

Bauphysik, ihre Anwendung und Beziehung zum Menschen = Physique du bâtiment, son application et ses relations avec l'homme

Autor(en): **Vital, Jon-Duri**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri**

Band (Jahr): **56 (1978)**

Heft 10

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-875222>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Bauphysik, ihre Anwendung und Beziehung zum Menschen

Physique du bâtiment, son application et ses relations avec l'homme

Jon-Duri VITAL, Bern

624.001.2:69.001.2:72.001.2

Zusammenfassung. Die Bedeutung der Bauphysik in der modernen Bauweise ist, besonders bei neuartigen Konstruktionen, von grosser Wichtigkeit. Bauphysik ist auf die menschlichen Behaglichkeitsgrössen und die Konstruktionen jedes Bauteils ausgerichtet. Die Zusammenhänge der Gebäudeteile zu den bauphysikalischen Grössen sind vielfältig und komplex. Die Berechnung eines Bauteils sowie der Ablauf einer Bauteile aus der Sicht des Bauphysikers werden schematisch erläutert. Mit diesem Beitrag soll dem Nichtfachmann das grosse, verantwortungsvolle Gebiet der Bauphysik in seiner Vielfalt vorgestellt werden.

Résumé. Dans l'architecture moderne, tout particulièrement dans le domaine des constructions d'un nouveau genre, la physique du bâtiment revêt une importance prépondérante. Elle est en effet centrée sur les critères de bien-être de l'homme et sur la conception de chaque élément de construction. Les relations entre les parties d'un bâtiment et les grandeurs propres à la physique du bâtiment sont multiples et complexes. On explique ici succinctement, dans l'optique d'un physicien du bâtiment, le calcul d'un élément de construction et le déroulement de l'édification d'un ouvrage. Cette contribution vise à présenter au non-spécialiste le domaine vaste et chargé de responsabilités de la physique du bâtiment.

Fisica delle costruzioni, sue applicazioni e relazioni con l'uomo

Riassunto. Nell'edilizia moderna la fisica delle costruzioni, soprattutto per quel che concerne le costruzioni più recenti, occupa una posizione di grande importanza. La fisica delle costruzioni si conforma al valore della comodità richiesta dall'uomo e alla fabbricazione di ogni elemento edile. I rapporti fra gli elementi di costruzione e i valori della fisica delle costruzioni sono svariati e complessi. La calcolazione di un elemento di costruzione, come anche la realizzazione successiva della costruzione vista dalla prospettiva del fisico edile, sono spiegate schematicamente. Per mezzo di questa relazione si vorrebbe presentare al non specialista il vasto e complesso campo della fisica delle costruzioni nella sua molteplicità.

1 Einführung

Die Fachrichtung «Bauphysik» wurde erst nötig, als innerhalb kurzer Zeit zahlreiche neue Materialien auf den Markt gebracht wurden. In frühester Zeit, bis etwa 1940, verwendete man nur Materialien und Konstruktionen, die sich über Jahrzehnte, ja sogar Jahrhunderte bewährt hatten. Durch die rasante Entwicklung der Technik wurden ebenfalls neue Baumaterialien entwickelt, die meistens ohne Laborversuche in Gebäuden verwendet wurden. Besonders sind hier die Isolationsmaterialien zu nennen, die eine bedeutend dünnere Aussenwandschale verlangten, und dies noch bei einem besseren k-Wert.

Das Flachdach wurde erfunden, und mit seinen Schäden verfestigte sich die Stellung des «Bauphysikers». Mit diesem Berufstitel wurde jedoch lange Zeit Unfug getrieben, so dass das Ansehen dieses neuen Zweiges nicht vielversprechend war. Durch seriöse Forschung namhafter Bauphysiker in der Bundesrepublik Deutschland, in der Deutschen Demokratischen Republik und später auch in der Schweiz wurde die Bauphysik gefestigt, und heute ist sie kaum mehr wegzudenken. Leider wird der Bauphysiker vielfach immer noch erst bei einem Schaden beigezogen, also dann, wenn kaum mehr eine vernünftige Lösung möglich ist. Eine Sanierung des Schadens stellt oft eine Notlösung dar, wird von einer Gesamtanierung abgesehen.

Welche Zusammenhänge und Kriterien bestehen in der gesamten Bauphysik? Was sagen sie aus? Wie werden sie interpretiert? Diese Fragen sollen in diesem kurzen Beitrag beantwortet werden.

1 Introduction

La «physique du bâtiment» ne devint une discipline nécessaire qu'au moment où de nombreux matériaux nouveaux inondèrent en peu de temps le marché. Autrefois, c'est-à-dire jusqu'à 1940 environ, on utilisait seulement des matériaux et des méthodes de construction ayant fait leurs preuves pendant des décennies, voire des siècles. L'évolution rapide de la technique conduisit depuis au développement de matériaux de construction nouveaux, qu'on utilisa ensuite en pratique sans essais de laboratoire préalables. Il y a lieu de relever notamment les matériaux d'isolation grâce auxquels une paroi extérieure beaucoup plus mince est possible et qui présentent de surcroît un coefficient k amélioré. Les nombreuses dégradations qui survinrent après l'avènement des toits plats renforcèrent la position du physicien du bâtiment. Toutefois, l'utilisation peu sérieuse que l'on fit pendant longtemps de ce titre ne fut pas de nature à lui attribuer l'estime qu'il mérite. Des recherches approfondies de physiciens du bâtiment renommés en République fédérale d'Allemagne, en République démocratique allemande et plus tard aussi en Suisse consolidèrent les bases de la physique du bâtiment et aujourd'hui plus personne ne songerait à s'en passer. A l'heure actuelle encore, on ne recourt malheureusement au physicien du bâtiment qu'à la découverte de dégradations, c'est-à-dire à un stade où toute solution raisonnable est devenue quasi irréalisable. Remédier aux défauts consiste alors généralement à adopter une solution de fortune, si l'on veut s'abstenir d'un assainissement radical. Quels rapports et critères observe-t-on dans la physique du bâtiment en général? Que signifient-ils et comment les interprète-t-on? Le présent exposé s'efforcera de répondre à ces questions.

2 Der Mensch im Mittelpunkt

Die Bauphysik soll im weitesten Sinne dem Menschen dienen und ihm bei der Tätigkeit maximale Behaglichkeit bieten. Der Mensch soll sich also in einem Raum wohl fühlen.

Dies kann im histotropen oder ergotropen Sinne geschehen. «Histotrop» heisst ruhende Bereitschaft, zum Beispiel im Wohnraum, Schlafzimmer usw.; «ergotrop» entspricht der Leistungsbereitschaft, wie im Büro, Arbeitsbereich usw. (Fig. 1).

Mit der Bauphysik kann also mehr oder weniger die Stimmung des Menschen beeinflusst werden. In welchen Grenzen und nach welchen Grundsätzen dies geschieht, ist der Wissenschaft noch nicht bekannt. Wohl sind Erfahrungswerte und Indizien vorhanden, die ein gewisses Behaglichkeitsgleichgewicht erkennen lassen, man kennt jedoch die zulässigen Schwankungen vom Idealen noch nicht. Der Mensch ist trotz seiner sensiblen und trägen Funktionen an die Umweltsituationen überaus anpassungsfähig. Dies bedeutet, dass zur Gesund- und Aufrechterhaltung des Lebens Schwankungen der Behaglichkeitsgrössen unbedingt notwendig sind. Diese sind insbesondere

- die Behaglichkeitsrhythmen (Temperatur und Feuchtigkeit)
- die Toleranzschwankungen (Lichtverhältnis)
- die kurzzeitigen Spitzenwerte (Lärm)

Die Behaglichkeitsrhythmen sind in einem vollklimatisierten Gebäude mit Komfortklima nicht mehr vorhanden. Die statische Konstanterhaltung des Klimas dient also kaum dem Behaglichkeitsgefühl des Menschen.



Fig. 1
Die zwei wichtigsten Zustandsformen des Menschen: ruhen und arbeiten — Les deux formes d'état les plus importantes pour l'homme: se reposer et travailler
Histotrop — Histotrope
Ruhebereitschaft im Wohnraum/Schlafraum — Contribue à la détente dans la salle de séjour/la chambre à coucher
Ergotrop — Ergotrope
Leistungsbereitschaft im Büro/Arbeitsumgebung — Stimule les activités au bureau/à la place de travail

2 L'homme au centre des préoccupations

La physique du bâtiment vise à servir l'homme au sens le plus large du terme et à lui offrir un maximum de bien-être dans ses activités. L'homme doit donc se sentir à l'aise dans le local qu'il occupe.

Selon le cas, deux méthodes conduisent à ce résultat, à savoir aménager le milieu ambiant de manière à favoriser la détente (état histotrope), par exemple dans une salle de séjour, une chambre à coucher, etc., ou à stimuler l'efficacité au travail (état ergotrope) dans les bureaux, les ateliers, etc. (fig. 1).

La physique du bâtiment permet donc d'influencer plus ou moins l'humeur de l'homme. La science ignore cependant encore dans quelles limites et selon quels principes cela peut se faire. Bien que disposant de valeurs d'expérience et d'indices qui permettent de déterminer l'équilibre nécessaire au bien-être, on ne connaît pas encore les fluctuations admissibles par rapport à des valeurs idéales. Malgré ses organes des sens très réceptifs, aux réactions relativement lentes, l'homme s'adapte très bien à son environnement. Cela signifie que, pour rester en bonne santé et même pour survivre, il lui est nécessaire de subir certaines fluctuations des paramètres de bien-être, parmi lesquels il y a lieu de citer:

- les rythmes de bien-être (température et humidité)
- les fluctuations de tolérances (variations dans l'éclairage)
- les brèves valeurs de crête (bruit)

Dans un bâtiment entièrement climatisé, présentant apparemment un climat confortable, les rythmes de bien-être n'existent plus. Maintenir le climat statistiquement constant ne sert donc guère à produire une sensation de bien-être chez l'homme. Les fluctuations de tolérance de la lumière sont extrêmement recommandables (rayonnement solaire, crépuscule, etc.). De brèves crêtes de bruit peuvent rompre la monotonie de l'ambiance de travail. Il est donc nécessaire à l'homme de jouir d'un certain niveau de bien-être auquel contribuent les paramètres récapitulés au *tableau 1*.

Parmi ceux-ci, on reconnaît quatre groupes principaux:

- le conditionnement de l'éclairage
- le conditionnement de l'acoustique des locaux
- le conditionnement thermique et celui de l'air
- le conditionnement des locaux visant à favoriser le bien-être

Chacun de ces groupes est caractérisé par certaines relations clairement définies. En ce qui concerne le conditionnement de l'éclairage, on distingue l'éclairage, les rapports de luminance et le climat créé par les couleurs. Dans le domaine de l'acoustique des locaux, on relève le temps de réverbération, le niveau sonore ainsi que la diffusion du son dans un local, de même que la géométrie du champ acoustique. Pour ce qui a trait au conditionnement de l'air, on prend en considération la température et l'humidité de l'air, la température de surface de la paroi extérieure, la géométrie de convection, le changement d'air, l'insolation et la concentration ionique. Finalement, la grandeur, les proportions, la forme, l'agencement et la couleur des locaux jouent un rôle important. Pour ce qui est du microclimat, le physicien du

Tabelle I. Behaglichkeitsgrössen
Tableau I. Paramètres de bien-être

Konditionierung Conditionnement	Parameter Paramètres	Einheit/Angabe Unité/Indication
Lichttechnische De l'éclairage	<ul style="list-style-type: none"> - Beleuchtungsstärke Eclairage - Leuchtdichteverhältnisse Rapport de luminance - Farbklima Climat créé par les couleurs 	Lux 1 : x warm oder kalt chaud ou froid
Raumakustische De l'acoustique des locaux	<ul style="list-style-type: none"> - Nachhallzeit Temps de réverbération - Raumschallpegel Niveau sonore d'un local - Schallfeldgeometrie Géométrie du champ acoustique - Raumdiffrusität Diffusion du son dans un local 	T in/en s dB
Thermische Thermique Luft De l'air	<ul style="list-style-type: none"> - Lufttemperatur Température de l'air - Luftfeuchtigkeit Humidité de l'air - Oberflächentemperatur Température de surface - Strömungsgeometrie Géométrie de convection - Luftwechsel Changement d'air - Besonnung Insolation - Ionenkonzentration Concentration ionique 	°C (%) relative Feuchtigkeit (%) humidité relative °C x/h oder/ou m ³ /h Sonnenscheindauer Durée d'insolation
Raumbehaben Du local (bien-être)	<ul style="list-style-type: none"> - Raumgrösse Grandeur du local - Raumproportion Proportions du local - Formgestaltung Forme du local - Farbgestaltung Couleurs choisies 	m ² L : B : H Farbangabe Indication de la couleur

Toleranzschwankungen des Lichtes sind überaus empfindenswert (Sonnenschein, Dämmerung usw.). Kurzzeitige Spitzenwerte des Lärms können die Monotonie des Arbeitsklimas unterbrechen. Der Mensch braucht also ein gewisses Behaglichkeitsniveau, das in Behaglichkeitsgrössen eingeteilt wird (Tab. I).

Primär sind vier Hauptgruppen von Behaglichkeitsgrössen zu nennen:

- die lichttechnische Konditionierung
- die raumakustische Konditionierung
- die thermische Konditionierung und jene der Luft
- das Raumbehaben

Jede dieser Hauptgruppen weist einige Parameter, das heisst fest definierte Beziehungen auf. Bei der lichttechnischen Konditionierung sind es etwa Beleuchtungsstärke, Leuchtverhältnisse und Farbklima. Bei der raumakustischen Konditionierung sind Nachhallzeit, Raumschallpegel, Schallfeldgeometrie und Raumdiffrusität zu nennen. Bei der thermischen Konditionierung und jener der Luft seien Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Oberflächentemperatur der Aussenwand, Strömungsgeometrie, Luftwechsel, Besonnung und Ionenkonzentration genannt. Schliesslich sind für das Raumbehaben Raumgrösse, Raumproportion, Form- und Farbgestaltung von Bedeutung. Den Bauphysiker interessiert im kleinen Raum die Luftfeuchtigkeit, Luft- und Oberflächentemperatur, allfällig Nachhallzeit und Raumschallpegel.

bâtiment doit connaître l'humidité et la température de l'air ainsi que la température de surface, éventuellement le temps de réverbération et le niveau sonore du local. Mais comment faut-il mettre ces grandeurs en relation avec l'homme?

La figure 2 montre les paramètres de bien-être que perçoit l'homme sous forme de sensations ou de stimuli isolés. Ces sensations ou stimuli sont enregistrés par les organes des sens. Il en résulte une intégration des sensations et des stimuli qui, en fin de compte, influe sur l'humeur de l'homme, soit au sens «ergotrope», soit au sens «histotrope», ce qu'illustrent les exemples suivants:

- Si la *température de surface* des parois est trop basse par rapport à la température ambiante, la peau le perçoit. Elle doit céder de la chaleur, ce dont résulte une intégration avec la température et l'humidité de l'air. Un rapport incorrect entraîne une sensation de froid.
- En cas de rapport défavorable entre la *température* et l'*humidité*, les muqueuses du nez de l'homme se dessèchent, lorsque l'humidité relative est trop faible, ce qui peut conduire à des refroidissements. Une humidité relative trop élevée peut, en revanche, provoquer la diaphorèse (transpiration exagérée) ou même des maladies.
- Si le *temps de réverbération* est trop long, l'intelligibilité en souffre et s'il est trop bref, les sons paraissent étouffés et sans timbre: l'homme se sent isolé. Le

Wie sind nun diese Grössen mit dem Menschen in Verbindung zu bringen? *Figur 2* zeigt die Behaglichkeitsgrössen, die entweder als Einzelempfindungen oder Einzelreize zum Menschen gelangen. Der Mensch nimmt diese Empfindungen oder Reize mit seinen Organen auf. Daraus ergibt sich die Empfindungs- oder Reizintegration, die, zusammengefasst, die Stimmung des Menschen entweder ergotrop oder histotrop ergibt.

temps de réverbération doit être déterminé en fonction de l'utilisation du local; il sera, par exemple, plus bref pour la parole que pour la musique.

- La *couleur* exerce également une influence importante sur l'humeur. Dans les jardins d'enfants, on s'est aperçu que les sols rouges avaient un effet calmant. L'homme réagit d'ailleurs différemment aux couleurs selon son âge.

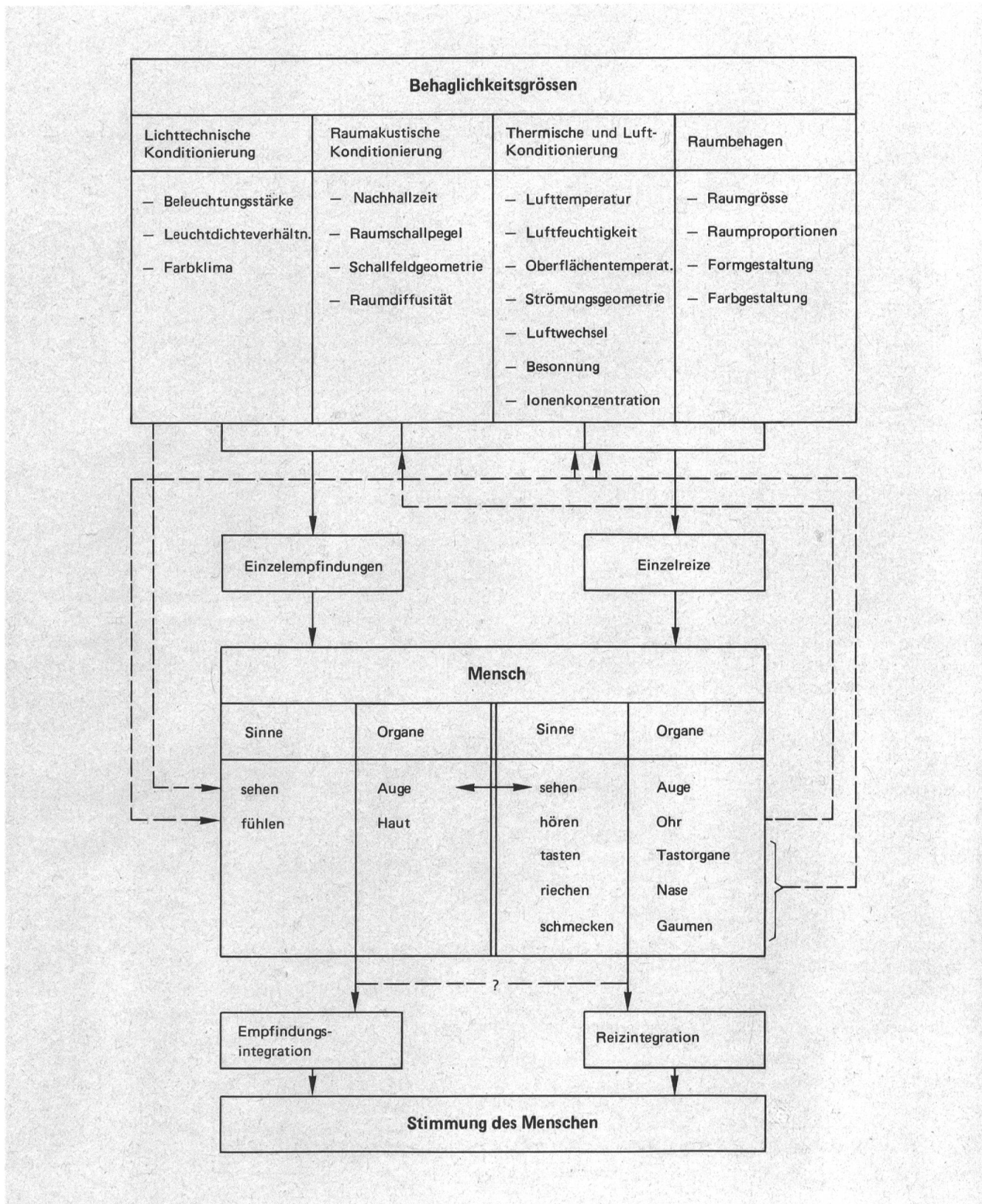


Fig. 2
Reiz- und Empfindungsintegration (Korrelation verschiedener Reize und Empfindungen)

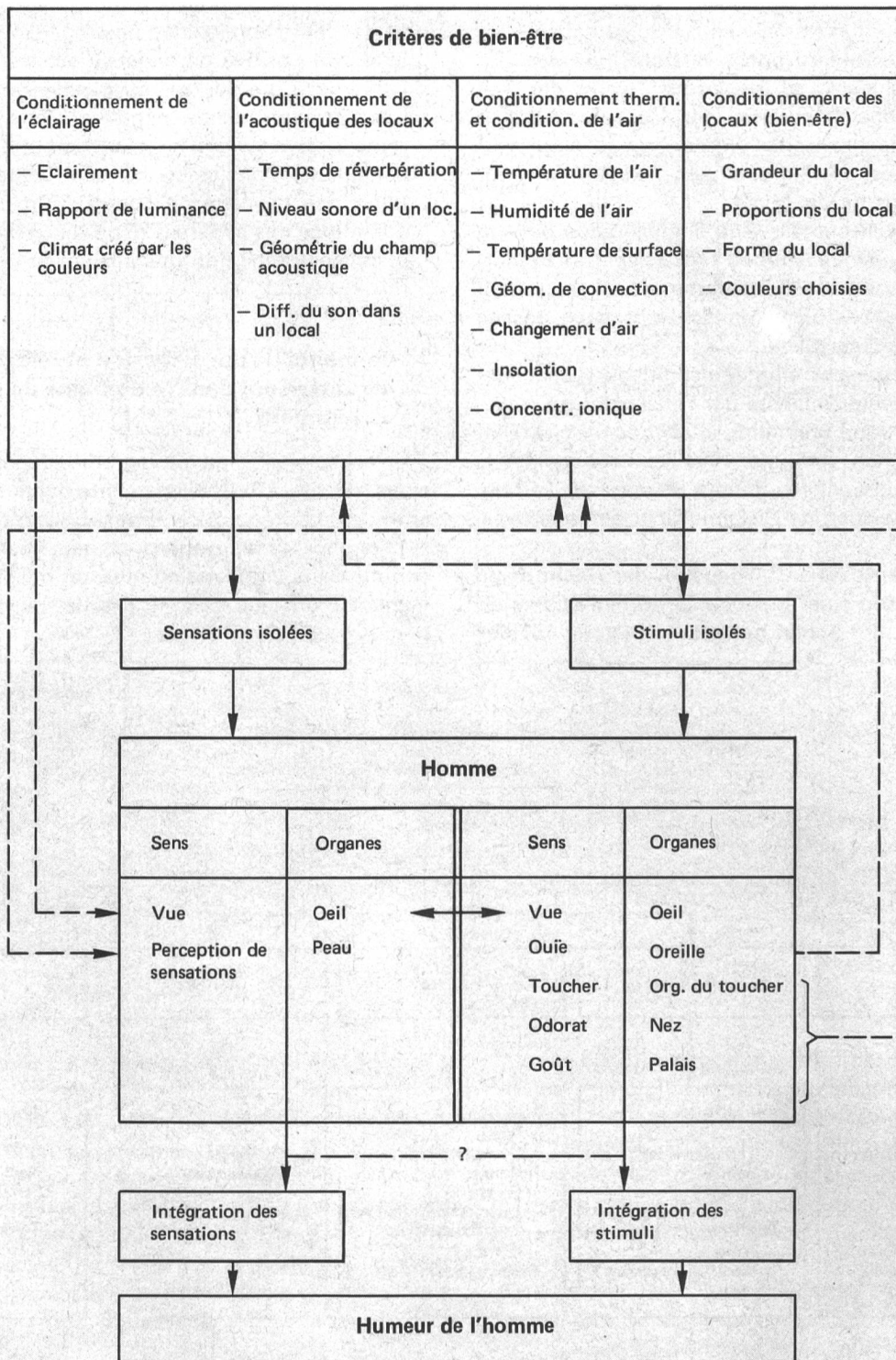


Fig. 2
Intégration des stimuli et des sensations (corrélations de divers stimuli et sensations)

Folgende Beispiele mögen dies veranschaulichen:

- Ist die *Oberflächentemperatur* der Wände im Vergleich zur Raumtemperatur zu tief, fühlt dies die Haut. Sie muss Wärme abgeben, es kommt zur Integration mit Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Wenn das Verhältnis nicht stimmt, friert der Mensch.
- Ist das Verhältnis von *Temperatur* zur *Feuchtigkeit* ungünstig, werden beim Menschen bei zu tiefer relativer Feuchtigkeit die Schleimhäute der Nase ausgetrock-

net. *Le bruit* nuit à l'efficacité au travail et conduit à une augmentation des erreurs.

- Pour atteindre un effet ergotrope dans le *domaine de l'éclairage*, il est nécessaire de prévoir au moins 1000 lux.
- Les locaux mal proportionnés peuvent être rééquilibrés optiquement par l'application de couleurs adéquates.
- De nuit, le niveau de bruit extérieur maximal ne devrait pas excéder 35 dB dans une zone de cure, sans

- net, was zu einem Schnupfen führen kann. Eine zu hohe relative Feuchtigkeit kann Schweißausbruch und schlimmstenfalls Krankheit zur Folge haben.
- Ist die *Nachhallzeit* zu hoch, versteht man das Gesprochene schlecht; ist sie zu tief, wirkt der Ton dumpf und ohne Klangfarbe, der Mensch fühlt sich einsam. Die Nachhallzeiten werden je nach Raumverwendung angesetzt. Sie sind zum Beispiel tiefer für die Sprache als für die Musik.
 - Die *Farbe* spielt ebenfalls eine dominierende Rolle in der Stimmung. Kinder werden zum Beispiel im Kindergarten ruhig, wenn die Bodenfarbe rot ist. Die einzelnen Farben wirken beim Menschen je nach dessen Alter sehr unterschiedlich.
 - Der *Lärm* verursacht eine Abnahme der Leistungsfähigkeit und eine Zunahme der Fehlleistungen.
 - Um eine ergotrope Stimmung in *lichttechnischer* Hinsicht zu erreichen, sind über 1000 Lux notwendig.
 - Schlecht proportionierte Räume können mit Farben, rein optisch, wieder ins Gleichgewicht gebracht werden.
 - Der maximale Aussenschallpegel in der Nacht sollte beispielsweise in einer Kurzone 35 dB nicht übersteigen, da sonst der Schlaf gestört wird (Norm 181 des

quoil le sommeil en souffrirait (norme 181 de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, SIA).

- La concentration ionique peut également exercer une influence positive ou négative sur les prestations de l'homme. L'air doit en effet posséder une certaine concentration d'ions négatifs. Cette condition est remplie dans les bâtiments en bois, mais non dans les constructions en béton, vu que l'armature du béton fait office de cage de Faraday. On obtient dans le commerce des appareils d'ionisation qui maintiennent la concentration des ions à la valeur nécessaire.

3 Eléments de construction et relations qui les caractérisent dans le domaine de la physique du bâtiment

En pratique, il s'agit d'intégrer les expériences et principes relatifs à la meilleure interdépendance possible entre les différents paramètres. S'il est moins facile de le faire pour les rénovations, on peut néanmoins en tenir compte dans une certaine mesure, mais n'en tirer pleinement profit que dans le cas de nouvelles constructions.

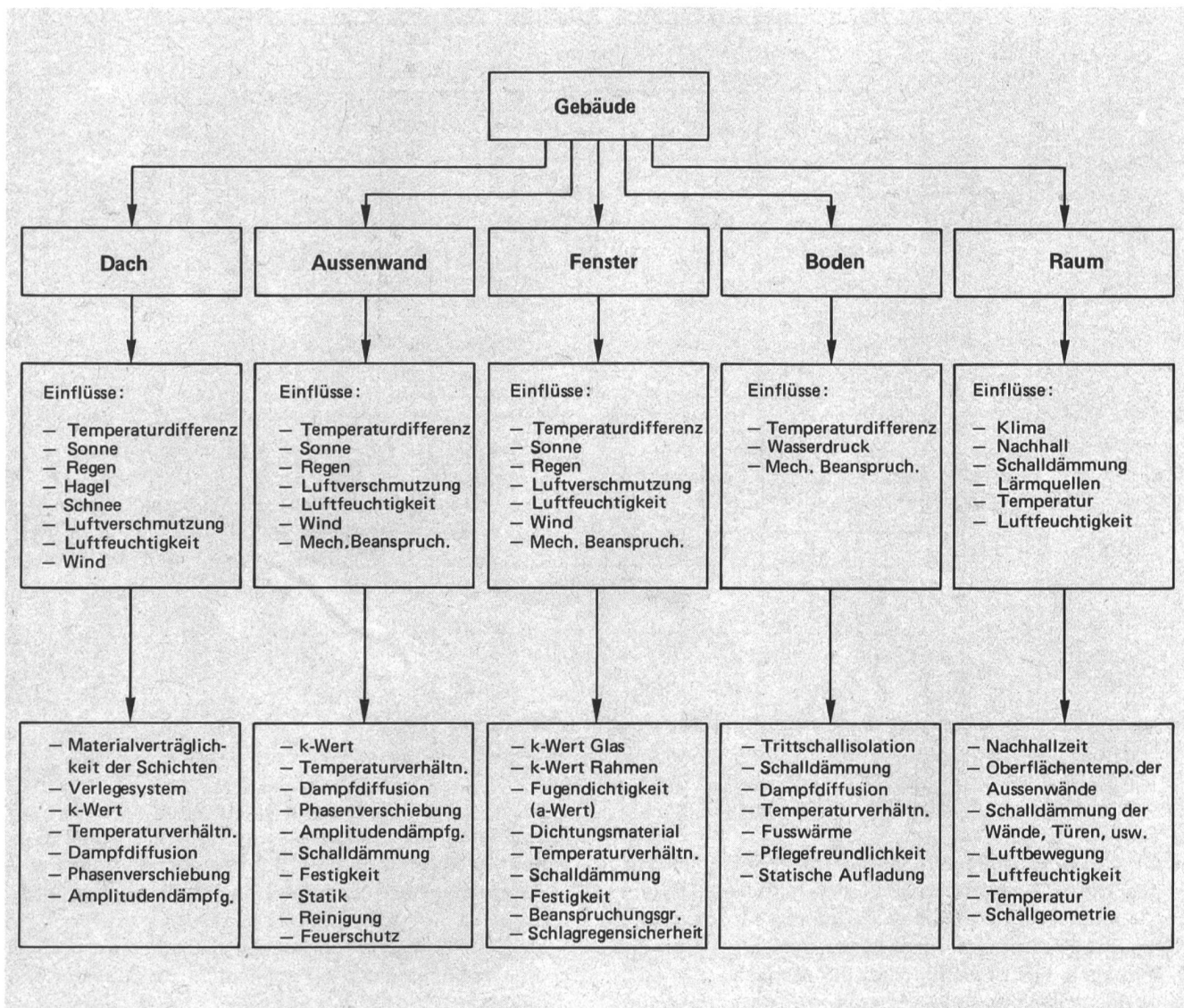


Fig. 3 Gebäudeelemente und deren physikalische Zusammenhänge (Wärme, Dampfdiffusion, Schall)

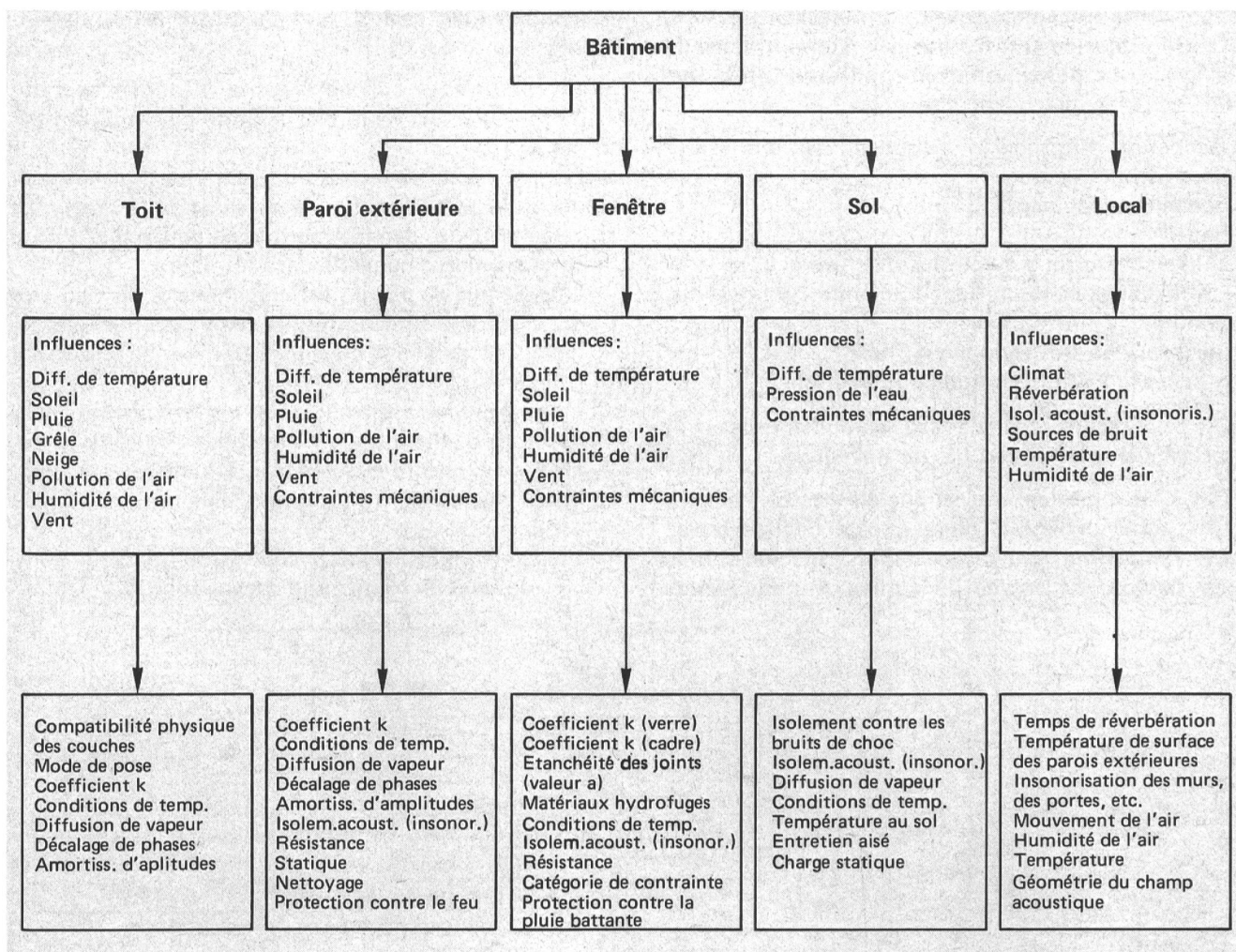


Fig. 3
Rapports physiques existant entre les divers éléments de construction (chaleur, diffusion de vapeur, son)

Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, SIA).

- Die Ionenkonzentration wirkt auf die Arbeitsleistung des Menschen positiv oder negativ. Die Luft muss eine gewisse Konzentration negativer Ionen enthalten. In einem Holzbau ist diese Bedingung erfüllt, in einem Betonbau hingegen nicht, da der Eisenbeton wie ein Faradayscher Käfig wirkt. Ionengeräte, die die notwendige Konzentration künstlich aufrechterhalten, sind jedoch im Handel erhältlich.

3 Gebäudeteile und deren bauphysikalische Zusammenhänge

Die Erfahrungen und Leitsätze der bestmöglichen Abhängigkeit verschiedener Komponenten (Parameter) müssen nun in der Praxis integriert werden. Bei Renovationen können sie weniger gut, aber noch ausreichend, bei Neubauten in vollem Umfang angewendet werden.

Die physikalischen Zusammenhänge zu den Gebäudeelementen sind vielfältig und kompliziert. *Figur 3* stellt diese dar, jedoch nur für Wärmeleitung, Dampfdiffusion und Schall. Annähernd am meisten wird das Dach beansprucht (die meisten Schäden rühren entsprechend von diesem Bauteil, hauptsächlich dem Flachdach her). Als nächste Elemente sind die Aussenmauer und die Fenster zu nennen. Mit etwas Abstand folgen Raum und Boden.

Les rapports physiques que l'on distingue entre les éléments d'un bâtiment sont multiples et complexes. La *figure 3* se borne à l'illustrer pour la conduction thermique, la diffusion de la vapeur et l'acoustique. Les contraintes les plus prononcées s'exercent en général sur le toit (la plupart des défauts proviennent d'ailleurs surtout des toits plats). Viennent ensuite les parois extérieures et les fenêtres, puis, dans la même gradation, les locaux et les sols. Cela conduirait trop loin de citer les influences, dépendances et paramètres du domaine de la physique du bâtiment pour tous les éléments d'une construction. A titre d'exemple, nous examinerons le cas de la *paroi extérieure* (voir l'image de couverture). Les influences essentielles auxquelles elle est exposée sont:

- la différence de température entre le jour et la nuit et entre l'été et l'hiver
- l'insolation
- la pluie
- la pollution de l'air par la suie, le soufre, etc.
- l'humidité de l'air due au brouillard, au climat d'été et d'hiver
- le vent
- les contraintes mécaniques, notamment celles que produisent les machines et la présence de l'homme au rez-de-chaussée

Es würde jedoch zu weit führen, die Einflüsse und deren bauphysikalische Abhängigkeit und Größen für sämtliche Gebäudeelemente zu nennen. Stellvertretend für alle sei hier die *Aussenwand* näher erläutert (siehe *Titelbild*). Ihre wichtigsten Einflüsse sind:

- Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht, Sommer und Winter
- Sonneneinstrahlung
- Regen
- Luftverschmutzung durch Russ, Schwefel usw.
- Luftfeuchtigkeit durch Nebel, Sommer-/Winterklima
- Wind
- mechanische Beanspruchung, hauptsächlich im Erdgeschoss, durch Maschinen und Menschen

Die zu berechnenden oder abzuklärenden Größen erstrecken sich vom *k*-Wert bis zur Reinigung.

- Der *k*-Wert gibt an, wieviel Energie das Element verliert; je kleiner die Zahl, desto weniger Energieverlust.
- Die *Temperaturverhältnisse* in den Schichten sind für die *Dampfdiffusion* von Bedeutung. Mit der Berech-

Les grandeurs à déterminer ou à prendre en considération pour les calculs vont du coefficient *k* au nettoyage:

- Le *coefficient k* indique la perte d'énergie de l'élément. Plus il est petit, plus la perte d'énergie est faible.
- Les *conditions de température* dans les couches sont importantes à l'égard de la *diffusion de la vapeur*. Le calcul de cette dernière permet de déterminer s'il y a condensation d'humidité dans les parois.
- Le *décalage de phases* est un paramètre de bien-être qui s'exprime en heures. Plus cette valeur est élevée, moins les variations de climat extérieur se ressentent à l'intérieur.
- L'*amortissement d'amplitudes en température* indique dans quelle mesure les variations du climat extérieur sont encore perceptibles à l'intérieur du bâtiment. Plus ce chiffre est grand, plus l'amortissement est bon.
- L'*isolation acoustique (insonorisation)* indique combien de bruit un élément de construction (paroi, fenê-

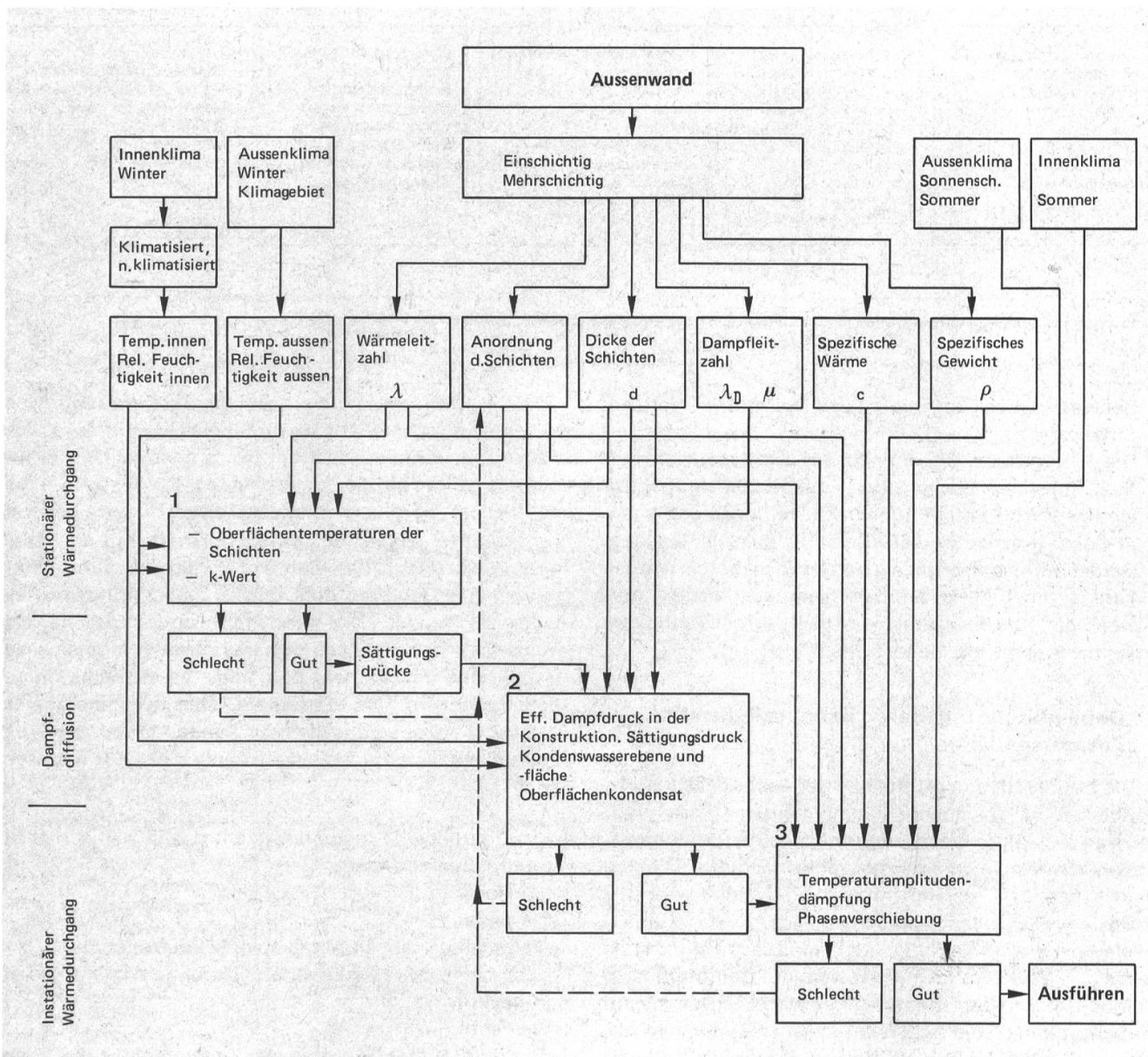


Fig. 4 Berechnung einer Aussenwand

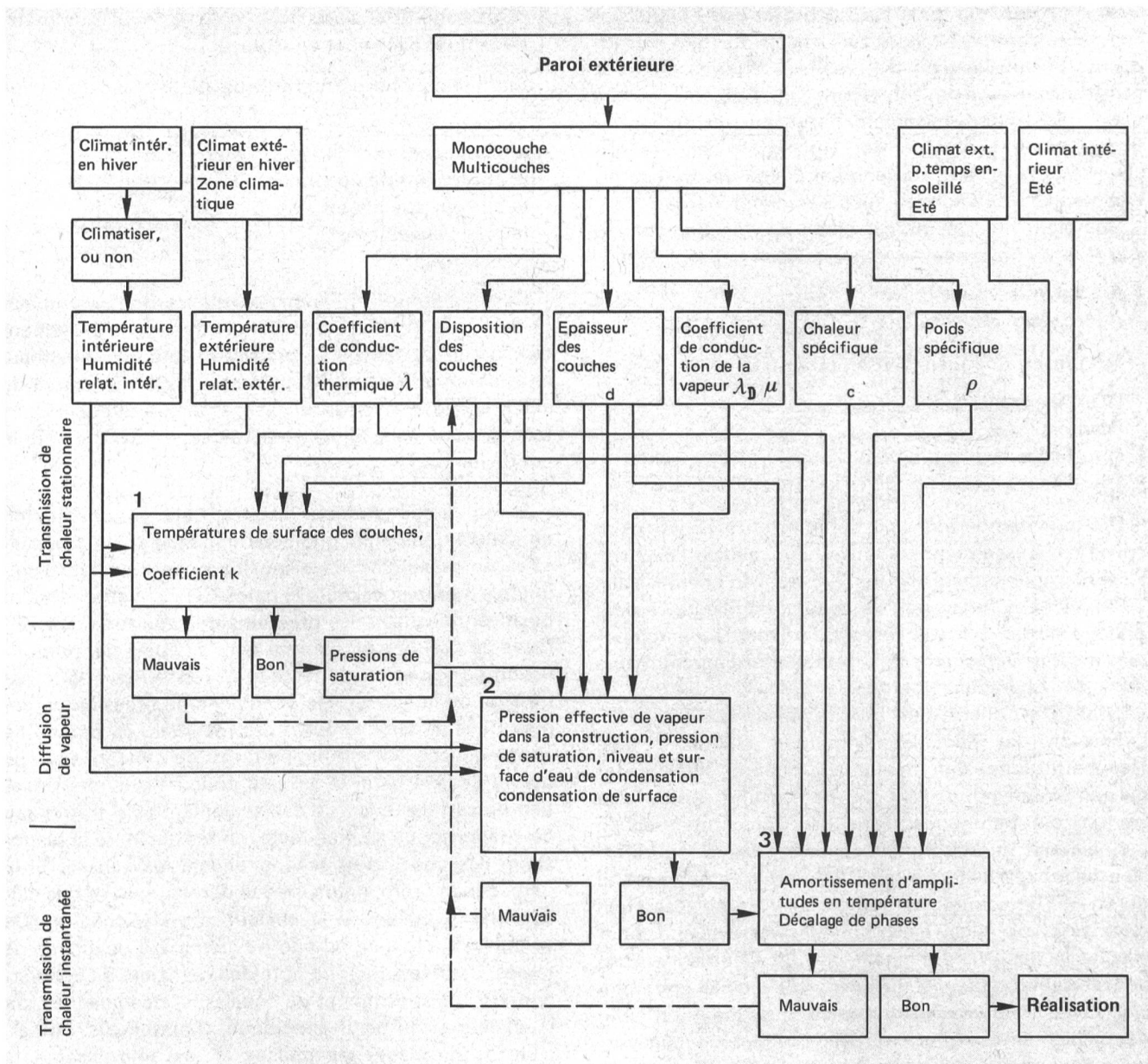


Fig. 4
Calcul d'une paroi extérieure

- nung der Dampfdiffusion kann festgestellt werden, ob sich Feuchtigkeit in der Wand niederschlägt.
- Die *Phasenverschiebung* ist eine Behaglichkeitsgrösse und wird in Stunden angegeben. Je grösser diese ausfällt, desto später werden die Aussenklimaschwankungen im Innern bemerkbar.
 - Die *Temperatur-Amplitudendämpfung* gibt an, wie stark die Klimaschwankungen im Gebäudeinnern noch bemerkbar sind. Je grösser diese Zahl, desto besser ist die Dämpfung.
 - Die *Schalldämpfung* gibt an, wieviel Lärm ein Bauteil (Wand, Fenster usw.) dämmen kann. Diese Grösse ist bei Wohnungstrennwänden, Türen usw. wichtig. Die SIA-Richtlinien 181 geben beispielsweise Mindestgrenzwerte an.
 - Die *Festigkeit* hängt zum Teil mit der *Statik* zusammen.
 - Die *Reinigung* der Fassade ist an solchen Orten wichtig, wo eine hohe Luftverschmutzung zu erwarten ist, beispielsweise in der Nähe von Bahngleisen, Strassen, Industrieanlagen usw.

tre, etc.) peut atténuer. Cette valeur est importante pour les cloisons d'appartements, les portes, etc. Les normes SIA 181 indiquent les valeurs minimales à ce sujet.

- La *résistance* dépend en partie de la *statique*.
- Le *nettoyage* de la façade joue un rôle aux endroits où la pollution de l'air est importante, par exemple à proximité de voies de chemin de fer, de routes, d'installations industrielles, etc.

Un paramètre dont il n'est pas question ici, mais qui fournit souvent matière à discussion, réside dans les coûts de construction qui peuvent fortement varier d'une façade à l'autre. L'objectif consiste alors à trouver la construction de façade la plus avantageuse, sans que les valeurs exigées au vu de la physique du bâtiment en soient affectées. Quelques-uns de ces paramètres peuvent être calculés.

Comment faut-il se représenter un tel calcul (fig. 4). On doit posséder les données suivantes:

- genre de la paroi extérieure

Eine Grösse, die nicht aufgeführt ist und hauptsächlich heute vermehrt wieder zur Diskussion steht, betrifft die Erstellungskosten, die von Fassade zu Fassade grosse Unterschiede aufweisen. Die Aufgabe besteht darin, die kostenwirksamste Fassadenkonstruktion zu finden, ohne Einbussen der verlangten bauphysikalischen Werte in Kauf zu nehmen. Einige der bereits erwähnten Grössen können auch berechnet werden.

Wie sieht nun der Ablauf einer solchen Berechnung aus (Fig. 4). Folgende Angaben müssen bekannt sein:

- Art der Aussenwand
- Anordnung, Material und Dicke der Schichten

Mit diesen Angaben werden ermittelt:

- Wärmeleitfähigkeit
- Dampfleitzahl
- spezifische Wärme
- spezifisches Gewicht

Die Innentemperatur und deren relative Feuchtigkeit sowie die Aussentemperatur und die relative Feuchtigkeit müssen entsprechend den Klimazonen ebenfalls aus Datenbüchern herausgelesen oder festgelegt werden. Anhand dieser Grössen können die Oberflächentemperaturen der Schichten, das Temperaturdiagramm und der k -Wert berechnet werden.

Erfüllt die Konstruktion bereits bei diesen ersten Ergebnissen die Minimalbedingungen nicht, ist eine Neuüberprüfung der Schichtanordnung, allfällig der ganzen Wand nötig. Fällt die Beurteilung positiv aus, werden die Sättigungsdrücke der Schichtoberflächen und anhand der Dampfleitzahl oder des Dampfdiffusionswiderstandsfaktors die Dampfdruckverhältnisse in der Wand berechnet. Aufgrund dieser Ergebnisse stellt man fest, ob sich eine Kondenswasserebene oder -fläche in der Wand einstellt und ob Oberflächenkondensat zu befürchten ist. In einem solchen Fall und wenn sich zuviel Kondenswasser absetzt, muss die Anordnung der Schichten überprüft werden. Der Berechnungsvorgang beginnt von vorne. Angenommen, die Wand sei in Ordnung, wird der letzte Berechnungsschritt ausgeführt (instationärer Wärmedurchgang). Für diese Berechnung (nach Methode *Heyndl*), die übrigens sehr arbeitsintensiv ist, braucht man die Wärmeleitfähigkeit, die Anordnung und Dicke der Schichten, die spezifische Wärme und das spezifische Gewicht. Daraus werden Phasenverschiebung und Temperaturamplitudendämpfung ermittelt. Erst wenn diese Grössen stimmen, kann der Konstruktion grünes Licht gegeben werden. Zu bemerken ist noch, dass in dieser Berechnung Schalldämpfung, Reinigung, Ausdehnungsfähigkeit und andere Grössen nicht berücksichtigt wurden. Werden jedoch *nur* die Temperaturverhältnisse berechnet, so kann dies zu falschen Schlüssen führen. Von dieser Art, ein Bauelement zu beurteilen, ist abzuraten, da in manchen Fällen die Konstruktion schwerwiegende Mängel aufweist.

4 Ablauf eines Baus aus bauphysikalischer Sicht

Eine nicht unbedeutende, sogar wichtige Richtlinie für alle Architekten stellt (hauptsächlich aus der Sicht des Bauphysikers) das Ablaufschema eines Baus vom Projekt bis zum Bauende dar (Fig. 5).

Vom Auftrag, den der Architekt vom Bauherr entgegennimmt, wird das Raumprogramm und das Vorpro-

- disposition et épaisseur des couches ainsi que matériaux dont elles sont constituées

Ces indications permettent de déterminer du même coup:

- le coefficient de conduction thermique
- le coefficient de conduction de la vapeur
- la chaleur spécifique
- le poids spécifique

La température et l'humidité relative de l'air ambiant et de l'air à l'extérieur du bâtiment doivent également être tirées de tableaux concernant la zone climatique considérée ou déterminées par des mesures. Au vu de ces grandeurs, on peut calculer les températures de surface des couches, le diagramme des températures et le coefficient k .

Si, au vu des premiers résultats déjà, la construction ne satisfait pas aux conditions minimales, il est nécessaire de réexaminer la disposition des couches, quelquefois même pour toute la paroi. Si l'évaluation devient positive, on calcule les pressions de saturation des surfaces de couches et, compte tenu du coefficient de diffusion de vapeur et du facteur de résistance à la transmission de la vapeur, les conditions de pression de vapeur dans la paroi. D'après ces résultats, on détermine si une couche ou une nappe d'eau de condensation se trouve dans la paroi et s'il faut craindre une condensation de surface. Dans ce cas seulement et si trop d'eau de condensation se manifeste, on réexaminera la disposition des couches et recommencera les calculs. Si la paroi est en ordre, on passe à la dernière phase des calculs (transmission de la chaleur non stationnaire). Ce calcul (selon la méthode de *Heyndl*) exige beaucoup de temps, car il faut tenir compte du coefficient de conduction, de la disposition et de l'épaisseur des couches, de la chaleur et du poids spécifique. D'après cela, on calcule les décalages de phases et les amortissements d'amplitudes en température.

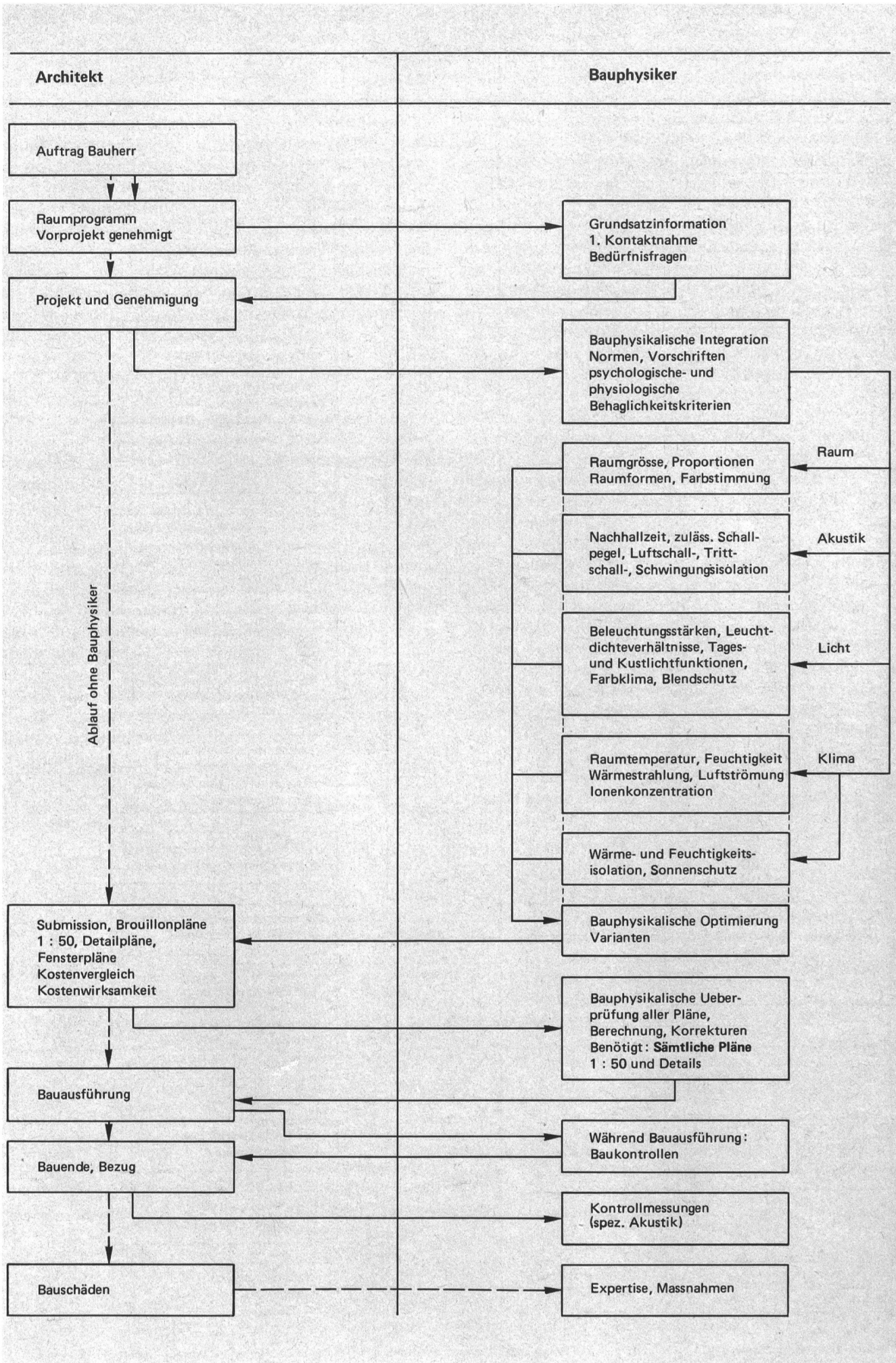
Dès que ces valeurs sont adéquates, on peut donner le feu vert à la construction. Il faut encore remarquer que l'on n'a pas tenu compte dans les calculs de l'isolement acoustique, du nettoyage, de la dilatation et d'autres grandeurs. *Se limiter* au calcul des conditions de température conduit à des conclusions erronées et il faut se garder de juger un élément à ce seul point de vue, car le bâtiment pourrait alors présenter de graves imperfections.

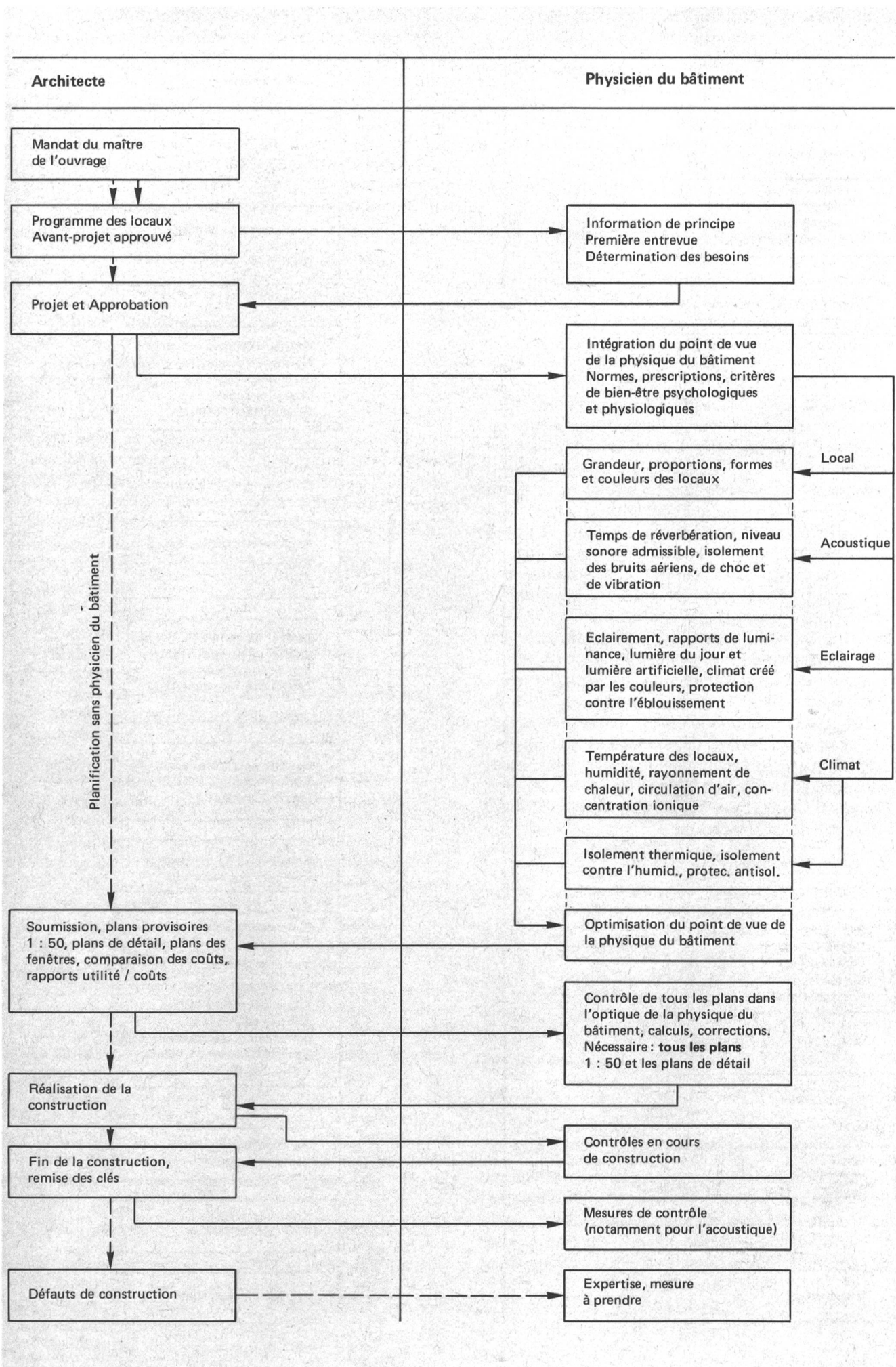
4 Déroulement des travaux de construction dans l'optique de la physique du bâtiment

Une méthode importante (surtout pour le physicien du bâtiment), dont tous les architectes devraient faire usage, réside dans l'établissement d'un plan d'ordonancement des travaux de construction (programme) s'étendant du projet à l'achèvement de l'ouvrage (fig. 5).

Fig. 5
Integration der Bauphysik im Bauablauf







jekt, das vom Bauherr genehmigt wird, ausgeführt. Anschliessend findet die erste Kontaktnahme mit dem Bauphysiker statt. Dort werden die Bedürfnisfragen und die vorgestellten Grundgedanken besprochen, wobei allfällig bereits hier gezielte Massnahmen getroffen werden. Der Architekt führt nun das Projekt aus. Mit seinen ersten Detailskizzen und konkreten Vorschlägen kommt es zur zweiten Kontaktnahme mit dem Bauphysiker. Anhand der Normen, Vorschriften, Leitsätze und Richtlinien werden psychologische und physiologische Behaglichkeitskriterien festgelegt und besprochen. Grundsätzlich sollte dies für den ganzen Behaglichkeitsbereich geschehen; in den meisten Fällen erfolgt es bezüglich Akustik und Klimatechnik. Anhand der Behaglichkeitskriterien wird eine bauphysikalische Optimierung festgelegt. Es werden Varianten ausgearbeitet, die der Architekt offerieren lässt. In der Zwischenzeit werden die Entwurfspläne im Massstab 1:50 und die Entwurfsdetailpläne im Massstab 1:10 erstellt. Als nächstes folgt der Kostenvergleich der verschiedenen Varianten, worauf die *kostenwirksamste Konstruktion* gewählt und dem Bauphysiker diese Angabe mit allen Plänen übergeben wird. Dieser überprüft die Pläne bis in alle Einzelheiten, bringt Korrekturen an und berechnet die Konstruktionen. Diese Phase ist für den Bauphysiker sehr wichtig, da er in diesem Zeitpunkt einzelne Konstruktionen noch verbessern, Richtlinien herausgeben und Anschlussdetails ändern kann. Es folgt die Vergebung und Bauausführung. Während des Bauens ist es unerlässlich, dass der Bauphysiker sich auch auf den Bau begibt; sonst werden seine Ideen und Vorschläge zusehends theoretischer. Nach dem Gebäudebezug folgen einige Kontrollmessungen, die nie ausgelassen werden dürfen, da sie für spätere Bauten zwecks Verfeinerung der Methoden von grosser Bedeutung sind.

En partant du mandat donné à l'architecte par le maître de l'ouvrage, on établit le programme des locaux et le projet préliminaire qui doit être agréé par le maître de l'ouvrage. On contacte ensuite pour la première fois le physicien du bâtiment avec lequel on détermine les questions de besoins et discute des idées de principe, étant entendu qu'à ce stade déjà des mesures appropriées doivent être prises. L'architecte passe ensuite à la réalisation du projet. Au vu des premiers croquis détaillés et des propositions concrètes, on consulte une deuxième fois le physicien du bâtiment. A l'appui de normes, de prescriptions, de principes et de directives, il est possible de déterminer d'un commun accord les critères de bien-être psychologiques et physiologiques. Cela devrait se faire en principe pour tout ce qui touche au bien-être de l'homme. Dans la plupart des cas, on se limite toutefois à considérer les questions d'acoustique et de technique du climat. En tenant compte des critères de bien-être, on procède à une optimisation dans l'optique de la physique du bâtiment, après que l'architecte a élaboré des variantes pour lesquelles il sollicite des offres. Entre-temps, les plans de projet à l'échelle 1:50 et les plans de détail de projet sont réalisés à l'échelle 1:10. Le pas suivant consiste à comparer les coûts des différentes variantes, puis à choisir la construction présentant le meilleur *rapport utilité/coût*. Cette version est alors soumise au physicien du bâtiment avec tous les plans. Il les contrôle jusque dans les plus petits détails, y apporte des corrections et calcule les constructions. Cette phase est très importante pour le physicien du bâtiment, vu qu'il peut encore améliorer à ce stade certaines constructions, édicter des directives et modifier des détails. Après cela, on adjuge les travaux et passe à leur réalisation. Pendant la construction, il est indispensable que le physicien du bâtiment visite le chantier, sinon ses idées et ses propositions pourraient rester du domaine de la théorie. Après la remise du bâtiment, on procède encore à des mesures de contrôle, qui ne doivent jamais être négligées, vu qu'elles fournissent des

←
Fig. 5
Intégration de la physique du bâtiment dans le déroulement des travaux de construction

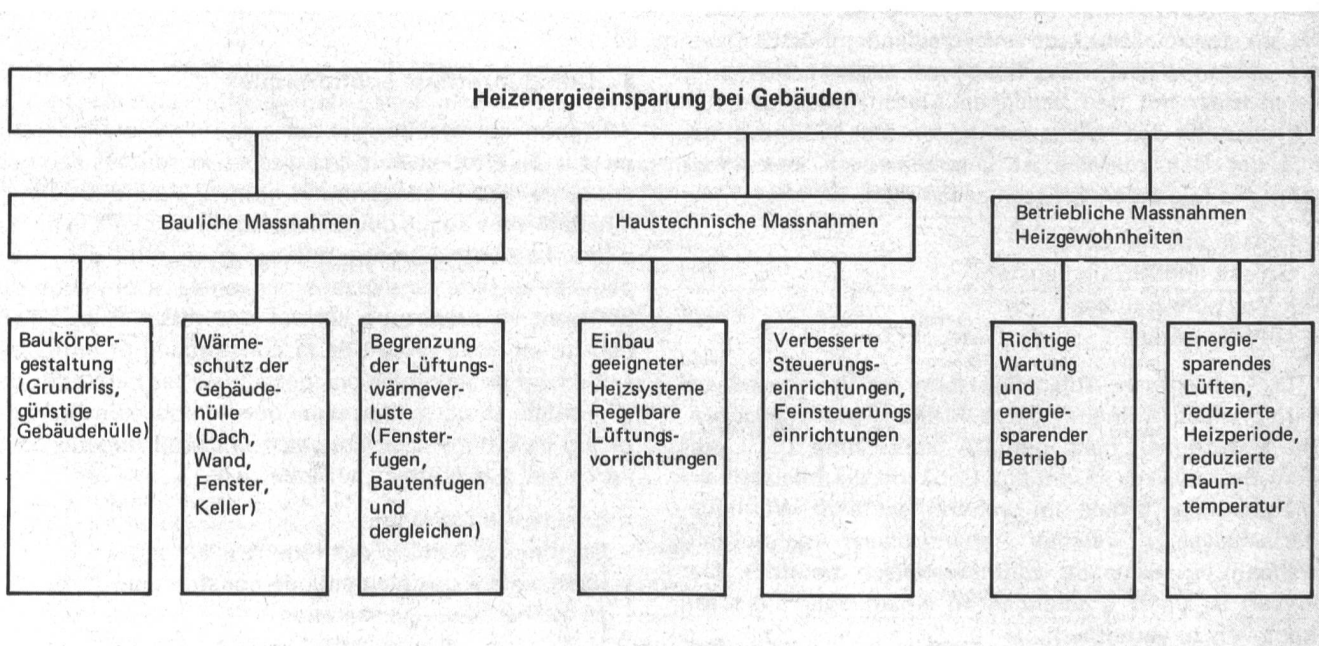


Fig. 6
Schematische Übersicht, die die Möglichkeiten der Heizenergieeinsparung durch bauliche, haustechnische und betriebliche Massnahmen sowie durch geänderte Heizgewohnheiten zeigt

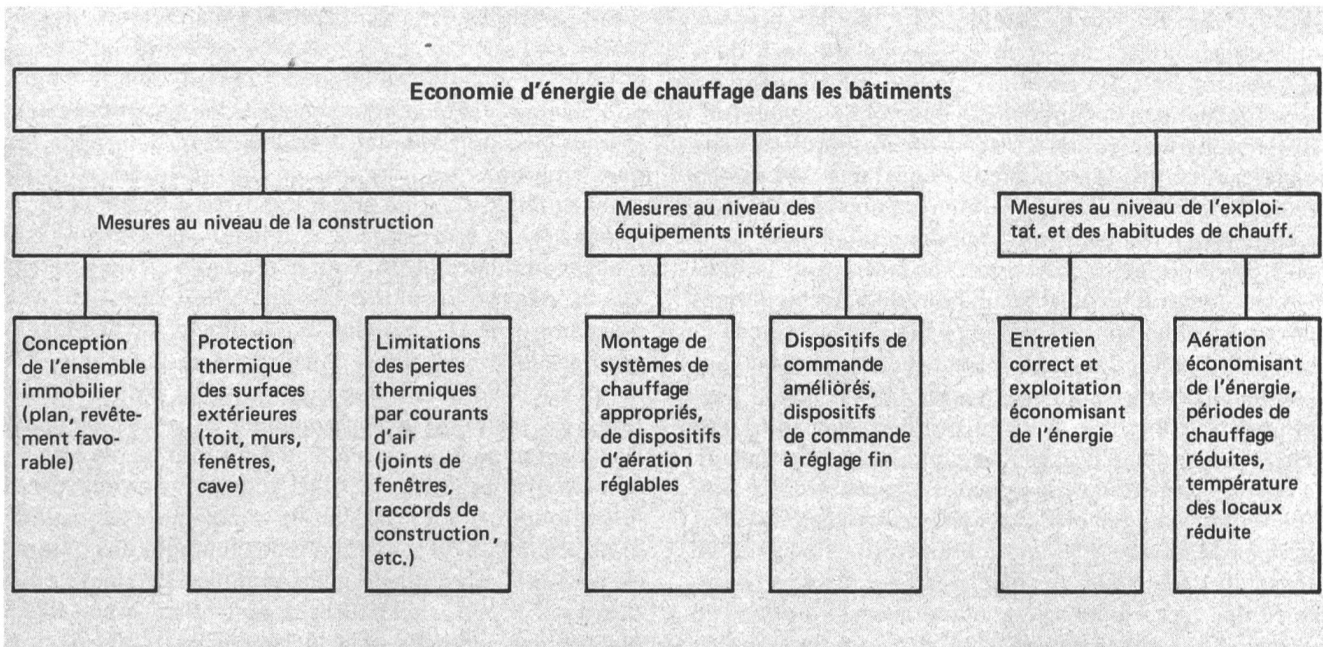


Fig. 6 Schéma montrant les possibilités d'économie d'énergie dans les bâtiments par des mesures au niveau de la construction, des équipements intérieurs, de l'exploitation et des habitudes de chauffage

Figur 5 zeigt auch den Bauplanungsablauf *ohne* die rechtzeitige Mitwirkung des Bauphysikers. Die Planungsphase ist einfacher und scheinbar problemlos. Der Schein trügt aber, da die benötigte Wendung früher oder später mit den ersten Schäden eintritt. Erst zu diesem Zeitpunkt wird dann der Bauphysiker beigezogen. Eine in allen Belangen gute Sanierung ist nur in den wenigsten Fällen möglich; ist dies überhaupt der Fall, dann nur mit erheblichen Mehrkosten, wobei eine Totalsanierung des Bauteils meistens unumgänglich ist.

5 Wirtschaftliche und energiesparende Aspekte

Energiesparen ist in der heutigen Zeit erstes Gebot; denn bekanntlich besitzt die Erde nicht unendlich viel Reserven, und eine Verknappung ist in der Jahrhundertwende gewiss. Man kann auf verschiedene Arten Energie sparen (Fig. 6). Die Bauphysik befasst sich ausschliesslich mit den baulichen Massnahmen und nur teilweise mit den Heizgewohnheiten. Der Wärmeverlust aus der Gebäudehülle ist unterschiedlich und hängt stark mit folgenden Grössen zusammen:

- Grösse des Gebäudes
- Grösse und Anzahl Fenster
- k-Wert der Bauteile
- Lüftungsverluste

Die prozentuale Aufschlüsselung der Wärmeverluste wird gemäss Dr. Ing. K. Gertis in Figur 7 wiedergegeben. Die Berechnung nach der SIA-Empfehlung 180/1 gibt dem Bauphysiker an, ob das Gebäude die Mindestwärmemedämmung erfüllt. Im weiteren ist eine Wärmebedarfsanalyse zu erstellen. Anhand dieser Analyse wird alsdann ein Gebäude wärmetechnisch beurteilt. Der k-Wert ist unter Umständen an einem oder mehreren Bauteilen zu verbessern.

Vergleicht man nun, laienhaft, die Forderungen der Bauphysik mit dem Kosten- und Energieaufwand sowie mit der Leistung, so ist auf den ersten Blick erkennbar,

données importantes pour d'autres bâtiments et permettent d'affiner les méthodes.

La figure 5 montre un programme de construction où il *n'a pas été* fait appel à temps au physicien du bâtiment. La phase de planification semble plus simple et moins chargée de problèmes. Pourtant l'apparence trompe, car les difficultés ne manquent pas d'apparaître tôt ou tard avec les premières dégradations. C'est hélas à ce moment seulement qu'on s'adresse au physicien du bâtiment. Un assainissement satisfaisant en tout point n'est que rarement possible, si ce n'est au prix de frais supplémentaires élevés. De toute façon, un assainissement radical de l'ensemble de la partie incriminée est généralement indispensable.

5 Considérations économiques

Economiser de l'énergie est aujourd'hui un impératif majeur. En effet, chacun sait que les ressources énergétiques de la terre sont limitées et qu'une pénurie se manifesterait sans aucun doute dans ce secteur vers la fin du siècle. La figure 6 montre que ces économies d'énergie peuvent se faire de diverses manières. La physique du bâtiment se préoccupe surtout des mesures que l'on peut prendre au niveau de la construction et en partie seulement de modifications portant sur les habitudes de chauffage. La perte thermique que l'on observe à la surface d'un bâtiment diffère selon le cas et dépend pour l'essentiel des facteurs suivants:

- grandeur du bâtiment
- grandeur et nombre des fenêtres
- coefficient k des éléments de construction
- perte thermique par aération

La figure 7 montre en pour-cent où les pertes de chaleur interviennent dans les bâtiments (selon K. Gertis, ing.). Le calcul selon la recommandation 180/1 de la SIA

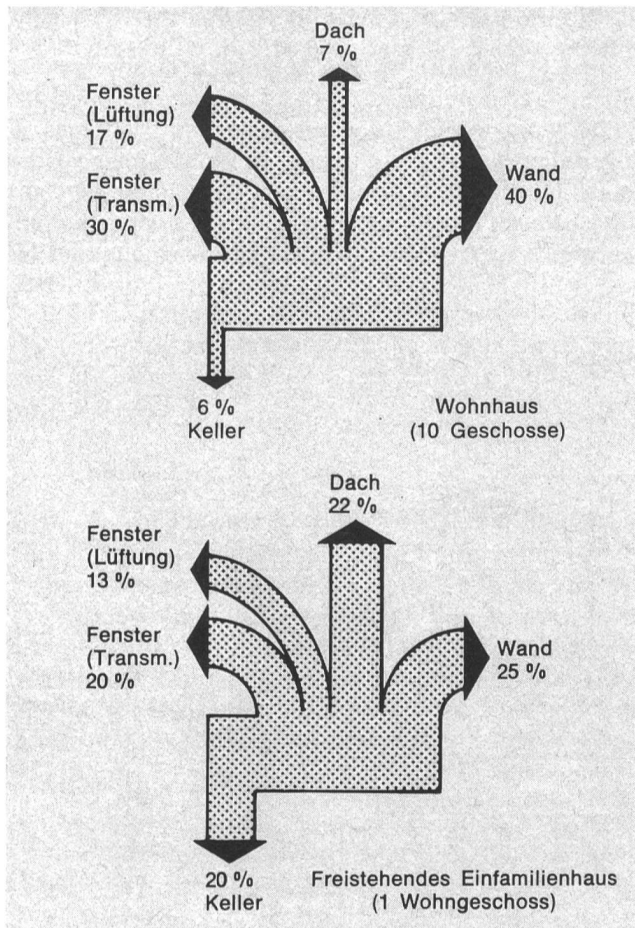


Fig. 7
 Prozentuale Aufschlüsselung der Wärmeverlustanteile – Répartition en pour-cent des pertes thermiques
 Fenster (Lüftung) – Fenêtre (aération)
 Fenster (Transm.) – Fenêtre (transmission)
 Dach – Toit
 Wand – Paroi
 Keller – Cave
 Wohnhaus (10 Geschosse) – Maison d’habitation (10 étages)
 Freistehendes Einfamilienhaus (1 Wohngeschoss) – Maison à une famille isolée (1 étage)

dass die Vorteile mehrfach überwiegen. Die einzelnen Kriterien dazu werden in *Tabelle II* wie folgt erläutert:

Bedingung A

1. Ein besserer k-Wert verlangt eine stärkere Isolations-schicht; die Anschaffungskosten sind minimal höher.

Tabelle II. Vergleich der bauphysikalischen Forderungen in bezug auf die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes
 Tableau II. Comparaison des coûts et des avantages compte tenu des exigences de la physique du bâtiment

Bedingungen nach Bauphysik Exigences selon les principes de la physique du bâtiment		Konsequenz Conséquence		Beurteilung Estimation
A	Höherer k-Wert Amélioration du coefficient k	Anschaffungspreis Coût Energieaufwand Consommation d’énergie Bauweise Mode de construction	teurer plus cher weniger plus faible gut bonne	negativ négatif positiv positif positiv positif
B	Berechnete Konstruktion, wenn möglich ohne Feuch-tigkeitsniederschlag Bâtiment établi au vu de calculs permettant d’éviter autant que possible la condensation d’humidité	Kosten Coût Energieaufwand Consommation d’énergie Lebensdauer der Konstruktion Durée de vie de l’ouvrage	gleich le même weniger plus faible länger prolongée	positiv positif positiv positif positiv positif
C	Integration der Behaglichkeitsgrößen Intégration des critères de bien-être	Leistung des Menschen Prestations des occupants Behaglichkeit Confort	erhöht améliorées gut bon	positiv positif positiv positif

indique au spécialiste si le bâtiment remplit les condi-tions d’isolation thermique minimales. De plus, il est né-cessaire de faire une analyse des besoins en chaleur. Cette analyse permet ensuite de juger le bâtiment sur le plan thermique. Le coefficient de k doit alors éventuelle-ment être amélioré pour un ou plusieurs des éléments de construction.

En comparant les coûts und les avantages découlant de l’observation des exigences propres à la physique du bâtiment, même le non-initié reconnaît du premier coup d’œil la supériorité de la solution faisant usage de l’ex-périence du physicien du bâtiment. Les différents cri-tères ressortent du *tableau II*.

Condition A

1. Un coefficient k amélioré exige une couche d’isolation plus épaisse; les frais d’acquisition n’en sont que très peu augmentés.
2. La dépense énergétique est diminuée, ce qui est très souhaitable dans l’optique de la politique d’économie d’énergie.
3. Le mode de construction est plus favorable, vu que les raccords ont aussi été étudiés en détail par le phy-sicien du bâtiment.

Condition B

1. Les coûts d’une construction avec ou sans condensa-tion d’humidité sont identiques, car le résultat dépend de l’ordre de succession des couches.
2. La dépense d’énergie est moins grande, vu qu’il n’est pas nécessaire d’amener l’eau de condensation à un autre état (vapeur); cette économie d’énergie est tou-tefois faible.
3. La prolongation de la durée de vie imputable à la dimi-nution des retombées d’eau de condensation dans la construciton devrait être estimée à une valeur nette-ment supérieure. De plus, il ne faut plus craindre les dégradations dues à des contraintes de contraction.

Condition C

L’intégration des paramètres de bien-être est extrê-mement importante pour l’homme. L’efficacité au travail augmente, les locaux deviennent confortables et leur cli-mat est agréable.

- Der Energieverbrauch wird verringert, was in Anbetracht der Energiebestrebungen zu begrüßen ist.
- Die Bauweise wird besser, da auch die Anschlüsse vom Bauphysiker im Detail studiert werden.

Bedingung B

- Die Kosten einer Konstruktion mit und ohne Feuchtigkeitsniederschlag sind gleich hoch, denn dieser ist von der Schichtenfolge abhängig.

6 Conclusions

Dans la pratique, les applications de la physique du bâtiment sont nombreuses et complexes. Le physicien du bâtiment ne s'intéresse pas seulement à la transmission de chaleur et à la diffusion de vapeur, mais aussi à toutes les questions d'acoustique, d'éclairage, de choix des couleurs, etc. Il devrait connaître les aspects pratiques de la technologie des matériaux ainsi que tous les

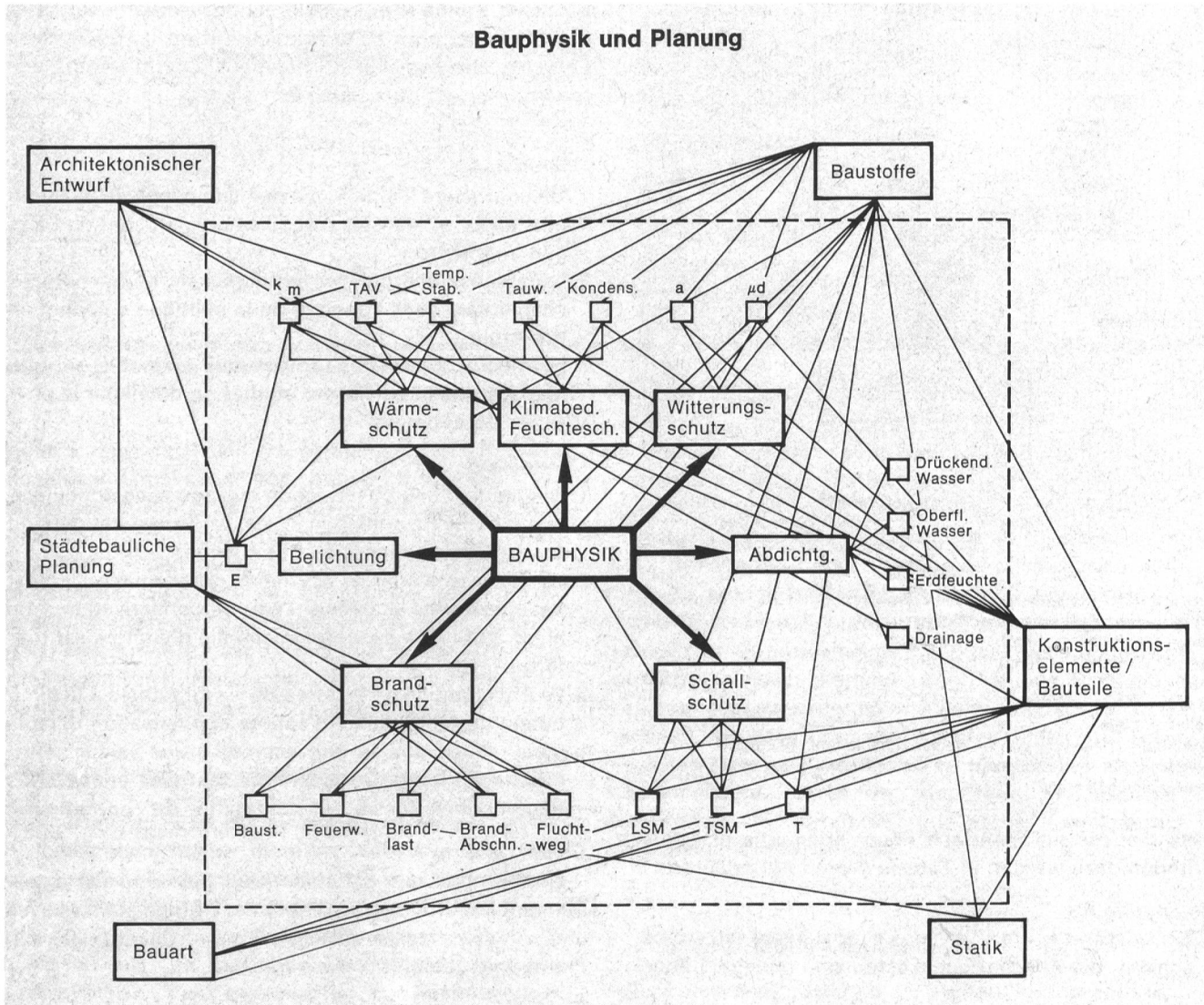


Fig. 8 Wechselwirkungen zwischen den bauphysikalischen Anforderungen untereinander und den Planungskomplexen (nach E. Ziesielski, VDI-Bericht Nr. 273) – Influences réciproques entre les exigences propres à la physique du bâtiment et d'autres paramètres de planification (selon E. Ziesielski, Rapport VDI No 273)

k_m	Mittlerer k-Wert – Valeur moyenne de k
TAV	Temperatur, Fläche und Volumen – Température, surface et volume
Temp.-Stab.	Temperaturstabilisierung – Stabilisation de la température
Tauw.	Tauwasser – Eau de rosée
Kondens.	Kondensierung – Condensation
a	Temperaturleitfähigkeit – Coefficient de conduction thermique
μ_d	Dampfdurchgangswiderstand – Résistance à la transmission de vapeur
Drückend. Wasser	Drückendes Wasser – Eau de refoulement
Oberfl.-Wasser	Oberflächenwasser – Eau de surface
E	Beleuchtungsstärke – Intensité de l'éclairage
Baust.	Baustoff – Matière de la construction
Feuerw.	Feuerwiderstand – Résistance au feu
LSM	Luftschallschutzmass – Niveau de protection contre les bruits aériens
TSM	Trittschallschutzmass – Niveau de protection contre les bruits de choc
T	Nachhallzeit – Temps de réverbération

Erdfuchte	Humidité du sol
Drainage	Drainage
Brandlast	Matériaux et éléments combustibles
Brandabschnitt	Compartiment coupe-feu
Fluchtweg	Chemin de fuite
Architektonischer Entwurf	Projet architectural
Baustoffe	Matériaux
Wärmeschutz	Protection thermique
Klimabedingungen	Conditions climatiques
Feuchteschutz	Protection contre l'humidité
Witterungsschutz	Protection contre les intempéries
Städtebauliche Planung	Aménagement urbanistique
Beleuchtung	Eclairage
Bauphysik	Physique du bâtiment
Abdichtung	Isolation
Brandschutz	Protection contre le feu
Schallschutz	Protection acoustique
Konstruktionselemente/Bauteile	Eléments de construction
Bauart	Genre de construction
Statik	Statique

2. Der Energieaufwand ist weniger gross, da das Umwandeln des Kondenswassers in einen anderen Aggregatzustand (Dampf) nicht stattfinden muss; dieser Energieminderaufwand ist jedoch sehr klein.
3. Die Lebensdauer ist, dank des verminderten Kondensniederschlags in der Konstruktion, bedeutend höher einzuschätzen; zudem sind Kontraktionsspannungsschäden kaum zu erwarten.

Bedingung C

Die Integration der Behaglichkeitsgrössen ist für den Menschen ausserordentlich wichtig. Die Leistung steigt, die Räume sind behaglicher, es herrscht ein angenehmes Raumklima.

6 Schlussbemerkungen

Die Anwendung der Bauphysik in der Praxis ist vielfältig und komplex. Nicht nur Wärmedurchgang und Dampfdiffusion interessieren den Bauphysiker, auch das grosse Gebiet des Schalls sowie der Beleuchtung, Farbe usw. Materialtechnologie wie sämtliche Konstruktionen sollten dem Bauphysiker in der Praxis geläufig sein. Das Gebiet ist bereits so gross, dass sich verschiedene Spezialrichtungen gebildet haben, mit Fachleuten wie

- Bauschadenspezialist
- Schallspezialist
- Materialtechnologiespezialist, wobei darunter Fachrichtungen wie Kunststoff, Beton usw. zu verzeichnen sind
- Wärmeleitungs- und Dampfdiffusionsspezialist, irrtümlicherweise als «Bauphysiker» bekannt
- Konstruktionsspezialist
- Klimaspezialist usw.

Die Bauphysik, die sich in den letzten Jahren zu einem ernsthaften Berufszweig entwickelt hat, ist im modernen Bauwesen nicht mehr wegzudenken (Fig. 8). Ihre Kriterien umfassen nicht nur das Energiedenken und schadenfreie Bauen, sondern zur Hauptsache die menschlichen Behaglichkeitsgefühle im Gebäude. Die Kenntnisse und das richtige Interpretieren dieser Gefühle als integrale Lösung verlangen eine langjährige Erfahrung. Wie zu ersehen ist, umfasst die Bauphysik ein riesiges Gebiet von Spezialrichtungen, die zueinander in einem ganz bestimmten Verhältnis stehen. Vielfach ist der Bauphysiker selber nur über einige Gebiete im Bild, so dass er sich gelegentlich mit den Fachleuten in Verbindung setzen muss. Ist dies möglich, kann es zur optimalen Integration der Probleme führen.

systemes de construction. Ces domaines sont toutefois si vastes qu'une spécialisation est devenue inéluctable et qu'on distingue notamment:

- le spécialiste des défauts ou dégradations de construction
- le spécialiste en acoustique des constructions
- le spécialiste de la technologie des matériaux, qui se spécialise en général encore dans les domaines «matières synthétiques», «béton», etc.
- le spécialiste de la conduction thermique et de la diffusion de vapeur dénommé à tort «physicien du bâtiment»
- le spécialiste des constructions
- le spécialiste en matière de climat, etc.

Au cours des années écoulées, la physique du bâtiment est devenue une discipline importante dont on ne pourrait plus se passer en architecture moderne (fig. 8). Elle ne se borne plus à l'étude des questions d'énergie et des remèdes à apporter aux dégradations, mais se préoccupe aussi du bien-être de l'homme dans les bâtiments. Pour parvenir à des solutions optimales, il est nécessaire que le physicien du bâtiment possède de vastes connaissances et qu'il sache interpréter correctement les sensations de l'homme à l'appui d'une longue expérience. Comme on l'a vu, la physique du bâtiment porte sur un domaine très étendu comprenant de nombreuses spécialités. Ne pouvant évidemment connaître toutes les disciplines, le physicien du bâtiment devra consulter au besoin des spécialistes avec l'aide desquels il trouvera la solution optimale des problèmes à résoudre.

Bibliographie

- Winkler U. Vorlesungen über Schalltechnik (1974), Physik und Technik des Wärme-Feuchtigkeits- und Sonnenschutzes (1975), Integrierte Bauphysik, Physik und Technik des Lichtes (1976). Bauphysikalisches Institut AG, Bern, und Universität Freiburg.
- Gösele K. und Schüle W. Schall, Wärme, Feuchtigkeit. Wiesbaden/Berlin, FBW Bauverlag.
- Trbuhovic L., Sagelsdorff R., Winkler U. und Burckhardt M. H. Die Optimierung von Wandkonstruktionen. Zürich, Element der schweizerischen Ziegelindustrie, Sonderheft Juni 1975.
- Eichler F. Bauphysikalische Entwurfslehre. Bände 1 und 2. Berlin, Verlag für Bauwesen.
- Grandjean E. Wohnphysiologie: Grundlagen gesunden Wohnens. Zürich, Verlag für Architektur Artemis, 1973.