

Aufbau eines Wasserkühler-Prüfstands sowie Wärmewiderstandsmessungen an Kühlkörpern

Ziel des Projektes war der Aufbau eines Prüfstandes, um Wasserkühler bezüglich des thermischen Widerstands (R_{th}) zu charakterisieren. Dazu wurden Temperaturen an verschiedenen Stellen der Oberfläche gemessen. Das Kühlmedium wurde bezüglich Temperaturanstieg und Druckabfall über den Kühler sowie der Durchflussmenge vermessen. Ergänzend hierzu wurden Berechnungen bzw. Abschätzungen der Verlustleistungen der Heizplatte an die Umgebung durchgeführt, um die Genauigkeit der Messung der Kühlerwiderstände zu erhöhen. Der Aufbau wurde für eine beidseitige Beaufschlagung der Kühlkörper mit Heizenergie und für unterschiedliche Kühlkörpergrößen ausgelegt und zur Reproduzierbarkeit des Drucks zwischen Heizplatte und Kühlkörper wurde eine Druckmessdose verwendet. Im Ergebnis konnte der Wärmewiderstand verschiedenster Kühlkörper mit unterschiedlichen Größen, Bauformen und Leistungsstufen erfolgreich vermessen werden.

Hintergrund

Halbleiterbauelemente werden aufgrund der weiter voranschreitenden Miniaturisierung immer kleiner und kompakter. Dieser Vorteil wird allerdings durch die ebenfalls zunehmende Energiedichte der unvermeidbaren Verlustleistungen der Halbleiterelemente begrenzt. Die Verlustleistung an den pn-Übergängen darf dabei in keinem Fall zu einer Temperaturerhöhung oberhalb der maximalen sogenannten Junction Temperatur führen. Wird das Halbleiterbauelement in diesem Grenzbereich betrieben, kommt es schnell zu einem Ausfall/Zerstörung. Um dies zu verhindern muss das Bauelement permanent gekühlt werden. Hochleistungshalbleiter werden heute zumeist mit einer Wasserkühlung versehen, die sehr effektiv die Wärme abführt. Aber auch diese Methode stößt mittlerweile an ihre Grenzen, so dass immer effizientere Kühlsysteme gefordert sind. Wichtig ist dabei die Beurteilung der Kühlqualität und der Vergleich zwischen unterschiedlichen Kühleraufbauten.

- Heizleistung
- Temperatur der Flüssigkeit vor und nach dem Kühler
- Temperaturen zwischen Kühler und Heizer
- Anpressdruck zwischen Heizplatte und Kühler

Der entwickelte Aufbau ermöglicht die flexible Messung an verschiedenen Prüfkörpern. Dazu wurden die Wasserleitungen mit Druck- und Durchflussmessung sowie Ventilen auf einer senkrechten Holzplatte montiert (siehe Abbildung 1). Als Kühlmedium wird i.d.R. Leitungswasser benutzt. Alternativ kann ein Glykol-Wasser-Gemisch über einen Chiller verwendet werden. Die Durchflussraten wurden zwischen 0,4 und 9 Liter pro Minute variiert. Dadurch wurde ein detaillierter Einblick in die Kühleigenschaften erhalten, da manche getesteten Kühler im Übergangsbereich zwischen laminarer und turbulenter Strömung betrieben werden. Um verschiedene Bauformen von Kühlern testen zu können, wurden verschiedene Galgen angefertigt. In diese werden die Kühler, die Heizplatte(n) und eine Druckmesszelle eingespannt und betrieben. Der Anpressdruck wird über eine Schraube mittig am Galgen eingestellt und mit der Druckmesszelle ausgelesen.

Projektleitung

Prof. Dr.
Udo D. J. Gieseler
Prof. Dr.
Gerhard Wiegleb

Stud. Mitarbeit

B. Eng.
Christoph Hericks
Sebastian Stihl
Daniel Wiegand

Auftrag

MiNaCon GmbH,
Herdecke

Zeitraum

2015 - 2016

Aufbau und Funktionsweise des Prüfstandes

Für einen Kühlerstest sind verschiedenen Parameter einzustellen und zu überwachen:

- Durchflussmenge der Kühlflüssigkeit
- Druck vor und nach dem Kühler

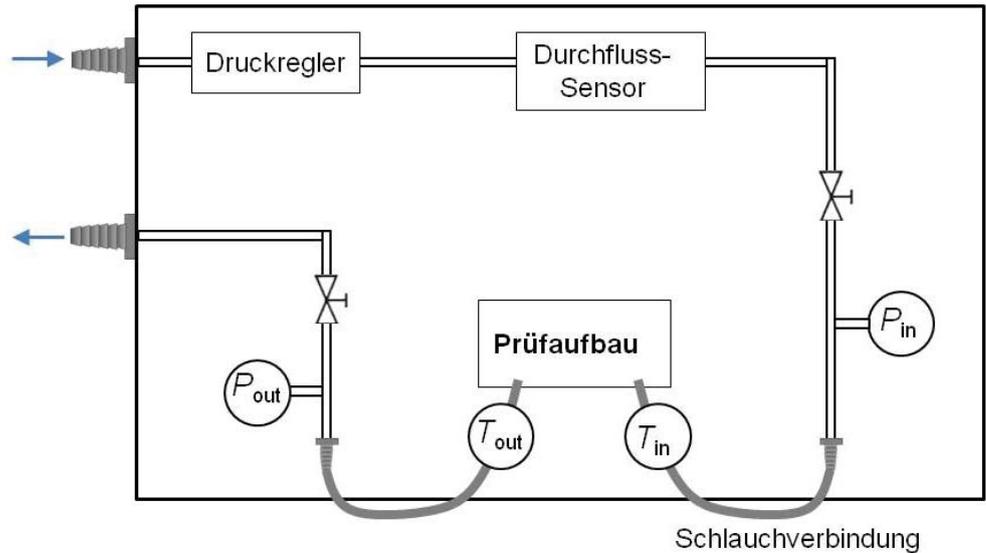


Abb. 1: Schema des Gesamtaufbaus. Links befindet sich der Zu- und Ablauf für Leitungswasser oder Kühlflüssigkeit.

Die Kühlkörper haben teilweise eine relativ große Bauform, um Leistungen im Kilowattbereich aufzunehmen. Zum Heizen werden z.B. Kupferplatten mit runder aktiver Fläche von 10 cm Durchmesser verwendet, in die elektrisch betriebene Heizpatronen eingesetzt werden. Die Heizplatten können mit bis zu 3 kW Leistung betrieben werden. Die Wärmeverteilung der Heizung ist relativ homogen und leicht über Leistungsregler steuerbar. Auf den Heizplatten sind bis zu 5 Thermolemente angebracht, die die maximale Oberflächentemperatur der Kühlkörper messen. Damit die Kühl- und Heizkomponenten möglichst geringen äußeren Einflüssen ausgesetzt

sind, werden Isolationsplatten auf der Ober- und ggf. Unterseite verwendet. Abbildung 2 zeigt einen eingespannten Kühler mit von oben aufgesetzter Heizplatte. Alternativ steht eine Heizung für kleinere Kühler zur Verfügung, mit einer quadratischen Heizfläche von 25 × 25 mm² und 180 W Heizleistung. Für die Leistungssteuerung der Heizer sind Leistungsregler verbaut, die über Potentiometer einzustellen sind. Die Datenerfassung aller Messkomponenten erfolgt über ein Datenerfassungsgerät. Um eine optimale Protokollierung der Daten zu ermöglichen, wurde eine Software entwickelt, welche zudem alle Werte überwacht und im Überlastungsfall eine Notabschaltung auslöst.

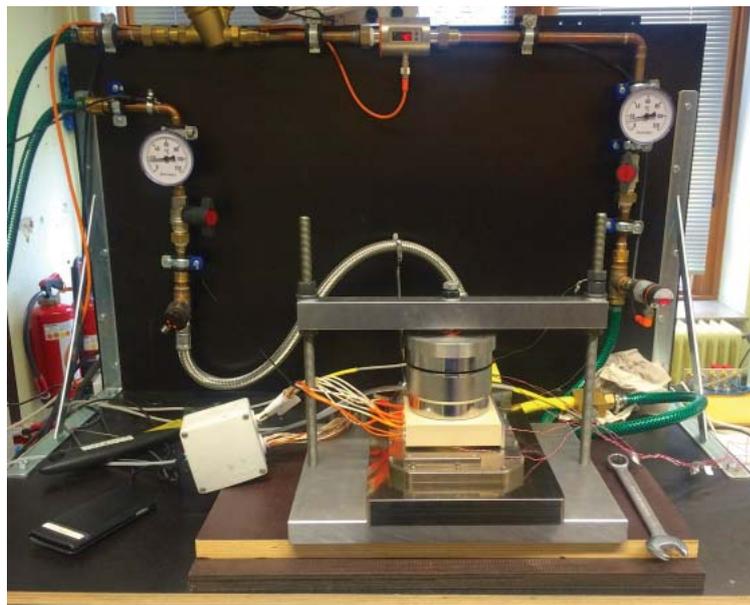


Abb. 2: Prüfaufbau mit eingespanntem Kühler. Von Oben: Galgen zum Druckaufbau (Stahl), Druckmessdose, Isolierung (beige), Heizplatte (nur zu erkennen an den orange-weißen Kabeln der Heizpatronen), Kühler (Alu), Basisplatte des Galgens (Stahl).

Kontakt

Prof. Dr.

Udo D. J. Gieseler

Fachbereich

Informations- und

Elektrotechnik

Fachhochschule

Dortmund

Sonnenstr. 96

44139 Dortmund

Tel.: 0231 9112-282

E-Mail:

udo.gieseler@

fh-dortmund.de

Prof. Dr.

Gerhard Wiegleb

Fachbereich

Informations- und

Elektrotechnik

Fachhochschule

Dortmund

Sonnenstr. 96

44139 Dortmund

Tel.: 0231 9112-275

E-Mail:

wiegleb@

fh-dortmund.de

Beispielhafte Ergebnisse der Kühlercharakterisierung

Eine wesentliche Messgröße zur Kühlercharakterisierung ist die Temperatur auf der Kühler-Oberfläche. Hierfür wurden 5 Thermoelemente verwendet, welche entsprechend einer Uhr in Position 12, 3, 6 und 9 sowie in der Mitte (M) in Nuten der Heizplatte angebracht wurden. Hieraus wurde jeweils ein Mittelwert gebildet.

Die Information über die Temperaturverteilung kann aber zur Überwachung eines einwandfreien Messverlaufs genutzt werden. In Abbildung 3 ist ein Beispiel für einen solchen Temperaturverlauf gezeigt. Die Messung wurde durchgeführt mit 3 kW Heizleistung, Durchflussmenge 9 l/min und 200 kg Anpressdruck. Eine zweite wichtige Größe ist die Temperaturdifferenz zwischen Wasser Ein- und Ausgang am Kühler ΔWT (siehe Abbildung 4).

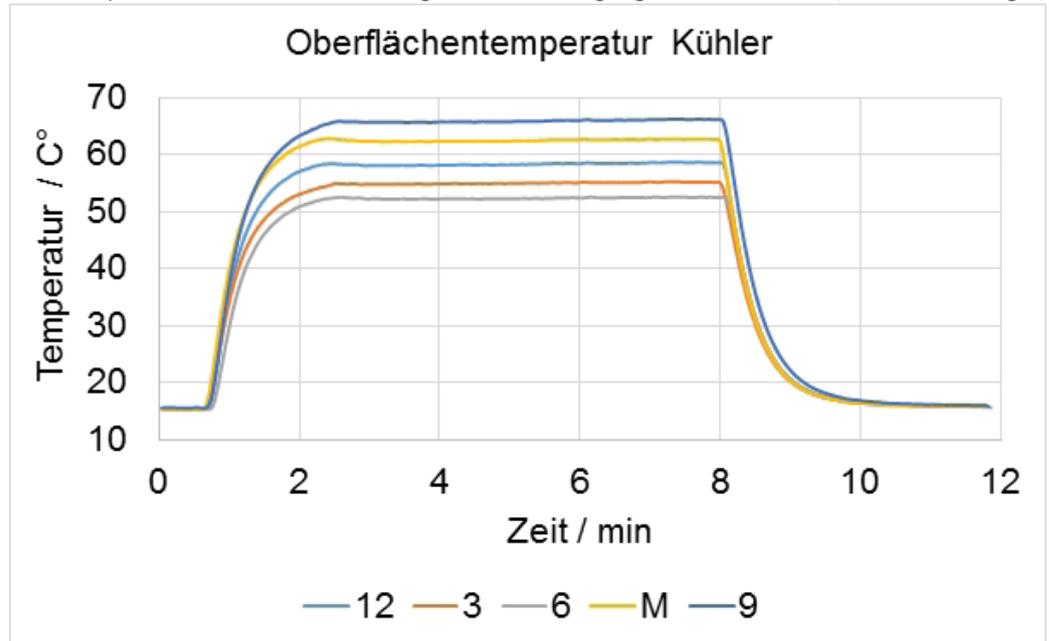


Abb. 3: Oberflächentemperaturen auf dem Kühler an verschiedenen Positionen.

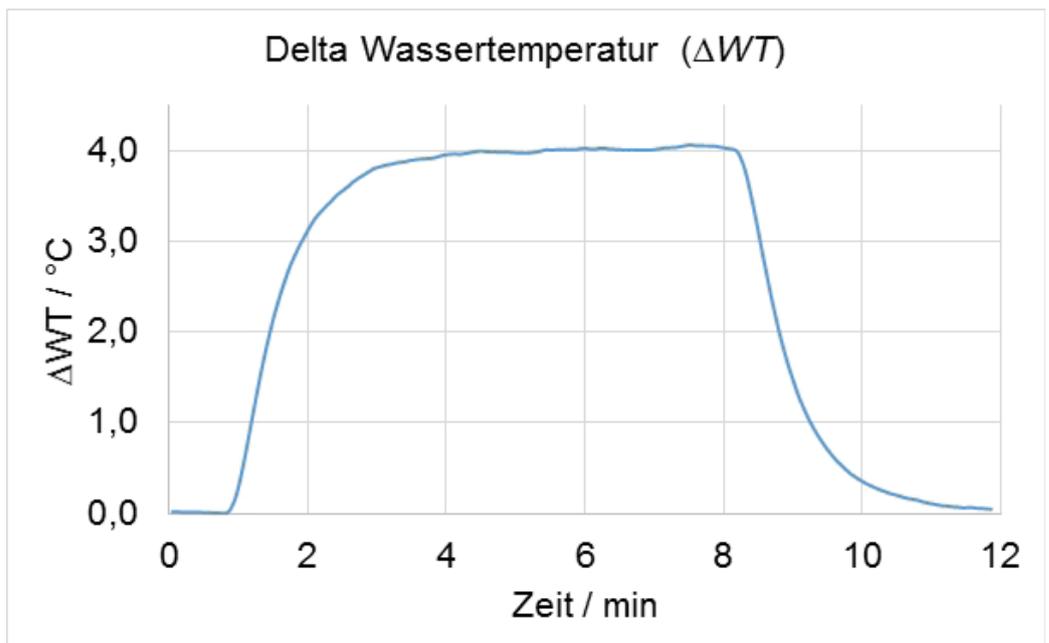


Abb. 4: Differenz der Wassertemperatur ΔWT zwischen Ein- und Ausgang beim Kühler.

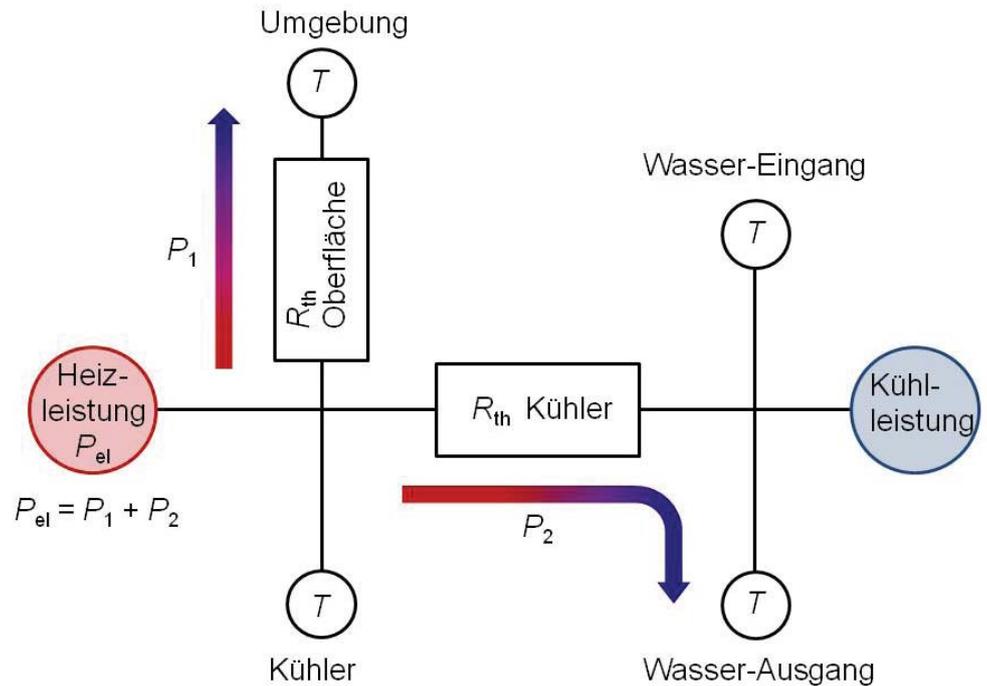


Abbildung 5: Modell der Wärmewiderstände sowie Heizung, Kühlung und Temperaturmessungen im verwendeten Aufbau.

Bestimmung des thermischen Widerstands

Abbildung 5 zeigt die physikalischen Zusammenhänge in dem Versuchsaufbau. Anhand dieses Modelles ist es möglich, die thermischen Widerstandswerte mit den gemessenen Werten zu bestimmen. Die Heizplatte wandelt die elektrische Leistung P_{el} in Wärme um. Sie wird aufgeteilt in Verluste P_1 und durch den Kühler abgeführte Leistung P_2 . Die Leistung P_1 setzt sich zusammen aus Konvektion, Wärmestrahlung und Wärmeleitung die an den verschiedenen Oberflächen entstehen. Diese Leistung hängt von den Eigenschaften der Heizung ab, welche in der realen Anwendung aus den verschiedensten zu kühlenden Bauteilen bestehen kann. Zur Charakterisierung der Kühlleistung des eigentlichen Kühlers muss daher die Leistung P_2 bestimmt werden. Der aufgebaute Prüfstand ermöglicht diese Unterscheidung durch die Erfassung der Heizleistung und der Wassertemperaturen am Eingang und Ausgang des Kühlers (ΔWT). Es gilt:

$$P_{el} = P_1 + P_2 \tag{1}$$

mit der Verlustleistung an die Raumluft P_1 :

$$P_1 = \frac{T_{Kühler} - T_{Umgebung}}{R_{th,Oberfläche}} \tag{2}$$

und der Kühlleistung P_2 :

$$P_2 = \frac{T_{Kühler} - T_{Wasserausgang}}{R_{th,Kühler}} = q * \rho * c * (T_{Wasserausgang} - T_{Wassereingang}) \tag{3}$$

wobei:

$T_{Kühler}$: Mittelwert der gemessenen Oberflächentemperaturen in °C

$T_{Wassereingang}$: Eingangswassertemperatur ≈ 15 °C

$T_{Wasserausgang}$: Ausgangswassertemperatur in °C

$T_{Umgebung}$: Umgebungstemperatur ≈ 22 °C

q : Durchflussmenge der Kühlflüssigkeit in l/min

ρ : Dichte von Wasser = 0,9982 kg/l

c : Wärmekapazität von Wasser 4182 Ws/(kg*K)

P_{el} : elektrische Leistung in W

$R_{th,Kühler}$: Wärmewiderstand des Kühlers über das Wasser in K/W

$R_{th,Oberfläche}$: Wärmewiderstand über die Oberfläche an die Umgebung in K/W

Aus Formel (2) und (3) können die thermischen Widerstände bestimmt werden:

$$R_{th,Oberfläche} = \frac{(T_{Kühler} - T_{Umgebung})}{P_1} \tag{4}$$

$$R_{th,Kühler} = \frac{T_{Kühler} - T_{Wasserausgang}}{q * \rho * c * (T_{Wasserausgang} - T_{Wassereingang})} \tag{5}$$

Mit folgenden Abkürzungen:

$$\Delta WT = (T_{\text{Wasserausgang}} - T_{\text{Wassereingang}}) \text{ und } \Delta T_{\text{Kühler}} = (T_{\text{Kühler}} - T_{\text{Wassereingang}})$$

können die Formeln (1), (3), (4) und (5) geschrieben werden als:

$$R_{th,Kühler} = \frac{\Delta T_{Kühler} - \Delta WT}{q * \rho * c * \Delta WT} \quad (6)$$

$$P_2 = q * \rho * c * \Delta WT \quad (7)$$

$$P_1 = P_{el} - P_2 \quad (8)$$

$$R_{th,Oberfläche} = \frac{(\Delta T_{Kühler} + T_{Wassereingang} - T_{Umgebung})}{P_1} \quad (9)$$

Als Beispiel sind hier die berechneten Ergebnisse für 3 kW Heizleistung und 9 l/min Durchflussmenge aufgeführt (siehe auch Abb. 3 und 4):

- Delta Wassertemperatur (ΔWT): 4,1 °C
- Delta Kühler Temperatur ($\Delta T_{Kühler}$): 43,2 °C
 $\Rightarrow R_{th,Kühler} = 0,0152 \text{ K/W}$
- Übertragene Leistung ins Wasser (P_2): 2567 W
- Heizleistung Oberfläche (P_1): 433 W
 $\Rightarrow R_{th,Oberfläche} = 0,0837 \text{ K/W}$

Fazit

Mit dem Prüfstand zur Vermessung von thermischen Widerständen können die wichtigen und interessanten Parameter von Kühlern im Betrieb überwacht und aufgezeichnet werden. Mithilfe der gemessenen Kühler-Oberflächentemperatur und der Temperaturdifferenz der Kühlflüssigkeitstemperatur können thermische Widerstände von Wasserkühlern sehr exakt bestimmt werden. Dadurch haben sich wichtige Erkenntnisse bezüglich der Kühlleistung von neuartigen Kühlkörpern mit hochgradig turbulentem inneren Strömungsprofil ergeben. Dabei wurden auch unterschiedliche Bauformen von Kühlern vermessen. Durch die Verwendung eines Chillers konnten darüber hinaus verschiedene Kühlmittel verwendet und unterschiedliche Eingangs-Temperaturen eingestellt werden. Durch den flexiblen Gesamtaufbau ist dieser auch für weitere Tests mit anderen Kühlern verwendbar.