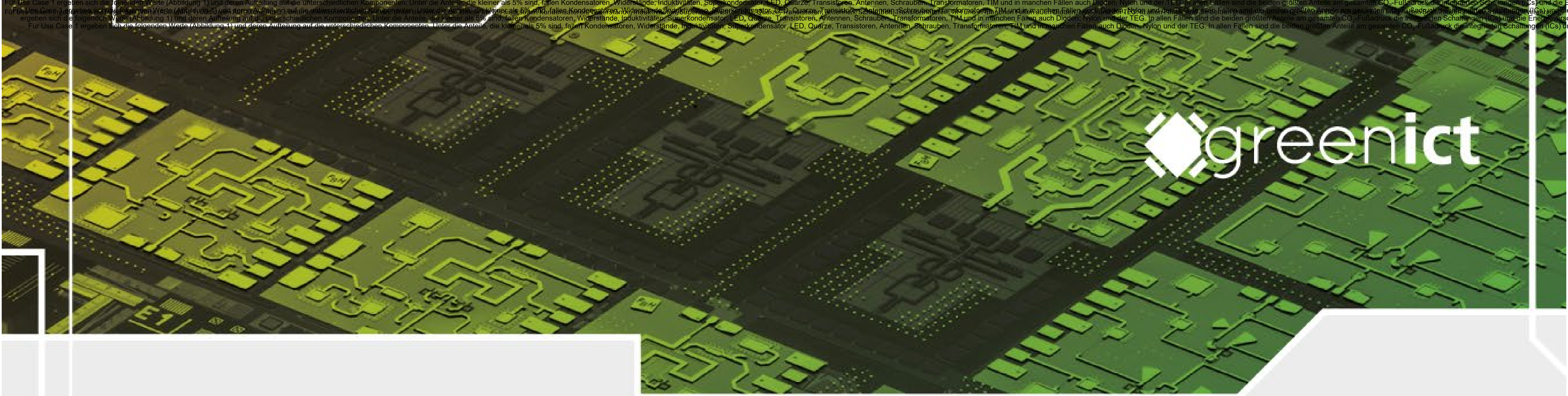




Ökobilanzierung von Energy Harvesting Systemen

Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks von energieautarken Sensorsystemen

Constantin Baumann, David Sánchez, Peter Spies, Johannes Wieczorek

1 Energieautarke Sensoren

Drahtlose Sensoren benötigen elektrische Energie zur Versorgung der elektronischen Komponenten. Um eine einfache Installation und einen Einsatz an Stellen ohne kabelbasierte Stromversorgungen zu ermöglichen, wird diese Energie typischerweise durch Batterien bereitgestellt. Alternativ können drahtlose Sensoren auch über Energy Harvesting mit Energie aus ihrer direkten Umgebung versorgt werden. Beispiele für solche Energieformen aus der Umgebung sind Licht, Temperaturdifferenzen, Verformungen oder Vibrationen. Hier bestimmt der Energieverbrauch des Sensorknotens und die Menge an verfügbarer Umgebungsenegie die Größe des benötigten Energy Harvesting Systems.

2 Bestimmung des CO₂-Fußabdrucks

Um die verschiedenen Varianten der Energieversorgung von Sensoren bzgl. ihrer Nachhaltigkeit und Umweltbelastung zu bewerten, wurde der CO₂-Fußabdruck der Produktion aller Bauteile von drei unterschiedlich versorgten Sensorknoten für zwei Use Cases abgeschätzt und verglichen.

Im ersten Use Case werden Daten alle 15 min übertragen, im zweiten Use Case alle 5 min, was einen durchschnittlichen Leistungsbedarf von 400 bzw. 790 μ W zur Folge hat. Neben einem Sensorknoten, der mit einer Primärbatterie versorgt wird, hat ein weiterer Sensorknoten eine Energieversorgung über eine Solarzelle, der dritte wird über einen thermoelektrischen Generator (TEG) versorgt. Für die Solarzelle wurde dabei eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux über 8 h Stunden pro Tag angenommen. Für den Betrieb mit dem thermoelektrischen Generator wurde eine Temperaturdifferenz von 10 K berücksichtigt, die beispielsweise zwischen einem warmen Objekt wie einem Wasser- oder Heizungsrohr oder einem Motor und der Umgebungsluft herrschen könnte.

Die Bauteile der verschiedenen Sensorknoten wurden in Kategorien zusammengefasst und deren Anteil am gesamten CO₂-Fußabdruck in Tortendiagrammen dargestellt (siehe Abbildung 1). Bauteilkategorien, deren Anteil kleiner als 5% ist, werden zusammengefasst. Unter diese Anteile, z.B. fallen Kondensatoren, Widerstände, Induktivitäten, Superkondensator, LEDs, Quarze, Transistoren, Antennen, Schrauben, Transformatoren, und in manchen Fällen auch Dioden, Nylon und der TEG.

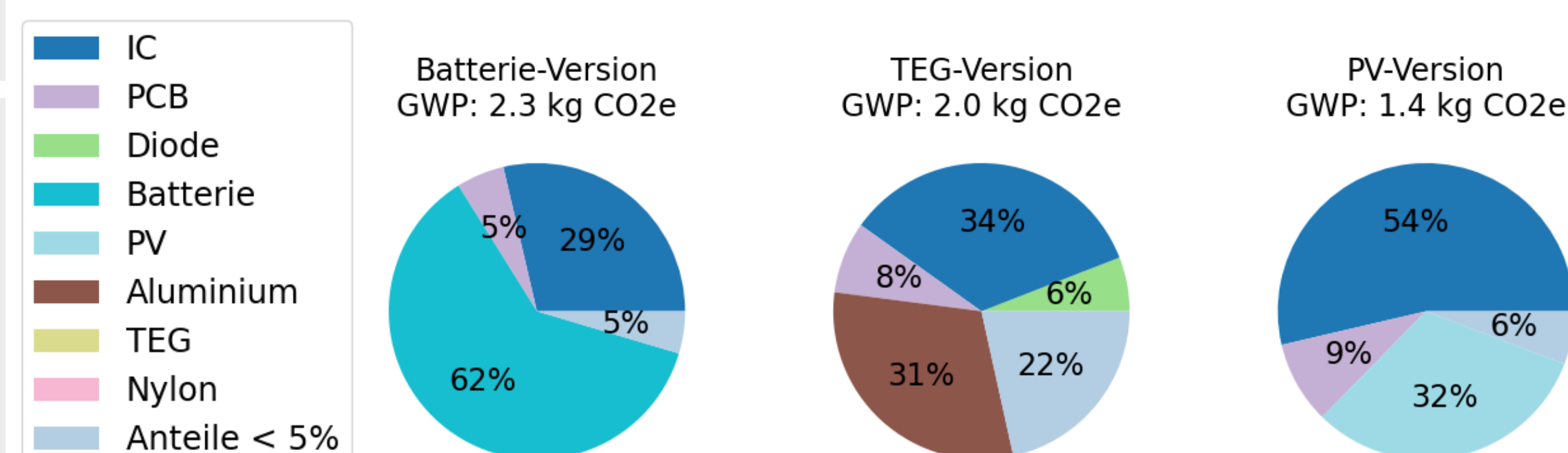


Abbildung 1: CO₂-Fußabdruck bei Use Case 1

3 Break-Even-Point der Laufzeit

Die Größe und damit der CO₂-Fußabdruck ist bei den Energy Harvesting Systemen nur von den Umgebungsbedingungen und dem Energiebedarf abhängig, da diese zusammen mit der Größe die Leistungsausbeute bestimmen. Der CO₂-Fußabdruck ist aber nicht von der Laufzeit abhängig, da die Leistung aus der Umgebung stetig nachgeliefert wird. Bei der Versorgung mit Batterie steigt der CO₂-Fußabdruck dagegen mit Energiebedarf und Laufzeit, da damit auch die Größe der nötigen Batterie und deren CO₂-Fußabdruck anwächst.

Die Abbildung 2 zeigt den CO₂-Fußabdruck der Batterielösung für die beiden Use Cases als Funktion der geplanten Lebensdauer. Gleichzeitig sind die CO₂-Fußabdrücke der Energy Harvesting Lösungen als konstante Gerade eingezeichnet, da diese ja unabhängig von der geplanten Einsatzdauer sind. Hierbei stellt sich heraus, dass im ersten Use Case der batteriebetriebene Funksensor ab etwa 3,5 Jahren einen größeren CO₂-Fußabdruck als die PV-Lösung hat und ab 7,5 Jahren einen größeren CO₂-Fußabdruck als die TEG-Lösung hat. Der größere Energiebedarf im zweiten Use Case führt dazu, dass die Schnittpunkte der CO₂-Fußabdrücke um circa ein halbes Jahr bei PV bzw. um circa ein ganzes Jahr bei TEG früher auftreten. Das ist darin begründet, dass in beiden Use Cases das PV-Modul einen geringeren CO₂-Fußabdruck pro Mikrowatt Leistung besitzt als der TEG.

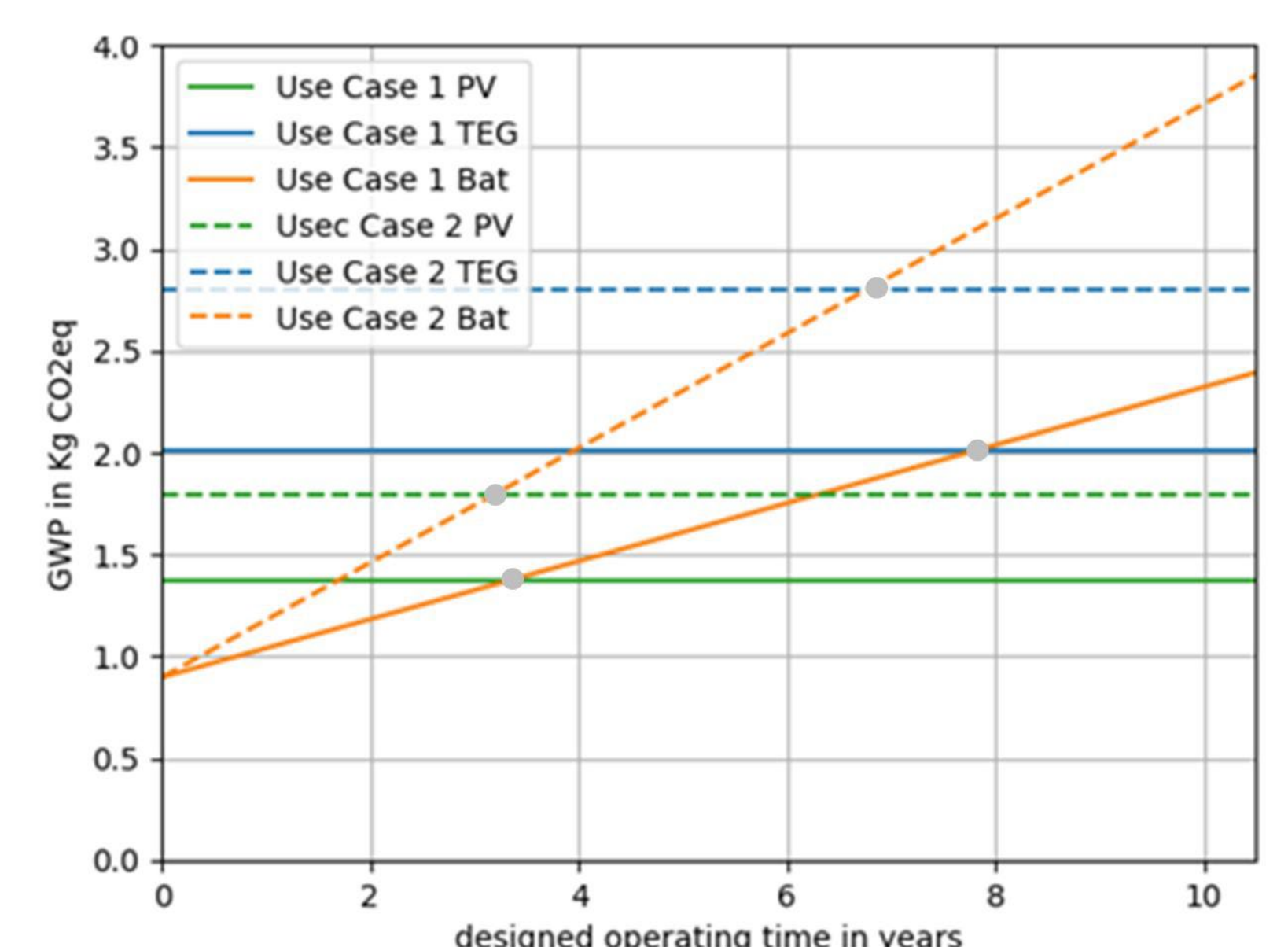


Abbildung 2: CO₂-Fußabdruck der beiden Use Cases mit den jeweiligen Energieversorgungen verglichen mit dem CO₂-Fußabdruck einer Primärbatterie

4 Zusammenfassung

Es zeigt sich in bestimmten Szenarien ein geringerer CO₂-Fußabdruck in der Herstellung der Energieversorgung bei der Nutzung von Energy Harvesting im Vergleich zum Betrieb mit Primärbatterien. Beispielsweise wurde errechnet, dass bei einem Leistungsverbrauch eines Funksensors von 800 μ W und einer Laufzeit von 10 Jahren der CO₂-Fußabdruck um 50 % reduziert werden kann, wenn statt einer Primärbatterie eine Solarzelle eingesetzt wird, vorausgesetzt es steht eine Beleuchtungsstärke von 500 Lux für 8 h täglich zur Verfügung. Dieser CO₂-Fußabdruck ist jedoch abhängig von Umgebungs- und Betriebsbedingungen in Form von Beleuchtungsstärke bzw. Temperaturdifferenz, Laufzeit und Energiebedarf des Sensorknotens. Daher wurde im Weiteren der Schnittpunkt ermittelt, an dem die Energieversorgung durch Energy Harvesting den gleichen CO₂-Fußabdruck hat wie die Versorgung über Batterie (Break-Even-Point).

Kontakt: Peter Spies, Fraunhofer IIS
peter.spies@iis.fraunhofer.de