

Komplexe Simulation – Voraussetzung zur Energieoptimierung

Planung von Gebäude- und Anlagentechnik erfordert Systembetrachtung

Der TGA-Ingenieur möchte nicht mehr die bauphysikalische Unvollkommenheit der Gebäude durch große, enorm energieverzehrende Anlagen gegen die Natur „kämpfend“ ausgleichen. Entwürfe ohne Systembetrachtung und irreführender Sprachgebrauch – wie z. B. „Klimafassaden“ – sind nicht mehr verantwortbar. Der Architekt muß frühzeitig mit dem Fachingenieur der Technischen Gebäudeausrüstung im Wechselspiel zusammenarbeiten, analog wie dies mit dem Statiker seit Jahrzehnten praktiziert wird. Die Forderung lautet: „Integrale Planung“.

Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Hamburg

Die erste Entwicklungsphase der „Ingenieurkunst“ ist in der Regel gekennzeichnet von der pragmatischen Arbeitsweise der Techniker. Der Funktionalität folgt die Optimierung der Komponenten, der Anlagenteile und der Verfahren. Im Ergebnis entstanden in unserer Branche z. B. Heizkessel, Ventilatoren und Heizanlagen mit hohen energetischen Wirkungsgraden.

In einer zweiten Phase – die nichts mit einer zeitlichen Abfolge zu tun hat – untersucht man üblicherweise die analytischen Zusammenhänge und stellt die Kausalitäten theoretisch tiefgründig fest. So entwickelte man, wiederum bezogen auf unser Fachgebiet, bauphysikalische, thermodynamische und fluiddynamische Simulationsmodelle, z. B. für die thermische Gebäudesimulation und die Strömungssimulation.

In der dritten Phase ist eine Synthese der beiden genannten Arbeitsweisen notwendig – nicht nur um die unterschiedlichen Ingenieurtemperamente zu vereinen –, sondern um durch Integration ein Gesamtoptimum für ein System zu erreichen, das sich in die Umwelt organisch einpaßt.

Unter dem *System* sei zunächst das *Gebäude* und die *TGA-Anlage* zu verstehen.

ROM entwickelte ein aus Einzelbausteinen bestehendes, universell ergänzbares Simulationsmodell (Bild 1) [1]. Um einen Gebäudedatenpool gruppieren sich:

- das CAD-System für den Gebäude- und Anlagenentwurf
- die tageslichttechnische Simulation
- die energetische Gebäudesimulation
- die Strömungssimulation
- die Anlagensimulation

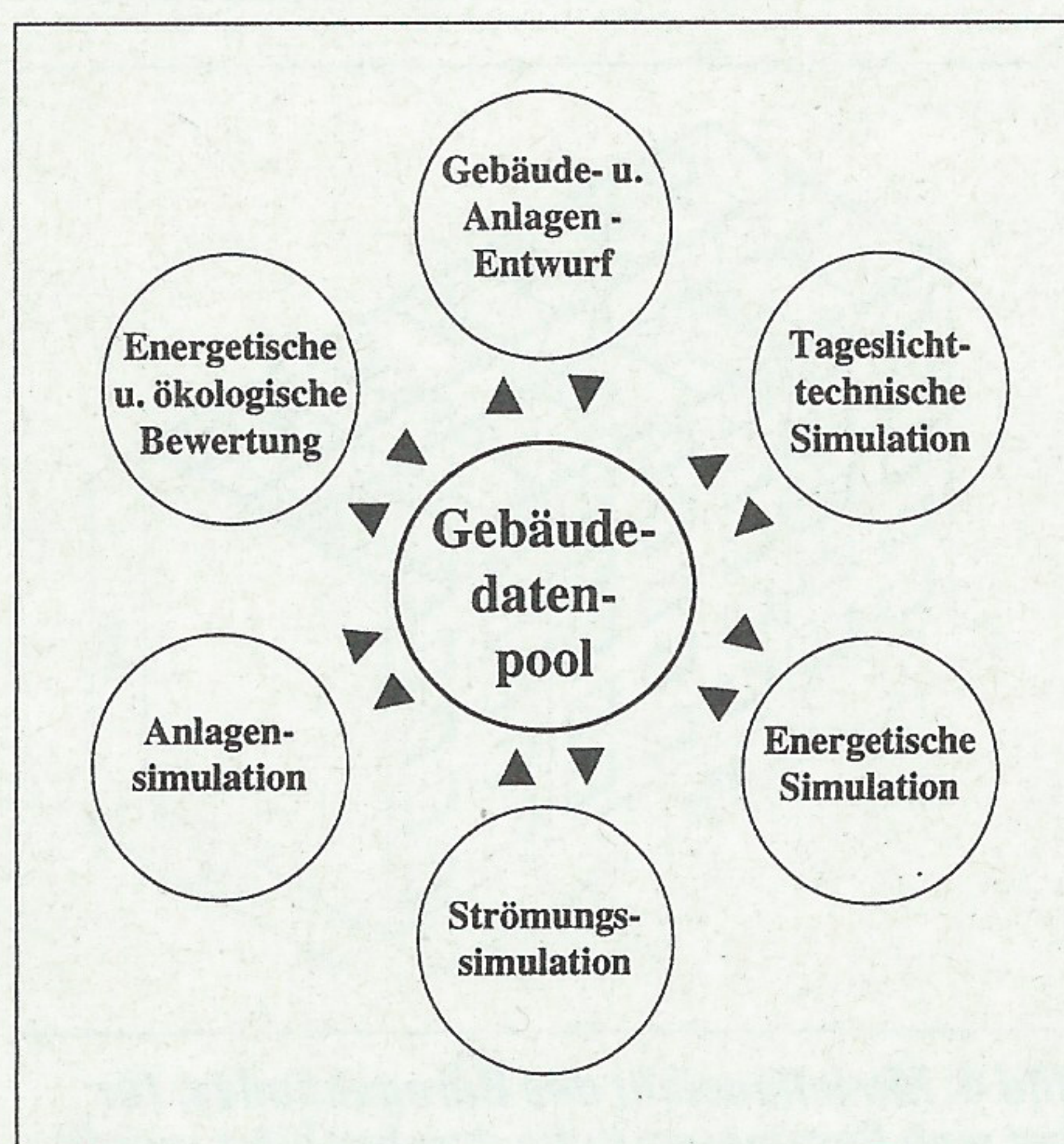


Bild 1: ROM - Gebäude-Simulationsmodell (derzeitiger Stand).

- die energetische, ökologische und damit wirtschaftliche Bewertung.

Die Verknüpfung ergibt eine höherwertige Intelligenz bei der Gebäude-Anlage-Systembetrachtung. Sie bildet die Voraussetzung für eine energieoptimierte Gesamtplanung. Im weiteren werden die speziellen Simulationsprogramme kurz vorgestellt.



Tageslichttechnische Simulation

Die Ziele sind:

- die Sicherung der visuellen Behaglichkeit, d. h. eine gleichmäßige Verteilung der notwendigen Beleuchtungsstärke;
- die Maximierung der Tageslichtnutzung; diese ist eine Funktion der Fensterlage, -größe und Glasart, der Reflexionsgrade der Umfassungen, der Art und Lage der Arbeitsplätze;
- die Minimierung der Beleuchtungsenergie, die wiederum von der Anordnung und der Art der Leuchten abhängt.

Das Ergebnis – die erforderliche Elektroenergie – bildet einen Teil der inneren thermischen Last des Gebäudes und ist bei der energetischen Gebäudesimulation zu berücksichtigen.

Die Simulationen zeigen z. T. fotorealistische Darstellungen – im Bild 2 einen Versammlungsraum mit optimierten Oberlichtern – und Darstellung der Linien gleicher Beleuchtungsstärke, der sogenannten Isoluxlinien.

Energetische Gebäudesimulation

Diese arbeitet auf der Grundlage der bauphysikalischen Gesetzmäßigkeiten bei dynamischer Betrachtung. Eingangsgrößen sind:

- der Wandaufbau, wobei Dämmung und Wärmespeicherkapazität entscheidenden Einfluß nehmen;
- die Fenstereigenschaften, wie Größe, Glasart, Verschattung;
- die inneren Lasten, verursacht durch Personen, Geräte und Beleuchtung;
- die Nutzungsbedingungen.

Bild 2: Ergebnisse der tageslichttechnischen Simulation für einen Konferenzraum mit optimal verteilten Oberlichtern in fotorealistischer Darstellung mit Linien gleicher Beleuchtungsstärke.

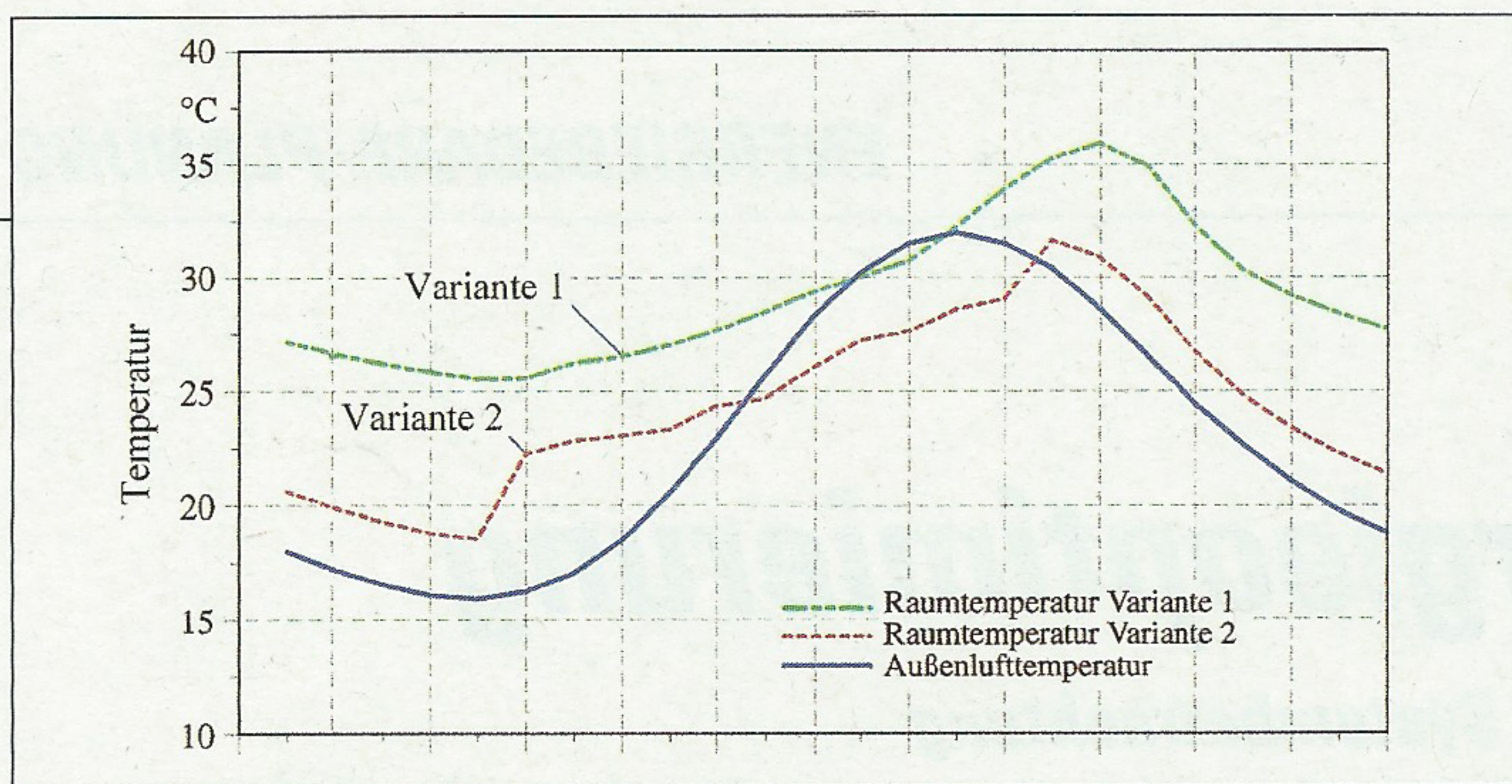


Bild 3: Raumtemperaturverläufe in einer großflächigen verglasten Eingangshalle an einem klaren Sommertag.

Variante 1: ohne Klimatisierung und Nachtlüftung
Variante 2: tags: Abluft aus den klimatisierten Büros wird über die Eingangshalle geführt
nachts: intensive Lüftung mit Außenluft

Zuerst sind die sich einstellenden thermischen Raumzustände – mit dem Ziel ohne Klimaanlage bzw. mit minimierter Anlage auszukommen – zu untersuchen.

Dabei sind von Interesse

- die Temperaturverläufe und
- die zeitlichen Überschreitungen der Grenzwerte

unter Variation einer intensiven Nachtlüftung, erhöhter Gebäudespeichermassen, verkleinerter Fenster usw.

Ist eine gebäudetechnische Anlage unerlässlich, so interessiert der Energiebedarf mit dem Ziel, diesen zu minimieren. Dabei sollten die zulässigen Behaglichkeitsfelder voll ausgenutzt, intelligente Heizungs- und Lüftungskonzepte realisiert und bautechnische Einflüsse optimiert werden.

Bild 3 zeigt den Temperaturverlauf in einer großflächigen verglasten Eingangshalle eines Verwaltungsgebäudes an einem klaren Sommertag. Variante 1 gibt die Verhältnisse ohne Lüftung an. Sie sind nicht akzeptabel. Variante 2 zieht tagsüber die Abluft aus den klimatisierten Büros über die Eingangshalle und nachts wird eine intensive Außenluftzufuhr realisiert, wodurch eine um 5 K niedrigere Maximaltemperatur erreicht wird.

Aufschlußreich ist auch eine Parameterstudie [2] für ein 5geschossiges Bürogebäude einfacher Geometrie (Bild 4). Grundlegend gelten:

zulässige Raumtemperaturen: $t_i = 22$ bis 26 °C (Sommer); 22 bis 24 °C (Winter);
Fensteranteil: 31%; $k_{\text{Fenster}} = 1,5$ W/(m² K);
 $g_{\text{Glas}} = 0,6$;
Außenwand: $k_{\text{Außenwand}} = 0,44$ W/(m² K);
innere Lasten: $\dot{q}_i = 30$ W/m² (Sommer), 30 bis 50 W/m² (Winter).

Die Bilder 5 und 6 zeigen die spezifischen Energiebedarfswerte für das Heizen und Kühlen (ohne Lüftung bzw. Luftinfiltration). Die wichtigsten Feststellungen sind:

- Der Einfluß der Fassadenorientierung auf den Kühlbedarf ist bemerkenswert. Die Energiesummen für das gesamte Gebäude in Nord-Süd-Orientierung unterscheiden sich von der Ost-West-Orientierung jedoch nur um ca. 8%.
- Dominierenden Einfluß nehmen bei der heute üblichen Bauweise die inneren Lasten. Würden keine inneren Lasten wirken, so ergäben sich 5 mal höhere

Bedarfwerte für die Heizung und bis zu 10 mal niedrigere Werte für die Kühlung.

- Der Einsatz energiesparender Bürotechnik ist unbedingt anzustreben.
- Bedeutenden Einfluß übt die Verschattung auf den Kühlbedarf aus. Bereits eine starre Außenblende bringt eine Reduzierung um 13 bis 29%.
- Ein erhöhter Fensteranteil wirkt sich sehr nachteilig aus. Bei 51% Fensterfläche – anstelle von 31% Fensterfläche –

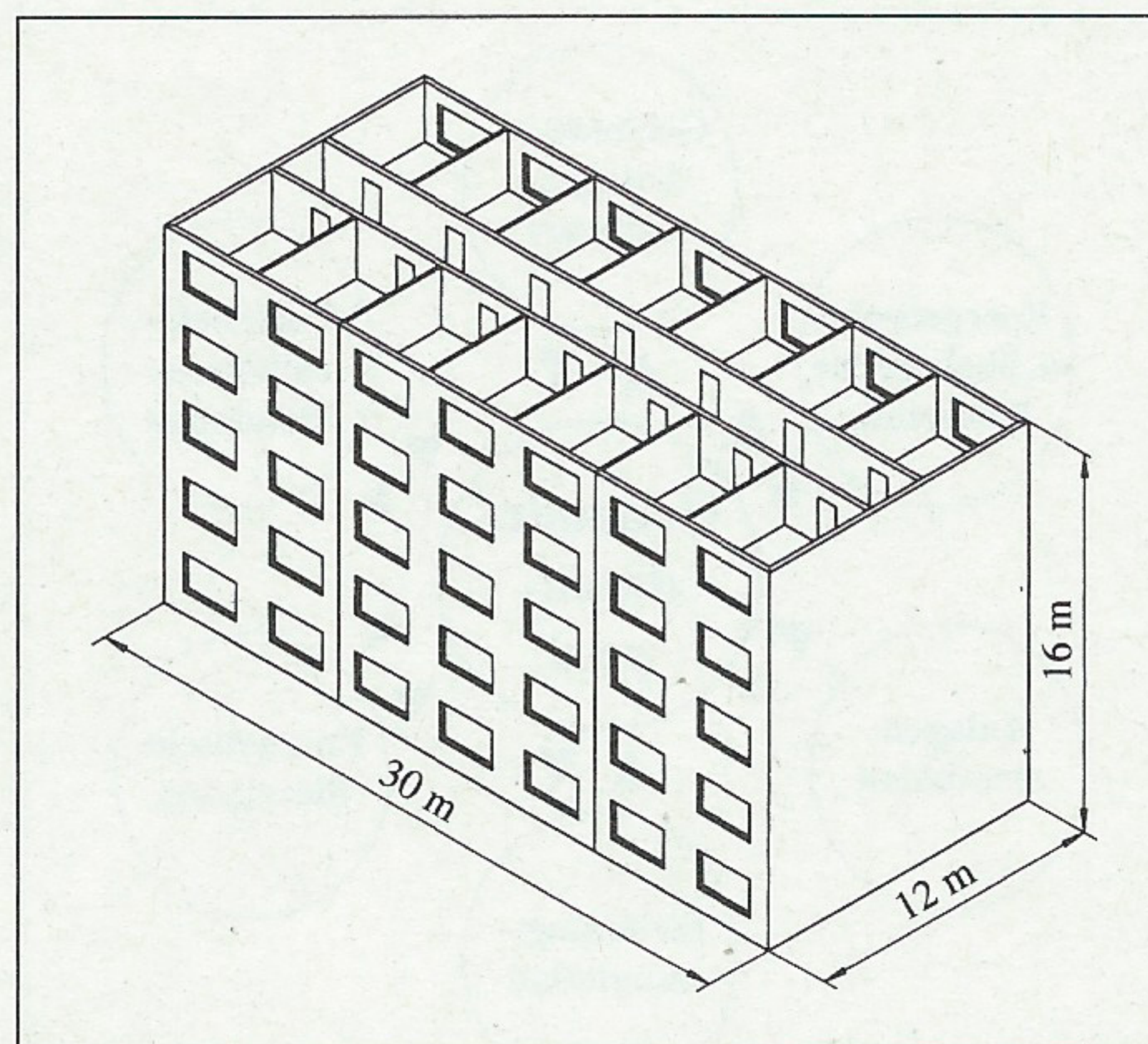


Bild 4: Modellansicht des Bürogebäudes, für das eine Parameterstudie durchgeführt wurde.

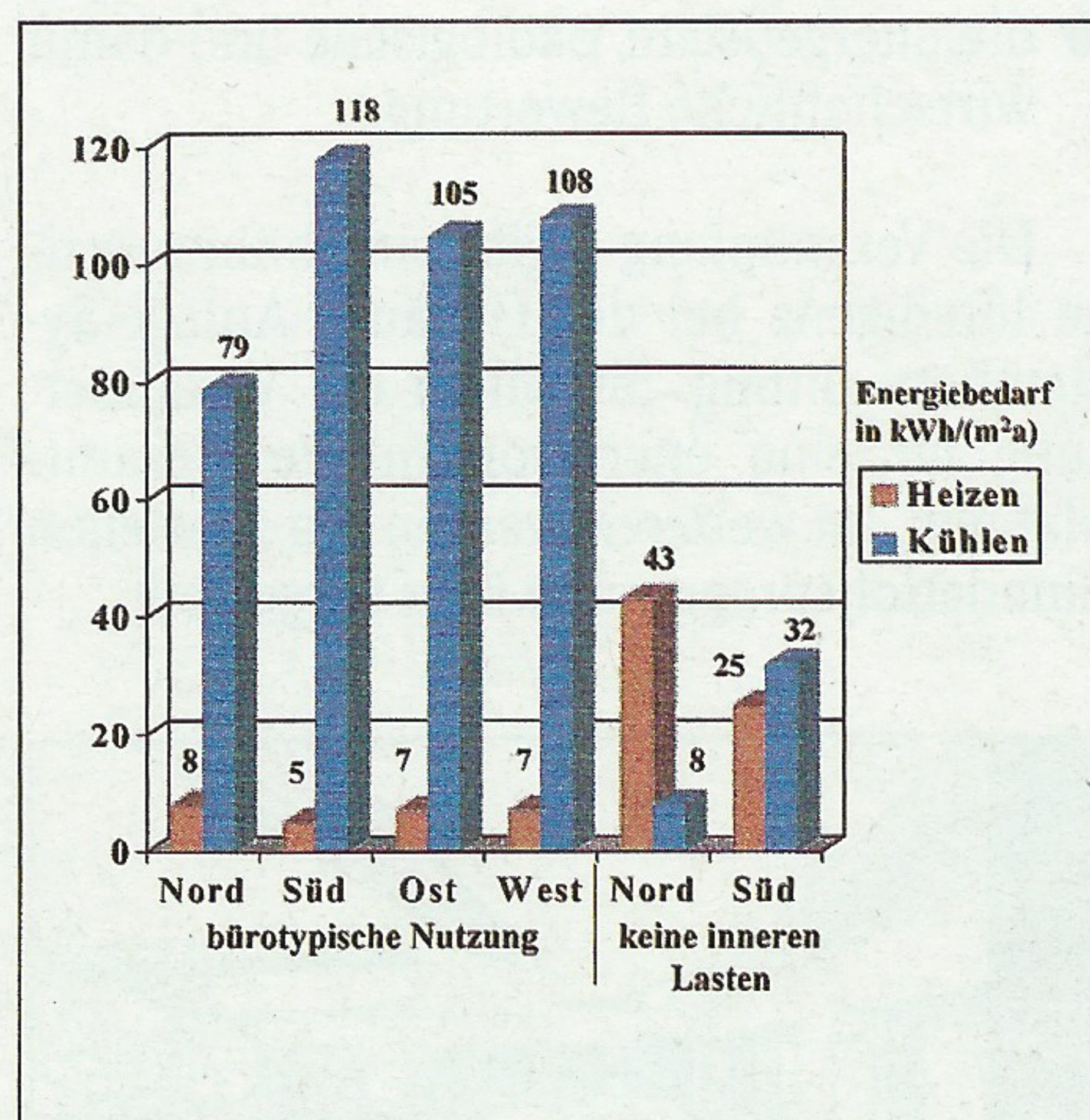


Bild 5: Spezifische Energiebedarfswerte in Abhängigkeit der Fassadenorientierung und der inneren Lasten.

entsteht ein Kühlmehrbedarf von 24 bis 37%.

- Diffizil ist der Einfluß der Wärmedämmung in der Außenwand. Bei einem $k_{\text{Außenwand}} = 0,70$ W/(m² K) anstelle von $0,44$ W/(m² K) steigt der Heizenergiebedarf um 150 bis 160% an, der bedeutend höhere Kühlbedarf reduziert sich aber um 20 bis 30%. D. h., die neue Wärmeschutzverordnung – die in erster Linie die Senkung des Heizenergiebedarfs im Auge hat – sollte für klimatisierte Gebäude weiterentwickelt werden.

Strömungssimulation

ROM arbeitet mit drei Simulationsvarianten, um letztlich die Strömungen im Gebäude umfassend beurteilen zu können [3].

Gebäudeumströmung

Zuerst wird die Gebäudeumströmung und hier speziell die Druckverteilung über die Gebäudehülle untersucht. Im Bild 7 ist die Druckverteilung in einem städtebaulichen Ensemble

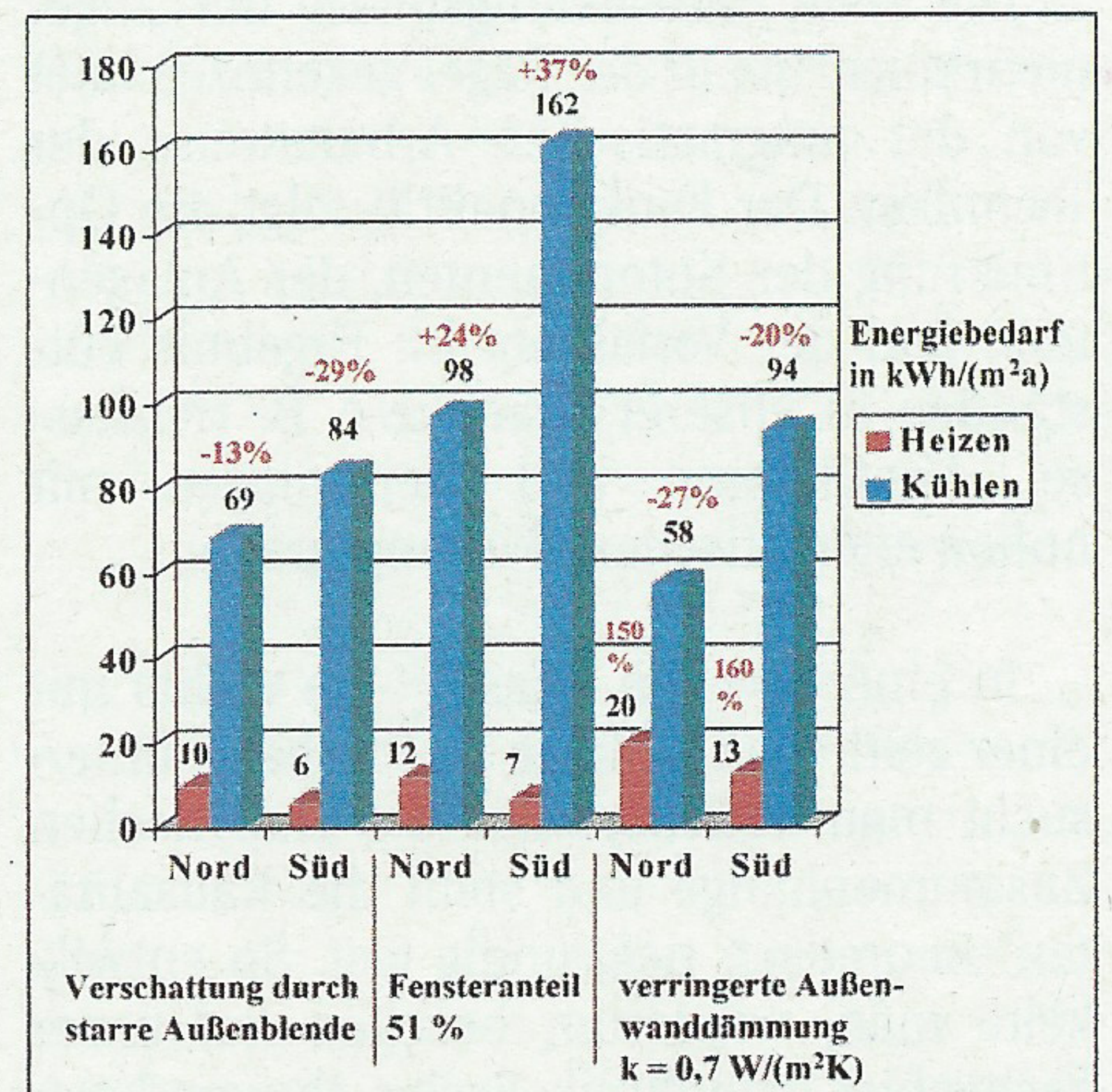


Bild 6: Spezifische Energiebedarfswerte in Abhängigkeit der Verschattung, des Fensteranteils und der Außenwanddämmung.

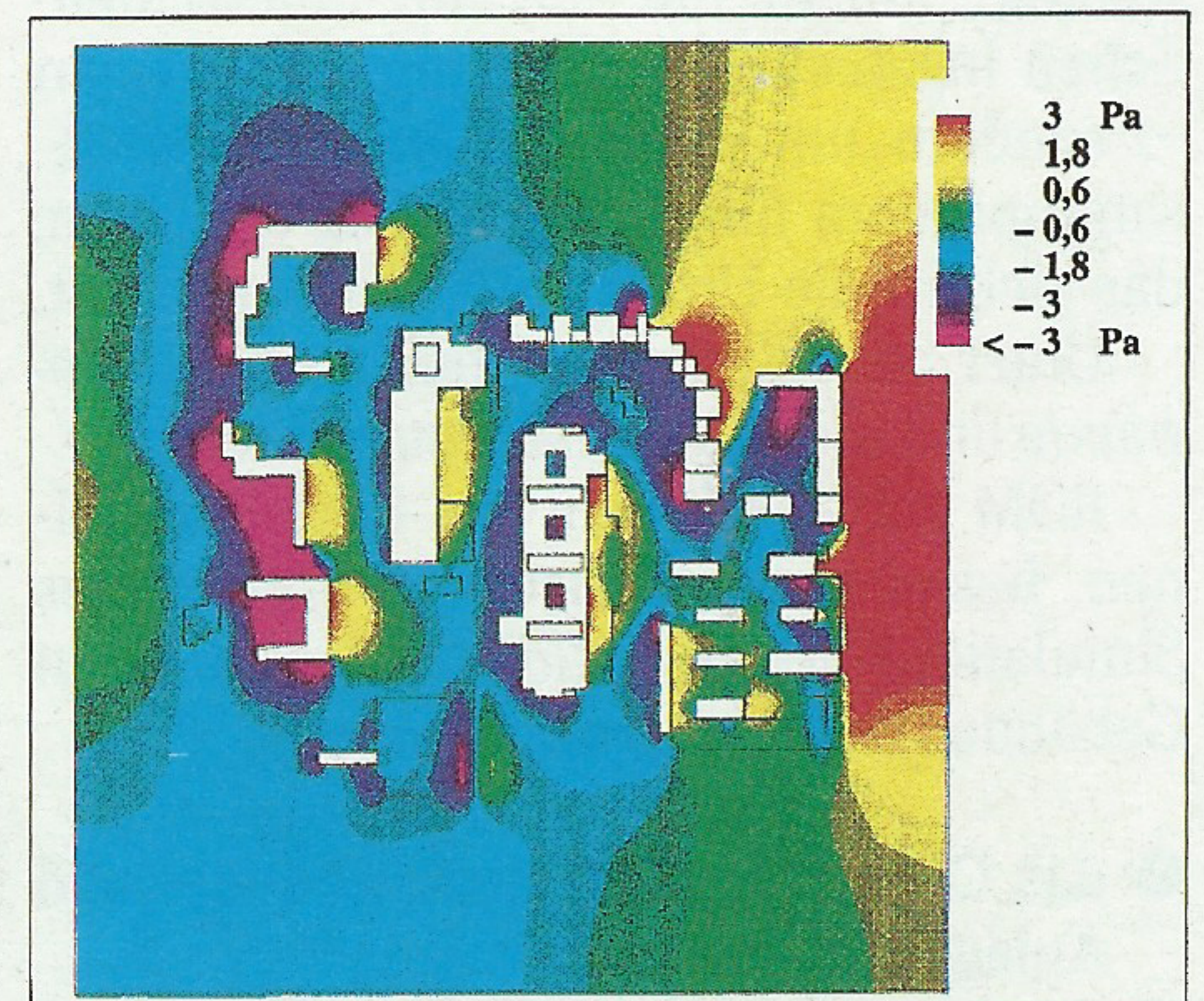


Bild 7: Dynamische Druckverteilung in einem städtebaulichen Ensemble bei Windanströmung von rechts mit 4 m/s in einer Ebene von 2,5 m über Terrain.

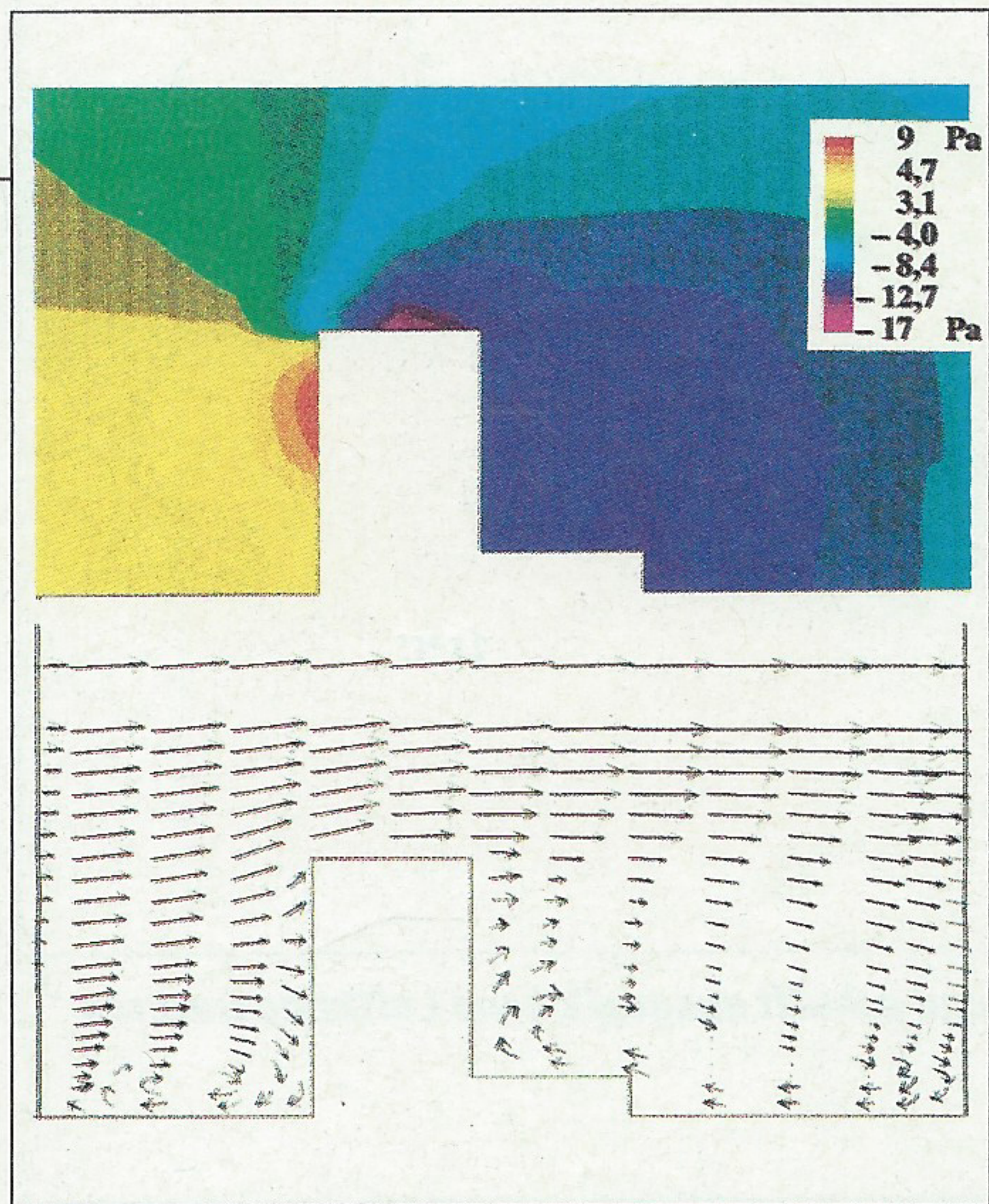


Bild 8: Detaillierte Druckverteilung an einem vertikalen Gebäudeschnitt (Farbplott und Vektorfeld).

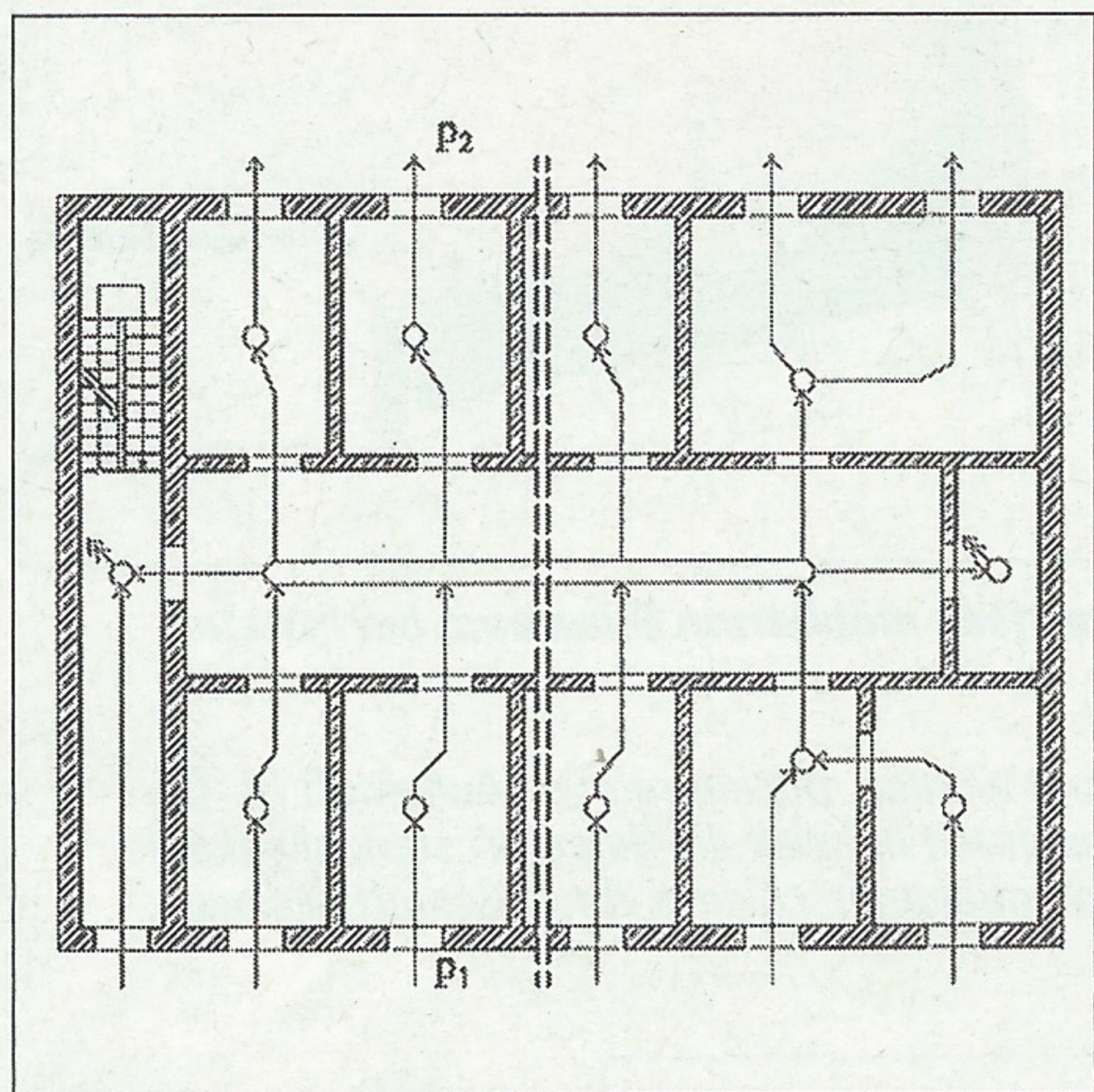


Bild 9: Netzmodell zur Ermittlung der Gebäudedurchströmung in Abhängigkeit der äußeren Druckverteilung und der inneren Strömungswiderstände.

lichen Ensemble bei einer Windgeschwindigkeit von 4 m/s in einer Höhe von 2,5 m über Boden zu sehen. Die Anströmung erfolgt von rechts, die maximale Druckdifferenz zwischen Luv und Lee wird nur an den Randbebauungen wirksam. Die Druckdifferenzen über die Oberflächen der im Inneren des Ensembles liegenden Gebäude sind bedeutend kleiner. Diese Ergebnisse gewann man bisher aus Versuchen im Strömungskanal, die jedoch recht zeitaufwendig und teuer waren.

Eine gezoomte Darstellung (Bild 8) liefert für eine höhere Anströmgeschwindigkeit sehr eindrucksvoll die detaillierte Druckverteilung für eine ausgewählte Gebäudefront über die Höhe des Gebäudes. Links befindet sich die Luv- und rechts die Leeseite mit den zugehörigen Über- bzw. Unterdrücken.

Der maximale Überdruck tritt dort auf, wo die Strömung rechtwinklig auf die Wand trifft, der größte Unterdruck liegt erwartungsgemäß am Flachdach an. Die Vektordarstellung verdeutlicht die Wirbelgebiete.

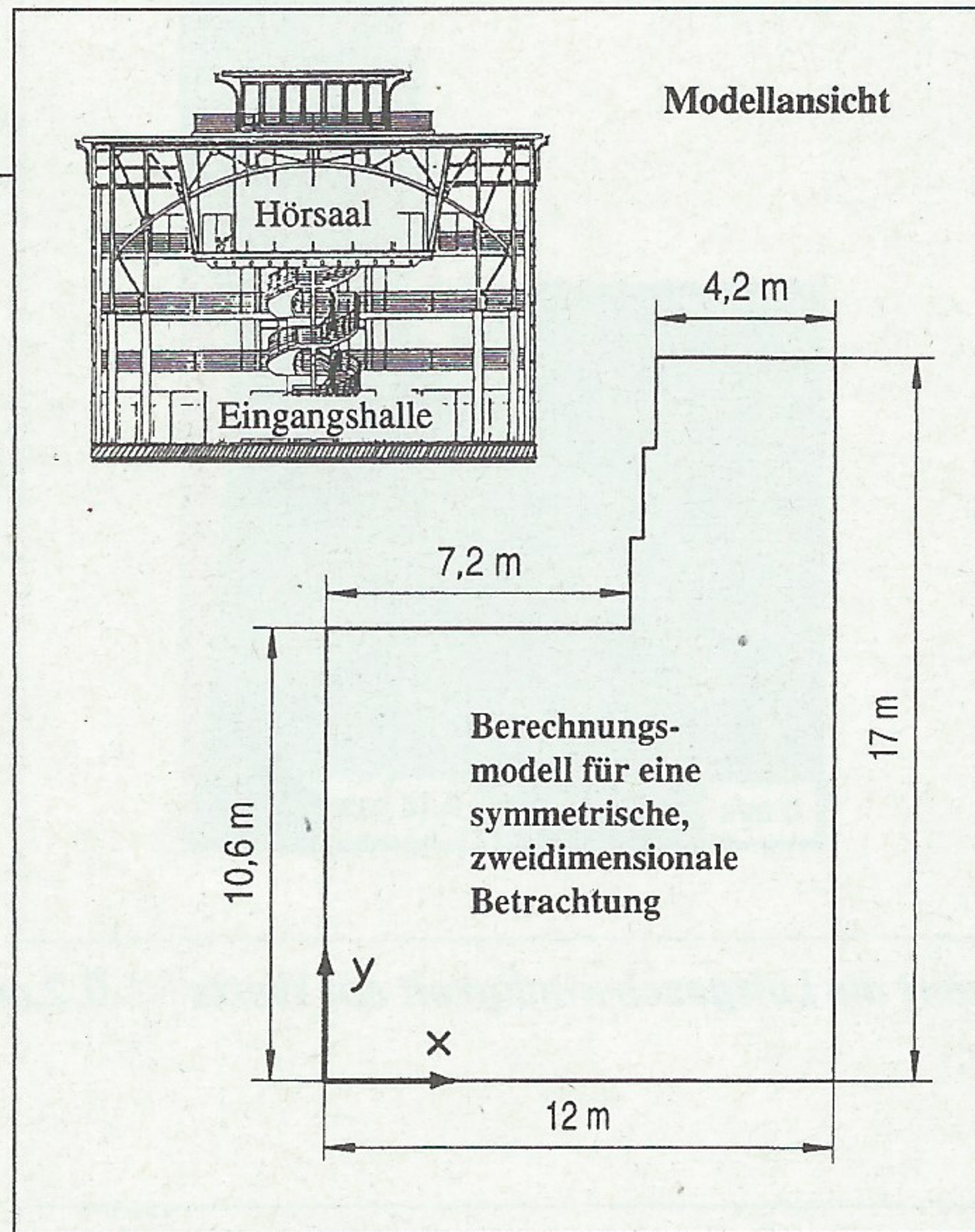


Bild 10: Querschnitt durch eine große verglaste Eingangshalle mit vereinfachtem, der Strömungssimulation zugrunde gelegten Symmetriequerschnitt. Die Luftströmung in der Halle wurde bei unterschiedlichen Beheizungsvarianten untersucht (Bilder 11 bis 13).

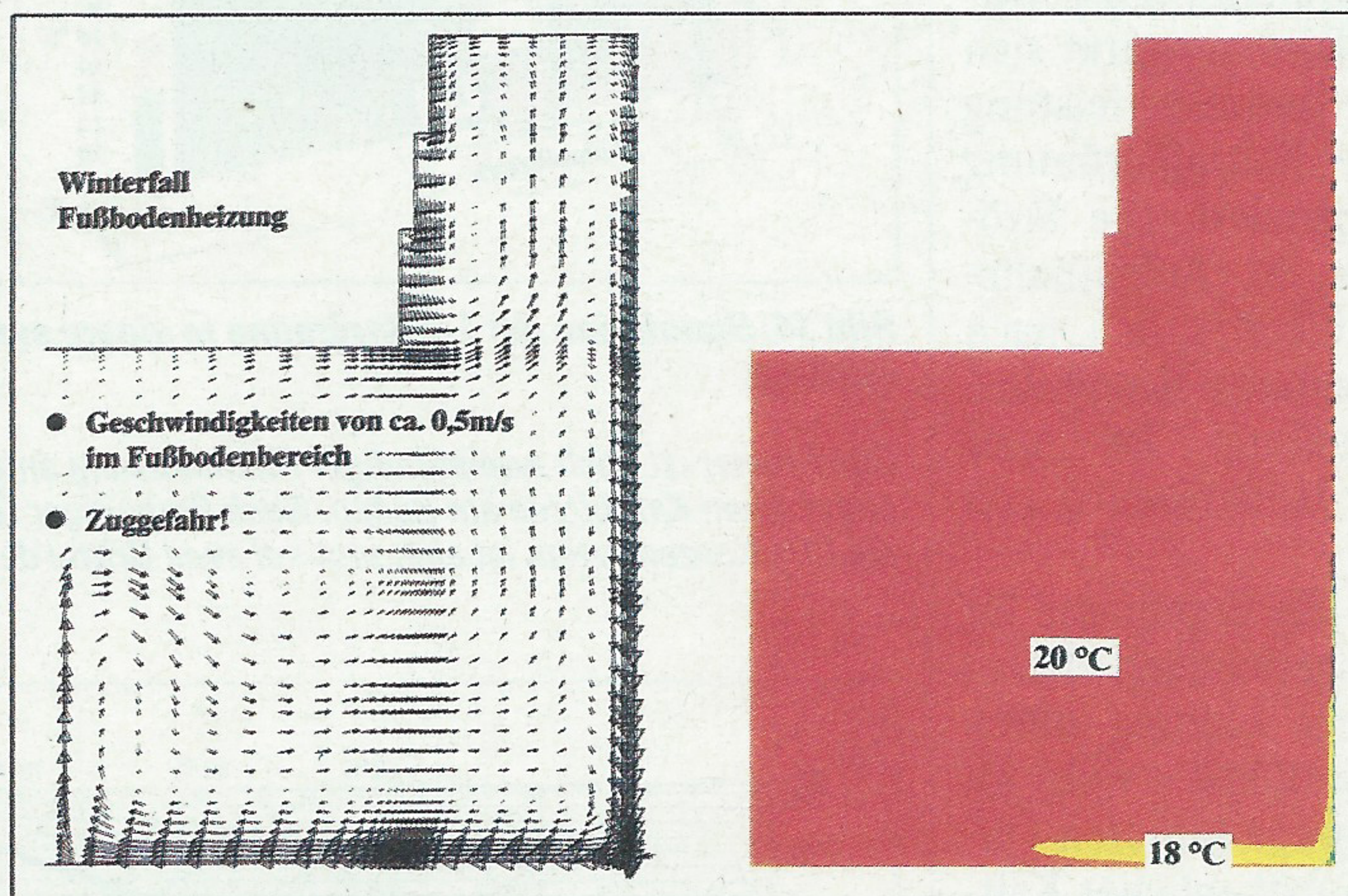


Bild 11: Fußbodenheizung. Ungebremsster Kaltluftabfall an den Außenwänden führt zu Diskomfort im Aufenthaltsbereich; hohe Luftgeschwindigkeit (0,5 m/s) und niedrige Lufttemperatur (18 °C).

Gebäudedurchströmung

Die Simulation der Gebäudedurchströmung geht von der äußeren Druckverteilung und dem inneren Gebäudeaufbau mit den speziellen Strömungspfaden aus. Es entsteht ein Netzmodell (Bild 9), das die Strömungswiderstände an Fenstern, Türen usw. in Form der Luftspalte – quantifiziert durch die Zeta-Werte – enthält. Das Netzmodell ergibt sich dreidimensional infolge Treppenhäuser, Aufzugsschächte, Lichthöfe usw. Die Luftvolumenströme durch alle Räume der Gebäude sind das Ergebnis.

Raumluftrömung

Die Simulation der Raumluftrömung geht von den Randbedingungen

- aufgeprägte Luftvolumenströme sowie
- Thermik durch innere Wärmequellen und Oberflächentemperaturen aus. Als Ziele stehen:
- die Sicherung der Komfortansprüche, wie Zugfreiheit und schadstofffreie Atemluft
- die Minimierung der Luftvolumenströme.

ENERGIEBEDARF/PLANUNG

Zur Lösung wird das gesamte Strömungsgebiet in Zellen, d. h. in sogenannte finite Volumina unterteilt und die gekoppelten partiellen Differentialgleichungen einer numerischen Lösung zugeführt. Die Ergebnisse umfassen alle interessierenden Größen, wie

- Strömungsgeschwindigkeit
- Temperatur
- Druck
- Turbulenzgrad
- Schadstoffkonzentration.

Im Bild 10 ist eine 17 m hohe, verglaste Eingangshalle mit einem eingehängten Hörsaal zu sehen. Im gesamten unteren Hallenbereich sollten wärmephysiologisch behagliche Verhältnisse garantiert werden. Der Architekt wollte dies mit einer Fußbodenheizung lösen. Das Simulationsergeb-

nis (Bild 11) war erwartungsgemäß ernüchternd. An den Außenwänden herabfallende Kaltluft schiebt sich mit einer Geschwindigkeit von 0,5 m/s über den Fußboden. Es besteht Zuggefahr. Da ein Unglück selten allein kommt, sind im Fußbo-

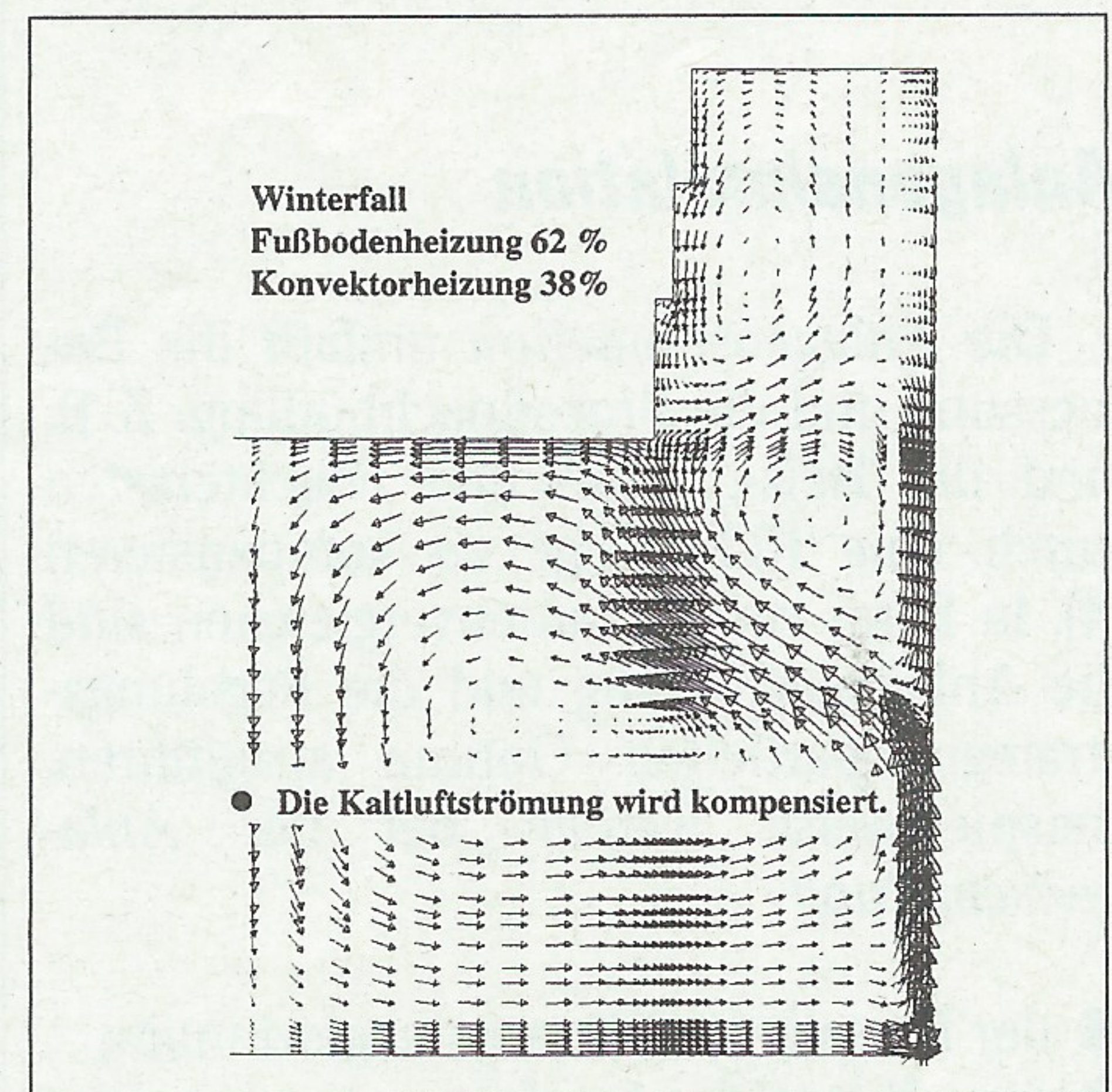


Bild 12: Fußbodenheizung mit reduzierter Leistung und Anordnung eines Konvektorbandes im Außenwandbereich mit ergänzender Heizleistung kehrt die Strömungsrichtung im Aufenthaltsbereich um.

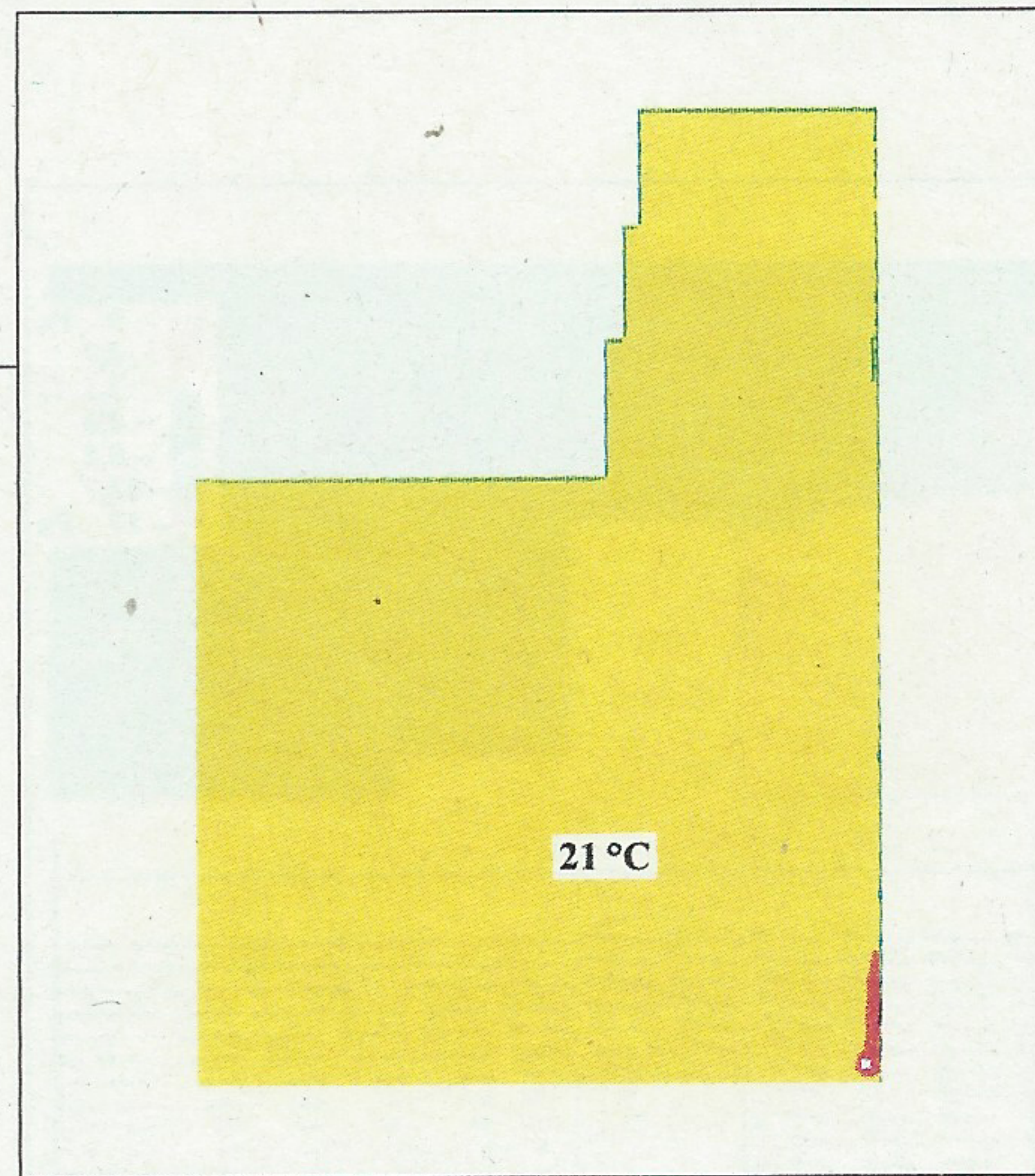
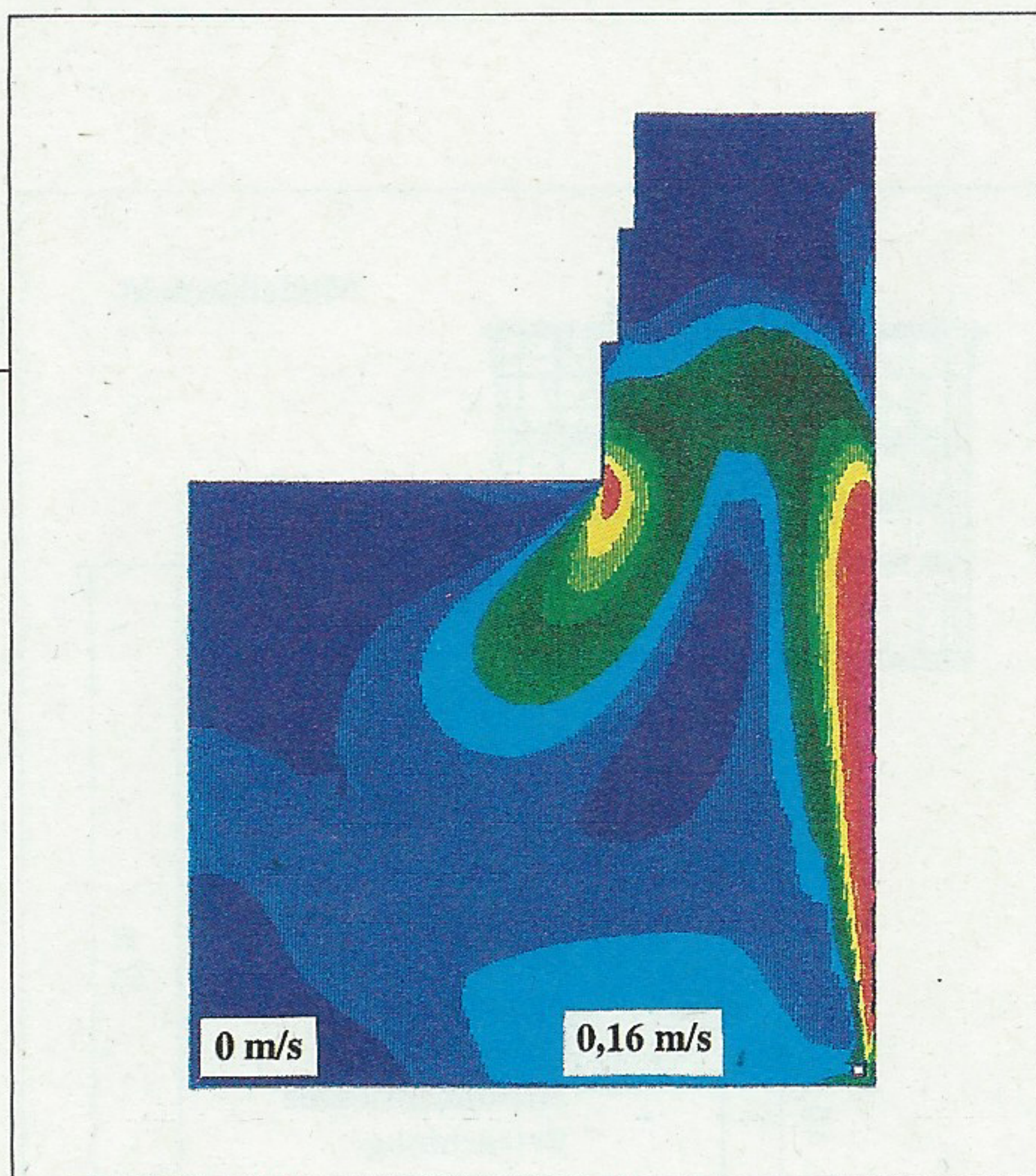
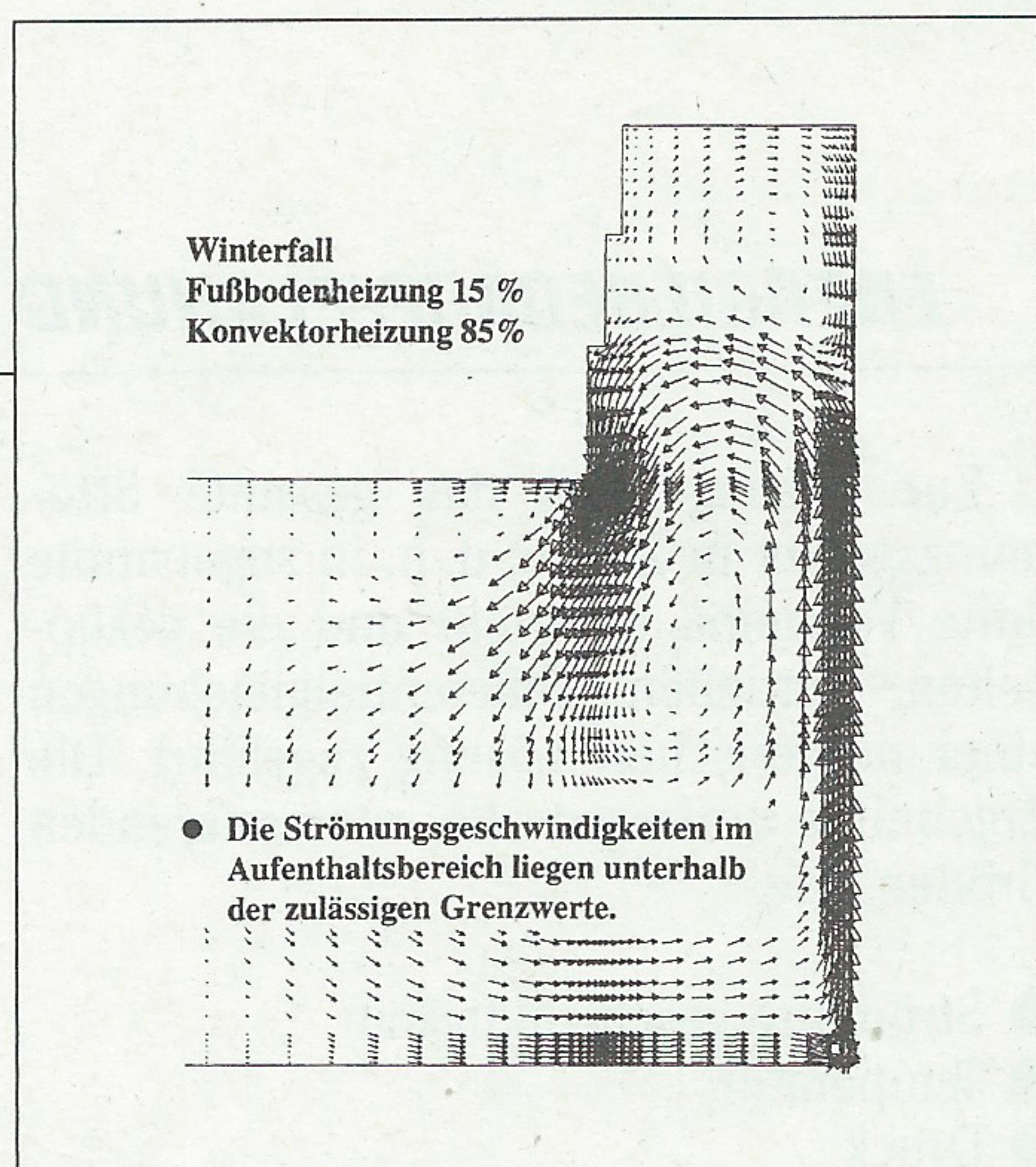


Bild 13: Weitere Umverteilung der Heizleistung reduziert die Luftgeschwindigkeit auf Werte $< 0,2$ m/s und schafft ausgeglichene Lufttemperaturen (20 °C) im Aufenthaltsbereich.

denbereich nicht nur hohe Luftgeschwindigkeiten, sondern auch mit 18 °C niedrige Lufttemperaturen zu erwarten. Diskomfort ist somit vorprogrammiert.

Die Aufteilung der Heizleistung auf die Fußbodenheizung mit 62% und eine an der Außenwand installierte Konvektorheizung mit 38% fängt die Kaltluftströmung wirkungsvoll ab (Bild 12). Dies verstärkt sich bei einer Erhöhung der Konvektorleistung auf 85% (Bild 13). Die Kaltluftströmung wird vollkommen kompensiert. Die Strömungsgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich sind kleiner als 0,2 m/s, d. h. nach DIN 1946 Teil 2 ohne weiteres akzeptabel. Die Lufttemperaturverteilung ist sehr gleichmäßig infolge der Luftströmung von innen nach außen.

Interessant sind auch die Ergebnisse für einen symmetrisch eingerichteten Bürohalbraum mit natürlicher Lüftung durch einen angekippten Fensterflügel – links im Bild 14 zu sehen. Nach sechs Minuten Öffnungszeit entsteht ein unbehaglicher Kaltluftsee mit einer Temperatur, die etwa der Außenlufttemperatur von 8 °C entspricht. Die CO₂-Konzentration ist in diesem Zeitraum aber erst auf zwei Drittel des Potentialunterschiedes zur Außenluft gesunken. Die Nachteile, die bei der Fensterlüftung auftreten, werden bei der Anordnung von Doppelfassaden noch verstärkt.

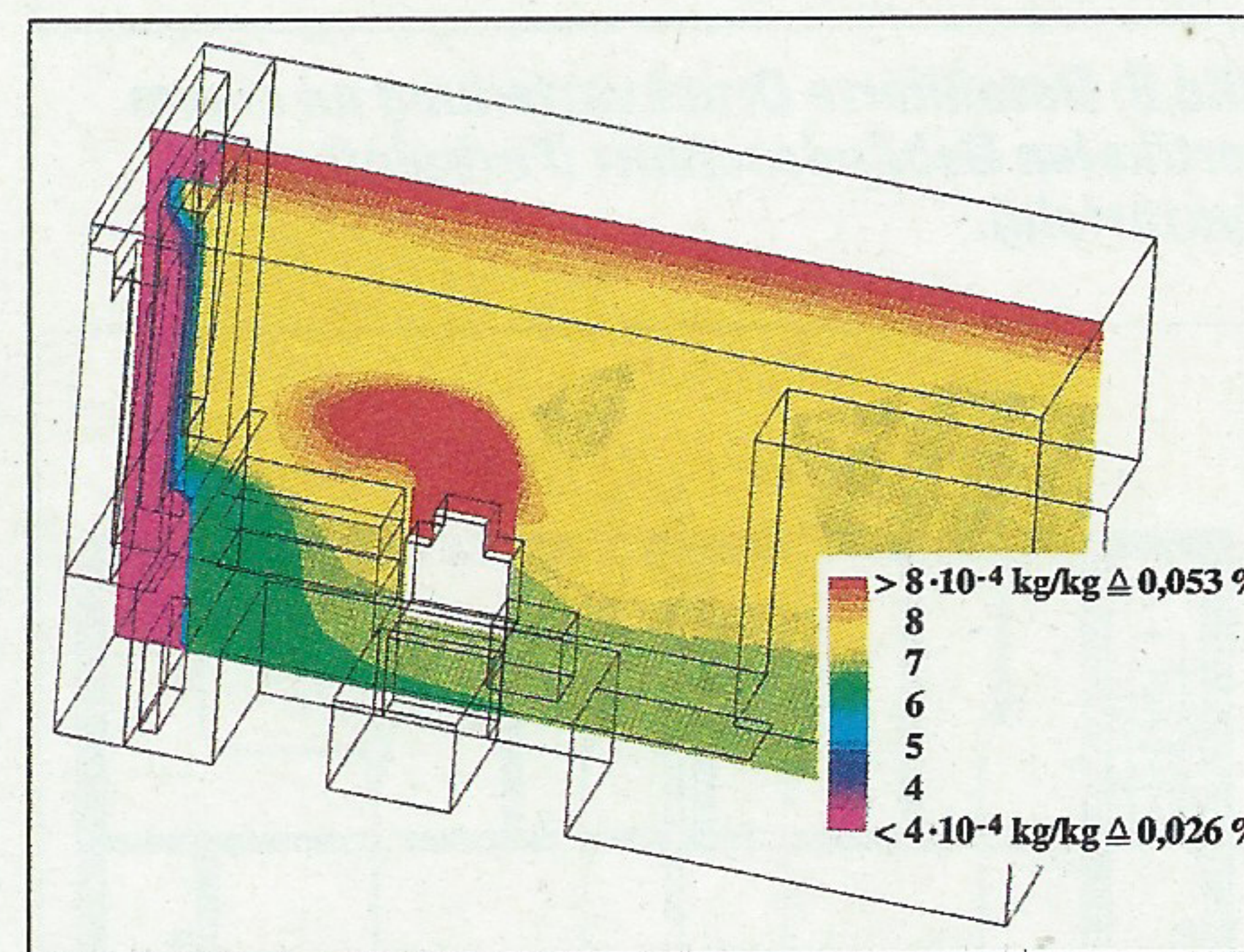
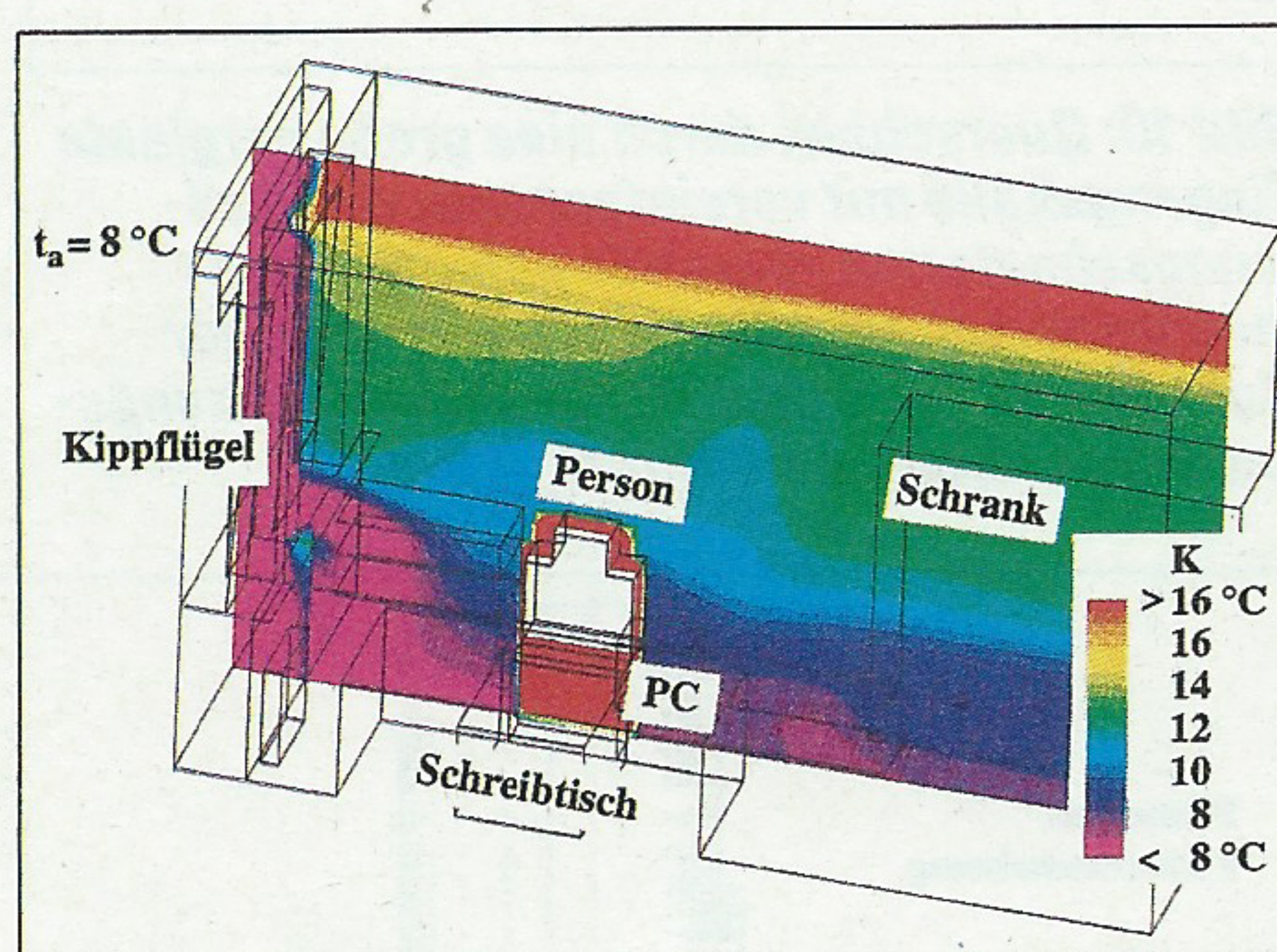


Bild 14: Simulation der Luftströmung in einem symmetrisch möblierten Büroraum bei Fensterlüftung.

Das Fenster ist nach zweistündiger Raumnutzung angekippt worden. Die eintretende Außenluft (8 °C) bildet einen Kaltluftsee am Boden. Nach 6minütiger Öffnungszeit hat sich die Raumluft stark abgekühlt, die CO₂-Konzentration ist aber erst auf zwei Drittel des Potentialunterschiedes zur Außenluft gesunken.

Anlagensimulation

Die Anlagensimulation umfasst die Bemessung und die Prozeßnachbildung. Z. B. sind die Heiz-, Kühl- und Feuchtelasten durch eine RLT-Anlage zu kompensieren [4]. In Form von Variantenvergleichen sind die Anlagenschaltung und die Regelungsstrategie partiellen Optima zuzuführen. Beispielsweise werden bei der Anlagenschaltung

- der Einsatz der Wärmerückgewinnung
 - die Vermeidung elektrisch erzeugter Kälte usw.
- untersucht. Bei der Regelungsstrategie sind
- der Betrieb über den Taupunkt

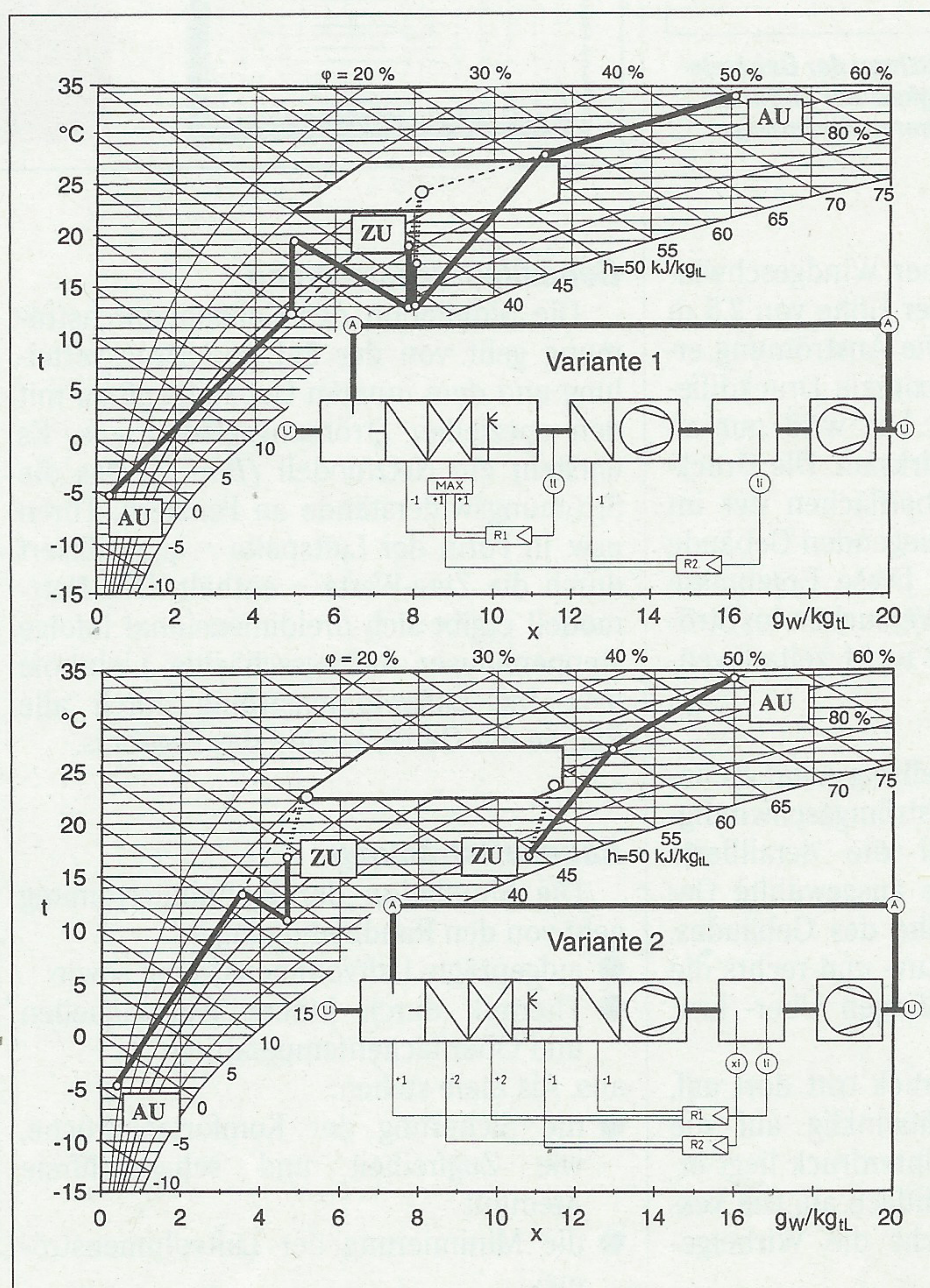


Bild 15: RLT-Anlage mit unterschiedlicher Regelungsstrategie und beispielhaften Zustandsverläufen bei Winter- und Sommerbetrieb.

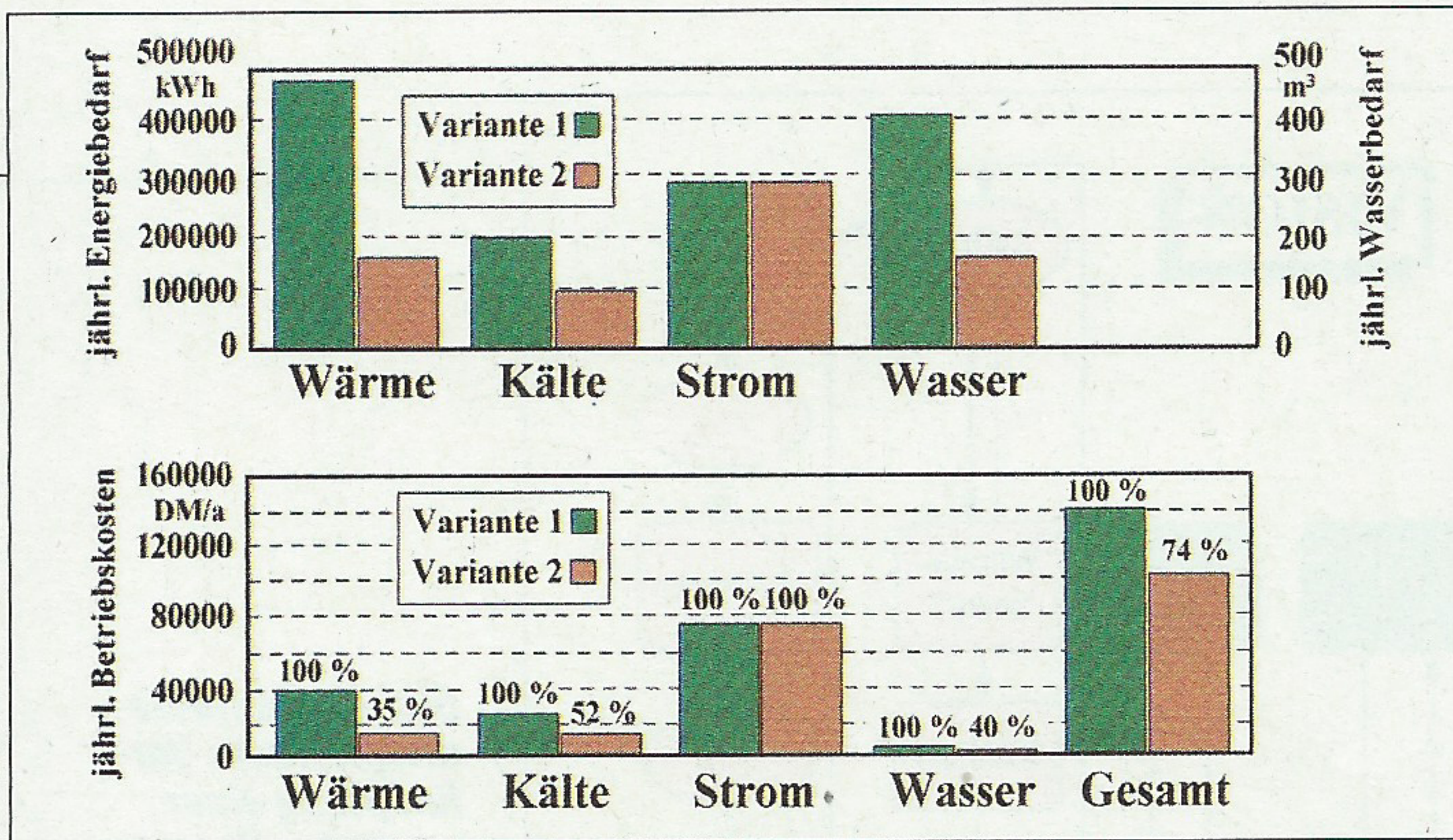


Bild 16: Ergebnisse der RLT-Anlagen-simulation gemäß Testreferenzjahr (Anlagenvarianten nach Bild 15).

- Einsatz regelbarer Wäscher
- fester Raumlufttemperatur-Sollwert,
- variabler Raumluftfeuchte-Sollwert usw. mögliche Vorgaben.

Im weiteren werden zwei Anlagenvarianten nach Bild 15 verglichen. Bei Variante 1 handelt es sich um eine taupunktgeregelte Anlage mit konstantem Raumzustand. Variante 2 besitzt einen geregelten Wäscher sowie eine geregelte Mischkammer, und es wird mit variablen Raumzuständen innerhalb des Behaglichkeitsbereiches gearbeitet. Das Ergebnis (Bild 16) ist frappierend. Man benötigt nur noch 35% der Wärme, 52% der Kälte und 40% des Wassers. Die Arbeit für die Lüfter bleibt bei diesem Beispiel allerdings konstant. Die jährlichen Betriebskosten reduzieren sich auf 74%.

Außer den genannten Variantenvergleichen wurde ein zum Patent angemeldetes Verfahren [5] zur optimalen Auswahl der einzusetzenden Aggregate und zur Realisierung einer optimalen Regelungsstrategie entwickelt, welches automatisch ein Gesamtoptimum hinsichtlich

- Energieaufwand
- Betriebskostenaufwand
- umweltrelevanter Größen

liefert. So ergeben sich beispielsweise die im Bild 17 dargestellten optimalen Winter-, Sommer- und Übergangs-Betriebsverläufe. Die Auswahl der betriebenen Aggregate, die Prozeßführung und die Fixierung des Raumzustandpunktes erfolgen vollkommen automatisch nach Optimierungsrechnungen. Im letzten Fall wird nur der Wäscher betrieben und mit 100% Außenluft gearbeitet. Der Raumzustandpunkt liegt mitten im Zielbereich. Der Energieaufwand ist absolut minimal. Wenn man die flexible Lage der Raumzustandpunkte betrachtet, wird die optimale Nutzung des zulässigen Behaglichkeitsbereiches deutlich.

Komplexe Simulation

Die komplexe Simulation nach dem ROM-Verfahren arbeitet online, ausgehend vom CAD über die energetische Simulation bis zur RLT-Anlagensimulation. Sie dauert pro Variante und Jahresgang etwa 30 min.

- Variante 1 zeichnet sich aus durch:
- 51% Fensteranteil
 - starre Verschattung auf der Südseite
 - Nachtabsenkung bis auf 20 °C
 - konventionell geregelte RLT-Anlage.

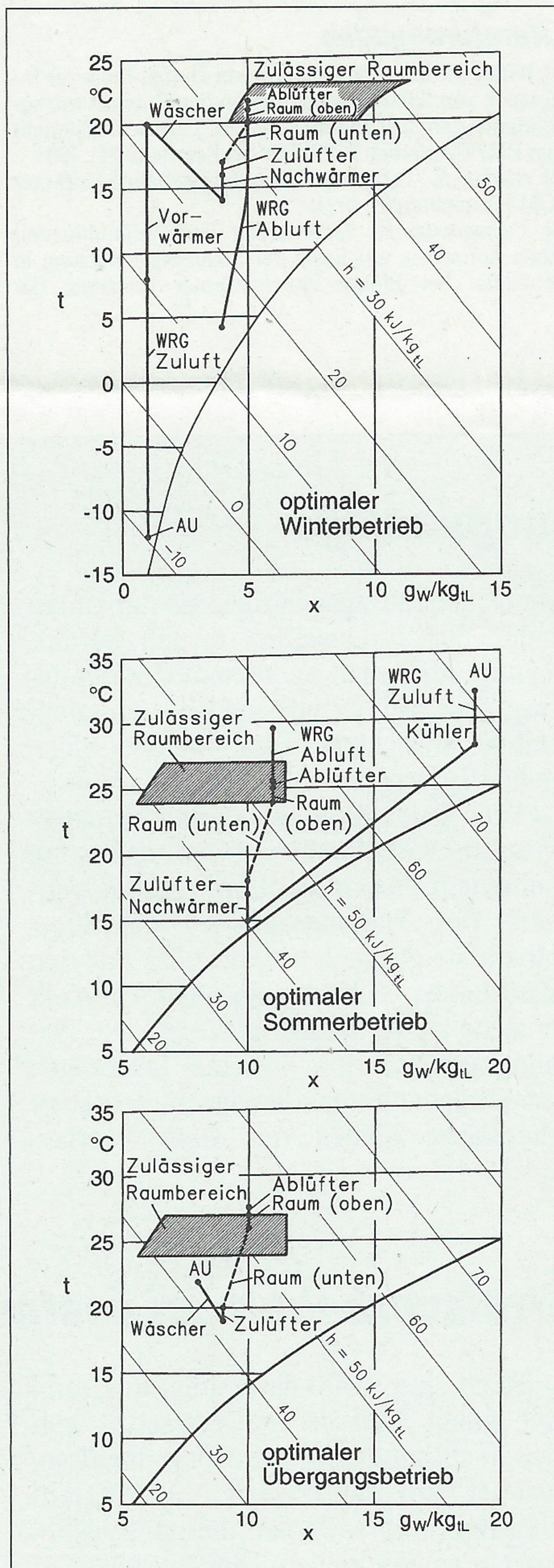


Bild 17: Simulationen von Luftaufbereitungsprozessen mit automatischer Auswahl der einzusetzenden Aggregate, der optimalen Regelungsstrategie und der günstigsten Lage des Raumpunktes innerhalb des zulässigen Behaglichkeitsbereiches (ROM-Patent-anmeldung).

Variante 2 erfährt in allen drei Entwurfsbereichen energetische Verbesserungen:

- 31% Fensteranteil
- gesteuerte Außenjalousie
- Nachtabsenkung bis 18 °C
- Nachtlüftung im Sommer bis auf 22 °C
- Kühldecke
- zeitweise freie Kühlung
- teilloptimiert geregelte RLT-Anlage mit WRG (50%).

Die Simulation über 8760 Stunden auf Grundlage des Testreferenzjahres Nr. 3 – für Hamburg gültig – ausgeführt, ergibt eine Betriebskostenreduzierung auf 34% (Bild 18).

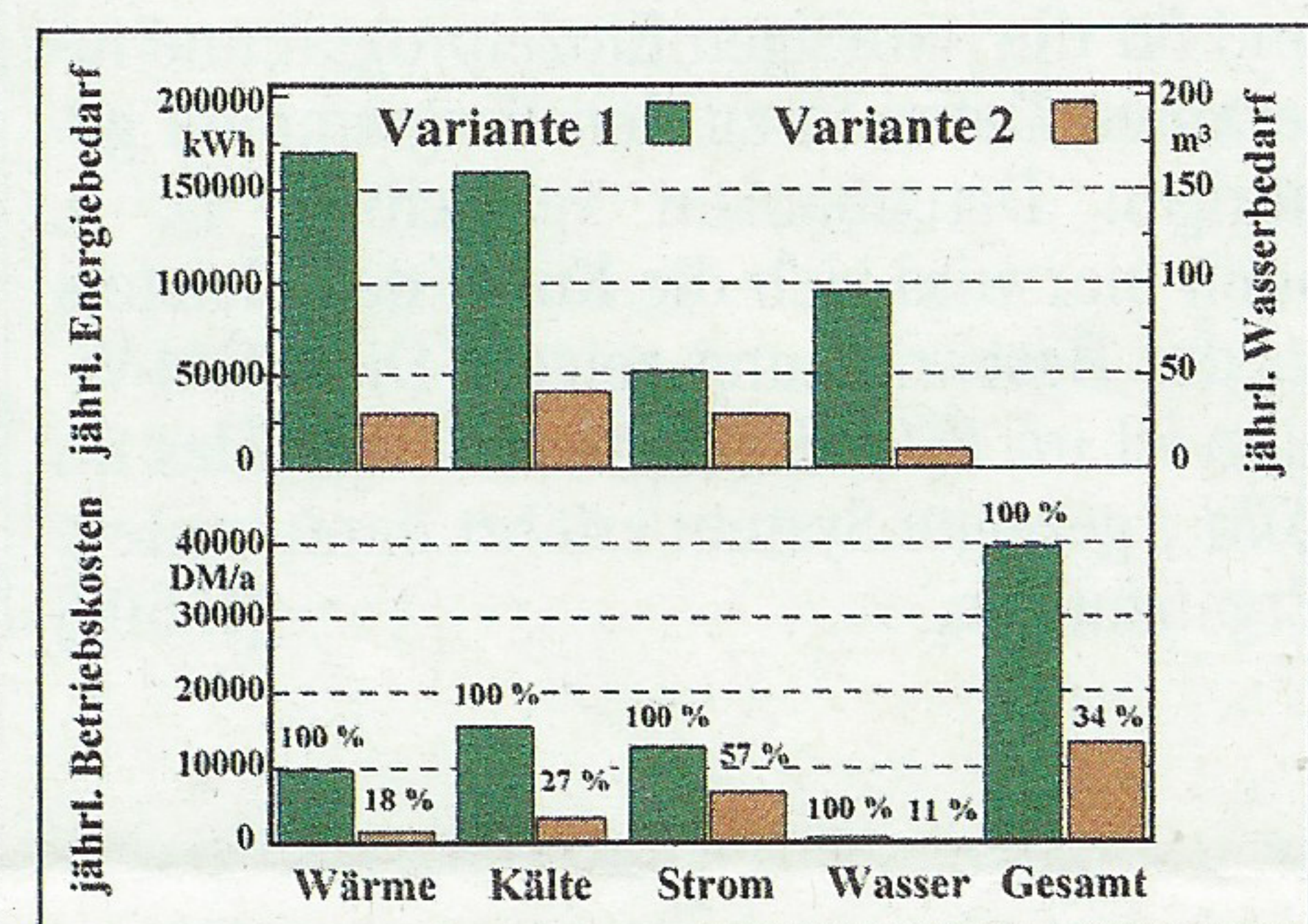


Bild 18: Energie- und Betriebskostenvergleich für ein Bürogebäude in Nord-Süd-Orientierung nach Bild 4 bei geringfügigen Änderungen am Gebäude sowie am Heizungs- und Lüftungskonzept und bei Einsatz einer teilloptimierten Anlagenbetriebsstrategie.

Damit wurde ein ideales Entwurfswerkzeug für „Integrales Planen“ geschaffen. Große Teile davon wurden vom BMFT – Projektträger BEO – gefördert. Die komplexe Simulation hat sich im praktischen Einsatz bereits bestens bewährt. Das Einsparpotential ist noch lange nicht ausgeschöpft. Alle an der Planung, beim Anlagenbau und beim Anlagenbetrieb Beteiligten sollten die Möglichkeiten durch eine frühe und intensive Zusammenarbeit nutzen.

Es läßt sich eindrucksvoll zeigen, wie beispielsweise durch Änderungen der Anlagenbetriebsführung, durch veränderte Fensterverschattung oder Betriebszeiten, durch Erhöhung der Speichermassen, Drehung des Gebäudes u. a. m. der Jahresenergiebedarf eine Veränderung erfährt. Die komplexe Simulation wurde auf der CONSTRUCTEC live vorgeführt.

Ausblick

Selbstverständlich wird die Entwicklung rasant weitergehen. Die Hardware bietet ungeahnte Möglichkeiten. Wichtig ist es dabei, die verschiedenartige Software verknüpfbar zu gestalten, beginnend bei den CAD-Systemen mit jeweils charakteristischen Funktionalitäten über spezielle

RECHTSPRECHUNG

Eigenentwicklungen – die das Firmen-Know-how darstellen – bis zu bewährten, von den zahlreichen Softwarehäusern angebotenen Bemessungsprogrammen. Dazu sollen flexible Datenbanksysteme z. B. Access genutzt und die genannten Programme mit einem vereinheitlichten „Steckeranschluß“ versehen werden. Damit können zukünftig neue und weiterentwickelte CAD-Systeme sowie Programme schnell in die komplexe Simulation eingebunden werden. Die Datenbanken enthalten sowohl die Basisdaten als auch die projektorientierten Daten. Wichtig ist dabei, daß diese Datenbank nicht zum Datendinosaurier wird. Das bedeutet, daß nur die Daten von übergeordnetem Interesse dort abgelegt werden und für die jeweiligen Einzelprogramme relevanten Daten in zu den Programmen gehörigen Datenbanken verbleiben. D. h. auch hier wird sich die Kunst des Meisters in der Beschränkung zeigen. Die ROM-Vision ist im *Bild 19* veranschaulicht. Das im *Bild 1* gezeigte System erfährt dann weitere Ergänzungen. [H 500]

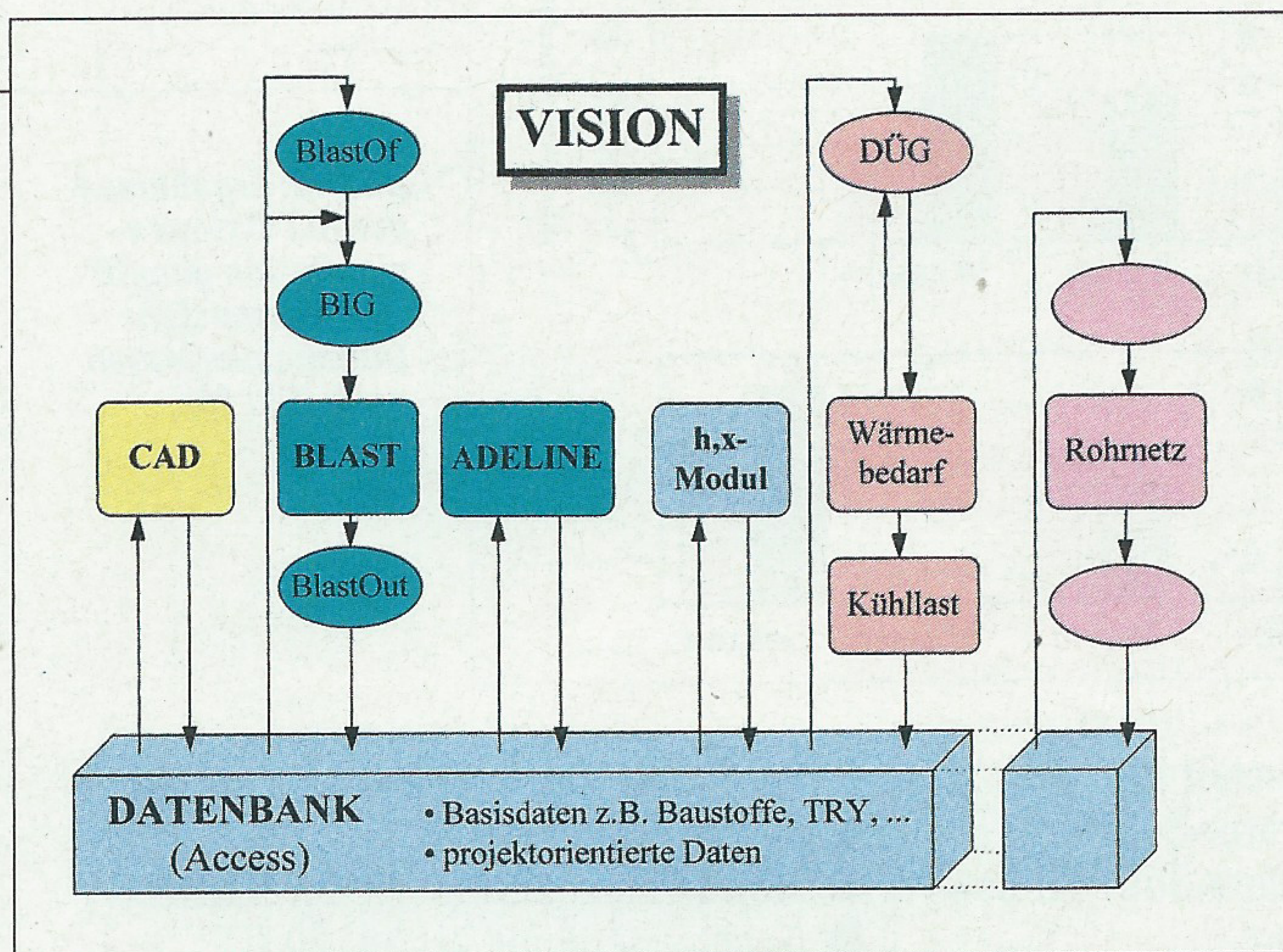


Bild 19: Geplante erweiterbare Verknüpfung einer zentralen Datenbank mit CAD-Systemen und Programmen unterschiedlicher Struktur und Nutzungseigenschaften.

Literaturangaben

- [1] Willan, U. u. a.: Entwicklung von Design-Tools zur Integration von Solarkomponenten in den Entwurf von solarorientierten Gebäuden („RETEx“). Abschlußbericht zum BMFT-Vorhaben 0329132A (in Bearbeitung), 1994.
- [2] Starke, R.: Parameterstudie Bürogebäude. Interner ROM-Firmenbericht, 1994.
- [3] Ochocinski, B.: Entwicklung von raumluftechnischen Konzepten auf Basis der Solarenergienutzung in Gebäuden bei Einsatz durchströmter Elemente der

- transparenten Wärmedämmung und-Formulierung von industriell einsetzbaren Entwurfsmethoden, Teil B: Simulation von Raumlufströmungen. Abschlußbericht zum BMFT-Vorhaben 0329016A, 1993.
- [4] Schiller, H.: Energieverbrauch Raumluftechnischer Anlagen. HLH 45 (1994) Nr. 7, S. 345-348.
 - [5] Glück, B.: Optimierung eines klimatechnischen Prozesses. Gesundheits-Ingenieur 1994, H. 3, S. 117-126, H. 4 S. 180-187, H. 5 S. 257-264.