

# Simulation von Bausystemen mit integrierten Phasenwechselmaterialien (PCM)

B. Gatzka  
Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH  
  
Stralauer Platz 34, 10243 Berlin  
Tel.: 49(0) 30 588439-10, Fax: -11  
E-Mail: [info@valentin.de](mailto:info@valentin.de)  
Internet: <http://www.valentin.de>

S. Gschwander  
Fraunhofer Institut für Solare  
Energiesysteme  
Heidenhofstraße 2, 79110 Freiburg  
Tel.: 49(0)761 4588-5291, Fax: -9000  
[stefan.gschwander@ise.fraunhofer.de](mailto:stefan.gschwander@ise.fraunhofer.de)  
Internet: <http://www.ise.fhg.de>

## Kooperation Valentin EnergieSoftware <> Fraunhofer ISE

Das Fraunhofer ISE Freiburg führt zusammen mit Industriepartnern im Verbundvorhaben „LowEx“ das Verbundprojekt „Aktive PCM-Speichersysteme für Gebäude PCM-Aktiv“ durch. Dort ist „die Erstellung eines allgemein anwendbaren Computer-Tools“ vorgesehen, „um den Einfluss von PCM in verschiedenen Anwendungen im Gebäude quantitativ erfassbar und darstellbar zu machen“.

Diese Aufgabe hat die Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH im Rahmen des Forschungsvorhabens „Entwicklung eines benutzerfreundlichen Planung- und Simulationsprogramms“ übernommen, wobei die Verantwortung für die Algorithmen und die Validierung beim ISE verbleibt.

Diese Kooperation stellt sicher, dass die Ergebnisse des Verbundprojekts in das Tool einfließen und dass das Tool den Ansprüchen eines professionell vertriebenen Programms genügt und auch nach Abschluss des Verbundprojektes weiter entwickelt wird.

Wir danken dem BMWi, das uns die Ausführung der Arbeiten ermöglichte und unter den FKZ 0327370S und 0327370F-K förderte sowie dem Projektträger Jülich für die Begleitung.

## Zielsetzung

Die Aufgabenstellung ist die Entwicklung eines benutzerfreundlichen Planungs- und Simulationsprogramms für Gebäude mit Phasenwechselmaterialien (PCM). Dieses soll Architekten und Planer bei der Markteinführung unterstützen, indem es diesen eine gesicherte Entscheidungsfindung für die Dimensionierung des Systems ermöglicht.

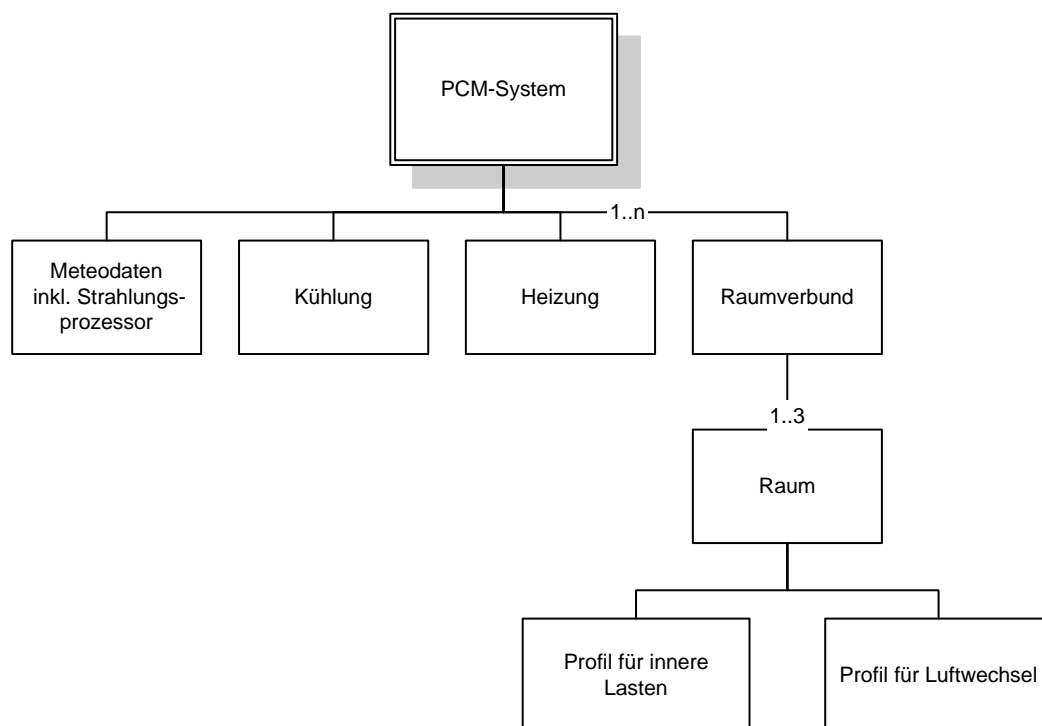
Hierzu muss es auf benutzfreundliche Art und Weise und mit vertretbarem Aufwand den Anwendern ermöglichen, das PCM-System zu definieren. Dieses umfasst den Einsatz von PCM bei den Wandaufbauten genauso wie Veränderungen an der zugehörigen Haustechnik. Hierbei soll insbesondere der Low-Exergie-Ansatz in Form von aktivierten Bauteilen (Flächenheizung, Kühlflächen) und energiesparenden Kühltechniken unterstützt werden.

Der Einsatz von PCM lässt sich je nach Gegebenheiten durch erhöhten Komfort (Privathäuser mit Wellness-Ansprüchen) oder durch eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Bürogebäude) begründen.

Beide Strategien sollen vom Programm durch eine entsprechende Nutzerführung, vordefinierten Nutzungsprofilen sowie mit angepassten Ergebnispräsentationen unterstützt werden.

## Rechenkern und Algorithmen

Die Valentin EnergieSoftware verfügt über einen Rechenkern, der auf einem in einer Baumstruktur organisiertem Komponentenmodell basiert.



Der Komponentenansatz bewirkt, dass die Verantwortlichkeiten für die Funktionalität klar abgegrenzt sind. Dies begünstigt getrennte Modellentwicklungen durch kooperierende Projektpartner.

Meteorologische Daten:

Valentin EnergieSoftware stellt ausgewählte Meteodatenätze für ganz Europa zur Verfügung. Diese beinhalten Temperaturen und Einstrahlung in stündlicher Auflösung. Für die Umrechnung auf die Wände und Dachflächen ist ein Strahlungsprozessor integriert.

Kühlung:

Kälte wird über gekühlte Zuluft und über die Kühlflächen eingebracht. Hierzu kann zwischen Kompressionskälte, Erdsonden, Erdkollektoren sowie Rückkühlwerken (trocken/nass) unterschieden werden. Aus den stündlich vorliegenden Werten für Einstrahlung und Temperatur wird die verfügbare Vorlauftemperatur für die Kühlflächen bestimmt. Die Systeme werden mit wenigen Parametern parametrisiert, um die Energiemengen und somit die Erzeugerkosten abschätzen zu können. Im Falle maschineller Lüftung kann ein vorgeschalteter Erdwärmetauscher zur Kühlung der Außenluft gerechnet werden.

Heizung:

Geheizt werden kann mit Heizkörpern, Zuluft und Flächenheizungen. Aus der stündlich vorliegenden Außentemperatur und entsprechende Heizkurven wird die Vorlauftemperatur berechnet. Die Systeme werden mit wenigen Parametern parametrisiert, um die Energiemengen und somit die Erzeugerkosten abschätzen zu können.

Raumverbund:

Bis zu drei Räume können zu einem Verbund zusammengefasst werden. Zwischen diesen Räumen findet ein Wärmeaustausch über die Wände statt.

Für die Komfortbetrachtung reicht es aus, einzelne kritische Räume des Gebäudes zu betrachten und für diese die Temperaturverhältnisse mit und ohne Einsatz von PCM darzustellen.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung müssen alle mit PCM ausgestatteten Räumlichkeiten erfasst werden. Hierzu können mehrere Raumverbände definiert werden. Um die mehrfache Eingabe baugleicher Verbände zu vermeiden, können diese mit Wichtungsfaktoren versehen werden. Hauptergebnis ist neben der Bewertung, ob die Räume ausreichend gekühlt wurden, die für die Wirtschaftlichkeitsrechnung benötigten Jahresenergieverbräuche für Heizen und Kühlen.

Phasenwechselmaterialien:

Für die PCM-Schichten werden temperaturabhängige Kennlinien für die Kapazität verwendet, wie sie für PCM-Stoffe mit dem RAL-Gütezeichen vorliegen. Es wird je eine Kennlinie für Aufheizen und Abkühlen verwendet.

Profile:

Für die Räume können die inneren Lasten und die Luftwechsel vorgegeben werden. Hierzu werden stündliche Nutzerprofile für Büronutzung oder Wohngebäude mitgeliefert.

Knotenmodell:

Zur Berechnung der Raumverbände werden sämtliche Schichten der Wandaufbauten und die Raumluft als kapazitäts- und temperaturbehaftete Knoten in einem Knoten-Kanten-Modell abgebildet. Soweit nötig werden Schichten in mehrere Knoten zerlegt. Die Kanten stehen für die Energieflüsse (Wärmeübergang) zwischen den Knoten. Energiequellen und Senken wie z.B. die Einstrahlung durch die Fenster und auf die Außenwand, Heiz- und Kühlflächen, Luftwechsel, innere Wärmelasten und Außenwände wirken über „externe Kanten“ auf die entsprechenden Knoten ein. Über diese externen Kanten werden zu- und abgeführt Energien erfasst.

Simulationszeitraum, Zeitschrittweiten:

Als Simulationszeitraum wird immer ein ganzes Jahr genommen. Das übergeordnete Komponentenmodell rechnet mit Zeitschritten von sechs Minuten. Das für die Raumverbände vorgesehene Knotenmodell wird mit variablen Zeitschrittweiten kleiner gleich sechs Minuten gerechnet, um ggf. eine hohe Dynamik in den Schichten abbilden zu können.

Wirtschaftlichkeitsberechnung:

Die Algorithmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung basieren auf den Vorgaben der VDI 2067. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist vergleichend. Ziel der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist, die Mehrkosten bei den Investitionen eines PCM-Systems gegenüber dem Referenzsystem durch geringere Betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten zu rechtfertigen.

Die Investitionskosten werden vom Anwender vorgegeben. Betriebskosten lassen sich über einen prozentualen Ansatz aus den Investitionen ermitteln. Die Preissteigerungsraten für Energien, Kosten und Investitionen sowie der Kapitalzins werden vom Anwender vorgegeben.

Die verbrauchsbezogenen Kosten werden über die Jahressimulation ermittelt.

Bei den Investitionen werden die Unterschiede bei der technischen Ausstattung berücksichtigt, d.h. Unterschiede in den Wandaufbauten, den Flächenaktivierungen, den Kühlsystemen, dem Einsatz eines Erdwärmetauschers für die RLT-Anlage und dem Wegfall der Zuluftkühlung.

Mit diesen Vorgaben werden für die Investitionen des PCM-Systems der Kapitalwert, die Eigenkapitalrendite und ggf. die Amortisationszeit berechnet.

## Bedienoberfläche:

Das Programm PCMexpress dient als Marketinginstrument und zeigt die Auswirkungen auf den Komfort oder die Wirtschaftlichkeit bei der Verwendung von PCM auf. Es soll die Entscheidung für den Einsatz von PCM begründen.

Als Marketing-Tool muss das Programm eine benutzerfreundliche intuitive Oberfläche erhalten. Der Schwerpunkt bei der Programmerstellung liegt somit auf einer einfachen Benutzerführung und einer ansprechenden Gestaltung der Software. Deshalb führt das Programm den Anwender für den Planungsvorgang durch die einzelnen Arbeitsschritte in Form eines Assistenten.

Die Willkommensseite gibt einen Überblick über alle Seiten des Assistenten.

Auslegungsprogramm fuEr Phasenwechselsysteme

Willkommen | Start | Simulationsdaten | Haustechnik | Raumparameter | Simulation | Wirtschaftlichkeit | Ergebnisse | Bibliotheken

### Willkommen

1. Start:	Auf der Startseite legen Sie die Projektdaten fest.
2. Simulationsdaten:	Geben Sie das Betrachtungsziel (Komfort oder Wirtschaftlichkeit) der Simulation ein und wählen Sie die Klimadaten aus.
3. Haustechnik:	Die Kälte- und Heiztechnik der zu betrachtenden Räume wird von Ihnen parametrisiert.
4. Raumparameter:	Die zu untersuchenden Räume werden von Ihnen ausgelegt. Hier können Sie die gewünschten Flächen des Raumes mit Phasenwechselmaterialien ausstatten.
5. Simulation:	Die Simulation wird durchgeführt und die ersten Zwischenergebnisse werden angezeigt.
6. Wirtschaftlichkeit:	Falls als Betrachtungsziel die Wirtschaftlichkeit gewählt wurde, kann hier eine Wirtschaftlichkeitsanalyse nach VDI 2067 durchgeführt werden.
7. Ergebnisse	Es werden verschiedene Ergebnisgrafiken sowie zwei Projektberichte angeboten.
8. Bibliotheken:	Die verwendeten Bibliotheken können von Ihnen gepflegt und editiert werden.

<<Zurück   Weiter>>   Beenden   Einstellungen   Info   Hilfe

*Willkommen-Seite*

Die Startseite dient der Projektverwaltung, gefolgt von einer Seite auf der das Betrachtungsziel Komfort oder Wirtschaftlichkeitsberechnung abgefragt wird. Die Nutzerführung und die Ergebnispräsentation hängen von dieser Entscheidung ab.

Es folgen zwei Seiten zur Definition des PCM- und des Referenz-Systems: für die Haustechnik und die Raumparametrierung.

Bei der Haustechnikseite können sämtliche Parameter für die beiden Systeme unterschiedlich belegt werden. Typisch wäre der Ersatz von Kompressionskälte durch Rückkühlwerke, das Weglassen von Kühlregistern in RLT-Anlagen, der Einsatz von Erdwärmetauschern, Sommernachtkühlung.

Auslegungsprogramm für Phasenwechselsysteme

PCM express

Willkommen | Start | Simulationsdaten | Haustechnik | Raumparameter | Simulation | Wirtschaftlichkeit | Ergebnisse | Bibliotheken

### Haustechnik

Parameter	Referenzsystem	PCM-System
Nachtabenkung	<input type="checkbox"/> aktiv	<input type="checkbox"/> aktiv
Solltemperatur	21 °C	21 °C
Heizperiode	von 01.10.2006 bis 30.04.2007	von 01.10.2006 bis 30.04.2007
Flächenheizung	<input type="checkbox"/> vorhanden	<input type="checkbox"/> vorhanden
Versorgungstemperatur	28 °C	28 °C
Massenstrom	160 kg/h	160 kg/h

Parameter	Referenzsystem	PCM-System
Kältetechnik	<input checked="" type="checkbox"/> vorhanden	<input type="checkbox"/> vorhanden
Sommernachtkühlung	<input type="checkbox"/> vorhanden	<input type="checkbox"/> vorhanden

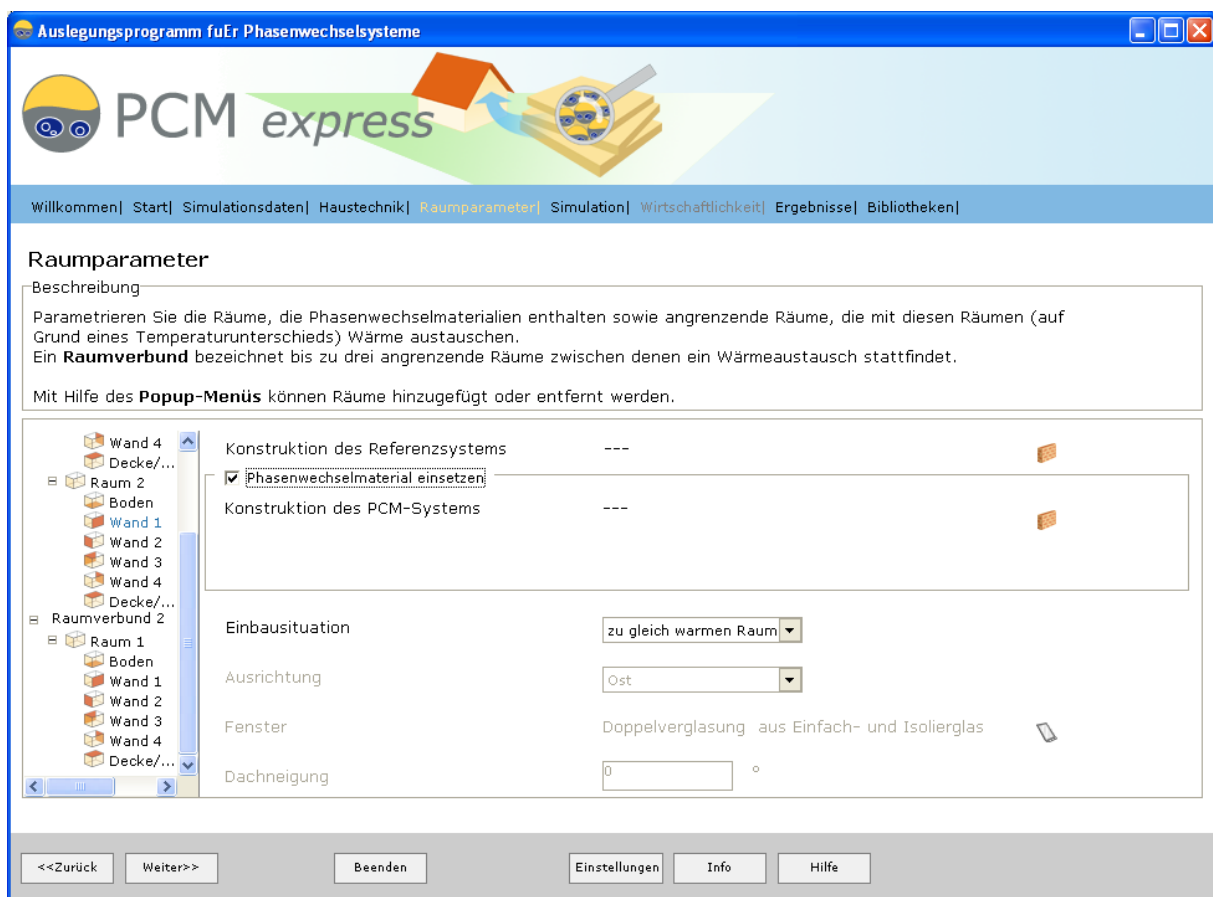
<<Zurück   Weiter>>   Beenden   Einstellungen   Info   Hilfe

### Haustechnik-Seite

Für die Parametrierung der Raumverbände werden diese in einer Baumdarstellung visualisiert. Der Eingabebereich passt sich den selektierten Baumknoten an. Für das PCM-System können die Wände eigenständig definiert werden, d.h. die Wandaufbauten können mit PCM und Flächenheizung oder Kühlflächen versehen werden.

Die nächste Seite dient der Simulation. Nach dem Start werden Zwischenergebnisse eingeblendet, die die Raumtemperaturen bewerten. Ein Abbruch ist jederzeit möglich. Es werden Mechanismen zum Suchen und Ersetzen der PCM-Materialien angeboten, z.B. eine Verstärkung des PCM-Putzes in allen Räumen.

Sofern Wirtschaftlichkeit als Betrachtungsziel ausgewählt wurde, folgt die Seite Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit deren Ergebnissen. Die Eingabe der benötigten Parameter erfolgt in einem separaten Dialog.



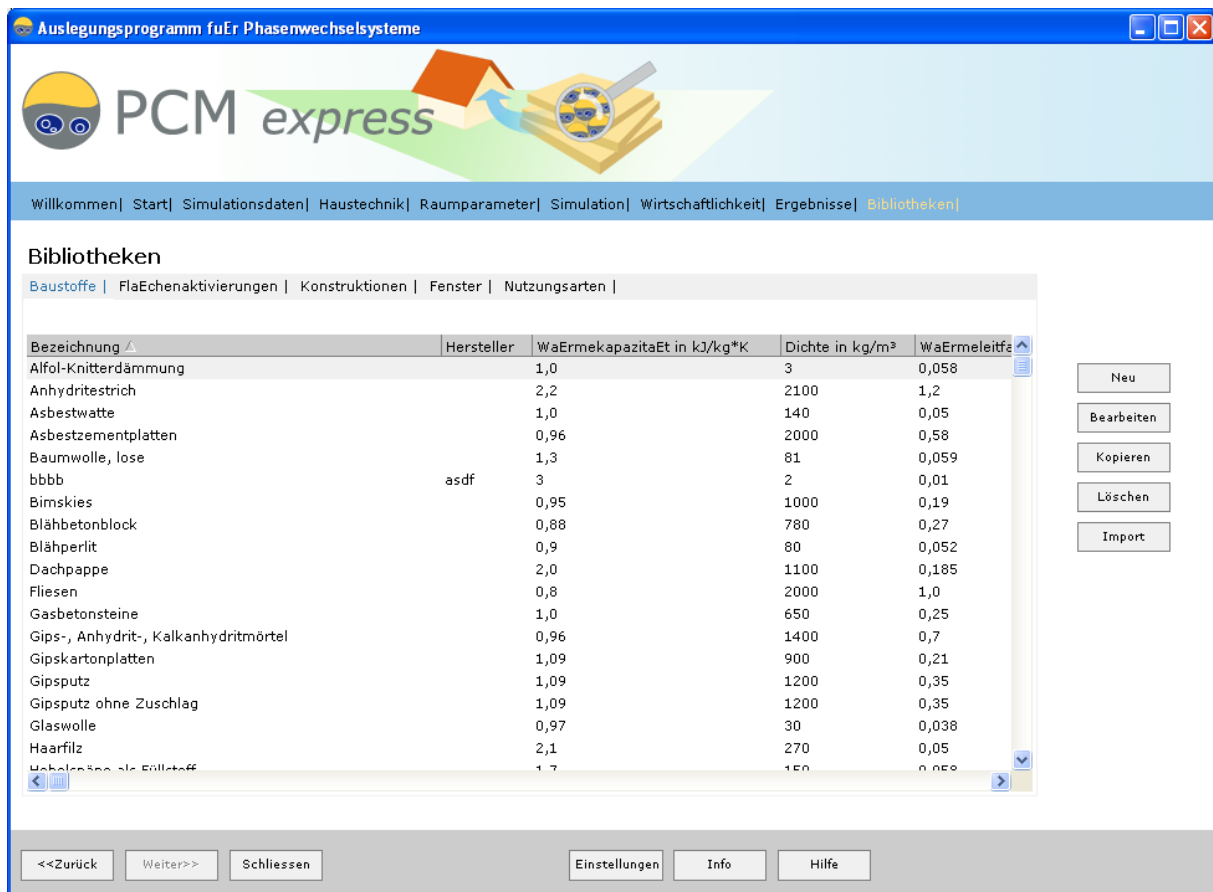
*Seite zur Raumparametrierung*

Auf der Seite der Ergebnispräsentation werden die Projektberichte und aussagekräftige Grafiken – immer als Vergleich der beiden Systeme -angeboten:

- Raumtemperaturen über der Außentemperatur aufgetragen
- Häufigkeitsverteilung der Raumtemperaturen
- Tagesverläufe mit größten PCM-Effekten
- Heiz- und Kühlenergien
- plakative Bewertungen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Es ist ein Bericht zur Kundenpräsentation mit zentralen Eingaben und Ergebnissen vorgesehen sowie ein Bericht zur sachliche Dokumentation aller Vorgaben und Ergebnisse.

Die letzte Seite dient der Pflege der editierbaren Datenbanken zu Konstruktionen und Baustoffen, Fenstern sowie vordefinierter Nutzungsarten und deren Profile.



*Seite zur Bibliothekspflege*

## Verifikation und Validierung

Die Verifikation der Algorithmen wird durch eine testgetriebene Entwicklung sichergestellt, d.h. schon während der Implementierung werden automatisierte Tests programmiert, die jederzeit aufgerufen werden können.

Für die Validierung führt das ISE zusammen mit den Projektpartnern an ausgewählten Projekten Messungen durch und stellt sie den Simulationsergebnissen gegenüber. Ggf. müssen die Algorithmen oder Parametrierungen angepasst werden.

## **Ausblick**

PCMexpress wird noch 2007 in einer firmenneutralen Version als Download kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Die Pflege und Weiterentwicklung erfolgt danach in der Produktpflege der Valentin EnergieSoftware. Firmenversionen für die beteiligten Industriepartner sind angedacht.

Durch die Verwendung des T\*SOL kompatiblen Rechenkerns ist eine Integration in die vorhandenen Programme *T\*SOL Pro* und *T\*SOL Expert* grundsätzlich möglich. In dieser Ausführung würde die für den Anwender sichtbare Parametertiefe entsprechend angepasst. Es ist mittelfristig vorgesehen, T\*SOL mit diesem Raummodell für solare Heizungsunterstützung, vor allem aber für solare Kühlung mit Adsorptionskältemaschinen zu erweitern.