



Level



Pressure



Flow



Temperature



Liquid  
Analysis



Registration



Systems  
Components



Services



Solutions

Appendix to the Operating Manual

# Graphic Data Manager RSG40

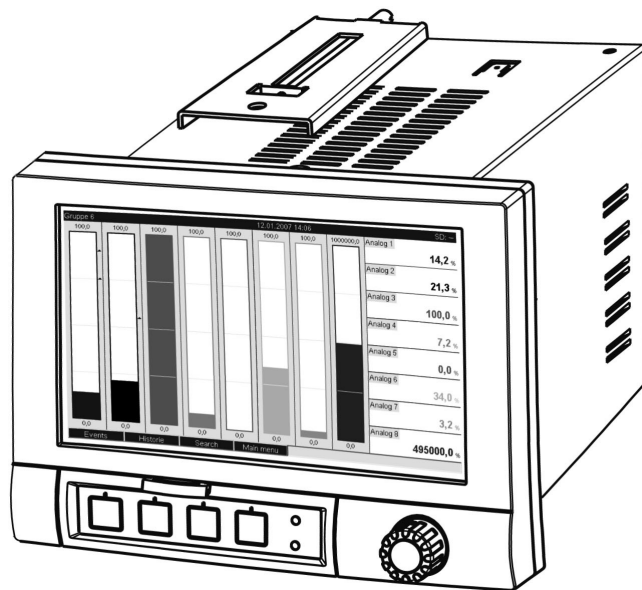
## Memograph M

Option Energy

Mass flow and energy calculation for water and steam

de 2

en 21





# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeine Beschreibung der Funktionalität . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung der Anwendungen . . . . .</b>	<b>5</b>
2.1	Wasser-Anwendungen . . . . .	5
2.2	Wasser/Glykol Anwendungen . . . . .	7
2.3	Dampf Anwendungen . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Einstellung (Setup) der Anwendungen</b>	<b>10</b>
3.1	Allgemeiner Leitfaden zur Programmierung . . . . .	10
3.2	Auswahl der Einheiten . . . . .	10
3.3	Beispiele für Wasser und Dampf Energiemessung . .	11
3.4	Bilanzierung (Verknüpfung von Anwendungen) . . .	16
3.5	Fehlerverhalten . . . . .	18
<b>4</b>	<b>Technische Daten. . . . .</b>	<b>19</b>

# 1 Allgemeine Beschreibung der Funktionalität

Das Energiepaket bietet die Möglichkeit den Masse- und Energiefluss in Wasser- und Dampfanwendungen auf Grundlage der Eingangsgrößen

- Durchfluss
- Druck
- Temperatur (bzw. Temperaturdifferenz)

zu berechnen.

Ferner sind Energieberechnungen unter Verwendung von Kälteübertragungsmedien auf Glykolbasis möglich.

Durch Verrechnung der Ergebnisse untereinander oder durch Verknüpfung mit weiteren Eingangsgrößen (z.B. Gasdurchfluss, elektr. Energie) lassen sich Gesamtbilanzierungen, Wirkungsgradberechnungen etc. durchführen. Diese Kennzahlen sind wichtige Indikatoren für die Qualität des Prozesses bzw. bilden die Grundlage für Prozessoptimierungen, Wartung, etc.

Zur Berechnung der thermodynamischen Zustandsgrößen von Wasser und Dampf wird der international anerkannte Berechnungsstandard IAPWS-IF 97 verwendet.

## 2 Beschreibung der Anwendungen

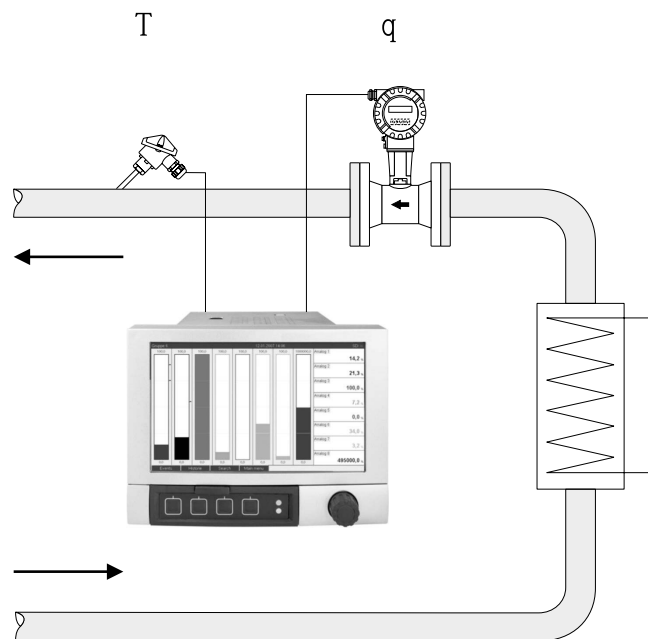
### 2.1 Wasser-Anwendungen

#### 2.1.1 Wasser-Wärmemenge

Berechnung der Wärmemenge in einem Wasserstrom. Beispiel: Ermittlung der Restwärme im Rücklauf eines Wärmetauschers.

Eingangsgrößen: Betriebsvolumen und Temperatur

Der mittlere Druck wird auf Grundlage der gemessenen Temperatur automatisch berechnet.



$$E = q \cdot \rho(T,p) \cdot h(T)$$

a0009703

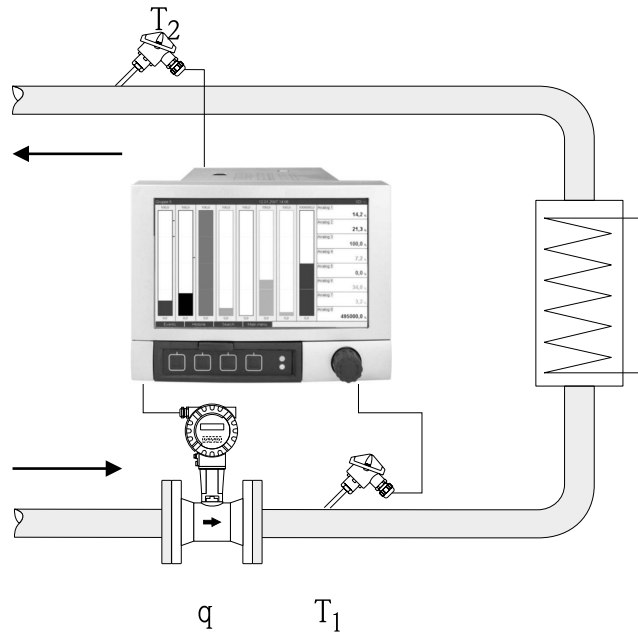
E:	Wärmemenge
q:	Betriebsvolumen
$\rho$ :	Dichte
T:	Betriebstemperatur
h:	Spezifische Enthalpie v. Wasser (bezogen auf 0°C)

### 2.1.2 Wasser Wärmedifferenz

Berechnung der Wärmemenge, welche von einem Wasserstrom in einem Wärmetauscher abgegeben oder aufgenommen wird. Typische Anwendung zur Energiemessung in Heiz- oder Kühlkreisläufen.

Eingangsgrößen: Messung des Betriebsvolumens und der Temperatur unmittelbar vor und nach einem Wärmetauscher (im Vorlauf bzw. Rücklauf).

Der Durchflusssensor kann auf der Warm- oder Kaltseite eingebaut werden.



$$E = q \cdot \rho(T_1) \cdot [h(T_1) - h(T_2)]$$

a0009704

E:	Wärmemenge
q:	Betriebsvolumen
$\rho$ :	Dichte
$T_1$ :	T warm
$T_2$ :	T kalt
$h(T_1)$ :	Spezifische Enthalpie von Wasser bei Temperatur 1
$h(T_2)$ :	Spezifische Enthalpie von Wasser bei Temperatur 2

## 2.2 Wasser/Glykol Anwendungen

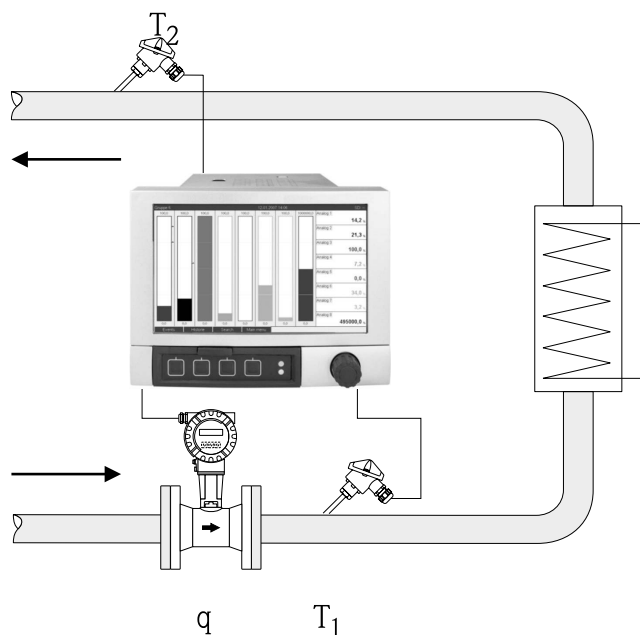
### 2.2.1 Wasser/Glykol Wärmedifferenz

Berechnung der Wärmemenge, welche von einem Kälteträgermedium (Wasser-Glykol Gemisch) in einem Wärmetauscher abgegeben oder aufgenommen wird. Typische Anwendung zur Energiemessung in Heiz- oder Kühlkreisläufen.

Eingangsgrößen: Messung des Betriebsvolumens und der Temperatur unmittelbar vor und nach einem Wärmetauscher (im Vorlauf bzw. Rücklauf).

Die Dichte und Wärmeleitfähigkeit des Kälteträgers werden auf Grund des Mischungsverhältnisses (Konzentration) berechnet.

Der Durchflusssensor kann auf der Warm- oder Kaltseite eingebaut werden.



$$E = q \cdot \rho(T_1) \cdot c_m \cdot (T_2 - T_1)$$

$$c_m = \frac{c(T_1) + c(T_2)}{2}$$

»0009705

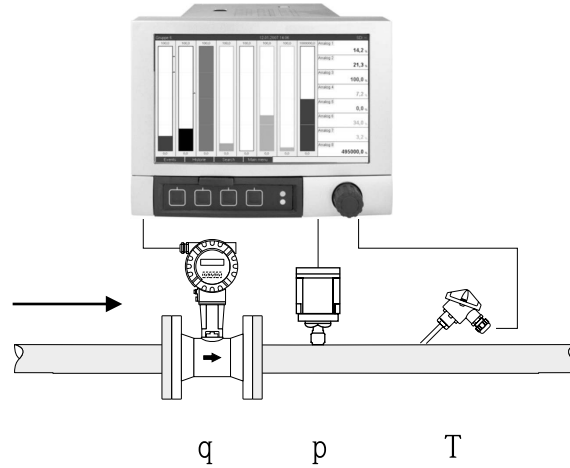
E:	Wärmemenge
q:	Betriebsvolumen
$\rho$ :	Dichte
$T_1$ :	T warm
$T_2$ :	T kalt
$c(T_1)$ :	Spezifische Wärmekapazität bei Temperatur 1
$c(T_2)$ :	Spezifische Wärmekapazität bei Temperatur 2
$c_m$	Mittlere spezifische Wärmekapazität

## 2.3 Dampf Anwendungen

### 2.3.1 Dampf Wärmemenge

Berechnung des Massestroms (Massefluss) und der darin enthaltenen Wärmemenge am Ausgang eines Dampferzeugers oder bei einzelnen Verbrauchern.

Eingangsgrößen: Betriebsvolumenstrom, Temperatur und/oder Druck



$$E = q \cdot \rho(p, T) \cdot h_D(p, T_D)$$

#0009709

E:	Wärmemenge
q:	Betriebsvolumen
$\rho$ :	Dichte
$T_D$ :	Temperatur Dampf
p:	Druck (Dampf)
$h_D$	Spezifische Enthalpie von Dampf

Zur vereinfachten Messung von Sattdampf kann auf die Druck- oder Temperaturmessung verzichtet werden. Die fehlende Eingangsgröße wird anhand der hinterlegten Sattdampfkurve ermittelt. Bei Messung von Druck und Temperatur wird der Dampfzustand exakt ermittelt und überwacht. Bei Erreichen der Sattdampftemperatur = Kondensattemperatur wird ein Nassdampfalarm ausgegeben. (siehe Fehlerverhalten 3.5)



### 2.3.2 Dampf Wärmedifferenz

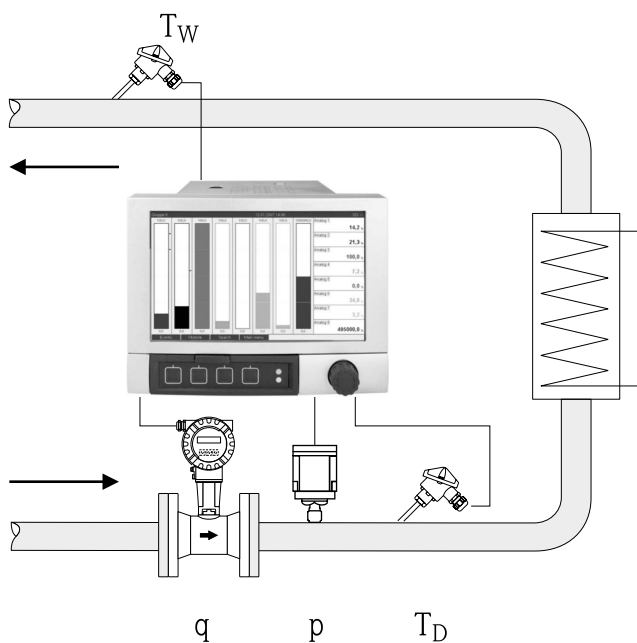
Berechnung der Wärmemenge, die beim Kondensieren des Dampfes in einem Wärmetauscher abgegeben wird.

Alternativ auch Berechnung der Wärmemenge (Energie), die zur Erzeugung von Dampf aufgewendet wird.

Eingangsgrößen: Messung des Drucks und der Temperaturen unmittelbar vor und nach einem Wärmetauscher (oder Dampferzeuger).

Der Durchflusssensor kann entweder in der Dampfleitung oder der Wasserleitung (Kondensat oder Speisewasser) eingebaut werden.

Falls sowohl in der Dampf- als auch in der Wasserleitung eine Durchflussmessung erwünscht ist (z.B. aufgrund von Dampfverbrauch bzw. Verlusten) müssen zwei Anwendungen eingestellt werden, nämlich Dampf Wärmemenge und Wasser Wärmemenge. Die Bilanzierung der Masse- und Energiemengen kann dann in einem Mathematikkanal mit Hilfe des Formeleditors durchgeführt werden (siehe 3.4.1).



$$E = q \cdot \rho(p, T_D) \cdot [h_D(p, T_D) - h_W(T_W)]$$

©0009710

E:	Wärmemenge
q:	Betriebsvolumen
$\rho$ :	Dichte
$T_D$ :	Temperatur Dampf
$T_W$ :	Temperatur Wasser (Kondensat)
p:	Druck (Dampf)
$h_D$ :	Spezifische Enthalpie von Dampf
$h_W$ :	Spezifische Enthalpie von Wasser

## 3 Einstellung (Setup) der Anwendungen

### 3.1 Allgemeiner Leitfaden zur Programmierung

1. Einstellung der Durchfluss-, Druck- und Temperatureingänge  
Hierfür werden die standardmäßigen Eingänge verwendet. Die Einheiten zur Skalierung der Messbereiche sollten vorzugsweise nachstehender Tabelle (siehe 3.2) entnommen werden. Andernfalls müssen bei Definition der Anwendung Koeffizienten zur Umrechnung definiert werden (siehe 3.2).
2. Mathematikkanal öffnen. Funktion zur Energie oder Masseberechnung aktivieren und Anwendung auswählen. Eingänge zuordnen und Einheiten definieren. Einheiten für Summenzähler im Menü Integration auswählen.  
Für Dampfpanwendungen ggf. Einstellung des Fehlerverhaltens bei Nassdampfalarm.
3. Konfiguration der Anzeige, d.h. Zusammenstellen von Werten zur Anzeige und Auswahl der Darstellungsart.

### 3.2 Auswahl der Einheiten

Die Einheiten für die Eingänge und die Anwendung werden im Rahmen der Einstellung der Anwendung (im Mathematikkanal) ausgewählt. Bitte beachten Sie dabei, dass die hier gewählten Einheiten identisch mit den Einheiten sind, die für die Skalierung der Eingänge verwendet wurden. Sollten Sie andere Einheiten zur Parametrierung der Eingänge bevorzugen, muss ein Mathematikkanal ausgewählt werden, wo eine Umrechnung auf eine in der Tabelle genannten Einheiten durchgeführt werden muss. Dieser Mathematikkanal wird dann als Durchflusseingang in einem anderen Mathematikkanal zur Energie- oder Masseberechnung verwendet.

#### Einheiten im Energiepaket

Durchfluss	m <sup>3</sup> /h	ft <sup>3</sup> /h	gal/h			
Druck	bar(a)(g)	Psi(a)(g)	MPa(a)(g)	inH <sub>2</sub> O(a)(g)		
Temperatur	°C	K	°F			
Wärmefluss	kW	MW	kBTU/h	MBTU/h	ton	
Wärmeenergie	kWh	MWh	MJ	MBTU	tonh	therm
Massefluss	kg/h	t/h	lbs/h	ton/h		
Massesumme	kg	t	lbs	ton		

gal = Gallons liquid: 1 ft<sup>3</sup> = 7,48051948 gal

ton = ton (short) US: 1 ton = 907,184 74 kg

ton = ton refrigeration: 1 ton = 3,516 852 84 kW

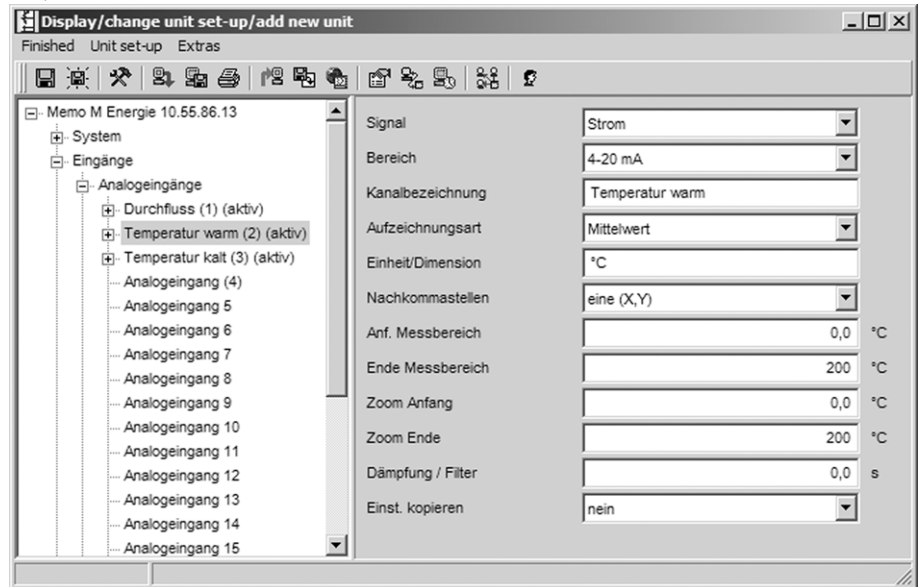
BTU = International [Steam] Table (IT): 1 Btu = 1055,056 kJ

therm = therm US (basierend auf BTU59 °F): 1 therm = 105 480,4 kJ

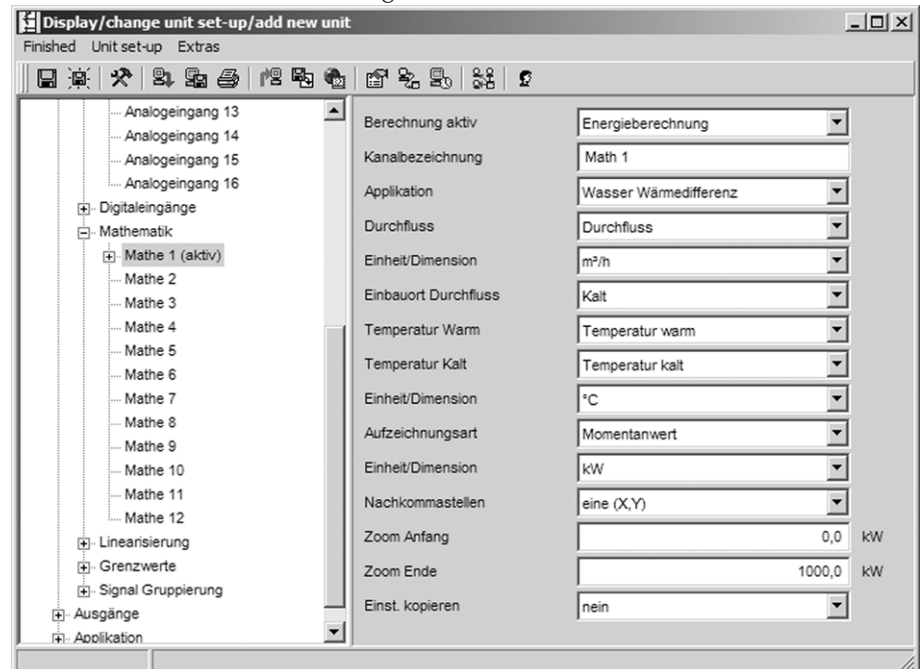
### 3.3 Beispiele für Wasser und Dampf Energiemessung

#### 3.3.1 Beispiel Wasser Wärmedifferenz

1. Einstellung der Durchfluss-, Druck- und Temperatureingänge.  
Signal auswählen, Name für Kanalbezeichnung eingeben, Einheit definieren (siehe Tabelle 3.2) und Messbereich einstellen.

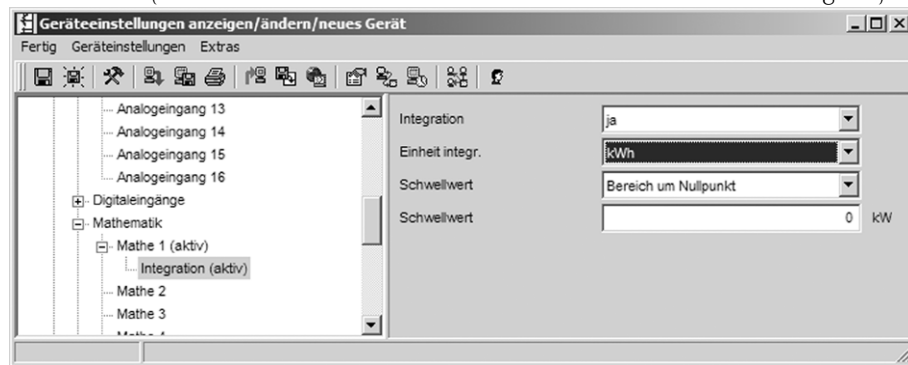


2. Einstellung der Energieberechnung.  
2.1 Mathekanal öffnen, Energieberechnung wählen, Sensoren und Einheiten zuordnen, Einbauort des Durchflusssensors festlegen und Zoombereich einstellen.

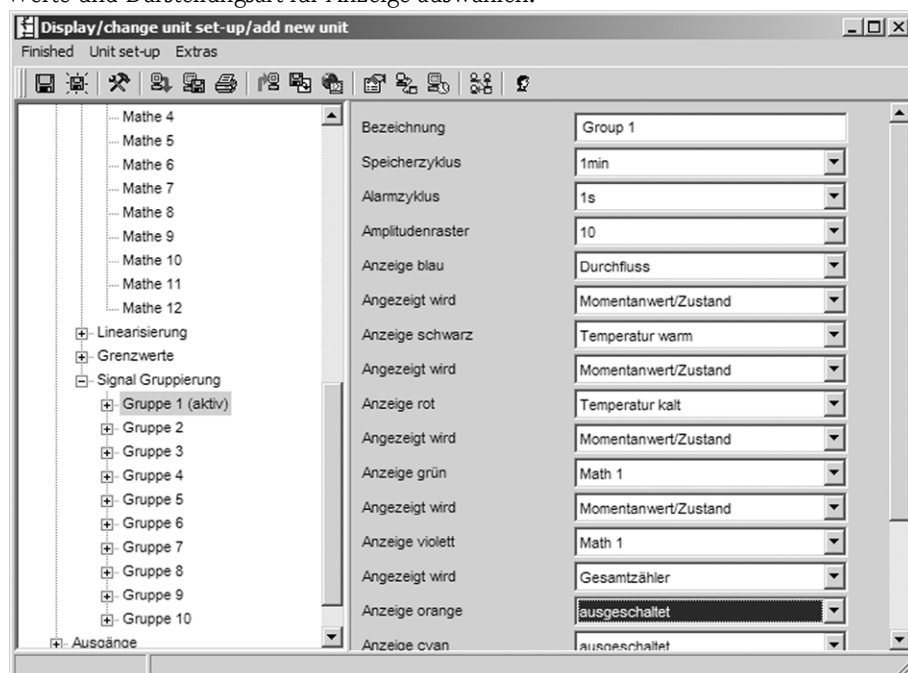


- 2.2 Einheit für die Zähler auswählen.

Integration aktiv schalten, Einheit auswählen und ggf. Schwellenwert (Schleichmenge) einstellen (Werte die kleiner als der Schwellenwert sind werden nicht integriert).

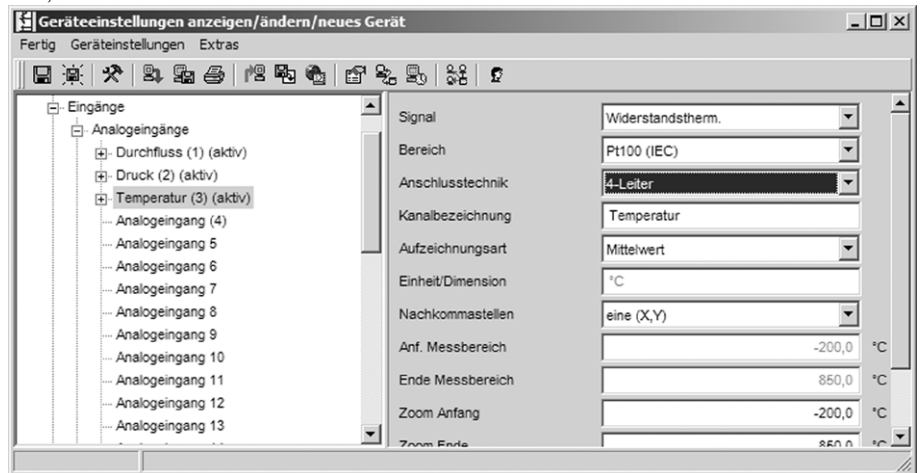


3. Einstellung der Anzeige.  
Werte und Darstellungsart für Anzeige auswählen.

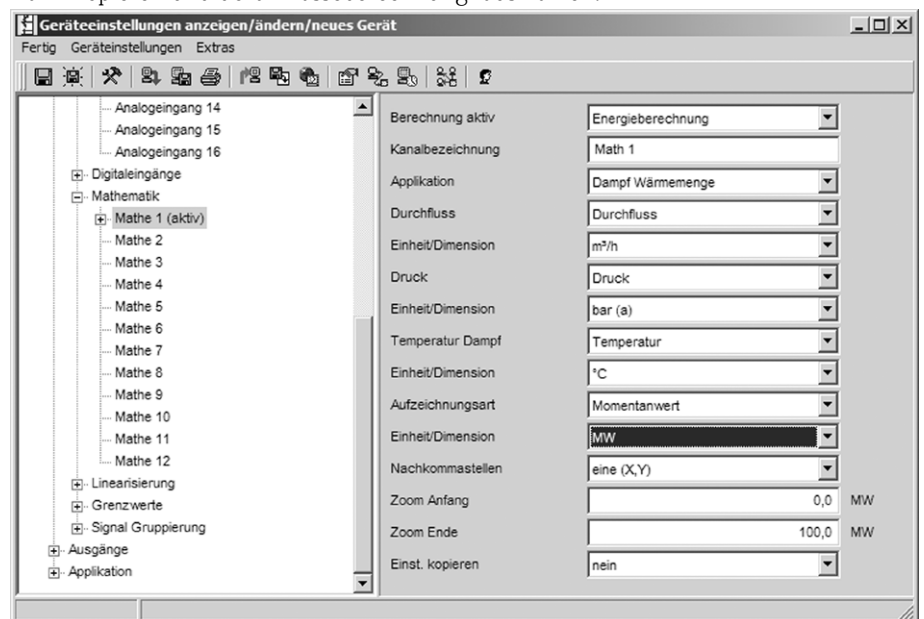


### 3.3.2 Beispiel Dampf Wärmemenge / Masse

1. Einstellung der Durchfluss-, Druck und Temperatureingänge.  
Signal auswählen, Name für Kanalbezeichnung eingeben, Einheit definieren (siehe Tabelle 3.2) und Messbereich einstellen.



2. Einstellung der Energieberechnung.  
2.1 Mathekanal öffnen, Energie- oder Masseberechnung wählen, Sensoren und Einheiten zuordnen.  
Falls Sie Energie und Masse berechnen und anzeigen wollen, Einstellungen in Mathekanal 2 kopieren und dort "Masseberechnung" auswählen.

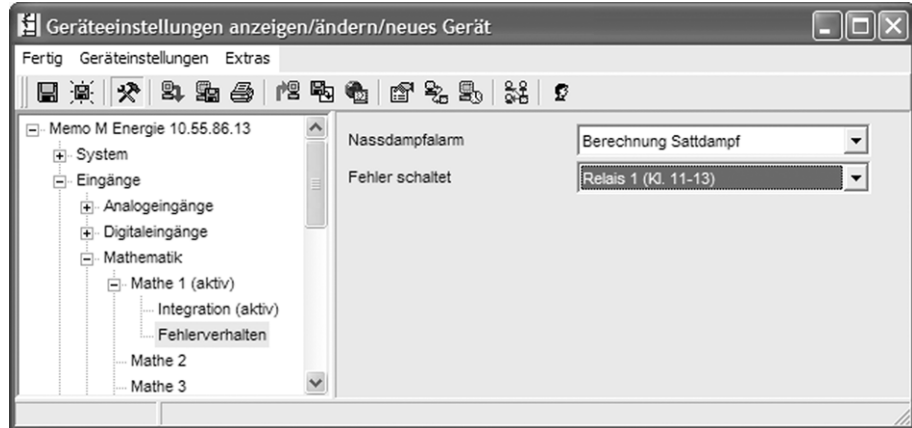


- 2.2 Einheit für die Zähler auswählen.  
Integration aktiv schalten, Einheit auswählen und ggf. Schwellenwert (Schleichmenge) einstellen (siehe Beispiel 3.2.2, Nr. 2.2)

### 2.3 Verhalten bei Nassdampfalarm einstellen.

(Nur möglich, wenn Druck- und Temperatureingänge verwendet werden.)

Geräteeinstellung/Experte aktivieren, Fehlerverhalten Nassdampfalarm einstellen (Zählerstopp bei Nassdampfalarm oder Berechnung mit Sattedampfbedingung fortsetzen und Integration fortführen, d.h. Zähler laufen normal weiter. Einstellung ob Nassdampfalarm via Relais signalisiert werden soll).



### 3. Einstellung der Anzeige.

Werte und Darstellungsart für Anzeige auswählen (Bedienposition: Signal Gruppierung (siehe Beispiel 3.2.2, Nr. 3))

### 3.3.3 Durchflussmessung nach dem Differenzdruckverfahren

Durchflussmessungen nach dem Differenzdruckverfahren (z.B. Blende, Staudrucksonde) sind nur im Auslegepunkt genau. Temperatur- und Druckschwankungen haben erheblichen Einfluss auf die Messgenauigkeit. Beispielsweise führt eine Druckschwankung von 1 bar bei einem Auslegedruck von 10 bar zu einem Messfehler von ca. 11 %.

Bei Einsatz dieses Messverfahrens empfehlen wir deshalb, einen Mathematikkanal zur Kompensation der Masse- und Energiemessung zu verwenden. Hierfür benötigen Sie das Auslegedatenblatt der Messstelle, insbesondere folgende Daten:

- Druck im Auslegezustand
- Temperatur im Auslegezustand
- Dichte im Auslegezustand

#### Beispiel: Auslegezustand Dampfmessung:

P(a): 145 psi (10 bar) - Absolutdruck

T(a): 392 °F (200 °C)

Dichte(a): 0,3028 lb/ft<sup>3</sup> (4,85 kg/m<sup>3</sup>)

Max. Flow 10 tons/h (9,07 t/h)

Einstellung in Einzelschritten.

1. Ausgang des Differenzdrucktransmitters (DP) auf Betriebsvolumen oder Masse skalieren, 10 tons/h (Kennlinie radiziert).
2. Eingang am Graphic Data Manager auswählen und auf Betriebsvolumen skalieren, d.h. ft<sup>3</sup>/h (m<sup>3</sup>/h). Falls der Ausgang des DP-Transmitter, wie im Beispiel, auf Masse skaliert ist, muss das Betriebsvolumen im Auslegezustand berechnet werden.  
 $10 \text{ tons/h} * 2000 : 0,3028 \text{ lb/ft}^3 = 66050,2 \text{ ft}^3/\text{h}$   
 $9,07 \text{ t/h} * 1000 : 4,85 \text{ kg/m}^3 = 1870,10 \text{ m}^3/\text{h}$   
 (Der DP-Transmitter Ausgang kann auf Masse skaliert bleiben).
3. In Mathekanal (1-8), Masse- oder Energiemessung auswählen. Dann Dampfanwendung einstellen. (siehe Beispiel 3.3.2)
4. Mathekanal (9-12) auswählen und dort folgende Formel eingeben (M1 gegebenenfalls durch den in Schritt 3 ausgewählten Mathekanal ersetzen):  
 $M1 * (P/P(a))^{0,5} * (T(a)/T)^{0,5}$   
 P: Betriebsdruck (gemessen)  
 Pa: Druck im Auslegezustand  
 T: Betriebstemperatur (gemessen)  
 Ta: Temperatur im Auslegezustand

Ta und T sind absolute Temperaturen in Kelvin, das heißt, die Formel muss ggf. noch zur Umrechnung der Temperatur ergänzt werden. Achten Sie ferner darauf, dass die Druckeinheiten identisch sind (z.B. nicht Absolut- und Relativdruck mixen!).

a. Beispiel: Temperaturessung in °F (Druckmessung psi absolut)

$$M1 * ((P/10) * (32 + 200 * 1,8) / (32 + T * 1,8))^{0,5}$$

b. Beispiel: Temperaturmessung in °C (Druckmessung bar absolut)

$$M1 * ((P/10) * (200 + 273,15) / (T + 273,15))^{0,5}$$

Als Ergebnis erhalten Sie den kompensierten Masse- oder Energiefluss.

## 3.4 Bilanzierung (Verknüpfung von Anwendungen)

### 3.4.1 Allgemein

Um Masse- oder Energiemengen miteinander zu verrechnen (bilanzieren) oder Kennzahlen zu berechnen, kann ein beliebiger Mathematikkanal verwendet werden.

Beispiel: Bilanzierung eines Dampfkessels.

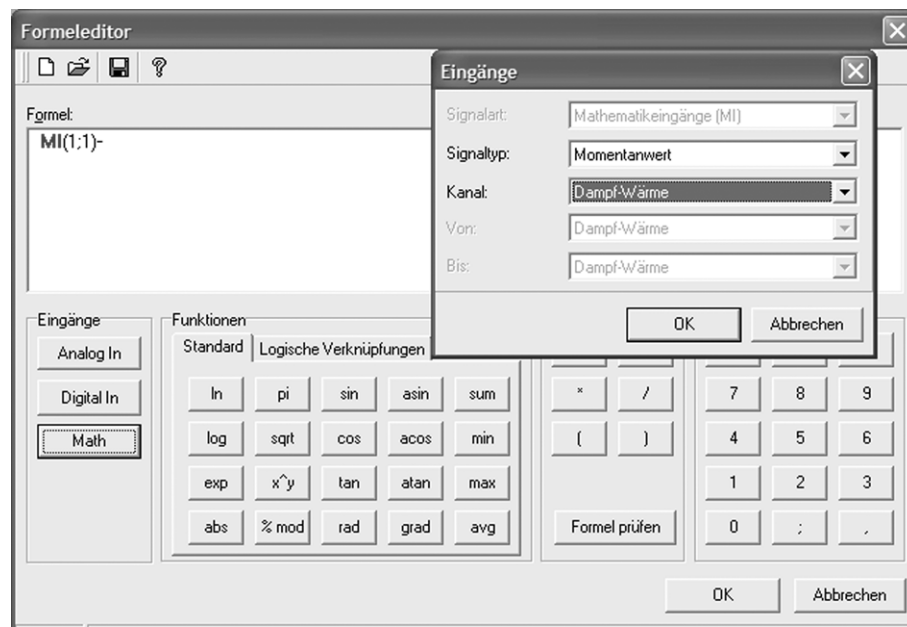
- In Mathekanal 1 wird die Wärmemenge des erzeugten Dampfs berechnet.
- Mathekanal 2 wird zur Berechnung der Restenergie im Kondensatstrom (Wasser Wärmemenge) verwendet.

#### Gesucht:

Energie, die zwischen Dampfvorlauf und Kondensatrücklauf abgegeben wurde.

#### Lösung:

Mathekanal 3 öffnen, Formeleditor auswählen und dort die Energieströme (Momentanwerte) voneinander subtrahieren und aufsummieren (Integration). Alternativ können die Zähler auch direkt subtrahiert werden.



a0009724



### 3.4.2 Überwachung von Dampfkesseln

Die Überwachung eines Dampfkessels dient der Anlagensicherheit und zur Prozessoptimierung und dadurch zur Einsparung von Kosten.

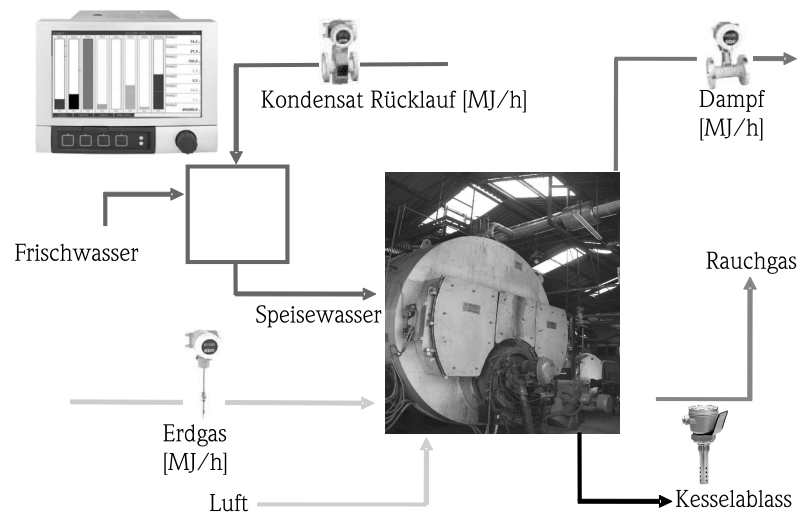
Messgrößen zur Überwachung der Anlagensicherheit:

- Füllstand
- Kesseldruck
- Kesseltemperatur

Messgrößen und Kennwerte zur Prozessoptimierung:

- Energie Dampfstrom
- Energie Kondensatstrom
- Energie Speisewasser oder Frischwasser
- Energie Kesselablass (Blow Down)
- Energie Brennstoff (z.B. Erdgas, Heizöl)
- Energie, Sauerstoffgehalt und Temperatur des Abgasstroms
- Massefluss Verbrennungsluft (inkl. O<sub>2</sub> Gehalt und Temperatur)
- Chemische Analyse: PH, gelöster Sauerstoff, Leitfähigkeit

#### Wirkungsgrad



a0009725-de

### Programmierung zur Berechnung des Dampfkessel Wirkungsgrads (Boilereffizienz)

Zur Berechnung des Wirkungsgrads in einem Mathematikkanal werden immer die Summenzähler (integrierte Werte) verwendet! Eine Momentaufnahme des Wirkungsgrads besitzt nur wenig Aussagekraft.

#### a) offenes System (Dampfverbrauch)

- Mathekanal 1 (M1): Dampf Wärmemenge
- Mathekanal 2 (M2): Speisewasser Wärmemenge
- Mathekanal 3 (M3): Verbrennungsenergie des Erdgas zur Dampferzeugung\*
- Mathekanal 4 (M4): Berechnung des Kesselwirkungsgrads

Formel (M4) = (M1-M2)/M3

#### b) geschlossenes System (d.h. Kondensatrücklauf)

- Mathekanal 1 (M1): Dampf Wärmemenge
- Mathekanal 2 (M2): Wasser Wärmemenge im Kondensat
- Mathekanal 3 (M3): Verbrennungsenergie des Erdgas zur Dampferzeugung\*
- Mathekanal 4 (M4): Berechnung Kesselwirkungsgrads

Formel (M4) = (M1-M2)/M3

#### c) geschlossenes System unter Einbeziehung des Kesselablass

- M1: Dampfwärmedifferenz (Dampfdurchfluss, T Dampf, (P Dampf), T Speisewasser)
- M2: Dampfwärmedifferenz (Speisewasserdurchfluss, T Dampf, T Speisewasser)
- M3: Energieverlust durch Kesselablass: (M2-M1)
- M4: Verbrennungsenergie des Erdgas zur Dampferzeugung\*
- M5: Berechnung des Kesselwirkungsgrads (M2/M4)

Der Energieverlust aufgrund von Kesselablass (Blow Down) kann auch mit einer Dampf Wärmedifferenzanwendung näherungsweise berechnet werden.

Annahme: Masse Kesselablass = Masse Frischwasser

- M1: Dampf Wärmemenge
- M2: Wasser Wärmemenge im Kondensat
- M3: Energieverlust Kesselablass, Wasserwärmedifferenz (V, T Frischwasser; T, P Dampf)
- M4: Verbrennungsenergie des Erdgas zur Dampferzeugung\*
- M5: Berechnung Kesselwirkungsgrads

Formel (M5) = (M1-M2+M3)/M4

\*Der Erdgasmassenstrom wird von einem Durchflussgerät gemessen und an den Graphic Data Manager übertragen. Im Mathekanal 3 wird der Erdgasstrom in Energie umgerechnet (unterer Heizwert Erdgas\*Massenstrom Erdgas)

## 3.5 Fehlerverhalten

Das Fehlerverhalten kann nur im Expertenmodus eingestellt werden.

Die Einstellungen für das Fehlerverhalten der Eingänge sind in der Betriebsanleitung des Graphic Data Managers im Kapitel 6.4 beschrieben (siehe mitgelieferte CD-ROM).

Im Fehlerfall wird die Energie- und Masseberechnung mit einem Ersatzwert fortgesetzt oder die Berechnung ist ungültig.

Bei Dampfanwendungen wird bei Erreichen der Kondensattemperatur (Nassdampfalarm) der gesättigte Dampfzustand auf Grundlage von T berechnet und der Wärmefluss (Leistung) berechnet. Für die Zähler kann in Menüposition Fehlerverhalten/Nassdampfalarm definiert werden, wie diese reagieren sollen:

- Anhalten der Integration (Zählerstopp)
- Integration wird fortgesetzt, d.h. Zähler laufen weiter (Berechnung Sattdampf)

## 4 Technische Daten

	Wasser	Wasser/Glykol	Dampf
Messbereich	0 bis 350 °C (32 bis 662 °F)	-40 bis 200 °C (-40 bis 392 °F)	
Messbereich überhitzter Dampf			0 bis 1000 bar (0 bis 14503,7 psi) 0 bis 800 °C (32 bis 1472 °F)
Messbereich Satttdampf			0 bis 165 bar (0 bis 2393 psi) 0 bis 350 °C (32 bis 662 °F)
Min. Temperaturdifferenz	0 °C (32 °F)		
Konzentration		0 bis 60 Vol %	
Fehlergrenzen (Universaleingänge)	3 bis 20 °C (37,4 to 68°F) < 1,0 % v. Mw. 20 bis 250 °C (68 to 482°F) < 0,3 % v. Mw.		
Berechnungszyklus	500 ms		
Berechnungsstandard	IAPWS-IF 97	Polynomfunktionen (Ungenauigkeit: max. 0,6 %)	IAPWS-IF 97



## Table of contents

<b>1</b>	<b>General description of the function . .</b>	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>Description of the applications . . . . .</b>	<b>23</b>
2.1	Water applications . . . . .	23
2.2	Water/glycol applications . . . . .	25
2.3	Steam applications . . . . .	26
<b>3</b>	<b>Application setup . . . . .</b>	<b>28</b>
3.1	General guidelines on programming . . . . .	28
3.2	Selecting the units . . . . .	28
3.3	Examples for water and steam energy measurement	29
3.4	Balancing (linking applications) . . . . .	34
3.5	Failsafe mode . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Technical data . . . . .</b>	<b>37</b>

# 1 General description of the function

The energy package provides users with the possibility of calculating the mass and energy flow in water and steam applications on the basis of the following input variables:

- Flow
- Pressure
- Temperature (or temperature differential)

Furthermore, energy calculations are also possible using glycol-based refrigerant media.

By balancing the results against one another or by linking the results to other input variables (e.g. gas flow, electr. energy), users can perform overall balances, calculate efficiency levels etc. These values are important indicators for the quality of the process and form the basis for process optimization efforts, maintenance, etc.

The internationally recognized IAPWS-IF 97 standard is used to calculate the thermodynamic state variables of water and steam.

## 2 Description of the applications

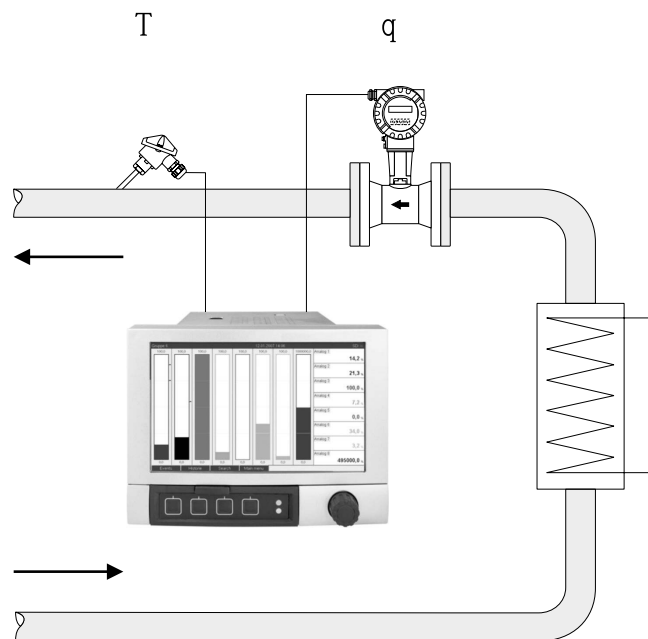
### 2.1 Water applications

#### 2.1.1 Water heat quantity

Calculation of the quantity of heat in a flow of water. Example: Determining the residual heat in the return line of a heat exchanger.

Input variables: Operating volume and temperature.

The average pressure is calculated automatically based on the temperature measured.



$$E = q \cdot \rho(T,p) \cdot h(T)$$

a0009703

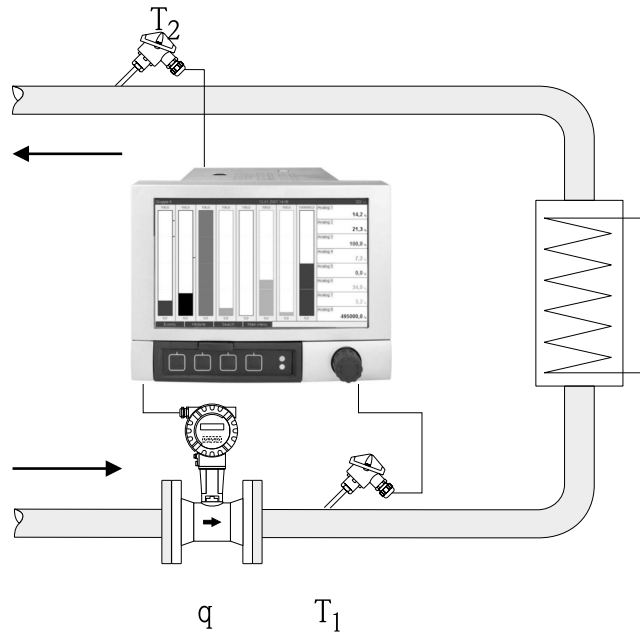
E:	Quantity of heat
q:	Operating volume
$\rho$ :	Density
T:	Operating temperature
h:	Specific enthalpy of water (in relation to 0 °C)

### 2.1.2 Water heat difference

Calculation of the quantity of heat which is given off, or taken in, by a flow of water in a heat exchanger. Typical application for measuring energy in heating and cooling circuits.

Input variables: Measurement of the operating volume and the temperature directly upstream and downstream from a heat exchanger (in the feed line or return line).

The flow sensor can be installed on the warm or cold side.



$$E = q \cdot \rho(T_1) \cdot [h(T_1) - h(T_2)]$$

a0009704

E:	Quantity of heat
q:	Operating volume
$\rho$ :	Density
$T_1$ :	T warm
$T_2$ :	T cold
$h(T_1)$ :	Specific enthalpy of water at temperature 1
$h(T_2)$ :	Specific enthalpy of water at temperature 2



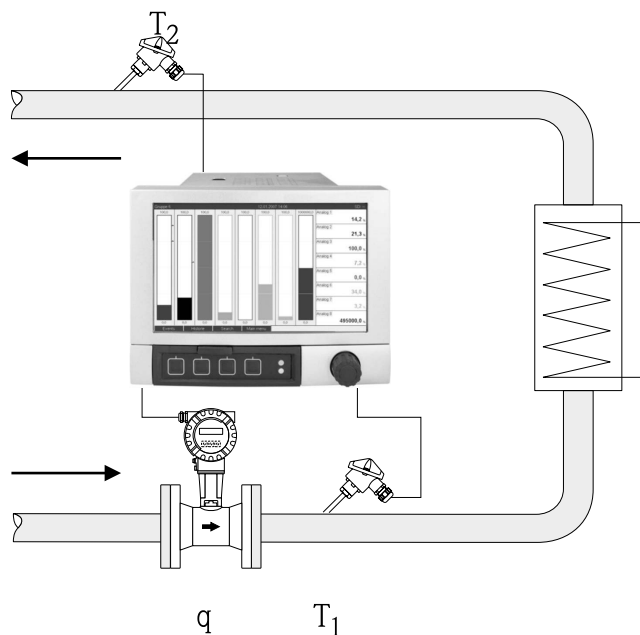
## 2.2 Water/glycol applications

### 2.2.1 Water/glycol heat difference

Calculation of the quantity of heat which is given off, or taken in, by a refrigerant medium (water/glycol mixture) in a heat exchanger. Typical application for measuring energy in heating and cooling circuits.

Input variables: Measurement of the operating volume and the temperature directly upstream and downstream from a heat exchanger (in the feed line or return line).

The flow sensor can be installed on the warm or cold side.



$$E = q \cdot \rho(T_1) \cdot c_m \cdot (T_2 - T_1)$$

$$c_m = \frac{c(T_1) + c(T_2)}{2}$$

#0009705

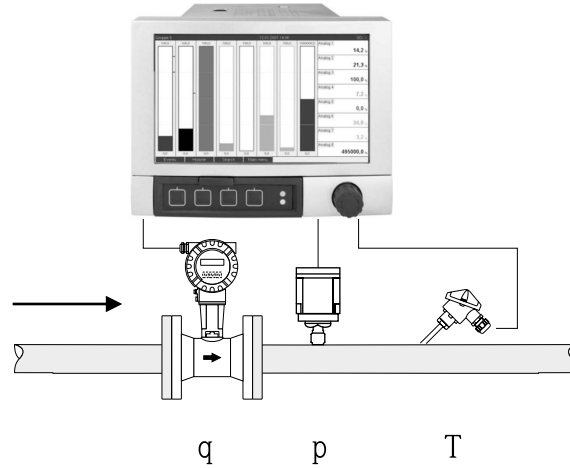
E:	Quantity of heat
q:	Operating volume
$\rho$ :	Density
T <sub>1</sub> :	T warm
T <sub>2</sub> :	T cold
c (T <sub>1</sub> ):	Specific heat capacity at temperature 1
c (T <sub>2</sub> ):	Specific heat capacity at temperature 2
c <sub>m</sub>	Average specific heat capacity

## 2.3 Steam applications

### 2.3.1 Steam quantity of heat

Calculation of the mass flow and the quantity of heat it contains at the output of a steam generator or for individual consumers.

Input variables: operating volume flow, temperature and/or pressure



$$E = q \cdot \rho(p, T) \cdot h_D(p, T_D)$$

#0009709

E:	Quantity of heat
q:	Operating volume
$\rho$ :	Density
$T_D$ :	Temperature of steam
p:	Pressure (steam)
$h_D$	Specific enthalpy of steam

For simplified saturated steam measurement, you can refrain from measuring the pressure or temperature. The missing input variable is determined using the saturated steam curve stored in the system.

When measuring pressure and temperature, the steam state is determined exactly and monitored. A wet steam alarm is output when the saturated steam temperature = condensate temperature. (See failsafe mode 3.5)

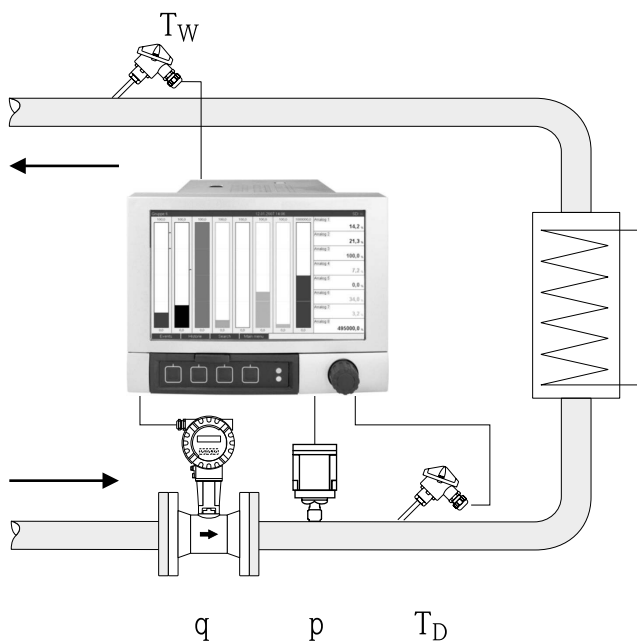
### 2.3.2 Steam heat difference

Calculation of the quantity of heat given off when the steam condenses in a heat exchanger. Alternatively also the calculation of the quantity of heat (energy) used for steam generation.

Input variables: Measurement of the pressure and temperatures directly upstream and downstream from a heat exchanger (or steam generator).

The flow sensor can either be integrated in the steam pipe or the water pipe (condensate or feed water).

If flow measurement is required in both the steam pipe and the water pipe (e.g. due to steam consumption or loss), two applications have to be set up, namely steam heat quantity and water heat quantity. The quantities of mass and energy can then be balanced in a mathematics channel with the aid of the formula editor (see 3.4.1).



$$E = q \cdot \rho(p, T_D) \cdot [h_D(p, T_D) - h_W(T_W)]$$

æ0009710

E:	Quantity of heat
q:	Operating volume
$\rho$ :	Density
$T_D$ :	Temperature of steam
$T_W$ :	Temperature of water (condensate)
p:	Pressure (steam)
$h_D$ :	Specific enthalpy of steam
$h_W$ :	Specific enthalpy of water

## 3 Application setup

### 3.1 General guidelines on programming

1. Set the flow, pressure and temperature inputs:  
The standard inputs are used here. Preferably, the units for scaling the measuring ranges should be taken from the table below (see 3.2).  
Otherwise, conversion coefficients must be defined when defining the application (see 3.2).
2. Open the mathematics channel. Activate the function for calculating the energy or mass and select the application. Assign inputs and define units. Select units for the totalizers in the Totalization menu.  
For steam applications, configure the failsafe mode in the event of a wet steam alarm, if applicable.
3. Configure the display, i.e. group the values for displaying and selecting the display mode.

### 3.2 Selecting the units

The units for the inputs and the application are selected within the context of configuring the application (in the mathematics channel). Please ensure that the units selected here are identical to the units that were used to scale the inputs.

If you prefer other units for configuring the inputs, a mathematics channel must be selected where the unit has to be converted to a unit indicated in the table. This mathematics channel is then used as a flow input in another mathematics channel to calculate the energy or mass.

#### Units in the energy package

Flow	m <sup>3</sup> /h	ft <sup>3</sup> /h	gal/h			
Pressure	bar(a)(g)	Psi(a)(g)	MPa(a)(g)	inH <sub>2</sub> O(a)(g)		
Temperature	°C	K	°F			
Heat flow	kW	MW	kBTU/h	MBTU/h	ton	
Heat energy	kWh	MWh	MJ	MBTU	tonh	therm
Mass flow	kg/h	t/h	lbs/h	ton/h		
Mass sum	kg	t	lbs	ton		

gal = gallons liquid: 1 ft<sup>3</sup> = 7.48051948 gal

ton = ton (short) US: 1 ton = 907.184 74 kg

ton = ton refrigeration: 1 ton = 3.516 852 84 kW

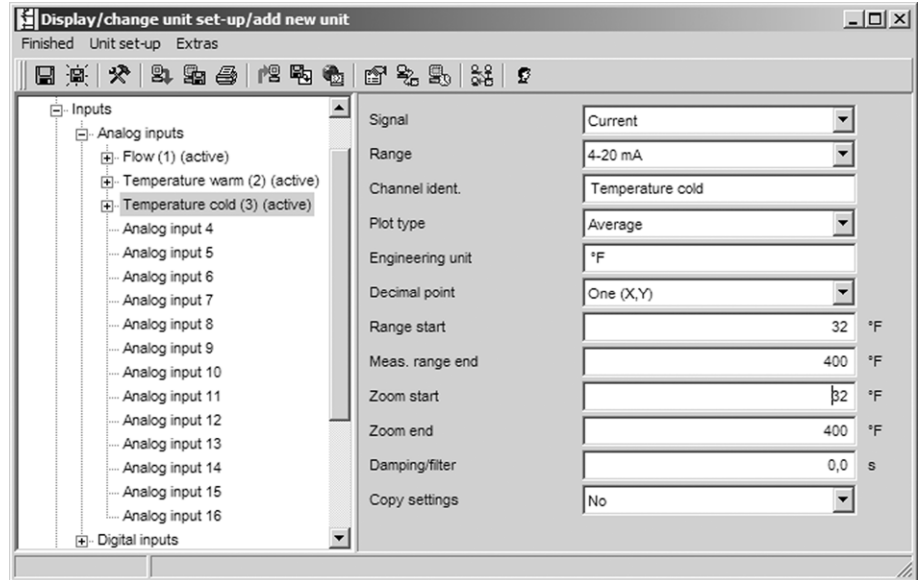
BTU = International [Steam] Table (IT): 1 Btu = 1055.056 kJ

therm = therm US (based on BTU59 °F): 1 therm = 105 480.4 kJ

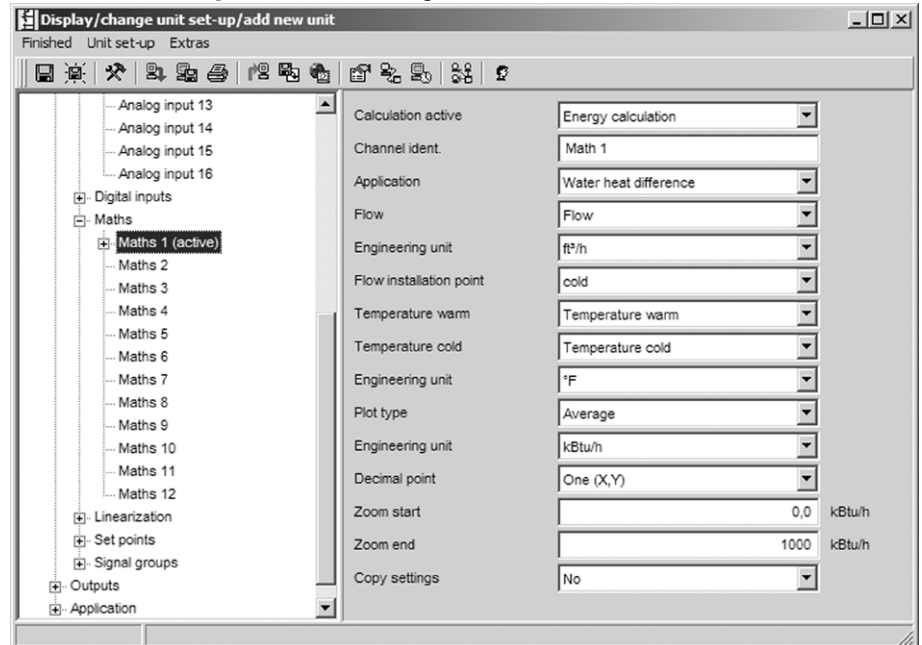
### 3.3 Examples for water and steam energy measurement

#### 3.3.1 Example of water heat difference

1. Set the flow, pressure and temperature inputs.  
Select the signal, enter a name for channel identification, define the unit (see Table 3.2) and set the measuring range.

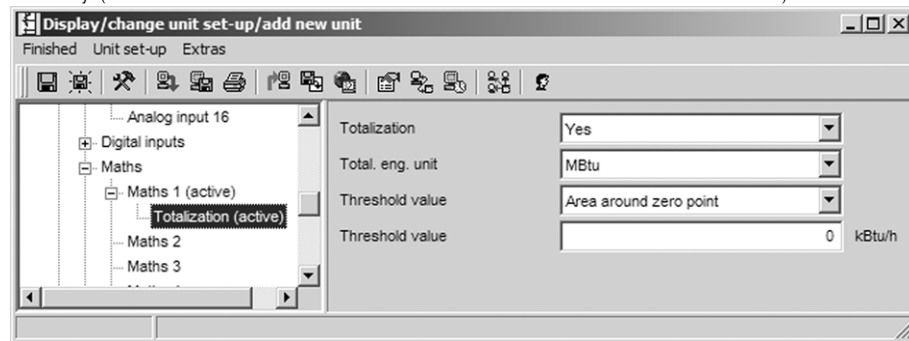


2. Configure energy calculation.
  - 2.1 Open the math channel, select energy calculation, assign sensors and units, specify the flow sensor installation point and zoom range.



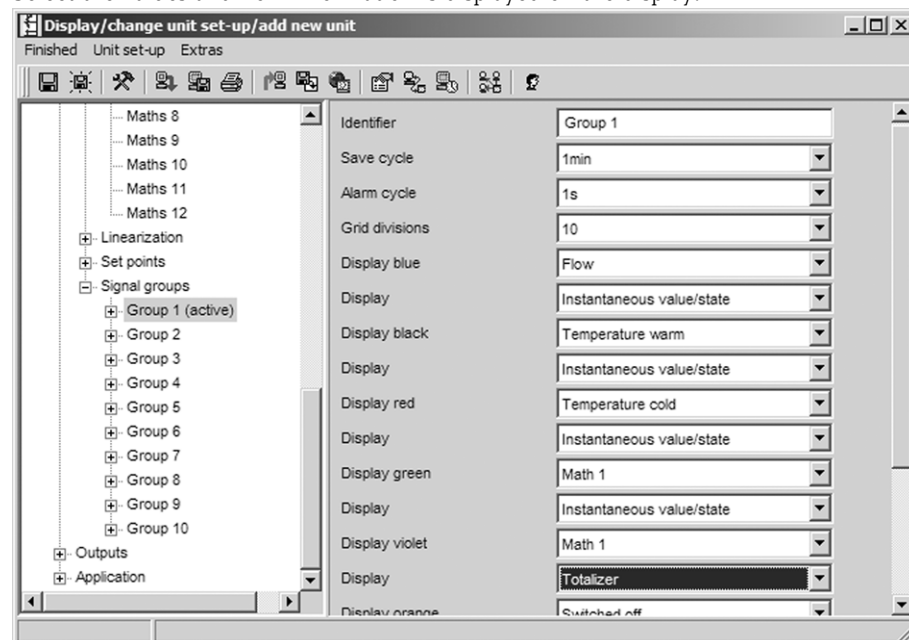
### 2.2 Select the unit for the totalizers.

Activate totalization, select the unit and set the threshold value (low flow cutoff) if necessary (values that are smaller than the threshold value are not totalized).



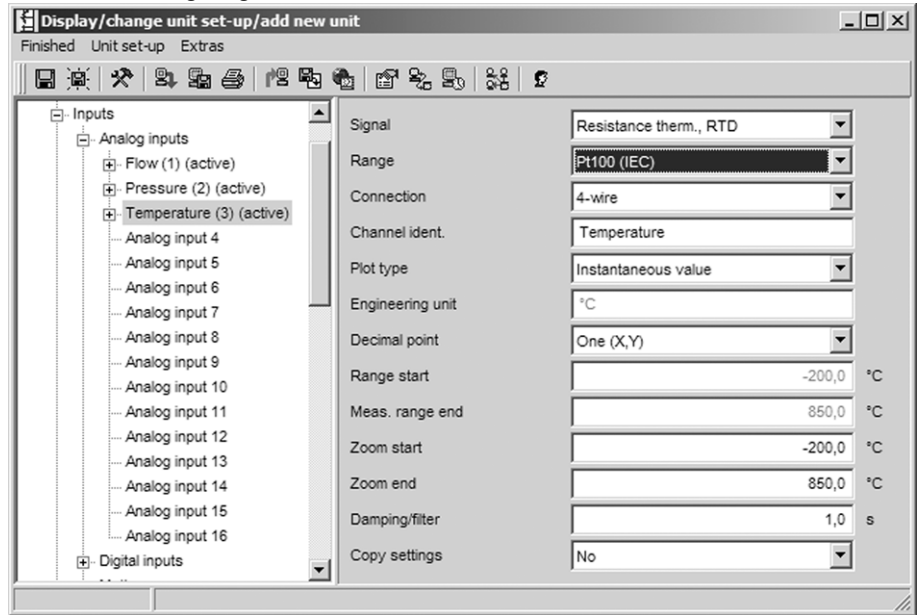
### 3. Configure the display.

Select the values and how information is displayed on the display.

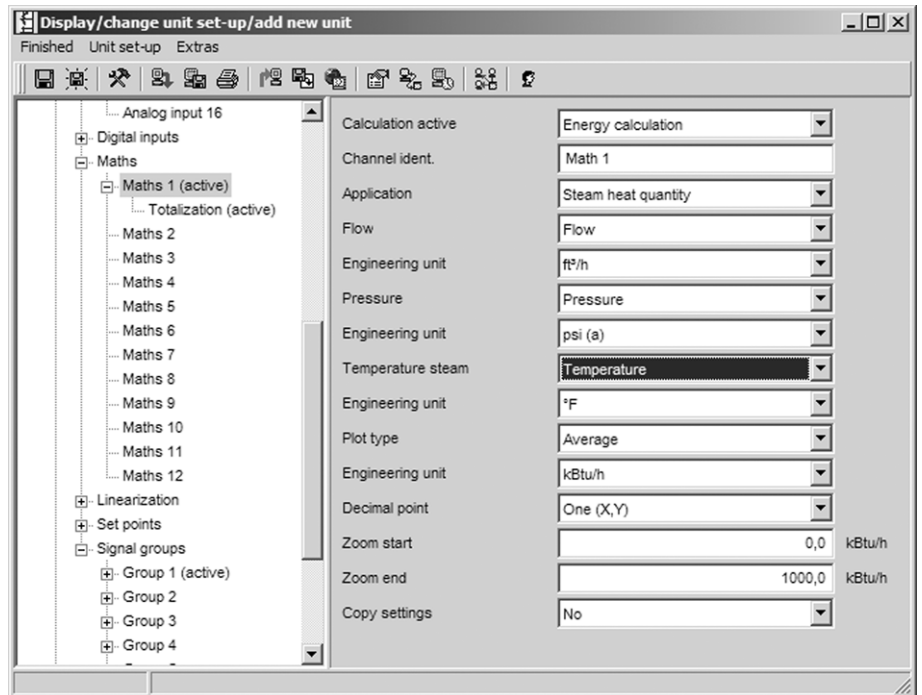


### 3.3.2 Example for steam quantity of heat / mass

1. Set the flow, pressure and temperature input.  
Select the signal, enter a name for channel identification, define the unit (see Table 3.2) and set the measuring range.



2. Configure energy calculation.
  - 2.1 Open the math channel, select energy or mass calculation, assign sensors and units.  
If energy and mass are to be calculated and displayed, copy the settings to maths channel 2 and select "Mass calculation" there.

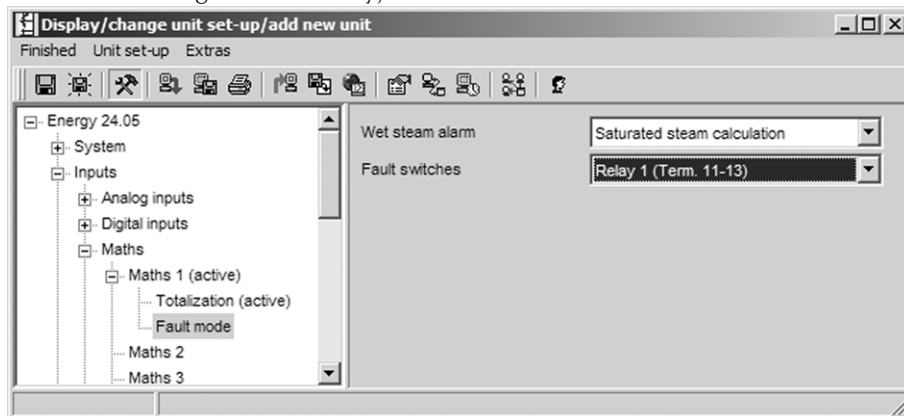


- 2.2 Select the unit for the totalizers.  
Activate totalization, select the unit and set the threshold value (low flow cutoff) where necessary (see example 3.2.2, no. 2.2).

### 2.3 Configure behavior for wet steam alarm.

(Only possible if pressure and temperature input used.)

Activate Unit setup/Expert, set the wet steam alarm fault mode (totalizer stop in event of wet steam alarm or continue calculation under saturated steam conditions and continue totalization, i.e. totalizers continue to operate normally. Configure whether the wet steam alarm should be signaled via a relay).



### 3. Configure the display.

Select the values and display mode for the display (operating item: signal groups (see example 3.2.2, no. 3)).



### 3.3.3 Differential pressure flow measurement

Flow measurements based on the differential pressure method (e.g. orifice plate, Pitot tube) are only accurate at the design point. Fluctuations in temperature and pressure impact the accuracy considerably. For example, pressure fluctuations of 1 bar can cause a measuring error of approx. 11% at a design pressure of 10 bar.

Therefore, when deploying this measurement method we recommend using a mathematics channel to compensate the mass and energy measurement. For this purpose, you need the design datasheet of the measuring point, particularly:

- Pressure in design conditions
- Temperature in design conditions
- Density in design conditions

#### Example: steam measurement design conditions:

P(a): 145 psi (10 bar) - absolute pressure

T(a): 392 °F (200 °C)

Density(a): 0.3028 lb/ft<sup>3</sup> (4.85 kg/m<sup>3</sup>)

Max. flow 10 tons/h (9.07 t/h)

Step-by-step configuration.

1. Scale the output of the differential pressure (DP) transmitter to operating volume or mass, 10 tons/h (curve square root).
2. Select the input at the Graphic Data Manager and scale to operating volume i.e. ft<sup>3</sup>/h (m<sup>3</sup>/h), for example. If the output of the DP transmitter is scaled to mass as in the example, the operating volume must be calculated in the design conditions. Example:  
 10 tons/h \* 2000 : 0.3028 lb/ft<sup>3</sup> = 66050.2 ft<sup>3</sup>/h  
 9.07 t/h \* 1000 : 4.85 kg/m<sup>3</sup> = 1870.10 m<sup>3</sup>/h  
 (The DP transmitter output can remain scaled to mass).
3. In the math channel (1-8), select mass or energy measurement. Then configure the steam application. (See example 3.3.2)
4. Select the math channel (9-12) and enter the following formula (if applicable, change M1 to the math channel selected in step 3.):  
 $M1 * (P/P(a))^{0.5} * (T(a)/T)^{0.5}$   
 P: operating pressure (measured)  
 Pa: pressure in design conditions  
 T: operating temperature (measured)  
 Ta: temperature in design conditions

Ta and T are absolute temperatures in Kelvin which means that the formula may have to be altered to include temperature conversion. Furthermore, make sure that the pressure units are identical (e.g. do not mix absolute pressure and relative pressure!).

- a. Example: temperature measurement in °F (psi absolute pressure measurement)  
 $M1 * ((P/10) * (32 + 200 * 1.8) / (32 + T * 1.8))^{0.5}$
- b. Example: temperature measurement in °C (bar absolute pressure measurement)  
 $M1 * ((P/10) * (200 + 273.15) / (T + 273.15))^{0.5}$

The result is the compensated mass or energy flow.

## 3.4 Balancing (linking applications)

### 3.4.1 General

To balance mass or energy amounts against one another or to calculate characteristic values, any mathematics channel can be used.

Example: balancing a steam boiler.

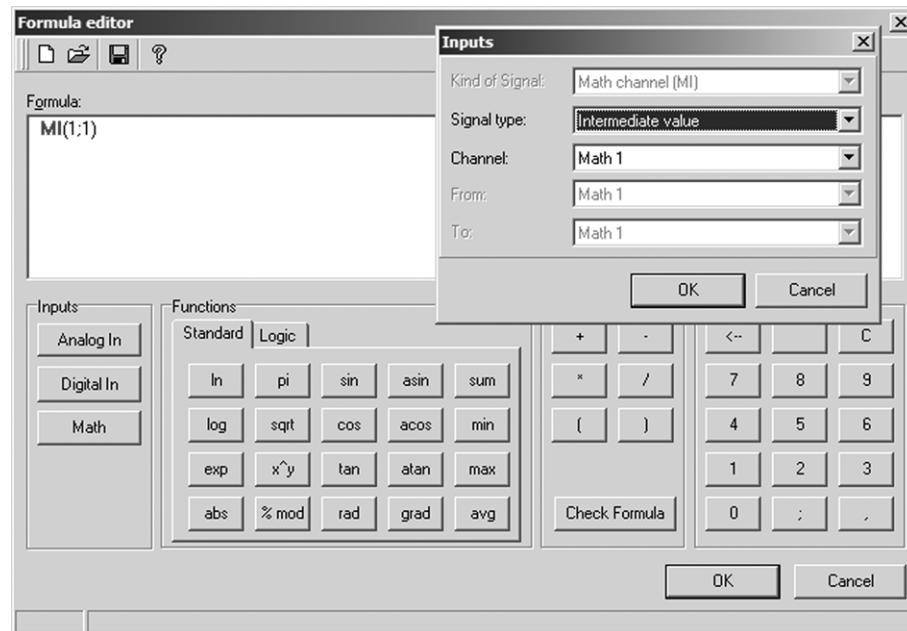
- Steam heat quantity is calculated in math channel 1.
- Math channel 2 is used to calculate the water heat quantity (residual energy in the flow of condensate in a steam system).

#### Looking for:

Energy that was given off between the steam feed line and the condensate return line.

#### Solution:

Open math channel 3, select the formula editor and subtract the quantities of energy from one another (math channel 1- math channel 2).



a0009905

### 3.4.2 Monitoring steam boilers

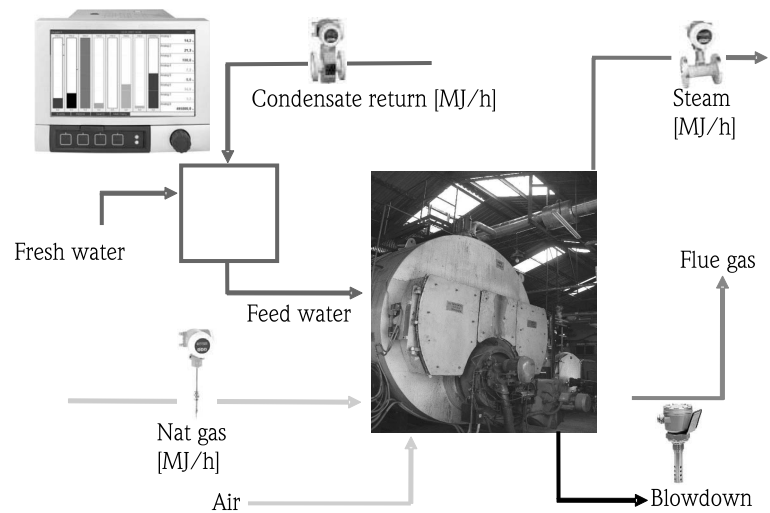
A steam boiler is monitored to ensure plant safety and to optimize processes and thus save costs. The measured variables for monitoring the safety of the plant are:

- Level
- Boiler pressure
- Boiler temperature

Measured variables and characteristic values for process optimization:

- Energy of steam flow
- Energy of condensate flow
- Energy of feed water or fresh water
- Energy of blowdown
- Energy of fuel (e.g. natural gas, heating oil)
- Energy, oxygen content and temperature of the flow of flue gas
- Mass flow combustion air (incl. O<sub>2</sub> contents and temperature)
- Chemical analysis: PH, dissolved oxygen, conductivity

#### Efficiency



a0009725-en

### Programming the Graphic Data Manager to calculate boiler efficiency

The totalizer values (integrated values) are always used to calculate the efficiency in a maths channel! A snap-shot of the efficiency has hardly any significance.

#### a) Open system

- Math channel 1 (M1): steam heat quantity
- Math channel 2 (M2): feed water heat quantity
- Math channel 3 (M3): combustion energy of natural gas for steam generation\*
- Math channel 4 (M4): calculation of boiler efficiency

Formula (M4) = (M1-M2)/M3

#### b) Closed system (i.e. condensate return)

- Math channel 1 (M1): steam heat quantity
- Math channel 2 (M2): water heat quantity in condensate
- Math channel 3 (M3): combustion energy of natural gas for steam generation\*
- Math channel 4 (M4): calculation of boiler efficiency

Formula (M4) = (M1-M2)/M3

#### c) Closed system taking blowdown into account

- M1: steam heat difference (steam flow, T steam, (P steam), T feed water)
- M2: steam heat difference (feed water flow, T steam, T feed water)
- M3: energy loss caused by blowdown: (M2-M1)
- M4: combustion energy of natural gas for steam generation\*
- M5: calculation of boiler efficiency (M2/M4)

The energy loss caused by blowdown can also be calculated approximately using a steam heat difference application.

Assumption: mass blowdown = mass fresh water

- M1: steam heat quantity
- M2: water heat quantity in condensate
- M3: energy loss caused by blowdown, water heat difference (V, T fresh water; T, P steam)
- M4: combustion energy of natural gas for steam generation\*
- M5: calculation of boiler efficiency

Formula (M5) = (M1-M2+M3)/M4

\*Natural gas mass flow is measured by the flowmeter and transmitted to the Graphic Data Manager. In math channel 3, the flow of natural gas is converted to energy (lower heating value for natural gas\*natural gas mass flow rate).

## 3.5 Failsafe mode

The failsafe mode can only be set up in expert mode.

The settings for the failsafe mode of inputs are described in the operating instructions of the Graphic Data Manager in section 6.4 (delivered on CD-ROM).

In the case of a fault, energy and mass calculation is either continued using a substitute value or becomes invalid.

In steam applications, when the condensate temperature is reached (wet steam alarm), the saturated steam state is determined using T and the heat flow is calculated. The behavior of the totalizers can be defined in the menu item "Failsafe mode/wet steam alarm":

- Integration stop (totalizer stop)
- Continue integration, i.e. totalizers continue to run (saturated steam calculation)

## 4 Technical data

	Water	Water/glycol	Steam
Measuring range	0 to 350 °C (32 to 662 °F)	-40 to 200 °C (-40 to 392 °F)	
Measuring range for superheated steam			0 to 1000 bar (0 to 14503.7 psi) 0 to 800 °C (32 to 1472 °F)
Measuring range for saturated steam			0 to 165 bar (0 to 2393 psi) 0 to 350 °C (32 to 662 °F)
Min. temperature differential	0 °C (32 °F)		
Concentration		0 to 60 vol %	
Error limits (universal inputs)	3 to 20 °C (37.4 to 68°F) < 1.0 % of meas. v. 20 to 250 °C (68 to 482°F) < 0.3 % of meas. v.		
Scan rate	500 ms		
Calculation standard	IAPWS-IF 97	Polynomial functions (Inaccuracy: max. 0.6 %)	IAPWS-IF 97





[www.endress.com/worldwide](http://www.endress.com/worldwide)

---

**Endress+Hauser**   
People for Process Automation

---