

# Wasserdampf- und Prozesse Excel Makros

## Hilfe

Version 1.19 - 10/2007

Josef BERTSCH Gesellschaft m.b.H & Co

Kessel und Energietechnik  
Apparatebau  
Nahrungsmittelanlagen

Zentrale:  
A-6700 Bludenz, Herrengasse 23  
Tel.: +43-5552-6135-0  
Fax.: +43-5552-61359

Internet: [www.bertsch.at](http://www.bertsch.at)  
E-Mail: [office@bertsch.at](mailto:office@bertsch.at)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Installation und Einbindung der Makros</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Parameter</b>	<b>4</b>
3.1	Eingabeparameter . . . . .	4
3.2	Gültigkeitsbereich . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Wasserdampf tabel</b>	<b>4</b>
4.1	Spezifisches Volumen $v$ und Dichte $\rho$ . . . . .	5
4.2	Spezifische Enthalpie $h$ . . . . .	5
4.3	Spezifische Entropie $s$ . . . . .	5
4.4	Spezifische innere Energie $u$ . . . . .	6
4.5	Spezifische isobare Wärmekapazität $c_p$ . . . . .	6
4.6	Spezifische isochore Wärmekapazität $c_v$ . . . . .	6
4.7	Schallgeschwindigkeit $w$ . . . . .	6
4.8	Dynamische Viskosität $\eta$ und kinematische Viskosität $\nu$ . . .	7
4.9	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ . . . . .	7
4.10	Isotropenkoeffizient $\kappa$ . . . . .	7
4.11	Isobarer Volumenausdehnungskoeffizient $\beta$ . . . . .	7
4.12	Isothermer Kompressibilitätskoeffizient $\chi$ . . . . .	8
4.13	Oberflächenspannung der siedenden Flüssigkeit $\sigma$ . . . . .	8
4.14	Siedetemperatur von Wasser $t_s$ . . . . .	8
4.15	Dampfdruck von Wasser $p_s$ . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Umkehrfunktionen</b>	<b>9</b>
5.1	Temperatur aus Druck und Enthalpie . . . . .	9
5.2	Temperatur aus Druck und Entropie . . . . .	9
5.3	Enthalpie aus Druck und Entropie . . . . .	9
5.4	Entropie aus Druck und Enthalpie . . . . .	9

<b>6</b>	<b>Prozesse</b>	<b>10</b>
6.1	Temperatur nach isentroper Entspannung/Kompression . . .	10
6.2	Temperatur nach Entspannung/Kompression unter Angabe des isentropen Wirkungsgrads $\eta_s$ . . . . .	10
<b>7</b>	<b>Zusätzliche Hilfe</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Das BERTSCH-Hilfeforum</b>	<b>11</b>

## 1 Einleitung

Dieses Programm wird Ihnen von Josef BERTSCH Ges. m.b.H. & Co zur Verfügung gestellt. Die Formeln und Algorithmen wurden eingehend getestet und entsprechen den Formulierungen der IAPWS - IF97. Fehler können nie ausgeschlossen werden und wir bitten Sie, die Ergebnisse stets sorgfältig zu prüfen. In keinem Fall übernimmt die Firma BERTSCH eine Haftung für Ergebnisse die mit diesem Programm ermittelt wurden.

Wir bedanken uns für Anregungen und Kritik, welche Sie uns unter der Adresse *edv@bertsch.at* zustellen können. Gerne können Sie auch Ihre Fragen an diese Adresse senden. Hierfür steht Ihnen aber auch unser Hilfeforum zur Verfügung (siehe Kapitel 8).

## 2 Installation und Einbindung der Makros

Für die Einbindung der Makros in Ihre Excel-Arbeitsmappe gibt es zwei Möglichkeiten:

1. die Verknüpfung der Makros als Add-In mit Ihrer Arbeitsmappe oder
2. die automatische Einbindung der Makros beim Start von Excel.

Beide Möglichkeiten haben sich bewährt, bei der Verwendung der Arbeitsmappe an mehreren Rechnern (z.B. bei Standardprogrammen in Firmennetzwerken) empfehlen wir Ihnen jedoch die Makros automatisch bei jedem Start von Excel zu laden. Dazu müssen Sie einfach das File "*Alle Bertsch-Wasserdampffunktionen nach IAPWS-IF97.XLA*" in das Startverzeichnis von Excel kopieren. Unter Windows XP lautet dieses im Standardfall "*C:\Dokumente und Einstellungen\username\Anwendungsdaten\Microsoft\Excel\XLStart*". Bitte beachten Sie, dass dieses Verzeichnis standardmäßig versteckt ist und daher möglicherweise nicht angezeigt wird. In diesem Fall führen Sie bitte folgende Schritte aus:

1. Starten Sie das Programm Windows-Explorer
2. Klicken Sie unter *Extras* auf den Menüpunkt *Ordneroptionen...*
3. Öffnen Sie das Fenster *Ansicht*
4. Scrollen Sie im Menüfeld nach unten bis zum Eintrag *Versteckte Dateien und Ordner* und aktivieren Sie dort den Eintrag *Alle Dateien und Ordner anzeigen*
5. Betätigen Sie den OK Knopf

Nun sollten alle Ordner sichtbar sein.

## 3 Parameter

### 3.1 Eingabeparameter

Die Eingabeparameter der verfügbaren Funktionen und deren Einheiten sind:

- p-abs: Absolutdruck in bar
- t: Temperatur in °C
- ts: Siedetemperatur in °C
- x: Dampfgehalt in kg/kg
- h: Enthalpie in kJ/kg
- s: Entropie in kJ/kgK
- $\eta_s$ : isentroper Wirkungsgrad (dimensionslos)

### 3.2 Gültigkeitsbereich

Für alle Formeln gibt es vier verschiedene Bereiche, in denen die Gültigkeit der Formeln gewährleistet ist. Diese Bereiche sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Zuordnung der Bereiche zu den verschiedenen Funktionen ist in der Beschreibung der betreffenden Funktion nachzulesen.

Bezeichnung	Druckbereich [bar]		Temperaturbereich [°C]	
	min	max	min	max
A	6.12 E-3	1000	0	800
B	6.12 E-3	100	0	2000
C			0	373.946
D	6.12 E-3	220.64		

**Tabelle 1:** Die vier verschiedenen Gültigkeitsbereiche. Die Zuordnung zu den einzelnen Funktionen ist in der Beschreibung der betreffenden Funktion nachzulesen.

## 4 Wasserdampf tafel

Die Wasserdampf tafel ermöglicht es Ihnen Stoffwerte für Wasser und Wasserdampf in einem weiten Druck und Temperaturbereich zu berechnen. Im Folgenden werden die einzelnen verfügbaren Funktionen näher erleutert.

## 4.1 Spezifisches Volumen $v$ und Dichte $\rho$

Das spezifische Volumen  $v$  wird in  $m^3/kg$  berechnet. Die Dichte  $\rho$  des Mediums in  $kg/m^3$  kann mittels der Formel

$$\rho = \frac{1}{v} \quad (1)$$

berechnet werden. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $v(p\_abs; t)$ : spez. Volumen im Bereich A und B
- $ve(p\_abs)$ : spez. Volumen der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $vz(p\_abs)$ : spez. Volumen des gesättigten Dampfes (Bereich D)

## 4.2 Spezifische Enthalpie $h$

Die spezifische Enthalpie  $h$  wird in  $kJ/kg$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $h(p\_abs; t)$ : spez. Enthalpie im Bereich A und B
- $he(p\_abs)$ : spez. Enthalpie der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $hz(p\_abs)$ : spez. Enthalpie des gesättigten Dampfes (Bereich D)
- $h\_nass(p\_abs; x)$ : spez. Enthalpie im 2-Phasengebiet (Bereich D)
- $h\_nass\_ts(ts; x)$ : spez. Enthalpie im 2-Phasengebiet (Bereich D)
- $\delta h\_v(p\_abs)$ : spez. Verdampfungsenthalpie (Bereich D)

## 4.3 Spezifische Entropie $s$

Die spezifische Entropie  $s$  wird in  $kJ/kgK$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $sw(p\_abs; t)$ : spez. Entropie im Bereich A und B
- $se(p\_abs)$ : spez. Entropie der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $sz(p\_abs)$ : spez. Entropie des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.4 Spezifische innere Energie $u$

Die spezifische innere Energie  $u$  wird in  $kJ/kg$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $u(p_{\text{abs}}; t)$ : spez. innere Energie im Bereich A und B
- $ue(p_{\text{abs}})$ : spez. innere Energie der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $uz(p_{\text{abs}})$ : spez. innere Energie des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.5 Spezifische isobare Wärmekapazität $cp$

Die spezifische isobare Wärmekapazität  $cp$  wird in  $kJ/kgK$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $cp(p_{\text{abs}}; t)$ : spez. isobare Wärmekapazität im Bereich A und B
- $cpe(p_{\text{abs}})$ : spez. isobare Wärmekapazität der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $cpz(p_{\text{abs}})$ : spez. isobare Wärmekapazität des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.6 Spezifische isochore Wärmekapazität $cv$

Die spezifische isochore Wärmekapazität  $cv$  wird in  $kJ/kgK$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $cv(p_{\text{abs}}; t)$ : spez. isochore Wärmekapazität im Bereich A und B
- $cve(p_{\text{abs}})$ : spez. isochore Wärmekapazität der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $cvz(p_{\text{abs}})$ : spez. isochore Wärmekapazität des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.7 Schallgeschwindigkeit $w$

Die Schallgeschwindigkeit  $w$  wird in  $m/s$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $w(p_{\text{abs}}; t)$ : Schallgeschwindigkeit im Bereich A und B
- $we(p_{\text{abs}})$ : Schallgeschwindigkeit der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $wz(p_{\text{abs}})$ : Schallgeschwindigkeit des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.8 Dynamische Viskosität $\eta$ und kinematische Viskosität $\nu$

Die dynamische Viskosität  $\eta$  wird in *Pas* berechnet. Die kinematische Viskosität  $\nu$  in  $m^2/s$  kann mittels der Formel

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \eta * v \quad (2)$$

berechnet werden. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- eta(p\_abs; t): dyn. Viskosität im Bereich A
- etae(p\_abs): dyn. Viskosität der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- etaz(p\_abs): dyn. Viskosität des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.9 Wärmeleitfähigkeit $\lambda$

Die Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  wird in  $W/mK$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- lambda(p\_abs; t): Wärmeleitfähigkeit im Bereich A
- lambdae(p\_abs): Wärmeleitfähigkeit der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- lambdaz(p\_abs): Wärmeleitfähigkeit des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.10 Isotropenkoeffizient $\kappa$

Der Isotropenkoeffizient  $\kappa$  ist dimensionslos. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- kappa(p\_abs; t): Isotropenkoeffizient im Bereich A und B
- kappae(p\_abs): Isotropenkoeffizient der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- kappaz(p\_abs): Isotropenkoeffizient des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.11 Isobarer Volumenausdehnungskoeffizient $\beta$

Der isobare Volumenausdehnungskoeffizient  $\beta$  wird in  $1/K$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- beta(p\_abs; t): isobarer Volumenausdehnungskoeffizient im Bereich A und B



- $\text{betae}(p\_abs)$ : isobarer Volumenausdehnungskoeffizient der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $\text{betaz}(p\_abs)$ : isobarer Volumenausdehnungskoeffizient des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.12 Isothermer Kompressibilitätskoeffizient $\chi$

Der isotherme Kompressibilitätskoeffizient  $\chi$  wird in  $1/\text{bar}$  berechnet. Folgende Funktionen werden unterstützt:

- $\text{beta}(p\_abs; t)$ : isothermer Kompressibilitätskoeffizient im Bereich A und B
- $\text{betae}(p\_abs)$ : isothermer Kompressibilitätskoeffizient der siedenden Flüssigkeit (Bereich D)
- $\text{betaz}(p\_abs)$ : isothermer Kompressibilitätskoeffizient des gesättigten Dampfes (Bereich D)

#### 4.13 Oberflächenspannung der siedenden Flüssigkeit $\sigma$

Die Oberflächenspannung der siedenden Flüssigkeit  $\sigma$  wird in  $N/m$  berechnet. Die Funktion hat folgenden Syntax:

- $\text{sigma}(ts)$ : Oberflächenspannung der siedenden Flüssigkeit im Bereich C

#### 4.14 Siedetemperatur von Wasser $ts$

Die Siedetemperatur  $ts$  von Wasser wird in  $^{\circ}\text{C}$  berechnet. Die Funktion hat folgenden Syntax:

- $ts(ps)$ : Siedetemperatur von Wasser im Bereich D

#### 4.15 Dampfdruck von Wasser $ps$

Der Dampfdruck  $ps$  von Wasser wird in  $\text{bar}$  berechnet. Die Funktion hat folgenden Syntax:

- $ps(ts)$ : Siedetemperatur von Wasser im Bereich C

## 5 Umkehrfunktionen

### 5.1 Temperatur aus Druck und Enthalpie

Die Temperatur des Mediums kann aus Druck und Enthalpie berechnet werden. Die Funktion hat folgenden Syntax:

- $T_h(p_{abs}; h)$ : gültig im Bereich A und B

Dabei ist zu beachten, dass falls der Zustand  $(p_{abs}; h)$  im 2-Phasengebiet liegt, der Dampfgehalt  $x$  in  $kg/kg$  zurückgegeben wird. Befindet sich der Zustand im flüssigen, dampfförmigen oder überkritischen Bereich wird die Temperatur in  $^{\circ}C$  zurückgegeben.

### 5.2 Temperatur aus Druck und Entropie

Die Temperatur des Mediums kann aus Druck und Entropie berechnet werden. Die Funktion hat folgenden Syntax:

- $T_s(p_{abs}; s)$ : gültig im Bereich A und B

Dabei ist zu beachten, dass falls der Zustand  $(p_{abs}; s)$  im 2-Phasengebiet liegt, der Dampfgehalt  $x$  in  $kg/kg$  zurückgegeben wird. Befindet sich der Zustand im flüssigen, dampfförmigen oder überkritischen Bereich wird die Temperatur in  $^{\circ}C$  zurückgegeben.

### 5.3 Enthalpie aus Druck und Entropie

Die Enthalpie des Mediums kann aus Druck und Entropie berechnet werden. Das Ergebnis wird in  $kJ/kg$  berechnet. Die Funktion hat folgenden Syntax:

- $h_s(p_{abs}; s)$ : gültig im Bereich A und B

### 5.4 Entropie aus Druck und Enthalpie

Die Entropie des Mediums kann aus Druck und Enthalpie berechnet werden. Das Ergebnis wird in  $kJ/kgK$  berechnet. Die Funktion hat folgenden Syntax:

- $s_h(p_{abs}; h)$ : gültig im Bereich A und B

## 6 Prozesse

Die Makros der BERTSCH Wasserdampf- und Prozesse beinhalten auch verschiedenste Funktionen zur Abbildung einfacher Prozesse. Diese werden hier näher erleutert.

### 6.1 Temperatur nach isentroper Entspannung/Kompression

Mit Hilfe dieser Prozessfunktion kann die Austrittstemperatur nach einer Entspannung/Kompression vom Zustand 1 zum Zustand 2 berechnet werden. Es stehen folgende Funktionen zur Verfügung:

- $T_{\text{isentrop}}(p_{\text{abs1}}; t1; p_{\text{abs2}})$ : gültig im Bereich A und B
- $T_{\text{isentrop\_h}}(p_{\text{abs1}}; h1; p_{\text{abs2}})$ : gültig im Bereich A und B

Dabei ist zu beachten, dass falls der Zustand 2 im 2-Phasengebiet liegt, der Dampfgehalt  $x$  in  $[kg/kg]$  zurückgegeben wird. Befindet sich der Zustand im flüssigen, dampfförmigen oder überkritischen Bereich wird die Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$  zurückgegeben.

### 6.2 Temperatur nach Entspannung/Kompression unter Angabe des isentropen Wirkungsgrads $\eta_s$

Mit Hilfe dieser Prozessfunktion kann die Austrittstemperatur nach einer Entspannung/Kompression vom Zustand 1 zum Zustand 2 unter Angabe des isentropen Wirkungsgrads berechnet werden. Es stehen folgende Funktionen zur Verfügung:

- $T_{\text{prozess}}(p_{\text{abs1}}; t1; p_{\text{abs2}}; \eta_s)$ : gültig im Bereich A und B
- $T_{\text{prozess\_h}}(p_{\text{abs1}}; h1; p_{\text{abs2}}; \eta_s)$ : gültig im Bereich A und B

Dabei ist zu beachten, dass falls der Zustand 2 im 2-Phasengebiet liegt, der Dampfgehalt  $x$  in  $[kg/kg]$  zurückgegeben wird. Befindet sich der Zustand im flüssigen, dampfförmigen oder überkritischen Bereich wird die Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$  zurückgegeben.

## 7 Zusätzliche Hilfe

Neben diesem Dokument stehen weitere Hilfestellungen zur Verfügung. Mit der Funktion `help_dampf()` wird in Excel eine kurze Anleitung zu allen verfügbaren Funktionen eingeblendet. Sollten Sie weitere Hilfe benötigen, bitten wir Sie Ihre Fragen im BERTSCH-Hilfeforeum zu posten (siehe Kapitel 8).

## 8 Das BERTSCH-Hilfeforum

Es wurde eigens für die verschiedenen BERTSCH-Softwarepakete ein Hilfeforum eingerichtet. Dieses können Sie auf unserer Homepage *www.bertsch.at* im Unterpunkt Software finden. Die dort geposteten Fragen werden von einem unserer Mitarbeiter baldmöglichst bearbeitet.