
Wärmeübertragung mit EXCEL und VBA

Uwe Feuerriegel

Wärmeübertragung mit EXCEL und VBA

Wärmetechnische Berechnungen und
Simulationen effektiv durchführen und
professionell dokumentieren

Uwe Feuerriegel
FH Aachen
Aachen, Deutschland

ISBN 978-3-658-35905-8 ISBN 978-3-658-35906-5 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-35906-5>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Eric Blaschke

Unter Mitarbeit von: Dr. Stefan Pinnow

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Die Wärmeübertragung hat eine große Bedeutung von alltäglichen Anwendungen über industrielle Prozesse bis hin zu den erneuerbaren Energien. Schnell kann es sich lohnen, Aufgabenstellungen und Berechnungen in Standardsoftware – z. B. in Excel¹ mit [Visual Basic for Applications \(VBA\)](#) – zu erstellen, um Arbeitsschritte zu standardisieren. Ziel sollte dabei sein, die Berechnungen übersichtlich anzulegen, sodass als Ergebnis ein gut strukturiertes, kommentiertes Berechnungsblatt vorliegt.

Excel lässt sich auch für komplexe Berechnungen und mathematische Optimierungen erfolgreich einsetzen. Nicht immer ist die Verwendung von Computeralgebrasystemen oder professionellen Simulationsprogrammen der beste Weg, weil gerade in kleineren Unternehmen diese Werkzeuge oft nicht zur Verfügung stehen. Außerdem bietet Excel die Funktionalitäten von [VBA](#) mit den Möglichkeiten der Erstellung [benutzerdefinierter Funktionen \(UDFs\)](#), die in Add-Ins zusammengefasst und zur Standardisierung von Berechnungen z. B. in Projektteams genutzt werden können.

Inhaltlich deckt dieses Buch die Bandbreite der Wärmeübertragung von der Wärmeleitung, über den konvektiven Wärmeübergang bis zur Wärmestrahlung einschließlich des Wärmeübergangs bei Kondensieren und beim Sieden ab. Es basiert auf meinen Lehrveranstaltungen *Wärmeübertragung* im Bachelorstudiengang Maschinenbau und *Simulation wärmetechnischer Prozesse* in den Masterstudiengängen Energy Systems und Produktentwicklung an der FH Aachen. Die Erstellung von Berechnungsmodulen in Excel wurde hier über Jahre erfolgreich aufgebaut und erprobt. So entstand eine Sammlung von Modulen, die auch im Rahmen von Industriekooperationen genutzt oder hierfür gezielt angefertigt wurden.

Ein ganz besonderer Dank gilt denen, die während ihres Studiums an der FH Aachen, ihrer von mir betreuten Abschlussarbeit, ihrer Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der FH Aachen oder sogar viele Jahre danach an der Entstehung dieses Buches mitgewirkt haben. Dies sind die Herren André Breuer B. Eng., Andrej Matthes M. Sc., Lukas Merkenich B. Eng., Jannik Metje B. Eng. und Dr.-Ing. Stefan Pinnow.

Dieses Buch – und ebenso das Buch *Verfahrenstechnik mit EXCEL* [31] – wäre ohne Herrn Pinnow nicht entstanden. Das betrifft die Inhalte und die VBA-Codes, die von Herrn Pinnow kritisch gelesen und verbessert wurden. Und es betrifft den Satz und das Layout dieses Buches mit \LaTeX , das nur Dank seiner aktiven Hilfe, seines Expertenwissens sowie seiner immer geduldigen Unterstützung entstehen konnte. Herr Pinnow hat sich auch inhaltlich insbesondere zu den Themen VBA und Stoffwertekorrelationen eingebracht. Dank Herrn Breuer wurde in diesem Buch der zweite Hauptsatz mit der Entropie sowie die Exergie thematisch behandelt. Besonders hervorzuheben sind die Arbeiten von Herrn Breuer zur Wärmeleitung, zur Wärmestrahlung und zur Simulation von Wärmeübertragern. Ebenso hat Herr Metje intensiv an Auslegungen

¹Microsoft® Office Excel®

und Simulationen von Wärmeübertragern mitgewirkt. Allen oben Genannten danke ich für die sorgfältigen Korrekturen und die vielen Verbesserungsvorschläge.

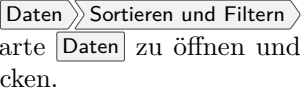



Es ist auch die wichtigste Gruppe zu erwähnen, die Studierenden, für die dieses Buch geschrieben wurde und die mitgewirkt haben, indem Sie sich – freiwillig oder auch unfreiwillig – mit den Inhalten der Lehrveranstaltungen auseinandersetzten und in den Praktika Excel-Berechnungsmodule unter Anleitung erstellten, Fehler fanden und dieses neue Konzept testeten.

Herrn Zipsner und Herrn Blaschke als Lektoren und geduligen Ansprechpartnern bei Springer Vieweg sei für die immer konstruktive und herzliche Zusammenarbeit gedankt sowie für die Freiheiten bei der Erstellung dieses Buches und der Möglichkeit, es als druckfertiges PDF-Dokument erstellen und einreichen zu dürfen.

Das Manuskript dieses Buches wurde von mehreren Personen kritisch gelesen, um die Zahl der Fehler zu minimieren. Wo dies nicht gelang, danke ich für Hinweise, die bitte an meine E-Mail-Adresse gesendet werden. Auch Fragen, Anregungen oder Verbesserungsvorschläge nehme ich gern auf: feuerriegel@fh-aachen.de.

Zusätzliches Material zu diesem Buch ist über die URL www.unit-operations.de verfügbar. Dazu gehören die (längeren) VBA-Codes. Die aufgeführten Berechnungsbeispiele sind nur als PDF-Dateien vorhanden, um insbesondere die Studierenden nicht davon abzuhalten, eigene Berechnungen zu erstellen. Hierfür bitte ich um Verständnis.

Formales zu Excel und VBA

- Über Dialogelemente wie Befehlsregisterkarten, Symbole und Buttons einzugebende Anweisungen werden wie folgt dargestellt: . Dieses Beispiel fordert auf, die Registerkarte  zu öffnen und unter  den Button  anzuklicken.
- In Zellen im Arbeitsblatt *einzugebende* Befehle wie `=WENN(T<T_kr;p_S;1000)` oder die RGP-Funktion werden in **hellblauer** Schrift dargestellt.
- Werte, die im Arbeitsblatt *ausgegeben* werden, stehen in **blauvioletter** Farbe, wie z. B. der Fehlerwert `#NV`.
- Die Bezeichnungen oder Namen von Zellen oder Zellbereichen im Arbeitsblatt stehen in der Farbe **magenta**, z. B. die Zellen **B1** oder **Zielzelle**.
- In **oranger** Farbe steht VBA-Code im Fließtext, der im VBA-Editor schwarz dargestellt wird, wie z. B. `Application.WorksheetFunction`; wird Code dagegen im VBA-Editor blau dargestellt, wie z. B. die Schlüsselwörter `If` oder `For`, wird diese Darstellungsart auch im Fließtext verwendet.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	XI
Symbolverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
2 Excel mit VBA für energietechnische Anwendungen	3
2.1 Einrichten von Berechnungsblättern in Excel	4
2.2 Grundlagen und Tipps zu VBA	7
2.3 Anwendung des Solvers	15
2.4 Anwendung benutzerdefinierter Funktionen	17
2.4.1 Berechnungen zum Wärmeübergang inwendurchströmter Rohre	17
2.4.2 Berechnung der Dichte eines idealen Gases	20
2.4.3 Berechnung des Sättigungsdampfdrucks und der Sättigungstemperatur	21
2.4.4 Berechnung der Dichte eines realen Gases	26
2.4.5 Kurzbeschreibungen zu benutzerdefinierten Funktionen	31
2.5 Erstellung und Verwendung von Add-Ins	32
2.6 Ermittlung von Ausgleichsfunktionen	33
3 Thermophysikalische Stoffwerte und Stoffwertekorrelationen	37
3.1 Stoffwerte aus dem VDI-Wärmeatlas	37
3.2 Stoffwertekorrelationen für Gase und Flüssigkeiten	39
3.2.1 Dichte von Gasen und Flüssigkeiten	40
3.2.2 Spezifische Wärmekapazitäten von Gasen und Flüssigkeiten	41
3.2.3 Wärmeleitfähigkeit, dynamische Viskosität und Oberflächenspannung	42
3.2.4 Sättigungsdampfdruck und spezifische Verdampfungsenthalpie	43
3.3 Beispielhaft berechnete Stoffwerte für Luft, Wasser und Ethen	44
4 Energiebilanzierung, Definitionen, Wärme, Entropie	51
4.1 Erster Hauptsatz, Energieformen, Energietransport und Wärme	52
4.2 Erster Hauptsatz für geschlossene Systeme	54
4.3 Erster Hauptsatz für offene Systeme	61
4.4 Zweiter Hauptsatz, Entropie und Exergie	73
5 Grundlagen der Wärmeübertragung	81
5.1 Grundsätzliche Arten der Wärmeübertragung	81
5.2 Wärmeleitung	83
5.3 Konvektiver Wärmeübergang	87

5.4	Wärmestrahlung	91
5.5	Wärmewiderstände und Wärmedurchgang	98
5.5.1	Wärmewiderstände	99
5.5.2	Gesamtwärmewiderstand, Wärmedurchgang durch eine einschichtige Wand	100
5.5.3	Wärmedurchgang durch mehrschichtige Wände	102
5.6	Bauarten von Wärmeübertragern	115
6	Wärmeleitung	119
6.1	Grundlagen der Wärmeleitung	119
6.2	Eindimensionale instationäre Wärmeleitung	124
6.2.1	Analytische Lösung für Platten, Zylinder und Kugeln	125
6.2.2	Numerische Lösung für den Zylinder	145
6.3	Zweidimensionale stationäre Wärmeleitung	155
7	Wärmestrahlung	167
7.1	Strahlungsphysikalische Grundlagen	168
7.2	Strahlung Schwarzer Körper	168
7.3	Solarstrahlung	170
7.3.1	Extraterrestrische Solarstrahlung	170
7.3.2	Solarstrahlung in der Erdatmosphäre	174
7.4	Geometrische Betrachtungen	190
7.5	Strahlungsaustausch und Strahlungsschutzschirme	202
7.6	Grundlagen der Fotometrie	208
8	Konvektiver Wärmeübergang	221
8.1	Grenzschichten, laminare und turbulente Strömung	222
8.2	Wärmeübergang bei erzwungener Konvektion	229
8.2.1	Längsangeströmte ebene Platten	231
8.2.2	Quer angeströmte Rohre oder Drähte	237
8.2.3	Quer angeströmte Rohrreihen und Rohrbündel	242
8.2.4	Durchströmte Rohre	250
8.2.5	Durchströmte konzentrische Ringspalte	281
8.3	Wärmeübergang bei freier Konvektion und bei Mischkonvektion	289
9	Wärmeübergang beim Kondensieren	299
9.1	Arten der Kondensation	299
9.2	NUSSELTsche Wasserhauttheorie	301
9.3	Filmkondensation an senkrechten Flächen und senkrechten Rohren	302
9.4	Filmkondensation an waagerechten Rohren	304
10	Wärmeübergang beim Sieden	313
10.1	Siedebereiche	313
10.2	Wärmeübergang beim Behältersieden (freie Konvektion)	317
10.3	Wärmeübergang beim Strömungssieden (erzwungene Konvektion)	322

11 Auslegung, Berechnung und Simulation von Wärmeübertragern	335
11.1 Simulation der Abkühlung eines flüssigkeitsgefüllten Behälters	335
11.2 Clean Air Duct – Temperaturverlauf in einer nichtadiabaten Rohrleitung	343
11.3 Auslegung eines Doppelrohr-Wärmeübertragers	357
11.4 Berechnung eines Rohrbündel-Wärmeübertragers	372
11.5 Anwendung des Konzepts unter Verwendung der NTU-Werte	383
11.6 Nachrechnung des Heat Rejection Subsystems der Raumstation ISS . .	390
12 Mathematische Hilfsmittel	399
12.1 Normzahlen nach RENARD	399
12.2 Numerische Integration	400
12.2.1 Interpolatorische Integrationsformeln	400
12.2.2 Integration einer Differenzialgleichung erster Ordnung	406
12.3 Diskretisierung des eindimensionalen LAPLACE-Operators	411
Abbildungsverzeichnis	413
Tabellenverzeichnis	419
Listingsverzeichnis	421
Literaturverzeichnis	423
Stichwortverzeichnis	433

Abkürzungsverzeichnis

CFD	Computational Fluid Dynamics
CFL	COURANT-FRIEDRICHS-LEWY
DGL	Differenzialgleichung (<i>engl.</i> : differential equation)
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLL	Dynamic Linked Library
DOI	Digital Object Identifier
EN	Europäische Norm
ESB	Ersatzschaltbild
FD	Finite-Differenzen (<i>engl.</i> : finite difference)
FDM	Finite-Differenzen-Methode (<i>engl.</i> : finite difference method)
FEM	Finite-Elemente-Methode (<i>engl.</i> : finite element method)
FVM	Finite-Volumen-Methode (<i>engl.</i> : finite volume method)
HRS	Heat Rejection Subsystem
HTST	High Temperature Short Time
IBVP	Anfangs-Randwert-Problem (<i>engl.</i> : Initial Boundary Value Problem)
ISO	Internationale Organisation für Normung (<i>engl.</i> : International Organization for Standardization)
ISS	International Space Station
NREL	National Renewable Energy Laboratory
PDF	Portable Document Format
PE	Polyethylen
PPDS	Physical Properties Data Service
PVC	Polyvinylchlorid
RK	RUNGE-KUTTA
SOR	Successive Overrelaxation
TREND	Thermodynamic Reference and Engineering Data [117]
UDF	benutzerdefinierte Funktion (<i>engl.</i> : user defined function)
UTF	Unicode Transformation Format
VB	Visual Basic
VBA	Visual Basic for Applications
ZDQ	Zentraler Differenzenquotient

Symbolverzeichnis

Lateinische Symbole

A	dimensionsloser Wärmeübergangskoeffizient	1
A	Fläche, Querschnittsfläche	m^2
AM	Air-Mass-Faktor	1
a	Absorptionsgrad	1
a	Durchmesserverhältnis	1
a	Querteilungsverhältnis	1
a	Temperaturleitfähigkeit	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
\tilde{Bi}	BIOT-Zahl	1
\tilde{Bi}	BIOT-Zahl des FD-Verfahrens	1
Bo	Siedekennzahl	1
b	Breite	m
b	Längsteilungsverhältnis	1
Co	Konvektions-Zahl	1
C_{12}	Strahlungsaustauschzahl	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-4}$
\dot{C}	Wärmekapazitätsstrom	W K^{-1}
c	Lichtgeschwindigkeit	m s^{-1}
c	spezifische Wärmekapazität	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
c_0	Vakuumlichtgeschwindigkeit ($c_0 = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$)	m s^{-1}
c_p	spezifische isobare Wärmekapazität	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
c_v	spezifische isochore Wärmekapazität	$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
D	Durchmesser	m
d	Durchmesser	m
d	Tageszahl im Jahr	1
E	Energie	kJ
E_t	Differenz zwischen wahrerer und mittlerer Sonnenzeit	min
\dot{E}	Energiestrom, Strahlungsleistung	W
e	spezifische Energie	kJ kg^{-1}
e	Verbindungsstrecke	m
\dot{e}	Energiestromdichte	W m^{-3}
$ Fo$	FOURIER-Zahl	1
\tilde{Fo}	FOURIER-Zahl des FD-Verfahrens	1
Fr	FROUDE-Zahl	1
f	Faktor, Funktion	1

Gr	GRASHOF-Zahl	1
g	Fallbeschleunigung ($g = 9,806\,65\text{ m s}^{-2}$)	m s^{-2}
H	Enthalpie	kJ
H	Höhe	m
\dot{H}	Enthalpiestrom	W
\dot{H}	Helligkeit einer Fläche	W
h	Höhe	m
h	PLANCKSche Konstante ($h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ J Hz}^{-1}$)	J Hz^{-1}
h	spezifische Enthalpie	kJ kg^{-1}
$\Delta_{\text{fus}}h$	spezifische Schmelzenthalpie	kJ kg^{-1}
$\Delta_{\text{vap}}h$	spezifische Verdampfungsenthalpie	kJ kg^{-1}
I	elektrischer Strom	A
I	Strahlstärke	W sr^{-1}
i	Strahlungsdichte, Intensität	W m^{-2}
i'	spektrale Strahldichte, spektrale Intensität	W m^{-3}
$i_{\text{S},0}$	Solarkonstante	W m^{-2}
J_ν	BESSEL-Funktion der Ordnung ν	
K	fotometrisches Strahlungsäquivalent	1
K	konvektiver Energietransport	kJ
K	Korrekturfaktor	1
k	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W m}^{-2}\text{ K}^{-1}$
k_{B}	BOLTZMANN-Konstante ($k_{\text{B}} = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$)	J K^{-1}
L	charakteristische Länge	m
L_{V}	Lichtstärke	cd
\mathcal{L}	LAGRANGE-Grundpolynom	
l	Länge	m
M	molare Masse	kg kmol^{-1}
M_{V}	spezifische Lichtausstrahlung	lm m^{-2}
m	Masse	kg
m	optische Masse	kg m^{-2}
m_{rel}	relative optische Masse	1
\dot{m}	Massenstrom	kg s^{-1}
N	Energieentwertungszahl	1
N	Parameter für das Strömungssieden	1
NTU	NTU -Wert (<i>engl.</i> : Number of Transfer Units)	1
Nu	NUSSELT-Zahl	1
n	Anzahl der Flächen	1
n	Brechungsindex, Brechzahl	1
n	Stoffmenge	kmol
\vec{n}	Normalenvektor	1
P	Leistung	kW

P_i	dimensionslose Temperaturänderung des Fluidstroms i	1
P_t	technische Leistung	kW
Pe	PÉCLET-Zahl	1
Pr	PRANDTL-Zahl	1
p	Druck	Pa
Q	Wärme	kJ
Q_m	Interpolationspolynom vom Grad m	
Q_V	Lichtmenge	lm s
\dot{Q}	Wärmestrom	kW
q	spezifische Wärme	kJ kg ⁻¹
\dot{q}	Wärmestromdichte	W m ⁻²
R	Radius	m
R	universelle Gaskonstante ($R = 8,314\,462\,618\text{ kJ kmol}^{-1}\text{ K}^{-1}$)	kJ kmol ⁻¹ K ⁻¹
R	Wärmewiderstand	K W ⁻¹
R^*	flächenbezogener Wärmewiderstand	m ² K W ⁻¹
Ra	RAYLEIGH-Zahl	1
Re	REYNOLDS-Zahl	1
r	radiale Koordinate	m
r	Reflexionsgrad	1
r_0	mittlerer Abstand Sonne–Erde	m
S	Entropie	kJ K ⁻¹
St	STANTON-Zahl	1
s	spezifische Entropie	kJ kg ⁻¹ K ⁻¹
s	Wanddicke, Schichtdicke, Abstand	m
s_h	horizontale Sichtweite	km
\dot{S}	Entropiestrom, Entropieproduktionsrate	kW K ⁻¹
ΔS	Entropieänderung, Entropieproduktion	kJ K ⁻¹
T	thermodynamische Temperatur	K
t	Zeit	s
t_{MEZ}	mitteleuropäische Zeit	h
t_S	mittlere Sonnenzeit	h
U	elektrische Spannung	V
U	Innere Energie	kJ
u	spezifische Innere Energie	kJ kg ⁻¹
V	spektraler Hellenempfindlichkeitsgrad	1
V	Volumen	m ³
\dot{V}	Volumenstrom	m ³ s ⁻¹
\bar{V}	molares Volumen	m ³ kmol ⁻¹
v	spezifisches Volumen	m ³ kg ⁻¹
W	Arbeit	kJ
W_t	technische Arbeit	kJ
W_{VA}	Verschiebearbeit, Förderarbeit	kJ
w	Gewichtungsfaktor	1

w	spezifische Arbeit	kJ kg^{-1}
w	Strömungsgeschwindigkeit	m s^{-1}
w_t	spezifische technische Arbeit	kJ kg^{-1}
X	dimensionslose Koordinate	1
x	Koordinate	m
\dot{x}	Dampfgehalt, Dampfmassenanteil	1
y	Koordinate	m
Z	Realgasfaktor	1
z	geodätische Höhe, Koordinate	m

Griechische Symbole

α	Sonnenhöhenwinkel	°
α	Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$
β	thermischer Volumenausdehnungskoeffizient	K^{-1}
β	Winkel	°
β_0	Winkel	°
Γ	Gamma-Funktion	
γ	Intermittenzfaktor	1
γ	Neigungswinkel, Azimutwinkel	°
γ	Schrittweitenverhältnis	1
δ	Deklination der Erde gegenüber der Sonne	°
δ	Grenzschichtdicke	m
ε	Emissionsgrad	1
ε	relativer Fehler	1
ζ	Widerstandsbeiwert	1
η	dynamische Viskosität	Pa s
η	Wirkungsgrad	1
η_c	CARNOT-Faktor	1
η_V	Lichtausbeute	lm W^{-1}
Θ	dimensionslose Temperatur	1
θ	Polarwinkel	°
ϑ	Celsius-Temperatur	°C
κ	Gewichtungsfaktor	1
λ	geografische Länge Ost	°
λ	Wärmeleitfähigkeit	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
μ	Eigenwert	
μ	Mittelwert	
ν	Frequenz	Hz
ν	kinematische Viskosität	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
ξ	dimensionsloser Ort	1
π	Kreiszahl ($\pi = 3,141\,592\,6\dots$)	1
ϱ	Dichte	kg m^{-3}
σ	Oberflächenspannung	N m^{-1}
σ	Standardabweichung	
σ	STEFAN-BOLTZMANN-Konstante ($\sigma = 5,670\,374\,419 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$)	$\text{W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

τ	dimensionslose Zeit	1
τ	Transmissionsgrad, Durchlassgrad	1
Φ	Sichtfaktor, Einstrahlzahl	1
Φ_V	Lichtstrom	lm
ϕ	geografische Breite Nord	°
φ	relative Feuchte	1
φ	Winkel	°
ψ	Hohlraumanteil	1
Ω	Raumwinkel	sr
Ω	Wärmekapazitätsstromverhältnis	1
ω	azentrischer Faktor	1
ω	Stundenwinkel	°

Hochgestellte Indizes

'	siedende Flüssigkeit, Zustand auf Siedelinie
"	gesättigter Dampf, Zustand auf Taulinie
°	idealer Gaszustand
E	Exergie
G	Gas oder Gasphase
kond	Kondensation
kond	Konduktion, Leitung
L	Flüssigkeit oder Flüssigphase
S	fest, Feststoff
V	Dampf oder Dampfphase

Tiefgestellte Indizes

∞	Ausgleich
∞	Umgebung
0	Anfangszustand
A	Abreiß-
A	Aerosol, Aerosol-Streuung
A	Anordnung
AR	Außenrohr
Atm	Atmosphäre
AW	Außenraum
a	außen
abs	absorbiert
aus	Austritt
B	Boden
B	Bohrung
B	Bypass, Bypass-Strömung
Bezug	Bezugszustand
Bündel	Bündel
b	Bestrahlung
ber	berechnet

bs	unterdrücktes Blasensieden (<i>engl.</i> : bubble suppression)
cal	kalorischer Mittelwert
cb	konvektives Strömungssieden (<i>engl.</i> : convective boiling)
D	Dampf, Dampfgemisch
diff	diffus
dir	direkt
E	Eis
E	Ende
E	Erde, Erdoberfläche
E	Ersatz
E	Ethen
EB	Energiebilanz
eff	effektiv
ein	Eintritt
el	elektrisch
em	emittiert, Emission
end	Ende, Endzeitpunkt
exz	exzentrisch, Exzentrizität
F	Faden, Glühfaden
F	Fenster
F	Filmkondensation
Fluid	Fluid
f	Bezugsquerschnitt
fl	fluchtend
fus	Schmelz, Schmelzzustand
G	Gas, Gase
G	Gegenstrom
G	Geometrie
G	gesamt, Gesamtwiderstand
G	Glaskolben
G	global
Glas	Glas
geom	geometrisches Mittel
ges	gesamt
H	Himmel
H	Hülle
h	horizontal
h	hydraulisch, hydrodynamisch
IR	Innenrohr
i	innen
<i>i</i>	Zählindex
in	innen
irr	irreversibel
<i>j</i>	Zählindex

K	Kugel, Kugelausschnitt
KW	Kühlwasser
kin	kinetisch
kond	Konduktion, Leitung
konv	konvektiv, Konvektion
korr	korrigiert
kr	kritisch, kritischer Punkt
kreis	kreisförmig, Kreis
L	flüssig (<i>engl.</i> : liquid)
L	Leck, Leckströmung
L	Luft
lam	laminar
ln	logarithmisches Mittel
M	Mantel
M	Metall
M	Milch
MR	Mehrfach-Reflexion
m	Medium
m	mittlerer, Mittelwert
max	maximal, Maximum
mech	mechanisch
misch	misch, Mischkonvektion
n	Norm, Normzustand
n	normal, in Normalenrichtung
na	nicht absorbiert
nb	Blasensieden (<i>engl.</i> : nucleate boiling)
num	numerisch
o	Oberfläche
out	außen
Proj	projiziert, Projektion
pot	potenziell
Q	Quelle, Quellterm
Q	Querschnitt
Q	Querströmung
R	RAYLEIGH-Streuung
R	Rohr, Rohrleitung
RR	Rohrreihe
RS	Ringspalt
rad	Strahlung
refl	reflektiert
rel	relativ
rev	reversibel
S	Abdichtungsstreifen
S	Sättigung, Sättigungszustand
S	Schirm, Schutzschirm
S	solar, Sonne

S	Spalt, Spaltfläche
SG	Systemgrenze
s	schwarz, Schwarzkörper
T	Thermoelement
Tau	Taupunkt
th	thermisch
th	thermisches Gleichgewicht
tr	Tripelpunkt
trans	transmittiert
turb	turbulent
U	Umlenkleche
Umg	Umgebung
üb	überströmt
V	Verbindung, Verbindungsstrecke
V	Verlust
v	sichtbar, sichtbarer Bereich
vap	dampfförmig
vers	versetzt
W	Wand
W	Wärmeübertrager
W	Wasserdampf, Wasser
Well	Welligkeit
w	wahr
x	lokal
z	zenit
zul	zulässig
zyl	zylindrisch, Zylinder
α	Eintritt, Anfang
λ	spektral
ω	Austritt, Ende