

Zeitschrift: Das Werk : Architektur und Kunst = L'oeuvre : architecture et art
Band: 62 (1975)
Heft: 4: Mensch und Natur oder ländliche Architektur = L'homme et la nature ou l'architecture rurale

Artikel: Le climat et l'architecture : l'utilisation de données météorologiques =
Das Klima und die Architektur : die Anwendung meteorologischer Daten
Autor: Primault, B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-47814>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 31.01.2026

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

Le climat et l'architecture

L'utilisation de données météorologiques

par B. Primault, Dr ing., Institut suisse de Météorologie, Zurich

L'homme primitif, tout comme les bêtes sauvages et les plantes, était exposé aux méfaits des variations des différents éléments météorologiques, en particulier aux fluctuations de température, au vent et aux précipitations.

C'est pour se protéger de ces influences désagréables, parfois même néfastes, qu'il a mis à contribution son intelligence. Comme certains animaux sauvages, il s'est tout d'abord retiré dans des anfractuosités de rochers, puis a domestiqué le feu. Ce dernier lui permettait de se mettre à l'abri de la morsure du froid.

Bientôt l'homme (*Homo sapiens*, c'est nous qui soulignons) a utilisé pour lui-même la protection naturelle, contre les intempéries, des animaux qu'il tuait: il s'est vêtu de peaux, de laine, etc. D'autres fibres, d'origine végétale cette fois, sont venues compléter son vêtement. Ce dernier devait le garder du froid, de la pluie, du vent et même, dans certaines conditions, du chaud. Sorti des cavernes sous une impulsion civilisatrice, il a construit des maisons, puis des palais, et, enfin, des gratte-ciel.

Ses techniques se perfectionnant dans tous les domaines, il a cherché à créer, à l'intérieur de ses constructions, un climat qui lui était le plus agréable possible. Pourtant, ce faisant, il a souvent perdu un contact indispensable avec la nature et, malgré tous les raffinements inventés, ne se sent plus à l'aise à son lieu d'habitat ou de travail. On attribue souvent ce fait à une certaine pollution de l'air, mais il serait plus judicieux d'en rechercher la cause dans des

manques de construction aussi nombreux que variés.

Cette évolution de l'homme qui s'éloigne de la nature se reflète dans les différentes conceptions de l'habitat. On passe ainsi du simple abri de branchages, au caravansérail, au chauffage de plus en plus perfectionné, pour aboutir, enfin, à la climatisation totale.

Données de base

Dans tous les pays hautement développés, et même dans la plupart des pays en voie de développement, on trouve un organisme chargé de rassembler des données de base concernant le climat. En général, ces données sont livrées aux utilisateurs (dans notre cas aux architectes) sous forme de résumés des conditions ayant régné durant une année. Il s'agit de moyennes ou de sommes journalières, mensuelles ou annuelles. Ces renseignements concernent les paramètres les plus divers, tels que température, humidité de l'air, précipitations, vent, insolation, nébulosité, visibilité, dans certains cas rayonnement, et des accidents météorologiques particuliers; comme grêle, gel, chaleur, coups de vent, etc.

Outre les résumés annuels de données météorologiques, les Services nationaux publient, à époques plus ou moins rapprochées, des résumés couvrant des laps de temps beaucoup plus longs. Sur le plan international, on a décidé qu'une période climatologique devrait couvrir au moins 30 années. Comme, en Suisse, nous disposons de relevés depuis 1864, il est possible

d'établir des moyennes longues couvrant 2 ou 3 des «périodes climatologiques internationales» (1901 – 1930, 1931–1960, etc.). Dans la pratique, une moyenne n'a généralement pas de signification, même si elle s'applique à une période très longue. En effet, la moyenne ne se réalise pratiquement jamais, bien qu'elle soit dénommée «normale» en climatologie classique.

Chaque paramètre météorologique est sujet à des fluctuations plus ou moins importantes et sa répartition est souvent fort différente de la courbe de Gauss. Par conséquent, des valeurs statistiques telles que moyenne, déviation standard, etc., ne rendent pas l'image exacte de la courbe réelle de répartition. Pour parer à cet inconvénient, on a imaginé de donner les valeurs climatologiques sous forme de tableaux dans lesquels figurent les variations possibles de l'élément considéré en tenant compte de certains seuils de fréquence (maximum absolu – minimum absolu, 90% – 10%, 25% – 75%, 50%). En consultant ces tables, le praticien voit immédiatement dans quelles limites l'élément considéré peut varier et tenir compte de certains risques calculés (cf. *tableau 1, tiré de Primault, 1970, p. 46*). Dans notre pays, ces données sont publiées par l'Institut suisse de Météorologie sous forme de brochures, formant une série appelée: *Klimatologie der Schweiz*.

Mais l'examen de paramètres isolés, aussi poussé soit-il, ne saurait répondre aux besoins de l'architecte. Bien plus, il lui faut connaître la

Das Klima und die Architektur

Die Anwendung meteorologischer Daten

Von B. Primault, Dr.-Ing., Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt, Zürich

In allen hochentwickelten Ländern und auch in den meisten Entwicklungsländern gibt es eine Organisation, deren Aufgabe die Sammlung grundlegender klimatologischer Daten ist. Den Benützern (hier den Architekten) werden die Messwerte meist in Form einer Aufstellung der Witterungsbedingungen eines ganzen Jahres zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um Summenwerte oder Tages-, Monats- oder Jahresmittel. Die Daten beziehen sich auf die verschiedensten Parameter wie etwa Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlag, Winde, Sonneneinstrahlung, Nebel, Sicht, in gewissen Fällen Strahlung sowie besondere Witterungsunfälle wie Hagel, Frost, Hitze, Windstöße usw.

Neben meteorologischen Jahresberichten veröffentlichten die nationalen Wetterdienste in mehr oder weniger grossen Zeitabschnitten umfassende Be-

richte. International wurde die Dauer einer Klimaperiode auf mindestens 30 Jahre festgesetzt. In der Schweiz bestehen solche Berichte seit 1864. Es ist daher möglich, lange Mittel zu errechnen, 2 oder 3 «internationale Klimaperioden» umfassend (1901 bis 1930, 1931 bis 1960 usw.). In der Praxis hat ein Durchschnittswert meist keine Bedeutung, selbst wenn er sich auf eine sehr lange Periode bezieht. Denn dieser Durchschnittswert tritt praktisch nie auf, obwohl er in der klassischen Klimatologie «Normalwert» genannt wird.

Selbst die genaueste Prüfung einzelner Parameter kann dem Architekten nicht von Nutzen sein. Vielmehr muss er noch die Frequenz gewisser meteorologischer Kombinationen kennen; zum Beispiel: starke Sonneneinstrahlung und niedrige Temperatur; niedrige Luftfeuchtigkeit und starken Wind usw.

Dazu wird eine andere Reihe veröffentlicht: «METEOPLAN», speziell für Architekten und Heizungs- und Lüftungsingenieure bestimmt. Für gewisse besondere Tätigkeiten, so zum Beispiel in der Landwirtschaft, müssen die Benützer über besondere Daten verfügen. Wir haben daher Kälte- und Wärmeindexkarten für den Bau von Ställen hergestellt. Die Karten erscheinen in der Reihe «Documents suisses en météorologie agricole». Diese kurze wenn auch unvollständige Aufzählung zeigt die Fülle des veröffentlichten Materials. Theoretisch gesehen braucht es nur richtig angewendet zu werden, damit es dem Bewohner oder Arbeitenden ein angenehmes Mikroklima schafft.

Der Begriff «angenehm» lässt das Mikroklima sehr vage und subjektiv erscheinen. Der eine arbeitet lieber bei hoher Temperatur, der andere leistet

Tableau 1: Précipitations à Genève

Période 1901-1960		Janv.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
3 } 2 } 1	Maximum absolu	191	151	189	244	159	192	203	250	198	212	265	194	1271
	Maximum utile	100	123	128	106	125	146	128	158	170	161	161	145	1058
	1 ^{er} quartier	73	86	91	82	90	107	95	135	119	111	108	99	1012
	Médiane	49	47	54	57	73	79	65	94	89	67	63	60	878
	3 ^e quartier	31	21	27	41	41	52	44	60	55	41	47	38	787
	Minimum utile	16	5	10	21	24	36	18	44	33	29	30	19	663
	Minimum absolu	2	0	1	0	15	25	2	14	15	10	4	9	457
	Moyenne	55	55	64	64	70	84	71	100	93	80	81	72	889

1 = amplitude normale

2 = amplitude utile

3 = amplitude totale

fréquence à laquelle se produisent certaines de leurs combinaisons. Par exemple: forte insolation et basse température; faible humidité et vent violent, etc. Dans cet ordre d'idée, une autre série est en voie de publication. Il s'agit de «Météoplan» plus spécialement destinée aux architectes ainsi qu'aux ingénieurs du chauffage et de la ventilation.

Pour certaines activités particulières, par exemple en agriculture, des indications spéciales doivent être à disposition des praticiens. Nous avons ainsi établi des cartes d'indice de froid et d'indice de chaud en vue de la construction d'abris pour les animaux domestiques. Ces cartes font partie de la série «Documents suisses en météorologie agricole». Cette énumération, même non exhaustive, montre la richesse de documentation disponible. Il suffirait donc, du moins en théorie, d'utiliser judicieusement ce matériel pour arriver à construire de telle façon que l'habitant – ou le travailleur – se trouve dans un microclimat agréable.

Mais le terme «agréable» nous conduit immédiatement à considérer le microclimat

sous un angle très vague et subjectif. L'un dési-rera une haute température pour travailler, l'autre produira davantage si la température ambiante est nettement plus basse. Quels sont les critères, valables pour chacun, auxquels l'architecte devrait pouvoir se référer lorsqu'il met au point ses projets? C'est là que réside la plus grande difficulté.

L'architecte est souvent fort embarrassé en face de cette documentation car, à part le moyen de l'appliquer à la conductibilité thermique des matériaux, il n'a pas toujours reçu, lors de ses études, l'enseignement lui permettant de la mettre à profit. (Le nombre de prescriptions et de contraintes auxquelles l'architecte doit se soumettre aujourd'hui est tel qu'il lui est souvent impossible d'appliquer toutes les connaissances acquises.) Il aura par conséquent tendance à surdimensionner ses installations afin de se couvrir dans tous les cas.

En outre, désireux de créer de nouvelles formes architecturales ou d'affirmer son génie propre, l'architecte aura tendance à s'éloigner des formes conventionnelles des bâtiments, ce

qui conduit souvent à l'usage de matériaux ou de formes contraires à une juste utilisation des conditions climatiques et la rentabilité de l'immeuble s'en trouvera compromise ou réduite (voir 8 et 10 plus bas). L'architecture moderne, confiante dans les possibilités techniques actuelles, compense les manques dans la conception des immeubles par des installations de plus en plus puissantes: si une façade laisse pénétrer trop de chaleur à l'intérieur des locaux, on sera tenté d'intensifier la réfrigération. Pour aider le lecteur, passons en revue la plupart des éléments météorologiques à prendre en considération et essayons de lui montrer dans quelle mesure les bâtiments en sont affectés.

Température

Par suite du contact de l'air contre les parois et le toit des bâtiments, il leur communique sa température, ou tout au moins une partie de celle-ci. Le calcul de la propagation d'une onde de chaleur vers l'intérieur des bâtiments est assez aisé. Pour tenir compte des effets de ce paramètre météorologique, il faut cependant connaître la fréquence, et surtout la durée, auxquelles certains seuils sont franchis. Des fluctuations rapides de plusieurs degrés ne se transmettent que lentement et de façon atténuée à l'intérieur des habitations. C'est pourquoi des durées d'action de chaud ou de froid sont plus importantes à connaître que des valeurs isolées. Mais, où la température de l'air joue un rôle primordial, c'est dans le calcul des installations de chauffage ou de ventilation et, subsidiairement, de conditionnement d'air, l'air aspiré devant alors être amené à la température désirée.

L'humidité

Comme dans le cas de la température, l'humidité de l'air doit être prise en considération lors du dimensionnement des installations

mehr, wenn die Temperatur um etliches niedriger ist. Auf welche gültigen Werte sollte sich aber der Architekt bei der Planung beziehen können? Hierin besteht die Hauptschwierigkeit. Oft steht der Architekt dieser Dokumentation ratlos gegenüber. Denn ausser der Anwendung auf die theoretische Wärmeleitfähigkeit der Materialien befähigt ihn sein Studium nicht immer dazu, sie zu nutzen. (Die Zahl der Vorschriften und Auflagen, nach denen sich ein Architekt heute zu richten hat, ist derart gross, dass er oft nicht die Möglichkeit hat, seine Kenntnisse voll anzuwenden.) Daher neigt er dazu, die Anlagen grösser als notwendig zu planen, um auf jeden Fall gedeckt zu sein.

Da es ihm ausserdem noch daran liegt, neue Bauformen zu schaffen oder seine Eigenart zum Ausdruck zu bringen, wendet sich der Architekt gerne von den herkömmlichen Bauformen ab und verwendet dabei oft Materialien oder Formen, die einer angemessenen Nutzung der klimatologischen Bedingungen entgegenstehen. Die Wirtschaftlichkeit des Gebäudes wird so bedroht oder gemindert (s. 8 und 10). In ihrem Vertrauen in die heutigen technischen Möglichkeiten kompensiert die moderne Ar-

chitektur Planungslücken durch immer grössere Anlagen. Lässt eine Fassade zuviel Wärme herein, neigt man dazu, die Kühlung zu verstärken. Um dem Leser zu helfen, sehen wir uns der Reihe nach die in Betracht gezogenen meteorologischen Elemente an und versuchen wir, ihm zu zeigen, inwiefern die Gebäude davon betroffen werden.

Temperatur

Durch den Kontakt der Luft mit den Mauern und dem Dach eines Gebäudes wird die Lufttemperatur zumindest teilweise auf sie übertragen. Die Berechnung der Fortpflanzung eines Wärmestromes ins Gebäudeinnere ist ziemlich leicht. Um diesen meteorologischen Faktor berücksichtigen zu können, müssen allerdings die Häufigkeit und vor allem die Dauer bekannt sein, bei denen gewisse Schwellen überschritten werden. Rapide Temperaturschwankungen von mehreren Grad dringen nur langsam und abgeschwächt ins Gebäudeinnere. Daher ist die Kenntnis der Dauer der Wärme- oder Kälteeinwirkung wichtiger als einzelne Messwerte. Die Lufttemperatur spielt eine wesentliche Rolle bei der Planung von Heizungs- oder Lüftungsanlagen sowie in

geringerem Masse bei Klimaanlage, wo die angesaugte Luft auf die gewünschte Temperatur gebracht werden soll.

Luftfeuchtigkeit

Ausser der Lufttemperatur muss noch die Luftfeuchtigkeit bei der Planung von Lüftungs-, Kühlungs- und Heizungsanlagen berücksichtigt werden. Denn das Wohlbefinden in geschlossenen Räumen hängt grösstenteils von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft ab. Im allgemeinen wird eine relative Luftfeuchtigkeit zwischen 45 und 65% als am gesündesten betrachtet. Um mehr Feuchtigkeit hereinzuholen, begnügen sich viele Leute damit, die Fenster zu öffnen oder die Lüftung stärker zu schalten. Da im Winter die Aussenluft in unseren Breiten oft mit Wasserdampf gesättigt ist (zum Beispiel Nebel), meint man, die Luftfeuchtigkeit des Raumes nehme zu, wenn man sie hereinlasse. Dies ist jedoch nicht der Fall. Wird Luft erwärmt, kann sie mehr Wasserdampf enthalten. Somit sinkt ihre relative Feuchtigkeit, wenn man ihr bei ihrer Erwärmung nicht Wasserdampf zusetzt. Bei null Grad gesättigte Luft (100% relative Luftfeuchtigkeit) sinkt auf 60% bei

de ventilation, de réfrigération et de chauffage. En effet, le bien-être que produit une atmosphère confinée est en grande partie dépendant de son degré d'humidité. En général, on considère que l'air le plus sain a une humidité relative comprise entre 45 et 65%.

Pour beaucoup de gens, il suffit d'ouvrir les fenêtres ou d'augmenter la ventilation pour amener de l'humidité à l'intérieur des locaux. L'air extérieur étant, en hiver, très souvent saturé de vapeur d'eau sous nos climats (brouillard, par exemple), on pense qu'en l'introduisant dans les locaux on va augmenter la teneur en vapeur d'eau de l'air intérieur. Il n'en est toutefois rien. En se réchauffant, l'air peut tenir en suspension une plus grande quantité de vapeur d'eau. Par conséquent, son humidité relative s'abaisse si on ne prend pas soin d'y ajouter de la vapeur d'eau en même temps qu'on le réchauffe. Ainsi, par exemple, de l'air saturé (humidité relative de 100%) à zéro degré aura une humidité relative de 60% à 8 degrés, de 45% à 12 degrés, de 30% à 19 degrés, voire de 16% seulement à 30 degrés. De ce fait, augmenter la circulation de l'air n'apporte aucun

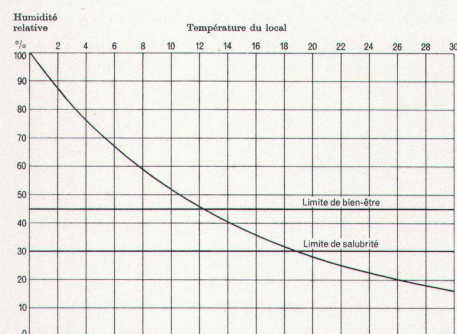


Fig. 1: Comportement de l'humidité relative lors du réchauffement d'une masse d'air saturée à 0°C

8 Grad, auf 45% bei 12 Grad, auf 30% bei 19 Grad und bis auf nur 16% bei 30 Grad. Daher nützt es nichts, die Luftzirkulation zu erhöhen, was die Trockenheit der Luft in geschlossenen Räumen anbetrifft (s. Fig. 1, aus Primault 1966 S. 27).

Im Falle von starker Feuchtigkeit und relativ kalten Wänden kann es zur Bildung von Tau oder Reif an der Fassade kommen. In den Tropen schwitzen klimatisierte Gebäude manchmal nach aussen. Eine ähnliche Erscheinung kommt oft umgekehrt vor: Wenn ihre Temperatur unter dem Kondensationspunkt der Innenluft liegt, schlägt sich Kondensationswasser im Innern an den Wänden nieder.

Wind

Die Wirkung des Windes ist unter drei verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten: dem Anprall von Niederschlägen an die Fassade, der Kühlung (oder Erwärmung) der Mauern, seiner mechanischen Wirkung. Mit dem Verschwinden der Dächer und vor allem der Vordächer sind die Aussenmauern dem vom Wind herangetriebenen Regen in ihrer vollen Höhe ausgesetzt. So verwittert der Putz

secours quant à la sécheresse de l'air confiné (voir fig. 1, tirée de Primault 1966, p. 27).

En cas de forte humidité et de murs relativement froids, de la rosée ou du givre peuvent se déposer sur les parois extérieures des immeubles. Ainsi, dans les pays tropicaux, il arrive quelquefois que les murs de bâtiments climatisés suintent à l'extérieur. Un phénomène analogue se produit plus souvent en sens inverse: les murs se couvrent d'eau de condensation sur leur face intérieure lorsque leur température est plus basse que le point de rosée de l'atmosphère confinée.

Le vent

Le vent est à considérer sous trois aspects différents quant à son influence sur les bâtiments: l'apport de précipitations sur les murs, le refroidissement (ou le réchauffement) des parois, l'action mécanique. Avec la suppression des toits, et principalement des avant-toits, les murs extérieurs des habitations sont exposés sur toute leur hauteur à être mouillés par la pluie chassée par le vent. Ainsi, certaines façades particulièrement exposées voient leur revêtement dégradé très rapidement sous l'action de cette eau.

La température extérieure a un effet plus prononcé sur la température des parois par vent fort que par temps calme. Le renouvellement constant des particules d'air en contact avec la paroi sous l'action du vent intensifie leur action thermique (voir sous le titre «Température»). Plus les immeubles sont élevés ou espacés dans le terrain, plus l'action mécanique du vent est prononcée. Il s'agit tout d'abord d'un effet de torsion sur la charpente du corps de ceux-ci. En outre, les revêtements peuvent être arrachés par l'action du vent par suite des différences de pression qui existent entre la surface extérieure et les vides du mur ou de son revêtement (voir Thomann 1974). Enfin, le vent pousse très sou-

vent la pluie des précipitations le long des fenêtres, non pas dans le sens de haut en bas, mais de bas en haut, si bien que l'étanchéité n'est plus garantie au haut des fenêtres (gaines des stores, etc.).

Précipitations

Nous avons vu au chapitre précédent comment la pluie, conjuguée au vent, peut influencer les parois des immeubles. Mais cette pluie déposée sur le revêtement d'une façade s'évapore en partie et la chaleur d'évaporation est soustraite aux parois. Celles-ci s'en trouvent donc refroidies sensiblement. On peut penser que la quantité de chaleur soustraite à un immeuble par suite de l'évaporation est négligeable. Pourtant, il faut environ 590 calories (le chiffre exact est fonction de la pression) pour évaporer 1 g d'eau. Des observations ont montré qu'en moyenne, à chaque précipitation, une lame d'eau de 1 mm d'épaisseur (soit un litre par mètre carré) s'évapore sur place. Pour un immeuble de 30 m de long et de 10 m de haut cela représente pour la façade exposée au vent une perte de 177000000 cal ou l'équivalent de 17,7 kg d'huile de chauffage.

C'est en se basant sur ce phénomène physique que l'on installe des jets d'eau sur le toit de certains immeubles pour lutter contre la trop grande chaleur résultant de l'ardeur du soleil. Chaque litre d'eau, en s'évaporant, soustrait au milieu ambiant 590 kcal ou l'équivalent de 59 g de mazout.

Les précipitations ne portent pas préjudice aux seules façades, mais elles affectent également les toits. Les conduits devant évacuer l'eau qui y tombe doivent être dimensionnés de telle sorte qu'ils permettent un écoulement quasi instantané, même en cas de fortes précipitations. Hörler et Rhein (1961, 1962) ont établi des normes indiquant pour chaque région du pays quelle quantité d'eau il faut attendre en cas

ungeschützter Fassaden unter der Wirkung des Regenwassers besonders rasch.

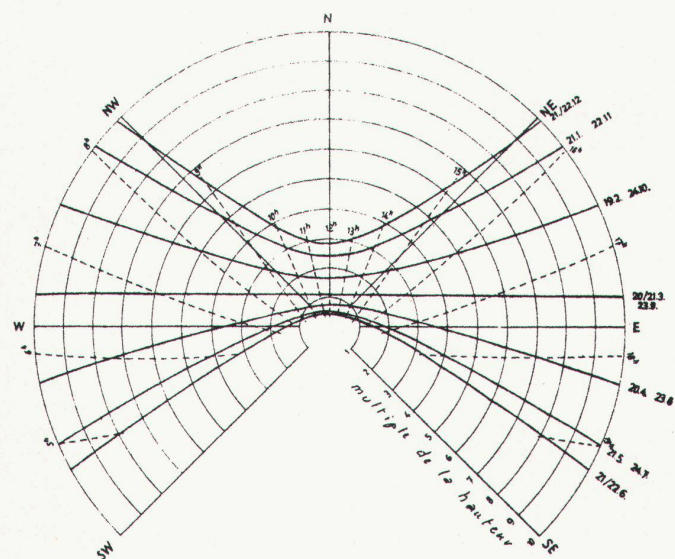
Bei starkem Wind hat die Aussentemperatur einen grösseren Einfluss auf die Fassadentemperatur als bei ruhigem Wetter. Die konstante Erneuerung der Luftteilchen, die im Kontakt mit der Fassade stehen, verstärkt die thermische Wirkung (siehe unter Titel «Temperatur»). Je höher ein Gebäude ist oder je weiter Gebäude auseinanderliegen, desto stärker ist die mechanische Wirkung des Windes. Es handelt sich hauptsächlich um einen Torsionseffekt auf das Tragwerk. Ausserdem können Verkleidungselemente vom Wind abgerissen werden infolge von Druckunterschieden zwischen der Aussenhaut und den Hohlräumen in der Fassade oder in der Verkleidung (siehe Thomann 1974). Der Wind treibt schliesslich oft das Niederschlagswasser an den Fenstern hoch, von unten nach oben, nicht von oben nach unten, so dass die Dichtigkeit der Fensteroberteile nicht mehr gewährleistet ist (Aussparungen für Storen usw.).

Niederschläge

Im vorigen Kapitel sahen wir bereits, wie der

Regen im Verein mit dem Wind die Fassaden beeinflussen kann. Das Regenwasser auf der Fassade verdunstet jedoch wieder, und die Verdunstungswärme wird den Mauern entzogen, die ihrerseits stark abkühlen. Man könnte meinen, die einem Gebäude durch Verdunstung entzogene Wärmemenge sei unbedeutend. Zur Verdunstung von 1 g Wasser werden aber immerhin etwa 590 cal benötigt (der genaue Wert hängt vom Luftdruck ab). Beobachtungen zeigten, dass bei jedem Niederschlag im Durchschnitt eine 1 mm dicke Wasserschicht, das heisst 1 Liter pro Quadratmeter, an Ort und Stelle verdunstet. Bei einem Gebäude, das 30 m lang und 10 m hoch ist, bedeutet das für eine dem Wind ausgesetzte Fassade einen Wärmeverlust von 177000000 cal oder den Gegenwert von 17,7 kg Heizöl.

Niederschläge schaden nicht nur den Fassaden, sondern auch den Dächern. Die Abflussrinnen müssen eine praktisch sofortige Ableitung selbst bei stärksten Niederschlägen gestatten. Hörler und Rhein (1961, 1962) haben Normen aufgestellt, die für jede Region die bei starken Niederschlägen zu erwartenden Wassermengen angeben. Diese Nor-

Fig. 2: Ombre portée par un objet de hauteur h sur un terrain plat

de fortes averses. Ces normes sont malheureusement assez anciennes et devraient être révisées au vu des derniers enregistrements dont nous disposons. Plus récemment Zeller (1971–1974) a étudié les fluctuations des cours d'eau. Même si son propos n'est pas identique au nôtre, ses valeurs de base peuvent être utilisées ici également.

L'insolation

Dans ce chapitre nous ne traiterons pas des effets thermiques de l'insolation renvoyant pour cela le lecteur au chapitre suivant qui, lui, traite du rayonnement. Contentons-nous ici d'examiner les effets psychologiques de cette insolation sur les habitants des immeubles.

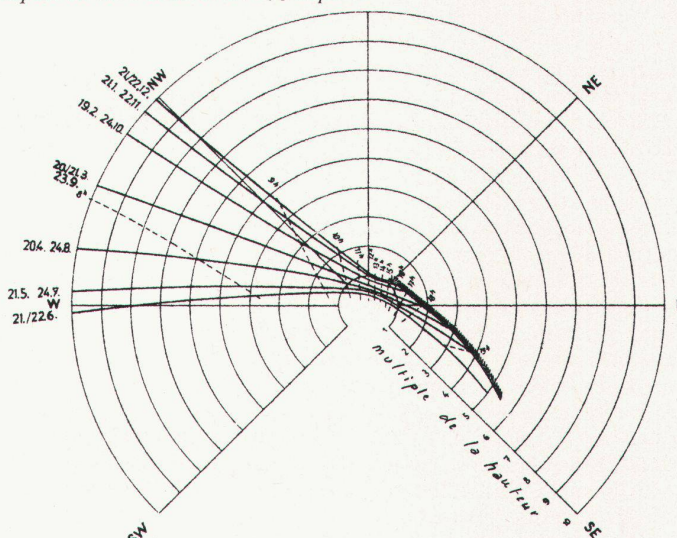
Les rayons de soleil inondant les alentours immédiats d'une habitation ou d'un bureau ont un effet apaisant sur l'homme et augmentent

son sentiment de bien-être. En ne considérant que les chiffres publiés par les Services météorologiques nationaux, sur la durée d'insolation, on est souvent induit en erreur. Ces chiffres se rapportent en effet à la durée (nombre d'heures de soleil) effectivement enregistrée aux stations d'observations.

La quantité de soleil qui atteint le sol en un endroit donné dépend non seulement de sa latitude, mais aussi, voire plus encore, de l'horizon. Lors de l'implantation d'un immeuble, il est donc indispensable de différencier entre insolation astronomique, insolation maximum possible et insolation effective.

La première (insolation astronomique) est la quantité de soleil qui pourrait être enregistrée en un endroit à condition que le ciel reste serein et que l'horizon soit limité à l'horizontale. Elle ne dépend donc que de la latitude du lieu et du

Fig. 3: Limite de l'ombre portée par un objet de hauteur sur un terrain exposé au nord-ouest et à 75% de pente



jour de l'année (ou, en d'autres termes, de la hauteur du soleil sur l'horizon).

La deuxième (durée d'insolation maximum possible) tient compte en plus de l'horizon, mais pas de la nébulosité. Plus une station est encaissée dans les montagnes et plus la différence entre l'insolation astronomique et l'insolation maximum possible est grande. En général, la seconde est plus petite que la première. Seuls des sommets de montagne où l'horizon est situé au-dessous de l'horizontale du lieu, par suite de la rotondité de la terre, ont des insolutions maximums possibles supérieures à l'insolation astronomique.

La quantité d'insolation enregistrée aux stations d'observations ou insolation effective tient compte de la nébulosité en plus de la latitude et de l'horizon. Il faut donc toujours établir le rapport entre l'insolation effective mesu-

men sind aber ziemlich alt und müssten überarbeitet werden im Lichte der letzten Messungen, über die wir verfügen.

Sonnenscheindauer

In diesem Kapitel behandeln wir nicht die thermische Wirkung der Sonnenstrahlung; wir weisen den Leser auf das folgende Kapitel hin, das von der Wärmestrahlung spricht. Beschränken wir uns an dieser Stelle auf die psychologische Wirkung der Sonnenstrahlung auf die Bewohner von Gebäuden. Die das Wohn- oder Bürogebäude in nächster Nähe umflutenden Sonnenstrahlen wirken auf den Menschen beruhigend und erhöhen sein Wohlbefinden. Betrachtet man die Messwerte zur Sonnenscheindauer der nationalen Wetterdienste, wird man oft irreführt. Die Messwerte beziehen sich nämlich auf die effektiv in den Wetterstationen registrierte Sonnenscheindauer (Anzahl Sonnenscheinstunden).

Die Sonnenscheinmenge, die an einem bestimmten Ort den Boden erreicht, hängt jedoch nicht nur vom Breitengrad ab, sondern auch in vielleicht größerem Masse vom Horizont. Bei der Standortwahl eines Gebäudes muss daher zwischen astronomi-

scher Sonnenstrahlung, maximal möglicher und effektiver Sonnenscheindauer unterschieden werden. Die erste (astronomische Sonnenscheindauer) ist die Sonnenscheinmenge, die an einem Ort registriert werden kann, vorausgesetzt, dass der Himmel heiter bleibt und dass der Horizont rein waagrecht ist. Sie hängt also nur vom Breitengrad des Standortes und vom Tag des Jahres ab (oder, mit anderen Worten, von der Höhe der Sonne über dem Horizont).

Die zweite (maximal mögliche Sonnenscheindauer) berücksichtigt darüber hinaus noch den Horizont, jedoch nicht die Bewölkung. Je tiefer ein Ort in einem Gebirgstal liegt, desto höher ist der Unterschied zwischen astronomischer und maximal möglicher Sonnenscheindauer.

Die von den Wetterstationen gemessene Sonnenscheinmenge oder effektive Sonneneinstrahlung berücksichtigt ausser dem Breitengrad und der Horizontlinie noch die Bewölkung. Daher muss immer die Beziehung zwischen registrierter effektiver und maximal möglicher Sonneneinstrahlung hergestellt werden, wenn von einem Ort auf einen anderen extrapoliert werden soll. Im Bauwesen müsste man über Karten mit der maximal möglichen Sonnen-

scheindauer verfügen wie für den Kanton Waadt (s. Primault 1972, Abb. 31, 32, 33 und 34).

Die Sonnenscheindauer wird nicht nur von der Horizontlinie verringert, sondern auch von der Vegetation und von Nachbarbauten. Bei der Standortwahl von Gebäuden ist der Schlagschatten der Nachbarbauten zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck gibt es Kurvenblätter, mit denen man den Schlagschatten leicht errechnen kann, für jede Tageszeit, Jahreszeit, Geländeneigung und Ausrichtung (Primault, 1964). Beispiele siehe Fig. 2 und 3. Für die meisten Menschen bedeutet eine besonnte Wohnung grösseres Wohlbefinden. Starke Besonnung hat jedoch Nachteile in bezug auf ihre Wirkung auf die Zimmertemperatur.

Wärmestrahlung

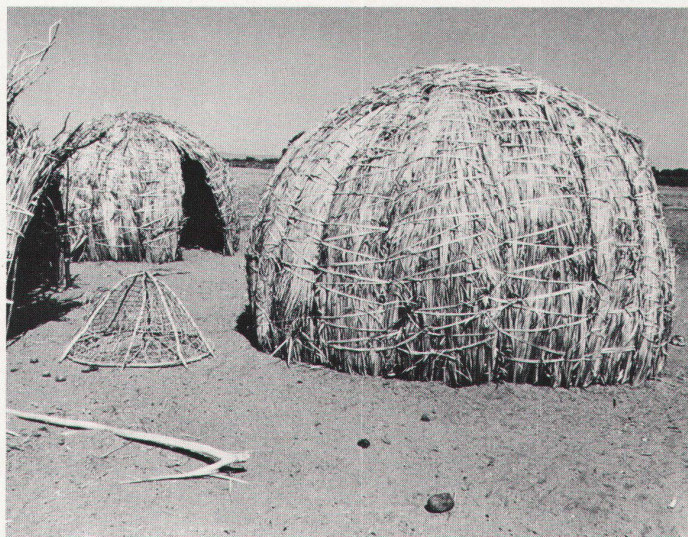
In ihren Berechnungen übergehen die Architekten oft die Wirkung der Wärmestrahlung auf die Fassaden ihrer Bauten. Dabei ist dieser meteorologische Faktor von grosser Wichtigkeit. Auf dem Plateau, zur Mittagszeit im Sommer, auf einer nach Süden gerichteten Fassade bringt die Wärmestrahlung $51 \text{ cal cm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, während dieser Wärmegewinn



1 La première protection contre le froid: le vêtement. Chez les Esquimaux, tout l'art consiste à utiliser les matériaux usuels: fourrure d'animaux polaires. (Photo: Richard Harrington)



2 Pour l'Esquimau, la construction de l'igloo représente la condition de survie dans le froid de la nuit polaire. Là également, le matériau est disponible à profusion. (Photo: Richard Harrington)



3 Les huttes les plus primitives concourent à abriter l'homme des intempéries: ici, la cabane de paille des tribus primitives vivant au bord du lac Rudolph au Kenya. (Photo: James Barr)



4 Une hutte plus perfectionnée – le toit est distinct des murs porteurs – édifée en rondins et en chaume, le long du Zambèze, en Mozambique. (Photo: James Barr)



5 Pour éviter l'humidité, le sud-est asiatique et les îles recourent aux pilotis: maison des Dayaks de Bornéo. (Photo: W. R. Geddes)

Tableau 2: Energie reçue par un cube de 10 m de côté (pans de 100 m²) dont les pans sont exposés selon les points cardinaux

	Nébulosité *) 1/10	Face sud			Face nord			Faces est et ouest			Face supérieure			Total		
		Energie kcal/jour	Réfrigérant non conv. kg/jour	Thermo-pompe h.w.h. réfrigération k.w.h.	Energie kcal/jour	Réfrigérant non conv. kg/jour	Thermo-pompe h.w.h. réfrigération k.w.h.	Energie kcal/jour	Réfrigérant non conv. kg/jour	Thermo-pompe h.w.h. réfrigération k.w.h.	Energie kcal/jour	Réfrigérant non conv. kg/jour	Thermo-pompe h.w.h. réfrigération k.w.h.	Energie kcal/jour	Réfrigérant non conv. kg/jour	Thermo-pompe h.w.h. réfrigération k.w.h.
21 décembre																
Plateau suisse	0	322500	32.25	2625	30000	3.00	244	101250	10.12	824	120000	12.00	976	675000	5494	437
Ciel serein	8.11	81335	8.13	662	14807	1.48	120	33545	3.35	273	54309	5.43	442	217541	1770	57
Nébulosité moyenne	10	25133	2.51	204	11266	1.12	91	17766	1.77	144	39000	3.90	317	110933	902	26
Ciel couvert	0	430000	43.00	3500	40000	4.00	325	135000	13.50	1098	160000	16.00	1302	900000	7325	209
Plateau suisse	4.60	245400	24.55	1998	27580	2.75	224	82330	8.23	670	107100	10.71	871	544880	4435	127
Ciel serein	10	29000	2.90	236	13000	1.30	105	20500	2.05	166	45000	4.50	366	128000	1041	30
Ciel couvert																
21 mars, 23 septembre																
Plateau suisse	0	429166	42.91	3493	70833	7.08	576	274999	27.49	2238	375000	37.50	3052	1424999	11598	331
Ciel serein	6.06	210387	21.03	1712	4948248	4.82	332	141017	14.10	1147	219864	21.98	1789	760533	6190	177
Nébulosité moyenne	5.65	225189	22.51	1832	49776	4.97	405	150081	15.00	1221	230360	23.03	1875	805489	6556	187
Ciel couvert	10	68145	6.81	554	33564	3.35	273	53905	5.39	438	119000	11.90	968	328521	2674	76
Plateau suisse	0	515000	51.50	4191	85000	8.50	691	330000	33.00	2686	450000	45.00	3662	1710000	13918	398
Ciel serein	4.70	304040	30.44	2478	60560	6.05	492	199810	19.98	1626	293490	29.34	2388	1058110	8612	246
Nébulosité moyenne	4.40	317860	31.78	2587	62120	6.21	505	208120	20.81	1694	303480	30.34	2470	1099720	8951	256
Ciel couvert	10	67000	6.70	545	33000	3.30	268	53000	5.30	431	117000	11.70	952	323000	2629	75
21 juin																
Plateau suisse	0	309795	30.97	2521	164285	16.42	1337	384897	38.48	3132	690000	69.00	5616	1933877	15740	450
Ciel serein	5.64	190493	19.04	1550	109693	10.96	892	218568	21.85	1779	409692	40.96	3334	1147021	9336	247
Nébulosité moyenne	10	98276	9.82	799	67490	6.74	549	89987	8.99	732	193000	19.30	1570	538742	4385	125
Ciel couvert	0	330000	33.00	2686	175000	17.50	1424	410000	41.00	3337	735000	73.50	5982	2060000	16767	479
Plateau suisse	4.45	220085	22.00	1791	122490	12.24	997	261370	26.13	2127	480460	48.04	3910	1345775	10953	313
Ciel serein	10	83000	8.30	675	57000	5.70	463	76000	7.60	618	163000	16.30	1326	455000	3703	106
Nébulosité moyenne																
Ciel couvert																

° valeurs mesurées, les autres sont calculées

*) selon Klimatologie der Schweiz, Heft H, 1963, p 3-5 (1901-1940)

Plateau suisse, moyenne: Genève, Lausanne, Romont, Neuchâtel, Berne, Aarau, Lucerne, Zurich, Schaffhouse, Kreuzlingen
Tessin, moyenne: Lugano, Locarno-Muralto

rée et l'insolation maximum possible si l'on veut opérer une extrapolation d'un endroit vers un autre. Dans la construction, il faudrait pouvoir disposer de cartes de l'insolation maximum possible, telles celles du canton de Vaud (cf. Primault 1972, fig. 31, 32, 33 et 34).

Mais la durée d'insolation n'est pas seulement limitée par l'horizon, elle l'est également par la végétation ou les immeubles voisins. Dans le choix de l'implantation de nouvelles constructions, il faudrait tenir compte de l'ombre portée par les immeubles existant alentour. Pour ce faire, il existe des abaques permettant de calculer rapidement l'ombre portée quelles que soient l'heure du jour, la saison, la pente et l'exposition du terrain (Primault, 1964). *Exemples fig. 2 et 3.* Pour la plupart des humains, plus leur habitat est ensoleillé, mieux ils se sentent à l'aise. Une forte insolation a cependant des inconvénients du point de vue des répercussions qu'elle a sur la température des locaux.

Rayonnement

Dans leurs calculs, les architectes omettent souvent l'influence du rayonnement sur les parois des immeubles qu'ils construisent. Et pourtant ce paramètre météorologique a une importance capitale. Sur le Plateau, en été, à midi, et sur une paroi exposée au sud, le rayonnement apporte $51 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-2}$ tandis qu'en hiver, et dans les mêmes conditions, cet apport supplémentaire est de $75,5 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-2}$.

Selon l'exposition des parois, la hauteur du soleil sur l'horizon et l'heure de la journée, cet apport de calories varie fortement. On trouve chez Valko (1967, 1970–1971) des tables et des graphiques indiquant les quantités de chaleur apportées dans différents cas.

Ainsi, la plus courte journée de l'année (21 décembre) peut, si le ciel est serein, apporter à une surface plane $131,6 \text{ cal cm}^{-2}$ sur le Plateau.

En raison des angles d'incidence des rayons, une façade exposée au sud en reçoit $421,6$. Par conséquent, en plaine, une telle façade de 30 m de long et de 10 m de haut recevra par ciel serein un 21 décembre 1264800 kcal ou l'équivalent de $126,48 \text{ kg}$ d'huile de chauffage. Même par ciel couvert, le rayonnement n'est pas négligeable. Dans les mêmes conditions (façade de 300 m^2 exposée au sud le 21 décembre), la quantité d'énergie reçue est encore de 7500 kcal , soit l'équivalent de $0,75 \text{ kg}$ de mazout.

En montagne et par suite de la moindre valeur du «trouble atmosphérique», c'est-à-dire des impuretés en suspension dans l'air (poussières, CO_2 , vapeur d'eau, etc.), les quantités reçues sont plus importantes encore qu'en plaine. Ainsi à Davos (1500 m), on note à midi le 21 décembre $33 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ par ciel clair et $14 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ par ciel couvert. Sur le Plateau les valeurs équivalentes sont de $26,1 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$, respectivement $8,6 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$. Mais c'est surtout en vue de l'été que le rayonnement doit être pris en considération dans les projets de construction.

Pour ne pas porter atteinte à notre environnement, il faudrait utiliser des appareillages qui, au lieu de déplacer simplement l'énergie calorifique, la transforment. Si donc nous vivions en vase clos, c'est-à-dire que l'on doive absorber l'énergie calorifique en surplus pour la transformer en d'autres formes (par exemple en énergie chimique) pour la détruire, il faudrait disposer d'environ *sept fois plus* d'énergie pour réfrigérer un certain volume qu'il n'en faut pour le réchauffer d'autant. Ainsi, pour un local donné, la quantité d'énergie nécessaire pour abaisser la température de 30° à 23° (-7°C) suffirait à le réchauffer de -26° à $+23^\circ$ ($7 \times 7 = 49^\circ\text{C}$).

Dans le monde où nous vivons, on dispose heureusement de nombreux gradients de température, ce qui permet de rejeter les calories excé-

dentaires vers le milieu ambiant. On porte cependant alors une atteinte plus ou moins grave à notre environnement naturel. Pour ce faire, on a imaginé la thermo-pompe qui remplace les moyens de réfrigération non conventionnels dont il est fait mention ci-dessus. Cet appareil sert à retirer de la chaleur à un fluide (gaz ou liquide) pour la transmettre à un autre par l'intermédiaire d'un troisième. Ces thermopompes sont beaucoup plus économiques que les appareils non conventionnels. Pour compenser la chaleur absorbée par une thermo-pompe ayant consommé 1 kWh d'énergie, il faudrait utiliser environ 5 kWh de chauffage. Elle est donc, en gros, 35 fois plus économique que les moyens non conventionnels, ce qui ressort très nettement des chiffres du tableau 2.

Si un apport supplémentaire de calories est désiré en hiver pour atténuer les besoins en chauffage artificiel, il n'en va pas de même en été. Par conséquent, il serait indiqué de rompre la platitude des surfaces exposées au rayonnement direct du soleil par des galeries projetant en été leur ombre sur la façade sans diminuer grandement l'apport calorifique du soleil en hiver (*voir schéma fig. 4*). Pour produire leur plein effet, les pare-soleil doivent se trouver à l'extérieur de la construction. Incorporés à une fenêtre (entre les deux vitres par exemple) leur efficacité thermique est très aléatoire.

Jusqu'ici, nous n'avons parlé que du réchauffement dû au rayonnement direct du soleil. Pourtant, il est un apport de calories non négligeable qui est dû au rayonnement diffus, c'est-à-dire à celui qui nous parvient du ciel et des nuages. Dans l'étude déjà mentionnée, Valko (1970–1971) a procédé à différents calculs qui permettent d'introduire cet apport dans la détermination du réchauffement des façades quelles que soient leur exposition ou l'ombre à laquelle elles sont soumises (cf. *tableau 2*).

A proximité d'un grand plan d'eau, un

im Winter unter den gleichen Bedingungen $75,5 \text{ cal cm}^{-2}\text{h}^{-1}$ beträgt. Je nach der Ausrichtung der Fassaden, der Höhe der Sonne über dem Horizont (Jahreszeit) und der Tageszeit schwankt dieser Kaloriengehalt beträchtlich. Bei Valko (1967, 1970–1971) findet man Tafeln und Diagramme mit den jeweiligen Wärmemengen.

So kann eine ebene Fläche am kürzesten Tag des Jahres (21. Dezember) bei heiterem Himmel im Mittelland 131 cal cm^{-2} erhalten. Wegen der Einfallswinkel erhält eine Südfassade $421,6$. In den Niederungen und bei heiterem Wetter erhält eine solche 30 m lange und 10 m hohe Fassade an einem 21. Dezember 1264800 cal oder den Gegenwert von $126,48 \text{ kg}$ Heizöl. Zur Bewahrung unserer Umwelt müssten Anlagen verwendet werden, welche die Wärmeenergie verwandeln, statt dass sie sie lediglich verdrängen. Wenn wir das Zuviel an Wärmeenergie absorbieren und in eine andere Energieart umwandeln müssten (z. B. in chemische Energie), müsste zu ihrer Vernichtung ungefähr *siebenmal mehr* Energie aufgewandt werden zur Kühlung eines bestimmten Volumens als zu seiner entsprechenden Erwärmung. Für einen gegebenen Raum genügt

die Energiemenge, die zu seiner Abkühlung von 30° auf 23° benötigt wird, um ihn von -26° auf $+23^\circ$ zu erwärmen ($7 \times 7 = 49^\circ$).

In dieser Welt verfügen wir glücklicherweise über zahlreiche Temperaturgradienten, so dass die überzähligen Kalorien in den umgebenden Raum abgeleitet werden können. Man schädigt jedoch dadurch mehr oder weniger unsere natürliche Umwelt. Daher erdachte man die Wärmepumpe, welche die nicht herkömmlichen eben beschriebenen Kühlmethoden ersetzt. Der Apparat entzieht einem Fluid (Gas oder Flüssigkeit) Wärme und leitet sie an ein zweites über ein drittes weiter. Wärmepumpen sind viel wirtschaftlicher als nicht herkömmliche Apparaturen. Zum Ausgleich der von einer Wärmepumpe absorbierten Wärme, die dazu 1 kWh Energie benötigte, müssten ungefähr 5 kWh Heizenergie aufgewendet werden. Sie ist demnach 35 mal wirtschaftlicher als die nicht herkömmlichen Mittel, wie es in den Zahlen von Tafel 2 klar zum Ausdruck kommt.

Im Winter ist eine zusätzliche Kalorienmenge erwünscht, damit das Bedürfnis an künstlicher Heizung verringert wird. Dies trifft nicht für den Som-

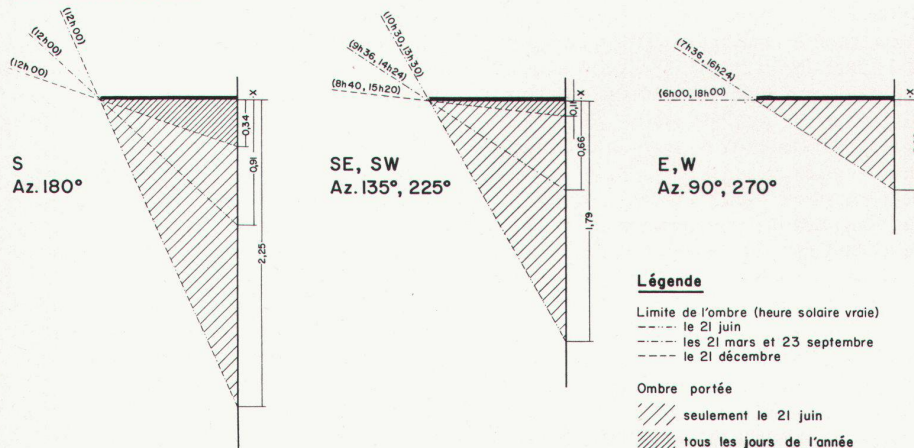
mer zu. Daher wäre es angebracht, die Ebenheit der Fassadenelemente, die direkter Sonnenstrahlung ausgesetzt sind, durch Galerien zu brechen, die im Sommer der Fassade Schatten spenden würden, ohne die Kalorienzufuhr der Wintersonne zu sehr zu mindern (*s. Schema Fig. 4*). Um effektiv zu sein, müssen Sonnenblenden *aussen* angebracht sein. Im Verbund mit einem Fenster (zwischen den beiden Fensterscheiben z. B.) ist ihre thermische Wirksamkeit fraglich. In der Nähe einer grossen Wasserfläche erhält man zusätzliche Kalorien durch die Reflexion der direkten und diffusen Sonnenstrahlung zum Ufer hin. Diese Tatsache ermöglicht den Anbau von viel Sonne verlangenden Kulturen an Seeufern und anderenorts nicht so gut (*s. Primault, 1971*).

Ionisation

Durch die Atmung gelangt Luft in den Organismus. Ist die Zusammensetzung dieser Luft (Gasanteile des Gemisches) für die Lungen determinierend, so spielen andere Bestandteile eine wesentliche Rolle in den andern Organen der Luftwege: die Geruchstoffe, Stäube und Ionen.

Die Geruchstoffe wirken über die Nase auf das

Fig. 4: Ombre d'un pare-soleil de largeur X , coupes perpendiculaires à des façades exposées selon trois directions



apport supplémentaire de calories est dû à la réflexion du rayonnement direct et du rayonnement diffus par un lac vers ses côtes. C'est d'ailleurs à ce phénomène que l'on doit de pouvoir pratiquer certaines cultures réclamant un fort rayonnement sur des bords de lacs plutôt qu'ailleurs (voir Primault, 1971).

Ionisation

Par la respiration, l'air pénètre à l'intérieur de l'organisme. Si la composition de cet air (part de chacun des gaz qui forment le mélange) est déterminante au niveau des poumons, il est d'autres composants qui jouent un rôle essentiel dans les autres organes du système respiratoire. Les substances olfactives, les poussières et les ions.

Les substances olfactives agissent sur le système nerveux au niveau du nez. L'organisme réagit de façon réflexe aux mauvaises odeurs par une respiration courte et saccadée. Les poussières respirées sont retenues tant par les

poils que les mucosités qui recouvrent les parois des arrières-fosses nasales et le larynx que par les amygdales.

Mais les ions (petites particules solides chargées électriquement) passent ces obstacles si ce n'est dans leur totalité, du moins dans leur grande majorité. Ces particules parviennent ainsi dans la trachée dont les parois sont tapissées de cils. Ces derniers sont animés de mouvements ondulatoires permettant l'évacuation des mucosités et des poussières restant encore en suspension dans l'air inspiré. Par leur charge électrique, les ions influencent le mouvement des cils de la trachée et, partant, le bon fonctionnement de tout le système respiratoire. Si ce fonctionnement est perturbé, tout l'être s'en ressent: il devient somnolent ou irritable suivant les cas et, sous une action prolongée, peut perdre l'appétit, être sujet à des vomissements et, d'une façon plus générale, voir sa résistance à l'attaque d'agents pathogènes fortement diminuée.

Un des facteurs principaux du sentiment de bien-être à l'intérieur des locaux, et à plus forte raison en atmosphère confinée, est donc le degré d'ionisation de l'air. On trouve de multiples travaux dans la littérature qui traitent de ce sujet. Dans la plupart d'entre eux, il n'est cependant fait qu'une distinction entre les ions positifs (ions $+$) et les ions négatifs (ions $-$). Les premiers seraient, selon les auteurs, les agents d'une forte excitation et, par voie de conséquence, d'une baisse de concentration, les seconds augmenteraient au contraire le bien-être de l'homme. Il suffirait alors d'introduire des ions $-$ dans le flux d'air pulsé afin de combattre les effets néfastes des ions $+$ que tout organisme vivant (et, partant, tout être humain) libère dans l'atmosphère par son métabolisme.

Or, plus encore que la proportion d'ions $+$ et d'ions $-$, le rapport entre les ions petits et gros est important à connaître. Par conséquent, afin d'augmenter le bien-être des habitants, ou des gens travaillant en atmosphère confinée, il faudrait établir le spectre des ions en suspension dans l'atmosphère et l'adapter artificiellement à un optimum. Une simple adjonction d'ions $-$ ne saurait apporter le soulagement escompté (cf. Bachmann et al. 1971, Furchner 1968).

Phénomènes fluctuants

Nous abordons ici un domaine encore peu exploré de la météorologie, car l'origine des effets constatés est encore imprécise bien que lesdits effets soient connus de chacun (céphalées, influence du fœhn, etc.). En 1952 déjà, Zink et Kuhnke réclamaient des études poussées à ce sujet. D'après les auteurs qui ont abordé ce problème, en particulier Piccardi (1958, 1959, 1964, 1969), il s'agirait de rayonnements spéciaux émis par le soleil et les astres. Ne connaissant pas son origine, on ne peut par conséquent mesurer ce rayonnement de façon directe.

Pourtant, on sait par expérience que ces

Nervensystem ein. Der Organismus reagiert unwillkürlich mit kurzer und stossartiger Atmung auf schlechte Gerüche. Die eingeatmeten Staubteilchen bleiben in den Haaren oder im Schleim der hinteren Nasenhöhlenwände, des Kehlkopfes sowie an den Mandeln hängen.

Die Ionen aber (kleinste feste elektrisch geladene Teilchen) passieren diese Hindernisse, wenigstens die meisten von ihnen. Sie gelangen in die Luftröhre, deren Wände Flimmerhärchen besitzen, welche sich wellenartig bewegen und die Abfuhr des Schleims und der restlichen Staubteilchen der Atemluft gestatten. Die elektrisch geladenen Ionen beeinflussen die Bewegung der Flimmerhärchen der Luftröhre und somit das Funktionieren der Atmungsorgane. Eine Störung des Systems wirkt sich auf den ganzen Menschen aus: er wird schläfrig oder gereizt, und bei längerem Einfluss erfolgen Appetitlosigkeit, Erbrechen und, allgemein gesehen, sogar eine grössere Anfälligkeit gegenüber Krankheitsserregern.

Schwankende Phänomene

Hier berühren wir ein noch wenig erforschtes Ge-

biet der Meteorologie; denn der Ursprung der beobachteten Wirkungen ist noch nicht genau festgestellt, obwohl die genannten Wirkungen allgemein bekannt sind (Kopfschmerzen, Föhnkrankheit usw.). Schon 1952 forderten Zink und Kuhnke genaue Untersuchungen auf diesem Gebiet. Autoren, die sich mit diesem Problem beschäftigt haben, besonders Piccardi (1958, 1959, 1964, 1969), meinen, es handle sich um besondere Strahlungen der Sonne und der Sterne. Da ihre Herkunft unbekannt ist, können diese Strahlungen nicht direkt gemessen werden.

Erfahrungsgemäss weiss man jedoch, dass diese schwankenden Phänomene, deren Stärke mit der Sonnentätigkeit fluktuiert, einen echten Einfluss auf sämtliche chemischen Reaktionen, seien sie organisch oder anorganisch, haben. Diese Erscheinungen wurden durch Geschwindigkeitsschwankungen bei anorganischen Reaktionen entdeckt. Sie beeinflussen nicht nur chemische Reaktionen und folgergemäss den ganzen Metabolismus der Lebewesen und die verschiedenen Eigenschaften des Wassers, sondern auch die elektromagnetischen Wellen, denen wir ständig ausgesetzt sind.

Man entdeckte eine enge Beziehung zwischen den Geschwindigkeitsschwankungen anorganischer chemischer Reaktionen (Piccardi 1956), der Vermehrungsweise von Hefe (Giordano 1959), der Entwicklung der Bakterien (Bortels 1956), der Aggressivität der Viren (Primault 1958) und sogar dem menschlichen Verhalten (Capel-Boutet 1974). Mit seinen Tests bewies Piccardi die Möglichkeit, kleinere Räume von dieser Strahlung zu isolieren (die anorganischen chemischen Reaktionen werden dann direkt wiederholbar, was unter normalen Laborbedingungen nicht der Fall ist). Diese teilweise oder totale Isolation wird mit Hilfe von Schirmwänden verschiedener Art und Grösse erreicht.

Durch die im modernen Bauwesen angewendeten Techniken (Stahlbeton, Stahlgerüste oder Aluminiumplatten z. B.) setzt man den Menschen in mehr oder weniger perfekte, mehr oder weniger geerdete Faradaysche Käfige. Es ergibt sich daraus eine gewisse Abschirmung von Strahlungen solarischen oder kosmischen Ursprungs. Der Mensch ist seiner Anlage nach dazu bestimmt, diesen Einflüssen ausgesetzt zu sein. Wenn man ihm diese Strahlungen entzieht, wandelt man seinen Metabolismus mit of-

phénomènes fluctuants, dont l'intensité varie avec l'activité solaire, ont une importance certaine sur toutes les réactions chimiques, qu'elles soient organiques ou inorganiques. C'est d'ailleurs grâce à des variations de la rapidité de réactions inorganiques qu'on a découvert ces phénomènes. Ces derniers n'agissent pas seulement sur les réactions chimiques, et partant, sur le métabolisme de tout être vivant et les diverses propriétés de l'eau, mais se répercutent également sur les ondes électromagnétiques par lesquelles nous sommes assaillis en permanence.

On a trouvé une relation étroite entre les variations de la vitesse des réactions chimiques inorganiques (Piccardi 1956), la forme de multiplication des levures (Giordano 1959), le développement des bactéries (Bortels 1956), l'agressivité des virus (Primault 1958), voire même le comportement humain (Capel-Boutet 1974). Par ses tests, Piccardi a montré qu'il était possible de soustraire des espaces restreints à ce rayonnement (les réactions chimiques inorganiques sont alors directement reproductibles, ce qu'elles ne sont pas dans des conditions ordinaires de laboratoire). Cette isolation partielle ou totale se fait au moyen d'écrans de nature et de grandeurs diverses.

Par les techniques utilisées dans la construction moderne (usage de béton armé, armatures d'acier ou de plaques d'aluminium, par exemple), on place les êtres humains dans des cages de Faraday plus ou moins parfaites et plus ou moins bien mises à terre. Il s'ensuit une certaine isolation aux effets de ce rayonnement d'origine solaire ou cosmique. L'être humain est cependant fait pour en subir les effets, c'est-à-dire qu'en l'y soustrayant, on modifie son métabolisme, ce qui a des répercussions psychiques évidentes. La nervosité constatée de nos jours dans les populations urbaines est probablement due au fait que les individus sont alternativement soumis et soustraits aux effets

de ce rayonnement particulier. Cette alternance est nuisible à un comportement normal. En construisant un immeuble, l'architecte devrait tenir compte de ces phénomènes en pratiquant, dans les structures mêmes de sa construction, des passages libres ou en procédant à la mise à terre parfaite des différents éléments de sa construction (cf. König 1971, Ludwig 1968).

Gaz contenus dans une atmosphère confinée (en particulier le CO₂)

Dans tous les traités de médecine du travail, on trouve des normes se rapportant aux doses tolérables et mortelles des différents gaz qui se rencontrent dans les locaux. Pourtant, ces normes se rapportent en général aux quantités minimums nuisibles (prouvées de façon irréfutable) à la santé de l'homme, c'est-à-dire pouvant occasionner pour la plupart des gaz des lésions irréversibles de certains tissus par leur action répétée ou prolongée. Plus la concentration de ces gaz est grande, plus le risque encouru par ceux qui les respirent est grand. A une certaine concentration, ils peuvent devenir mortels.

Ainsi pour le gaz carbonique Haider (1974, p. 26) indique que 5000 ppm (parties par million) est mortel à l'homme. L'organisme ne subit cependant pas de lésions irréversibles dans ce cas particulier à des concentrations inférieures. Par conséquent, il n'est pas considéré comme dangereux pour la santé avant la dose mortelle.

Mais, si l'on expose des êtres humains à des concentrations bien inférieures (à partir de 1000 ppm environ selon Haider), on constate une certaine somnolence. Comme l'homme est appelé à travailler, il est donc soumis, par le fait de cette somnolence, à une contrainte constante. Cette contrainte a une action psychique défavorable. L'irritabilité augmente et la vie en commun en devient impossible.

Lors du calcul des quantités d'air à insuffler

par la ventilation, l'architecte ou l'ingénieur de la ventilation fera bien d'admettre une tolérance bien inférieure à celle fixée par les normes actuellement en usage. C'est à ce prix qu'il assurera le bien-être des gens devant habiter ou travailler dans les locaux qu'il construit.

Vision d'avenir

La météorologie et la climatologie sont à même d'apporter un élément nouveau dans l'architecture à condition d'être interprétées à bon escient. Certes, une telle introduction demandera des professionnels de la construction une adaptation à ce nouveau concept.

En Suisse, grâce aux efforts de la Société Helvétique des Sciences Naturelles d'abord, de la Confédération ensuite, des observations météorologiques sont effectuées régulièrement depuis 1864. Ces longues séries permettent, par une compilation adéquate, de voir dans quelle mesure ces éléments peuvent varier au cours de l'année, des saisons, des mois, ou de laps de temps plus brefs encore (cf. Primault 1970). Mais, en plus de cette documentation qui nous indique l'évolution du temps depuis plus de 100 ans à un grand nombre de stations du pays (environ 120), on dispose de trois séries plus longues encore et s'étendant sans interruption sur plus de 250 ans (Bâle, Genève, Gd-St-Bernard). Ces trois dernières séries permettent de voir dans quelle mesure le climat, envisagé cette fois comme entité caractéristique des conditions géographiques d'une région, a évolué. Elles permettent en outre de rattacher les séries plus courtes (30, 60, 120 années, etc.) à un plus long laps de temps.

Enfin, des rapports, chroniques, etc., relatant certains faits précis, tels qu'inondations, famines, sécheresses, évolution des glaciers (ces derniers souvent par le biais des redevances payées par les montagnards à leurs seigneurs), donnent une idée de l'évolution de notre climat

fensichtlichen psychischen Folgen. Die heutzutage beobachtete Nervosität unter der Stadtbevölkerung ist wahrscheinlich dadurch bedingt, dass der Mensch mal diesen Strahlungen ausgesetzt ist, mal nicht. Diese Wechselwirkung ist für ein normales Verhalten schädlich. Beim Bau eines Gebäudes sollte der Architekt diese Phänomene berücksichtigen und in der Baustruktur selber Durchgänge vorsehen oder die verschiedenen Bauelemente perfekt erten (s. König 1971, Ludwig 1968).

In geschlossenen Räumen enthaltene Gase (besonders CO₂)

In allen Lehrbüchern der Arbeitsmedizin findet man Normen zum ertragbaren oder tödlichen Anteil der verschiedenen Gase, die man in einem geschlossenen Raum vorfindet. Doch beziehen sich die Normen meistens auf die gesundheitsschädlichen Mindestwerte (die klar bewiesen sind), das heisst, wobei die meisten Gase durch wiederholte oder langdauernde Einwirkung gewisse Gewebe unheilbar schädigen. Je grösser die Konzentration solcher Gase, desto grösser die Gefahr für den, der sie einatmet. Bei einer gewissen Konzentration können sie

tödlich wirken. Laut Kaiser (1974, S. 26) sind 5000 ppm (Anteile pro Million) Kohlensäuregas tödlich für den Menschen. Der Organismus wird in diesem besonderen Falle bei geringeren Konzentrationen nicht dauerhaft geschädigt. Daher wird es unter der tödlichen Dosis nicht als gesundheitsschädigend angesehen.

Wenn man jedoch Menschen weit geringeren Konzentrationen aussetzt (ab 1000 ppm laut Haider), tritt eine gewisse Schläfrigkeit ein. Da nun der Mensch arbeiten soll, ist er wegen dieser Schläfrigkeit einer konstanten Belastung ausgesetzt, die einen negativen psychologischen Einfluss hat. Die Reizbarkeit nimmt zu, und das Gemeinleben wird dadurch unmöglich. Bei der Berechnung der durch Belüftung hereinzuführenden Luftmengen sollte der Architekt oder der Lüftungsingenieur eher einen weit niedrigeren Grenzwert annehmen als den von den heute geltenden Normen vorgeschriebenen. Nur zu diesem Preis kann das Wohlbefinden der Menschen garantiert werden, die später in diesen Bauten leben oder arbeiten werden.

Zukunftsvision

Meteorologie und Klimatologie können ein neues Element in die Architektur hineinbringen unter der Bedingung, dass man sie richtig anwendet. Sicher bedeutet diese Einführung für den Bauberuf eine notwendige Anpassung an das neue Konzept. Gewiss, das Sammeln dieser Zahlen ist eine undankbare Arbeit. Daher wurden sie in Form von gleich anwendbaren Tafeln oder Diagrammen dargestellt, welche ihre Schwankungen zeigen.

Dennoch weiss der Architekt oft nicht, wie er sie anwenden soll; denn es kommt kaum vor, dass sich der Beobachtungsposten genau am geplanten Standort befindet. Er ist daher gezwungen, ob er will oder nicht, die Daten der nationalen Wetterdienste zu extrapolieren. Eine solche Operation verlangt aber eine gute Kenntnis der Wechselwirkungen der meteorologischen Elemente (Wärmestrahlung auf Temperatur, Temperatur auf relative Luftfeuchte, relative Luftfeuchte auf Verdunstung, Geländeneigung auf die lokalen Winde usw.). Die Interpolation und die Extrapolation der klimatologischen Daten wird dadurch zur Wissenschaft. Damit aber die vorhandenen Daten vom Laien angewendet

jusque dans les environs de l'an mille (voir Le Roy Ladurie 1967). La compilation de ces chiffres est œuvre très rébarbative. Aussi, ces derniers sont-ils préparés pour le praticien et présentés sous des formes directement utilisables, à savoir des tableaux ou des graphiques montrant les fluctuations auxquelles ils sont soumis.

Pourtant, l'architecte qui veut se servir de cette documentation est souvent pris au dépourvu; car il est rare qu'un poste d'observations soit situé exactement à l'endroit où il doit construire. Par conséquent, il est, bon gré mal gré, obligé d'extrapoler les chiffres que lui fournit le Service climatologique national. Une telle opération nécessite cependant des connaissances approfondies quant aux interactions des éléments météorologiques (rayonnement sur la température, température sur l'humidité relative, humidité relative sur l'évaporation, pente du terrain sur les vents locaux, etc.). L'interpolation et l'extrapolation des données climatologiques en deviennent une science pour elle-même. Toutefois, afin de permettre l'utilisation des chiffres disponibles par des non-spécialistes, on a établi des cartes du pays représentant des caractéristiques similaires, soit par des symboles, soit par des plages colorées. Il est alors possible de se faire une première idée des conditions régnant en un lieu donné, même s'il n'existe pas de station d'observations à l'endroit même ou à proximité immédiate.

Cependant, pour l'architecte, un élément météorologique considéré isolément n'apporte qu'une information lacunaire. Pour lui, c'est bien plus l'action combinée de plusieurs éléments qui lui permet une appréciation précise des répercussions du climat sur son projet. Par exemple, l'influence conjointe de la température de l'air, du rayonnement et du vent. Par conséquent, il lui faut connaître la fréquence de franchissement simultané de certains seuils. C'est la

raison pour laquelle on a établi, sur la base des relevés des différentes stations, des tableaux de fréquences combinées (Météoplan).

Dans bien des cas, il est malaisé de se servir des tables élaborées pour des buts généraux en vue de calculs spécialisés. Il faut, au contraire, avoir recours au matériel d'observations original. C'est la raison pour laquelle on établit actuellement une banque de données permettant l'accès direct (électronique) à un très grand nombre de chiffres. Vu la rapidité avec laquelle les ordinateurs modernes opèrent, il est aisément possible de traiter, dans un but particulier et de façon rentable, des millions de chiffres originaux. Pour des raisons de continuité et de fiabilité, on a réduit les séries enregistrées dans la banque des données à des périodes remontant jusqu'à 1931, respectivement 1901. Si la plupart des chiffres originaux figurent déjà sur les bandes magnétiques de la banque de données, il faut encore qu'ils soient contrôlés de façon attentive par le truchement de programmes spéciaux (dits tests de plausibilité) afin qu'ils puissent fournir des indications profitables.

En vue de la solution de cas particuliers (construction d'étables, par exemple), il existe des programmes pour ordinateurs qui permettent de calculer directement les grandeurs architecturales minimums ou optimums en fonction des données climatologiques du lieu. L'utilisation de plus en plus fréquente d'ordinateurs par les praticiens – qu'ils soient architectes, ingénieurs du chauffage et de la ventilation, ingénieurs ruraux ou autres – incite les Services compétents à enrichir leurs bibliothèques de programmes spécialisés.

Au fur et à mesure des demandes provenant de l'industrie de la construction, on se rend mieux compte des besoins des utilisateurs. Il est prévu, comme complément à la banque de données, une banque d'informations, c'est-à-dire

un système électronique permettant de fournir, de façon ponctuelle il est vrai (c'est-à-dire pour des stations isolées), des chiffres élaborés, sans pour cela avoir besoin de recourir chaque fois au matériel original. Ces informations préalables – qui ne rendront vraisemblablement jamais inutile le recours à la banque de données – permettront au praticien une première appréciation des conditions extérieures afin d'établir ses devis approximatifs. Ce n'est que lors de l'élaboration des projets définitifs qu'il sera obligé de s'en référer aux données de base afin d'effectuer les calculs spécifiques à son objet.

Ainsi pourvu des données concernant les éléments de l'atmosphère dans laquelle il construit, l'architecte pourra calculer à bon escient certains éléments de sa construction tels l'isolation des parois extérieures, la dimension des chéneaux du toit ou des canaux d'évacuation de l'eau des cours, l'importance des pare-soleil sans parler de l'orientation optimum de l'immeuble lui-même.

Bernard Primault, chef du Service de Météorologie agricole de l'Institut suisse de Météorologie

werden können, wurden Karten hergestellt, auf denen ähnliche Eigenschaften durch Symbole oder Farbtönung dargestellt sind. Dadurch besteht die Möglichkeit, sich eine erste Idee von den klimatologischen Bedingungen eines Standortes zu machen, auch wenn es am Orte selbst oder in seiner nächsten Umgebung keine Wetterstation gibt.

Ein für sich selbst betrachtetes Wetterelement gibt dem Architekten nur unvollständige Auskünfte. Nur die kombinierte Aktion mehrerer Elemente gestattet eine genaue Bewertung der Klimaeinflüsse auf das Bauprojekt. Zum Beispiel die vereinte Wirkung von Lufttemperatur, Wärmestrahlung und Wind. Daher muss die Frequenz simultaner Schwellenüberschreitungen bekannt sein. Aus diesem Grund wurden auf der Grundlage von Angaben der verschiedenen Wetterstationen kombinierte Frequenzlisten aufgestellt (METEOPLAN).

Oft ist es schwer, mit für generelle Zwecke aufgestellten Tafeln spezialisierte Berechnungen durchzuführen. Man muss dann auf das ursprüngliche Beobachtungsmaterial zurückgreifen können. Daher wird zurzeit eine Datenbank eingerichtet, welche direkten (elektronischen) Zugang zu einer grossen

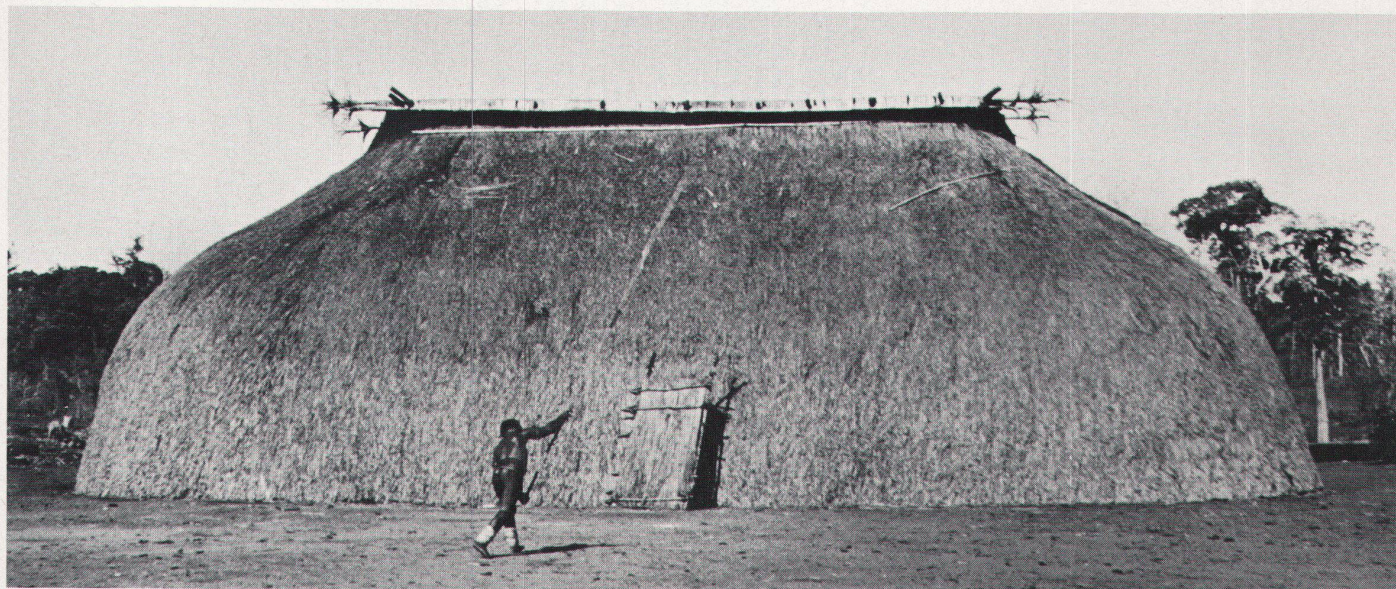
Zahl von Daten bietet. Bei der Operationsgeschwindigkeit moderner Computer ist es leicht, zu einem besonderen Zweck Millionen von Originalzahlen zu verarbeiten. Aus Kontinuitäts- und Fiabilitätsgründen wurden die aufgenommenen Serien auf bis 1931 bzw. 1901 zurückreichende Perioden beschränkt. Die meisten Originaldaten sind bereits in der Datenbank gespeichert, müssen jedoch noch sorgfältig durch Spezialprogramme (Glaubwürdigkeitstests genannt) überprüft werden, damit die gelieferten Angaben von Nutzen sind. Zur Lösung von Sonderfällen (Bau von Ställen z.B.) gibt es Computerprogramme, welche direkt die minimalen oder optimalen Baugrössen berechnen unter Berücksichtigung der klimatologischen Gegebenheiten des Standortes.

Die immer häufigere Zuhilfenahme von Computern im Bauwesen durch Architekten, Heizungs- und Lüftungsingenieure, Kulturingenieure usw. veranlasst die zuständigen Behörden zur Bereicherung ihrer Bibliotheken mit Spezialprogrammen. Mit den wachsenden Anfragen seitens der Bauindustrie gewinnt man ein besseres Bewusstsein von den Bedürfnissen der Benutzer. Ausser der Datenbank

ist noch eine Informationsbank vorgesehen, das heisst ein elektronisches System, das zwar nur punktweise (das heisst für einzelne Stationen) verarbeitete Daten liefern kann, ohne jedesmal auf die Originaldaten zurückgreifen zu müssen. Diese Vorinformation – welche wahrscheinlich nie die Zuhilfenahme der Datenbank überflüssig machen wird – wird dem Praktiker eine erste Schätzung der äusseren Bedingungen gestatten, so dass er seine groben Voranschläge berechnen kann. Erst bei der Ausarbeitung der endgültigen Projekte wird er die Grunddaten zu Hilfe nehmen müssen, um die spezifischen Berechnungen zu seinem Projekt durchzuführen.

Mit den Daten zur Atmosphäre, in der er baut, kann der Architekt nach bestem Wissen und Gewissen gewisse Teile seines Baus berechnen wie etwa die Isolation der Aussenwände, die Grösse der Dachrinnen oder Abwasserrohre, die Grösse der Sonnenblenden und natürlich die optimale Aufstellung des Gebäudes im Gelände.

Bernard Primault, Leiter des Agrarwetterdienstes an der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.



6 Une grande case tribale des terres amazoniennes: c'est l'hypertrophie de la hutte qui atteint ici une échelle et une perfection formelle remarquables. (Photo: Harald Schultz)



7 La ferme traditionnelle de Normandie n'est guère éloignée de la hutte: elle a conservé les éléments de rondins et de chaume. (Photo: Libor Sir)



8 Ferme appenzelloise: le bois s'y marie à la couverture de tuile. (Photo: Len Sirman Press)



9 Une autre conception du rôle de l'architecture: les buildings de verre, de béton et d'acier de New York. (Photo: Libor Sir)



10, 11 Les limites de la technique et les méfaits du gel: bâtiment dans la région de Bienne présentant un décollement du crépissage dû au gel qui a fait sauter les briques. (Deux documents communiqués par le Laboratoire d'essai des matériaux pierreux de l'EPFL.)