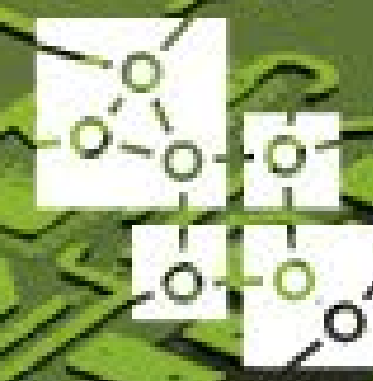




Umweltbewusste Optimierung eines Leistungselektroniksystems

Umweltbewusste Optimierung eines Leistungselektroniksystems

Rodrigo Coelho, Andreas Roßkopf
Fraunhofer IISB, Erlangen

1 Einleitung

Angesichts des Klimawandels ist der Bedarf an **energieeffizienten und nachhaltigen Lösungen** dringender denn je. Moderne Computertechnologie bietet neue Möglichkeiten, doch viele Ansätze konzentrieren sich nur auf die Skalierung von Rechenressourcen, um komplexe Probleme zu lösen, **ohne dabei Effizienz und Umweltbelange zu berücksichtigen**.

In dieser Arbeit haben wir uns für den umgekehrten Weg entschieden und uns auf Effizienz konzentriert. Wir vergleichen verschiedene Optimierer für den Entwurf des digitalen Zwillings eines gängigen Leistungselektroniksystems. Wir bewerten ihre Leistung anhand der **Quantität, Qualität und Vielfalt** der Lösungen sowie ihrer **Nachhaltigkeit**. Unsere Ergebnisse zeigen, welche Optimierer am besten geeignet sind, um die nächste Generation nachhaltiger Elektronik voranzutreiben.

2 Problemstellung

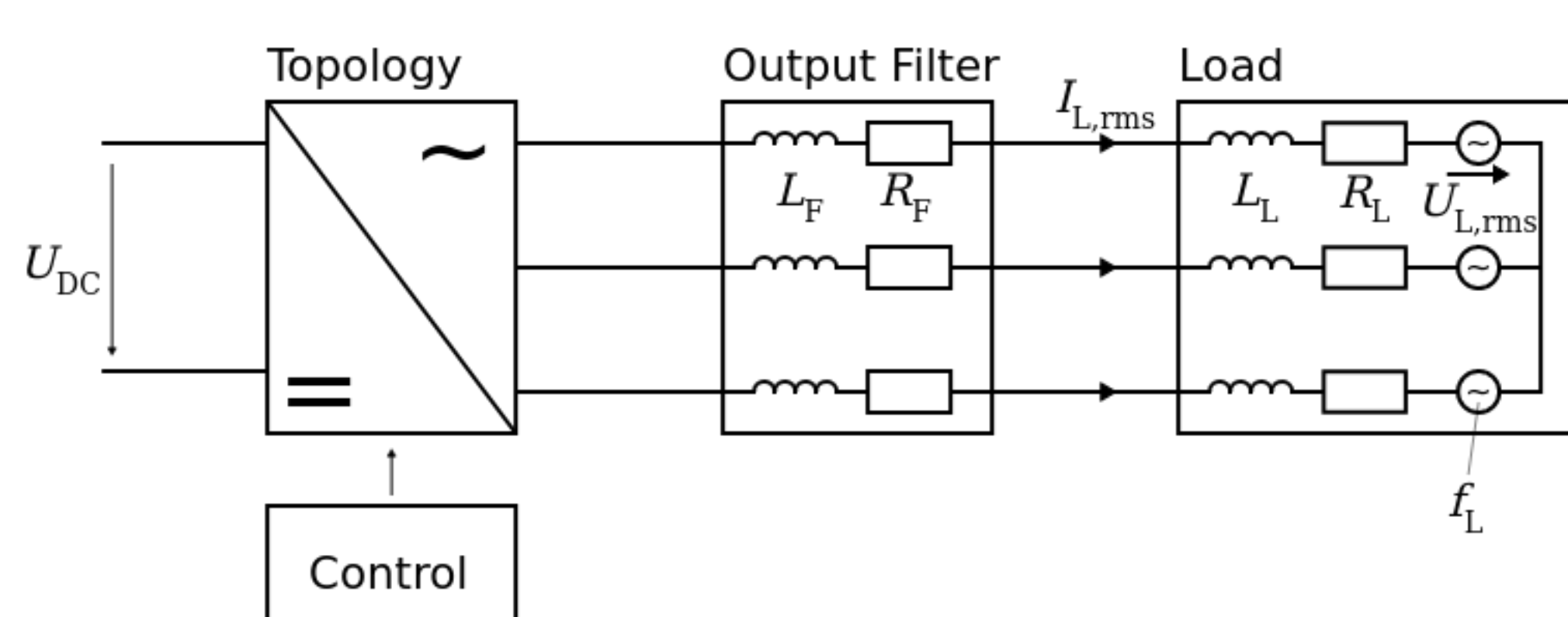
Das Optimierungsproblem besteht darin, die ideale Konfiguration für ein Wechselrichter- und LC- Filtersystem zu finden. Die **fünf Parameter** sind:

- **Schaltfrequenz:** $\in [1\text{kHz}, 20\text{kHz}]$
- **Anzahl der Trägerwellenformen:** $\in \{1, 2\}$
- **Anzahl Kondensatoren:** $\in [1, 10]$
- **Filter Induktivität:** $\in [100\mu\text{H}, 700\mu\text{H}]$
- **Leistungsmodul:** $\in$ Liste von 23 MOSFET und IGBT Modulen

Ziel ist es, die Leistung des Systems zu maximieren. Dies wird anhand von **drei kritischen Zielen** bewertet (ermittelt durch Simulation unter Verwendung einer API von PE-Systems):

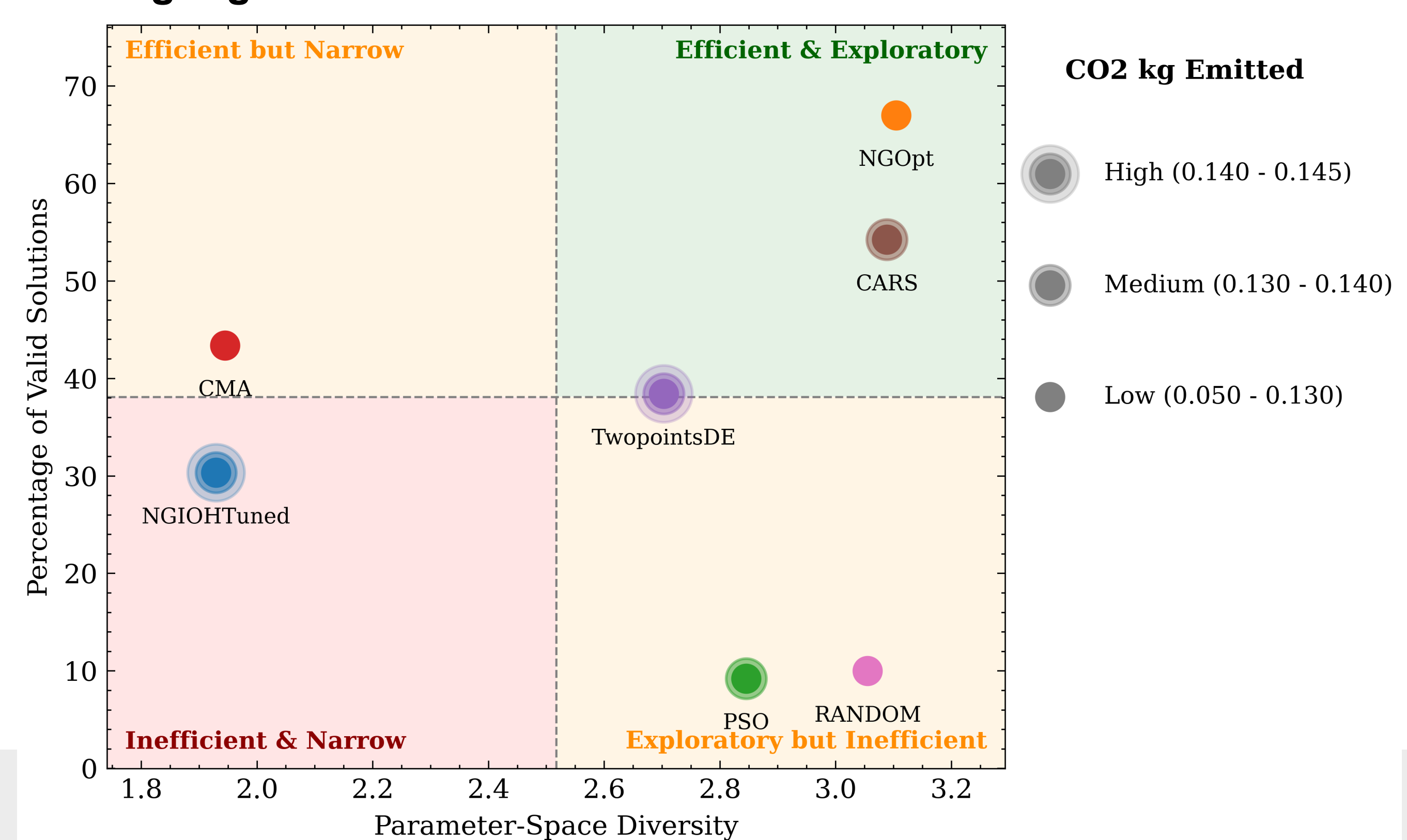
- **Konformität:** Einhaltung der Normen VDE-AR4100 und IEC 61000-2-2 (S).
- **Wärmemanagement:** Die Kondensatortemperaturen (T_c) unter 85°C halten.
- **Stabilität:** Einen positiven Wärmewiderstand für den Halbleiter sicherstellen (R_{th}).

Diese Ziele werden zu **einer einzigen Fitnessfunktion** kombiniert, die wir **maximieren** wollen. Diese Funktion ist eine gewichtete Summe der einzelnen Fitnesswerte, wobei jedes Ziel gleich gewichtet ist.



3 Optimierer und Resultate

Um die beste Optimierungsstrategie zu finden, wurden verschiedene Optimierer mit je 5000 Iterationen getestet: **Particle Swarm Optimization (PSO)**, **Differential Evolution (TwoPointsDE)**, **Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy (CMA)**, **CARS** (gitterbasiert) und **Random Sampling**. Eine Lösung ist nur dann gültig, wenn sie alle **Konformitätskriterien** sowie **thermische und mechanische Randbedingungen** erfüllt.



4 Zusammenfassung

Unsere Analyse zeigt zwei Spitzenreiter: **NGOpt** und **CARS**. Beide Optimierer fanden den höchsten Prozentsatz an diversen und gültigen Lösungen bei gleichzeitig geringen CO₂-Emissionen. **NGOpt** emittierte nur 0,107 kg CO₂, während **CARS** mit 0,134 kg folgte. Im Gegensatz dazu emittierte **TwoPointsDE** 0,145 kg CO₂ – eine Steigerung von 35,5 % gegenüber **NGOpt** und 8,2 % gegenüber **CARS** –, was den erheblichen Umweltvorteil unserer leistungsstärksten Optimierer verdeutlicht.

Obwohl die Emissionen pro Optimierungslauf gering sind, summieren sie sich global. Bei **343 Millionen** Konvertern (2022) [1] und nur 1 % Anwendung mit 20 Optimierungsläufen würde **NGOpt 7340 Tonnen CO₂** verursachen, **TwoPointsDE** hingegen **9947 Tonnen** – eine **Einsparung von über 2600 Tonnen CO₂** jährlich. Angesichts des jährlich wachsenden globalen Konvertermarktes werden effiziente und umweltfreundliche Optimierer also immer wichtiger.

[1] KBV Research. (2024). Power Converter Market Size & Industry Trends Report, 2030. Retrieved from <https://www.kbvresearch.com/power-converter-market/>