

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Band:** 112 (1994)  
**Heft:** 32

**Artikel:** Raumsimulationsprogramme: Möglichkeiten und Grenzen  
**Autor:** Gschwend, Peter  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-78485>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 24.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

ven Phase (Januar/Februar 1993) sowohl Berater, Statiker, Auskunfts- und Dienstleistungsperson für die drei Anbieter, wobei auf strikte Diskretion über die verschiedenen Lösungsvorschläge geachtet wurde.

Es wurden angeboten:

- Einschub längs mit Vorbauschnabel ohne Einbauten in der Reuss.
- kontinuierlicher Einbau über Kopf auf Hilfsjochen im Flussbett.
- kombinierte Lösung: Montage einer Brücke in 3 Teilen mit mobilem Grosskran auf Raupen und Einbau über Kopf ab Hilfsjochen für die zweite Brücke.

Die Kriterien für die Beurteilung und Evaluation zur Auftragserteilung waren:

Preis, Termin, technische Qualität, wasserbauliche Aspekte, einheimisches Gewerbe, Ökobelange, personelle Kompetenz.

Auf einstimmigen Antrag der Planer und begleitenden Experten wurde seitens der Bauherrschaft der Einschubvariante mit Vorbauschnabel für beide Brücken ohne Einbauten in der Reuss

der Vorzug gegeben. Beide Brücken wurden der gleichen Unternehmergruppe zugeschlagen. Die andern beiden Anbieter erhielten eine bescheidene Entschädigung. Da mit der Abgabe der Offerten fixfertige Vertragsdokumente vorlagen, konnte am Tage nach Auftragserteilung mit den Vorbereitungen begonnen werden.

#### Termine

Das Projekt stand von Beginn an unter grossem Zeitdruck. Dies erforderte eine straffe Führung, flexibles und gleichzeitiges Vorgehen in verschiedenen Arbeitsbereichen und Termintreue. Das Ergebnis darf als gute Leistung bezeichnet werden. Innert weniger als 12 Monaten ab erster Projektidee konnten die Brücken dem Auftraggeber übergeben werden.

#### Kosten

Die Gesamtkosten der beiden Brücken, exkl. Honorare und Nebenkosten, betragen abgerechnet zusammen Fr. 4 898 000.-

Eine frühe Vergleichsrechnung zeigte auf, dass für eine Neubauvariante an-

stelle der Wiederverwendung des vorhandenen Brückenmaterials Mehrkosten von zirka 4,5 Millionen entstanden wären.

#### Zusammenfassung

Die beiden Brücken Silenen und Erstfeld konnten im Rahmen des Kostenvoranschlages innerhalb eines Jahres und bautechnisch einwandfrei ohne Zwischenfälle erstellt werden. Darüber dürfen alle am Projekt beteiligten Planer, Ingenieure, Bauleiter, Unternehmer und Arbeiter, aber auch die vielen Experten, Amt- und Fachstellen, Behörden und die Mitarbeiter des Bauamtes Uri und der SBB stolz sein.

Adresse der Verfasser: *Peter Püntener*, dipl. Ing. ETH, Kantonsingenieur Uri und Vizepräsident Baukommission KWA, Klausenstrasse 2, 6460 Altdorf; *Marcel Tschumi*, dipl. Ing. ETH/SIA, Chef Brückenbau, Generaldirektion SBB, Mittelstrasse 43, 3030 Bern; *Peter Roos*, dipl. Ing. ETH/SIA, Ingenieurbau, SBB Kreisdirektion II, Schweizerhofquai 6, 6002 Luzern; *Walter Meyer*, dipl. Ing. ETH/SIA, Mitinhaber Firma Plüss+Meyer Bauingenieure AG, Luzern.

### ASIC-Artikelreihe: Neuzeitliche Aufgaben

## Raumsimulationsprogramme

### Möglichkeiten und Grenzen

**Während der Vorstudien- und der Vorprojektphase können die Investitions- und Betriebskosten eines Gebäudes noch stark beeinflusst werden. Zu diesem Zeitpunkt werden wir als beratende Ingenieure oft vor die Aufgabe gestellt, die Auswirkungen von verschiedenen architektonischen Varianten auf die Raumtemperatur sowohl qualitativ als auch quantitativ zu untersuchen.**

Statt wie bis anhin bei diesen gestellten Fragen nur auf Erfahrung und Intuition zu vertrauen, setzen wir seit einiger Zeit

VON ROBERT GSCHWEND,  
ST. GALLEN

mit gutem Erfolg Simulationsprogramme als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung ein.

Der Aufwand für solche Simulationsrechnungen ist recht gross. Wenn diese Berechnungen innerhalb des Planungsprozesses jedoch zur rechten Zeit und mit einer klar umrissenen Fragestellung

durchgeführt werden, können damit die Effizienz der Planung erhöht und ein wesentlicher Grundstein für ein umfassendes Energiekonzept gelegt werden.

Nachfolgend wollen wir einige grundlegende Aspekte der Simulationsberechnung betrachten, das Einsatzgebiet und die nötigen Grundlagen erörtern sowie anhand von Beispielen aufzeigen, welche Resultate erwartet werden können.

#### Wo werden Simulationsrechnungen benötigt?

Für die Berechnung wird das zu bauende Gebäude als mathematisches Modell

definiert. Die Raumtemperaturen und deren Schwankungen werden so berechnet, wie sie sich aufgrund der Auslenkbedingungen und der Nutzung der Räume einstellen. Durch entsprechende Parameteränderungen können Varianten untersucht werden («was wäre, wenn?»). Simulationsprogramme sind wertvoll, um Fragen der folgenden Art zu klären:

- Wie wirken sich bauliche Massnahmen aus (z.B. schwere oder leichte Bauweise, verschiedene Glasanteile usw.)?
- Welchen Einfluss haben Sonnenschutzmassnahmen auf das Raumklima?
- Ist eine Raumkühlung nötig oder nicht?
- Welche Auswirkungen haben unterschiedliche Lüftungs- und Klimasysteme?
- Wie gross ist der Energieverbrauch der Anlagen?

Mit Simulationsprogrammen lassen sich externe Einflüsse und Speichervorgänge in massiven Bauteilen berechnen.

Dies war mit den bis anhin üblichen Rechenmethoden nur sehr begrenzt möglich, da diese von stationären Bedingungen ausgingen. Weil externe Einflüsse berücksichtigt werden können, liegt der Einsatzschwerpunkt von Simulationsprogrammen dort, wo diese externen Einflüsse gross sind, z.B. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für Gebäude mit nicht zu hohen inneren Lasten.

### Welche Programme werden eingesetzt?

Die Berechnung von Raumtemperaturen kann man z.B. mit folgenden in der Schweiz käuflichen Programmen durchführen:

**Helios PC:** Relativ einfaches Programm zur Berechnung der Wärmetransport- und -Speicherprozesse: 1-Zonen-Modell.

**DOE-2. 1 d:** Komplexes Simulationsprogramm zur Berechnung mehrzoniger Gebäude inkl. HLKK-Systeme.

#### Helios PC

Das Programm Helios-PC ist ein dynamisches 1-Zonen-Simulationsprogramm zur Berechnung des thermischen Verhaltens eines Gebäudes unter Berücksichtigung der kurz- und langwelligen Strahlungsvorgänge. Das Rechenmodell basiert auf der Energiebilanz-Methode (Zeitschritte 1 Stunde) und verwendet für die Behandlung der instationären Wärmetransportvorgänge das Verfahren der Response-Faktoren.

Das Programm wurde 1982 an der Empa im Rahmen eines Nationalfondsprojektes erstellt. In der Zwischenzeit wurde es ergänzt und erweitert. Seit Herbst 1992 liegt eine PC-Version vor. Das Helios-Programm eignet sich speziell für folgende Abklärungen:

- Genügt der sommerliche Wärmeschutz von Räumen (Berechnung des Temperaturverlaufes)?
- Berechnung der Heiz- und Kühllast sowie des Energiebedarfs von Räumen.
- Kann die Sonnenenergie passiv genutzt werden (z. B. Direktgewinne durch die Fenster und/oder Absorberwände)

#### DOE 2.1d

Das DOE-Programm wurde Anfang der 80er Jahre in den USA, am Lawrence Berkeley Laboratory, im Auftrag des US Departement of Energy (DOE), entwickelt und von der Empa in der Schweiz eingeführt. Das Programm ermöglicht dynamische Simula-

tionen des Energiehaushaltes von Gebäuden. Die Empa hat an internationalen Forschungsprogrammen zur Verifikation des DOE-Programms teilgenommen.

Als Eingabedaten müssen die Gebäudestruktur (Materialien, Schichtstärken) und Geometrie (Fassadenorientierungen) sowie die Personenbelegung und die Betriebszeiten detailliert angegeben werden. In einem zweiten Schritt können die gewünschten Haustechnikinstallationen definiert werden. Für die Berechnungen benötigt das Programm stündliche Meteodaten (Temperatur, Feuchte, Wind, Sonneneinstrahlung usw.). Diese wurden von der Empa unter Verwendung von SMA-Angaben (Schweizerische Meteorologische Anstalt) für das Jahr 1984 für verschiedene Orte der Schweiz aufbereitet. Weitere Meteodaten sind für Orte auf der ganzen Erde, speziell für die USA, erhältlich.

Die Berechnung des Energiehaushaltes erfolgt während eines wählbaren Zeitraumes in stündlichen Schritten. Dabei werden sämtliche relevanten internen und externen Einflussfaktoren berücksichtigt (extern: Meteodaten, intern: Beleuchtung, Personenbelegung, Apparate). Die dynamischen Wärmetransportvorgänge in Bauteilen werden dabei durch Übertragungsfunktionen (weighting factors) simuliert.

Das DOE-Programm eignet sich speziell für folgende Fragestellungen:

- Genügt der sommerliche Wärmeschutz von Räumen den Anforderungen an den thermischen Komfort?
- Beschattungen und Lichtsteuerungen von anschliessenden Räumen mit verschiedenen Temperaturzonen (z.B. Wintergärten) können simuliert werden.
- Unterschiedliche HLKK-Systeme können verglichen, Heiz- und Kühllastberechnung sowie Energiebedarfsberechnung durchgeführt werden.
- Passive Sonnenenergiegewinne (direkt durch Fenster oder über Absorberwände) können durchgeführt werden.

Alle Berechnungen, die mit dem Helios-Programm möglich sind, können mit dem DOE-Programm ebenfalls ausgeführt werden.

### Welche Unterlagen werden für eine Berechnung benötigt?

Um den Rechenaufwand in Grenzen zu halten, wird man im allgemeinen einen oder mehrere Referenzräume festlegen, die typisch für einen Grossteil des

Gebäudes sind. «Extreme» Räume können durch entsprechende Variation der Eingabegrössen oder aber durch eine separate Berechnung simuliert werden. Eine Berechnung gliedert sich in mehrere Abschnitte:

- Zusammenstellen der Grundlagendaten, Festlegen der vorgesehenen Varianten in Zusammenarbeit mit dem Architekten und dem Bauherrn bzw. dem Auftraggeber.
- Berechnung der Grundvariante.
- Variantenberechnungen.
- Besprechung der Zwischenergebnisse mit dem Auftraggeber. Definition weiterer oder geänderter Varianten aufgrund der Zwischenresultate.
- Weitere Berechnungen und – wenn nötig – weitere Zwischenbesprechungen mit dem Auftraggeber oder Benutzer.
- Erstellen des Schlussberichtes. Kommentierung der Berechnungen und Ergebnisse, Aufstellung von Empfehlungen und Folgerungen für den weiteren Projektablauf.

Die benötigten Unterlagen sind:

- Grundrisspläne des gesamten Gebäudes
- Angaben zur Bauweise und den Glasstypen
- Art des Sonnenschutzsystems
- Nutzung der Räume, installierte Apparate
- Umgebungsplan (für die Beschattung)
- Fragestellung
- zu untersuchende Varianten.

### Kosten und Zeitaufwand für eine Berechnung

Der Aufwand für Simulationsrechnungen schwankt beträchtlich. Man kann die Berechnungen in zwei Kategorien aufteilen:

#### *Berechnungen mit dem Helios-Programm*

Für relativ einfache Fragestellungen (z.B. Berechnung der Auswirkung verschiedener Sonnenschutzsysteme und Bestimmen der Kühlleistung) kann das Helios-Programm eingesetzt werden. Für die Berechnung eines Raumes inkl. Varianten muss mit einem Aufwand von rund Fr. 5000.– gerechnet werden. Die Bearbeitungszeit inkl. Zwischenbesprechung beträgt ungefähr einen Monat.

#### *Berechnungen mit dem DOE-Programm*

Für die aufwendigen Berechnungen mit dem DOE-Programm schwankt der Aufwand sehr stark. Erfahrungsgemäss

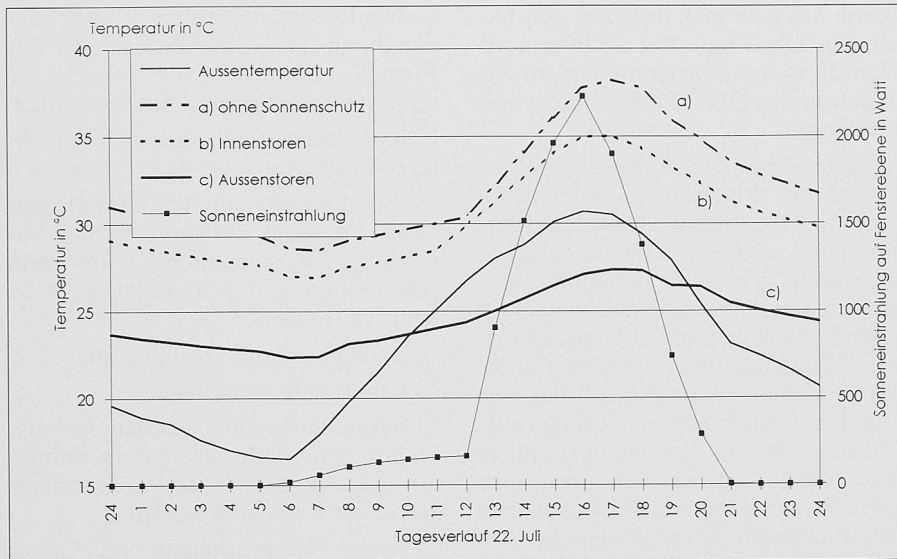


Bild 1. Büroraum 1. OG: Simulationsberechnungen der Raumtemperatur mit unterschiedlichem Sonnenschutz

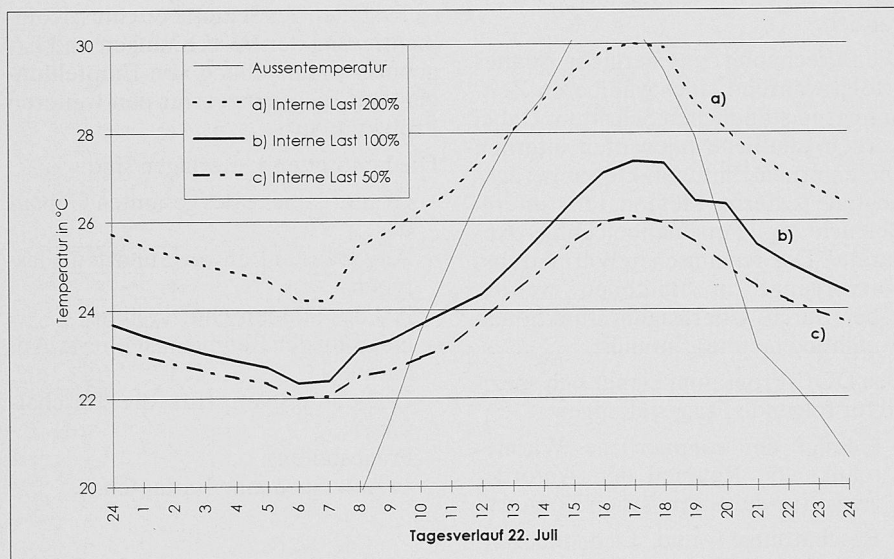


Bild 2. Büroraum 1. OG: Simulationsberechnungen der Raumtemperatur mit verschiedenen Internlasten (100% = 250 Watt)

ist für eine komplette Berechnung mit mindestens Fr. 20 000.– zu rechnen. Entsprechend verlängert sich auch die Bearbeitungszeit, die sich über mehrere Monate hinziehen kann. Dies ist nicht allein auf die langwierigeren Berechnungen, sondern vor allem auf die Zwischenbesprechungen mit dem Architekten und dem Bauherren zurückzuführen.

Natürlich können Aufgaben mit einer klar umrissenen Fragestellung in we-

sentlich kürzerer Zeit behandelt werden. Meistens ist aber ein schrittweises Vorgehen nicht zu umgehen, da die ersten Ergebnisse wieder Fragen aufwerfen, die zuerst beantwortet werden müssen.

Es ist wichtig, dass frühzeitig abgeklärt wird, ob solche Berechnungen wünschbar, nötig und sinnvoll sind. Nur eine nachträgliche «Bestätigung» der gewählten Lösung ist wenig sinnvoll.

## Berechnungsbeispiel mit Helios-Programm

Nachfolgend werden einige Berechnungsergebnisse von typischen Simulationsberechnungen mit dem Helios-Programm aufgeführt.

Für ein Bürogebäude soll der Einfluss verschiedener Parameter auf die Raumtemperatur im Sommer untersucht werden. Dazu wird ein typischer Raum als Referenzraum definiert und die nötigen Geometriedaten sowie weitere Eingabegrößen im Programm eingegeben. Ausgehend von dieser Grundstruktur werden dann verschiedene interessierende Parameter verändert und durch das Programm berechnet.

Die Ergebnisse der Berechnungen werden anschliessend in Diagrammen dargestellt. In einer ersten Berechnung wird der Einfluss des Sonnenschutzes an der Süd-Westorientierten Fassade des Bürogebäudes aufgezeigt (Bild 1).

*Kommentar:* Mit einem guten Sonnenschutz kann die Raumtemperatur deutlich reduziert werden. Klar zu bevorzugen ist ein äusserer Sonnenschutz (Aussenstoren).

Der Einfluss verschiedener Internlasten wird in den folgenden Berechnungsergebnissen aufgezeigt. Die Berechnungen werden für dasselbe Bürogebäude wie oben durchgeführt. Als Sonnenschutz werden Aussenstoren eingesetzt (Bild 2).

*Kommentar:* Da die internen Lasten nur zum Teil bekannt sind, kann durch mehrere Berechnungen mit unterschiedlichen internen Lasten bei ansonsten gleichen Annahmen die Sensitivität bezüglich des betrachteten Parameters aufgezeigt werden. Analog kann der Einfluss weiterer interessierender Grössen untersucht und mit Variantenberechnungen abgeklärt werden.

Adresse des Verfassers: R. Gschwend, c/o Waldhauser Haustechnik, Ingenieurbüro ASIC/SIA, Bahnhofplatz 2, 9001 St. Gallen.