

## TRNFLOW: Integration von COMIS im TRNSYS TYPE 56

Andreas Weber <sup>1</sup>, Markus Koschenz <sup>1</sup>,  
Stefan Holst <sup>2</sup>, Marion Hiller <sup>2</sup>

<sup>1</sup> EMPA, Abteilung Energiesysteme/Haustechnik, CH-8600 Dübendorf

<sup>2</sup> TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, D-70569

### Zusammenfassung

Beim thermischen Gebäudemodell TRNSYS Type 56 werden die Luftströme zwischen den Zonen und von aussen als Eingabewerte vom Benutzer vorgegeben. In natürlichen Lüftungssystemen sind diese jedoch von den Windrücken und den Innen- und Aussentemperaturen abhängig. Um dieser Situation gerecht zu werden, ist eine Kopplung mit einem Luftströmungsmodell unumgänglich. Bei TRNFLOW wurde zu diesem Zweck das Multizonen Luftströmungsmodell COMIS in den Type 56 integriert. Ein interner, für diese Aufgabe optimierter Solveralgorithmus iteriert in jedem Zeitschritt solange zwischen den beiden Modellen, bis deren Lösungen konsistent sind. Die bestehende Benutzeroberfläche PREBID wurde so erweitert, dass damit auch die Eingabedaten des Luftströmungsmodells erfasst werden können. Damit wird eine anwenderfreundliche Handhabung dieser Modellkopplung garantiert. TRNFLOW ist für die Gebäudesimulation mit TRNSYS ein entscheidender Schritt vorwärts.

### Ausgangslage

Die Forderung nach nachhaltigen Gebäuden hat neuartige Energiesysteme hervorgebracht welche vermehrt natürliche Kräfte für die Lufterneuerung und Wärmeabfuhr nutzen. Beispiele hierfür sind passive Nachtkühlung, Doppelfassaden, Solarkamine, Atrien etc. Bei solchen Systemen ist die gegenseitige Beeinflussung der thermischen und Luftströmungsvorgänge besonders stark ausgeprägt. Für die numerischen Gebäudesimulationsmodelle ist deshalb eine integrale Betrachtungsweise unumgänglich.

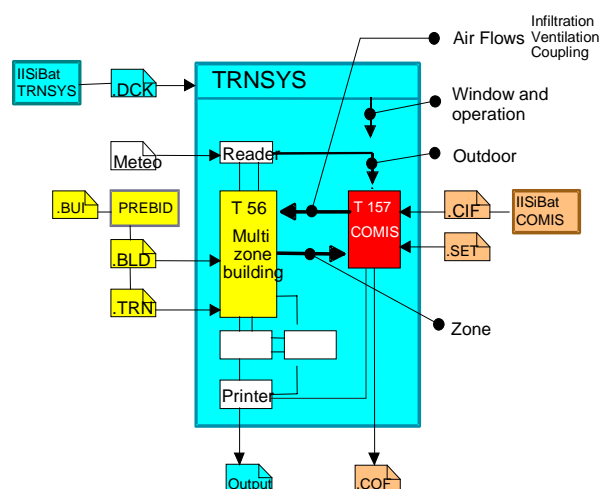


Fig. 1: Bisherige Lösung der Programmkopplung von TRNSYS Type 56 mit COMIS als Type 157

Bereits im Jahre 1993 hat die EMPA im Rahmen des IEA Projektes Annex 23 die Kopplung des Multizonen Luftströmungsmodells COMIS [1] mit dem thermischen Gebäude- und Systemsimulationsprogramm TRNSYS realisiert und am TRNSYS-Usertag 1994 vorgestellt. Das eigenständige Programm COMIS wurde zum TRNSYS Type 157 modifiziert, der im Deck via In- und Outputs mit dem thermischen Gebäudemodell Type 56 verknüpft werden kann. Die Eingabedaten des Luftströmungsmodells liest der Type 157 vom Standard COMIS Input File (CIF) ein. Der TRNSYS Solver bringt iterativ die Lösungen der beiden Modelle zur Übereinstimmung (Fig. 1).

Diese Kopplung ist mittlerweile in mehreren Projekten und Simulationsaufträgen erfolgreich angewendet worden. Dabei hat sich jedoch gezeigt, dass sie nicht sehr benutzerfreundlich und aufwändig in der Handhabung ist. Da die gegenseitige Zuordnung der Daten von Hand gemacht werden muss, ist die Eingabe fehleranfällig. Diese Anfälligkeit wird durch die Redundanzen der beiden Eingabefiles noch erhöht. Ausserdem hat sich der TRNSYS Solver nicht in jedem Fall als ideal für die Lösung eines solchen Systems erwiesen. Mit zusätzlichen, speziell konvergenzfördernden Types muss u.U. der Solver unterstützt werden, was die Anwendbarkeit weiter erschwert. Der Bedarf an integraler Betrachtung der thermischen Gebäudedynamik und dem natürlichen Luftaustausch ist jedoch unumstritten. Deshalb ist mit TRNFLOW nun eine verbesserte Version mit einer weitergehenden Integration der beiden Modelle entwickelt worden.

## Das Multizonen-Luftströmungsmodell COMIS

Multizonen-Luftströmungsmodelle idealisieren das Gebäude als ein Netzwerk aus Knoten und Strömungsdurchlässen (Fig. 2). Ein Knoten repräsentiert dabei ein Raumvolumen, dem ein Satz von Zustandsgrössen der Luft zugeordnet werden kann. Die Durchlässe stellen Ritzen, Fensterfugen, Schächte aber auch Lüftungssystem-Komponenten wie Ein-/Auslässe, Kanäle und Ventilatoren dar.

Randbedingungen und somit ebenfalls Eingabegrössen sind:

- Die Zustandsgrössen der Luft in den Zonen sowie der Aussenluft
- Die lokalen Winddrücke

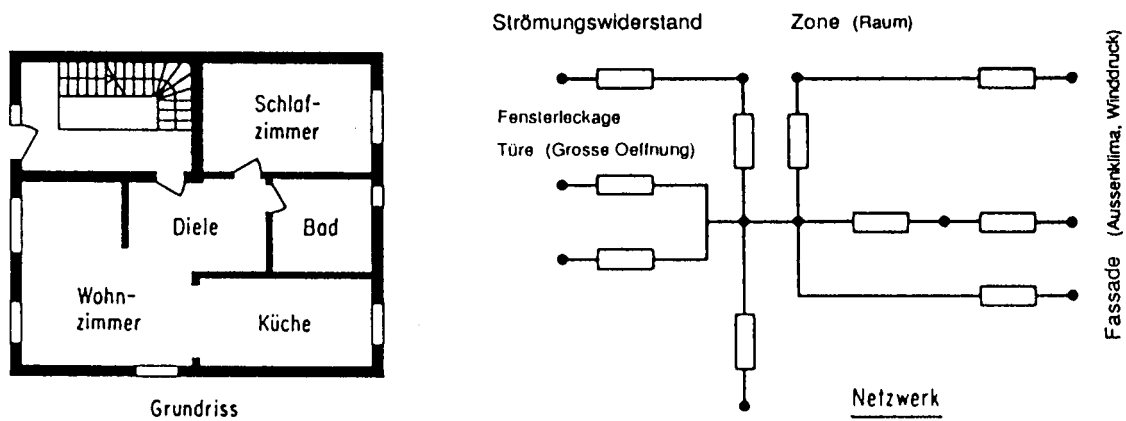


Fig. 2: Modellierung eines Gebäudes mit Zonen und Strömungsdurchlässen

Freier Parameter im Knoten ist der Druck  $p_z$ , der unter der Bedingung der Kontinuität (Massenstrombilanz im Knoten = 0) berechnet wird. Es ergeben sich somit  $n_z$  Gleichungen wobei  $n_z$  die Anzahl Zonen darstellt.

Da die Beziehung zwischen dem Massenstrom  $\dot{m}$  und der Druckdifferenz  $\Delta p$  und somit auch dem Zonendruck  $p_z$  nichtlinear ist, wird zur Lösung des Gleichungssystems ein iteratives Verfahren angewendet. Aus den resultierenden Zonendrücken  $p_{zi}$  werden die Massenströme per Durchlass und daraus alle weiteren Grössen wie Luftwechselraten, Luftalter etc. berechnet. Die Berechnung

ist rein statisch ohne Berücksichtigung des Zeitschrittes. Die Zonendrücke und Volumenströme werden nur aufgrund der momentanen Winddrücke und Temperaturen berechnet.

## Konzept der Kopplung

Die Raumlufttemperaturen sind wichtige Randbedingungen eines Multizonen Luftströmungsmodells die vom Benutzer oft nur aufgrund von Annahmen festgelegt werden können. Auf der anderen Seite hängen die mittels thermischem Modell ermittelten Raumlufttemperaturen stark vom Austausch der Luft zwischen den Zonen sowie der Aussenluft ab. Es ist also naheliegend, die beiden Modelle zu koppeln und die Resultate gegenseitig zu verwenden. Bei TRNFLOW ist das Multizonen Luftströmungsmodell vollständig im Type 56 integriert (Fig. 3). D.h. der Datenaustausch zwischen dem thermischen und dem Luftströmungsmodell erfolgt intern und nicht mehr über In- und Outputs. Die richtige Zuordnung der Luftströme (Infiltration, Ventilation, Coupling) und der Temperaturen zu den Knoten resp. Zonen des jeweils anderen Modells wird durch das Programm selbständig ausgeführt.

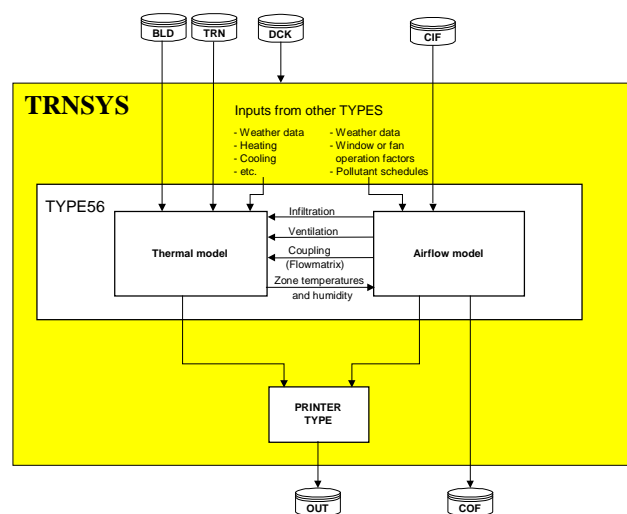


Fig. 3: Neues Konzept der Modellkopplung: Das Luftströmungsmodell ist im Type 56 integriert

Die Eingabefiles der beiden Modelle werden in den bestehenden Formaten (BLD, TRN, CIF) belassen, sie können alle mit ein und derselben Benutzeroberfläche PREBID 5 erstellt werden. Zeitabhängige Daten des Luftströmungsmodells, wie Windgeschwindigkeit oder Fensteröffnungsfaktoren, werden als Inputs oder Schedules definiert. Die Ausgaben, z.B. Luftvolumenströme oder Zonendrücke, werden mittels neuer NTYPES als Outputs deklariert und können via Printertype in ein Ausgabefile geschrieben oder anderweitig verarbeitet werden. Das Standard COMIS Outputfile (COF) kann optional weiterhin ausgegeben werden.

## Interner Solver

Durch die Integration des Luftströmungsmodells in den Type 56 kann nicht mehr der TRNSYS Solver für die Iteration zwischen den beiden Modellen benutzt werden. D.h. die Lösungen müssen mit einem im Type 56 integrierten Solver zur Konvergenz gebracht werden. Die Kopplung der beiden Modelle bildet je nach Randbedingung einen negativ rückgekoppelten Informationsfluss. Z.B. eine zunehmende Raumtemperatur bewirkt bei kalter Aussenluft einen zunehmenden Luftwechsel. Dieser wiederum wirkt einer weiteren Zunahme der Raumtemperatur entgegen, so dass sich eine Gleichgewichtssituation einstellt (Fig. 4). Bei starker negativer Rückkopplung wird ein Solveralgorithmus mit der im TRNSYS Solver 0 verwendeten sukzessiven Einsetzungsmethode instabil. Der neue, in den Type 56 integrierte Solver dämpft deshalb individuell jeden rückgekoppelten Informationsfluss automatisch je nach Verlauf der Iteration, sodass ein Optimum an Stabilität und Konvergenz erreicht wird.

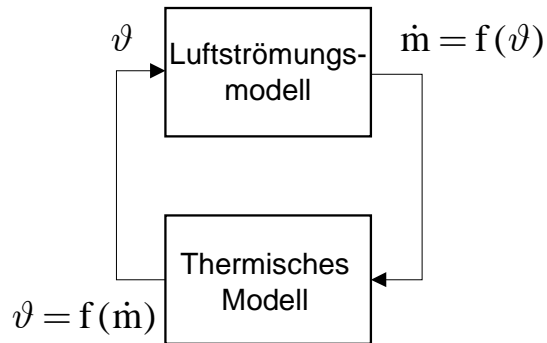


Fig. 4: Rückgekoppelter Informationsfluss zwischen Luftströmungs- und thermischem Modell

## Userinterface

Gegenüber der aktuellen Situation wird für TRNFLOW einzig die Funktionalität von PREBID erweitert. Neben den traditionellen Daten des thermischen Modells werden mittels PREBID neu auch die benötigten Eingabedaten des Luftströmungsmodells erfasst. Auch diese Daten werden in Textform im BUI abgelegt und können von dort auch wieder eingelesen werden. Analog zu den Standard Type 56 Files (TRN, BLD) kann PREBID neu auch ein COMIS input File (CIF) erzeugen, welches von TRNFLOW gelesen wird (Fig. 5). Das so erzeugte CIF entspricht mit wenigen Erweiterungen genau dem im COMIS3.1 User's Guide [2] beschriebenen Format.

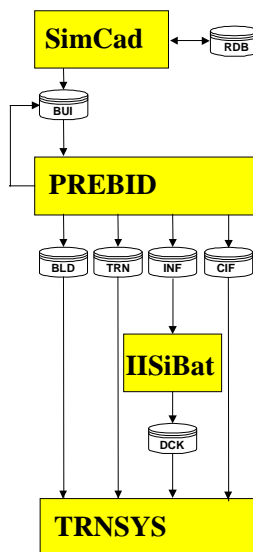


Fig. 5: Konzept für das Userinterface für TRNFLOW

Dank dieser Struktur ist es denkbar, dass in einer zukünftigen Version von SimCad neben den geometrischen Daten des thermischen Modells auch diejenigen des Luftströmungsmodells erfasst und ins BUI geschrieben werden können.

## Kanalnetze

Das Luftströmungsmodell benötigt neben den Raumknoten (Thermal Zones) zusätzliche Hilfsknoten (Auxiliary Nodes) für das Lüftungskanalnetz als Verknüpfungspunkte der einzelnen Kanalstücke. Um das thermische Modell nicht unnötig aufzublasen, werden diese Hilfsknoten darin nicht abgebildet.

Die Hilfsknotentemperaturen werden stationär aus den Temperaturen der zufließenden Luftströme berechnet. Andere Wärmegewinne oder Verluste dieser Knoten werden nicht berücksichtigt.

tigt. Die Volumenströme aus den Hilfsknoten in die Raumzonen werden im thermischen Modell als "VENTILATIONS" interpretiert.

Um einen Luftherhitzer oder -kühler resp. Be- oder Entfeuchter abzubilden, kann bei einem Hilfsknoten sowohl Temperatur wie Feuchte mittels Konstante, Input- oder Schedulevariable vordefiniert werden. Die Leistung, die nötig ist um die Luft auf diese Sollbedingungen zu bringen, kann als Output ausgegeben werden.

Figur 6 zeigt ein Illustrationsbeispiel eines Kanalsystems. Dem Hilfsknoten AN6 wird die Solltemperatur von 20°C vorgegeben. Für die Zone ROOM3 ergibt sich eine VENTILATION von 33kg/s mit 17.9°C. In ROOM1 und ROOM2 ist die VENTILATION null.

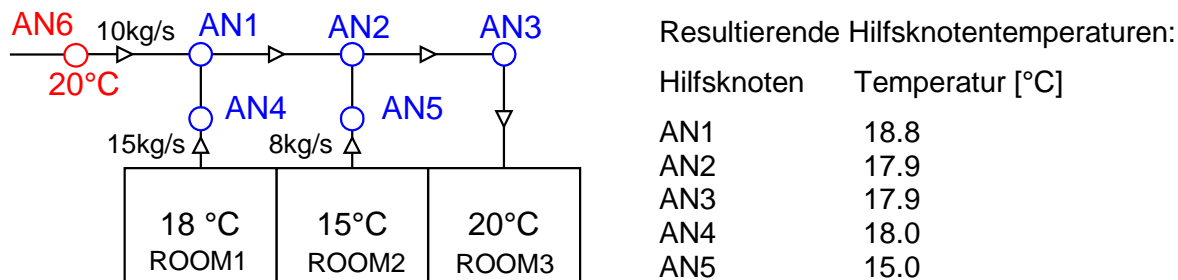


Fig. 6: Beispiel Kanalsystem

### Beispiel: Doppelfassade

Obwohl die Entwicklung von TRNFLOW noch nicht abgeschlossen ist, konnte mit einem Prototypen des erweiterten Type 56 bereits einige Erfahrung gesammelt werden. Die Figuren 7 und 8 zeigen als Anwendungsbeispiel ein mehrgeschossiges Gebäude mit Doppelfassade.

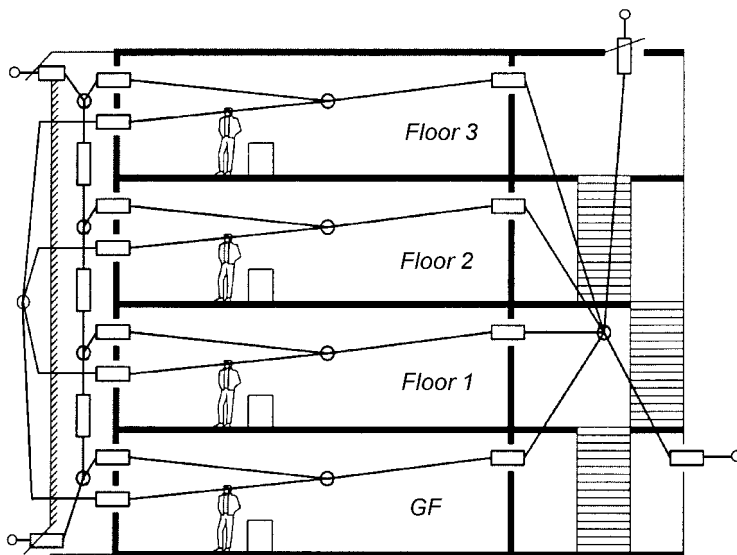


Fig. 7: Luftströmungs-Netzwerkmodell eines mehrgeschossigen Gebäudes mit Doppelfassade

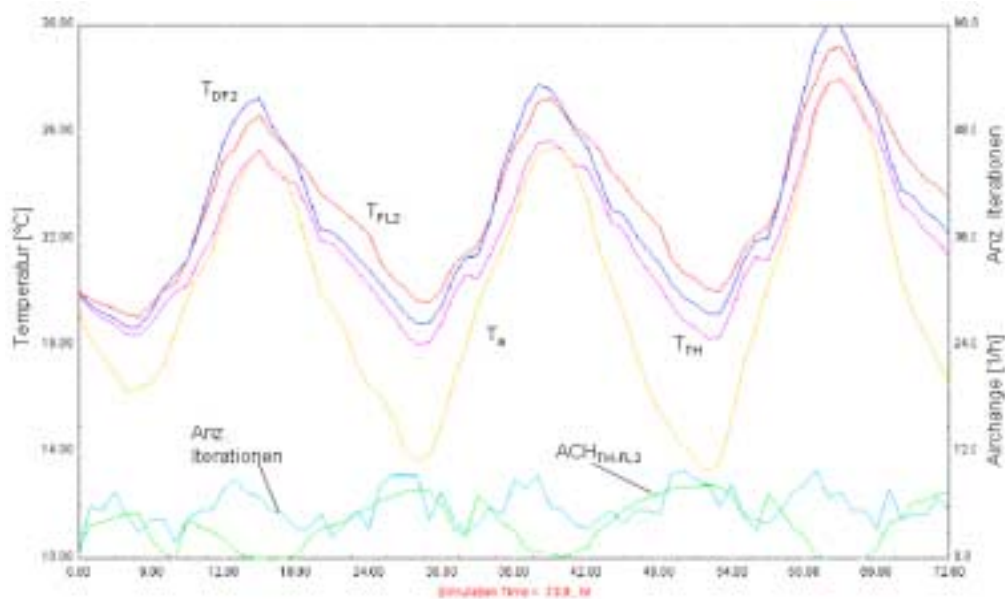


Fig. 8: ONLINE Plot der Temperaturen in den Zonen: Floor 2, Doppelfassade 2, Treppenhaus und der Aussentemperatur, sowie des Raumvolumen bezogenen Luftstromes zwischen dem Floor 2 und dem Treppenhaus und der Anzahl interner Iterationen

In einem weiteren Beispiel mit über 60 thermischen Zonen und 11 Hilfsknoten konnte TRNFLOW seine Tauglichkeit auch für umfangreiche Gebäudemodelle unter Beweis stellen. Dabei ergaben sich keinerlei numerische oder sonstige Schwierigkeiten.

### Schlussfolgerungen

- Mit TRNFLOW steht ein Tool zur Verfügung, mit welchem auf einfache Weise und mit geringem Zeitaufwand natürliche Lüftung, passive Nachtkühlung, Doppelfassaden, Abluftschächte etc. berechnet werden können.
- Es ist keine neue Eingabefilestruktur oder Benutzeroberfläche zu erlernen. Mit PREBID 5 wird lediglich das bekannte benutzerfreundliche Userinterface erweitert.
- Der neu entwickelte interne Solver zeichnet sich durch eine hohe Stabilität aus. Durch die integrierte automatische Konvergenzoptimierung wird der User von numerischen Fragen entbunden.

### Referenzen

- [1] H. Feustel, B. Smith, V. Dorer, A. Haas, A. Weber et al.: *COMIS 3.1 – Program for Modeling of Multizone Airflow and Pollutant Transport in Buildings*, 2001 EMPA Dübendorf
- [2] H. Feustel, B. Smith, V. Dorer, A. Haas, A. Weber et al.: *COMIS 3.1 – User's Guide*, 2001 EMPA Dübendorf