

## Einführung in die thermische Berechnung elektrischer Antriebe

*Prof. Dr.-Ing. Andreas Baral*

Die Entwurfsphase von elektrischen Maschinen umfasst mehrere Teilbereiche, darunter sowohl die elektrischen als auch magnetischen und mechanischen Eigenschaften sowie das thermische Verhalten. Insbesondere das thermische Verhalten spielt eine wichtige Rolle, da Isolierstoffe, die in elektrischen Maschinen verwendet werden, nur begrenzt hitzebeständig sind. Überhitzung kann irreparable Schäden an der Maschine verursachen. Daher ist es unerlässlich, die Erwärmung in der Maschine genau zu untersuchen, um einen zuverlässigen Betrieb sicherzustellen.

In diesem Beitrag werden die Themen Erwärmung und Kühlung von elektrischen Maschinen behandelt. Dazu werden zunächst die Grundlagen der Wärmeübertragung erläutert, um anschließend auf die spezifischen Anwendungen in elektrischen Maschinen einzugehen. Es ist wichtig zu verstehen, dass Wärmeübertragung durch Konvektion, Strahlung und Wärmeleitung erfolgen kann. Die Auswahl der geeigneten Kühlmethode und Materialien hängt von der spezifischen Anwendung ab.

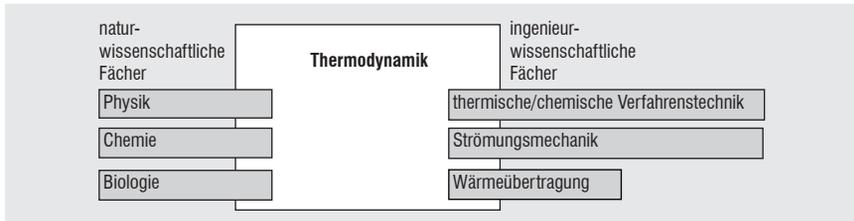
In elektrischen Maschinen können verschiedene Methoden zur Kühlung verwendet werden, z. B. die Luft-, die Wasser- oder die Ölkühlung. Die Wahl der geeigneten Kühlung hängt von der Größe und Leistung der Maschine sowie von den Umgebungsbedingungen ab. Die thermischen Eigenschaften der Materialien in der Maschine, wie Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität, sind ebenfalls von großer Bedeutung.

Eine genaue Analyse der Erwärmungsvorgänge in der elektrischen Maschine und die Anwendung geeigneter Kühlmethode können helfen, Überhitzung und Schäden zu vermeiden und somit einen zuverlässigen Betrieb sicherzustellen.

Um eine korrekte Berechnung der thermischen Vorgänge in elektrischen Maschinen zu gewährleisten, ist eine Einführung in die Grundlagen der Wärmeübertragung unabdingbar. Denn selbst bei scheinbar trivialen Begriffen können Irrtümer und Verständnisschwierigkeiten auftreten. Ein Beispiel hierfür ist der Begriff „Wärmeübertragung“, der impliziert, dass Wärme „übertragen“ werden kann. Jedoch ist Wärme keine Zustandsgröße, sondern eine Prozessgröße und stellt eine Form von Energietransport dar, die nicht übertragen werden kann. Aus diesem Grund wird der Begriff „Wärmeübertragung“ in diesem Kontext als „Energieübertragung in Form von Wärme“ verstanden. Es ist wichtig, diesen Unterschied zu verstehen, um die Konzepte der Wärmeübertragung und deren Auswirkungen auf die thermischen Eigenschaften von elektrischen Maschinen besser zu durchschauen.

## Einordnung der Wärmeübertragung

Die „Wärmeübertragung“ beschreibt den Transport von thermischer Energie durch Temperaturunterschiede über thermische Systemgrenzen hinweg. Sie ist ein Teilgebiet der Thermodynamik. **Bild 1** veranschaulicht die Lage des Fachgebiets „Wärmeübertragung“ im Umfeld anderer natur- und ingenieurwissenschaftlicher Fächer.



**Bild 1:** Einordnung des Fachgebietes Wärmeübertragung

Im Mittelpunkt des Fachgebiets „Thermodynamik“ steht die Bestimmung von Wärmeübertragungsarten im thermischen Ungleichgewicht. Ziel ist es, diese Transportvorgänge sowohl physikalisch als auch mathematisch zu erfassen.

In der Thermodynamik werden zwei grundlegende Betrachtungsweisen voneinander unterschieden:

- Die Veränderung der Energie in Systemen durch Prozesse
- Das thermodynamische Verhalten von Stoffen

Bei der ersten Betrachtungsweise werden Bilanzen physikalischer Größen aufgestellt, wobei stets die Energie im Mittelpunkt steht. Somit spricht man hierbei von dem sogenannten „Energie-Aspekt“. Die zweite Betrachtungsweise konzentriert sich nicht auf das gesamte System und sein thermodynamisches Verhalten, sondern vielmehr auf die beteiligten Materialien/Stoffe. Die Fragestellungen zielen hier darauf ab, wie die Zustandsgrößen Dichte, Druck und Temperatur eines bestimmten Stoffes miteinander verknüpft sind. Des Weiteren geht es um die Ermittlung des Aggregatzustands bestimmter Stoffe und die Möglichkeit, diese zu verändern. Da die Forschung stoffbezogen orientiert ist, wird die zweite Betrachtungsweise als „Stoffdaten-Aspekt“ bezeichnet.

Bei der thermischen Auslegung einer elektrischen Maschine wird auf beide dargelegte Aspekte eingegangen. Der Energieaspekt tritt über den Temperaturverlauf der elektrischen Maschine in den Vordergrund. Das System ist dabei der Motor an sich. Um das gesamte System allerdings berechnen zu können, müssen vorab einige Konstanten der beteiligten Stoffe bestimmt werden, beispielsweise die spezifische Wärmekapazität der Materialien. Bei diesen Konstanten steht der Stoffdaten-Aspekt der Thermodynamik im Zentrum.