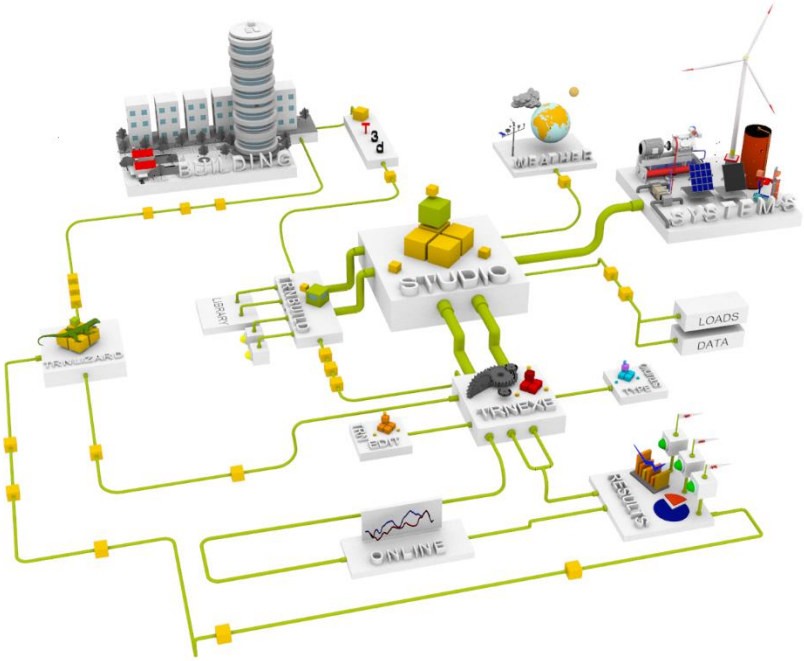
TRNSYS
das dynamische Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm
Kurzbechreibung

(Marion Hiller, Monika Schulz)

09.12.2019



TRANSSOLAR Energietechnik GmbH Curiestraße 2 70563 Stuttgart
tel 0711/ 67976-0 fax 0711/ 67976-11 http://www.trnsys.de

Inhalt

1 Einleitung 3

2 Grundlagen der Simulation mit TRNSYS 5

3 Komponenten in TRNSYS 8

3.1 Physikalische Komponenten 8

3.2 Hilfskomponenten 8

3.3 Eigene Komponenten 10

3.4 Komponenten für gekoppelte Simulationen 10

4 Gebäudesimulation mit TRNSYS 10

4.1 Modellbildung 12

4.2 Definition der Geometrie in TRNSYS3d 12

4.3 Projekterstellung und Detaillierung im TRNSYS Studio und TRNBuild 14

4.4 Detaillierung und Optimierung 17

1 Einleitung

TRNSYS (gesprochen Transys) leitet sich von dem englischen Begriff „Transient System Simulation“ ab [1]. Es ist eine modular aufgebaute sehr flexible Simulationsumgebung, deren Einsatzmöglichkeiten von der dynamischen Berechnung einer einfachen thermischen Solaranlage bis hin zu komplexen Gebäuden und Systemen zur rationellen Energienutzung reichen.

Seit dem ersten offiziellen Software-Release der Universität von Wisconsin - Madison, USA im Jahr 1975 wurde es kontinuierlich weiterentwickelt und wird heute von einem internationalen Entwicklungsteam betreut. TRNSYS ist ein Standardwerkzeug für Experten weltweit zur Energiekonzeptentwicklung und -bewertung.

Die thermische Simulation von Gebäuden und Anlagen ist ein wichtiges Werkzeug bei der integralen Gebäudeplanung, die Architektur, Materialien, Tragwerk und Haustechnik als ein sich gegenseitig beeinflussendes Gesamtsystem betrachtet. Bei der Entwicklung von energieeffizienten Gebäudekonzepten, insbesondere derjenigen, die natürliche Lüftung, Nachtlüftung und die Nutzung natürlicher Ressourcen für die Energieversorgung beinhalten, muss häufig ein Funktionsnachweis sowie der Nachweis der Komfortbedingungen für die Nutzer mit Hilfe dynamischer Simulationsverfahren erbracht werden, da statische Verfahren das in der Regel komplexe Gebäudeverhalten nur unzureichend abbilden. Mit der dynamischen Simulation mit TRNSYS können dagegen das Raumklima sowie der Energiebedarf für ein Gebäude in Abhängigkeit des Standortes, der Hüllflächenqualität, des Lüftungskonzeptes und der Anlagentechnik vorausberechnet werden. Die Berechnung solarer Gewinne sowie die detaillierte Berücksichtigung des langwelligen Strahlungsaustausches und des thermischen Speicherverhaltens der Bauteile erlaubt eine fundierte Bewertung des thermischen Komforts in Gebäuden.

In späten Planungsphasen können mit Hilfe von TRNSYS Regel- und Steuerstrategien entwickelt und optimiert werden, während bei der Inbetriebnahme eine gezielte Fehlerdiagnose und in der Folge eine Optimierung von Regelparametern möglich ist. Auch im laufenden Betrieb können Monitoringkampagnen begleitet sowie Optimierungsansätze geplant und bewertet werden.

In besonderem Maße zeichnet sich TRNSYS aus durch:

- die wahlweise gekoppelte oder getrennte Simulation von Gebäuden und Anlagensystemen (keine Beschränkung auf das Gebäude);
- den modularen Aufbau aus einzelnen Komponenten und die hohe Flexibilität bei deren Verknüpfung, sodass keine Einschränkung auf fest vorgegebene Systeme besteht;
- eine große Standard-Komponentenbibliothek sowie die Möglichkeit, viele verfügbare Zusatzkomponenten einzubinden z.B. für geothermische Energienutzung oder Luftströmung im Gebäude;
- die mögliche Definition eigener Gleichungen in der Simulation;
- ein leistungsstarkes Mehrzonengebäudemodell mit integrierten Modellen für thermoaktive Bauteile wie Betonkernaktivierung, Fußbodenheizung, Kapillarrohrmatten sowie detaillierten Modellen zur Berechnung des kurz- und langwelligen Strahlungsaustauschs;
- den offenen Quellcode fast aller Komponenten und des Rechenkerns;
- die auf DLL (dynamic link libraries) basierende Programmstruktur, die es erlaubt, eigene oder fremdentwickelte Komponentenmodelle einzubinden unabhängig von der jeweils benutzten Programmiersprache (C, C++, PASCAL, FORTRAN, etc.);
- die mögliche Kopplung mit anderen Programmen, wie z.B. EXCEL, Matlab, Radiance, etc.;
- die Möglichkeit der automatisierten Variantenbildung und Optimierungen durch andere Programme, wie z.B. GenOpt, Modelica, etc.;
- die freie Auswahl der Ausgabegrößen und des Zeitintervalls der Ergebnisausgabe;
- die internationale Anwendung.

Typische Ausgabedaten einer Simulation sind in der Regel Systemtemperaturen, Massen- bzw. Volumenströme sowie thermische oder elektrische Leistungen bzw. Energiemengen. Für den speziellen Fall eines Gebäudes sind die wichtigsten Ergebnisse die Luft- und Oberflächentemperaturen, operative Temperaturen, Sonneneinstrahlung auf Oberflächen, die relative oder absolute Luftfeuchte sowie verschiedene Komfortindizes. Darüber hinaus werden sensible und latente Wärmeleistungen für Heizung und Kühlung sowie für die Be- und Entfeuchtung der Luft berechnet und ausgegeben.

Jede Ausgabegröße kann für jeden Zeitschritt oder als Mittelwert über frei wählbare Zeitintervalle ausgegeben werden. Energiemengen werden als Integral der Leistungen über einen anzugebenden Zeitraum berechnet.

2 Grundlagen der Simulation mit TRNSYS

Ein wichtiges Merkmal von TRNSYS ist die offene, modulare Struktur, die es dem Nutzer erlaubt, einzelne Komponenten zu einem beliebigen System zusammenzufügen.

Für die Projekterstellung steht dem Anwender die grafische Simulationsumgebung TRNSYS Studio zur Verfügung, in dem die Komponenten ausgewählt, parametrisiert und verknüpft werden und aus der heraus die Simulation gestartet wird.
In Bild 1 ist als Beispiel eine thermische Solaranlage in TRNSYS Studio dargestellt.

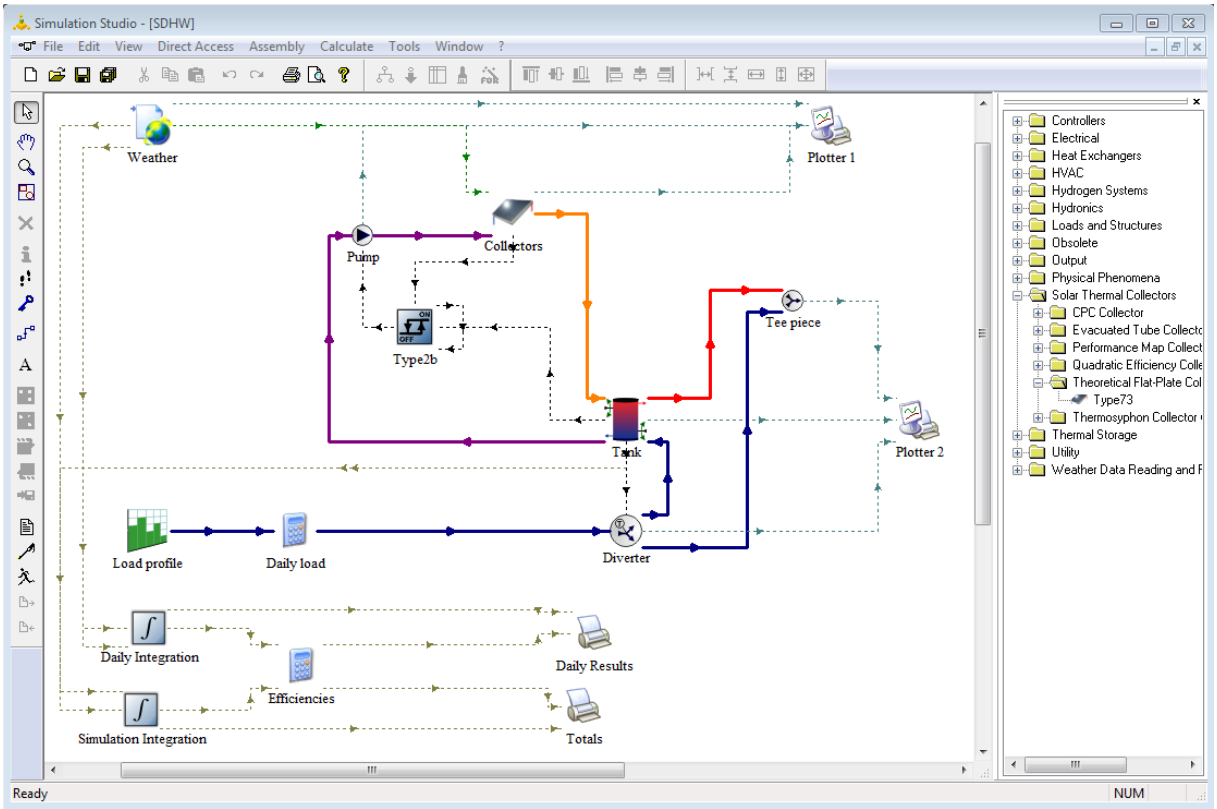


Bild 1. Solaranlage TRNSYS Studio

Komponenten sind dabei reale Komponenten des abzubildenden Systems wie z.B. Kollektor oder Speicher etc. aber auch Hilfskomponenten wie z.B. Wetterdatenleser oder Ergebnisausgabe. Die benötigten Systemkomponenten werden aus der Programm- oder Projektbibliothek ausgewählt oder können aus bereits bestehenden Projekten kopiert werden. Neben der in TRNSYS enthaltenen, großen Standard-Bibliothek sind noch eine Vielzahl weiterer Komponenten und Bibliotheken verfügbar. Des Weiteren können eigene Komponenten hinzugefügt sowie gekoppelte Simulationen durchgeführt werden (siehe Abschnitt 2).

Jede Komponente wird im TRNSYS Studio durch ein Symbol dargestellt. Den Symbolen sind Datenblätter des jeweiligen mathematischen Komponentenmodells hinterlegt, deren Variablen in TRNSYS Studio definiert werden. Abhängig von der Definition im mathematischen Modell werden verschiedene Variablentypen unterschieden:

- PARAMETERS - sind Modellvariablen zur genauen Spezifikation der Komponente (z.B. Kollektorfläche). Sie werden zu Beginn der Simulation gesetzt und bleiben über den gesamten Simulationszeitraum konstant.
- INPUTS - Eingangsgrößen sind Modellvariablen, die sich während der Simulation ändern (z.B. Solare Einstrahlung auf eine Fläche). Für jede Eingangsgröße muss ein Startwert definiert werden.
- OUTPUTS - Ausgangsgrößen sind die während der Simulation von einem Komponentenmodell berechneten Größen (z.B.: Austrittstemperatur des Kollektors).
- DERIVATIVES - sind die Startwerte für Variablen der das mathematische Komponentenmodell beschreibenden Differentialgleichungen, die von dem im TRNSYS Hauptprogramm implementierten Solver gelöst werden.

Außer den beschriebenen Variablen können bei der Komponentenkonfiguration noch weitere Schnittstellen definiert werden, wie z.B. die Bezeichnung externer Dateien, deren Inhalt von der TRNSYS Komponente während der Simulation eingelesen wird oder in die Berechnungsergebnisse geschrieben werden. Beispiele für Komponenten, die externe Dateien einlesen sind Wetterdatenleser und das Gebäudemodell, während Druckerkomponenten Ergebnisdaten in externe Dateien schreiben.

Die Verknüpfung der Komponenten untereinander erfolgt durch die Übernahme der OUTPUTS einer Komponente als INPUTS anderer Komponenten. Durch eine in TRNSYS Studio gezeichnete Verbindungslinie zwischen den Komponenten wird der Informationsfluss von einer Komponente zur anderen definiert. Dabei können einer Verbindungslinie mehrere Größen, z.B. Temperatur und Massenstrom, zugeordnet werden.

Neben der Konfiguration der Projektkomponenten werden in TRNSYS Studio auch alle für die Simulation relevanten Parameter, wie Start- und Endzeitpunkt, Zeitschrittweite, numerische Toleranzen und Lösungsmethoden festgelegt.

Aus den Projektdaten generiert TRNSYS Studio die Steuerdatei für die Simulation, die sogenannte DCK Datei, und startet die Simulation. Die dynamische Simulation wird von einem Rechenkern gesteuert, der die Systemdefinition einliest und die resultierenden

Gleichungssysteme löst. Zur Lösung wird oft ein sukzessives Einsetzungsverfahren verwendet. Die in jedem Zeitschritt berechneten Ausgabegrößen der Komponenten sind in der Regel als Mittelwert über den vorangegangenen Zeitschritt zu verstehen. Am Ende jedes Zeitschritts können diese zur Ausgabe von z.B. täglichen, wöchentlichen, monatlichen oder jährlichen Werten integriert werden.

Bezüglich der Ergebnisausgabe ist TRNSYS sehr flexibel. Jede Ausgangsgröße der im Projekt verwendeten Komponenten steht zur Verfügung. Ausgabegrößen sind beispielsweise Temperaturen, Massenströme, Solarstrahlung auf verschiedene Oberflächen, Leistungen oder Schaltzustände. Während der Simulation können die Ausgabegrößen auf dem Bildschirm angezeigt (siehe Bild 2) oder in wählbaren Zeitschritten in eine Textdatei geschrieben werden. Damit ist eine einfache Ergebnisdarstellung mit beliebigen Programmen (z.B. Excel) möglich.

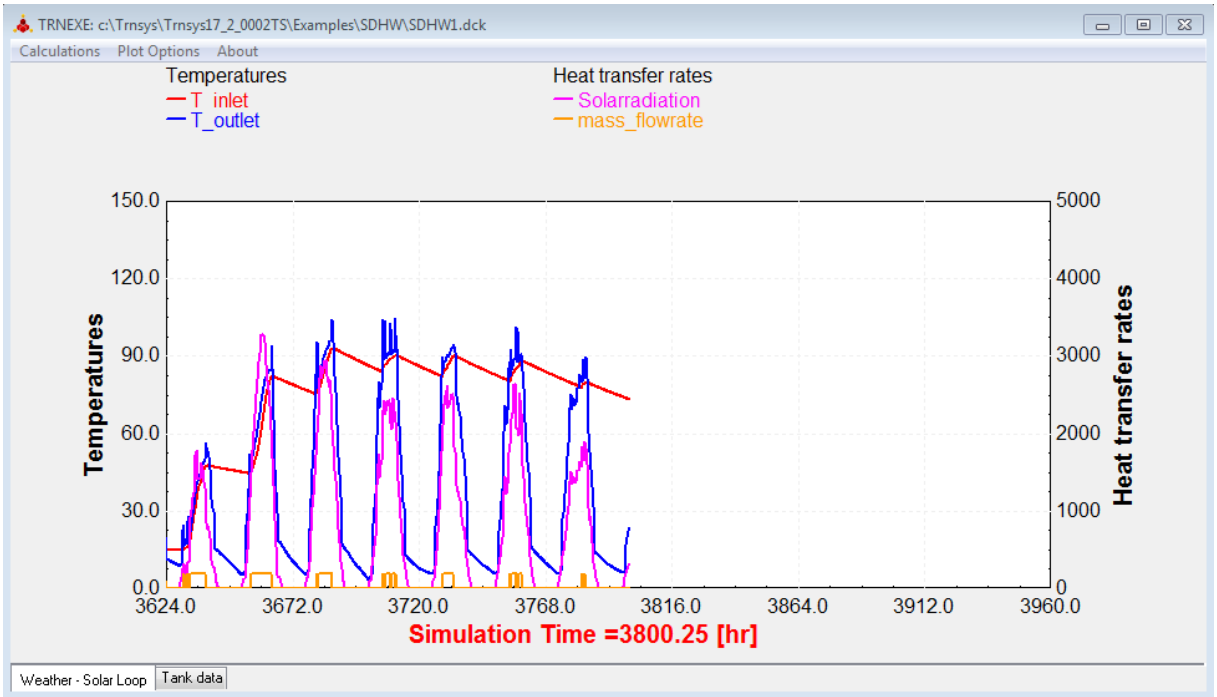


Bild 2. Online Ergebnisdarstellung

Optional kann die Steuerdatei der Simulation auch mit einem Texteditor erzeugt und modifiziert sowie die Simulation manuell gestartet werden. Die Datei hat ein festgelegtes Format, das eine gute Lesbarkeit ermöglicht. Eine automatisierte Variantenbildung und Optimierung durch andere Programme z.B. GenOpt [2], Matlab [3] oder Modelica [4] ist möglich. Bei der Optimierung läuft die Simulation dann im Hintergrund. Für einfache Parametervariationen kann der im Softwarepaket enthaltene Editor TRNEdit [5] verwendet werden.

3 Komponenten in TRNSYS

In TRNSYS steht eine große Anzahl an unterschiedlichen Komponenten zur Verfügung, wobei zwischen physikalischen Komponenten, z.B. einem Gebäude, und Hilfskomponenten wie z.B. einem Datenleser oder Drucker unterschieden wird. Des Weiteren hat der Anwender die Möglichkeit eigene Komponenten zu integrieren sowie TRNSYS mit anderen Simulationsprogrammen zu koppeln.

3.1 Physikalische Komponenten

In der Standardbibliothek von TRNSYS ist ein breites Spektrum von Komponenten enthalten. Damit lassen sich neben Gebäuden auch konventionelle, regenerative und hybride Energiesysteme simulieren. Die Komponenten sind in folgende Gruppen unterteilt:

- Thermische Sonnenkollektoren (z.B. Flachkollektor, Röhrenkollektor. etc.),
- Wärmespeicher (z.B. unterschiedliche Wasserspeicher, etc.),
- Hydraulische Elemente (z.B. Rohrleitungen, Mischer, Pumpe, Wärmetauscher, etc.),
- Wärme- und Kälteerzeuger (z.B. Heizer, Kältemaschine, Wärmepumpe, etc.),
- Gebäude (z.B. Mehrzonen-Gebäudemodell, einfaches Kapazitäten-Modell, etc.),
- Regler (z.B. An-/Aus Hysterese, PID-Regler etc.),
- Elektrische Komponenten (PV-Modul, Batterie, etc.),
- Wasserstoffsysteme (Brennstoffzelle, Elektrolyseur, Gasspeicher etc.).

Ergänzt wird die Standardbibliothek mit Zusatzbibliotheken und einzelnen Zusatzkomponenten. So können mit der Bibliothek „Geothermal Heat Pump“ geothermische Anlagen mit Erdsonden simuliert werden, mit Hilfe der „Ground Coupling“ Bibliothek kann das angrenzende Erdreich in einer Gebäudesimulation mitberechnet werden, Blockheizkraftwerke werden über die „Cogeneration“ Bibliothek und die solare Hochtemperaturanwendung (Parabolrinnenkraftwerk) über die „High Temperature Solar“ Bibliothek abgedeckt. Hierbei handelt es sich nicht um eine vollständige Aufzählung aller verfügbarer Bibliotheken, weitere Informationen zur Verfügbarkeiten von Komponenten finden sich unter [6].

3.2 Hilfskomponenten

Hilfskomponenten sind Komponenten deren Funktion lediglich in der Simulationsumgebung notwendig ist und nicht im realen System. Dazu zählen Ein- und Ausgabekomponenten, Betriebs- und Belegungspläne, Komponenten zur Mittelwertbildung und Interpolation sowie Komponenten für die Berechnung physikalischer Vorgänge (z.B. Stoffeigenschaften, Strahlungsumrechnung, etc.). Außerdem können Gleichungsblöcke definiert werden.

Datenleser können Daten aus Textdateien einlesen und damit anderen Komponenten eines Projektes zur Verfügung stellen. Beim Einlesen können die Daten mit einem Additions- und Multiplikationsfaktor manipuliert und ggf. linear interpoliert werden.

Für meteorologische Daten stehen spezielle Wetterdatenleser zur Verfügung, die die gängigen Standardformate von Wetterdaten wie z.B. TRY, TMY3, Meteonorm etc., aber auch freie Formate einlesen und unterschiedliche Berechnungen durchführen. Wichtige Größen für die thermische Simulation sind die Temperatur, Feuchte und Druck der Umgebungsluft, Windgeschwindigkeit und -richtung, solare Einstrahlung und der Bedeckungsgrad. Während Momentanwerte wie z.B. die Umgebungslufttemperatur linear interpoliert werden, wird bei der Interpolation der Sonnenstrahlung berücksichtigt, dass die Daten einem Mittelwert über das Zeitintervall im Datensatz entsprechen. Die solare Einstrahlung kann von dem Wetterdatenleser auf beliebig orientierte Fläche umgerechnet werden. Hierbei wird zwischen dem direkten und diffusen Anteil unterschieden. Zur Umrechnung stehen unterschiedliche diffuse Himmelsmodelle zur Verfügung. Außerdem werden die aktuelle Sonnenposition, die effektive Himmelstemperatur sowie weitere Zustandsgrößen der Umgebungsluft berechnet und ausgegeben.

Gleichungsblöcke geben dem Nutzer eine hohe Flexibilität zur Berechnung von Größen in einem Projekt. Die Struktur eines Gleichungsblocks ist ähnlich der einer Komponente. Vom Anwender werden Eingabegrößen definiert, die mit der Ausgabe anderer Komponenten belegt werden können. Diese Eingabegrößen können in vom Nutzer frei definierbaren Gleichungen zur Berechnung neuer Größen verwendet werden. Die berechneten Größen werden dann an andere Komponenten oder Gleichungsblöcke als Eingangsgröße übergeben. In den Gleichungen können mathematische Standardoperatoren, trigonometrische und logarithmische Funktionen sowie logische Operatoren verwendet werden.
Die Ausgabe der Simulationsergebnisse kann über Onlinegrafiken während der Simulation (online) oder durch Schreiben einer Textdatei (Drucker) erfolgen. Die Onlineausgabe ermöglicht eine einfache Überprüfung der Ergebnisse, ohne das Simulationsende abwarten zu müssen. Es gibt keine Beschränkung auf spezielle Ausgabegrößen, das heißt, alle Ausgangsgrößen aller Komponenten können angezeigt werden. Somit können neben den üblichen Größen wie Temperaturen, Luftfeuchte, Leistungen oder Energiemengen auch Schalterzustände zur Prüfung der Regelung, Betriebs-, Belegungszustände, etc. ausgegeben werden.

3.3 Eigene Komponenten

Die Möglichkeiten der Gleichungsdefinition sind nicht unbegrenzt, z.B. können keine Schleifen oder Wenn-Dann-Abfragen definiert werden. Sollen komplexere Gleichungssysteme berechnet werden, besteht die Möglichkeit, eigene Komponenten zu programmieren und diese in die Simulation einzubinden.
Gemäß der modularen Philosophie wird das mathematische Modell jeder Komponente durch ein eigenes Unterprogramm beschrieben. Eigene Komponenten können in üblichen Programmiersprachen (C, C++, FORTRAN, etc.) erstellt und als DLL (dynamic link library) in TRNSYS eingebunden werden. Da der Quellcode von fast allen Komponenten zur Verfügung steht, können auch Standardkomponenten durch den Anwender modifiziert werden.

3.4 Komponenten für gekoppelte Simulationen

Durch im Softwarepaket enthaltene Kopplungsmodule kann TRNSYS mit anderen Simulationsumgebungen wie Excel [7], Matlab [3], EES [8] oder Fluent [9] gekoppelt werden. Damit ist es möglich, in einem Simulationsschritt Ergebnisse zwischen den Programmen auszutauschen.

Des Weiteren ermöglicht eine Komponente die Kopplung zu BCVTB (Building Controls Virtual Test Bed) [10]. BCVTB ist eine übergeordnete Softwareumgebung, die es Experten erlaubt, verschiedene Simulationsprogramme für Co-Simulation oder Simulationsprogramme mit realer Anlagentechnik zu koppeln. BCVTB kann neben TRNSYS auch Programme wie Dymola [11], Functional Mock-up Units (FMU) [12], Radiance [13] , etc. verwalten.
Kopplung zu weiteren Programmen kann durch die Programmierung einer entsprechenden Komponente realisiert werden.

4 Gebäudesimulation mit TRNSYS

Wird TRNSYS im Rahmen der Gebäudeplanung eingesetzt, ist die wichtigste Komponente das Mehrzonengebäudemodell TYPE 56. Das Mehrzonengebäudemodell zeichnet sich durch folgende Merkmale aus:

- beliebig viele gekoppelte thermische Zonen,
- beliebig viele Wände / Fenster mit frei definierbarem Aufbau (Zugriff auf Bibliotheken gängiger Verglasungen und Baustoffe),
- thermoaktive Bauteile wie Betonkernaktivierung, Fußbodenheizung und -kühlung, Kapillarrohrmatten und Kühldecken,

- variable interne konvektive und radiative Wärmelasten, wie zum Beispiel Personen, Kunstlicht, Geräte, etc.,
- detailliertes Fenstermodell mit variablen Sonnenschutzeinrichtungen,
- Berücksichtigung von Fremd- und Eigenverschattung,
- Kurz- und langwellige Strahlungsmodelle mit verschiedenem Detaillierungsgrad,
- interzonaler Luftwechsel,
- natürliche und mechanische Lüftung,
- integrierte Luftheizung und -kühlung,
- Feuchteberechnung,
- interne / externe Regelstrategien für Sonnenschutz, Lüftung, Heizung und Kühlung,
- lokale Komfortbewertung nach EN ISO 7730,
- große Anzahl an möglichen Ausgabegrößen, wie zum Beispiel Luft- und Oberflächentemperaturen, Leistungen und Energiemengen, etc..

Im Unterschied zu anderen Komponenten benötigt das Gebäudemodell einen wesentlich umfangreicheren und für jedes Gebäude unterschiedlichen Datensatz, der die gesamte Gebäudebeschreibung einschließlich der zeitabhängigen Betriebsweise enthält. Die Erstellung dieser Gebäudebeschreibung erfolgt daher mit der Eingabeoberfläche TRNBuild. Optional besteht die Möglichkeit, ein 3D-Modell des Gebäudes mit dem Sketchup-Plugin TRNSYS3d zu erzeugen. In Bild 3 ist ein typisches Ablaufschema einer Gebäudesimulation dargestellt. Die gebäudespezifischen Schritte werden im Folgenden beschrieben.

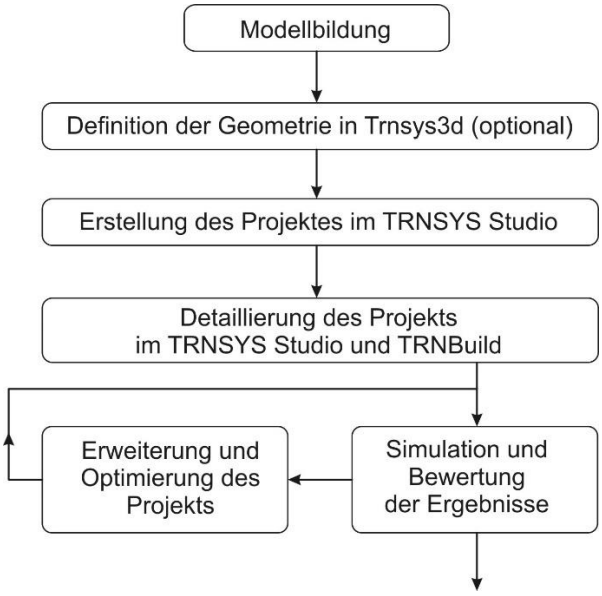


Bild 3. Flussdiagramm Gebäudesimulation

4.1 Modellbildung

Jede Simulation basiert auf einem Modell als Abbild des realen oder geplanten Gebäudes. Im Architekturmodell sind viele Informationen enthalten, die für die Simulation nicht relevant sind und die Komplexität des Modells unnötig erhöhen. In der Regel unterscheidet sich also das Simulationsmodell wesentlich vom 3D Architekturmodell. Es kann oft geometrisch stark vereinfacht werden.

Der erste wichtige Schritt ist, das Architekturmodell in thermische Zonen und Luftknoten zu unterteilen. Die Kriterien für die Zonierung sind die Art der Nutzung, die vorgesehene Konditionierung, unterschiedliche Orientierungen sowie Unterschiede in Bezug auf transparente Fassadenanteile und Konstruktionsmerkmale (z.B. Wandaufbauten). Mit der Anzahl der gekoppelten Zonen steigt der Nutzeraufwand, die Rechenzeit und die Fehleranfälligkeit, aber nicht notwendigerweise die Genauigkeit. Somit ist es in vielen Fällen sinnvoll, mehrere Räume mit gleicher Charakteristik zu einer thermischen Zone zusammenzufassen. Für die detaillierte Bewertung des Komforts hingegen ist es notwendig, einen Raum als separate Zone abzubilden.

4.2 Definition der Geometrie in TRNSYS3d

Für detaillierte Komfortuntersuchungen insbesondere in Räumen mit hohen Verglasungsanteilen und / oder beheizten und gekühlten Oberflächen müssen der lang- und kurzwellige Strahlungsaustausch innerhalb der Zone genau berechnet werden. Für die Verwendung der im TRNSYS TYPE 56 implementierten, detaillierten Modelle für den lang- und kurzwelligen Strahlungsaustausch müssen daher dreidimensionale Geometriedaten für die Zone zur Verfügung stehen. Die geometrische Darstellung des Simulationsmodells erlaubt darüber hinaus die Visualisierung wichtiger Ergebnisse.
Zur Eingabe der dreidimensionalen Geometriedaten sowie zur 3D-Ergebnisdarstellung wird das Plugin TRNSYS3d für SketchUp [14] verwendet. SketchUp ist eine einfach zu bedienende 3D-Modellierungssoftware, die alle Grundfunktionen zum Zeichnen dreidimensionaler Körper beinhaltet. Die Eingabe ist übersichtlich, einfach gestaltet und schnell erlernbar. Unterschiedliche Import- und Exportformate werden von SketchUp unterstützt. Die Funktionalität von SketchUp kann durch Plugins erweitert werden.

Im Plugin TRNSYS3d (siehe Bild 4) können thermische Zonen angelegt werden, in denen die Geometrie der entsprechenden Umschließungsflächen mit Hilfe der SketchUp nativen Funktionen eingezeichnet wird. Auf den Umschließungsflächen können Fenster als Teilflächen gezeichnet werden. Jeder Fläche werden in TRNSYS3d neben den

geometrischen Daten weitere Attribute wie z.B. Bauteiltyp (Decke, Wand, Fenster), Konstruktionstyp, Sonnenschutzeinrichtung für Fenster und die Randbedingung auf der Zone abgewandten Seite zugeordnet. Diese mit voreingestellten Werten belegten Attribute können vom Nutzer über Dialogfenster angepasst werden. Eine Funktion in TRNSYS3d erlaubt es, die Randbedingungen für Grenzflächen zwischen zwei Zonen automatisch zu setzen.
Neben thermischen Gebäudezonen können auch Verschattungsgruppen definiert werden. Die innerhalb einer Verschattungsgruppe gezeichneten Flächen sind nicht Bestandteil des thermischen Gebäudemodells, sondern reduzieren in der späteren Simulation lediglich die auf Verglasungselemente auftreffende Sonnenstrahlung.
Alle notwendigen Daten des erstellten 3D-Modells werden in einer Textdatei, der sogenannten IDF Datei, mit lesbarer Syntax gespeichert, die von TRNSYS3d zu einem späteren Zeitpunkt wieder zur Weiterbearbeitung geöffnet werden kann. Zur Erstellung eines TRNSYS-Projektes wird die Datei in TRNSYS Studio importiert.
Die Erstellung der 3D Geometriedaten ist nur notwendig, wenn in der Simulation mit detaillierten Strahlungsmodellen gerechnet werden soll, oder wenn eine dreidimensionale Visualisierung benötigt wird. Andernfalls kann eine reduzierte Geometriedefinition basierend auf dem Flächeninhalt der Bauteile, dem Zonenvolumen und den Fassadenorientierungen in TRNSYS Studio und TRNBuild erfolgen (siehe Abschnitt 3.3).

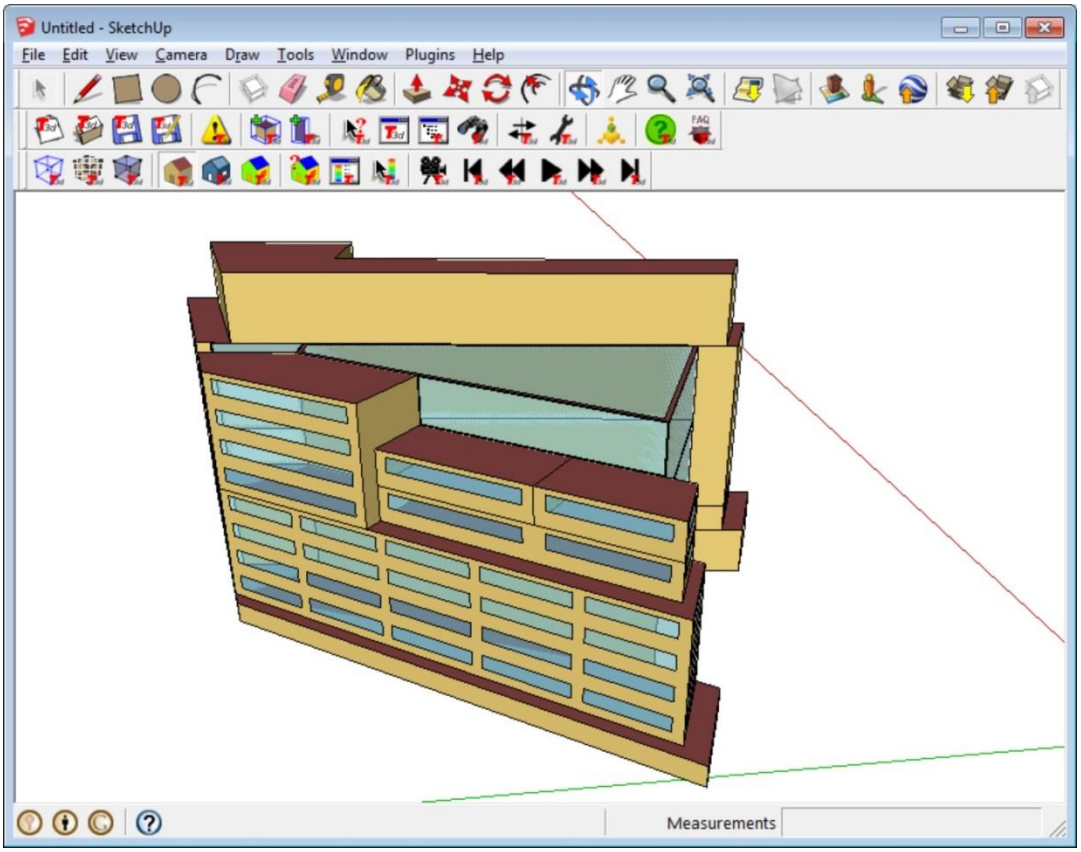


Bild 4. Geometrieeingabe in TRNSYS3d

4.3 Projekterstellung und Detaillierung im TRNSYS Studio und TRNBuild

TRNSYS Studio bietet die Möglichkeit, aus dem geometrischen Modell in TRNSYS3d automatisiert ein TRNSYS Projekt zu erzeugen, in dem außer dem Gebäudemodell die für die Simulation wichtigsten Komponenten bereits angelegt und verknüpft sind (siehe Bild 5).

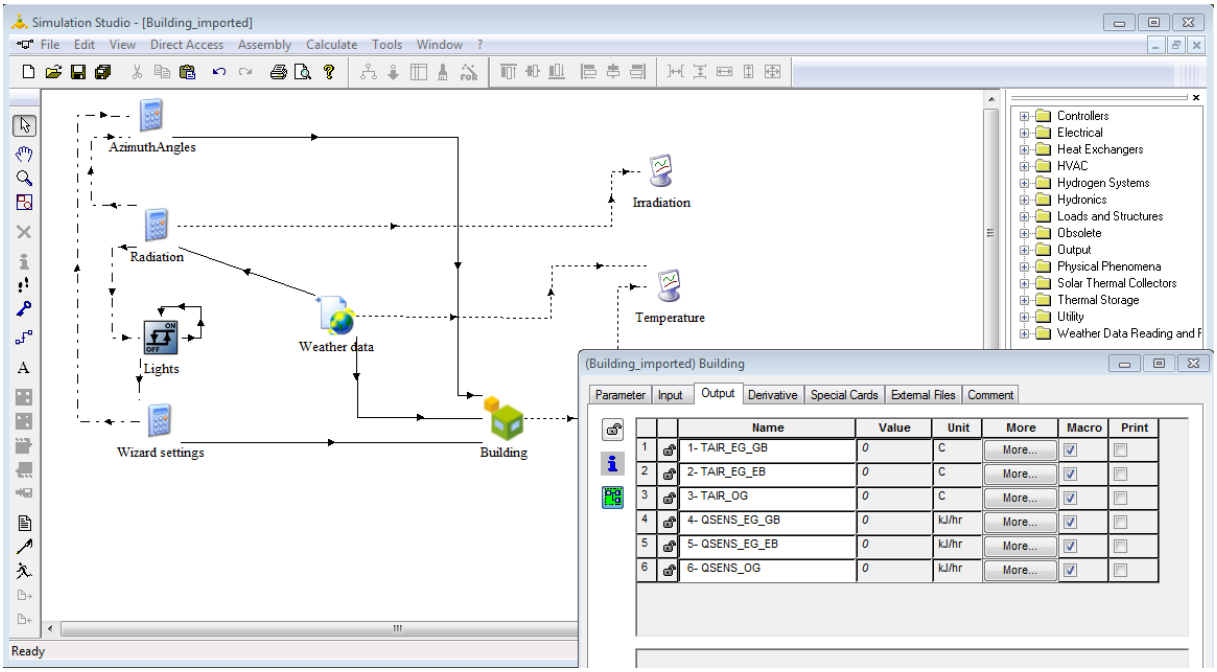


Bild 5. Importiertes Projekt in TRNSYS Studio

Als nächster Schritt erfolgt eine Detaillierung des Projekts. Da die Anzahl der Variablen für eine Gebäudebeschreibung sehr groß ist, erfolgt die Definition nicht direkt im TRNSYS Studio. Für die Eingabe der benötigten Daten wird vielmehr das Interface TRNBuild aufgerufen, das die Gebäudebeschreibung in eine externe Datei mit einer festgelegten Syntax, die sogenannte BUI Datei (Building Input Description - Gebäudebeschreibung) übersetzt, die vom Gebäudemodell TYPE 56 für die Simulation eingelesen wird. In TRNSYS Studio werden die in der BUI Datei definierten INPUTS und OUTPUTS in den Dialogfenstern angezeigt (siehe Bild 5). TRNBuild kann aus dem TRNSYS Studio Projekt direkt aufgerufen werden, dabei wird das vorab in TRNSYS3d vordefinierte Gebäudemodell geöffnet.

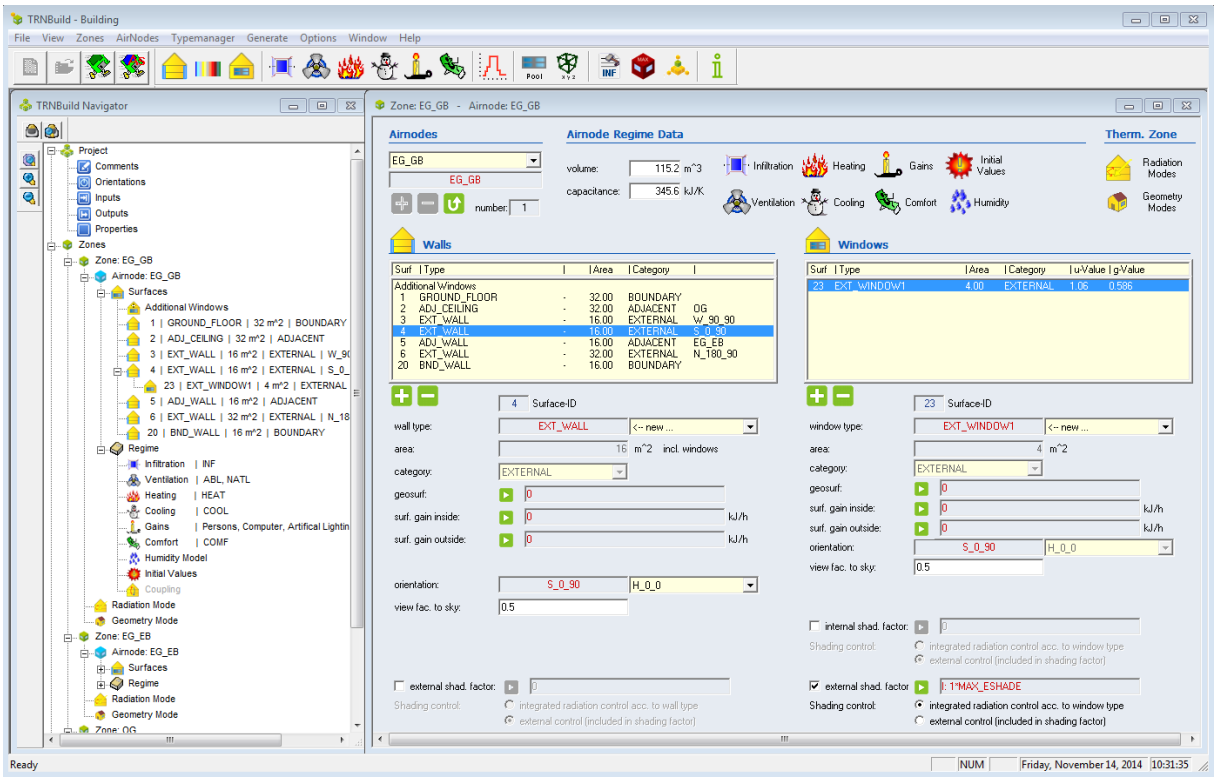


Bild 6. Gebäudedefinition in TRNBuild

Der TRNBuild Navigator stellt das Gebäudemodell in einer übersichtlichen Baumstruktur dar (siehe Bild 6). Die Eingabe der zonenbezogenen Daten erfolgt in Dialogfenstern, in denen auch Bauteilkonstruktionen angepasst sowie die sogenannten Regimedaten wie Infiltration, Ventilation, Heizung, Kühlung, interne Lasten, Komfort etc. definiert werden. Der Benutzer kann dabei auf Standardwerte und vordefinierte Bibliotheken zurückgreifen. Auch das Anlegen und die Nutzung eigener Bibliotheken sind möglich.

Die meisten Größen können nicht nur als Konstante oder als einfaches Zeitprofil in TRNBuild definiert werden, sondern als variabler Eingabewert, der eine Verknüpfung mit anderen Komponentenmodellen erlaubt. So kann beispielsweise die Zulufttemperatur für einen Raum von einer Komponente, die ein Lüftungsgerät abbildet, an das Gebäudemodell übergeben werden. Die variablen Eingabewerte sind Eingangsgrößen (INPUTS) des Gebäudemodells. Neben den nutzerdefinierten Eingangsgrößen benötigt das Gebäudemodell noch meteorologische Daten (siehe Tabelle 1). Diese werden in der Regel von einem Wetterdatenleser an das Gebäudemodell übergeben.

Für jede Zone kann der für das Projekt benötigte Detaillierungsgrad der kurz- und langewelligen Strahlungsberechnung festgelegt werden (siehe Abschnitt 4.1.1 und 4.1.2). Die detaillierten Strahlungsmodelle benötigen vorabberechnete Daten wie z.B.

Sonnenlichtfaktoren oder Sichtfaktoren. Diese auf rein geometrischen Größen basierenden Daten können von TRNBuild generiert, in Dateien abgelegt und bei Simulationsstart vom Gebäudemodell eingelesen werden. Die Loslösung dieser Berechnungen von der Simulation hat Vorteile hinsichtlich der Rechenzeit und Flexibilität, da die Geometrie im Optimierungsprozess mit vielen Simulationsläufen oft unverändert bleibt. Zudem hat der Nutzer die Möglichkeit andere Programme / Algorithmen zur Erzeugung der Faktoren zu verwenden.

Tabelle 1. Zeitabhängige Eingabegrößen TYPE 56

Name	Beschreibung
Tamb	Temperatur der Umgebungsluft
Rhamb	Relative Feuchte der Umgebungsluft
Tsky	Effektive Himmelstemperatur
TSGRD	Effektive Oberflächentemperatur des Bodens für die Berechnung des Wärmestrahlungsaustauschs mit äußeren Oberflächen. Diese Temperatur repräsentiert alle Oberflächentemperaturen außer der Himmelstemperatur, die von der Außenseite der externen Oberfläche zu sehen sind.
AZEN	Zenitwinkel für Berechnung der Sonnenposition
AAZM	Azimutwinkel für Berechnung der Sonnenposition
I	Gesamte Sonnenstrahlung für Orientierung x (optional , i.d.R. interne Berechnung)
IDIR	Direkte Sonnenstrahlung für eine Orientierung x (optional , i.d.R. interne Berechnung)
IA	Einfallswinkel der Sonnenstrahlung für eine Orientierung x (optional , i.d.R. interne Berechnung)
GRDREF	Bodenreflektion der Sonnenstrahlung
INPUT n	Beliebige Anzahl nutzerdefinierter Eingabegrößen, die im Gebäudemodell verwendet werden können

Das Gebäudemodell besitzt eine sehr große Anzahl optionaler Ausgabegrößen, unter denen der Nutzer bei der Erstellung der Gebäudebeschreibung seine Auswahl trifft. Zur besseren Übersichtlichkeit sind sie nach folgenden Bezugselementen gruppiert.

- Luftknoten (Lufttemperatur, unterschiedliche Wärmeströme, etc.),
- Gruppe von Luftknoten (unterschiedliche Wärmeströme aufsummiert),
- Oberflächen (Temperatur, unterschiedliche Wärmeströme, etc.),
- Komfortausgaben (operative Temperatur, PMV, PPD, etc.),
- Bilanzen (Zonenbilanz, Bauteilbilanz, solare Bilanz, etc.),
- Spezielle Ausgaben des integrierten Luftströmungsmoduls TRNFlow (Druckdifferenz, Massenstrom, etc.).

Die Ausgabegrößen werden entweder als Eingabegrößen für andere Komponenten wie z.B. Regler- oder Anlagenkomponenten weitergegeben oder als Simulationsergebnis in externe Dateien geschrieben. In Bild 7 sind Ergebnisse der Gebäudesimulation wie z.B. zeitliche Temperaturverläufe, Häufigkeiten der operativen Temperaturen, Energiebedarf etc. dargestellt.

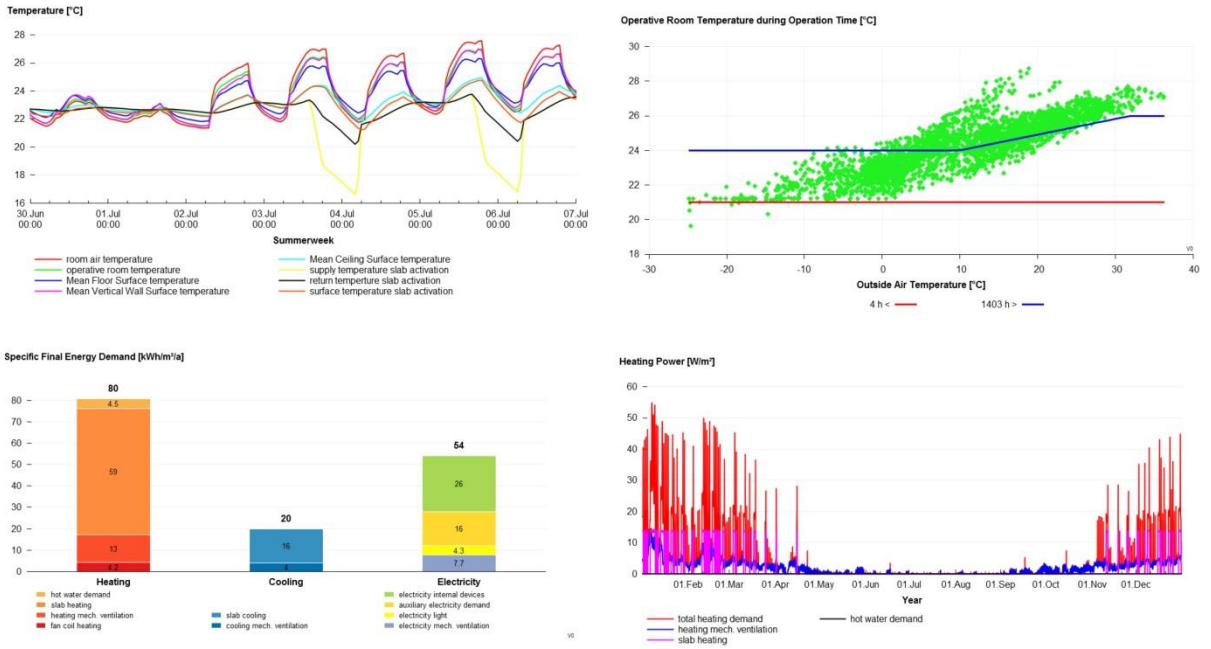


Bild 7. Visualisierung der Ergebnisse der Gebäudesimulation

Die Simulationsergebnisse des Gebäudes können in TRNSYS 3d mit den Geometriedaten verknüpft und mit einer 3D Falschfarbendarstellung visualisiert werden. Für zeitabhängige Größen, wie z.B. Wandtemperaturen, besteht die Möglichkeit einer 3D Animation.

4.4 Detaillierung und Optimierung

Die Detaillierung und Optimierung des Projektes kann auf mehreren Ebenen erfolgen. Alle Komponenten, Gleichungsblöcke und Verbindungen können im Studio angepasst und neu hinzugefügt werden. In TRNBuild können alle nicht geometrischen Daten des Gebäudemodells überarbeitet werden. Für eine Änderung der Geometrie kann das Gebäudemodell aus TRNBuild für TRNSYS3d exportiert werden, in TRNSYS3d kann die Geometrie modifiziert und wieder in TRNBuild importiert werden. Die zuvor in TRNBuild definierten nicht-geometrischen Daten bleiben dabei erhalten. Die Dialogfenster für die Eingabe- und Ausgabegrößen des Gebäudes (TYPE 56) werden im Studio aktualisiert, wobei bereits bestehende Verknüpfungen erhalten bleiben. Anschließend wird die Simulation erneut gestartet.

Optional kann die externe Datei der Gebäudebeschreibung, wie die Steuerdatei der Simulation, auch mit einem Texteditor modifiziert werden. Dies ermöglicht eine automatisierte Variantenbildung und Optimierung durch andere Programme.

5 Gebäudesimulation mit TRNLizard

Softwaretools wie Rhinoceros in Kombination mit dem Plugin Grasshopper verfügen über zahlreiche Schnittstellen und Möglichkeiten um parametrisierte 3D-Modelle zu erzeugen und Informationen zu verarbeiten. Eine Vielzahl an Plugins bieten die schnelle Konvertierung der Daten in andere Datenformate an und erlauben dadurch einen unkomplizierten Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Expertentools. Zur Nutzung dieser 3D Möglichkeiten und Schnittstellen für die Gebäudesimulation mit TRNSYS wurde das open source Plugin TRNLizard für Grasshopper in der Programmiersprache Python entwickelt.

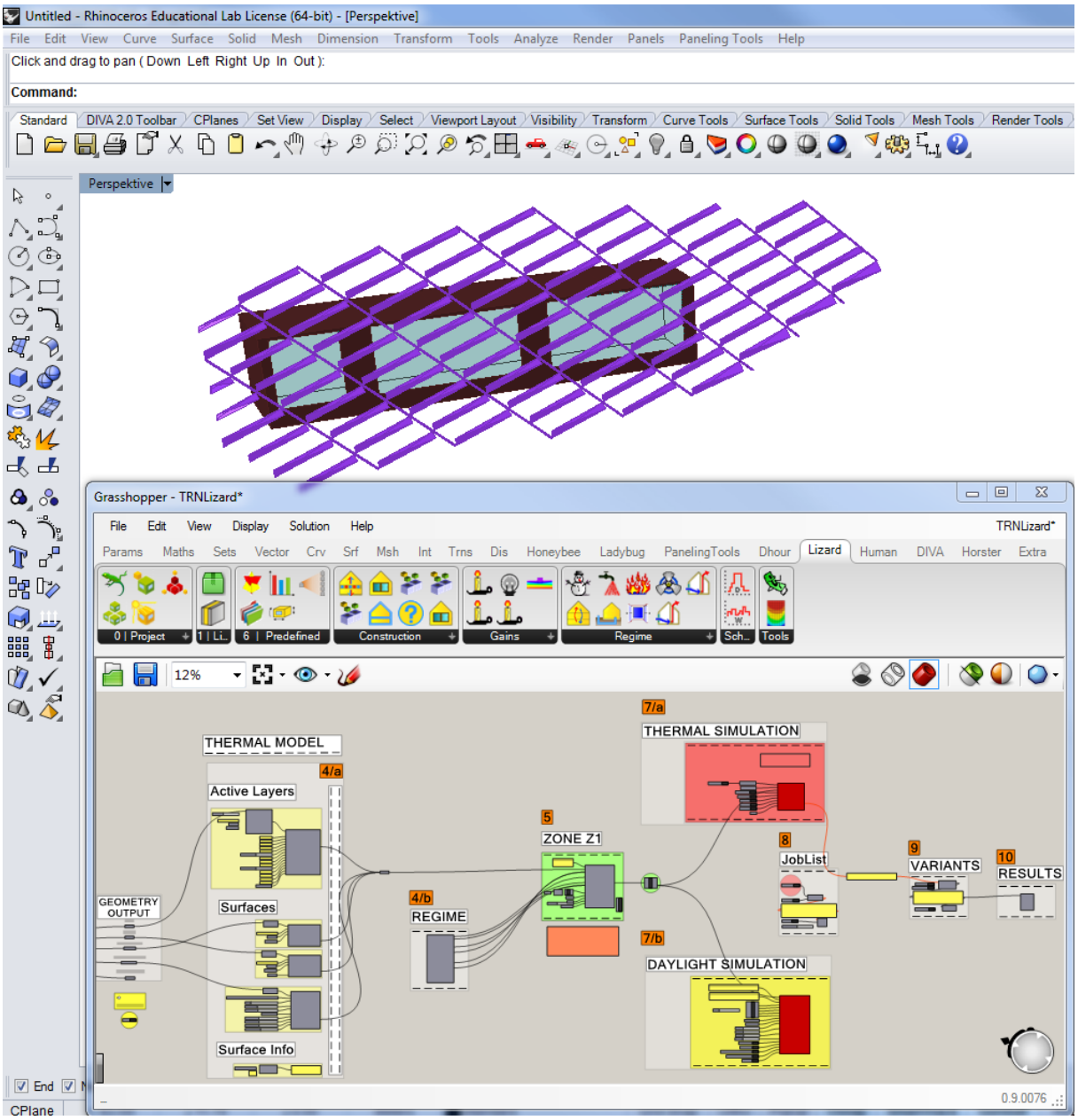


Bild 7. Eingabeoberfläche TRNLizard

Die Entwicklung besteht aus mehreren Komponenten, die neben der Geometrie weitere nutzerspezifische Eingaben ermöglichen. Dies beinhaltet zum Beispiel die Angabe von Nutzungszeitplänen für Personen, Computer, Kunstlicht, natürliche Lüftung, mechanische Lüftung, etc. Ebenfalls steht dem Nutzer eine umfangreiche vordefinierte Anzahl an Bauteilen für Fenster, Wände, Decken und Böden zur Verfügung, um zum Beispiel Einflüsse einer schweren oder leichten Bauweise in Kombination mit unterschiedlichen Lüftungsmodi zu untersuchen. Die Lüftungsmodi beinhalten die Gebäudeinfiltration, die Fensterlüftung (tags/nachts), die mechanische Lüftung und den hybriden Betrieb als Kombination der mechanischen und natürlichen Lüftung. Das resultierende Modell kann sowohl in einer Tageslichtsimulation wie auch in einer thermischen Simulation verwendet werden. Eine Übergabe der Ergebnisse der Tageslichtsimulation an die thermische Simulation ist integriert, um resultierende interne Lasten durch Kunstlicht in der thermischen Simulation entsprechend zu berücksichtigen.

Die Ergebnisse der Simulationen werden entweder direkt in der 3D Ansicht von Rhinoceros dargestellt oder können über Ergebnisdateien ausgewertet werden. Durch die Grundfunktionen der gewählten Softwareumgebung sind eine Vielzahl an parametrischen Variationen und automatisierter Optimierungen möglich, deren Ergebnisse automatisch in einer vorgegebenen Verzeichnisstruktur abgelegt werden. Dadurch kann zum Beispiel die Form eines festen externen Sonnenschutzes in Kombination mit der Modellgeometrie, der entsprechenden Himmelsrichtung und den weiteren Nutzereinflüssen im Hinblick auf Nutzerkomfort und Energiebedarf optimiert werden.

6 Weiterführende Information (Demoversion)

Auf unserer Webpage (www.trnsys.de) finden sie weiteres Informationsmaterial sowie eine Demoversion von TRNSYS.

Mit der Demoversion können sie eine Vielzahl verschiedenen Bespiele (Gebäude, Solaranlage, …) simulieren. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, eigene kleine Projekte zu erstellen und zu simulieren.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

TRANSSOLAR Energietechnik GmbH
Curiestraße 2
70563 Stuttgart
tel 0711/ 67976-0
fax 0711/ 67976-11

hotline@transsolar.com
http://www.trnsys.de