoßes der einzelnen Materialien und Komponenten, ändert sich das Bild deutlich. Die tiefergehende Analyse zeigt, dass die größten Umweltauswirkungen durch Bauteile und Komponenten mit energieintensiven Produktionsprozessen verursacht werden, die gleichzeitig auch einen hohen Massenanteil am Wechselrichter haben. Dementsprechend nehmen hier die Stahlteile (38,1 Prozent), gefolgt von den Spulen, Drosseln und Transformatoren mit 24,1 Prozent den größten Anteil des CO₂e-Ausstoßes ein. Es folgen trotz des deutlich geringeren Massen-

anteils die Aluminiumteile mit 14,9 Prozent. Auch bei den unbestückten Leiterplatten und anderen elektronischen Komponenten ist der prozentuale Anteil am CO₂-Fußabdruck der Materialien und Komponenten mit 2,9 bzw. 3,5 Prozent um ein Vielfaches höher als ihr Massenanteil am Wechselrichter (0,3 bzw. 0,002 Prozent). Dies ist in beiden Fällen auf die benötigten energieintensiven Produktionsprozesse zurückzuführen, zum Beispiel die Galvanisierungsprozesse für mehrlagige Leiterplatten oder die energieintensive Herstellung der Chip-Layouts unter Reinraumbedingungen.

Prozentuale Anteile der Materialien und Komponenten am CO₂e-Ausstoß



- ° Prozentuale Anteile der einzelnen verwendeten Materialien und Komponenten am durch alle Materialien und Komponenten verursachten Gesamtausstoß von 14.037,8 kg CO₂e pro Wechselrichter (ohne Overheads und Transporte).

5.2.2 Nutzungsphase

Wie weiter oben beschrieben, verursacht die Nutzungsphase des Wechselrichters die mit Abstand größten Umweltauswirkungen. Je nach Anwendungsfall hat sie einen Anteil von 85,4 Prozent (Kassel) bis 88,6 Prozent (Tucson) am CO₂-Fußabdruck des Wechselrichters über den Lebenszyklus hinweg. Mit 98,7 Prozent verfügt der Sunny Central 4600 UP über einen sehr hohen europäischen Wirkungsgrad. 1,3 Prozent des in den Solarmodulen erzeugten Gleichstroms gehen dennoch bei der Umwandlung in netzkonformen Wechselstrom durch den Wechselrichter in Form von Wärme verloren und werden dementsprechend nicht ins Netz eingespeist. Über die Nutzungsdauer von 20 Jahren sind dies im Anwendungsfall Tucson, bei dem die Nutzungsphase aufgrund der hohen Stromerzeugung am stärksten ins Gewicht fällt, ca. 4.066 MWh. Da auch die Erzeugung von Solarstrom aufgrund der dafür notwendigen Ressourcen nicht vollkommen CO₂-neutral ist, müssen für diese Verluste anhand des in der GaBi-Datenbank hinterlegten Umweltprofils für Solarstrom in Tucson CO₂e-Emissionen von ca. 26 g/kWh angesetzt werden. Dementsprechend sind für die Effizienzverluste über die gesamte Nutzungsdauer CO₂e-Emissionen von rund 105.218 kg anzusetzen.

Im nächtlichen Standby-Modus bezieht der Wechselrichter darüber hinaus während der Nutzungsphase Strom aus dem lokalen Netz. Für den Strommix in Tucson stellt der GaBi-Datensatz hier ca. 450 g CO₂e/kWh in Rechnung. Bei einem Netzstrombezug von 1.639 kWh pro Jahr über 20 Jahre Betriebsdauer entstehen so CO₂e-Emissionen von rund 14.825 kg. Dies entspricht 10,9 Prozent der Treibhausgas-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus des Sunny Central 4600 UP. Die Zusammensetzung des Netzstroms hat hier einen direkten Einfluss, denn je höher der Anteil an erneuerbaren Energien ist, desto niedriger fällt der CO₂e-Ausstoß aus.

Die Ergebnisse der LCA-Studie erlauben auch die Berechnung der Amortisationszeit des Wechselrichters, also des Zeitraums, bis die durch die Solarstromerzeugung in einer PV-Anlage mit dem Sunny Central 4600 UP eingesparte Menge CO₂e die durch den Wechselrichter über seinen Lebenszyklus hinweg verursachte Menge CO₂e ausgleicht. Im Anwendungsfall Tucson liegt die Amortisationszeit des Sunny Central 4600 UP bei 1,2 Jahren, im Anwendungsfall Kassel bei 1,6 Jahren. Nach diesem Zeitraum trägt der Wechselrichter-Betrieb über den gesamten Rest der Nutzungsphase zur CO₂-Einsparung im Vergleich zu Netzstrom bei.

5.2.3 End-of-Life-Phase

Die End-of-Life-Phase hat mit einem CO₂e-Ausstoß von 616 kg einen Anteil von weniger als 1 Prozent am CO₂-Fußabdruck des Sunny Central 4600 UP. Sie umfasst den Transport des Wechselrichters vom Anlagenstandort zur Wiederverwertung bzw. Entsorgung sowie die Fraktionierung und Behandlung der zurückgewonnenen Materialien und Abfälle. Der Ansatz berücksichtigt die weitere Behandlung von Abfällen durch die materialspezifische Verarbeitung, aber nicht den potenziellen Umweltnutzen des Recyclings oder der energetischen Verwertung von

Materialien. Es wurden weder die potenziellen Umweltauswirkungen der Produktion von Sekundärmaterialien noch die Umweltgutschriften für die Substitution der Primärmaterialproduktion oder der Energieerzeugung aus der Verbrennung berücksichtigt.

Den größten Anteil am CO₂-Fußabdruck in der End-of-Life-Phase machen die Bauteile mit den höchsten Massenanteilen (Stahlteile, Spulen, Drosseln und Transformatoren) sowie die Aluminiumteile aus.

6. Schlussfolgerungen und abgeleitete Maßnahmen

Die hier zusammengefassten Erkenntnisse der LCA-Studie unterstreichen die Bedeutung der von uns bereits fokussierten Faktoren des verantwortungsvollen Einsatzes von Materialien in der Produktionsphase sowie der hohen Qualität und Lebensdauer des Wechselrichters für seine Nachhaltigkeitsleistung.

In der **Produktionsphase** liegen wesentliche Hebel zur Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung in Maßnahmen zur weiteren Optimierung des Produktdesigns und zur Substitution von Materialien durch Alternativen mit geringerem ökologischem Fußabdruck. Dabei müssen insbesondere die in der LCA identifizierten Materialien und Komponenten mit den höchsten Umweltauswirkungen in den Fokus genommen werden. Die Hot-Spot-Analyse hat hier wichtige Hinweise zu den relevanten Komponenten und zur Identifizierung und Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen gegeben. Weitere Potenziale ergeben sich durch eine enge Zusammenarbeit mit unseren Lieferanten, etwa zur Erhöhung des Einsatzes von erneuerbaren Energien, um die CO_{2e}-Emissionen in den vorgelagerten Wertschöpfungsstufen zu reduzieren.

Auf die **Nutzungsphase**, die mit den Parametern Umwandlungsverluste und Netzstrombezug bei Nacht den weitaus größten Anteil an den Umweltauswirkungen des Sunny Central 4600 UP ausmacht, hat SMA als Hersteller nur einen sehr begrenzten Einfluss. Neben den spezifischen regionalen Randbedingungen am Anlagenstandort, wie Sonneneinstrahlung oder Strommix des nachts im Standby-Modus bezogenen Netzstroms, können jedoch von Planern und Installateuren bei der Anlagenplanung und -errichtung bewusst Entscheidungen getroffen werden, die einen optimalen Wechselrichter-Betrieb ermöglichen und damit die Umweltauswirkungen positiv beeinflussen. Dazu gehören etwa die optimale Dimensionierung des PV-Kraftwerks, der Einsatz passender, technologisch ausgereifter und effizienter PV-Module sowie Montagestrukturen und andere BOS-Komponenten mit geringen Umweltauswirkungen in der Produktion und am Ende des Lebenszyklus. Dabei unterstützen wir unsere Kunden durch die Software Sunny Design für eine optimale Anlagenplanung sowie mit Seminaren der SMA Solar Academy.

Auch wenn die **End-of-Life-Phase** in der Gesamtbetrachtung der Klimaauswirkungen des Sunny Central 4600 UP nur eine sehr geringe Rolle spielt, ist eine möglichst umfassende Wiederverwertung der verwendeten Materialien von hoher Bedeutung für SMA. Damit werden wir gleichzeitig auch unabhängiger vom Rohstoffabbau mit nur schwer zu kontrollierenden Arbeits- und Umweltbedingungen und erhöhen unsere Versorgungssicherheit.



SMA.de

