



GEBA V7.0

Programmpaket zur Simulation des thermischen Verhaltens von GEBAEUDEN

© Copyright 1996 – 2007

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Klaus Kreč
Büro für Bauphysik
Schönberg am Kamp
Österreich

zum Programm-Hintergrund

Instationäre Berechnungsmethoden

Zeitabhängige Beschreibungen physikalischer Vorgänge und zugehörige Berechnungen bezeichnet man als *instationär*, zeitunabhängige als *stationär*.

Handelt es sich um wärmetechnische Berechnungen für Gebäude, also um Temperatur- bzw. Heizleistungsberechnungen für einzelne oder mehrere Räume, so erhebt sich die Frage, ob sich instationäre Berechnungen methodisch in der gleichen Weise durchführen lassen wie stationäre, oder ob bei instationären Berechnungen grundsätzlich andersartige Berechnungsmethoden nötig sind.

Es zeigt sich, dass nur in Fällen vernachlässigbaren Wärmespeichervermögens die Rechenmethoden für stationäre Verhältnisse auch bei zeitlich veränderlichen Bedingungen zutreffend sind; man bezeichnet derartige Berechnungen daher auch als *quasi-stationär*. Sobald jedoch die Änderungen der in den Bauteilen oder Einrichtungsgegenständen gespeicherten Wärmemengen im Vergleich zu den in den betrachteten Zeiträumen umgesetzten Wärmemengen nicht vernachlässigbar sind, müssen kompliziertere - die Wärmespeicherung berücksichtigende - Rechenmethoden herangezogen werden.

Diese komplizierten Rechenmethoden rufen nicht nur einen höheren Rechenaufwand hervor - dieser ist mittels EDV durchaus bewältigbar -, sondern verlangen auch wesentlich umfangreichere Dateneingaben als bei stationären Berechnungen, bei welchen z.B. hinsichtlich der Bauteile letztlich nur die thermischen Leitwerte zwischen verschiedenen temperierten Räumen erforderlich sind. Bei instationären Berechnungen müssen hingegen sowohl bei den Bauteilen selbst als auch bei den Einrichtungsgegenständen neben dem Aufbau der Konstruktion (Schichtdicken) auch die Wärmeleitfähigkeit, die Massendichte und die spezifische Wärmekapazität jeder an Wärmeleitung und Wärmespeicherung beteiligten Schicht eingegeben werden. Es ist also gegenüber der Eingabe für stationäre Berechnungen nicht nur ein Vielfaches an Daten je Konstruktion, sondern auch mehr Konstruktionen, wie z.B. Zwischenwände zwischen gleich temperierten Räumen oder Einrichtungsgegenstände, zu berücksichtigen.

Auch die Berücksichtigung der zeitlich veränderlichen Randbedingungen führt oft zu erheblichem Aufwand. So kann es beispielsweise erforderlich sein, über den gesamten zu untersuchenden Zeitraum die zeitlichen Verläufe der Außenlufttemperatur, der Lüftungsraten, der thermischen Leistung von Innenwärmern und - je nach Fragestellung - die Verläufe der Heizleistungen oder die der Temperaturen in den Räumen einzugeben.

Dieser oft beträchtliche Eingabeaufwand bewirkt einerseits, dass instationäre Berechnungen bis heute praktisch nur von Spezialfachleuten für einzelne Räume, bestenfalls für ausgewählte Raumgruppen von Gebäuden und nur in Ausnahmefällen für ganze Gebäude durchgeführt werden. Andererseits besteht aufgrund des heute in verstärktem Maße zu beobachtenden Trends zu innovativen Bauweisen die Notwendigkeit zu rechnerischen Untersuchungen, da für solche Bauweisen naturgemäß noch keine Erfahrungswerte bezüglich ihrer Eignung in der Praxis vorliegen. Rechnerische Simulationen können in solchen Fällen - planungsbegleitend bereits ab frühen Planungsphasen eingesetzt - wertvolle Hinweise in Richtung auf eine Optimierung der thermischen Gebäudequalität geben. GEBA wurde speziell in Hinblick auf die Erfüllung dieser Anforderun-

gen derart konzipiert, dass auch eine Verwendung des Programmpaketes durch den Planer selbst möglich erscheint.

Typische Problemstellungen

Die wichtigste Problemstellung für instationäre thermische Simulationen ist die Frage nach den Verläufen der Raumtemperaturen unter zeitlich veränderlichen Bedingungen. Derartige Berechnungen dienen oft der Auswahl geeigneter Konstruktionen zur Vermeidung übermäßiger Erwärmung von Räumen unter sommerlichen Klimabedingungen und stellen somit ein wichtiges Hilfsmittel bei der Planung von Gebäuden dar. Insbesondere der heute vorherrschende Trend zu hoch verglasten Räumen zwingt zur Überprüfung der Sommertauglichkeit, die mit der erforderlichen Genauigkeit nur mittels instationärer Berechnungsmethoden bewältigbar ist.

Instationäre wärmetechnische Methoden werden mitunter auch herangezogen, um das thermische Verhalten von Gebäuden, die nicht regelmäßig beheizt werden sollen, zu untersuchen. So kann es beispielsweise von Interesse sein, die Aufheizzeit von sporadisch genutzten Veranstaltungsräumen unter gegebenen außerklimatischen Bedingungen bei vorgegebener Heizleistung zu berechnen. Derartige Untersuchungen werden jedoch nur in Sonderfällen erforderlich, etwa um eine günstige Abstimmung hinsichtlich maximaler Heizleistung, Aufheizzeit und Bauweise (Speichermasse) vorzunehmen.

Möglichkeiten der Problemlösung

Instationäre wärmetechnische Berechnungen erfordern neben der Eingabe der Materialdaten sowie der Festlegung der zeitlich veränderlichen Randbedingungen auch die Vorschreibung von Anfangsbedingungen oder adäquate Vorgaben. Derartige Anfangsbedingungen in allen Details zu formulieren, scheitert praktisch an der Vielfalt der einzugebenden Daten und vor allem daran, dass diese Daten weitgehend unbekannt sind; man denke hierbei nur an die Vorgabe aller Bauteilschichttemperaturen, Raumtemperaturen etc. Glücklicherweise kann auf eine wirklich detaillierte Eingabe zutreffender Anfangsbedingungen im allgemeinen verzichtet werden. Hierzu können zwei verschiedene Wege eingeschlagen werden.

Der eine Weg macht sich die Tatsache zunutze, dass der Einfluss der Anfangsbedingungen auf das Berechnungsergebnis mit fortschreitender Zeit mehr und mehr abklingt. Das bedeutet aber, dass die instationäre Berechnung über einen entsprechend langen Zeitraum erstreckt werden muss, derart, dass in dem zu untersuchenden Zeitraum der Einfluss der Anfangsbedingungen bereits abgeklungen ist, die Berechnung also "eingelaufen" ist. Dies bedingt natürlich einen erhöhten Rechenaufwand, eventuell auch einen Mehraufwand bei der Eingabe des zeitlichen Verlaufes der Randbedingungen. Dieser Weg wird von der Mehrzahl der angebotenen instationären Berechnungsprogramme beschritten.

Der zweite Weg zur Vermeidung der Eingabe von Anfangsbedingungen besteht darin, diese durch eine adäquate Bedingung, nämlich die der zeitlichen Periodizität, zu ersetzen. Diese Methode erlaubt somit nur die Untersuchung periodisch eingeschwungener Zustände. Dies bewirkt zwar eine gewisse Einschränkung in den Anwendungsmöglichkeiten, erlaubt aber beträchtliche Einsparungen an Rechenzeit und Eingabeaufwand. Dieser Weg ist im Programmpaket GEBA realisiert.

Instationäre thermische Berechnungen für eingeschwungene Zustände mit einer Periode von 24 Stunden erlauben zwar nicht die Untersuchung des Aufheizverhaltens von Gebäuden nach längerer Heizungsunterbrechung (Ferialzeit), sind aber durchaus geeignet, den im langjährigen Mittel zu erwartenden Heizwärmebedarf vorauszusagen.

Besonders geeignet sind diese Methoden zur Untersuchung des Verlaufes von Raumtemperaturen unter sommerlichen Außenbedingungen, da letztere sinnvollerweise als periodisch angenommen werden können. Der Sinnhaftigkeit des periodisch eingeschwungenen Berechnungsansatzes wurde auch bei der Entwicklung nationaler und internationaler Normen Rechnung getragen. So kann in Österreich die Sommertauglichkeit von Räumen gemäß der seit 1999 in Kraft befindlichen nationalen Norm ÖNorm B8110-3 [1] mittels periodisch eingeschwungener Simulationsrechnungen nachgewiesen werden. Auf dem Gebiet der internationalen Normung ist hierbei auf die EN ISO 13792 [2] zu verweisen, in der ebenfalls der periodisch eingeschwungene Ansatz für Sommertauglichkeitsberechnungen angewandt wird. Mit dem in der Euronorm EN 33786 [3] beschriebenen Berechnungsansatz für die Erfassung von Wärmeleitungs- und Wärmespeicherungseffekten in plattenförmigen Bauteilen wird ein von W. Heindl [4] entwickelter

Algorithmus (Bauteilmatrizen-Verfahren) wieder aufgenommen. Dieser Berechnungsansatz wurde im Jahre 1975 erstmals in einem Simulationsprogramm [5], das als „Urversion“ von GEBA bezeichnet werden kann, umgesetzt. Seit nunmehr knapp 25 Jahren hat sich dieser Berechnungsansatz bei einer Vielzahl an Projekten aus der Planungspraxis bestens bewährt. Natürlich arbeitet GEBA auch heute unter Zugriff auf das Bauteilmatrizen-Verfahren.

Das Programmpaket GEBA

Das Programmpaket GEBA dient der Untersuchung des thermischen Verhaltens von Räumen, Raumgruppen oder ganzen Gebäuden unter Verwendung instationärer Berechnungsmethoden. Es kann dann angewendet werden, wenn

- die Annahme, dass die Zeitverläufe mittels eines periodisch eingeschwungenen Zustandes mit einer Periode von 24 Stunden dargestellt werden können, für die Problemstellung geeignet erscheint.

Erscheint die genannte Annahme von vorn herein für die ins Auge gefasste Problemstellung nicht akzeptabel, so muss auf Instationärprogramme, die im Zeitbereich arbeiten zurückgegriffen und damit auch ein erheblich größerer Aufwand bei Datenerfassung, -eingabe und der eigentlichen Berechnung in Kauf genommen werden. Typische Fragestellungen, die mit der Forderung nach periodisch eingeschwungenen Verhältnissen nicht verträglich sind, sind Fragen nach Vorgängen bei mehrtägigen Aufheiz- oder Abkühlvorgängen, oder Problemstellungen, bei denen die genaue Modellierung von Schaltvorgängen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat, wie z. B. die Untersuchung von Regelungsvorgängen im Heizsystem oder die Frage nach der Auswirkung von Stoßlüftung.

Kurz zusammengefasst ermöglicht das Programmpaket GEBA die Berechnung und Ausgabe folgender Ergebnisse:

- **Tagesverlauf der sich einstellenden Raumlufthtemperaturen.**

Berechnet werden die Raumlufthtemperaturen unter Vorgabe von Tagesverläufen der Heizleistung für das den jeweiligen Raum versorgende Heizungssystem. Da auch Kühlleistungsverläufe vorgegeben werden können und auch ohne Heizung oder Kühlung gerechnet werden kann, ist das Programmpaket insbesondere zur Untersuchung des Sommerverhaltens eines Raumes mit oder ohne Klimatisierung geeignet.

- **Tagesverlauf von erforderlichen Heiz- oder Kühlleistungen.**

Berechnet wird der Heizleistungsgang, den eine Heizung bestimmten Typs erbringen müsste, um die exakte Einhaltung eines vorgegebenen Tagesganges der Raumlufthtemperatur zu gewährleisten.

Innerhalb der Raumgruppe können die beiden genannten Aufgabenstellungen gemischt vorgegeben und gelöst werden. Es ist somit möglich, für einen Raum den Tagesverlauf der Soll-Lufthtemperatur vorzugeben und die zur Einhaltung dieser Temperatur erforderlichen Heiz- und Kühlleistungsverläufe errechnen zu lassen und im Nebenraum die sich bei vorgegebenen - auch verschwindenden - Heiz- oder Kühlleistungen einstellenden Raumlufthtemperaturen errechnen zu lassen, etc..

Neben den genannten Berechnungsergebnissen kann eine Fülle von detaillierter Zusatzinformation abgerufen werden. Immer interessant sind die errechneten Zeitverläufe der empfundenen Temperatur - einer aus Raumlufthtemperatur und Oberflächentemperaturen gebildeten Fiktiv-Temperatur (engl. "dry resultant temperature"). Besonders erwähnt sei auch die Ausgabe der errechneten örtlichen und zeitlichen Temperaturverläufe an den Oberflächen und innerhalb von Bauteilen. Diese Information kann z.B. als Ausgangspunkt zur Berechnung von Wärmedehnungen und Wärmespannungen im Bauteil dienen.

Durch Berechnungen mit Programmpaket GEBA können neben den Auswirkungen der angenommenen außenklimatischen Bedingungen (Temperatur; Strahlung) auch die Auswirkungen von Personenbelegung, Innenwärmern (Beleuchtung, Geräte, etc.) und des Luftwechsels mit der Außenluft auf die berechneten Raumlufthtemperaturen bzw. Heiz- oder Kühlleistungen untersucht werden. Während die die außenklimatischen Bedingungen kennzeichnenden Tagesverläufe aufgrund einiger weniger Angaben vom Programm konstruiert werden, sind die Zeitverläufe bezüglich Personenbelegung, Innenwärmern und Luftwechsel vom Benutzer explizit vorzugeben. Besonders detailliert untersucht werden kann die Auswirkung der

Sonneneinstrahlung auf die sich einstellenden Raumlufttemperaturen, wobei Verschattungseffekte aufgrund einer Horizontüberhöhung andere Arten der Verschattung oder die Abschattung aufgrund der Verwendung von Jalousien in die Rechnung einbezogen werden können.

Bei der Programmentwicklung wurde darauf Bedacht genommen, dem Benutzer sowohl in Bezug auf die Beschränkung des Eingabeaufwandes als auch in Bezug auf die leichte Interpretierbarkeit der Ergebnisse so weit als möglich entgegenzukommen. Hierbei wurde aber streng darauf geachtet, dass die getroffenen Vereinfachungen die physikalisch fundierte Grundlage des Programmpaketes nicht verschleiern oder gar verwässern.

Programmpaket GEBA soll sowohl den forschenden, als auch den planenden Stellen in der Praxis als Hilfsmittel zur schnellen rechnerischen Einschätzung der thermischen Qualität eines Gebäudes - sowohl was das Winter- wie auch was das Sommerverhalten betrifft - dienen. Vor allem aber soll es den mit der Planung von Gebäuden Beschäftigten eine Beurteilungsbasis für das thermische Verhalten verschiedener baulicher Varianten bereits im Planungsstadium bieten, um größere Missgriffe bei der Planung zu vermeiden. Dies gilt besonders in Bezug auf die Auslotung der Möglichkeiten für eine Energieeinsparung bei der Beheizung oder Kühlung von Gebäuden und auf die Schaffung von thermisch behaglichen Raumklimaten, die während der wärmeren Jahreszeit möglichst auf natürliche Weise und ohne Inanspruchnahme Energie fordernder künstlicher Maßnahmen erreicht werden sollten.

Historischer Abriss

GEBA entstand aus einem von W. Heindl* im Jahr 1968 in Zusammenarbeit mit F. Haferland entworfenen und von H. Fuchs programmierten Programmpaket zur thermischen Simulation von Gebäuden. Die theoretischen Grundlagen dieses Programmpaketes sowie das Ergebnis einer mit Hilfe dieses Programms durchgeführten Forschungsprojektes sind in [5] publiziert. Aufgrund des in Bezug auf die Entwicklung der Informationstechnologie sehr frühen Zeitpunktes der Programmentwicklung war das Gebäudesimulationsprogramm vorerst nur auf den (damals einzig verfügbaren) Großrechnern lauffähig. Die Eingabe erfolgte über streng formatierte Lochungen von Lochkarten, erforderte sehr gewissenhaftes Arbeiten und war aufwendig. Aus diesem Grund wurde das Programmpaket lange fast ausschließlich nur im Rahmen sehr großer Planungsprojekte und für Forschungsarbeiten eingesetzt.

Die rasante Entwicklung der Informationstechnologie ermöglichte Anfang der 80-er Jahre des vorigen Jahrhunderts, das Programmpaket auf Personalcomputern lauffähig zu machen. Die Eingabe wurde hierbei vorerst mittels der Erstellung von formatierten Dateien im Editor bewerkstelligt. Ab dieser Zeit wurde das Programmpaket von K. Kreč kontinuierlich gewartet, laufend im Rahmen von Forschung, planungsbegleitend durchgeführten Optimierungen und Sommertauglichkeitsnachweisen verwendet und sukzessive bezüglich seines Leistungsumfanges erweitert. Das Erstellen der Programmoberfläche GEBAControl durch B. Kownatzki und S. Klyk vom Ingenieurbüro A. C. Rahn in Berlin führte schließlich Ende 1995 zu einer einfach zu handhabenden Erstversion des Programmpaketes GEBA.

Die wesentlichen Konzepte und Berechnungsalgorithmen wurden seit Beginn der Programmentwicklung bis heute unverändert beibehalten. Der periodisch eingeschwungene Berechnungsansatz sowie die Beschreibung der Wärmeleitungs- und Wärmespeicherungsmechanismen über das Bauteil-Matrizenverfahren haben sich als Methoden zur planungsbegleitenden rechnerischen Simulation derart bewährt, dass sie mittlerweile auch in nationale und internationale Normen (B8110-3:1999[1], EN ISO 13791 [2], EN ISO 13786 [3]) übernommen wurden.

Weitere Forschungsarbeiten von W. Heindl [6] und K. Kreč [7, 8, 9] haben mittlerweile auf ein sehr klares Konzept – das Konzept der thermischen Leitwerte – geführt, mit dem Wärmetransport- und Wärmespeicherungsvorgänge in Gebäuden mit beliebig vielen Räumen in thermisch dreidimensionaler Modellierung beschrieben werden können. Das Problem der Auswirkung von Wärmebrücken auf Wärmeleitung und Wärmespeicherung, das mit GEBA nicht befriedigend behandelt werden kann, ist damit grundsätzlich gelöst und Thema für eine Weiterentwicklung des Programmpaketes.

Literatur

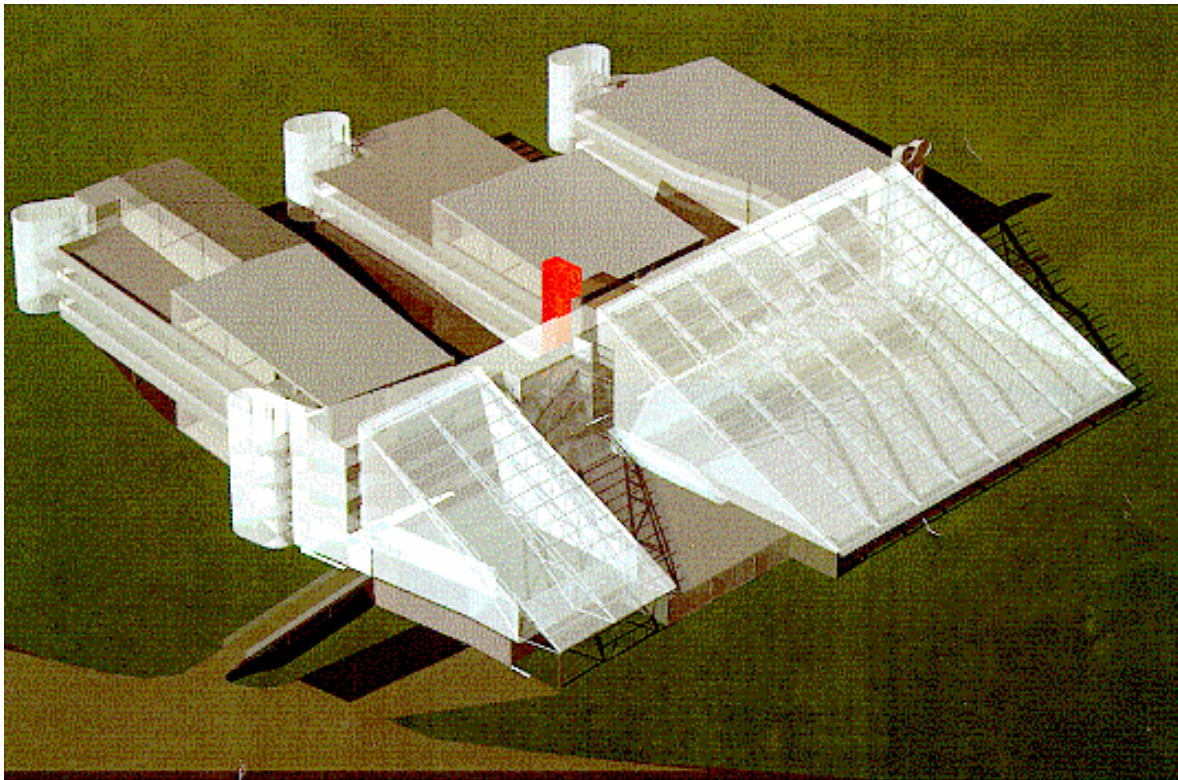
[1] ÖNorm B8110-3, „Wärmeschutz im Hochbau – Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse“, 2003

* Dr. Walter Heindl, Mathematiker, * 10. 11. 1927, † 22. 12. 1994

- [2] EN ISO 13791, „Thermisches Verhalten von Gebäuden – Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik – Allgemeine Kriterien und Berechnungsalgorithmen“, 1995
- [3] EN 13786, „Wärmeschutz von Bauelementen – Thermische Trägheit – Berechnungsverfahren“, 1999
- [4] *Heindl, W.*, „Neue Methoden zur Beurteilung des Wärmeschutzes im Hochbau“, Die Ziegelindustrie, Hefte 4, 5 und 6, 1967
- [5] *Haferland, Fr., Heindl, W. & Fuchs, H.*, „Ein Verfahren zur Ermittlung des wärmetechnischen Verhaltens ganzer Gebäude unter periodisch wechselnder Wärmeeinwirkung“, Berichte aus der Bauforschung, Heft 99, Berlin, 1975
- [6] *Heindl, W., Kreč, K., Panzhauser, E. & Sigmund, A.*: Wärmebrücken, ISBN 3-211-82024-8, Springer-Verlag Wien - New York (1987)
- [7] *Kreč, K.*: Zur Wärmespeicherung in Baukonstruktionen, Gesundheits-Ingenieur **114**, Heft 1, 11-18 (1993)
- [8] *Kreč, K.*: Wärmeleitung in Baukonstruktionen unter Berücksichtigung von Wärmequellen, Gesundheits-Ingenieur **114**, Heft 6, 313-318 (1993)
- [9] *Kreč, K.*: Zur dreidimensionalen Simulation des thermischen Verhaltens von Gebäuden, Gesundheits-Ingenieur **121**, Heft 6, 293-344 (2000)

Berechnungsbeispiel

Sommerverhalten der Dreifachturnhalle in der Schule Waidhausenstraße (Wien)



Modell der Schule Waidhausenstraße Wien 14 (Architekt: Prof. H. Richter)

Die Dreifachturnhalle (rechts vorne im Bild) ist bis zu 7 m in den Erdboden abgesenkt und wird durch ein nach Süden geneigtes, vollkommen verglastes Dach (System Litewall Isolierglas) dominiert. Planungsbegleitend wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Architekten und dem Verglasungshersteller nach einer Lösung gesucht, die garantiert, dass die Turnhalle im Hochsommer auch bei starker Sonneneinstrahlung ohne großen Energieaufwand angenehm temperiert bleibt.

Mittels zahlreicher Berechnungen unter Verwendung von GEBA wurde ein Paket von Maßnahmen zur Erreichung des genannten Ziels ausgearbeitet. Eine hochwirksame Sonnenschutzverglasung wird mit innen liegenden, hellen Sonnenschutzscreens kombiniert. Die zusätzliche Ausarbeitung einer wirksamen Lüftungsstrategie führt letztendlich zum (Berechnungs-) Ergebnis, dass nur während extrem heißer Witterungsperioden die Zuführung vorgekühlter Luft notwendig ist.

Das mit Hilfe von GEBA entwickelte Maßnahmenpaket wurde beim Bau der Schule umgesetzt. Nach nunmehr mehreren Jahren Betriebserfahrung wird berichtet, dass die angestrebten angenehmen innenklimatischen Bedingungen vorherrschen und auch bei hochsommerlichem Wetter erhalten bleiben. Die Zuführung vorgekühlter Luft zwecks Senkung der Innenlufttemperatur im Turnsaal war bislang noch nicht nötig.

GEBA-Ergebnis

In folgendem Diagramm sind als Beispiel für eine Ergebnispräsentation die errechneten Temperaturverläufe für den unteren (Aufenthalts-) und den oberen (Luft-)Bereich der Halle der Endvariante (d. h. bei Wirksamwerden des gesamten, oben skizzierten Maßnahmenpaketes) dargestellt.

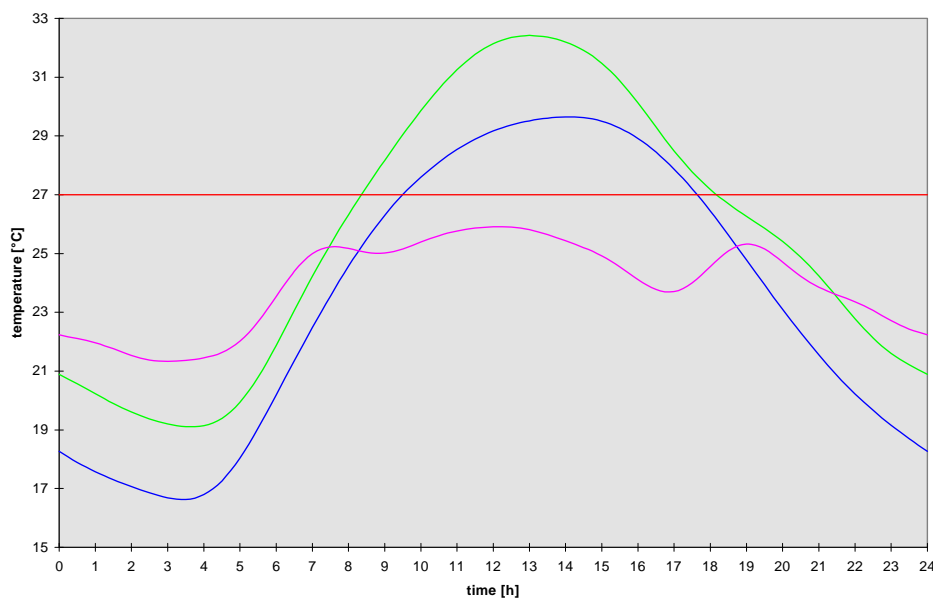
Es zeigt sich, dass die im Rahmen von Sommertauglichkeitsuntersuchungen von der Norm ÖNorm B8110-3 [1] gesetzte Vorgabe, dass unter den angenommenen hochsommerlichen außenklimatischen Bedingungen die Temperatur im Aufenthaltsbereich der Turnhalle den Wert von 27 °C nicht überschreiten darf, sehr gut erfüllt ist.

Raumlufttemperaturverläufe:

Aufenthaltsbereich (---) der Turnhalle

Luftraum (---) der Halle

Außenlufttemperatur (---)



Verglasung: LITEWALL (SUNEX green); innenliegende Screens;
Zufuhr vorgekühlter Luft (18°C) von 7⁰⁰ bis 17⁰⁰

Anmerkung: Obiges Diagramm wurde mittels Zugriff auf die EXCEL-Schnittstelle von GEBA unter Verwendung von EXCEL erzeugt.

Bezüglich weiterer Informationen wenden Sie sich bitte an:

Ao. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Kreč
Büro für Bauphysik
A-3562 Schönberg am Kamp, Veltlinerstr. 9
Österreich

Tel. 02733 - 8780 - 2

Fax 02733 - 8780 - 4

email: dr.krec@aon.at