



HOCHSCHULE ZITTAU/GÖRLITZ  
University of Applied Sciences

**Kretzschmar, H.-J.; Stöcker, I.; Kunick, M.; Jähne, I.:**

**Fachgebiet Technische Thermodynamik**

**Fakultät Maschinenwesen**

**Mathcad-Bibliotheken für thermodynamische  
Stoffdaten und das E-Learning System  
Thermopr@ctice**

[www.thermodynamik-zittau.de](http://www.thermodynamik-zittau.de)

SAXSIM 2010, Chemnitz, 26. April 2010

## Mathcad-Bibliotheken für thermodynamische Stoffdaten und das E-Learning System Thermopr@ctice

### Gliederung

#### 1 E-Learning System Thermopr@ctice

Didaktisches Konzept

Organisation der Lernumgebung über Internet

Nutzung von Mathcad zur Berechnung der Übungsaufgaben

Einsatz in Lehrveranstaltungen

Anwendungshorizont

#### 2 Stoffwert-Bibliotheken für Mathcad

Berechnung von thermodynamischen Stoffdaten für Arbeitsfluide der Energietechnik

Ankopplung von Stoffwert-Bibliotheken an Mathcad

Komfortabler Aufruf der Stoffwert-Funktionen in Mathcad

Nutzung in der Industrie

Programmversionen für Studierende

**Teil 1**

**E-Learning System Thermopr@ctice  
zur Berechnung von  
Übungsaufgaben mit Mathcad**

**Interaktives Lernsystem  
Thermopr@ctice**

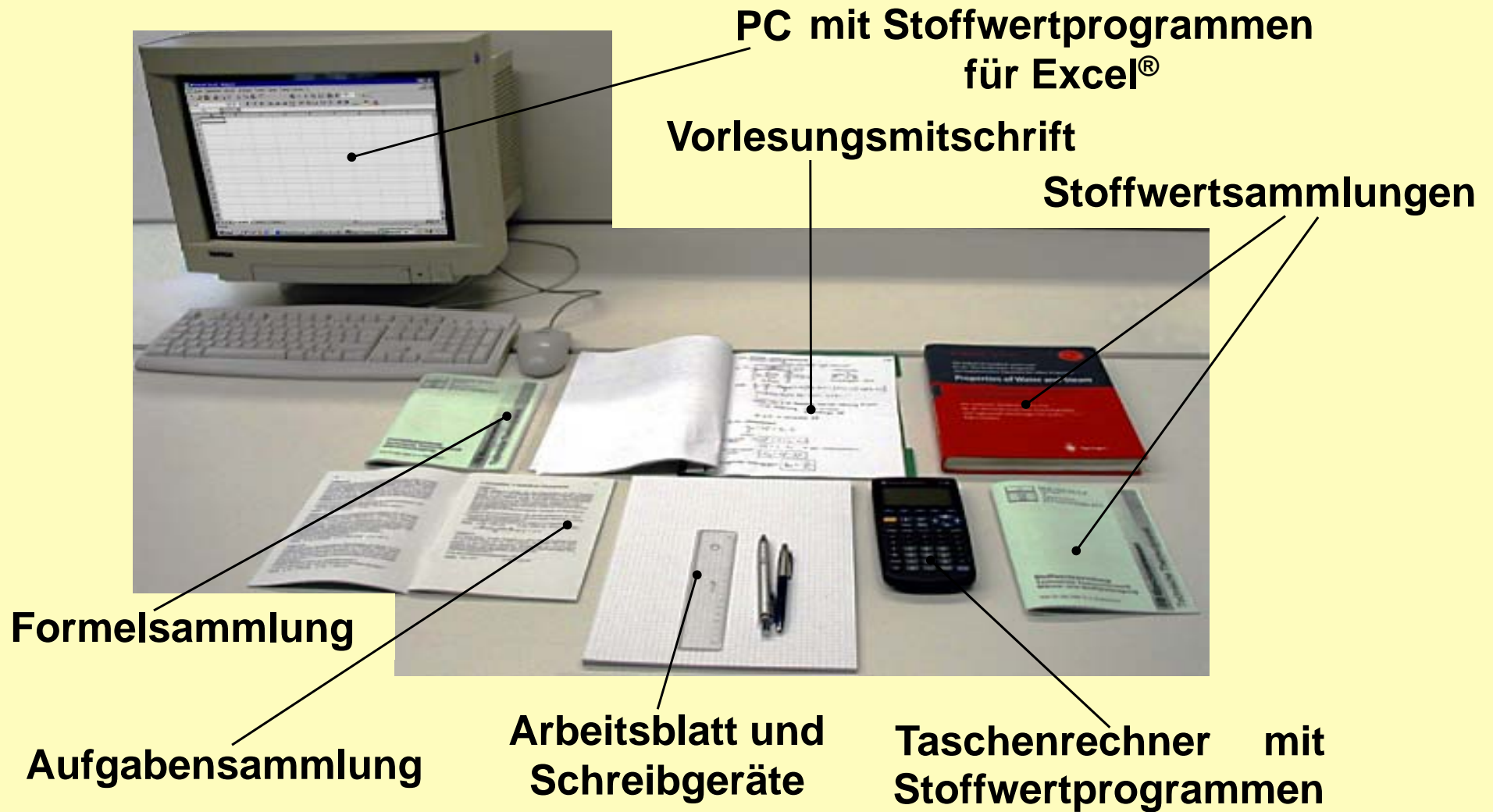


**System zur selbständigen  
Berechnung von Übungsaufgaben  
mit Computer-Algebrasystem**



**Ergänzung zur Vorlesung  
Technische Thermodynamik**

# Ausgangssituation



**Berechnung der Übungsaufgaben "von Hand" auf Arbeitsblatt**

# Grundkonzept

## Datentransfer über Internet

Arbeitsbildschirm  
eines Computer-Algebrasystems



PC

Persönliche  
Vorlesungsmitschrift



Server mit  
• Aufgabensammlung  
• Formelsammlung  
• Stoffwertsammlung



Berechnung der Übungsaufgaben "von Hand"  
auf Arbeitsblatt

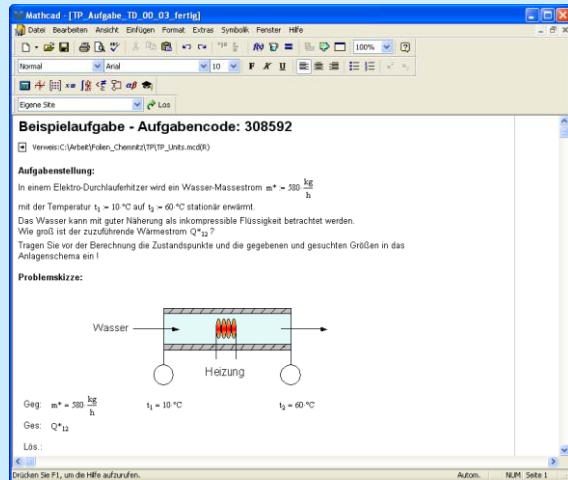
Berechnung von Übungsaufgaben mit  
Computer-Algebrasystem

# Didaktisches Konzept

Auswahl und Transfer einer **Aufgabe**  
aus Aufgabensammlung

Konzept

Arbeitsbildschirm  
des  
Computer-Algebrasystems



**Formeln** aus  
Formelsammlung

**Stoffdaten** aus Stoffwertsammlung

Berechnen von **Stoffdaten** mit  
Stoffwertprogrammen

Organisation der Schnittstellen durch  
**Thermopr@ctice**

Transfer der **Ergebnisse** zum Server  
→ interner Vergleich mit Datenbank  
→ Rückmeldung, Hinweise bei Fehlern

## Kriterien für die Entscheidung für Mathcad®

- Notation weitestgehend wie handschriftlich

Aufgabe 3.1a  
Berechnung der Nutzarbeit

Lösung:  
geg.:  $F_K = 1,25 \text{ kN}$       ges.:  $W_{N12}$   
 $\Delta z = 0,40 \text{ m}$

Lös.: a) FS:  $W_{N12} = \int_{z_1}^{z_2} F_K(z) dz$   
 $W_{N12} = F_K \cdot \Delta z$   
 $W_{N12} = -0,5 \text{ kJ}$   
(negativ, da vom System abgegeben)

Aufgabe 3.1a  
Berechnung der Nutzarbeit

geg.:  $F_K = 1.25 \text{ kN}$       ges.:  $W_{N12}$   
 $\Delta z = 0.4 \text{ m}$

Lös.:  
a) **FS:**  $W_{N12} := \int_{z_1}^{z_2} F_K(z) dz$  +  
 $W_{N12} := F_K \cdot \Delta z$   
 $W_{N12} = 0.5 \text{ kJ}$

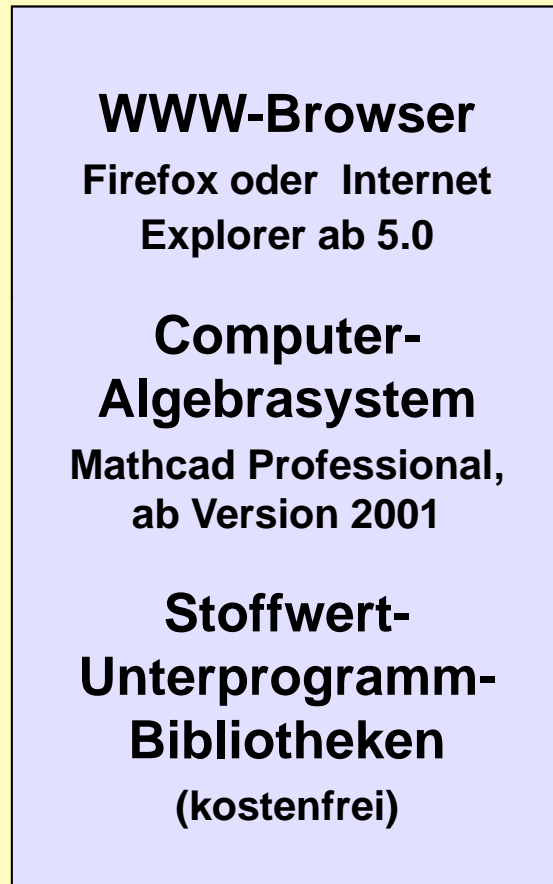
- Verwendung von Maßeinheiten
- Ankopplungsmöglichkeiten für DLLs

An Hochschule Zittau/Görlitz: Campus-Lizenz Mathcad 14



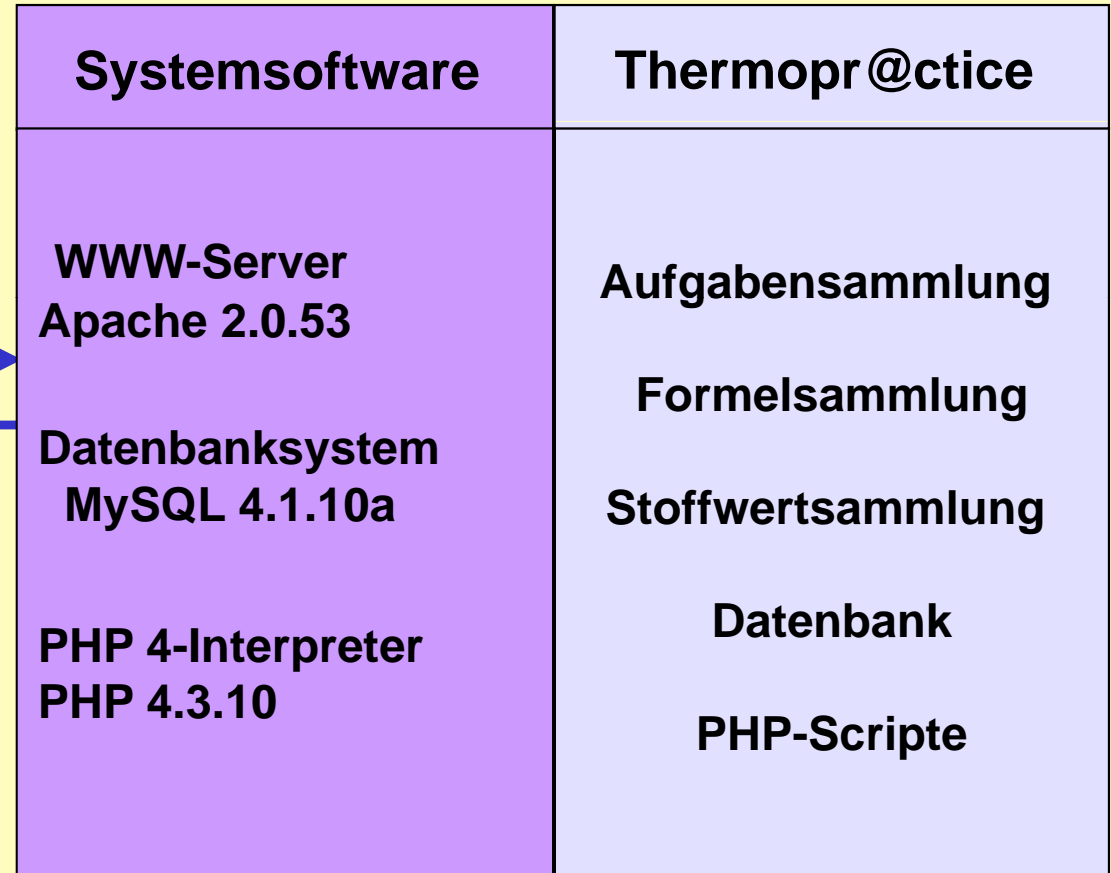
# Technische Basis und Systemaufbau

## Windows Client (Lernender)



Kommunikation via Internet

## "LAMP"-Server



# Übungsaufgabe mit Thermopr@ctice

## Beispielaufgabe - Aufgabencode: 308592

☞ Verweis:C:\Arbeit\Folien\_Chernitz\TP\TP\_Units.mcd(R)

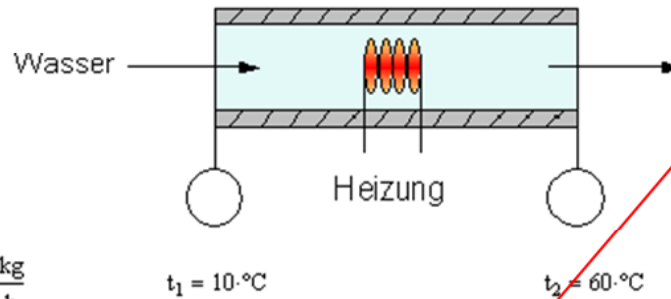
### Aufgabenstellung:

In einem Elektro-Durchlauferhitzer wird ein Wasser-Massestrom  $m^* := 580 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}}$  mit der Temperatur  $t_1 := 10^\circ\text{C}$  auf  $t_2 := 60^\circ\text{C}$  stationär erwärmt.

Das Wasser kann mit guter Näherung als inkompressible Flüssigkeit betrachtet werden. Wie groß ist der zuzuführende Wärmestrom  $Q^*_{12}$ ?

Tragen Sie vor der Berechnung die Zustandspunkte und die gegebenen und gesuchten Größen Anlagenschema ein!

### Problemskizze:



Geg:  $m^* = 580 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{h}}$

Ges:  $Q^*_{12}$

Lös.:

$$Q^*_{12} + P_{t_{st,12}} := m^* \cdot \left[ (h_2 - h_1) + \frac{1}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2) + g \cdot (z_2 - z_1) \right]$$

$$Q^*_{12} := m^* \cdot (h_2 - h_1)$$

$$h_1 = 42.021 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T_2 := \left( \frac{t_2}{^\circ\text{C}} + 273.15 \right) \cdot \text{K}$$

$$h_2 := h_{pTx\_97} \left( -1, \frac{T_2}{\text{K}}, 0 \right) \cdot \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_2 = 251.154 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q^*_{12} := m^* \cdot (h_2 - h_1)$$

$$Q^*_{12} = 33.694 \text{ kW}$$

### Formelsammlung

#### Energiebilanz beim offenen System

Instationäre Energiebilanz:  $Q^* + W^*_{st} + \sum H^*_{st,zu} - \sum H^*_{st,ab} := \frac{dU}{dt}$

Stationäre Energiebilanz vom Eintritt ① bis Austritt ②

$$Q^*_{12} + P_{t_{st,12}} := \sum H^*_{st,2} - \sum H^*_{st,1}$$

Sonderfall: Ein Eintritt und ein Austritt ( $m^* = m^*_1 = m^*_2$ ) - stationärer Fließprozess

$$Q^*_{12} + P_{t_{st,12}} := m^* \cdot \left[ (h_2 - h_1) + \frac{1}{2} \cdot (c_2^2 - c_1^2) + g \cdot (z_2 - z_1) \right]$$

### Stoffwertsammlung

Tab. 4 Stoffwerte von Wasserflüssigkeit (inkompressibel)

t	p	c <sub>p</sub>	c <sub>p,if,T,TD</sub>	h	s <sub>T</sub>	β = α <sub>p</sub>
°C	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$	$\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$	$\text{K}^{-1}$
0	999.79	4.2199	4.2199	0	0	-0.068073
2	999.89	4.2134	4.1958	8.3916	0.030606	-0.032744
4	999.93	4.2078	4.2032	16.813	0.061101	0.000267
6	999.99	4.2031	4.2039	25.224	0.09134	0.031229
8	999.8	4.1992	4.2033	33.626	0.12133	0.06037
10	999.65	4.1958	4.2021	42.021	0.15109	0.087889
12	999.45	4.193	4.2008	50.41	0.18061	0.11386
14	999.2	4.1905	4.1995	58.794	0.2099	0.13873
16	998.9	4.1884	4.1983	67.173	0.23898	0.16233

### Funktion einfügen

Funktionskategorie: **Hyperbolisch**

Funktionsname: **h\_pTx\_97**

Spezifische Enthalpie h in kJ/kg aus Druck p in MPa, Temperatur T in K und Dampfanteil x in kg/kg

Buttons: [?] [OK] [Einfügen] [Abbrechen]

Lernsystem Thermopr@ctice

Sprache: Deutsch | English

Lehrfach: Technische Thermodynamik

Kapitel: 0 Demonstrationenbeispiele / Demonstration Examples

Aufgabe: 03 | Hauptsatz: Stationäres, offenes System - Wasser

Buttons: [Ergebnisse einsenden] [Logout]

Beispielaufgabe

In einem Elektro-Durchlauferhitzer wird ein Wasser-Massestrom  $m^* = 600 \text{ kg/h}$  mit der Temperatur  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  auf  $t_2 = 55^\circ\text{C}$  stationär erwärmt. Das Wasser kann mit guter Näherung als inkompressible Flüssigkeit betrachtet werden. Wie groß ist der zuzuführende Wärmestrom  $Q^*_{12}$ ? Tragen Sie vor der Berechnung die Zustandspunkte und die gegebenen und gesuchten Größen in das Anlagenschema ein.

Anlagenschema:

Lernsystem Thermopr@ctice

Sprache: Deutsch | English

Lehrfach: Technische Thermodynamik

Kapitel: 0 Demonstrationenbeispiele / Demonstration Examples

Aufgabe: 03 | Hauptsatz: Stationäres, offenes System - Wasser

Ergebnisse einsenden

Wärmestrom  $Q^*_{12}$ : 33.694 Einheit: kW

Ihre Bemerkungen zu dieser Aufgabe: Demonstrationenbeispiel

Buttons: [Ergebnisse einsenden] [Zurück]

# Effekte für Studium

- **Selbständiges Abarbeiten von Übungsaufgaben in individuellen Varianten und mit individuellen Werten**  
→ **Aktives und selbständiges Lernen**
- **Bearbeitung von Aufgaben über Internet am PC entspricht dem Interesse der Studierenden**  
→ **Erhöhung der Attraktivität des Lernens**
- **Bearbeitung in Übungen und zu Hause**  
→ **Nutzung des heimischen PCs für Lernzwecke**
- **Kennenlernen eines Computer-Algebrasystems und Nutzung von modernen Hilfsmitteln, wie Stoffwert-Programmbibliotheken**  
→ **Heranführung an moderne Arbeitsweisen des Ingenieurs**

# Nutzung von Thermopr@ctice in der Lehre

## Ablauf des Kurses

- Workshop mit einfachem Beispiel (2 Stunden)
- Installation von Mathcad auf heimischen PC
- Übungen in PC-Pools parallel zu herkömmlichen Übungen
- Berechnung der verbleibenden Aufgaben zu Hause
- Klausuren mit Thermopr@ctice

## Einsatz in der Lehre

- Seit Wintersemester 2002/2003
- Gegenwärtig in Lehrveranstaltungen Technische Thermodynamik und Kältetechnik für vier Studiengänge
- In Weiterbildung für Siemens Energy Görlitz

## Detaillierte Informationen in:

Fischer, H.; Schwendel, J. (Hrsg.):  
E-Learning an sächsischen Hochschulen.  
TUDpress (2009), S. 116-131  
ISBN 978-3-941298-04-0

# Anwendungshorizont

**Anwendung für weitere Lehrfächer, in denen die Wissensaneignung durch das Berechnen von Übungsaufgaben erfolgt:**

- **Strömungsmechanik**
- **Technische Mechanik**
- **Maschinenelemente**
- **Elektrotechnik**
- **Mathematik**
- **Physik**
- **Investition und Finanzierung**

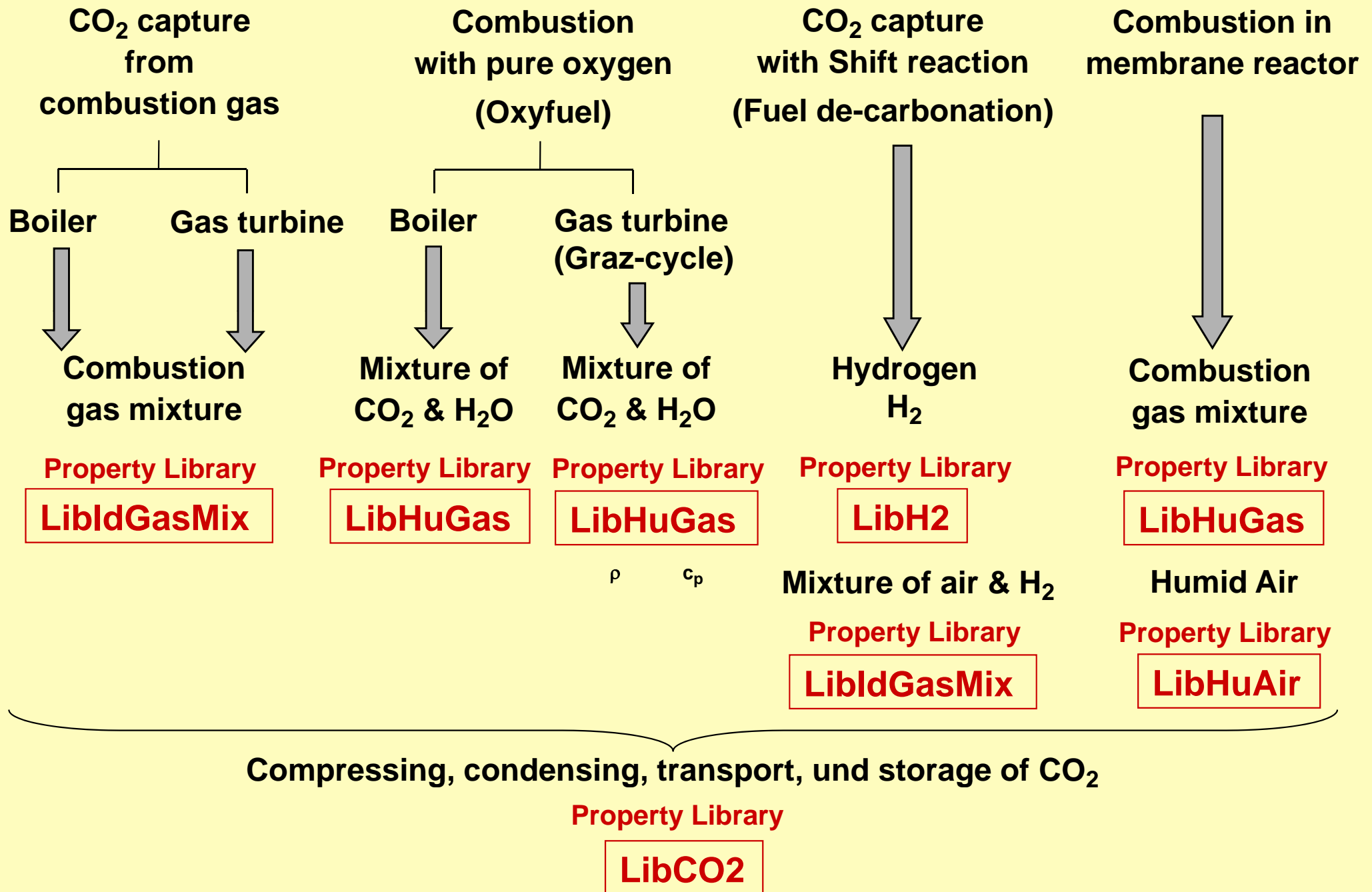
**Aufruf des Lernsystems: [www.thermopractice.de](http://www.thermopractice.de)**

**Teil 2**

**Stoffwert-Bibliotheken für Mathcad**

# Stoffwert-Bibliotheken für Mathcad

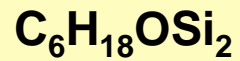
## Energy Conversion Processes with CO<sub>2</sub> Capture



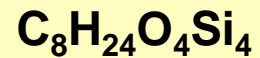
# Stoffwert-Bibliotheken für Mathcad

## ORC Processes

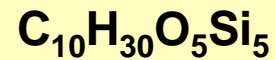
### Siloxanes



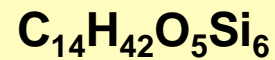
**LibMM**



**LibD4**



**LibD5**



**LibMD4M**

### Refrigerants

Ammonia

**LibNH3**

R134a

**Lib134a**

Propane

**LibPropane**

Iso-Butane

**LibButan\_Iso**

n-Butane

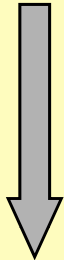
**LibButan\_n**



# Stoffwert-Bibliotheken für Mathcad

## Energy Storage and Hydrogen Supply

Compressed air storage



Humid Air  
at high pressures

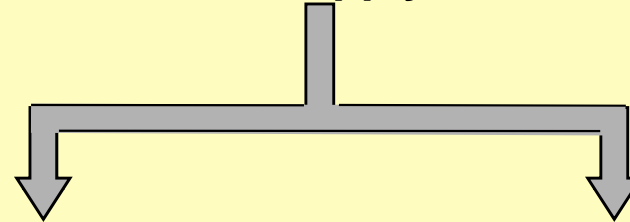
Property Library

**LibHuAir**

Ideal mixture of the  
real fluids dry air  
and steam, water or ice

$\rho$   $c_p$

Hydrogen storage and  
supply



Hydrogen  
at high pressures

Liquid  
hydrogen

Property Library

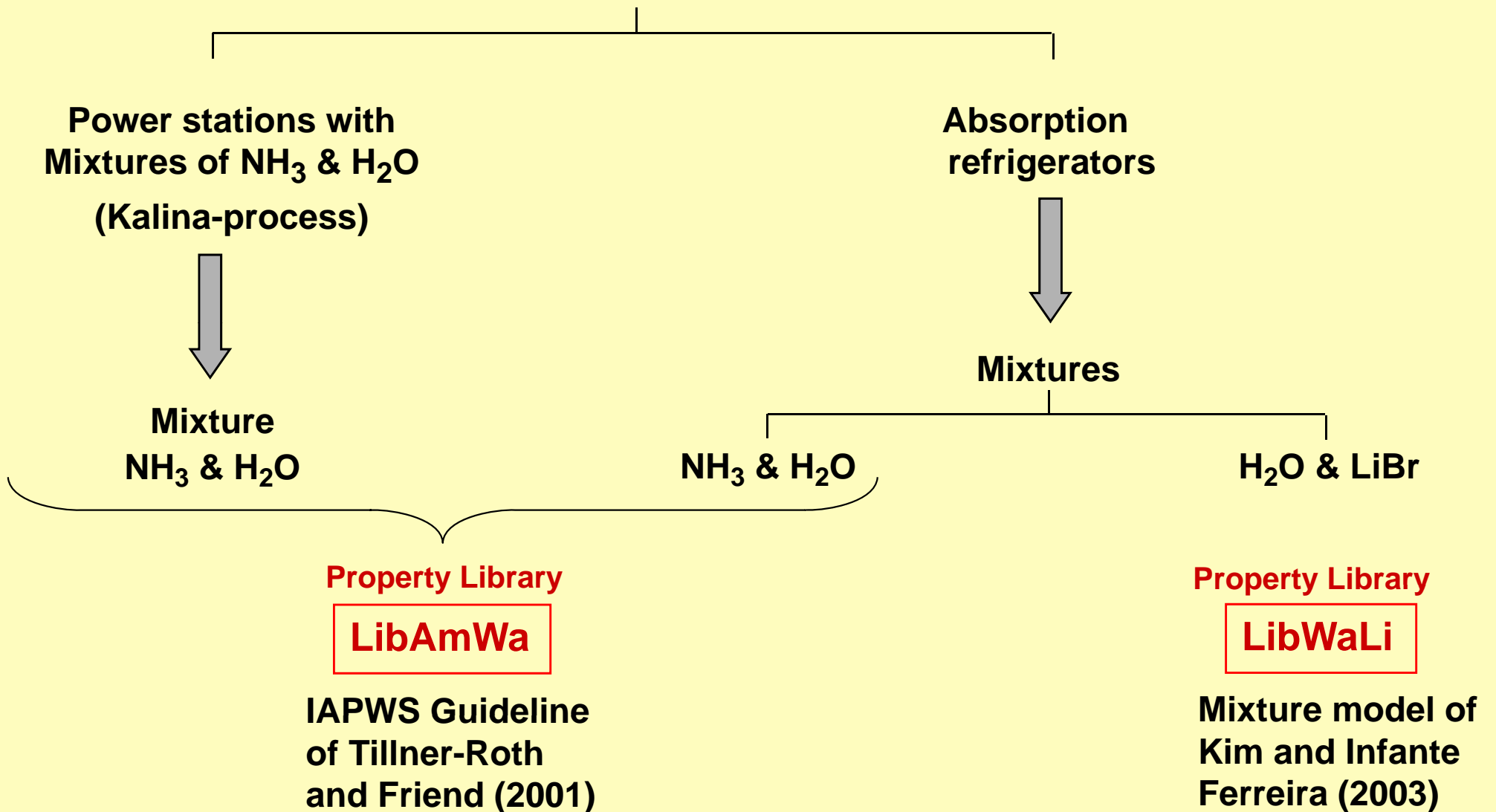
**LibH2**

Equation of state of  
Leachman, Jacobson,  
and Lemmon

$\rho$   $c_p$

# Stoffwert-Bibliotheken für Mathcad

## Energy Conversion Processes with Working Fluid Mixtures



# Übersicht der Stoffwert-Bibliotheken

<p><b>Water and Steam</b>  <b>Library LibIF97</b>            Industrial Formulation            IAPWS-IF97</p>	<p><b>Humid Combustion Gases</b>  <b>Library LibHuGas</b>            Ideal mixture of real fluids  <b>Library LibIDGas</b>            Ideal gas mixture (VDI-Guideline 4670)</p>	<p><b>Humid Air</b>  <b>Library LibHuAir</b>            Ideal mixture of real fluids  <b>Library LibIdAir</b>            Ideal gas mixture</p>
<p><b>Seawater</b>  <b>Library LibSeaWa</b></p> <p><b>Hydrogen</b>  <b>Library LibH2</b></p> <p><b>Helium</b>  <b>Library LibHe</b></p> <p><b>Methanol</b>  <b>Library LibCH3OH</b></p> <p><b>Carbon Dioxide</b>  <b>Library LibCO2</b></p>	<p><b>Ideal Gas Mixtures</b>  <b>Library LibIdGasMix</b>            Ideal mixture of ideal fluids</p>	<p><b>Refrigerants</b>            Ammonia  <b>Library LibNH3</b>            R134a  <b>Library LibR134a</b>            Propane  <b>Library LibPropan</b>            Iso-Butane  <b>Library LibButan_Iso</b>            n-Butane  <b>Library LibButan_n</b></p>
	<p><b>ORC Working Fluids</b>            Siloxanes MM, D4, D5, MD4M  <b>Libraries LibMM, LibD4,            LibD5, LibMD4M</b>            Formulations of Colonna et al.</p>	
	<p><b>Mixtures in Absorption Processes</b>            Ammonia &amp; Water  <b>Library LibAmWa</b>            Water &amp; Lithiumbromide  <b>Library LibWaLi</b></p>	

# Stoffwert-Funktionen

The following **thermodynamic** and **transport properties** can be calculated:

## Thermodynamic Properties

- Saturation pressure  $p_s$
- Saturation temperature  $T_s$
- Density  $\rho$
- Specific volume  $v$
- Enthalpy  $h$
- Internal energy  $u$
- Entropy  $s$
- Exergy  $e$
- Isobaric heat capacity  $c_p$
- Isochoric heat capacity  $c_v$
- Isentropic exponent  $\kappa$
- Speed of sound  $w$
- Surface tension  $\sigma$

## Thermodynamic Derivatives

- All partial derivatives can be calculated.

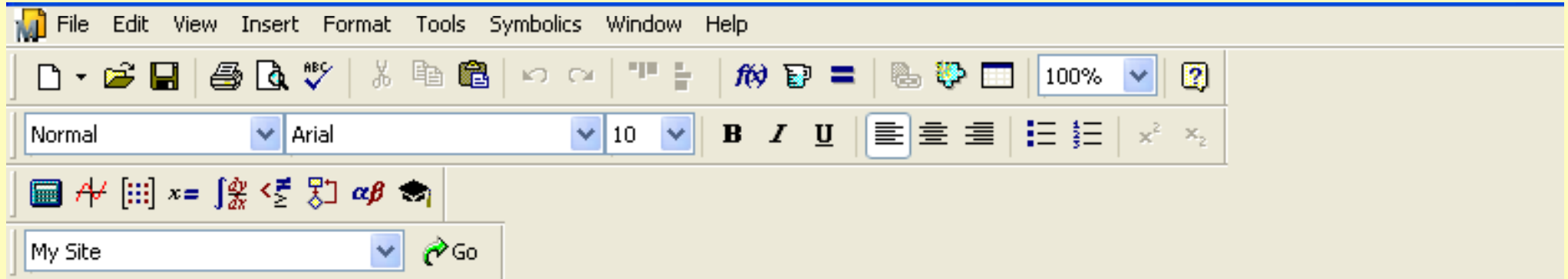
## Transport Properties

- Dynamic viscosity  $\eta$
- Kinematic viscosity  $\nu$
- Thermal conductivity  $\lambda$
- *Prandtl-number*  $Pr$

## Backward Functions

- $T, v, s (p, h)$
- $T, v, h (p, s)$
- $p, T, v (h, s)$
- $p, T (v, h)$
- $p, T (v, u)$

# Nutzung der Stoffwert-Bibliotheken in Mathcad



+

## Using Add-On FluidMAT in Mathcad 14

### Calculation of Specific Enthalpy for Steam using the Library LibIF97

$p := 10$  bar given pressure

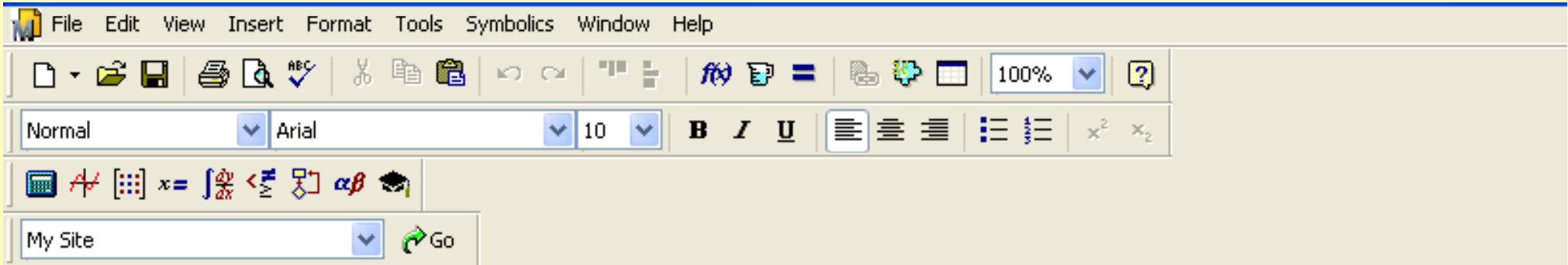
$t := 300$  °C given temperature

$x := -1$   $\frac{\text{kg}}{\text{kg}}$  given vapor fraction (formally  $x = -1$  for single-phase region)

$h := h\_ptx\_97(p, t, x)$  function call for specific enthalpy in FluidMAT

$h = 3051.70$   $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  result for specific enthalpy

# Nutzung der Stoffwert-Bibliotheken in Mathcad



## Calculation of the Air-Specific Enthalpy for Humid Air using the Library LibHuAir

$p := 1.01325 \text{ bar}$  given pressure

$t := 20 \text{ } ^\circ\text{C}$  given temperature

$\text{phi} := 60 \text{ } \%$  given relative humidity

$x_w := x_w\_ptPhi\_HuAir(p, t, \text{phi})$  function call for humidity ratio in FluidMAT

$x_w = 8.745 \frac{\text{g}}{\text{kg}(\text{Air})}$  result for humidity ratio (absolute humidity)

$h_l := h_l\_ptxw\_HuAir(p, t, x_w)$  function call for air-specific enthalpy in FluidMAT

$h_l = 42.32 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}(\text{Air})}$  result for air-specific enthalpy

# Nutzung der Stoffwert-Bibliotheken in Mathcad

**Calculation of Specific Enthalpy for an Ideal Gas Mixture from VDI-Guideline 4670 using the Library LibIDGAS**

$p := 1.01325$  bar given pressure

$t := 500$  °C given temperature

$mol\_mass := 1$  = 0 for given mole fractions; = 1 for given mass fractions

Comp :=

0.0028	Ar
0	Ne
0.7251	N2
0.0236	O2
0	CO
0.0868	CO2
0.1617	H2O
0	SO2
0	Air
0	Air_N2

components

$h := h\_pt\_id(p, t, mol\_mass, Comp)$  function call for specific mixture enthalpy in FluidMAT

$h = 1007.09$   $\frac{kJ}{kg}$  result for specific enthalpy of the ideal-gas mixture

# Nutzung von FluidMAT in der Industrie

## Die folgenden Unternehmen nutzen FluidMAT :

- Alstom Power, Baden (Schweiz)
- Siemens Energy, Nürnberg, Görlitz
- MAN Turbo, Oberhausen
- Vattenfall – Konzernlizenz europaweit
- Energieversorgung Halle
- Nordostschweizerische Kraftwerke (Schweiz)
- DLR, Stuttgart, Hardthausen
- JHK Anlagenbau Bremerhaven
- M&M Turbinentechnik Bielefeld
- Redacom, Nidau (Schweiz)
- TechGroup, Ratingen
- TechSoft, Linz (Österreich)
- TÜV Nord Ensys, Hannover
- UMAG Maschinen und Anlagenbau, Husum
- VER Verfahrensingenieure, Dresden
- Zikesch Armaturentechnik, Essen



# Nutzung von FluidMAT durch Studierende

## Versionen von FluidMAT für Studierende für:

– Wasser und Wasserdampf	LibIF97
– Ideale Gasgemische	LibIDGAS
– Feuchte Luft	LibFLuft
– Ammoniak	LibNH3
– Kältemittel R134a	LibR134a

Download unter: [www.thermodynamik-zittau.de](http://www.thermodynamik-zittau.de)

└─> Lehre

└─> Downloads für Studierende

oder: [www.thermodynamik-formelsammlung.de](http://www.thermodynamik-formelsammlung.de)

Downloads im vergangenen Jahr: 588

Downloads gesamt: 1416