

## Kurzfassung

Flugzeughersteller und -betreiber sind in einer sich ständig ändernden Wettbewerbssituation. Dabei ergibt sich die Notwendigkeit der Flugzeugoptimierung aufgrund steigender Treibstoffpreise und strikterer Umweltrichtlinien. Die Optimierung erfolgt in erster Linie durch eine Verbesserung der Triebwerke und durch Gewichtsreduktion. Eine Senkung des elektrischen Energieverbrauchs führt ebenfalls zur Einsparung von Treibstoff. Da in modernen Flugzeugen mehrere hundert Kilometer Kabel verlegt sind, gibt es ein hohes Gewichtseinsparpotential. Maßgebend für das Kabelgewicht ist, neben der Kabellänge, die Höhe der zu übertragenden Leistung.

Aus der klassischen elektrischen Energieversorgung von öffentlichen Stromnetzen sind Lastumverteilungsverfahren zur Reduzierung von Verlusten sowie zur Wiederherstellung der Versorgung nach Eintritt eines Fehlers bekannt. Solche Lastumverteilungsverfahren werden erstmals in dieser Arbeit für die Integration in bestehende moderne Bordnetze von Flugzeugen mit primärer Drehstromversorgung untersucht. Durch die Lastumschaltungen können die Auslegungsströme und der Rückleiterstrom reduziert werden. Es ergibt sich dadurch eine signifikante Gewichtsreduzierung der Verkabelung gegenüber dem Stand der Technik, wodurch der Flugzeugbetrieb ökonomischer wird. Die Reduktion des Rückleiterstroms ist insbesondere bei Flugzeugen mit einem Rumpf aus carbonfaserverstärktem Kunststoff vorteilhaft, da hier die Leitfähigkeit des Rückleiternetzwerkes geringer ist als bei einem Aluminiumrumpf.

Der Einsatz von intelligenten Schaltknoten, die Mehrfachschalter aus Halbleitermaterialien beinhalten, erlaubt ein echtzeitfähiges Umverteilen von elektrischen Lasten auf andere Kabel während der Boden- und Flugphasen. Bedingt durch die Umschaltvorgänge ergeben sich Netzrückwirkungen und kurze Versorgungsunterbrechungen der Lasten. Es wird untersucht, wie dieser Einfluss minimiert werden kann.

In dieser Arbeit werden neuartige Konzepte zur Lastumverteilung und damit zur flexiblen Bordstromversorgung entwickelt. Dabei wird basierend auf manuell erstellten elektrischen Lastanalysen die mathematische Optimierung mittels nichtlinearer Programmierung durchgeführt. Weiterführend wird anhand von Messdaten eines Großraumpassagierflugzeuges eine neue echtzeitfähige Heuristik untersucht, die mit einer geringen Anzahl von Schalthandlungen ein ausreichend symmetrisches Netz erzielt. Dabei wird ein neu definierter Parameter als Maß der Asymmetrie und zur Auswahl einer umzuschaltenden Last genutzt. Dieser Parameter berechnet sich aus dem maximalen Effektivwert der Differenzen der Leiterströme und dem zugehörigem Mitsystem.

Eine Umschaltmöglichkeit zwischen mehreren Kabeln erhöht die Verfügbarkeit der Lasten und erlaubt das Anschließen von essentiellen Lasten an die dezentralen Schaltknoten mit einer kürzeren Verkabelung. Die geringe Auftrittswahrscheinlichkeit von mehrpoligen Kurzschlüssen durch die Mehrfachschalter und die erhöhte Verfügbarkeit der Lasten wird über Fehlerbaumanalysen nachgewiesen. Theoretische Erkenntnisse werden mithilfe eines neu entwickelten Schaltknotens in praktischen Experimenten verifiziert.

## **Kernaussagen dieser Arbeit**

1. Durch den Einsatz von Schaltknoten zur echtzeitfähigen Lastumverteilung können das Kabelgewicht und die elektrische Verlustleistung reduziert werden.
2. Die Integration von intelligenten Lastumverteilungsverfahren innerhalb der Bordnetzarchitektur kann mit geringen Hardwaremodifikationen durch die Substitution der vorhandenen Halbleiterschutzschalter durch Mehrfachschalter mit Sicherungsfunktion erreicht werden.
3. Die Kombination der Verfahren Leitersymmetrierung und Netzwerk-Rekonfiguration, ausgeführt mit denselben Mehrfachschaltern, weist die höchsten Gewichtseinsparungen auf. Dies ist insbesondere bei Flugzeugen mit einem Rumpf aus carbonfaserverstärktem Kunststoff der Fall.
4. Damit ein Lastumverteilungssystem die Asymmetrie im Drehstromnetz mit möglichst wenigen Umschaltvorgängen in Echtzeit reduzieren kann, ist eine neuartige Heuristik notwendig, die sowohl die Amplituden als auch die Phasenverschiebungen der elektrischen Größen an den Lasten berücksichtigt.
5. Lastumverteilungsverfahren bilden eine sinnvolle Ergänzung zum Lastmanagement. Sie erhöhen die Verfügbarkeit der Lasten und reduzieren die Eingreifhäufigkeit eines Lastmanagementsystems.
6. Die erhöhte Zuverlässigkeit der Lastversorgung beim Umschalten zwischen zwei Hauptversorgungskabeln erlaubt das Anschließen von flugrelevanten Lasten an die lastnahen Sekundärverteilboxen. Dadurch wird die Verkabelung verkürzt und Gewicht eingespart.