



Engineering Equation Solver

Microsoft Windows 95 oder höher

Überblick

EES (ausgesprochen wie (engl.) "ease") ist das Acronym für Engineering Equation Solver. Der Hauptanwendungsbereich von EES ist das Lösen von Gleichungssystemen aus mehreren algebraischen Gleichungen. Darüber hinaus kann EES auch Differentialgleichungen lösen, Verfahren zur Optimierung und zur linearen und nicht-linearen Regression ausführen sowie die Ergebnisse in Diagrammen visuell ansprechend darstellen.

Zwei Merkmale unterscheiden EES wesentlich von anderen numerischen Gleichungslösungsprogrammen. Erstens erkennt und gruppiert EES automatisch die Gleichungen, die gleichzeitig gelöst werden müssen. Das vereinfacht die Nutzung und gewährleistet, daß das Gleichungslösungsprogramm stets mit optimaler Effizienz arbeitet. Zweitens sind in EES viele mathematische Funktionen sowie Funktionen für thermodynamische Stoff- und Transporteigenschaften integriert, die insbesondere Berechnungen im Bereich der Thermodynamik, Wärme- und Stoffübertragung und Strömungsmechanik stark vereinfachen. Die Dampftafeln wurden beispielsweise so eingebunden, daß jede thermodynamische Eigenschaft durch einen programmeigenen Funktionsaufruf, in Abhängigkeit von zwei anderen Eigenschaften, ermittelt werden kann. Eine ähnliche Programmfunktion besteht für die meisten FCKW-Kältemittel, Ammoniak, Methan, Kohlendioxid und viele andere Fluide. Lufttafeln sind ebenso enthalten wie psychrometrische Funktionen und JANAF-Tabellendaten für viele gebräuchliche Gase. Das Programm enthält ebenfalls Transporteigenschaften für viele Stoffe.

Die Bibliothek-Datei in EES mit vorgegebenen mathematischen Funktionen und wärmetechnischen Eigenschaftenfunktionen ist sehr umfangreich, dennoch ist es nicht möglich, alle für die Benutzer notwendigen Funktionen vorherzusehen. Deshalb haben die Benutzer in EES die Möglichkeit, eigene Funktionsbeziehungen einzugeben, und zwar auf dreierlei Weise. Erstens gibt es die Möglichkeit Tabellendaten einzugeben und zu interpolieren, so daß die Tabellendaten unmittelbar bei der Lösung des Gleichungssystems verwendet werden können. Zweitens unterstützt die EES-Sprache von Benutzern geschriebene Funktionen und Prozeduren, ähnlich denen in Pascal und FORTRAN. Die Funktionen und Prozeduren können als Bibliothek-Dateien abgespeichert werden und beim Starten von EES automatisch eingelesen werden. Drittens können Funktionen und Prozeduren, die in einer höheren Programmiersprache wie Pascal, C oder FORTRAN geschrieben und kompiliert wurden, mit Hilfe der im Betriebssystem Windows vorhandenen DLL-Programmfunktion dynamisch in EES eingelesen werden. Durch

diese drei Möglichkeiten zur individuellen Ergänzung kann die Leistung von EES wesentlich gesteigert werden.

Die Idee für EES entstand aus den Erfahrungen beim Lehren von Thermodynamik und Wärme- und Stoffübertragung im Bereich Maschinenbau.

Das mühselige Nachschlagen in Eigenschaftstabellen sowie das aufwendige Lösen von algebraischen Gleichungen per Hand ist nicht nur zeitraubend, sondern schränkt auch die Art der Problemstellung stark ein. Probleme aus der Praxis, die oftmals nur eine implizite Lösung haben, eine Optimierung erfordern oder eine Parameterstudie zur Veranschaulichung komplexer Zusammenhänge benötigen, können nicht gelöst werden. Mit EES jedoch sind derartige Problemstellungen schnell und einfach gelöst, da der Anwender sich nur auf den Lösungsansatz, d. h. das Aufstellen des Gleichungssystems, konzentrieren muß. EES übernimmt die lästige und profane Kleinarbeit.

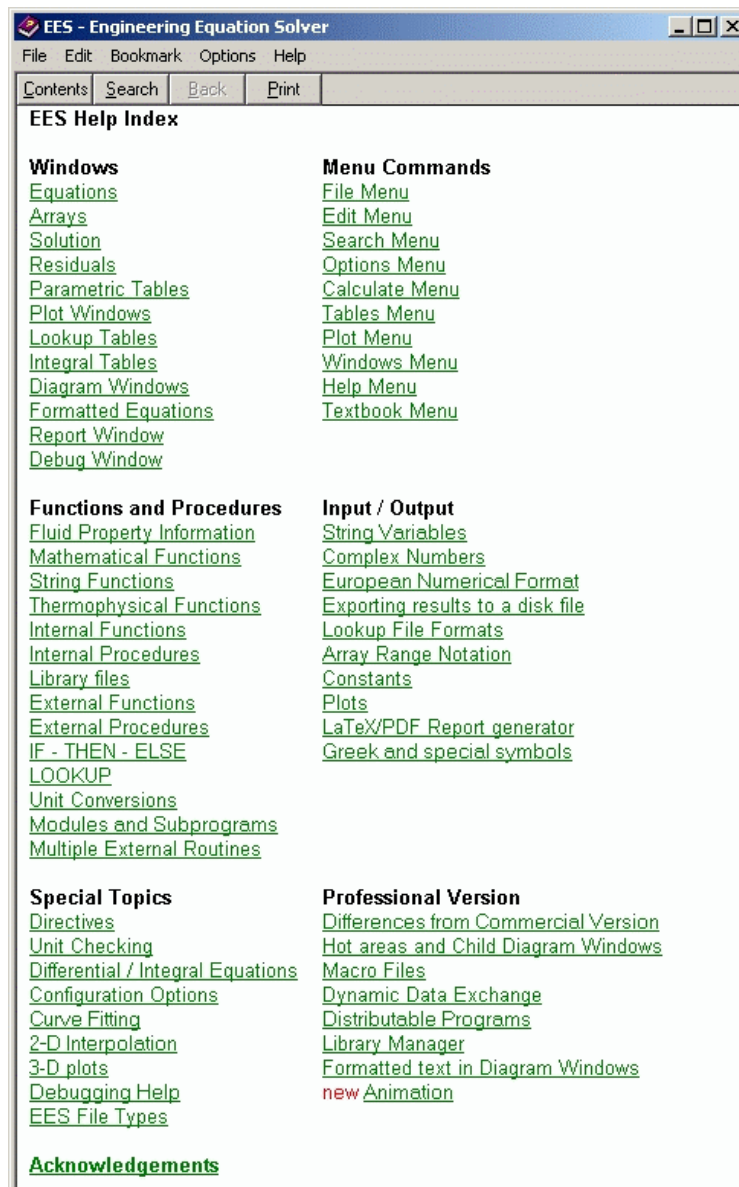
Insbesondere eignet sich EES zur Lösung von Auslegungsproblemen, bei denen die Auswirkungen der Änderung einer oder mehrerer Parameter bestimmt werden sollen. EES enthält dafür eine Programmfunktion in Form einer Parametertabelle, die einer Tabellenkalkulation ähnlich ist. Der Benutzer wählt die unabhängigen Variablen und gibt die gewünschten Werte in die Tabellenzellen ein. EES berechnet dann die Werte der abhängigen Variablen und schreibt sie in die Tabelle. Zur Veranschaulichung der Beziehung der Variablen können auch Diagramme erstellt werden. Mit EES ist es genauso leicht Parameterstudien durchzuführen wie die Lösung eines normalen Gleichungssystems unabhängiger Variablen.

EES hat den Vorteil, daß mit einer Reihe einfacher intuitiver Befehle auch ein Neuling schnell jegliche algebraische Problemstellungen lösen kann. Zusätzlich stehen in EES Experten zahlreiche spezielle Programmfunktionen zur Verfügung. Beim Lösen von Aufgaben aus der Thermodynamik, Strömungslehre und Wärme- und Stoffübertragung hilft die große integrierte Datenbank für thermodynamische Stoff- und Transporteigenschaften. EES kann bei vielen technischen Anwendungen benutzt werden. Es ist einerseits ideal geeignet für Lehrveranstaltungen im Bereich Maschinenbau und andererseits für den Ingenieur, der praktische Aufgaben im Planungsalltag lösen muß.

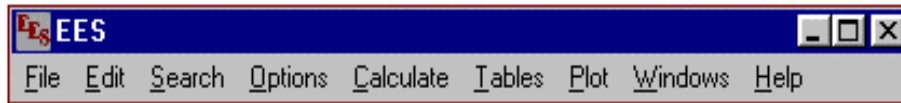
Allgemeine Programmhinweise

Nach dem Starten von EES erscheint zuerst ein Dialogfenster, das Registrierungsinformationen, die Versionsbezeichnung und den für EES verfügbaren (tatsächlichen und virtuellen) Speicherraum zum Speichern von Informationen zu den Aufgaben anzeigt. Die Registrierungsinformationen benötigen Sie, wenn Sie die Hilfe der technischen Unterstützung in Anspruch nehmen müssen. Klicken Sie auf die Schaltfläche **OK**, um das Dialogfenster zu schließen.

In EES steht Ihnen jederzeit detaillierte Hilfe zur Verfügung. Wenn Sie die Taste **F1** drücken, erscheint ein Hilfe-Fenster, das sich auf das aktive Fenster bezieht. Wenn Sie auf die Schaltfläche **Contents** klicken, erscheint der Hilfe-Index wie in der Abbildung unten. Wenn Sie eines der unterstrichenen Wörter anklicken (auf Farbmonitoren in Grün angezeigt), wird eine Hilfestellung zu diesem Thema angezeigt.



Die Befehle zum Bedienen von EES verteilen sich auf neun Pulldown-Menüs. Es folgt eine kurze Beschreibung ihrer Funktionen.



Über dem Dateimenü erscheint das Systemmenü. (In Windows 95 ist dieses Menü als kleine Version des EES-Icons dargestellt.) Das Systemmenü gehört nicht zu EES, sondern ist eher ein Merkmal des Betriebssystems Windows. Es enthält Befehle, mit denen Sie Fenster verschieben, vergrößern oder verkleinern, und mit denen Sie zu anderen Anwendungen wechseln können.

Das Menü **File** enthält Befehle, mit denen Sie Arbeits- und Bibliotheks-Dateien laden, verschieben, speichern und drucken können.

Das Menü **Edit** enthält Befehle zum Bearbeiten, mit denen Sie Informationen ausschneiden, kopieren und einfügen können.

Das Menü **Search** enthält Befehle zum Suchen und Ersetzen, die im Fenster **Equations** eingesetzt werden können.

Das Menü **Options** enthält Befehle, mit denen Sie die Voreinstellungswerte und Grenzwerte für Variablen, das Einheitensystem, Voreinstellungen und Programmeinstellungen festlegen können. Mit einem weiteren Befehl können Sie sich Informationen über programmeigene und benutzerdefinierte Funktionen anzeigen lassen.

Das Menü **Calculate** enthält Befehle, mit denen Sie das Gleichungssystem überprüfen, formatieren und lösen können.

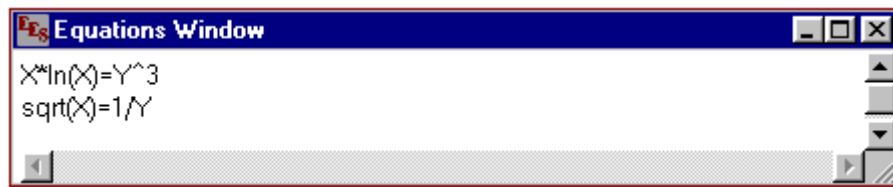
Das Menü **Tables** enthält Befehle, mit denen Sie Parameter- und Lookup-Tabellen erstellen und bearbeiten können und mit denen Sie eine lineare Regression an den in den Tabellen befindlichen Daten durchführen können. Mit der Parameter-Tabelle können Sie, ähnlich einer Tabellenkalkulation, die angegebene Gleichung immer wieder lösen und dabei die Werte einer oder mehrerer Variablen verändern. Die Lookup-Tabelle enthält von den Benutzern eingegebene Daten, die interpoliert und beim Lösen des Gleichungssystems benutzt werden können.

Das Menü **Plot** enthält Befehle, mit denen Sie ein vorhandenes Diagramm modifizieren oder ein neues Diagramm für Daten in der Parameter-, Lookup- oder Matrix-Tabelle erstellen können. Eine Programmfunktion zur Kurvenermittlung ist ebenfalls vorhanden.

Mit dem Menü **Windows** können Sie auf einfache Weise eines der EES-Fenster aktivieren oder die Fenster anordnen.

Über das Menü **Help** haben Sie Zugang zur Online-Hilfe.

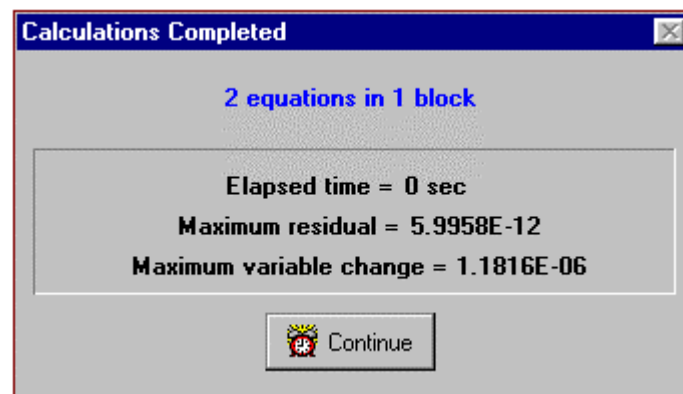
Die Hauptprogrammfunktion von EES ist das Lösen eines Gleichungssystems aus nicht-linearen algebraischen Gleichungen. Um sich diese Programmfunktion demonstrieren zu lassen, können Sie EES einmal starten und diese einfache Beispielaufgabe im Fenster **Equations** eingeben. Wie Sie sehen unterscheidet EES nicht zwischen Groß- und Kleinbuchstaben und das ^-Zeichen (oder **) wird zur Kennzeichnung von Potenzen benutzt.



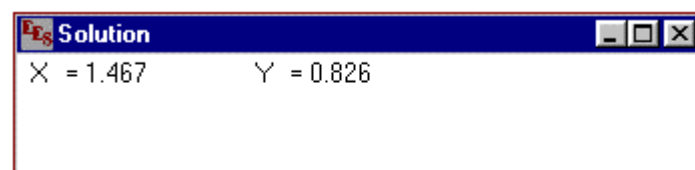
Sie können sich die Gleichung auch in mathematischer Schreibweise ansehen, wenn Sie im Menü **Windows** den Befehl **Formatted Equations** auswählen.



Wählen Sie aus dem Menü **Calculate** den Befehl **Solve**, es erscheint ein Dialogfenster, das den Fortschritt beim Lösen anzeigt. Wenn die Berechnungen abgeschlossen sind, wechselt die Schaltfläche von **Abort** zu **Continue**.



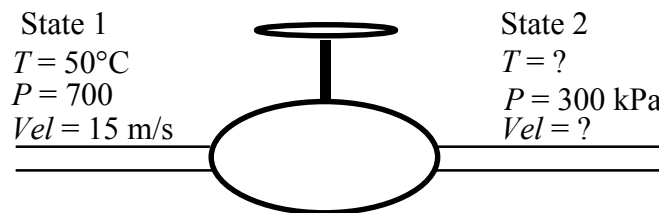
Klicken Sie auf die Schaltfläche **Continue** und die Lösung für dieses Gleichungssystem wird angezeigt.



Lösen einer Beispielaufgabe aus der Thermodynamik

Im folgenden wird eine einfache Aufgabe aus der Thermodynamik gelöst werden, um darzustellen, wie EES auf die Stoffeigenschaften zugreift und Gleichungen lösen kann.

Das Kältemittel R12 tritt mit 700 kPa, 50 °C und einer Geschwindigkeit von 15 m/s in ein Ventil ein. Am Ventilausgang beträgt der Druck 300 kPa. Sowohl am Eingang wie auch am Ausgang beträgt der Flächeninhalt des Fluids 0.0110 m². Bestimmen Sie die Temperatur, den Massendurchsatz und die Geschwindigkeit am Ventilausgang.



Um die Aufgabe zu lösen, muß ein System gewählt und dann Masse- und Energiebilanzen angewandt werden. Das System ist das Ventil, der Massenstrom ist konstant, die Massebilanz ist also:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (1)$$

mit

$$\dot{m}_1 = A_1 \text{Vel}_1 / v_1 \quad (2)$$

$$\dot{m}_1 = A_2 \text{Vel}_2 / v_2 \quad (3)$$

\dot{m} = Massenstrom [kg/s]

A = Fläche des Querschnitts [m²]

Vel = Geschwindigkeit [m/s]

v = spezifisches Volumen [m³/kg]

Weiterhin gilt

$$A_1 = A_2 \quad (4)$$

Es wird angenommen, daß das Ventil gut isoliert ist und keine beweglichen Teile hat. Die Auswirkungen von Wärme und Arbeit sind jeweils Null. Die Energiebilanz des Ventils für einen stationären Zustand ist:

$$\dot{m}_1 \left(h_1 + \frac{\text{Vel}_1^2}{2 \cdot 1000} \right) = \dot{m}_2 \left(h_2 + \frac{\text{Vel}_2^2}{2 \cdot 1000} \right) \quad (5)$$

wobei h = Enthalpie [kJ/kg].

Der Faktor 1000 entsteht bei der Umrechnung von m²/sec² in kJ/kg.

Zwischen den Eigenschaften von R12 bestehen folgende Beziehungen:

$$v_1 = v(T_1, P_1) \quad (6)$$

$$h_1 = h(T_1, P_1) \quad (7)$$

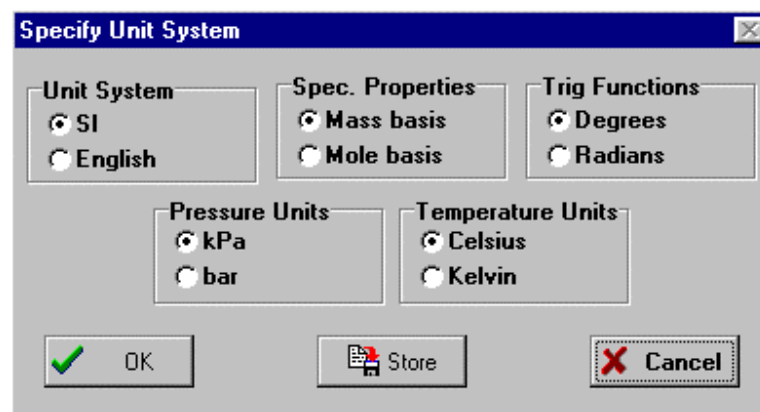
$$v_2 = v(T_2, P_2) \quad (8)$$

$$h_2 = h(T_2, P_2) \quad (9)$$

Meist werden die Terme mit Geschwindigkeit vernachlässigt, hauptsächlich, weil die Auswirkung der kinetischen Energie meist unerheblich ist, aber auch, weil diese Terme das Lösen der Aufgabe erschweren. Mit EES stellen Rechenprobleme jedoch kein Problem dar. Die Benutzer können die Aufgabe unter Berücksichtigung der Terme mit kinetischer Energie lösen und deren Bedeutung abwägen.

Die Werte von T_1 , P_1 , A_1 , Vel_1 und P_2 sind bekannt. Es gibt neun Unbekannte: A_2 , \dot{m}_1 , \dot{m}_2 , Vel_2 , h_1 , v_1 , h_2 , v_2 , T_2 . Da es 9 Gleichungen gibt, ist die Aufgabe lösbar. Jetzt müssen nur die Gleichungen gelöst werden. Das macht EES für Sie.

Starten Sie EES oder wählen Sie den Befehl **New** aus dem Menü **File**, wenn Sie das Programm zuvor bereits benutzt haben. Das leere Fenster **Equations** erscheint. Bevor Sie jedoch die Gleichungen eingeben, legen Sie das Einheitensystem für die programmeigene Funktion wärmetechnischer Eigenschaften fest. Um das Einheitensystem einzusehen oder zu ändern, wählen Sie den Befehl **Unit System** aus dem Menü **Options**.



Gemäß den Voreinstellungen arbeitet EES mit den SI-Einheiten mit T in °C, P in kPa und den Werten von speziellen Eigenschaften in deren herkömmlichen Einheiten auf Massenbasis. Diese Einstellungen können bei einer vorherigen Nutzung des Programms verändert worden sein. Klicken Sie auf die Optionsfelder, um die oben angezeigten Einstellungen zu machen. Klicken Sie auf die Schaltfläche **OK** (oder drücken Sie die Return-Taste), um die Einstellung des Einheitensystems zu bestätigen.

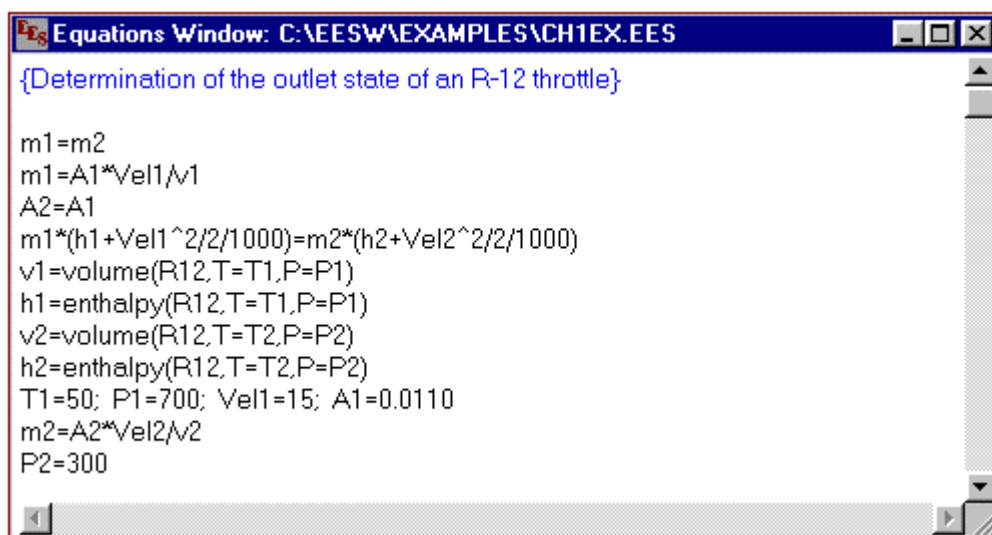
Jetzt können Sie die Gleichungen in das Fenster **Equations** eingeben. Sie können Text in gleicher Weise wie in einem Textverarbeitungsprogramm eingeben. Es gibt folgende Formatierungsregeln:

1. Groß- und Kleinbuchstaben werden nicht unterschieden. EES kann jedoch (optional) die Schreibweise aller Variablen so ändern, daß sie so erscheinen, wie sie eingegeben wurden.
2. Leerzeilen und Leerzeichen können Sie so eingeben, wie Sie möchten, da EES sie ignoriert.
3. Erläuterungen müssen in Klammern { } oder in Anführungszeichen " " eingeschlossen werden. Erläuterungen können so viele Zeilen einnehmen, wie Sie benötigen. Erläuterungen in Klammern können ineinander verschachtelt

werden, wobei nur das äußerste Paar { } erkannt wird. Erläuterungen in Anführungszeichen werden auch im Fenster **Formatted Equations** angezeigt.

4. Namen von Variablen müssen mit einem Buchstaben beginnen und können alle Tastaturzeichen außer () * / + - ^ { } : " oder ; enthalten. Feldvariablen werden durch eckige Klammern um den Feldindex oder die Feldindices gekennzeichnet, z. B. X[5,3]. Variablen können aus maximal 30 Zeichen bestehen.
5. Es können mehrere Gleichungen in eine Zeile eingegeben werden, wenn sie durch ein Semikolon (;) voneinander getrennt werden. Eine Zeile kann maximal 255 Zeichen enthalten.
6. Benutzen Sie das ^-Zeichen oder **, um Potenzen zu kennzeichnen.
7. Die Reihenfolge, in der die Gleichungen eingegeben werden, ist unerheblich.
8. Die Stellung von Bekannten und Unbekannten in einer Gleichung ist unerheblich.

Nachdem Sie die Gleichungen für diese Aufgabe eingegeben und (optional) die Syntax mit dem Befehl **Check/Format** im Menü **Calculate** überprüft haben, sieht das Fenster **Equations** so aus wie in der Abbildung unten gezeigt. Erläuterungen werden auf Farbmonitoren für gewöhnlich in Blau angezeigt. Weitere Formatierungsoptionen können Sie mit dem Befehl **Preferences** im Menü **Options** festlegen.



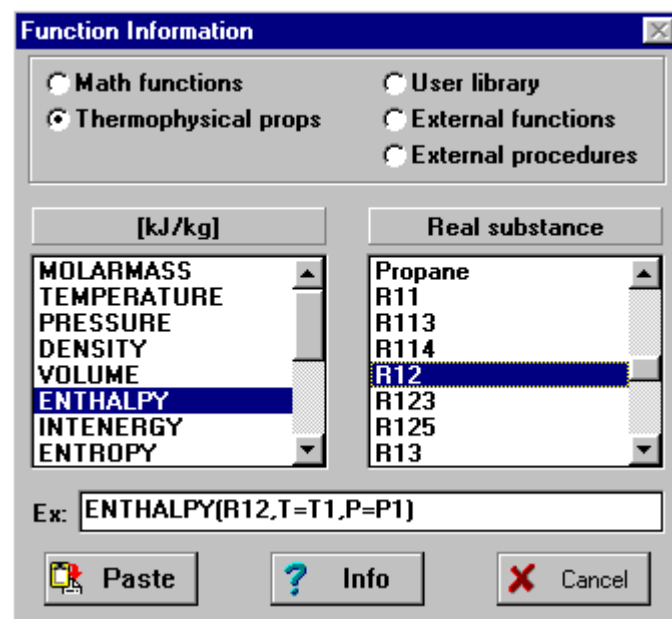
```
{Determination of the outlet state of an R-12 throttle}

m1=m2
m1=A1*Vel1/v1
A2=A1
m1*(h1+Vel1^2/2/1000)=m2*(h2+Vel2^2/2/1000)
v1=volume(R12,T=T1,P=P1)
h1=enthalpy(R12,T=T1,P=P1)
v2=volume(R12,T=T2,P=P2)
h2=enthalpy(R12,T=T2,P=P2)
T1=50; P1=700; Vel1=15; A1=0.0110
m2=A2*Vel2/v2
P2=300
```

Die Funktionen für thermodynamische Stoffeigenschaften wie **Enthalpie** und **Volumen** erfordern ein spezielles Format. Das erste Argument der Funktion ist der Stoffname, in diesem Fall R12. Es folgen ein einzelner Kennbuchstabe, ein Gleichheitszeichen und anschließend als weitere Argumente die unabhängigen Variablen. Zulässige Buchstaben sind T, P, H, U, S, V, und X, die den Größen Temperatur, Druck, spezifische Enthalpie, spezifische innere Energie, spezifische Entropie, spezifisches Volumen und Qualität entsprechen. (Für psychrometrische Funktionen treten als weitere zulässige Buchstaben W, R, D, und B hinzu, die den Größen spezifische Feuchte, relative Feuchte, Taupunkttemperatur und Feuchtkugeltemperatur entsprechen.)

Mit dem Befehl **Function Information** im Menü **Options** können Sie leicht Funktionen eingeben, ohne das Format zuweisen zu müssen. Bei Benutzung dieses Befehls erscheint das unten gezeigte Dialogfenster. Klicken Sie auf das Optionsfeld **Thermophysical Props**. Auf der linken Seite erscheint die Liste der

programmeigenen Funktion für wärmetechnische Eigenschaften, auf der rechten die Liste der Stoffe. Wählen Sie eine Eigenschaftenfunktion aus, indem sie auf deren Namen klicken. Eventuell müssen Sie die Bildlaufleiste benutzen, damit die gewünschte Funktion angezeigt wird. Wählen Sie auf gleiche Weise einen Stoff aus. In der Anzeige unter den Listen erscheint ein Beispiel der Funktion, das das Format anzeigt. Die Angaben in der Anzeige können, wenn nötig, geändert werden. Wenn Sie die Schaltfläche **Paste** anklicken, wird das Beispiel an der Position des Cursors im Fenster **Equations** eingefügt.



Es ist meist günstiger, zuerst die Voreinstellungswerte und (möglicherweise) die unteren und oberen Grenzwerte für die Variablen festzulegen, bevor Sie versuchen, die Gleichungen zu lösen. Benutzen Sie dafür den Befehl **Variable Information** im Menü **Options**. Bevor der Dialog **Variable Information** angezeigt wird, prüft EES die Syntax und wandelt neu eingegebene und/oder geänderte Gleichungen um und löst dann alle Gleichungen mit einer Unbekannten. Dann erscheint der Dialog **Variable Information**.

Variable	Guess	Lower	Upper	Display	Units
A1	0.011	0.011	0.011	F 3 N	m2
A2	0.011	0.011	0.011	F 3 N	m2
h1	214.9	214.9	214.9	F 1 N	kJ/kg
h2	100.0	0.0000E+00	infinity	F 1 N	kJ/kg
m1	5.874	5.874	5.874	F 3 N	kg/s
m2	5.874	5.874	5.874	F 3 N	kg/s
P1	700	700	700	F 0 N	kPa
P2	300	300	300	F 0 N	kPa
T1	50.0	50.0	50.0	F 1 N	C
T2	40.0	-infinity	infinity	F 1 X	C

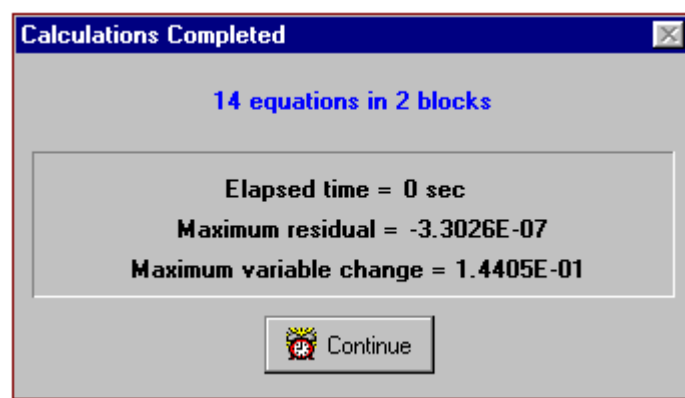
Der Dialog **Variable Information** enthält je eine Zeile für jede Variable, die im Fenster **Equations** vorkommt. Gemäß den Voreinstellungen hat jede Variable den Voreinstellungswert 1.0 und als untere und obere Grenzwerte "negativ" bzw. "positiv unendlich". (Der untere und obere Grenzwert werden kursiv angezeigt, wenn zuvor der Wert der Variablen mit EES berechnet worden ist. In diesem Fall zeigt die Spalte **Guess Value** den berechneten Wert an. Die kursiv angezeigten Werte können nach wie vor bearbeitet werden, dann muß EES den Wert der Variablen erneut berechnen.)

Ist in der ersten Spalte im Bereich **Display** ein F ausgewählt, bedeutet dies, daß die Zahl mit einer festgelegten Anzahl an Dezimalstellen angezeigt wird. Alternativ kann auch ein E für exponentielle Darstellung ausgewählt werden. Die Voreinstellung für die Option **Display** ist F 3 ohne Einheiten. Diese Einstellungen können leicht mit dem Befehl **Default Information** im Menü **Options** geändert werden. In der dritten Spalte im Bereich **Display** wird festgelegt, wie eine Variable hervorgehoben werden soll (z. B. fett, in einem Rahmen oder kursiv), wenn sie im Fenster **Solution** angezeigt wird. Sie können die Einheiten der Variablen bestimmen. Die Einheiten werden zusammen mit den Variablen im Fenster **Solution** und/oder in der Parameter-Tabelle angezeigt. EES rechnet Einheiten nicht automatisch um. Die Einstellungen zu den Einheiten kommen nur beim Anzeigen zum Tragen.

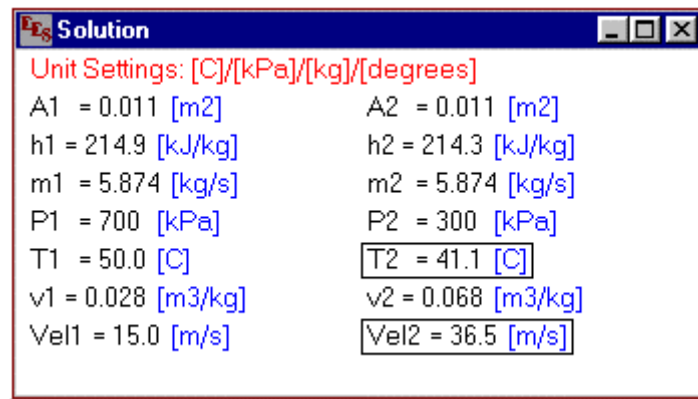
Bei nicht-linearen Gleichungen ist es manchmal nötig, plausible Voreinstellungswerte und Grenzwerte anzugeben, um die Gleichung zu lösen. (Für diese Aufgabe ist es nicht nötig.) Die Grenzwerte einiger Variablen sind aufgrund des physikalischen Hintergrunds der Aufgabe bekannt. In der Beispielaufgabe sollte die Enthalpie am

Ausgang, h_2 , möglichst nah am Wert h_1 liegen. Setzen Sie den Voreinstellungswert der Variablen auf 100 und den unteren Grenzwert auf 0. Setzen Sie den Voreinstellungswert des spezifischen Volumens am Ausgang, v_2 , auf 0.1 und den unteren Grenzwert auf 0. Gehen Sie mit der Bildlaufleiste in der Liste **Variable Information** zu Vel_2 . Der untere Grenzwert von Vel_2 sollte auch Null sein. Um die Anzeige zu verbessern, geben Sie die Einheiten der Variablen ein und setzen die Dezimalstellenanzahl von h_1 , h_2 , T_1 , T_2 , Vel_1 und Vel_2 auf 1.

Um das Gleichungssystem zu lösen, wählen Sie den Befehl **Solve** aus dem Menü **Calculate**. Es erscheint ein Informationsdialog, in dem die bereits vergangene Zeit, der maximale Restwert (d. h. die Differenz zwischen der linken und rechten Seite einer Gleichung) und die maximale Änderung der Variablenwerte seit der letzten Iteration angezeigt werden. Wenn die Berechnungen abgeschlossen sind, zeigt EES die Gesamtzahl an Gleichungen in der Aufgabe und die Zahl der Gleichungsböcke an. Ein Block ist ein Subsystem von Gleichungen, die unabhängig gelöst werden können. EES teilt das Gleichungssystem automatisch in Blöcke auf, wo immer es möglich ist, um die Recheneffizienz zu erhöhen. Wenn die Berechnungen abgeschlossen sind, wechselt die Schaltfläche von **Abort** zu **Continue**.

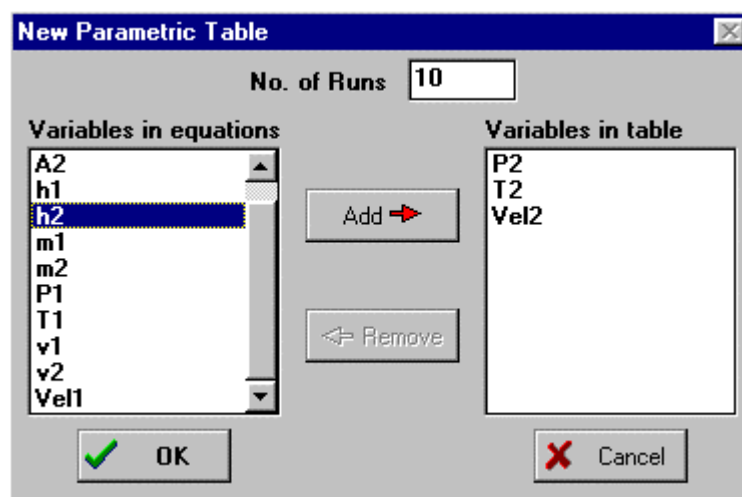


Gemäß den Voreinstellungen werden die Berechnungen abgebrochen, wenn 100 Iterationen erfolgt sind, die vergangene Zeit 3600 Sekunden überschreitet, der maximale Restwert weniger als 10^{-6} oder die maximale Änderung der Variablenwerte weniger als 10^{-9} beträgt. Diese Einstellungen können mit dem Befehl **Stop Criteria** im Menü **Options** geändert werden. Wenn der maximale Restwert größer ist als der Wert, der als Abbruchkriterium festgelegt worden ist, wurden die Gleichungen nicht korrekt gelöst, möglicherweise, weil die Grenzwerte für eine oder mehrere Variablen die Lösung eingeschränkt haben. Wenn Sie auf die Schaltfläche **Continue** klicken, wird der Informationsdialog geschlossen und das unten abgebildete Fenster **Solution** erscheint. Die Aufgabe ist jetzt gelöst, da die Werte für T_2 , m_2 und Vel_2 bestimmt worden sind.



Eine der nützlichsten Programmfunktionen von EES ist das Lösen von Parametergleichungen. In dieser Aufgabe kann es beispielsweise von Interesse sein, wie sich die Drosselausgangstemperatur und Ausgangsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Ausgangsdrucks verändern. Eine Reihe von Berechnungen kann automatisch durchgeführt und in einem Diagramm festgehalten werden mit Hilfe der Befehle im Menü **Tables**.

Wählen Sie den Befehl **New Table**. Es wird ein Dialog angezeigt, in dem die Variablen, die im Fenster **Equations** vorkommen, aufgelistet sind.



In diesem Falle werden wir eine Tabelle mit den Variablen P2, T2, Vel2, und h2 erstellen. Klicken Sie in der Variablenliste links auf P2. Dadurch wird P2 hervorgehoben und die Schaltfläche **Add** wird aktiviert. Klicken Sie nun auf die Schaltfläche **Add**, um P2 in die Variablenliste rechts zu übertragen. Wiederholen Sie diesen Vorgang für T2, h2 und Vel2, benutzen Sie gegebenenfalls die Bildlaufleiste, um die benötigten Variablen anzeigen zu lassen. (Als Short-Cut können Sie auch auf den Variablennamen in der Liste links doppelklicken, um diesen in die Liste rechts zu übertragen.) Der Dialog zum Erstellen einer Tabelle sollte jetzt wie in der Abbildung oben aussehen. Klicken Sie auf die Schaltfläche **OK**, um die Tabelle zu erstellen.

Die Parameter-Tabelle funktioniert so ähnlich wie eine Tabellenkalkulation. Sie können Zahlen direkt in die Zellen eingeben. Die eingegebenen Zahlen werden in Schwarz angezeigt und haben die gleiche Auswirkung, als ob der Wert der Variablen über eine Gleichung im Fenster **Equations** ermittelt worden wäre. Löschen Sie die

Gleichung $P2 = 300$, die noch im Fenster **Equations** steht oder setzen Sie Klammern { } darum. Diese Gleichung wird nicht benötigt, da der Wert für P2 in der Tabelle festgelegt wird. Geben Sie nun für P2 die Werte ein, für die T2 bestimmt werden soll. In diesem Beispiel wurden Werte zwischen 100 und 550 gewählt. (Die Werte hätten Sie auch automatisch eingeben können mit dem Befehl **Alter Values** im Menü **Tables** oder mit der Schaltfläche **Alter Values** in der rechten oberen Ecke einer jeden Spaltenüberschrift. Die Parameter-Tabelle sollte nun wie in der Abbildung aussehen.

	1 P2 [kPa]	2 T2 [C]	3 Vel2 [m/s]	4 h2 [kJ/kg]
Run 1	100			
Run 2	150			
Run 3	200			
Run 4	250			
Run 5	300			
Run 6	350			
Run 7	400			
Run 8	450			
Run 9	500			
Run 10	550			

Wählen Sie nun den Befehl **Solve Table** im Menü **Calculate**. Das Dialogfenster **Solve Table** erscheint, in dem Sie die Durchgänge auswählen können, für die die Berechnung durchgeführt werden soll.

Solve Table
 First Run
 Last Run
 Update guess values
 Stop if warning occurs

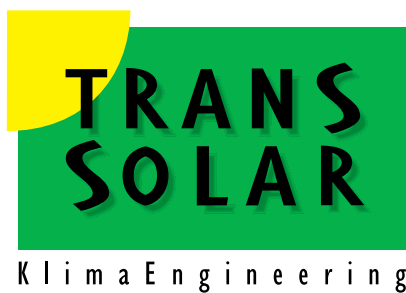
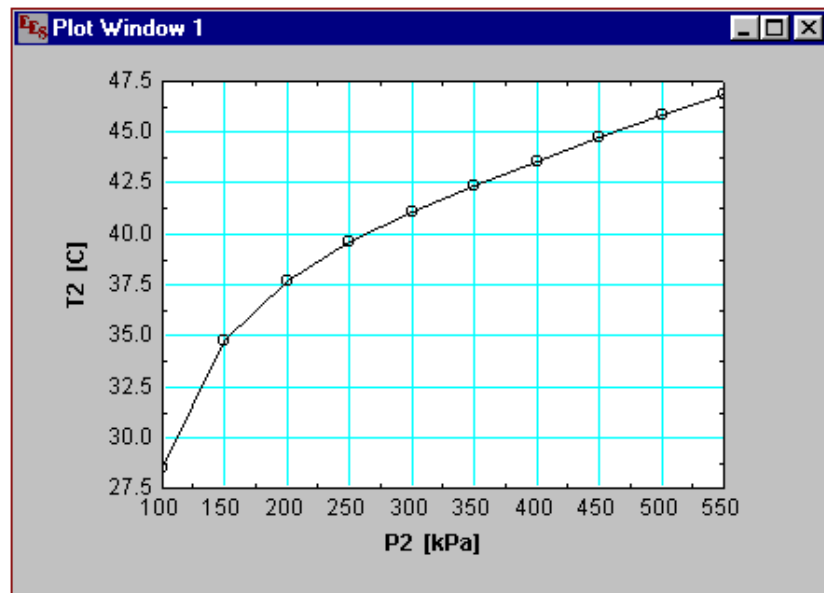
Wenn das Kontrollkästchen **Update Guess Values** ausgewählt wird, wie in der Abbildung, werden die Lösungen des letzten Durchgangs als Voreinstellungswerte für den folgenden Durchgang eingefügt. Klicken Sie auf die Schaltfläche **OK**. Es erscheint ein Fenster, in dem der Fortschritt beim Lösen der Aufgabe angegeben wird. Wenn die Berechnungen abgeschlossen sind, werden die Werte für T2, Vel2 und h2 in die Tabelle eingefügt. Die von EES berechneten Werte werden in Blau, Fett oder Kursiv angezeigt, je nachdem, welche Einstellung im Bereich **Screen Display** des Dialogfensters **Preferences** im Menü **Options** vorgenommen wurden.

	1 P2 [kPa]	2 T2 [C]	3 Vel2 [m/s]	4 h2 [kJ/kg]
Run 1	100	<i>28.5</i>	<i>108.6</i>	<i>209.7</i>
Run 2	150	<i>34.8</i>	<i>73.3</i>	<i>212.3</i>
Run 3	200	<i>37.7</i>	<i>55.1</i>	<i>213.5</i>
Run 4	250	<i>39.6</i>	<i>43.9</i>	<i>214.0</i>
Run 5	300	<i>41.1</i>	<i>36.5</i>	<i>214.3</i>
Run 6	350	<i>42.4</i>	<i>31.1</i>	<i>214.5</i>
Run 7	400	<i>43.6</i>	<i>27.1</i>	<i>214.6</i>
Run 8	450	<i>44.7</i>	<i>24.0</i>	<i>214.7</i>
Run 9	500	<i>45.8</i>	<i>21.5</i>	<i>214.8</i>
Run 10	550	<i>46.9</i>	<i>19.4</i>	<i>214.8</i>

Die Beziehung zwischen Variablen wie z. B. P2 und T2 ist jetzt erkennbar, doch noch deutlicher erkennt man sie in einem Diagramm. Wählen Sie den Befehl **New Plot Window** aus dem Menü **Plot**. Das in der Abbildung unten gezeigte Dialogfenster **New Plot Window** erscheint. Wählen Sie P2 für die X-Achse aus, indem Sie auf P2 in der Liste **x-axis** links klicken. Klicken Sie auf T2 in der Liste **y-axis**. Wählen Sie die Anfangs- und Endpunkte der Skalen für P2 und T2 und legen Sie die Anzahl der Unterteilungen für die Skala, wie in der Abbildung gezeigt, fest. Mit Gitternetzlinien ist das Diagramm leichter zu lesen. Klicken Sie das Steuerelement **Grid Lines** für die X- und die Y-Achse an. Wenn Sie die Schaltfläche **OK** anklicken, wird das Diagramm erstellt und es erscheint das in der Abbildung gezeigte Fenster **Plot Window**. Wenn das Diagramm einmal erstellt worden ist, besteht eine Reihe von Möglichkeiten, das Diagramm zu verändern, die an dieser Stelle jedoch nicht mehr erläutert werden.

Setup for Plot Window 1

X-Axis		Y-Axis		Table	
P2		P2		<input checked="" type="radio"/> Parametric	
T2		T2		<input type="radio"/> Lookup	
Vel2		Vel2		<input type="radio"/> Arrays	
h2		h2			
Format	F 0	Format	F 1	First Run	1
Minimum	100	Minimum	27.5	Last Run	10
Maximum	550	Maximum	47.5	<input type="checkbox"/> Spline fit	
Interval	50	Interval	2.5	<input type="checkbox"/> Automatic update	
<input checked="" type="radio"/> Linear	<input type="radio"/> Log	<input checked="" type="radio"/> Linear	<input type="radio"/> Log	<input type="checkbox"/> Add legend item	
<input checked="" type="checkbox"/> Grid lines		<input checked="" type="checkbox"/> Grid lines		Line	---
				Symbol	○
				Color	Black
				OK	
				Cancel	



TRANSSOLAR Energietechnik GmbH

Technologien zur rationellen Energienutzung und Solartechnik

Curiestraße 2

D-70563 Stuttgart

Fax: +49/ 711 / 67976 - 11

e-mail: hotline@transsolar.com

<http://www.trnsys.com>