

DIE BESONNUNGSVERHÄLTNISSE AN STADTSTRASSEN UND DIE GÜNSTIGSTE BLOCKSTELLUNG.

Von Dr.-Ing. Paul Schmitt, Karlsruhe.

I. Allgemeines.

Es gilt heute als ausgemacht, daß die reine Nord-Süd-Richtung von Streifenstraßen die einzig richtige ist. Bebauungsplan-Entwürfe mit Diagonal- oder gar reinen Ost-West-Straßen wurden bei den meisten städtebaulichen Wettbewerben der letzten Jahre schon im ersten Rundgang ausgeschieden. Ansichten, die vereinzelt aufgetreten sind und die auch bei Nord-Süd-Straßen Nachteile feststellten¹⁾, haben keinen Widerhall gefunden. Die Nord-Süd-Straße ist zu einem städtebaulichen Dogma geworden, das aus einer mehr oder weniger rein gefühlsmäßigen Einstellung heraus entstanden ist, dessen Richtigkeit aber durch nichts erwiesen ist. Die Tatsache dieser bevorzugten Straßenrichtung gründet sich wohl in erster Linie darauf, daß Nord-Süd-Straßen, vorausgesetzt, daß sie genügend weit auseinander liegen, von morgens bis abends besonnt sein können. Die schematisch anmutende, nicht hinreichend überzeugende Forderung nach der Anlage reiner Nord-Süd-Straßen fordert dringend Klarstellung. Das Bedürfnis hiernach besteht, denn auf einer im Oktober 1929 in Karlsruhe stattgehabten Zusammenkunft der Kommunalen Vereinigung kam in einem Vortrag von Prof. W. Gropius eindeutig zum Ausdruck, daß die beste Hausreihenstellung eingehende Untersuchungen erheische.

Der Verfasser betonte bereits vor 1½ Jahren im „Gesundheitsingenieur“ auf Grund von Betrachtungen:

„Im Sommer ist die Besonnung reiner, gerader Nord-Süd-Straßen um die Mittags- und Essenszeit derart stark, daß ihr Begehen recht ungemütlich werden kann. Im Winter aber ist beim höchsten Stand der Sonne in erster Linie die Straße, weniger die Wohnung durchsonnt. Der Einfallswinkel der Lichtstrahlen ist dann vor und nach der Mittagszeit längere Zeit so ungünstig, daß von einer ausgiebigen Einwirkung nicht gesprochen werden kann. Zu beachten ist ferner, daß bei jedem von Nord nach Süd gerichteten Baublock eine Blockseite in ganzer Ausdehnung der Wetterseite zugekehrt ist. Dieser Umstand begünstigt starke Abkühlung sowie Zugbildung in Wohnungen, verbunden mit erhöhtem Wärmeverbrauch im Winter.“

Diese Beobachtungsergebnisse sollen nun, an Hand aller in Frage stehenden Faktoren, soweit sie bis heute erfaßt werden können, untersucht und ins richtige Licht gestellt werden.

Die folgenden Ueberlegungen wollen nur zu einer grundsätzlichen Lösung der gestellten Aufgabe gelangen. Sämtliche Berechnungen gehen daher von der Annahme aus, daß das Baugelände vollkommen wagerecht liege. Die Stellung der Hausstreifen zur Straße, ob also Einreihen-, Mittigreihen- oder Doppelreihenbau vorliegt, ist ohne Bedeutung, weil die Abstände der Hausreihen nicht in Abhängigkeit von der Straßenlage, sondern richtigerweise von der Besonnung berechnet werden sollen. Die Feststellungen erstrecken sich auf Steil- und Flachdach.

¹⁾ Dr.-Ing. Schmitt, Karlsruhe, „Siedlungsstraßen“. Gesundheitsingenieur 1928, Heft 47, S. 757.

Für Siedlungsanlagen in geneigtem Gelände können in ähnlicher Weise die günstigsten Blocklagen gefunden werden, sobald für den Einzelfall die erforderlichen Unterlagen in Form von Lageplänen mit Höhenschichtlinien vorliegen.

Zur Ermittlung der günstigsten Streifenstellung in bezug auf Himmelsrichtung und Gebäudeabstand wird der *Besonnungswert*²⁾, d. i. ein Produkt aus *Besonnungsstärke* und *Besonnungsdauer*, eingeführt.

II. Gebäudeabstände.

Die Gebäudeabstände werden für drei typische Streifenlagen, nämlich Nord-Süd-, Diagonal- und Ost-West-Straßen berechnet. Dabei ist angenommen, daß die unterste Fensterbank des Hausblocks, der sich im Schatten des gegenüberliegenden Streifens befindet, von einem beliebigen, im Einzelfall näher zu bezeichnenden Sonnenstrahl zu irgendeiner Jahreszeit gerade noch erreicht wird. Die betreffende Hauswand ist dann, von dieser untersten Fensterbank an, aufwärts voll besonnt (Abb. 1). Parallele Hauswände vorausgesetzt, bestimmt sich damit der Gebäudeabstand a bei einer Sonnenhöhe β , einem Azimut α der Sonne und einem Azimut γ der Hauswände wie folgt:

a) für Steildach

$$l = (ng + s + d + e) \operatorname{ctg} \beta$$

$$b = (ng + s + d + e - f) \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2 \sin(\alpha - \gamma)} \quad \text{für}$$
$$\operatorname{tg} \beta \leq \frac{2e \sin(\alpha - \gamma)}{t}$$

$$a = b - \sin(\alpha - \gamma) \quad \text{oder}$$

$$a = (ng + s + d + e - f) \sin(\alpha - \gamma) \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2} \quad (1)$$

Sobald $\operatorname{tg} \beta > \frac{2e \sin(\alpha - \gamma)}{t}$ wird, berührt der Sonnenstrahl nicht mehr den First, sondern das Gesims, und die Hausentfernung muß nach der Formel

b) für Flachdach berechnet werden. Diese ergibt sich aus Gl. 1 mit $e = 0$ und $t = 0$ zu

$$a = (ng + s + d - f) \sin(\alpha - \gamma) \operatorname{ctg} \beta \quad (2)$$

Die Bedeutung der Bezeichnungen der Gl. 1 und 2 geht aus Abb. 1 hervor. Dort ist f die Höhe der untersten Fensterbank über Gehweg. Darf der Sonnenstrahl die Hauswand aber x m über Gehweg treffen, so muß an Stelle von f eben x in die Formeln 1 und 2 eingesetzt werden.

Die Klammerwerte $(ng + s + d + e)$ und $(ng + s + d)$ stellen die Haushöhen h vor. Soll die Streifenentfernung als ein Vielfaches von h nach der Gl.

$$a = m h \quad (3)$$

²⁾ Dr.-Ing. Schmitt, „Einreihen-, Mittigreihen- oder Doppelreihenbau“. Gesundheitsingenieur 1929, Heft 52, S. 890.

Zahlentafel 1.

Zusammenhang zwischen Jahreszeit, Sonnenstand, Gebäudeabstand und Geschöfthöhen für Karlsruhe mit $\varphi = 49,5^\circ$ und für Reihenhäuser

Datum	Wahre Zeit Uhr vormittags	Azimut der Sonne α°	Höhe der Sonne β°	Flachdach								Steildach							
				Ost-West-Straßen Gebäudeabstand a in m für				Nord-Süd-Straßen Gebäudeabstand a in m für				Ost-West-Straßen Gebäudeabstand a in m für				Nord-Süd-Straßen Gebäudeabstand a in m für			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
21. 9.	6	-89,5	0,5	2,6	5,7	8,8	11,9	300	650	1020	1360	2,6	5,7	8,8	11,9	800	1160	1510	1860
	8	-67,0	20,0	2,8	6,1	9,4	12,8	6,5	14,3	22,2	29,9	3,1	6,4	9,7	13,1	13,5	21,3	29,1	37,0
	10	-37,5	35,5	2,9	6,3	9,8	13,2	2,2	4,9	7,5	10,2	3,4	6,8	10,2	13,7	2,2	4,9	7,5	10,2
	12	0,0	42,0	2,9	6,3	9,8	13,3	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4	6,8	10,2	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0
1. 10.	6	-88,0	-2,0	Sonne noch unter Horizont				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	-64,5	16,5	3,8	8,3	12,8	17,3	7,9	17,4	26,8	36,3	5,8	10,3	14,9	19,4	17,1	26,5	36,0	45,5
	10	-36,0	32,0	3,4	7,4	11,4	15,4	2,4	5,3	8,1	11,0	4,7	8,7	12,7	16,7	2,4	5,3	8,1	11,0
	12	0,0	38,0	3,3	7,3	11,2	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	8,5	12,5	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1. 11.	6	-80,5	-11,0	Sonne noch unter Horizont				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	-58,0	7,5	10,5	23,0	35,5	48,0	16,8	36,8	56,8	77,0	24,1	36,6	49,0	61,5	41,3	61,5	81,5	102
	10	-31,0	21,5	5,7	12,4	19,2	25,9	3,4	7,5	11,6	15,7	11,0	17,8	24,5	31,3	4,8	9,0	13,1	17,2
	12	0,0	26,5	5,2	11,4	17,6	23,8	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7	15,9	22,1	28,3	0,0	0,0	0,0	0,0
1. 12.	6	-75,5	-16,0	Sonne noch unter Horizont				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	-53,5	1,5	5,8	12,8	19,7	26,7	7,9	17,3	26,8	36,2	15,4	22,4	29,4	36,4	20,8	30,6	39,6	49,6
	10	-28,5	14,5	8,8	19,4	30,0	40,5	4,8	10,6	16,4	22,1	19,7	30,3	41,0	51,5	8,7	14,5	20,2	26,0
	12	0,0	19,5	7,3	16,1	24,8	33,6	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	24,2	33,0	41,5	0,0	0,0	0,0	0,0
21. 12.	6	-74,0	-17,5	Sonne noch unter Horizont				—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	-53,0	0,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	10	-28,0	13,0	9,9	21,6	33,5	45,3	5,3	11,6	17,8	24,1	22,5	34,5	46,0	58,0	9,9	16,2	22,5	28,9
	12	0,0	17,5	8,2	18,1	27,9	37,7	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	28,0	37,5	47,5	0,0	0,0	0,0	0,0

dargestellt werden, so berechnet sich für eine beliebige, gegebene Hausentfernung a die Besonnungshöhe x an der im Schatten liegenden Hauswand sowie der Faktor m

a) für Steildach zu

$$x = h - \frac{(2a+t) \operatorname{tg} \beta}{2 \sin(\alpha-\gamma)} \quad \text{für } h = ng + s + d + e \quad (4)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \sin(\alpha-\gamma) \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2h} \quad (5)$$

b) für Flachdach zu

$$x = h - \frac{a \operatorname{tg} \beta}{\sin(\alpha-\gamma)} \quad \text{für } h = ng + s + d \quad (6)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \sin(\alpha-\gamma) \operatorname{ctg} \beta \quad (7)$$

Aus den Gl. 1 bis 7 ergibt sich dann für

1. Ost-West-Straßen mit $\gamma = 90^\circ$

a) Steildach

$$a = (h-f) \cos \alpha \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2} \quad \text{für } \operatorname{tg} \beta \leq \frac{2e \sin(\alpha-\gamma)}{t} \quad (8)$$

und

$$x = h - \frac{(2a+t) \operatorname{tg} \beta}{2 \cos \alpha} \quad \text{für } h = ng + s + d + e \quad (9)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \cos \alpha \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2h} \quad (10)$$

b) Flachdach

$$a = (h-f) \cos \alpha \operatorname{ctg} \beta \quad \text{für } h = ng + s + d \quad (11)$$

$$x = h - \frac{a \operatorname{tg} \beta}{\cos \alpha} \quad (12)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \cos \alpha \operatorname{ctg} \beta \quad (13)$$

2. Nord-Süd-Straßen mit $\gamma = 0^\circ$

a) Steildach

$$a = (h-f) \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2} \quad \text{für } \operatorname{tg} \beta \leq \frac{2e \sin(\alpha-\gamma)}{t} \quad (14)$$

$$x = h - \frac{(2a+t) \operatorname{tg} \beta}{2 \sin \alpha} \quad (15)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2h} \quad (16)$$

b) Flachdach

$$a = (h-f) \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta \quad (17)$$

$$x = h - \frac{a \operatorname{tg} \beta}{\sin \alpha} \quad (18)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \sin \alpha \operatorname{ctg} \beta \quad (19)$$

3. Diagonalstraßen mit beliebigem γ

a) Steildach

$$a = (h-f) \sin(\alpha-\gamma) \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2} \quad (20)$$

$$x = h - \frac{(2a+t) \operatorname{tg} \beta}{2 \sin(\alpha-\gamma)} \quad (21)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \sin(\alpha-\gamma) \operatorname{ctg} \beta - \frac{t}{2h} \quad (22)$$

b) Flachdach

$$a = (h-f) \sin(\alpha-\gamma) \operatorname{ctg} \beta \quad (23)$$

$$x = h - \frac{a \operatorname{tg} \beta}{\sin(\alpha-\gamma)} \quad (24)$$

$$m = \frac{h-f}{h} \sin(\alpha-\gamma) \operatorname{ctg} \beta \quad (25)$$

III. Geodätische Unterlagen.

Die Benutzung der Formeln 1 bis 25 setzt die Kenntnis der Azimute α und der Höhen β der wahren Sonne zu irgendeiner Jahreszeit voraus. Für die vorliegenden Zwecke ist der Stand der Sonne z. B. zwei Stunden nach dem wahren Mittag, genügend genau, ebenso hoch angenommen wie zwei Stunden vor diesem. Der Zusammenhang zwischen wahrer Zeit W und mitteleuropäischer Zeit MEZ ist durch die Gl.

$$W = MEZ - Z - \lambda \quad (26)$$

festgelegt. Z ist die Zeitgleichung, λ ein Wert, der von der geographischen Länge des betreffenden Orts abhängt.

Für den Stundenwinkel τ und die Deklination δ der wahren Sonne lassen sich Azimut α und Sonnenhöhe β aus den Gl.

$$\sin \beta = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau \quad \text{und} \quad (27)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos \delta \sin \tau}{-\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos \tau} \quad (28)$$

bestimmen.

Für Karlsruhe, auf das die sämtlichen folgenden Ableitungen und Berechnungen zugeschnitten sind, ist die geographische Länge $\lambda = 8^\circ 25' 25''$ ö. Gr und die geographische Breite $\varphi = 49,5^\circ$,

dementsprechend wird

$$W = MEZ - Z - 26^m 18^s \quad (29)$$

Die Zahlentafel 1 gibt die Gebäudeentfernungen an für ein bis vier Geschosse, für Steil- und Flachdach, für die Straßenrichtungswinkel $\gamma = 0^\circ$ und 90° , und zwar für die Herbst- und Wintermonate von 6 Uhr bis 12 Uhr.

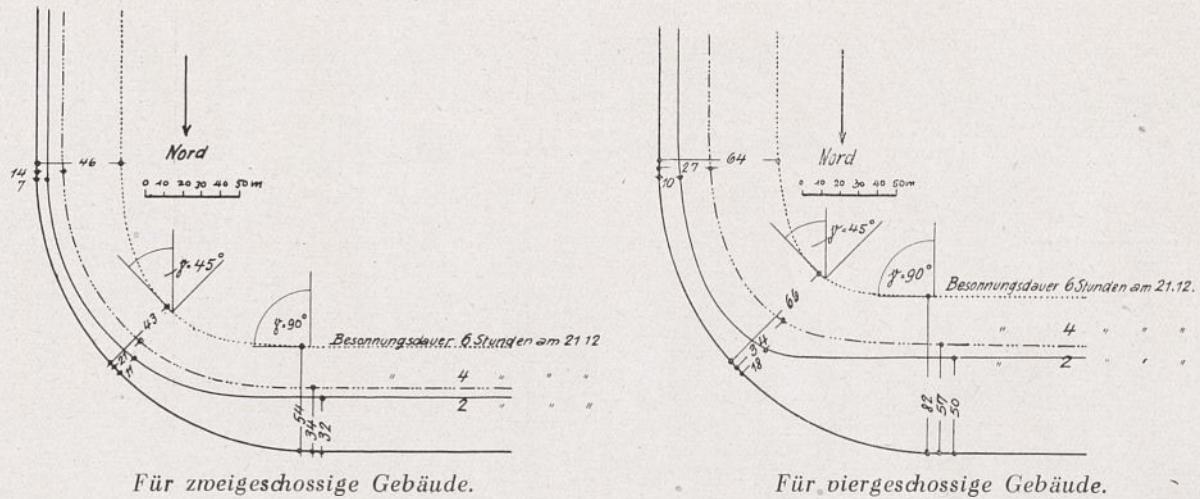


Abb. 4. Steildach: Erforderliche Straßenbreiten bei zwei- bis sechsstündiger Besonnungsdauer und γ zwischen 0° und 90° .

Sämtliche Zahlentafeln sind mit dem Rechenschieber gerechnet. Die Genauigkeit beträgt höchstens $\frac{1^\circ}{2}$ und ist für städtebauliche Zwecke ausreichend.

In den Abb. 2 und 3 sind die Hausentfernungen und Besonnungszeiten für Nord-Süd-, Ost-West- und eine Diagonalstraße ($\gamma = 45^\circ$) unter Beschränkung auf die Zeit von der Tag- und Nachtgleiche (21. September und 21. März) bis zum kürzesten Tag (21. Dezember) sowie für zwei- und viergeschossige Gebäude aufgezeichnet. Einer Ausdehnung der Zahlentafeln und Abbildungen auf die lichtreichere Jahreszeit steht nichts im Wege. Sie ist aber nicht erforderlich, weil Hausentfernungen und Hausstellungen sich in erster Linie nach den Besonnungsverhältnissen in der lichtarmen Jahreszeit richten müssen.

IV. Die Besonnungsdauer.

Die Abb. 2 und 3 sind von erheblichem praktischem Wert. Sie lassen für eine beliebige Hausentfernung a die Ableitung der Besonnungszeit und mithin der Besonnungsdauer für die Streifenazimute 0° , 45° und 90° zu. Ferner kann für jede beliebige Besonnungsdauer der am 21. September, 21. Dezember und 21. März erforderliche Hausabstand abgegriffen werden. Die Kurvenspitzen geben den Zeitpunkt an, an dem das Sonnenazimut mit dem Azimut der Hauswand, d. h. der Himmelsrichtung der Gebäudereihen-Langseiten, übereinstimmt. Zu diesem Zeitpunkt ist die theoretisch notwendige Hausentfernung gleich Null. Der Kurventeil links der Spitze gibt die Besonnungszeit der nach Osten gekehrten Hauswand, jener rechts der Spitze die Besonnungszeit der nach Westen bzw. Südwesten gelegenen Wand an.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Hausabstand und Besonnungszeit unter der Voraussetzung bestimmt sind, daß die unterste, 1,70 m über Gehweg liegende Fensterbank während der ganzen Besonnungszeit voll besonnt ist. Für die höher gelegenen Stockwerke wird die Besonnungsdauer naturgemäß größer. Sie ergibt sich z. B. für das dritte Geschoß eines vierstöckigen Hauses genau so groß wie für das erste Geschoß eines zwei- oder vierstöckigen Gebäudes. Die Abb. 2 und 3 können sonach auch zur Bestimmung der Besonnungszeit irgendeines anderen Stockwerks benutzt werden. Einige Beispiele mögen ihre Verwendbarkeit dartun.

1. Beispiel: Wie groß sind die erforderlichen Hausentfernungen bei zwei- und viergeschossigen Reihenhäusern und bei Besonnungsdauern von zwei, vier und sechs Stunden am 21. Dezember für verschiedene Straßenrichtungen zu wählen?

In den Abb. 2 und 3 sind die Besonnungsdauern in Kreise eingeschrieben; die zugehörigen Hausabstände sind am rechten Maßstabrand fett angegeben!

2. Beispiel: Welche Besonnungsdauern und -zeiten ergeben sich für zwei- und viergeschossige Reihenhäuser

am 1. November, wenn die Gebäudeentfernung 30,0 bzw. 40,0 m beträgt?

Die gestrichelten, wagerechten Geraden in den Abb. 2 und 3 lassen die gesuchten Werte unmittelbar ablesen.

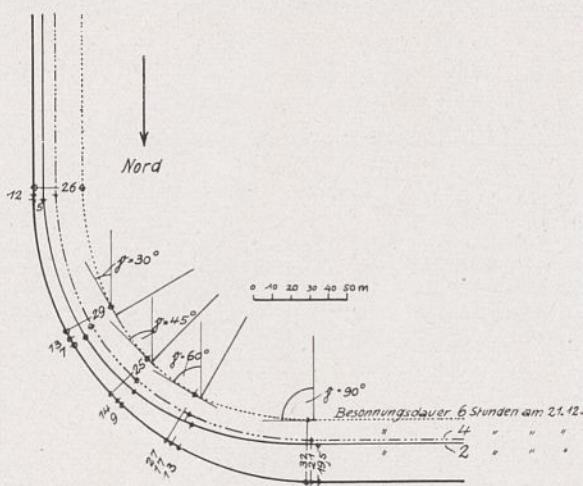
Werden nun Besonnungsdauer und Gebäudeentfernung zueinander in Beziehung gesetzt, so zeigt sich zunächst, daß das Flachdach beim gleichen Gebäudeabstand fast durchweg 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stunden längere Besonnungsdauern als das Steildach ermöglicht. Die Besonnungsdauer fällt bei Nord-Süd-Straßen und vier Geschossen vom 25. November bis 15. Januar, bei zwei Geschossen vom 25. Dezember bis 30. Dezember günstiger aus als bei Ost-West-Straßen. Die ganze übrige Jahreszeit aber ergibt für die Ost-West-Straße günstigere Besonnungsdauern als für die Nord-Süd-Straße.

Eine Eigenschaft aber unterscheidet die Ost-West-Straße wesentlich von der Nord-Süd- und in weniger starkem Maße auch von der Diagonalstraße, die nämlich, daß die Ost-West-Straße auf der Nordseite nur von Anfang April bis Mitte September *direktes* Sonnenlicht erhält, während die Diagonalstraße mit $\gamma = 45^\circ$ auf der nach Norden gekehrten Hausseite nahezu während des ganzen Jahres unmittelbares Sonnenlicht empfängt. Die Nord-Süd-Straße ist auf der Ost- und Westseite zu jeder Jahreszeit gleich lang und nahezu gleich stark besonnt. Die meteorologische Auswirkung der verschiedenartigen Besonnungsverhältnisse wird in Abschnitt V dieser Abhandlung eingehend gewürdigt werden, so daß es voreilig wäre, schon an dieser Stelle zu behaupten, die Nord-Süd-Straße müßte deshalb die beste Straßenlage sein, weil sie gerade an den kürzesten Tagen größere Besonnungsdauern durch direktes Sonnenlicht aufweist als die Ost-West-Straße. Es ist auch zu beachten, daß die untersten Stockwerke keineswegs ohne Sonne sind und daß nicht die Besonnungsdauer allein den Maßstab abgeben kann. Es muß außerdem die Besonnungsstärke und die Einstrahlung durch diffuses Tageslicht berücksichtigt werden.

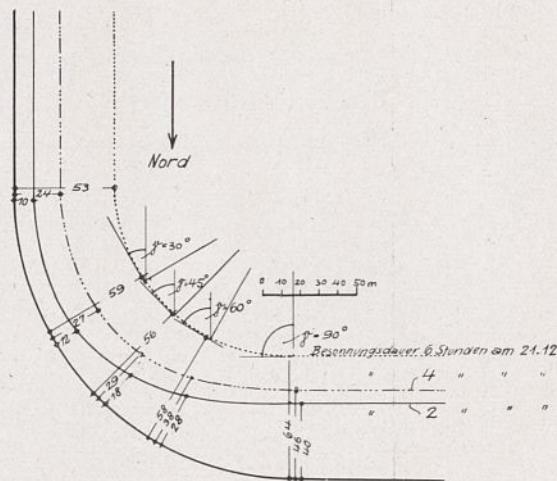
Zeichnet man die zu verschiedenen Besonnungsdauern gehörigen Hausabstände für jede mögliche Straßenrichtung auf, so erhält man für zwei- und viergeschossige Reihenhäuser die Abb. 4 für das Steildach und die Abb. 5 für das Flachdach. Dabei zeigt sich, daß für sechsstündige tägliche Besonnungsdauer am 21. Dezember die erforderlichen Hausentfernungen beim Steil- und Flachdach zwischen Nord-Süd- und Ost-West-Straßen um 18 vH i. M. voneinander abweichen.

Als Faustregel kann für Flach- und Steildach gesetzt werden:

- bei sechsstündiger Besonnungsdauer am 21. Dezember $a = 4,5 h$,
- bei vierstündiger Besonnungsdauer am 21. Dezember $a = 3,1 h$,
- bei zweistündiger Besonnungsdauer am 21. Dezember $a = 2,7 h$.



Für zweigeschossige Gebäude.



Für viergeschossige Gebäude.

Abb. 5. Flachdach: erforderliche Straßenbreiten bei zwei- bis sechsständiger Besonnungsdauer und für γ zwischen 0° und 90° .

Dabei entspricht h der Gesimshöhe beim Flachdach und der Firsthöhe beim Steildach. Genauere Werte lassen sich mit den aufgestellten Formeln berechnen.

Die Faustformeln gelten, genügend genau, für jede beliebige Streifenstellung. Auch die Besonnungsdauern sind, hinreichend genau, gleich. Aus der Besonnungsdauer allein läßt sich jedenfalls kein zwingender Schluß auf die beste Blockstellung ziehen, es sei denn, daß die längere Besonnungsdauer im Dezember, die sich bei Nord-Süd-Straßen ergibt, als so vorteilhaft angesehen wird, daß alle anderen Rücksichten ihr gegenüber beiseite geschoben werden.

V. Meteorologische Gesichtspunkte.

Die beste Blockstellung läßt sich aus der Besonnungsdauer nicht mit der nötigen Ueberzeugungskraft ableiten. Deshalb und aus den eingangs angeführten Gründen muß der Besonnungswert in die weitere Betrachtung einbezogen werden. Die erforderlichen meteorologischen Unterlagen wurden dem Verfasser von dem Direktor der Landeswetterwarte Karlsruhe, Prof. Dr. A. Peppler³⁾ in bereitwilligster Weise zur Verfügung gestellt. Eine weitere wertvolle Unterstützung gab Prof. Dr. J. Schubert an der Forstlichen Hochschule Eberswalde durch Ueberlassung seiner Abhandlung „Die Sonnenstrahlung im mittleren Norddeutschland“. Der Verfasser ist den beiden genannten Herren zu besonderem Dank verpflichtet.

Die Besonnungsstärke eines Sonnenbündels ist die Wärmemenge, die bei heiterem, wolkenlosem Wetter der Flächeneinheit, bei rechtwinkligem Auftreffen, in der Zeiteinheit zugeführt wird. Dieser Wert wird auch als *Vollstrahlung* oder *Intensität* bezeichnet. Es wird dabei unterstellt, daß Wärmemenge und Lichtmenge so zusammenhängen, daß die eine als Maßstab der anderen gelten kann. In der Tat werden ja die Wärme-, nicht die Lichtmengen gemessen. Von städtebaulichen Gesichtspunkten aus sind beide notwendig.

Die Lichtmenge, die einer Hauswand oder einer Fensterfläche zugeführt wird, ist teils direktes Sonnenlicht, teils Himmels- und teils diffuses Tageslicht. Die Messung der Tageshelligkeit erfolgt auf photoelektrischem, photometrischem oder photochemischem Weg. Peppler⁴⁾ hat das *Eder-Hechtsche Graukeilphotometer* benützt, das sich durch Billigkeit und verhältnismäßige Einfachheit in der Bedienung auszeichnet.

³⁾ Albert und Wilhelm Peppler. „Beiträge zum Strahlungsklima Badens“. I. Teil und Nachtrag aus den Veröffentlichungen der Badischen Landeswetterwarte. 1925 und 1927.

⁴⁾ Dr. A. Peppler. „Beiträge zum Strahlungsklima Badens“. 2. Teil. Abhandlung Nr. 5 der „Veröffentlichungen der Badischen Landeswetterwarte“.

Die Intensität des direkten Sonnenlichts, das in einer senkrecht zur Strahlungsrichtung gelegenen Ebene gemessen wird, wird als *Vollstrahlung* bezeichnet. Das direkte Sonnenlicht wird in der Atmosphäre durch diffuse Reflexion am Luftplankton abgelenkt, nach allen Seiten zerstreut und bildet so das direkte Himmelslicht, das als Hauptursache des diffusen Tageslichts gelten muß. Dieses belichtet auch solche Gegenstände (Nordwände an Ost-West-Straßen usw.), die vom direkten Sonnenlicht nicht oder nur zeitweise getroffen werden. Diffuses Licht wird außerdem durch Lichtreflexion an der Erdoberfläche und an Hauswänden (weiße Straßen- und Wandflächen, Schnee usw.) erzeugt. Dazu kommt das von Wolken zurückgeworfene Himmelslicht. Reflektiertes und direktes Sonnenlicht bestimmen die Tageshelligkeit.

Die Intensität des Himmelslichtes beträgt bei vollkommener Bewölkung für die in der Ebene liegende Großstadt $\frac{1}{2}$, für die Rheinebene $\frac{1}{3}$, für den Hochschwarzwald nur $\frac{1}{4}$ der Intensität bei direkter Strahlung (Vollstrahlung). Mit anderen Worten: Das diffuse Tageslicht hat in der Niederung einen erheblich größeren Anteil am allgemeinen Tageslicht als im Gebirge. Bei wolkenlosem Himmel wird die geringere Strahlungsintensität in der Niederung, verglichen mit jener im Hochgebirge, zum mindesten im Sommer, durch eine größere Intensität des diffusen Himmelslichts ausgeglichen.

Die täglichen Lichtsummen sind in der Ebene und im Gebirge recht verschieden. Sie hängen von der Einstrahlungsdauer, der Sonnenhöhe, der Wetterlage, der Bewölkung und der Sonnenscheindauer ab. Die folgende Zusammenstellung gibt:

Mittlere stündliche Lichtmengen in relativen Einheiten. Mittel 1925 bis 1925.

Ort		Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Karlsruhe	Tageslichtmengen	7,7	20,7	24,8	14,5
	Mittlere tägliche Sonnenscheindauer i. Stund.	2,1	5,2	7,5	3,5
Feldberg (Schwarzwald)	Tageslichtmengen	14,0	21,2	21,5	16,2
	Mittlere tägliche Sonnenscheindauer i. Stund.	3,5	4,4	6,7	4,1

Die Schwankungen in den täglichen Lichtmengen erreichen in Karlsruhe im Februar das Verhältnis 1:15, im Dezember 1:8,4, im Juli 1:4,2; auf dem Feldberg im Februar 1:5,4, im Dezember 1:6,3, im Juli 1:10,6. In Meereshöhe sind diese

Zahlentafel 2.

Gesamtsonnenstrahlung J in $\text{gcal/cm}^2 \cdot \text{Min}$ nach Peppler für Karlsruhe mit $\varphi = 49^\circ 1'$; $\lambda = 8^\circ 25'$ östl. L. v. Gr.; Meereshöhe 128 m, berechnet für den 15. jeden Monats von 5° zu 5° bzw. für den höchsten Sonnenstand an diesem Tage

Januar	0,37	0,60	0,75	0,83														
Februar	0,35	0,60	0,75	0,88	1,02	1,08												
März	0,44	0,70	0,88	1,03	1,13	1,18	1,22	1,24										
April	0,25	0,46	0,67	0,83	0,94	1,03	1,09	1,14	1,17	1,20	1,21							
Mai	0,23	0,43	0,61	0,78	0,91	0,98	1,05	1,11	1,16	1,20	1,24	1,26						
Juni	0,26	0,46	0,65	0,79	0,88	0,95	1,02	1,07	1,12	1,16	1,19	1,21	1,23					
Juli	0,24	0,41	0,55	0,69	0,79	0,87	0,93	0,98	1,03	1,07	1,10	1,13	1,13					
August	0,21	0,39	0,53	0,66	0,77	0,86	0,92	0,96	1,01	1,05	1,07							
September	0,25	0,45	0,65	0,81	0,94	1,03	1,11	1,13	1,14									
Oktober	0,25	0,50	0,67	0,83	0,91	0,95	0,96											
November	0,29	0,51	0,70	0,84	0,88													
Dezember	0,31	0,55	0,75	0,80														
Sonnenhöhen β	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°					

Schwankungen elfmal, im Mittelgebirge fünfmal so stark wie im Hochgebirge. Man wird also in der Niederung gerade in den Wintermonaten alles tun müssen, um die an sich geringen Lichtmengen möglichst vollständig zu erfassen. Das aber ist nur bei Wänden erreichbar, die gleichzeitig die größten Intensitäten und die — mit diesen zusammenfallenden — relativ längsten Sonnenscheindauern aufzunehmen vermögen. Bei bedecktem Himmel, bei dem nur diffuses Tageslicht in Betracht kommt, ist der Unterschied in der Lichtmenge für irgendeine Hauswand wesentlich geringer als bei wolkenlosem Himmel. Im Winter werden demnach die Lichtmengen infolge diffusen Lichts für alle Hauswände nicht allzu verschieden ausfallen, so daß die Lichtzufuhr durch direkte Sonnenbestrahlung für den Besonnungswert ausschlaggebend bleibt.

Von Bedeutung sind die verschiedenen Arten von Strahlen, die ein Sonnenbündel enthält.

Ultraviolette Strahlen sind biologisch besonders wirksam. Nur die Dornstrahlen üben auf die Haut eine bräunende Wirkung aus. Sie sind im Sonnenlicht an der Erdoberfläche im Mai bis September von 8 bis 16 Uhr feststellbar. Im Dunst und Rauch von Großstädten verliert die direkte Sonnenstrahlung in allen Strahlenbereichen, insbesondere auch im Ultraviolett, etwa 20 vH an Intensität. Dagegen ist eine Beeinflussung des Himmelslichts, das reichlich ultraviolette Strahlen enthält, nicht feststellbar. Das ist wahrscheinlich eine Folge des Raleighschen Gesetzes, nach dem die Zerstreung der Lichtstrahlen umgekehrt proportional der vierten Potenz der Wellenlänge erfolgt.

Rot-ultrarote Strahlen erreichen, bei gleicher Sonnenhöhe, nach Peppler ihre größte Intensität im Winter. Der absolute Größtwert tritt im Sommer bei 60° Sonnenhöhe auf; er ist aber nur um 4 vH höher als im Winter bei nur 25° Sonnenhöhe. In hygienischer Hinsicht sind aber gerade diese heilkräftigen, kurzwelligen ultraroten Strahlen wertvoll, weil sie in große Körpertiefen eindringen und dort eine wohltuende und anhaltende Durchwärmung hervorrufen. Diese Strahlen sind vor allem der tiefstehenden und daher weit in die Wohnräume dringenden Winter- und Frühjahrs-sonne eigen.

Grün-blaue Strahlen stehen, im Gegensatz zur Rotstrahlung, in starker Abhängigkeit von der Sonnenhöhe. Bei tiefstehender Sonne gelangen nur sehr geringe Grün-blau-Intensitäten zur Einstrahlung.

Die Gesamtstrahlung ist im Winter in der Rheinebene recht arm an kurzwelligen Strahlen.

Außer der Kenntnis der direkten Strahlungswerte wären Messungen des Vorderlichts in den vier verschiedenen Himmelsrichtungen sehr erwünscht, weil erst dann die Lichtmengen voll erfaßt werden können, die einer Wohnung wirklich zufließen. Derartige Messungen sind, unter Beschränkung auf das südliche und östliche Vorderlicht, nur von Peppler für Karlsruhe durchgeführt worden. Es ist aus Mangel an geeigneten Unter-

lagen noch nicht möglich, den Anteil des reflektierten Sonnenlichts an der Tageshelligkeit rechnerisch einwandfrei zu erfassen. Immerhin ermöglichen die Pepplerschen Messungen das Anstellen von Vergleichen über die Lichtmengen, die an Schatten- und Sonnentagen zur Einstrahlung kommen. In der lichtärmsten Jahreszeit November, Dezember und Januar ist in der Rheinebene mit 23 Sonnen- und 71 Schattentagen zu rechnen, denen 305 bzw. 115 relative Lichteinheiten entsprechen. Wenn nun an Sonnentagen eine der Sonne zugekehrte Wand die Lichtmenge 1 erhält, dann bekommt die der Sonne abgekehrte Wandseite $\frac{1}{5}$ dieser Lichtmenge. Für Schattentage wird das entsprechende Lichtmengenverhältnis zu 1 und $\frac{1}{5}$ geschätzt. Damit erhält man:

	Hauswand, der Sonne zugekehrt	abgekehrt
	Relative Lichteinheiten	
23 Sonnentage	315	$\frac{315}{5} = 105$
71 Schattentage	115	$\frac{115 \cdot 4}{5} = 92$
Zusammen	430	197

Eine der Sonne abgekehrte Wand erhält demnach in den Wintermonaten 46 vH der Einstrahlung, welche die der Sonne zugekehrte Seite empfängt. Für die Sommermonate Mai, Juni und Juli bekommt man entsprechend

	Hauswand, der Sonne zugekehrt	abgekehrt
	Relative Lichteinheiten	
59 Sonnentage	1795	$\frac{1795}{5} = 598$
17 Schattentage	522	$\frac{522 \cdot 4}{5} = 418$
Zusammen	2317	1016

In den Sommermonaten ergeben sich also für die der Sonne abgekehrte Wand 45,5 vH der Einstrahlung, die die vordere Wand erhält.

Die Vollstrahlungswerte, die stets senkrecht zur jeweiligen Strahlungsrichtung gemessen sind, müssen für die im Städtebau wichtigsten lotrechten Hauswände, sowie für wagerechte und geneigte Dachflächen durch zweimalige Projektion oder auf Grund der Abb. 6 und 7 umgerechnet werden. Denkt man sich eine Hauswand mit dem Azimut γ von einem Sonnenstrahlenbündel mit der Intensität J , der Fläche $F = 1$, der Sonnenhöhe β und dem Sonnenazimut α getroffen, so wird der dem Strahlenbündel innewohnende Strahlungswert auf die größere Fläche F_v verteilt und nimmt, bezogen auf den Flächeninhalt, entsprechend ab. Es wird:

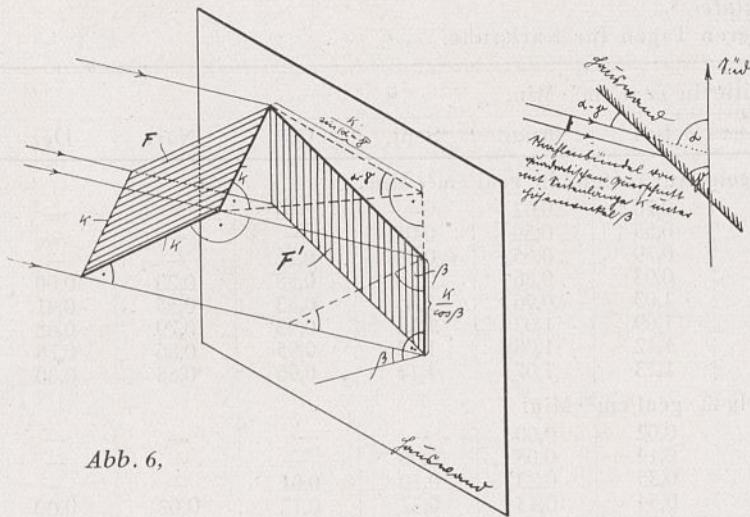


Abb. 6.

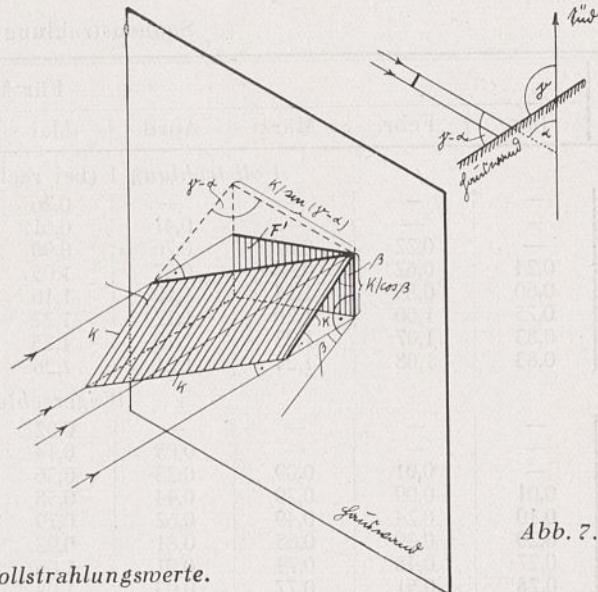


Abb. 7.

Abb. 6 und 7. Umrechnung der Vollstrahlungswerte.

$$F_v = \frac{1}{\cos \beta \sin(\alpha - \gamma)} \quad (50)$$

Für lotrechte Ebenen wird der Strahlungswert

$$J_v = \frac{F}{F_v} J = J \cos \beta \sin(\alpha - \gamma) \quad (51)$$

oder

$$J_v = J(\cos \delta \sin \tau \cos \gamma + \sin \delta \cos \varphi \sin \gamma - \cos \delta \sin \varphi \cos \tau \sin \gamma) \quad (52)$$

Für wagerechte Ebenen erhält man:

$$J_h = J \sin \beta = J(\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \tau) \quad (53)$$

Durch Einsetzen von $\gamma = 0^\circ$ und $\gamma = 90^\circ$ erhält man aus den Gl. 51 bis 53 für

Ost-West-Straßen

$$J_v = J \cos \beta \cos \alpha = J(-\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos \tau) \quad (54)$$

Nord-Süd-Straßen

$$J_v = J \cos \beta \sin \alpha = J \cos \delta \sin \tau \quad (55)$$

Die Vertikalintensität J_v ist nach Gl. 55 von der geographischen Breite unabhängig und somit für die Nord-Süd-Wände all der Orte der Erde relativ gleich, an denen die Sonne den gleichen Stundenwinkel hat, d. h. für alle auf dem gleichen Meridian liegenden Orte.

Bei allen Vergleichsrechnungen wird auf Hausabstände, architektonische Gestaltung usw. keinerlei Rücksicht genommen, weil ein absoluter Maßstab gewählt werden muß, der die Ermittlung der besten Blockstellung in wagerecht liegendem Gelände zuläßt.

VI. Bakteriologische Gesichtspunkte.

Die Beobachtungsergebnisse über den Einfluß des Sonnenlichts auf die Lebensfähigkeit von Bakterien lassen erkennen, daß diffuses Tageslicht eine Verlangsamung, unmittelbar wirkendes Sonnenlicht eine Hemmung des Bakterienwachstums verursacht. Die keimtötende Wirkung des Lichts hängt von seiner Intensität, also von der Tageszeit, ab. Die bakterizide Wirkung des Sonnenlichts ist am stärksten bei den kurzwelligen Strahlen. Der Grad der Keimschädigung scheint außerdem vom Sauerstoffzutritt beeinflusst zu werden. Wärmestrahlen sind für Bakterien unschädlich. In der Natur beschränkt sich die keimtötende Kraft des Sonnenlichts auf die unmittelbar bestrahlten Bakterien. Nicht unmittelbar getroffene werden nicht abgetötet.

VII. Der Besonnungswert.

Der Besonnungswert W wird aus der Besonnungsstärke (Intensität) J und der Besonnungsdauer T gebildet. Mit Rücksicht auf die bakterizide Wirkung der Sonnenstrahlen, die erst bei größerer Intensität sich bemerkbar macht, kann gesetzt werden:

$$W = \gamma \cdot J^\mu \cdot T \quad (56)$$

Der Faktor γ ist von dem Einstrahlungswert des diffusen Tageslichts abhängig. Es wird für unmittelbar bestrahlte Wände gleich 1, für Wände, die der Sonne abgekehrt sind, gleich 0,45 gesetzt werden können. Für andere Wandlagen kommt ein Mittelwert, dessen Größe sich aber noch nicht bestimmen läßt, in Betracht. In der Folge wird aus Mangel an Messungen der Intensität von Vorderlicht nur die direkte Einstrahlung berücksichtigt und deshalb $\gamma = 1$ gesetzt. Praktisch ergibt die Vernachlässigung des allgemeinen Himmelslichtes zu kleine Lichtwerte insbesondere für die der Sonne abgekehrten Wände. Am ungünstigsten wirkt sich dieser Umstand an den Nordwänden von Ost-West-Straßen aus. Diese erhalten tatsächlich wesentlich größere Lichtmengen zugeführt, als die Zahlentafeln angeben. Der Fehler muß aber, bis einwandfreie Beobachtungsergebnisse vorliegen, in Kauf genommen werden. Er ändert die Endergebnisse der gegenwärtigen Untersuchung, wenigstens in ihren Grundzügen, nicht.

Der Exponent μ muß bei dem fast völligen Fehlen zuverlässiger Unterlagen gleich 1 gesetzt werden.

Bezüglich der Intensität J ist zu bemerken, daß in Industriestädten, unter sonst gleichen Bedingungen, geringere Strahlungswerte festgestellt wurden, als in Städten in vorwiegend landwirtschaftlich genutzten Gegenden. Auch das Klima, ob vorwiegend heiter (Schwarzwald) oder neblig (Hamburg) oder besonders dunstig (Rheintal), und insbesondere der Wasserdampfgehalt der Luft sind von erheblichem Einfluß auf die Intensitätswerte.

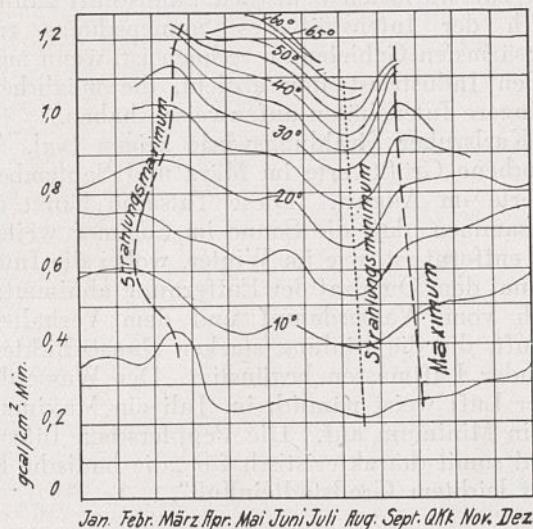


Abb. 8. Vollstrahlung an heiteren Tagen für Sonnenhöhen von 5° zu 5° .

Zahlentafel 5.
Sonnenstrahlung an heiteren Tagen für Karlsruhe.

Stunde	Für Monatsmitte in $\text{geal/cm}^2 \cdot \text{Min.}$											
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
<i>Vollstrahlung I (bei rechtwinkligem Auftreffen) in $\text{geal/cm}^2 \cdot \text{Min.}$</i>												
5	—	—	—	—	0,26	0,39	0,20	0,02	—	—	—	—
6	—	—	—	0,41	0,61	0,74	0,55	0,39	0,05	—	—	—
7	—	0,22	0,62	0,76	0,90	0,92	0,79	0,65	0,52	0,18	—	—
8	0,24	0,62	0,96	0,97	1,05	1,04	0,93	0,86	0,86	0,58	0,23	0,00
9	0,60	0,85	1,14	1,10	1,16	1,13	1,03	0,96	1,06	0,83	0,55	0,41
10	0,75	1,00	1,20	1,17	1,22	1,19	1,09	1,03	1,12	0,93	0,79	0,68
11	0,83	1,07	1,23	1,19	1,25	1,22	1,12	1,06	1,13	0,95	0,86	0,78
12	0,83	1,08	1,24	1,21	1,26	1,23	1,13	1,07	1,14	0,96	0,88	0,80
<i>Wagerechte Ebene I_h in $\text{geal/cm}^2 \cdot \text{Min.}$</i>												
5	—	—	—	—	0,02	0,05	0,02	—	—	—	—	—
6	—	—	—	0,05	0,14	0,22	0,14	0,08	0,00	—	—	—
7	—	0,01	0,09	0,23	0,36	0,42	0,35	0,23	0,10	0,01	—	—
8	0,01	0,09	0,29	0,44	0,58	0,63	0,54	0,43	0,32	0,12	0,02	0,00
9	0,10	0,24	0,49	0,62	0,79	0,81	0,72	0,60	0,53	0,29	0,11	0,05
10	0,20	0,39	0,65	0,81	0,93	0,99	0,88	0,75	0,67	0,42	0,24	0,15
11	0,27	0,48	0,74	0,91	1,06	1,09	0,98	0,85	0,78	0,49	0,32	0,22
12	0,28	0,51	0,77	0,93	1,08	1,11	1,01	0,88	0,80	0,52	0,34	0,24
<i>Ost-West-Straßen I_v (Lotrechte Ebenen)</i>												
Nordwand												
5	—	—	—	—	—0,09	—0,18	—0,08	—0,01	—	—	—	—
6	—	—	—	—0,05	—0,13	—0,19	—0,13	—0,06	0,00	—	—	—
7	—	0,08	0,13	0,07	—0,02	—0,08	—0,04	0,03	0,08	0,06	—	—
8	0,14	0,32	0,37	0,25	0,15	0,08	0,11	0,18	0,30	0,28	0,13	0
9	0,43	0,57	0,65	0,47	0,36	0,26	0,27	0,36	0,54	0,52	0,38	0,30
10	0,63	0,81	0,81	0,64	0,50	0,39	0,40	0,50	0,69	0,69	0,65	0,59
11	0,76	0,81	0,93	0,74	0,61	0,50	0,51	0,58	0,79	0,79	0,77	0,73
12	0,78	0,95	0,97	0,76	0,64	0,53	0,52	0,61	0,82	0,81	0,81	0,76
<i>Nord-Süd-Straßen I_v (Lotrechte Ebenen)</i>												
5	—	—	—	—	0,24	0,35	0,18	0,02	—	—	—	—
6	—	—	—	0,40	0,57	0,67	0,51	0,37	0,05	—	—	—
7	—	0,21	0,60	0,71	0,82	0,82	0,71	0,61	0,50	0,17	—	—
8	0,20	0,53	0,83	0,83	0,86	0,81	0,75	0,73	0,75	0,50	0,19	0,0
9	0,40	0,49	0,81	0,76	0,77	0,73	0,67	0,64	0,74	0,58	0,38	0,28
10	0,35	0,49	0,56	0,58	0,59	0,53	0,50	0,50	0,55	0,46	0,37	0,32
11	0,20	0,28	0,33	0,31	0,30	0,30	0,26	0,26	0,31	0,27	0,22	0,20
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

VIII. Sonnenintensitäten.

Die in Zahlentafel 2 für Karlsruhe angegebenen Vollstrahlungswerte⁵⁾ sind nach Peplers Angaben nur vorläufige. Sie sind aus Beobachtungen während der Jahre 1921 bis 1925 gewonnen. Für die vorliegenden städtebaulichen Zwecke, bei denen es weniger auf absolute als auf relative Werte ankommt, reichen diese vorläufigen Werte aber vollständig aus. Das zeigt auch ein Vergleich mit den 16jährigen Beobachtungsreihen der Potsdamer Strahlungsmessungen, die durchschnittlich um etwa 11 vH unter den Karlsruher Werten liegen. Pepler sagt dazu: „Für die Rheinebene bei Karlsruhe ergibt sich daher die strahlungsklimatologisch interessante Feststellung, daß sie zwar mit zur wärmsten deutschen Landschaft zählt, aber hinsichtlich der Intensität des Sonnenscheins zu den strahlungsärmsten Gebieten zu rechnen ist, wenn man von den großen Industriestädten absieht, die möglicherweise noch geringere Intensitäten aufzuweisen haben.“

Die Karlsruher Strahlungswerte zeigen (vgl. Abb. 8) ausgesprochene Größtwerte im März und September und Kleinstwerte im August. Diese Tatsache hängt einmal damit zusammen, daß die Sonne im Sommer weiter von der Erde entfernt ist, wie im Winter, wobei die Intensität proportional dem Quadrat der Entfernung abnimmt; dann aber auch vom Wasserdampf und dem Verhalten der Rheintalluft, die die Bildung starker Dunstschichten und stagnierender Luftmassen begünstigt. Der Wasserdampfgehalt der Luft weist nämlich im Juli ein Maximum, im Januar ein Minimum auf. Die Peplerschen Intensitätswerte sind somit charakteristisch für „die badische Rheinebene mit leichtem Großstadteinfluß“.

⁵⁾ A. u. W. Pepler, „Beiträge zum Strahlungsklima Badens“. Abhandlung Nr. 4 (1925) der „Veröffentlichungen der Badischen Landeswetterwarte“.

In der Zahlentafel 5 sind die Intensitätswerte bei Vollstrahlung für wagerechte und lotrechte Ebenen, bezogen auf Monatsmitte und für die Tagesstunden von 5 bis 19 Uhr, zusammengestellt.

Die Vollstrahlungswerte J sind von 12 bis 19 Uhr gleich denen von 5 bis 12 Uhr angenommen. Marten⁶⁾ hat zwar festgestellt, daß bei gleichen Sonnenhöhen am Vor- und Nachmittag geringe Abweichungen derart vorhanden sind, daß sich die Höchstwerte der Einstrahlung im Sommer um etwa eine Stunde auf den Vormittag, im Herbst um denselben Betrag auf den Nachmittag verschieben. Solche Verschiebungen sind ohne nennenswerten Einfluß auf unsere Ergebnisse, für Karlsruhe im übrigen gar nicht gemessen.

Die absolut größte Vollstrahlungsintensität ist im Mai vorhanden, März und September weisen weitere Maxima auf.

In der wagerechten Ebene (flaches Dach) wird J_h im Juni zu einem Größtwert. Die Intensität nimmt von Januar bis März um 175 vH, von März bis Juni nur noch um 44 vH zu.

Bei lotrechten Ebenen (Hauswände, Fensterflächen) sind deren Himmelsrichtungen von entscheidendem Einfluß auf die Einstrahlungswerte.

a) An Ost-West-Straßen wird die Nordwand nur in den Frühjahrs-, Sommer- und Herbstmonaten unmittelbar bestrahlt (allgemeines Himmelslicht erhält sie aber zu jeder Tageszeit). Sie erhält ihren Größtwert im Juni. Die Südwand dagegen empfängt die größten Wärmemengen im März und September um die Mittagszeit, die kleinsten aber im Juni. Die Juniintensitäten werden von den Januar- und Dezember-

⁶⁾ W. Marten, „Das Strahlungsklima von Potsdam“. Berlin 1926.

Zahlentafel 5 (Fortsetzung).
Sonnenstrahlung an heiteren Tagen für Karlsruhe.

Stunde	Für Monatsmitte in gcal/cm ² ·Min.											
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
<i>Diagonal-Straßen I_v (Lotrechte Ebenen) $\gamma = 60^\circ$</i>												
5	—	Nordwestwand			—0,20	—0,33	—0,16	—0,02	—	—	—	—
6	—	—	—	—0,24	—0,40	—0,50	—0,37	—0,24	—0,02	—	—	—
7	—	—0,04	—0,19	—0,30	—0,43	—0,48	—0,39	—0,28	—0,18	—0,04	—	—
8	0,02	0,01	—0,09	—0,20	—0,30	—0,34	—0,28	—0,21	—0,12	—0,01	0,02	0,00
9	0,17	0,20	0,16	0,03	—0,08	—0,13	—0,10	—0,02	0,09	0,16	0,15	0,13
10	0,37	0,44	0,40	0,26	0,14	0,08	0,10	0,18	0,33	0,37	0,38	0,36
11	0,55	0,65	0,63	0,48	0,38	0,28	0,31	0,37	0,52	0,55	0,55	0,53
12	0,60	0,83	0,85	0,66	0,56	0,46	0,45	0,53	0,72	0,71	0,71	0,66
13	0,76	0,92	0,97	0,79	0,68	0,58	0,57	0,64	0,83	0,82	0,78	0,73
14	0,72	0,93	1,00	0,84	0,72	0,61	0,59	0,68	0,88	0,83	0,75	0,67
15	0,57	0,79	0,97	0,79	0,70	0,60	0,57	0,64	0,83	0,74	0,52	0,40
16	0,22	0,53	0,74	0,63	0,56	0,48	0,47	0,52	0,62	0,49	0,21	—
17	—	0,17	0,41	0,43	0,40	0,35	0,33	0,33	0,32	0,13	—	—
18	—	—	—	0,16	0,18	0,17	0,14	0,13	0,02	—	—	—
19	—	Südostwand			—	0,04	0,02	0,02	—	—	—	—
<i>Diagonal-Straßen I_v (Lotrechte Ebenen) $\gamma = 45^\circ$</i>												
5	—	Nordwestwand			—0,24	—0,37	—0,19	—0,02	—	—	—	—
6	—	—	—	—0,32	—0,50	—0,61	—0,46	—0,31	—0,04	—	—	—
7	—	—0,09	—0,33	—0,45	—0,60	—0,65	—0,53	—0,41	—0,30	—0,08	—	—
8	—0,04	—0,15	—0,32	—0,41	—0,50	—0,52	—0,46	—0,38	—0,32	—0,16	—0,04	0,00
9	0,02	—0,02	—0,10	—0,20	—0,29	—0,33	—0,28	—0,21	—0,15	—0,04	0,00	0,02
10	0,20	0,22	0,15	0,03	—0,06	—0,09	—0,06	0,00	0,10	0,17	0,20	0,19
11	0,39	0,45	0,42	0,30	0,22	0,14	0,17	0,22	0,34	0,37	0,38	0,37
12	0,55	0,68	0,69	0,54	0,46	0,38	0,37	0,43	0,58	0,57	0,57	0,54
13	0,68	0,84	0,90	0,74	0,65	0,56	0,54	0,60	0,77	0,74	0,71	0,66
14	0,69	0,90	0,99	0,86	0,77	0,65	0,63	0,70	0,88	0,81	0,72	0,64
15	0,59	0,82	1,05	0,86	0,80	0,71	0,66	0,71	0,90	0,78	0,54	0,41
16	0,24	0,59	0,86	0,76	0,69	0,64	0,61	0,65	0,74	0,55	0,23	—
17	—	0,20	0,51	0,56	0,57	0,53	0,47	0,45	0,41	0,16	—	—
18	—	—	—	0,25	0,32	0,34	0,27	0,22	0,03	—	—	—
19	—	Südostwand			—	0,11	0,12	0,07	0,01	—	—	—
<i>Diagonal-Straßen I_v (Lotrechte Ebenen) $\gamma = 50^\circ$</i>												
5	—	Nordwestwand			—0,26	—0,39	—0,20	—0,02	—	—	—	—
6	—	—	—	—0,38	—0,56	—0,68	—0,51	—0,35	—0,04	—	—	—
7	—	—0,14	—0,45	—0,58	—0,72	—0,75	—0,63	—0,51	—0,40	—0,12	—	—
8	—0,10	—0,29	—0,53	—0,58	—0,68	—0,66	—0,60	—0,54	—0,50	—0,30	—0,10	—0,00
9	—0,14	—0,23	—0,37	—0,42	—0,49	—0,50	—0,45	—0,39	—0,37	—0,24	—0,14	—0,09
10	0,02	—0,03	—0,11	—0,19	—0,25	—0,26	—0,23	—0,18	—0,13	—0,05	0,00	0,02
11	0,20	0,22	0,17	0,10	0,05	—0,01	0,02	0,06	0,13	0,17	0,18	0,19
12	0,39	0,47	0,48	0,38	0,32	0,26	0,26	0,30	0,41	0,40	0,40	0,38
13	0,55	0,69	0,76	0,64	0,57	0,51	0,48	0,52	0,66	0,63	0,57	0,53
14	0,61	0,82	0,93	0,82	0,76	0,65	0,63	0,68	0,82	0,74	0,65	0,57
15	0,57	0,80	1,01	0,88	0,84	0,77	0,71	0,74	0,90	0,77	0,52	0,39
16	0,24	0,61	0,91	0,84	0,83	0,75	0,71	0,72	0,79	0,57	0,23	—
17	—	0,22	0,58	0,66	0,70	0,67	0,59	0,54	0,47	0,18	—	—
18	—	—	—	0,33	0,44	0,48	0,38	0,30	0,04	—	—	—
19	—	Südostwand			—	0,16	0,21	0,12	0,01	—	—	—

intensitäten um nicht weniger als 47 vH übertroffen. Der Grund für dieses verblüffende Ergebnis liegt teils in der größeren Entfernung zwischen Erde und Sonne im Juni, hauptsächlich aber im Sonnenstand. Die Sonnenstrahlen, die im Juni eine Höhe von 65° erreichen, bilden mit der Hauswand einen Winkel von 25° ; treffen sie also sehr spitz. Dadurch wird die projizierte Flächeneinheit sehr groß und die Intensität nimmt stark ab. Im März dagegen ist neben einem Maximum an Vollstrahlung die Sonnenhöhe nur 59° , bildet also mit der Hauswand einen Winkel von 51° und ergibt so eine relativ starke Einstrahlung. Mit anderen Worten:

Die Einstrahlungsverhältnisse an Südwänden sind in der kalten Jahreszeit und ganz besonders in den Uebergangszeiten wesentlich stärker als im Hochsommer und deshalb besonders günstig.

b) Bei Nord-Süd-Straßen wird die Ostwand nur vormittags, die Westwand nur nachmittags besonnt. Die größten Intensitäten werden im Mai um 8 Uhr und 16 Uhr erreicht. Um die Mittagszeit geht die Intensität zu jeder Jahreszeit auf Null herunter. Die größten Winter-Einstrahlungswerte betragen im Dezember um 9 bzw. 15 Uhr weniger als die Hälfte der Sommer-Einstrahlungswerte. Dagegen sind die Sommer-Einstrahlungswerte an

Ost- und Westwänden bereits um 8 Uhr um 62 vH höher als an Südwänden um 12 Uhr. Im Winter hingegen ist der Einstrahlungswert an Südwänden um die Mittagszeit um 95 vH höher als der maximale Einstrahlungswert an Ost- oder Westwänden am gleichen Tag. Der Hauptgrund für die ungünstigen Bestrahlungsverhältnisse gerade in der kalten Jahreszeit liegt darin, daß zu dieser Zeit die maximalen Vollstrahlungswerte an Ost- und Westwänden überhaupt nicht ausgenutzt werden können.

Die Einstrahlung an Ost- und Westwänden ist in der kalten Jahreszeit am geringsten; sie erreicht ihren Größtwert in der heißen Jahreszeit und bleibt in der Uebergangszeit hinter jener für Südwände beträchtlich zurück.

c) Diagonal gerichtete Straßenwände erhalten bei $\gamma = 45^\circ$ für die nach Norden gekehrte Wandseite im Winter um 8 Uhr, im Sommer von 4 bis 10 Uhr, für die nach Süden gekehrte im Winter von 9 bis 16 Uhr, im Sommer von 11 bis 19 Uhr Wärme und direktes Licht. Die höchsten Bestrahlungswerte werden im März und September um 15 Uhr erreicht. Im Juni ist der absolut größte Einstrahlungswert um 51 vH niedriger als im März, aber um 55 vH größer als der Sommer-Einstrahlungswert an einer Südwand. Im Winter dagegen sind die Einstrahlungswerte an Südwänden um 13 vH höher als an diagonal gelegenen Wänden.

Zahlentafel 4.

Mögliche Wärmesummen (Besonnungswerte) für Reihenhäuser bei größtmöglicher Sonnenscheindauer

Bestrahlte Flächen	Wärmemengen in kcal/cm ² · Tag für den 15. eines Monats												Summe	Besonnung V = Vormittags N = Nachmittags	kcal/cm ² 1. Oktober bis 31. März	kcal/cm ² 1. April bis 30. Sept.	kcal/cm ² 1. Januar bis 31. Dez.
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.					
Vollstrahlung	336	510	700	740	878	880	756	660	640	476	350	285	7211	V und N	79,71	126,62	216,33
Wagerechte Fläche	87	177	320	426	534	572	495	407	338	194	102	63	3715	V und N	28,21	83,16	111,45
Nordwand } für	—	—	—	7	29	52	29	8	0	—	—	—	125	V und N	—	3,75	3,75
Südwand } $\gamma = 90^\circ$	293	371	407	307	233	180	186	230	337	325	281	242	3392	V und N	57,57	44,19	101,76
Gesamt } $\gamma = 90^\circ$	293	371	407	314	262	232	215	238	337	325	281	242	3517	Ost-West-Straße	57,57	47,94	105,51
Nordwestwand } für	—	2	15	44	83	107	76	47	17	2	—	—	393	V	0,57	11,22	11,79
Südostwand } $\gamma = 60^\circ$	246	329	367	305	262	218	212	240	310	285	245	210	3229	V und N	50,46	46,41	96,87
Gesamt } $\gamma = 60^\circ$	246	331	382	349	345	325	288	287	327	287	245	210	3622	Diagonal-Straße	51,03	57,63	108,66
Nordwestwand } für	2	14	43	82	131	154	120	80	47	15	1	—	689	V	2,25	18,42	20,67
Südostwand } $\gamma = 45^\circ$	202	284	335	295	270	240	225	243	288	252	202	171	3007	V und N	43,38	46,83	90,21
Gesamt } $\gamma = 45^\circ$	204	298	378	377	401	394	345	323	335	267	203	171	3696	Diagonal-Straße	45,63	65,25	110,88
Nordwestwand } für	14	40	85	127	178	196	157	119	85	42	14	2	1059	V	5,91	25,86	31,77
Südostwand } $\gamma = 30^\circ$	156	232	292	280	283	260	236	235	254	210	154	126	2718	V und N	35,10	46,44	81,54
Gesamt } $\gamma = 30^\circ$	170	272	377	407	461	456	393	354	339	252	168	128	3777	Diagonal-Straße	41,01	72,30	113,31
Ostwand } für	68	118	180	214	250	257	218	188	174	120	70	48	1905	V	18,12	39,03	57,15
Westwand } $\gamma = 0^\circ$	68	118	180	214	250	257	218	188	174	120	70	48	1905	N	18,12	39,03	57,15
Gesamt } $\gamma = 0^\circ$	136	236	360	428	500	514	436	376	348	240	140	96	3810	Nord-Süd-Straße	36,24	78,00	114,30

Diagonal gerichtete Hauswände nehmen eine vermittelnde Stellung zwischen Süd- und Ost- und Westwänden ein. Durch entsprechende Wahl von γ können die Eigenschaften von Diagonalwänden mehr denen der Südwände oder denen der Ost-Westwände angeglichen werden.

IX. Mögliche Wärmesummen.

Auf zeichnerischem oder rechnerischem Weg lassen sich für jede beliebige Fläche die möglichen Tages- oder Jahreswärmesummen bestimmen. In der Zahlentafel 4 sind die Tageswärmesummen für Reihenhäuser um die Mitte eines jeden Monats zusammengestellt. Ein Vergleich der Jahreswärmemengen (letzte Spalte) für wagerechte und für lotrechte Ebenen zeigt, daß diese annähernd halb so groß werden wie die Vollstrahlungswärmesummen. Die Jahreswärmesummen selbst zeigen keinerlei charakteristische Unterschiede. Aus ihnen kann also kein Schluß auf die beste Straßenführung gezogen werden. Das Bild verschiebt sich aber erheblich, wenn die Besonnungswerte in der kalten Jahreszeit (1. Oktober bis 31. März) denen der warmen Jahreszeit (1. April bis 30. September) gegenübergestellt werden. Die beiden vorletzten Spalten der Zahlentafel 4 lassen erkennen, daß der Besonnungswert, den eine Südwand erhält, um 59 vH größer ist als der, den eine Meridianwand aufnimmt. Beachtet man weiter, daß der Wert von 57,57 kcal/cm² der Südwand allein zugute kommt, daß die 36,24 kcal/cm² aber je zur Hälfte auf die Ost- und die Westwand sich verteilen, so ist die Wärmesumme, welche die Ost- oder Westwand einer Häuserreihe erhält, um 215 vH niedriger als jene, die der Südwand zukommt. Die Erwärmung, die direkte Lichtmenge und die keimschädigende Wirkung durch Sonnenstrahlung, die im Winter schon an und für sich niedrig ist, wird am besten an Südwänden, am schlechtesten an Ost- und Westwänden ausgenutzt. In der warmen Jahreszeit erhalten Nord- und Südwand zusammen 58 vH weniger Wärme zugeführt als Ost- und Westwand zusammen. Die Südwand allein erhält 44,19 kcal/cm², die Ost- oder Westwand 39,03 kcal/cm². Die Wärmezufuhr für eine Ostwand ist also um 11,5 vH niedriger als für eine Südwand. Rein zahlenmäßig ergeben sich die folgenden in der Zahlentafel 5 angegebenen Besonnungswerte.

Außerordentlich aufschlußreich sind die Abb. 9 bis 14, aus denen der Jahresgang der Besonnungswerte ersichtlich wird.

Zahlentafel 5

Lage	Wand	März	Juni	September	Dezember
		kcal/cm ² · Tag			
Ost-West-Straße	Südwand ..	407	180	357	242
	Nordwand ..	—	52	—	—
	Süd- + Nordwand	407	232	357	242
Diagonal-Straße $\gamma = 45^\circ$	Nach Süden gekehrte Wand ..	355	240	288	171
	Nach Norden gekehrte Wand ..	45	154	47	—
	Südost- + Nordwestwand ..	378	394	335	171
Nord-Süd-Straße	Ostwand ..	180	257	174	48
	Westwand ..	180	257	174	48
	Ost- + Westwand	360	514	348	96

Die Südwand erhält ihre größtmöglichen Besonnungswerte Mitte März und Ende September, ihre kleinsten Ende Juli.

Die Ost-Westwand wird Mitte Juni am stärksten, Mitte Dezember am schwächsten besonnt.

Im September sind die Besonnungswerte für alle Straßenrichtungen nahezu gleich, im März weichen sie um etwa 10 vH voneinander ab; im Juli sind sie an der Südwand am niedrigsten, an der Ost-Westwand am höchsten.

Für Reihenhäuser muß hiernach für den Jahresgang der Besonnungswerte gefolgert werden:

1. In der Uebergangszeit sind alle Straßenrichtungen gleichwertig.
2. Im Sommer weist die Ost-West-Straße erheblich günstigere Besonnungsverhältnisse als die Nord-Süd-Straße auf.
3. Im Winter ist die Nord-Süd-Straße der Ost-West-Straße weitgehend unterlegen.

Diagonalstraßen nehmen eine Zwischenstellung ein.

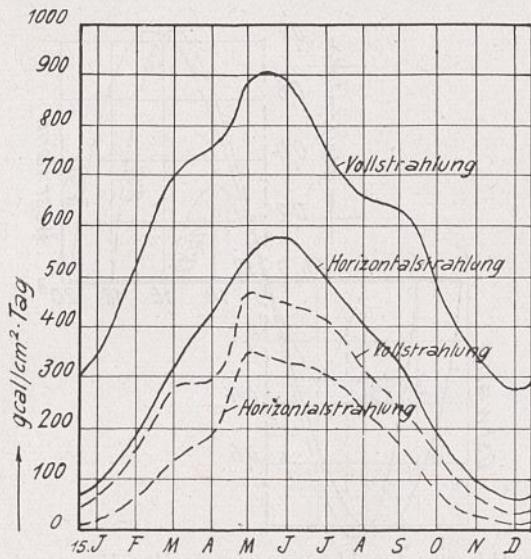


Abb. 9 (links).

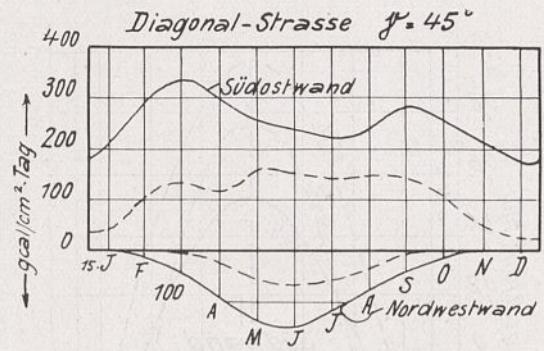


Abb. 12 (rechts).

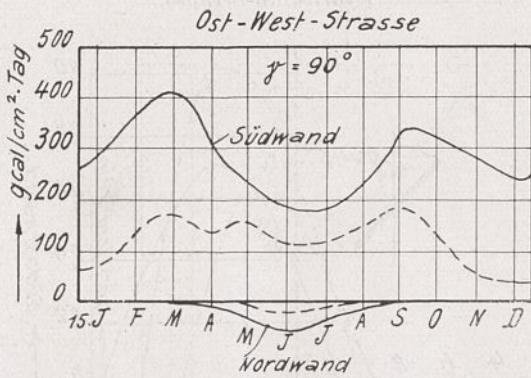


Abb. 10 (links).

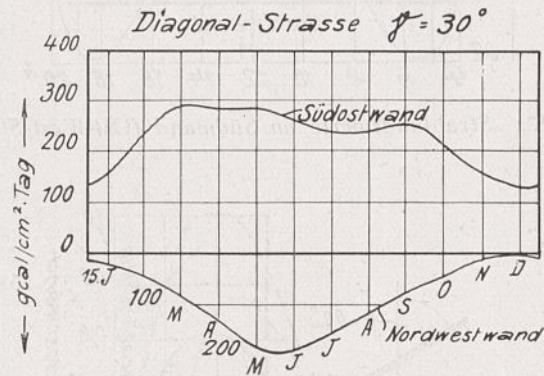


Abb. 15.

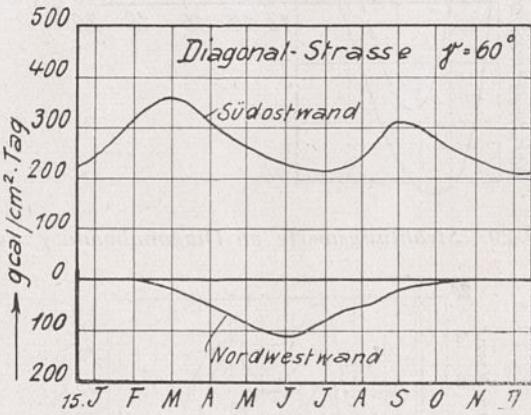


Abb. 11 (links).

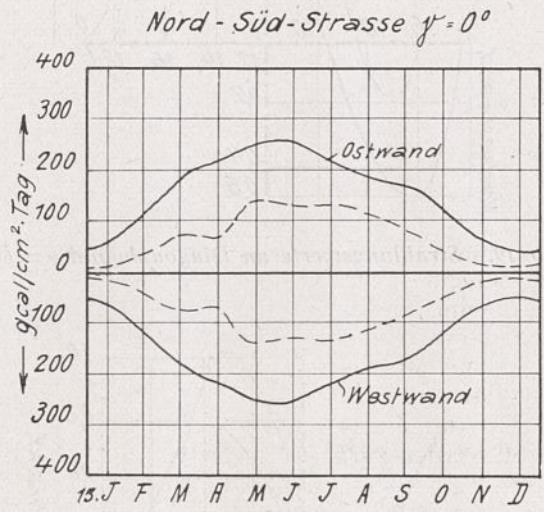


Abb. 14.

Zeichenerklärung

- Möglicher Besonnungswert
- - - Tatsächlicher "

Abb. 9 bis 14. Verlauf der Besonnungswerte während eines Jahres für Reihenhäuser.

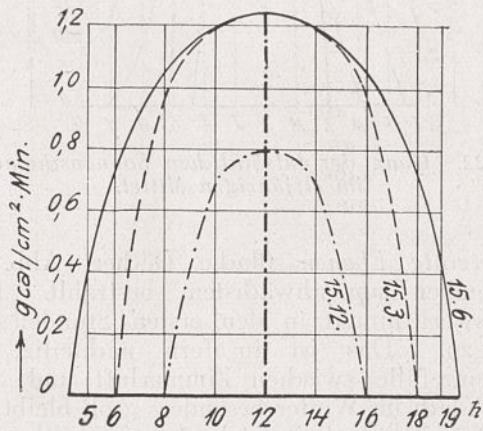


Abb. 15. Vollstrahlung (rechtwinkliges Auftreffen).

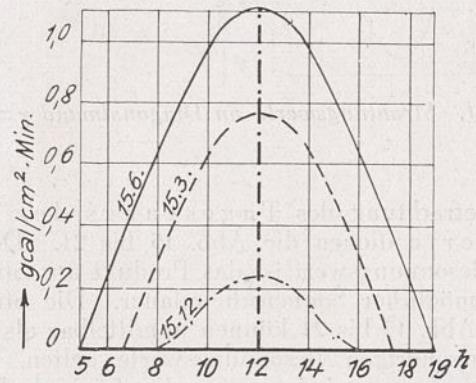


Abb. 16. Horizontalstrahlung.

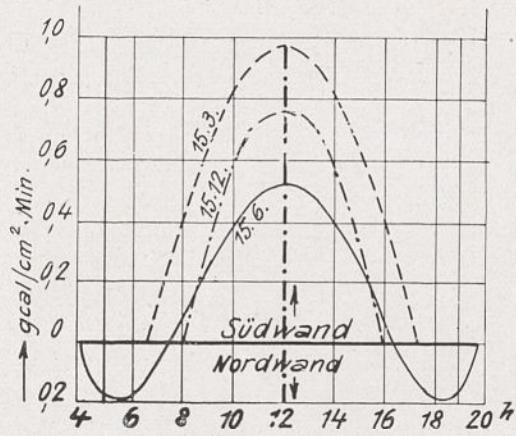


Abb. 17. Strahlungswerte an Südwand (Ost-West-Straße).

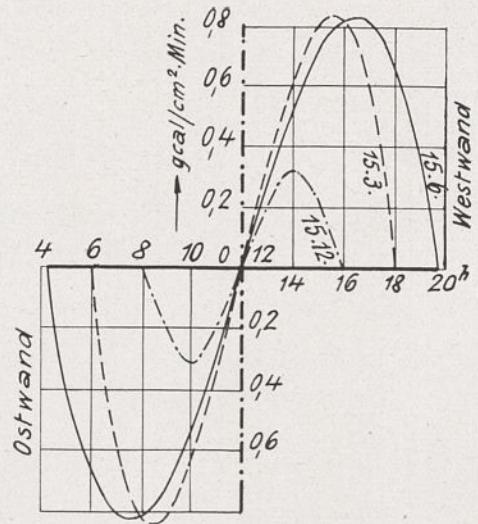


Abb. 18. Strahlungswerte an Meridianwand (Nord-Süd-Straße).

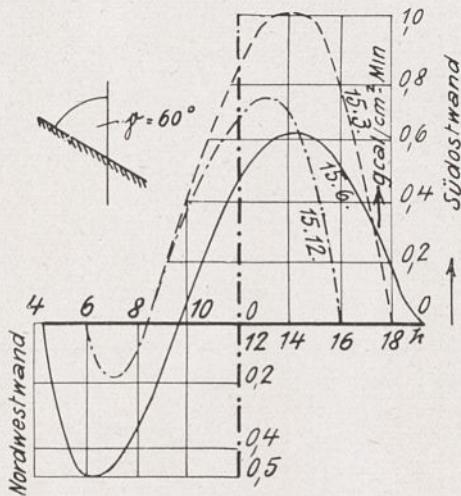


Abb. 19. Strahlungswerte an Diagonalwand $\gamma = 60^\circ$.

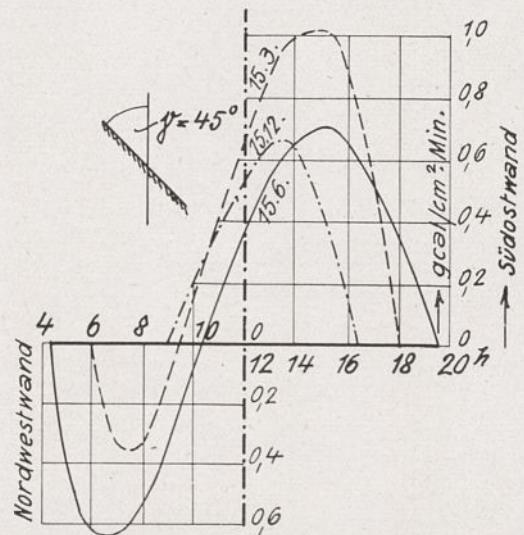


Abb. 20. Strahlungswerte an Diagonalwand $\gamma = 45^\circ$.

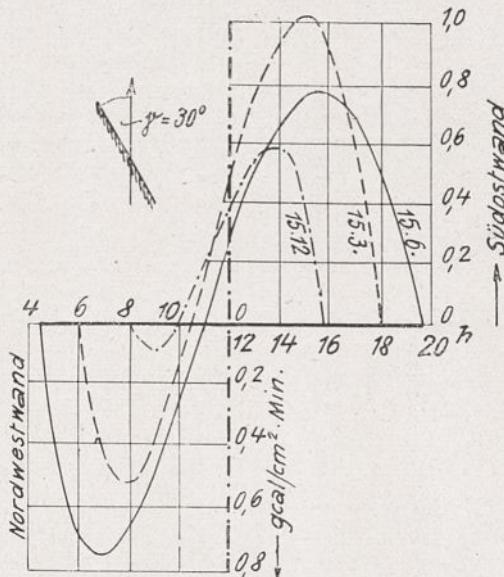


Abb. 21. Strahlungswerte an Diagonalwand $\gamma = 30^\circ$.

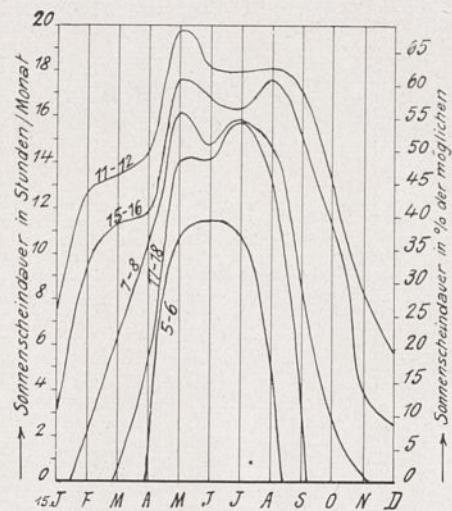


Abb. 22. Gang der tatsächlichen Sonnenscheindauer im elfjährigen Mittel.

Zur Betrachtung des Tagesgangs der Besonnungswerte dienen die Abb. 15 bis 21. Der größtmögliche Besonnungswert ist das Produkt aus Strahlungswert und möglicher Sonnenscheindauer. Die Strahlungswerte der Abb. 15 bis 21 können unmittelbar als Maßstab für die zugehörigen Besonnungswerte gelten, weil die Sonnenscheindauer zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Intensitätswerten konstant ist.

Die Besonnungswerte für *Vollstrahlung* sind nach Abb. 15 Mitte März und Mitte Juni von 9 bis 15 Uhr nahezu gleich groß.

Wagerechte Ebenen (flache Dächer, Abb. 16) sind im Dezember am schwächsten bestrahlt. Der Bestrahlungswert nimmt in den ersten Stunden nur sehr langsam zu. Das ist insofern nachteilig, als das Temperaturgefälle zwischen Zimmerluft und Außenluft beim Flachdach im Winter besonders groß bleibt, wodurch erhöhte Wärmeverluste entstehen.

An *Südwänden* (Abb. 17) nimmt der Besonnungswert in der Uebergangs- und Winterzeit von morgens früh bis gegen 10 Uhr gleichmäßig rasch zu. Die Zunahme geht im Sommer beträchtlich langsamer vonstatten.

Zahlentafel 6.

Täglicher Gang der Sonnenscheindauer in Karlsruhe. Mittelwerte T der Sonnenscheindauer in Stunden der Jahre 1917 bis 1927

Monat	Sonnenscheindauer T in { Stunden / Monat " " } % der möglichen Dauer																	Summe Mittel	Mögliche Sonnenscheindauer in Std./M.
	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20			
Januar	—	—	—	—	1,5	4,1	6,8	7,9	8,0	7,9	7,0	3,6	0,4	—	—	—	47,2	270	
Februar	—	—	—	1,8	7,3	9,9	11,5	12,5	12,4	12,3	12,1	9,6	2,3	—	—	—	17,5	—	
März	—	—	0,4	6,4	12,2	14,3	14,1	14,4	15,3	14,3	13,9	12,2	6,8	0,7	—	—	91,7	280	
April	—	1,1	5,1	10,4	12,8	14,4	14,4	14,9	14,1	14,1	13,1	12,1	9,5	4,7	0,8	—	32,8	—	
Mai	1,5	3,7	17,0	34,7	42,7	48,0	48,0	49,7	47,0	47,0	43,7	40,4	31,7	16,7	2,7	—	125,0	370	
Juni	3,1	11,3	13,7	15,2	16,6	18,2	19,2	18,8	18,4	18,4	18,2	16,9	15,5	14,4	10,9	1,9	33,8	—	
Juli	10,3	37,6	45,8	50,8	55,2	60,6	64,0	62,6	61,4	61,4	60,7	56,4	51,6	48,0	36,3	6,3	52,9	480	
August	2,3	11,0	16,2	16,9	18,5	18,5	19,3	19,2	19,0	19,4	19,4	19,4	19,4	19,0	16,9	11,8	1,6	—	470
September	0,2	5,1	13,4	15,8	17,0	18,0	19,0	19,4	19,4	19,9	20,0	18,8	16,9	14,5	4,3	—	52,9	—	
Oktober	0,6	16,4	43,3	51,0	54,9	58,2	61,4	62,6	62,6	64,2	64,6	60,8	54,5	46,7	13,9	—	221,7	440	
November	—	—	2,1	9,1	13,6	15,2	17,0	17,6	17,7	17,1	17,1	15,7	10,8	2,7	—	—	41,0	—	
Dezember	—	—	7,0	30,4	45,3	50,8	56,7	58,8	59,0	57,0	57,0	52,3	36,0	9,0	—	—	111,3	330	
Jahr	—	—	—	2,9	9,3	12,7	13,7	14,0	14,6	14,5	13,2	12,0	4,4	—	—	—	33,6	—	
	—	—	—	0,2	3,3	6,0	7,8	8,6	8,8	8,8	7,4	4,0	0,1	—	—	—	55,0	270	
	—	—	—	0,7	11,0	20,0	26,0	28,7	29,3	29,3	24,7	13,3	0,3	—	—	—	20,3	—	
	—	—	—	—	0,9	3,1	5,1	5,7	6,2	5,9	4,7	1,4	0,1	—	—	—	33,1	260	
	—	—	—	—	2,9	10,0	16,5	18,4	20,0	19,0	15,2	4,5	9,3	—	—	—	12,7	—	
	7,1	39,5	66,7	96,1	131,7	154,8	168,8	173,8	174,8	173,1	165,7	144,6	103,2	69,0	37,2	3,4	1709,5	4440	

An Ost-West-Wänden (Abb. 18) nimmt der Besonnungswert im Frühjahr und Sommer von früh morgens bis 8 Uhr rasch zu, um bis 12 Uhr ebenso rasch wieder abzufallen. Nachmittags wiederholt sich dieser Vorgang. Im Winter dagegen ist die Erwärmungszunahme von 8 bis 10 Uhr schwächer wie im Sommer und in der Uebergangszeit.

Für den Tagesgang der Besonnungswerte ist sonach charakteristisch:

1. Südwände werden im Winter vergleichsweise rascher erwärmt wie im Sommer.
2. Ost- und Westwände werden im Winter durch Sonneneinstrahlung vergleichsweise langsamer wie im Sommer erwärmt.
3. Die Einstrahlung an Ost- und Westwänden ist im Winter bedeutend geringer als an Südwänden.

X. Tatsächliche Wärmesummen.

Die angestellten Untersuchungen wären unvollständig, wenn sie den täglichen Gang der Sonnenscheindauer außer acht ließen. Im elfjährigen Mittel 1917 bis 1927 läßt sich aus den Veröffentlichungen der Badischen Landeswetterwarte Karlsruhe die Zahlentafel 6 auswerten, die in der Abb. 22 graphisch dargestellt ist. Darnach sind zu allen Tagesstunden in den Sommermonaten die größten, in den Wintermonaten die kleinsten Sonnenscheindauern zu erwarten. Der Monat Mai hat eine auffallend große Zahl von Sonnenscheinstunden. Die an sich geringe Zahl von Stunden, an denen im Winter die Sonne scheint, trifft mit einem Minimum an Strahlungsintensität zusammen, während im Sommer genau das Gegenteil zutrifft. Durch Multiplikation der Intensitätswerte I_v der Zahlentafel 5 mit den tatsächlichen Sonnenscheindauern der Zahlentafel 6 berechnen sich die tatsächlichen Besonnungswerte.

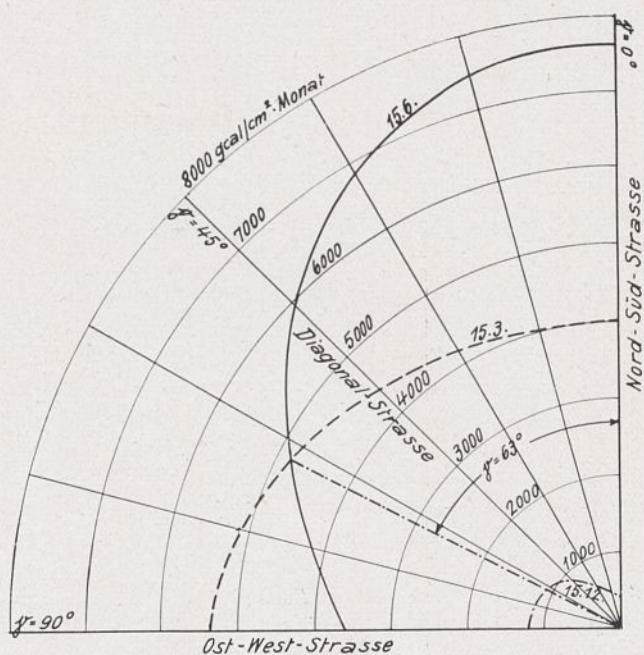


Abb. 23. Tatsächliche Besonnungswerte für Dezember, März und Juni.

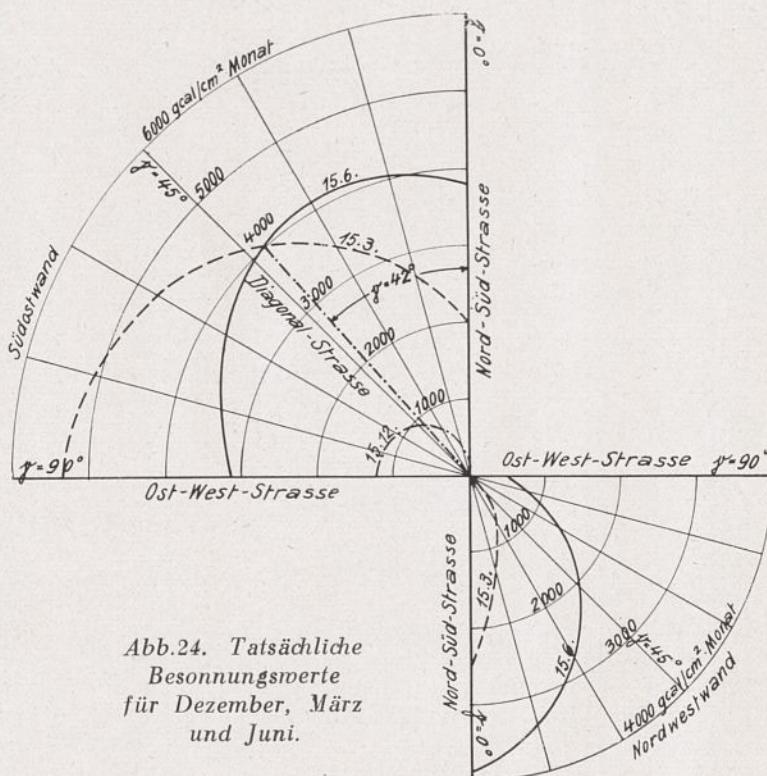


Abb. 24. Tatsächliche Besonnungswerte für Dezember, März und Juni.

Zahlentafel 8.

Tatsächliche Wärmesummen (Besonnungswerte) für Reihenhäuser bei gemittelter wirklicher Sonnenscheindauer.

Bestrahlte Flächen	Wärmemengen in g cal/cm ² · Tag für den 15. eines Monats												Besonnung V = Vormittags N = Nachmittags	kgcal/cm ² 1. Oktober bis 31. März	kgcal/cm ² 1. April bis 30. Sept.	kgcal/cm ² 1. Januar bis 31. Dez.	
	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.					
Vollstrahlung	69	170	280	288	471	445	418	316	248	161	71	32	V. u. N.	23,49	65,58	89,07	
Wagerechte Fläche	20	64	140	184	345	331	308	248	188	83	26	32	V. u. N.	10,32	48,12	58,44	
Nordwand	für Südwand Gesamt	—	—	—	—	16	10	1	—	—	—	—	V. u. N.	—	0,81	0,81	
Südwand													V. u. N.	18,36	25,29	43,65	
Gesamt													Ost-West-Straße	18,36	26,10	44,46	
Nordwestwand	für Südwestwand Gesamt	—	2	9	22	67	67	60	38	13	2	—	V.	0,39	8,01	8,40	
Südwestwand													V. u. N.	14,07	26,07	40,14	
Gesamt													Diagonal-Straße	14,46	34,08	48,54	
Ostwand	für Westwand Gesamt	11	34	77	68	142	127	133	106	96	42	14	7	V.	5,55	20,16	25,71
Westwand														N.	5,55	20,16	25,71
Gesamt														Nord-Süd-Str.	11,10	40,32	51,42

werte der Zahlentafel 7. Sie sind, ihrem Gesamtwert nach, in Abb. 25, ihrem Einzelwert nach, in Abb. 24 für die Wände von Reihenhäusern dargestellt, die, vermöge ihrer Lage, eine Besonnung überhaupt empfangen können. In beiden Abbildungen sind auf den Radiivektoren — deren Richtungswinkel (Azimut) mit der jeweiligen Hauswandrichtung übereinstimmt — die tatsächlichen Besonnungswerte aufgetragen.

Nach Abb. 25 ist der tatsächliche Gesamtbesonnungswert am 15. März für $\gamma = 65^\circ$ genau so groß wie am 15. Juni. Für $\gamma > 65^\circ$ ist er im März größer wie im Juni, für $\gamma < 65^\circ$ ist er im März niedriger wie im Juni. Im Dezember erreicht der Besonnungswert bei $\gamma = 90^\circ$ sein Maximum, bei $\gamma = 0^\circ$ sein Minimum.

Die Abb. 24 endlich, in der die Besonnungswerte für die nach Süd bzw. Nord gekehrten Hauswände für beliebige γ dargestellt sind, zeigt, daß der Besonnungswert für $\gamma = 42^\circ$ am 15. März und am 15. Juni für die nach Süden gekehrte Wand gleich groß ist. Für diese selbe Wand ist bei $\gamma > 42^\circ$ der Besonnungswert im Winter größer als im Sommer. Für $\gamma < 42^\circ$ liegen die Verhältnisse umgekehrt. Die Besonnung der nach Norden gekehrten Wand erreicht ihren Größtwert bei $\gamma = 0^\circ$, ihren Kleinstwert bei $\gamma = 90^\circ$.

In der Zahlentafel 8 sind die tatsächlichen Wärmesummen, die auch in die Abb. 9, 10, 12 und 14 eingezeichnet sind, enthalten.

Auch der Verlauf der tatsächlichen Besonnungswerte zwingt zu dem Schluß, daß Südwände, vom Standpunkt der Licht- und Wärmeeinstrahlung aus, sowohl im Sommer wie auch in der kalten Jahreszeit wesentlich vorteilhafter sind als Ost- oder Westwände. Das Verhältnis zwischen tatsächlichem und möglichem Besonnungswert ist im Januar für Südwände 1 : 4,9, für Ostwände 1 : 6,2 im März für Südwände 1 : 2,5, für Ostwände 1 : 2,5 im Juni für Südwände 1 : 1,9, für Ostwände 1 : 2,0 im Dezember für Südwände 1 : 6,0, für Ostwände 1 : 6,8. Es ist also für Süd- und Westwände das gleiche in der wärmeren und in der Uebergangszeit; ungünstiger aber gerade in der kältesten Jahreszeit für Ost- und Westwände.

Außer der unmittelbaren Sonneneinstrahlung bei heiterem Himmel kommen auch durch Himmelsstrahlung und zurückgeworfenes Licht erhebliche Wärmemengen (Luftwärme) zur Einstrahlung. Bei leichter Bewölkung deckt sich nach den Messungen von Sch ubert der Strahlungsverlauf (nicht der Besonnungswert) annähernd mit jenem bei heiterem Wetter. Die Abschwächung bei mittlerer Bewölkung ist für Südwände aber um durchschnittlich 5 v H geringer als für Ost-Westwände. Auch hier schneiden Südwände relativ und absolut günstiger ab wie Ost-Westwände.

Für bedeckten Himmel liegen keine Wärmemessreihen vor. Es ist aber die Annahme berechtigt, daß mit zunehmender Bewölkung oder Einnebelung eine immer weitergehende Abschwächung der Einstrahlung verbunden ist. Eine grundlegende Änderung der bisherigen Ergebnisse ist schon deshalb nicht zu erwarten, weil die Lichtwerte bei bedecktem Himmel nur einen geringen Prozentsatz derer bei heiterem Himmel ausmachen werden. Trotzdem macht sich hier das Fehlen brauchbarer Werte unangenehm bemerkbar, und es sollte eine der nächsten Aufgaben im Städtebau sein, Lichtmessungen auch auf die Tage mit bedecktem Himmel und mit Nebelwetter auszudehnen. Es ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß dann Nord-Süd-Straßen, auch mit Rücksicht auf die hohe Luftwärme im Sommer und die geringe im Winter, noch ungünstiger abschneiden, als dies nach den bisherigen Ergebnissen bereits der Fall ist.

XI. A u s k ü h l u n g.

Neben der Wärmeeinstrahlung spielt die Wärmeausstrahlung eine nennenswerte Rolle. Um ein Urteil zu gewinnen, sollen die Wärmeverluste an einem einfachen Fenster und einer 25 cm starken, beiderseits verputzten Backsteinwand mit den entsprechenden Einstrahlungswerten verglichen werden⁷⁾.

Bei einem Temperaturunterschied von 1°C zwischen zwei Wandseiten entsteht an windstillen Tagen, bei den gebräuchlichen Wärmedurchgangszahlen, ein Wärmedurchgang

durch Backsteinwände von $\frac{1,74 \cdot 1000}{100^2 \cdot 60} = 0,029 \text{ g cal/cm}^2 \cdot \text{Min.}$,

durch Fenster von $\frac{8 \cdot 1000}{100^2 \cdot 60} = 0,155 \text{ g cal/cm}^2 \cdot \text{Min.}$

Dem Wärmeverlust wird von der jeweils stärksten Einstrahlung das Gleichgewicht gehalten bei einem Temperaturunterschied

a) an Backsteinwänden
im November von 28° an Südwänden,
von 15° an Ost-Westwänden,
im Dezember von 26° an Südwänden,
von 11° an Ost-Westwänden,
im Januar von 27° an Südwänden,
von 14° an Ost-Westwänden,
im Februar von 35° an Südwänden,
von 18° an Ost-Westwänden,

b) an einfachen Fenstern
im November von $6,1^\circ$ an Südwänden,
von $2,9^\circ$ an Ost-Westwänden,

⁷⁾ Dr.-Ing. Schmitt, „Kulturelle Gesichtspunkte im Wohnungsbau?“ Bauamt und Gemeindebau 1950, Heft 3 und 4.

im Dezember

von 5,7° an Südwänden, von 2,4° an Ost-Westwänden,

im Januar

von 5,9° an Südwänden, von 3,0° an Ost-Westwänden,

im Februar

von 7,2° an Südwänden, von 4,0° an Ost-Westwänden.

Bei +20° C Zimmertemperatur sind im November die Wärmeverluste gleich der Einstrahlung

a) an Backsteinwänden

bei -8° Außentemperatur an Südwänden,

bei +7° Außentemperatur an Ost-Westwänden;

b) an einfachen Fenstern

bei +15,9° Außentemperatur an Südwänden,

bei +17,1° Außentemperatur an Ost-Westwänden.

Die Raumauskühlung im Winter und die Raumwärmung im Sommer nimmt mit wachsender Fenstergröße zu; die Südwand ist wiederum im Vorteil gegenüber der Ost-Westwand.

XII. Windanfall.

An windigen und stürmischen Tagen ändern sich die Auskühlungsverhältnisse, besonders im Winter, weitgehend. Der Einfluß von Wind und Sturm auf die Raumauskühlung ist nicht geklärt. Man behilft sich mit 5- bzw. 25prozentigen Zuschlägen für besonders auskühlende Winde für Wand- bzw. Fensterflächen. Diese Zuschläge sind sicher zu niedrig. Maßgebend können auch nicht die *besonders* abkühlenden Winde — im Rheintal Nord- und Ostwinde — sein. Nordwinde sind in Karlsruhe kaum häufiger als Südwinde (Föhn). Viel wichtiger sind die am häufigsten auftretenden Westwinde, die Regen und die größten Windstärken bringen; ferner die in großem Abstand folgenden, aber stark wärmezehrenden Ostwinde. Die stärkste Auskühlung müssen demnach sowohl an einzelnen Vergleichstagen, wie im ganzen Jahr, West- und Ostwände erfahren. Im Winter bedingen diese Umstände einen besonders hohen Brennstoffverbrauch an Nord-Süd-Straßen; dagegen wird im Sommer die Abkühlung durch kühle Winde an Nord-Süd-Straßen günstiger wie an Ost-West-Straßen sein. Im ganzen ist die Auskühlung an Nord-Süd-Straßen sicher beträchtlich stärker wie an Ost-West-Straßen. Zuverlässige Messungen sind dringend erforderlich.

Für die Bemessung von Heizanlagen mögen die Zuschläge für Windanfall zu den rechnungsmäßigen Wärmesummen genügen, weil starke Winde und sehr kalte Tage selten zusammentreffen. Für den Brennstoffbedarf hingegen sind die Zeiten mit starkem Windanfall bei geringer Außentemperatur weit wichtiger als die kältesten, aber windstillen Tage.

XIII. Schlußergebnis.

Für die angestellten Betrachtungen wäre eine genaue Kenntnis der Belichtungswerte bei bedecktem Himmel und an trüben Tagen erwünscht gewesen. Der Einfluß des Windes auf den Heizstoffbedarf ist nur ganz ungenügend bekannt. Die genaue Erfassung und Feststellung einer Reihe von Einflüssen (Vorderlicht) ist noch gar nicht möglich. Es ist deshalb eine der wichtigsten Aufgaben des Städtebauers, in Gemeinschaft mit dem Meteorologen die noch fehlenden Unterlagen zu beschaffen, damit rein gefühlsmäßige oder schlagwortartige Behauptungen, die nur zu oft einen unbegreiflichen Mangel an Naturbeobachtung verraten, ehestens verschwinden. Am

begehrtesten sind von jeher Südlagen von Wohnungen. Sie werden von jedem Mieter, jedem Hygieniker, jedem Arzt (Sanatorien) vorgezogen. Im Ural erhalten in wind- und schneereichen Gegenden sämtliche Häuser Ost-West-richtung mit Hauseingang nach Süden und Stallage nach Westen. Als Schutz gegen Nordwinde werden Wälle aufgeschüttet. Die Hausstellung ist den besonderen klimatischen Verhältnissen auf Grund langer Erfahrungen angepaßt. Solche Erfahrungen muß der Städtebauer nutzen. Es wäre lehrreich, wenn auch bei uns diesbezügliche Studien an Häusern vorgenommen würden, die, ohne daß sie gezwungen waren, auf Baulinien Rücksicht zu nehmen, nur die beste Lage bei den vorhandenen klimatischen Verhältnissen gesucht haben.

Zusammenfassung.

1. Für die Bestimmung von Hausabständen genügt die Annahme einer vierstündigen möglichen Besonnungsdauer am 21. Dezember.

2. Die Besonnungsdauern werden dann mit den angegebenen Gebrauchsformeln für jede Streifenstellung annähernd gleich.

3. Die Einstrahlungswerte an Südwänden (Ost-West-Straßen) sind in der kalten Jahreszeit und in der Uebergangszeit stärker als in der warmen Jahreszeit und deshalb besonders vorteilhaft.

4. Die Einstrahlungswerte an Ost- und Westwänden (Nord-Süd-Straßen) sind in der kalten Jahreszeit am kleinsten; sie erreichen ihren Höchstwert in der heißen Jahreszeit und bleiben in der Uebergangszeit hinter jenen an Südwänden zurück.

5. Hinsichtlich der Besonnungswerte sind bei Reihenhäusern:

a) in der Uebergangszeit alle Straßenrichtungen nahezu gleichwertig,

b) im Sommer Ost-West-Straßen erheblich günstiger wie Nord-Süd-Straßen,

c) im Winter Ost-West-Straßen den Nord-Süd-Straßen in hohem Maße überlegen.

6. Südwände werden im Winter durch Einstrahlung rascher erwärmt als im Sommer.

7. Ost- und Westwände werden im Winter durch Einstrahlung langsamer erwärmt als im Sommer.

8. Das Verhältnis zwischen möglichem und tatsächlichem Besonnungswert ist für alle Straßenlagen in der warmen und in der Uebergangszeit annähernd das gleiche, in der kalten Jahreszeit aber günstiger für Ost-West-Straßen.

9. In bezug auf Raumauskühlung und Raumwärmung sind Ost-West-Straßen günstiger wie Nord-Süd-Straßen.

10. Windanfall bedingt in der kalten Jahreszeit an Nord-Süd-Straßen höheren Heizstoffaufwand als an Ost-West-Straßen. Dagegen ist die Abkühlungsmöglichkeit bei Nord-Süd-Straßen im Sommer günstiger.

11. Diagonalstraßen halten in jeder Hinsicht eine Mitte zwischen Nord-Süd- und Ost-West-Straßen.

12. Die Ost-West-Straße weist erhebliche Vorteile gegen jede andere Straße auf. Sie kann dann als die beste bezeichnet werden, wenn Wohn- und Schlafräume nach Süden, Küche, Treppenhaus, Bad, Klosett und Nebenräume oder kühl zu haltende Zimmer, die im Sommer oft nicht unerwünscht sind, nach Norden gelegt werden.

DER BAU DER NORDOST-SCHUTZMAUER AUF HELGOLAND.

Von Regierungsbaurat Mannsdorf, Tönning und Regierungsbaurat Bahr, Helgoland.

I. Veranlassung zum Bau der Mauer.

Ein Aufsatz über die Südwest-Schutzmauer auf Helgoland und ihre Vorgeschichte ist in den Heften 2 und 3 des Jahrgangs 1950 d. Bl. erschienen und behandelt auch die geologischen und technischen Grundlagen des Schutzes der Insel und die leitenden Gesichtspunkte, nach denen der preußische Staat die Durchführung des Schutzes in Angriff nahm. Im einzelnen wurde gezeigt, wie die Struktur des Inselgesteins und der Vorgang seiner Zerstörung es mit sich bringen, daß die Inselküste auf den beiden gefährdeten Strecken, der Südwest- und der Nordostseite des Oberlandes, etwa gleich stark zurückweicht, obwohl die angreifenden Kräfte zur Hauptsache verschiedener Art sind. Wurde es also einmal unternommen, der Zerstörung Einhalt zu tun, so mußte die Abwehr folgerichtig beide bedrohten Abschnitte umfassen. Die ersten Sicherungsentwürfe waren denn auch für den Schutz der ganzen Abbruchstrecke aufgestellt. Als die Bauverwaltung im Jahre 1910 zur Ausführung schreiten konnte, nahm sie zwar zunächst nur den Schutz der Südwestseite in Angriff. Aber zwei Jahre später wurde bereits der Weiterbau der Schutzmauer um die Nordspitze der Insel

herum bis Petersens Horn bewilligt (Abb. 1). Damit wurde schon ein Teil der Nordostküste in die Sicherung einbezogen, und das Werk wäre zweifellos in stetigem Fortgang auf die ganze Nordostseite ausgedehnt und so vollendet worden, hätte der Krieg nicht die Ausführung abgeschnitten, als sie erst wenig über die Hälfte der Südweststrecke hinausgekommen war. Als der Bau dann nach elfjähriger Unterbrechung fortgesetzt werden konnte, zwang die schlechte Finanzlage des Staates dazu, schon das Schutzwerk an der Südwestküste einzuschränken. Die Sicherung der Nordostseite mußte vorläufig ganz aufgegeben werden.

Aber während für den Abschluß des Baues der Südwestmauer die Vorbereitungen getroffen wurden, erfolgte im Frühjahr 1925 plötzlich an der Nordostseite unterhalb der Ortschaft des Oberlandes eine Reihe größerer Abstürze. Sie brachten auf 200 m Uferlänge einen Verlust von rd. 12 000 m³ Felsmasse und 1000 m² Fläche des Oberlandes, und die Abbruchkante rückte bedrohlich nahe, an zwei Stellen bis auf 6 und 11 m, an die Wohnhäuser des Oberlandes heran (vgl. Abb. 1). Nun pflegen auf der Insel große Abstürze an derselben Stelle

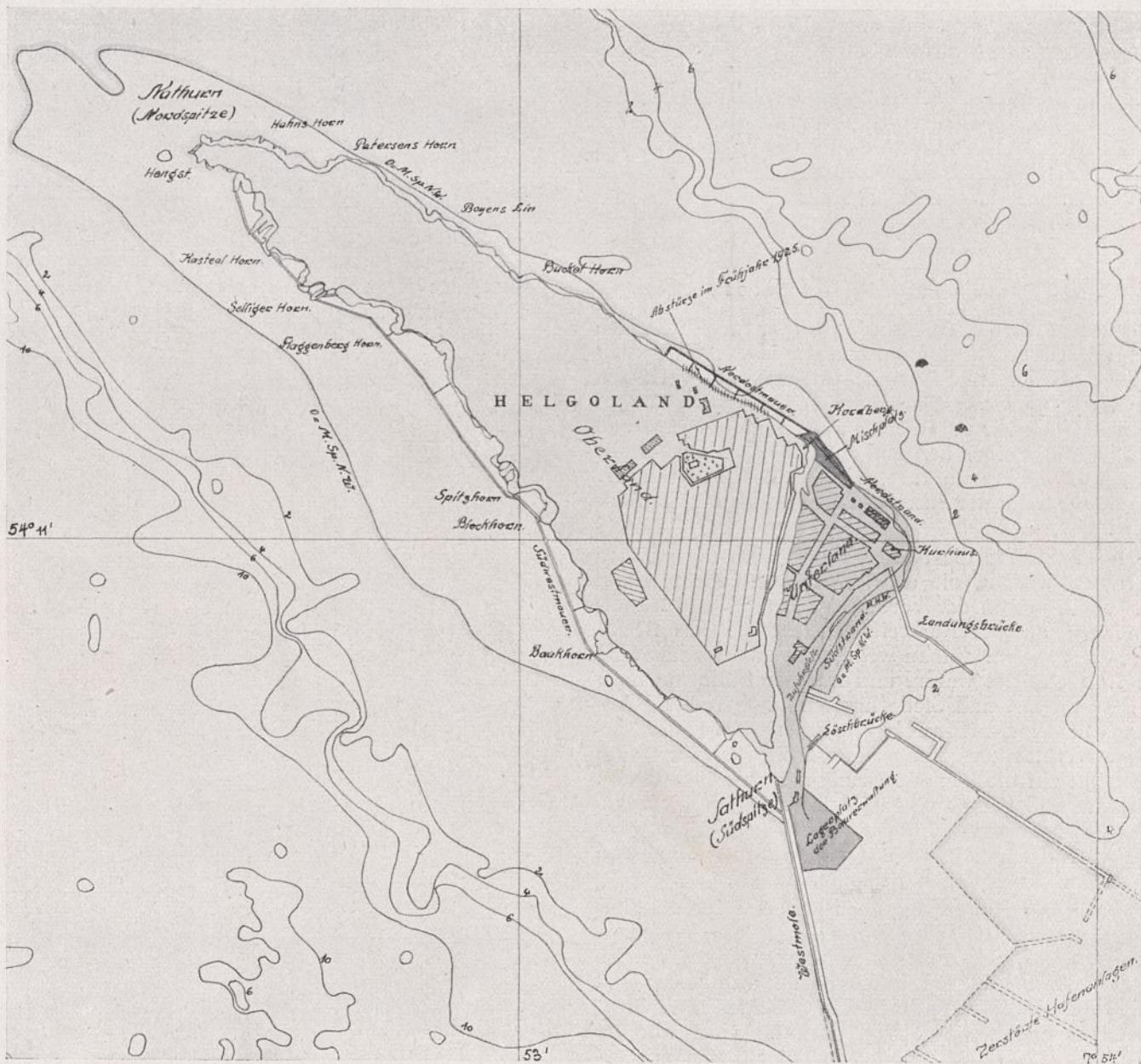


Abb. 1. Lageplan. M. 1:12500.

der Felswand nicht schnell hintereinander zu folgen. Meistens vergehen viele Jahre, bis die zerstörenden Kräfte wieder tief genug gegriffen haben, um neue Felsmassen in größerem Umfang zu lösen. Aber wie in dem früheren Aufsatz gezeigt, ist ein Schutz der Felswand in ganzer Höhe, also in dem bei Beginn der Sicherungsarbeit vorhandenen vollen Bestande praktisch nicht ausführbar. Das Sicherungswerk muß sich darauf beschränken, aus weiter erfolgenden Abbrüchen eine bewachsene Böschung entstehen zu lassen und diese zu erhalten. Nach der Herstellung des Schutzwerkes tritt also immer noch ein gewisser Rückgang der Felskante ein; und dieser Rückgang läßt sich nur dadurch vermindern, daß die Schutzmauer nicht unmittelbar an den Felsfuß gelegt, sondern auf einen Abstand gleich der halben Höhe der Wand seawärts gerückt wird. An der Nordostseite unterhalb des bebauten Geländes ist der Felsen etwa 50 m hoch. Nach den früher entwickelten Beziehungen mußte, wenn später hier eine Schutzmauer erbaut wurde, das Oberland noch einen Streifen von durchschnittlich 12 m Breite einbüßen. Damit hätte man trotz Ausführung des Schutzwerkes noch zahlreiche Häuser des Oberlandes preisgeben müssen, selbst wenn inzwischen keine weiteren Abstürze stattfanden. Es gab nur einen Weg, die Breite des verlorengehenden Streifens einzuschränken: Die Schutthalde, die durch die Abstürze im Frühjahr 1925 entstanden war und stellenweise hoch an der Felswand hinaufreichte, mußte erhalten bleiben, so daß der durch weiteren Abbruch auszufüllende Raum zwischen Felswand und Mauer verkleinert wurde. Die vorhandene Halde war aber nur zu retten, wenn die Schutzmauer sofort gebaut wurde; denn Brandung und Tideströmung räumen mit den losen Absturzmassen bald auf. So entschloß man sich, im Anschluß an die Fertigstellung der Südwestmauer ein gleichartiges Schutzwerk an der Nordostseite zu errichten, und zwar soweit, wie der bebauter Teil des Oberlandes sich erstreckt; das sind von der Ostecke des Felsens, dem Kordberg, beginnend 500 m (vgl. Abb. 1).

II. Entwurf der Mauer.

1. Querschnitt und Baustoffe.

Für den Entwurf der Nordost-Schutzmauer konnten die Erfahrungen verwertet werden, die man an der Südwestmauer bei der Ausführung und später am Verhalten des fertigen Bauwerks gesammelt hatte. Abmessungen und Kronenhöhe dieser Mauer hatten sich bewährt und wurden im allgemeinen beibehalten. Nur die Sohlenbreite wurde um 0,5 m eingeschränkt, weil der Brandungsangriff an der Nordostseite der Insel geringer ist als an der Südwestseite.

Es lag nahe, für die Nordostmauer auch die gleichen Baustoffe zu wählen, die an der Südwestmauer erprobt waren. Diese hat an der Vorderseite Granit- und Basaltverblendung; an der Rückseite besteht sie aus Betonblöcken, die vor dem Einbau wenigstens acht Wochen lang an der Luft erhärtet waren, und nur der Füllbeton ihres Inneren ist an Ort und Stelle hergestellt. Für diese Anordnung war seinerzeit sowohl die Besorgnis vor der Zerstörung unverblendeten Betons durch Seewasser als auch die Rücksicht auf die Bauausführung maßgebend gewesen. Die Granit- und Betonblöcke bildeten zugleich die Schalung des Füllbetons, weil in dem Seegang an der Südwestseite weder Holzschalung allein noch ein Fangedamm zum Schutz der Schalung sich hätte halten lassen.

Aber seit der Aufstellung des Entwurfes für die Südwestmauer waren 17 Jahre vergangen. Die Verfahren der Zementherstellung und der Betonbereitung waren in dieser Zeit wesentlich vervollkommenet. Auch lagen jetzt langjährige Beobachtungen über das Verhalten unverblendeten Betons im Seewasser vor, darunter viele von der Insel selbst. Ein sachgemäß hergestellter Beton mit genügendem Zementgehalt und guter Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe konnte jetzt als unangreifbar für See-

wasser gelten. Die Herstellung der Mauer aus unverblendetem Beton erforderte aber Schalungen, und diese wieder einen Fangedamm. Der Fangedamm wurde nun dadurch möglich, daß die Nordostseite gegen die mit dem schwersten Seegang verbundenen westlichen Winde durch die Insel selbst geschützt ist. Zugleich war jetzt in den eisernen Spundwänden ein Mittel gegeben, den Fangedamm einfach und billig herzustellen, nachdem verschiedene Bauausführungen gezeigt hatten, daß das Rammen eiserner Spundbohlen in dem Inselgestein keine Schwierigkeiten bot.

Die Vorteile dieser Bauweise lagen auf der Hand. Der Ersatz der Granit- und Basaltverblendung durch Beton ergab eine beträchtliche Ersparnis an Beschaffungskosten und Arbeitslöhnen sowie eine Verkürzung der Ausführungszeit. Für die Uferschutzbauten auf der Insel fällt die Zeit von Ende Oktober bis Anfang April, d. h. etwa die Hälfte des Jahres, als Bauzeit aus. Die schnellere Ausführung war hier also besonders wertvoll; sie hatte außerdem durch Verminderung der Nebenkosten eine weitere Ersparnis im Gefolge. Der Fangedamm, der zum Schutz der Holzschalung nötig war, brachte aber auch die Unabhängigkeit von der Tide. In technischer Beziehung bedeutete der einheitliche, in einem Stück hergestellte Betonkörper gleichfalls eine Verbesserung. Schließlich ermöglichte der Schutz des Fangedammes die Verwendung von Hochofenzement, während man für die Südwestmauer am Portlandzement hatte festhalten müssen, weil der Hochofenzement durch seine etwas längere Abbindezeit die Betonverluste im offenen Tidebau zu hoch werden ließ.

Für einen Teil der Baustrecke kam hinzu, daß der Fuß der Absturzhalde angeschnitten werden mußte. In offener Baugrube war dies nicht möglich; die Brandung hätte die Ausschachtungen immer wieder mit Geröll zugeschüttet. Hier mußte die Baugrube ohnehin mit einem Fangedamm umschlossen werden, der andererseits, wie gesagt, nur infolge der geschützten Lage der Baustelle an der Nordostseite der Insel zu halten war.

So entstand der in Abb. 2 dargestellte Mauerquerschnitt. Er zeigt nur noch eine Granitabdeckung der Krone zum Schutz gegen schweres Treibholz, das gelegentlich von der Brandung gegen die Mauer geworfen wird. Durch Dehnungsfugen ist die Mauer in 25 m lange Blöcke geteilt; in der Mitte jedes Blockes ist ein doppeltes Rohr zur Ableitung des überkommenden Brandungswassers angeordnet. Für den Beton wurde das Mischungsverhältnis 1 RT Hochofenzement : $\frac{1}{4}$ RT Traß : 4,85 RT Weserkies (500 kg Zement auf 1 m³ Beton) gewählt.

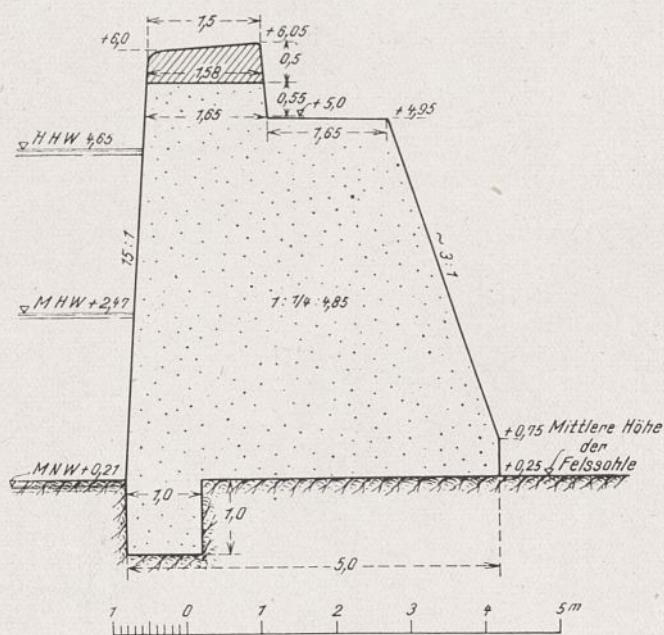


Abb. 2. Querschnitt der Mauer. M. 1:100.

2. Bauweise.

Die Bauweise gibt Abb. 3 wieder. Das bei der Südwestmauer bewährte Gerüst aus alten Eisenbahnschienen, das die Zufuhrgleise, die Kranbühnen und hier auch die Spundwandrammen trug, wurde beibehalten. Die Spundwand, aus Larssenbohlen Profil II bestehend, war so hoch bemessen, daß ein Vollaufen der Baugrube durch überschlagende Brandung bei den im Sommer auftretenden Stürmen nicht zu erwarten war. In je 50 m Abstand war eine Querwand bis an den Felsfuß zu ziehen, um in sich abgeschlossene Teilbaugruben zu erhalten. Die Arbeit sollte jeweils in drei Streckenabschnitten vor sich gehen. Im ersten sollten die Gerüste und die Spundwände gerammt, im zweiten die Bausohle abgeräumt und die Mauer hergestellt werden. Im dritten Abschnitt waren die Längsspundwand und die Gerüste abzubauen, um an der Bauspitze im ersten Abschnitt wiederverwendet zu werden. Die Querwände sollten dagegen auf Grund der Beobachtungen an der Südwestmauer stehenbleiben. Dort hatte das Wandern von Geröll hinter der Mauer durch schräg überschlagende Brandung nachträglich den Bau solcher Querwände nötig gemacht.

Die Betonschalung sollte aus wiederverwendbaren Tafeln bestehen, die in der üblichen Weise zwischen I-Trägern einzuschieben waren.

III. Ausführung der Mauer.

1. Einrichtung der Baustelle.

Die Anfuhr der Baustoffe vom Festland her in Küstenseglern war stark von der Witterung abhängig. Um den Fortgang der Bauarbeit bei längerer Dauer schlechten Wetters zu sichern, mußten Zement, Traß und Kies für wenigstens vier Wochen in Vorrat gehalten werden. An der Baustelle stand aber nur eine kleine Fläche des Nordstrandes zur Verfügung, die zum Lagern der Baustoffe und zur Aufstellung der Mischmaschinen und Nebenanlagen nicht ausreichte. So wurde es nötig, den Lagerplatz auf dem Marinehafengelände mit heranzuziehen, der schon für den Bau der Südwestmauer benutzt worden war. Von hier aus mußte bis zu der 900 m entfernten Baustelle ein Zufuhrgleis am Strande des Unterlandes entlang gelegt werden (vgl. Abb. 1). Das führte zu Schwierigkeiten mit der Gemeinde Helgoland, die von dem Bauverkehr eine starke Schädigung des Badelebens befürchtete. Der Widerstand konnte erst durch zwangsweise Beschränkung des Eigentumsrechtes der Gemeinde über den Strand gebrochen werden.

Immerhin war auf das Badeleben Rücksicht zu nehmen. Der Bauverkehr mußte auf vier Stunden täglich eingeschränkt werden, und zwar auf zwei Abschnitte zu je zwei Stunden in den Zeiten des schwächsten Badeverkehrs, von 12 bis 2 Uhr nachmittags und von 6 bis 8 Uhr abends. In jedem Fahrabschnitt ließ sich neben dem Gerüstzubehör, den Spundbohlen und sonstigem Material nur der Kies und Zement für je 60 m³ Beton befördern. Diese Menge mußte in Muldenkippern von $\frac{3}{4}$ m³ Inhalt auf dem Mischplatz am Nordstrand, der hierfür gerade ausreichte (Abb. 4), bereitgestellt und mit zwei Mischmaschinen von je 750 l Trommelinhalt in der Pause bis zur nächsten Fahrzeit verarbeitet werden. Auf diese Weise wurde die wünschenswerte Herstellung jedes 25 m langen Mauerblocks in einem Zuge unmöglich. Immerhin waren die Pausen zwischen den Betonierzeiten zumeist so kurz, daß der Zement nicht vollständig abbinden konnte; scharfe Arbeitsfugen entstanden also nicht.

Wie die früheren Uferschutzwerke wurde auch dieser Bau im Eigenbetrieb ausgeführt. Das bei der Vollendung der Südwestmauer verwendete Gerät wurde größtenteils weiter benutzt. Die elektrisch betriebene Feldbahn, die hauptsächlich wegen ihrer Unempfindlichkeit gegen Spritzwasser für den Bau der Südwestmauer beschafft war, kam hier gut zustatten, weil sie einen geräusch- und geruchlosen Zugverkehr längs des Südstrandes ermöglichte.

2. Vorermittlungen zur Ausführung des Spundwandfangedammes.

Nach dem Arbeitsplan war — außer für die stehbleibenden Querwände — die Spundwand für zwei Teilbaugruben, d. h. für 100 lfdm Fangedamm zu beschaffen. Bei 500 m Mauerlänge mußten die Spundbohlen dreimal gerammt und wieder ausgezogen werden. Für die Rammarbeit waren die Verhältnisse leicht zu übersehen; für die Wiederverwendbarkeit der gerammten Bohlen und für ihren Zugwiderstand im Inselgestein fehlte es dagegen an zahlenmäßigen Unterlagen.

Wie bereits erwähnt, waren eiserne Spundwände schon mehrfach in den Inselfelsen gerammt worden, und zwar auch in den mittleren Buntsandstein der südwestlichen Brandungsterrasse, der bedeutend härter ist als der obere Buntsandstein an der Nordostseite der Insel. Dieser hat zwar im unversehrten Gestein noch eine Festigkeit von etwa 200 kg/cm² und ist mit dünnen Bänken von härterem, grauem Ton durchsetzt; er ist aber durch Verwerfungen zermürbt. Die übergelagerten Abbruch-

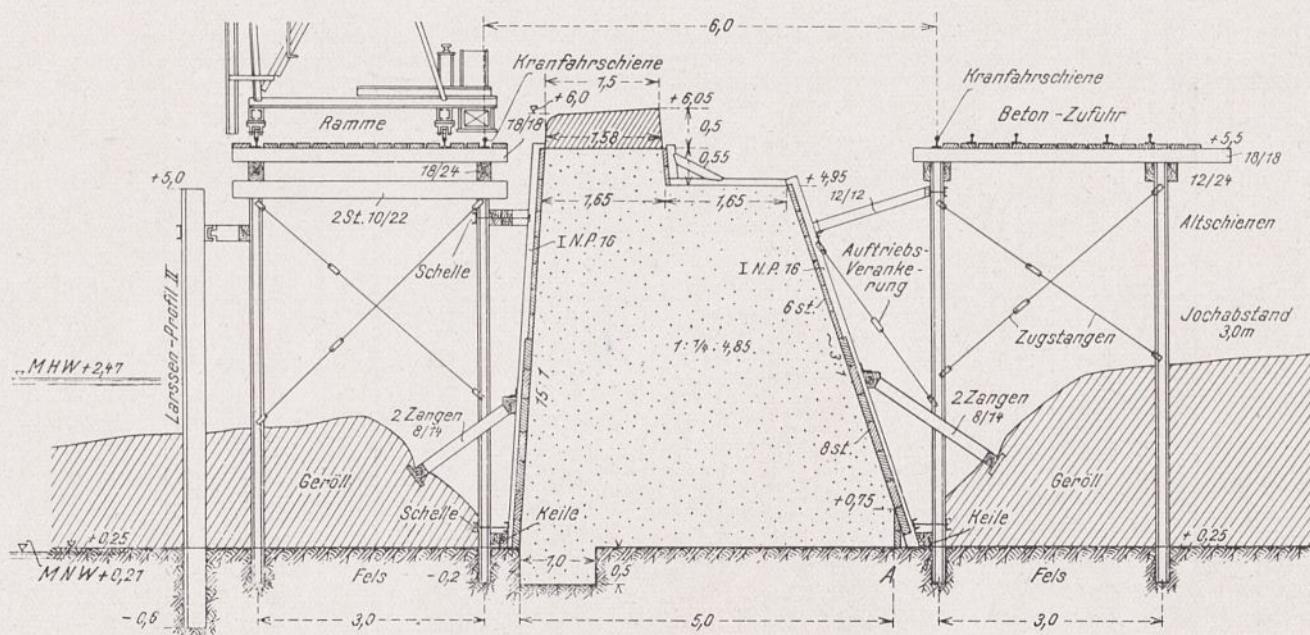


Abb. 3. Baugerüst. M. 1:100.

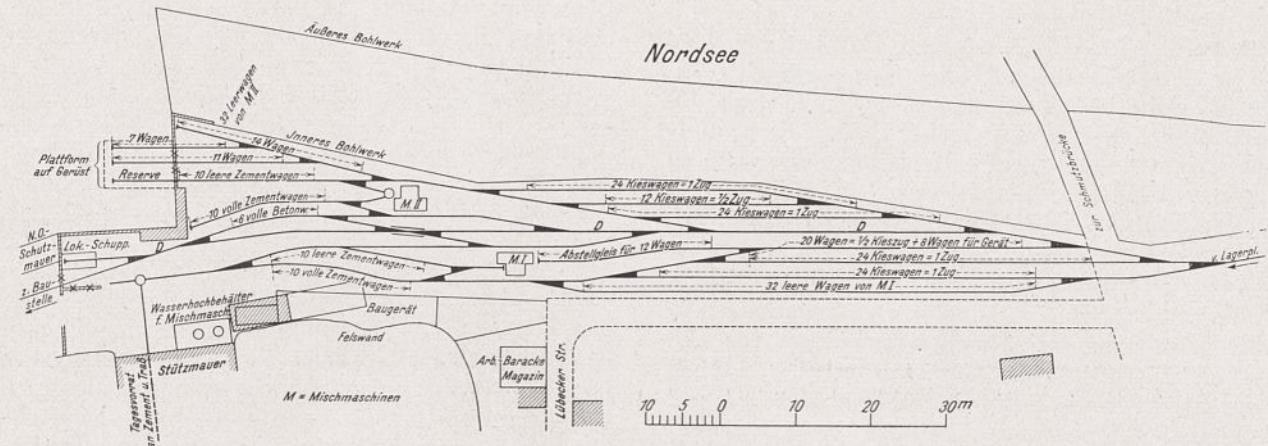


Abb. 4. Mischplatz. M. 1 : 1000.

massen bedeckten die Terrasse im Zuge der Mauer noch bis 4 m Höhe; doch waren sie zerfallen, zum Teil schon lehmartig verwittert. Vereinzelt enthielten sie Findlinge, die aus der Humusdecke des Oberlandes mit abgestürzt waren. Mit starker Beschädigung der Spundwand beim Einrammen war nach dieser Bodenbeschaffenheit nicht zu rechnen. Der Ausfall an Bohlen für die Wiederverwendung wurde auf 25 vH geschätzt und dafür Ersatz mitbeschafft.

Beim Bau und bei der Zerstörung des Marinehafens waren gelegentlich kurze Spundwandstrecken beseitigt worden. Die dabei benutzten Geräte (schwere Krane und Baulokomotiven, die auf Flaschenzüge angesetzt waren) kamen aber hier nicht in Frage; Zahlen über die Größe der aufgewendeten Zugkraft waren nicht mehr bekannt. Deshalb wurde jetzt an einer Bohle, die zur Probe durch eine 4 m hohe Geröllschicht 1 m tief in den anstehenden Felsen gerammt war, ein Zugversuch mit Hebebäumen und Winden angestellt. Unter diesem ruhenden Zuge bewegte die Bohle sich nicht, obwohl die Zugkraft bis auf 50 t gesteigert wurde. Daraufhin wurde nachher auf der Baustelle ein Demag-Union-Pfahlzieher benutzt, der seine Aufgabe auch löste. Der Zugwiderstand zweier Bohlen mußte aber die Leistungsfähigkeit des Pfahlziehers übersteigen. Die Bohlen wurden deshalb nicht als Doppelbohlen mit gepreßten Schlössern, sondern als Einzelbohlen beschafft und auf dem Lagerplatz von einem als Trekker arbeitenden Autokran zusammengezogen.

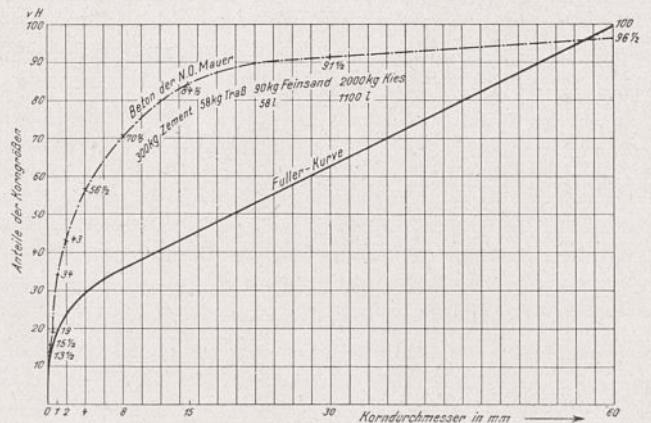


Abb. 5. Siebkurve.

5. Betonherstellung.

Die Kornzusammensetzung der Zuschlagsstoffe wurde nach dem Verfahren von Abrams¹⁾ bestimmt, das für die Baustelle recht bequem ist. Der Vergleich der Siebkurve mit der Fullerkurve diente zur Kontrolle.

¹⁾ Abrams, Design of concrete mixtures; herausgegeben vom Structural materials research laboratory, Lewis Institute, Chicago. Uebersetzung im Verlag des Schweizerischen Ing.- u. Arch.-Vereins, Zürich.

Zusammensetzung des Betons.

Vorgeschriebenes Mischungsverhältnis: 1 RT Hochofenzement: 1/4 RT Traß: 4,85 RT Weserkies.

Siebanalyse:

(Durchgeführt für 50 kg Weserkies. Siebsatz des „Chemischen Laboratoriums für Tonindustrie“, Berlin; vgl. Gaye, Gußbeton, und Ed. Stadelmann, Gußbeton, Erfahrungen beim schweizerischen Talsperrenbau).

Korngröße nach dem benutzten Siebsatz mm	1. Zuschlag						2. Bindemittel (7,5 kg Zement + 0,45 kg Traß) g	3. Betonmischung	
	50 kg Kies		1 kg Traß als Feinmehl + 2,25 kg Feinsand g	Im Ganzen		Feinheitsmodul v H		g	v H
	g	v H		g	v H				
120—60	2 120	4	—	2 120	4	4	—	2 120	3 ¹ / ₂
60—30	2 850	6	—	2 850	5 ¹ / ₂	9 ¹ / ₂	—	2 850	5
30—15	4 350	9	—	4 350	8	17 ¹ / ₂	—	4 350	7
15—8	8 530	17	—	8 530	16	33 ¹ / ₂	—	8 530	14
8—4	8 500	17	—	8 500	16	49 ¹ / ₂	—	8 500	14
4—2	8 200	16 ¹ / ₂	—	8 200	15 ¹ / ₂	65	—	8 200	13 ¹ / ₂
2—1	5 690	11 ¹ / ₂	—	5 690	10 ¹ / ₂	75 ¹ / ₂	—	5 690	9
1—0,5	9 140	18	230	9 470	17 ¹ / ₂	93	—	9 370	15
0,5—0,223	530	1	1 520	2 050	4	97	80	2 130	3 ¹ / ₂
0,223—0,147	50	—	700	750	1 ¹ / ₂	98 ¹ / ₂	470	1 220	2
≤ 0,147	40	—	800	840	1 ¹ / ₂	100	7 400	8 240	13 ¹ / ₂
						640			

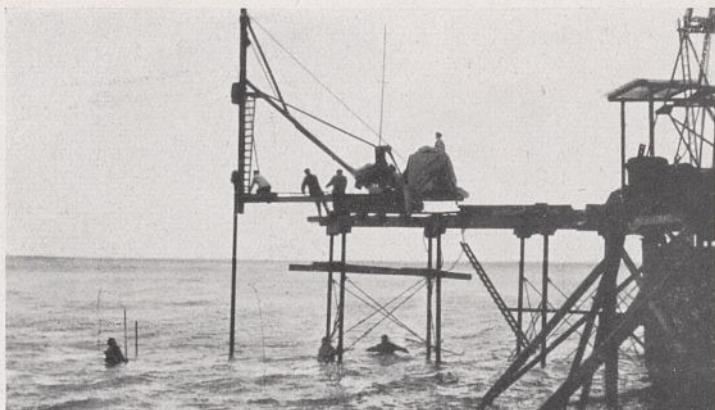


Abb. 6. Gerüstbau.



Abb. 7. Einrammen der Spundwand.

Die vorgeschriebene Betonmischung (1 RT Hochofenzement : ¼ RT Traß : 4,85 RT Weserkies) enthielt reichlich Traß, der nur zu etwa 30 vH für die Bindung der freien Kalkteilchen des Hochofenzementes ausgenutzt wurde. Der Rest wurde als Feinmehl angesehen, von dem der verwendete Weserkies zu wenig enthielt. Auf Grund der Siebanalysen mußte außerdem etwas Feinsand beigegeben werden. Der Wasserzusatz betrug wie bei der Südwestmauer 8 vH (Gewichtsteile). Um das angewendete Verfahren der Ermittlung des günstigsten Betongemisches zu veranschaulichen, sind die vollständige Siebanalyse, die sonstigen Betondaten und die Siebkurve in nebenstehender Tabelle und in Abb. 5 wiedergegeben:

Recht wertvoll war der Traßüberschuß insofern, als er die Wasserdichtigkeit des Betons verbesserte²⁾. Auf diese kam es mehr an, als auf hohe Festigkeit, die im vorliegenden Falle doch nicht ausgenutzt wurde, während mit der Wasserdichtigkeit die Haltbarkeit des Betons im Seewasser steigt.

Zement und Traß wurden trocken vorgemischt. Wie beim Bau der Südwestmauer konnte die Wasserzugabe an der Mischmaschine nicht rechnerisch im voraus bestimmt werden, weil die natürliche Feuchtigkeit des Kieses zu stark und zu schnell wechselte. Der Wasserzusatz mußte wieder dem Gefühl der Mischmaschinenführer überlassen bleiben. In dem Aufsatz über den Bau der Südwestmauer sind die Versuche und Erfahrungen wiedergegeben, die mit dieser Art der Wasserbemessung gemacht wurden und die das Verfahren als durchaus unbedenklich erscheinen ließen. Die Konsistenz wurde in jedem Betonierabschnitt, also zweimal täglich mit dem Fließtisch nachgeprüft. Für jeden der 12 Mauerblöcke wurde Festigkeit und Wasserdichtigkeit des Betons an Proben, die aus der Mischmaschine entnommen waren, festgestellt. Es ergab sich an Würfeln von 10 cm Seiten-

²⁾ Vgl. Merkle, Wasserdurchlässigkeit von Beton. Berlin, Julius Springer 1927.

länge nach 28 Tagen eine durchschnittliche Festigkeit von 244 kg/cm², mit einem oberen und unteren Grenzwert von 272 und 216 kg/cm². Die Wasserdichtigkeit wurde mit einem Wasserdurchlässigkeitsprüfer System Burdartz ermittelt, und zwar für jeden Mauerblock an sechs Probenplatten von 20×20 cm Seitenlänge und 10 cm Stärke mit 200 cm² Druckfläche. Bei den Anfangsversuchen, bei denen die Platten eine glatte Stampfoberfläche besaßen, drang kein Wasser in den Beton ein³⁾. Darauf wurden die Platten in der Druckfläche künstlich aufgeraut und wie folgt belastet:

1½ Stunden lang mit 1 Atü, weiter je 1 Stunde lang mit 2,5, 5, 7,5 und 10 Atü.

Von den 42 Probeplatten der ersten sieben Mauerblöcke ließen nur fünf Stück bei Drucken zwischen 5 und 10 Atü Wasser durchtreten. Bei den 30 Platten der letzten fünf Mauerblöcke wurde der Druck deshalb eine weitere Stunde lang auf 15 Atü gesteigert, mit dem Ergebnis, daß 17 Platten auch jetzt keinen Wasserdurchtritt zeigten oder aber platzten, ohne daß Wasser hindurchgetreten war.

Die Stärke der Betonschalung wurde nach dem Verfahren von Noack ermittelt. Die berechneten Werte erwiesen sich als ausreichend, jedoch keinesfalls als zu hoch.

4. Arbeiten vor Ort.

Nachdem das Zwangsverfahren gegen die Gemeinde Helgoland durchgeführt war, konnte Anfang Mai 1928 die Verlegung der Zufuhrgleise am Strand des Unterlandes, Ende Mai der Vortrieb der Baugerüste und des Spundwandfangedammes beginnen.

Beim Bau der Südwestmauer wurden die Gerüste in der Weise aufgestellt, daß über Niedrigwasser mit Gesteinsbohrmaschinen Löcher in den anstehenden Felsen getrieben und die Gerüststützen darin festgekeilt wurden. Auf der jetzt vorliegenden Baustrecke ließ die Geröll-

³⁾ Vgl. Rudeloff und Panzerbieter, Porendruck im Mauerwerk. Mitteilungen des Material-Prüfungsamtes 1912.

Bemerkungen zu der nebenstehenden Tabelle, Zusammensetzung des Betons.

Umrechnungsfaktor für den Uebergang vom benutzten Siebsatz zu dem von Abrams verwendeten Tylerschen Siebsatz (nach Stadelmann a. a. O.) $\infty = 0,95$; daher

Feinheitsmodul nach dem Tylerschen Siebsatz = $\frac{645 \cdot 0,95}{100} = 6,11$. Günstigster Feinheitsmodul für die Mischung nach Abrams = 6,10.

In 1 m³ Beton sind enthalten:

Zement	251 l = 500 kg
Traß 58 l, davon als Bindemittel 50 vH	= 17 l = 17 kg
als Feinmehl 58 - 17	= 41 l = 41 kg
Feinsand	58 l = 90 kg
Kies	1100 l = 2000 kg
Wasser (einschl. Naturfeuchtigkeit der Zuschlagstoffe)	200 l = 200 kg

Gewichtsanteil an Feinmehlen unter 0,225 mm Korngröße	15,5 vH	} des Gesamtgewichts der Trockenmenge
davon Bindemittel	12,9 vH	
Raumgewicht der Zuschlagstoffe (eingerüttelt)	R = 2,08 t/m ³	
Spezifisches Gewicht der Zuschlagstoffe	S = 2,52 t/m ³	
Hohlraumgehalt	H = 0,175 m ³ /m ³	
Dichtigkeitsgrad $\left(\frac{\text{Mörtelmenge}}{\text{Kieshohlraum}} \right)$	D = 1,82	
Wasserzementfaktor		
a) ohne Berücksichtigung des Traßbindemittels	$= \frac{200}{300} = 0,67$	
b) mit Berücksichtigung des Traßbindemittels	$= \frac{200}{317} = 0,63$	

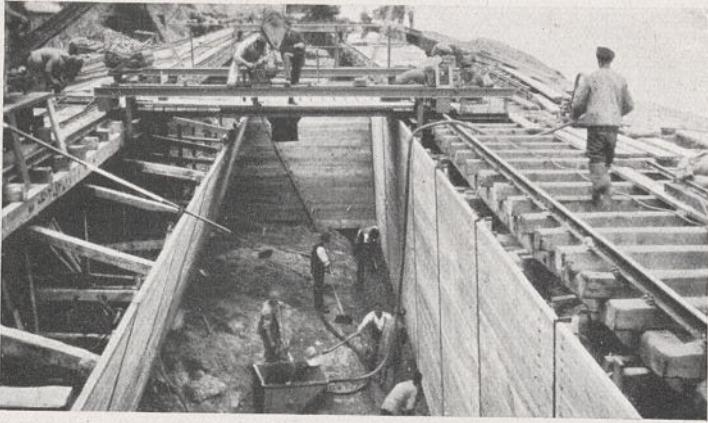


Abb. 8. Fertig eingeschalter Mauerblock.

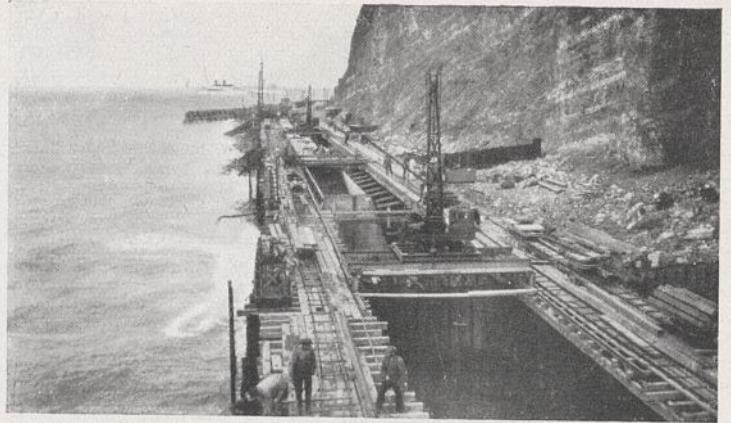


Abb. 9. Gesamtansicht der Baustelle von Norden.

bedeckung den Einsatz der Bohrmaschinen nicht zu. Die Stützen wurden deshalb mit einer Auslegerramme vom Gerüst selbst aus eingeschlagen. Die Ramme war im Eigenbetriebe aus einem überzähligen Handkran und einer Bauwinde mit Elektromotorantrieb hergerichtet; ihre Drehbarkeit erlaubte, beide Stützenreihen eines Gerüsts von demselben Gleis her zu bestreichen. Das Rammen der Stützen mit diesem Gerät wurde nebenbei billiger als das frühere Verfahren. Dazu war es weniger von der Tide abhängig. Zwar mußten die Gerüstschienen sofort verspannt werden, um den Erschütterungen durch den Seegang und das Rammen standzuhalten; die Ausrüstung der Rammkolonne mit wasserdichten Sielanzügen machte es aber möglich, diese Arbeit bis zu einer Wasserbedeckung von $1\frac{1}{4}$ m über Felssohle durchzuführen (Abb. 6).

Zum Schlagen der Spundwand dienten zwei Menck & Hambrocksche Rammen, die mit 800 kg Bärge­wicht und 2 bis 5 m Fallhöhe arbeiteten (Abb. 7). Schwierigkeiten ergaben sich nicht. Wie beim Ausziehen der Spundwand festgestellt wurde, nahm der anstehende obere Buntsandstein unter den Rammschlägen die Eigenschaften plastischen festen Tones an; dadurch wurde die Arbeit sehr erleichtert. Die Leistung einer Ramme betrug in elfstündiger Schicht durchschnittlich 11 Doppelbohlen = 8,8 lfdm Spundwand.

Auch die Beschädigung der Bohlen hielt sich in engen Grenzen. Der anstehende Felsen verursachte infolge seiner Umwandlung in plastischen Ton fast keine Formänderungen. Hin und wieder zeigten die Bohlen kleine Einrisse und Ausbeulungen am Fuß; sie konnten nach geringer Kürzung weiter benutzt werden. Nur diejenigen Bohlen, die in der Gerölldecke auf Findlinge stießen, verbogen sich oder rollten sich auf und wurden unbrauchbar (vgl. Abb. 11). Im ganzen blieb der Abgang an Bohlen für die Wiederverwendung unterhalb des vorausgeschätzten Satzes.

Zur Abdichtung der Spundwand wurden die Schlösser der Bohlen vor dem Zusammenziehen und Rammen mit einer Mischung von gleichen Teilen Teer und Asphalt aus-

gegossen. Die Dichtung hielt sich bei den auftretenden Wasserdrücken bis 5 m gut; einzelne Leckstellen wurden in der fertigen Wand kalfatert. Die Wasserhaltung blieb gering.

Während eine Ramme die Längsspundwand schlug, stellte eine zweite die Querwände her. War eine Teilbaugrube geschlossen, so wurde das Geröll mit Greiferkränen, die auf Fahrbühnen über der Grube liefen, ausgehoben und der Schlitz für die vordere Schürze mit Preßluftabbauhämmern ausgestemmt. Dann wurde die Felssohle mit Spitzhacke und Stahldrahtbesen gereinigt und die Schalung mit Hilfe der Krane aufgestellt (Abb. 8 und 9). Der Beton wurde aus den Feldbahnwagen von $0,75 \text{ m}^3$ Inhalt über eine fahrbare Bühne, die mit Drehscheibe an das Zufuhrgleis angeschlossen war, durch einen Trichter in durchschnittlich 0,5 m Schichthöhe verkippt.

Wöchentlich wurde ein Block von 25 m Länge betoniert, so daß in je vierzehn Tagen der Mauerabschnitt einer Teilbaugrube fertiggestellt war. Die Spundwand wurde nun ausgezogen und das Gerüst abgebrochen, um an der Bauspitze wiederverwendet zu werden. Das Zufuhrgleis wurde auf die fertige Mauer verlegt (Abb. 10). Der Abbau erfolgte jedoch so spät wie möglich, um dem Beton Zeit zum Erhärten zu lassen, bevor er mit dem Seewasser in Berührung kam.

Der mit Preßluft betriebene Demag-Union-Pfahlzieher, der die Spundwand beseitigte, arbeitete recht zufriedenstellend. Allerdings mußten die Spundbohlen, wie vorausgesehen war, einzeln angefaßt werden, da sie in den Bänken des grauen Tones ziemlich fest saßen und der Widerstand der aufgerollten Bohlen (Abb. 11) mitunter bis an die Grenze der Leistungsfähigkeit des Pfahlziehers stieg. Die Zugzeit für eine Bohle schwankte infolgedessen zwischen einigen Minuten und einer Stunde; die Durchschnittsleistung in elfstündiger Schicht betrug 36 Bohlen oder 14,4 lfdm Spundwand.

Ende September 1928 waren die Betonarbeiten beendet, Ende Oktober die Mauer einschließlich Granitabdeckung und Steigeleitern fertiggestellt (Abb. 16).



Abb. 10. Fertige Mauer mit teilweise verlegten Abdeckplatten.



Abb. 11. Ausgezogene Spundbohlen.



Abb. 12. Eingedrückte Spundwand.



Abb. 15. Zurückgebogene Spundwand.

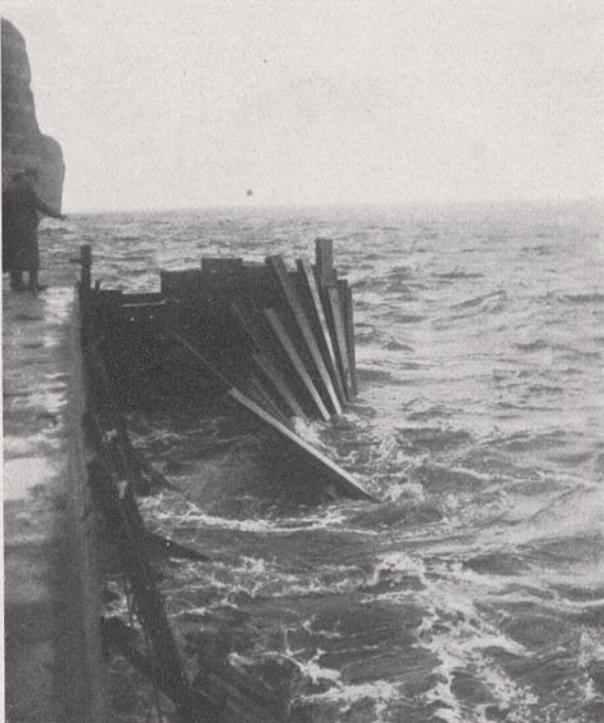


Abb. 14. Vollständig umgelegte Spundwand.

IV. Besondere Erfahrungen bei der Ausführung.

1. Verhalten des Spundwandfangedammes. Während die sonstige Bauausführung nichts besonders Bemerkenswertes bietet, sind einige Beobachtungen an der Fangedammspundwand von Interesse. Die Spundwand hielt während der Bauzeit dem Seegang stand. Allerdings zeichnete der Sommer 1928 sich durch ruhiges Wetter aus und brachte keine Nordwestwinde von mehr als Stärke 6. Ende September, am Tage nach dem Abschluß der Betonierarbeit, wurde aber bei stürmischem Nordwest die Spundwand der letzten Teilbaugrube von der See eingedrückt. Während der Flut warf die Brandung zunächst große Wassermassen über die Spundwand, so daß die Baugrube nahezu voll lief. In stetem Wechsel übten nun die anlaufenden Wellen einen Druck von außen her, das in der Baugrube stehende Wasser bei rückflutender Welle einen Druck von innen her auf die Wand aus. Die Absteifung wurde losgerüttelt und schwamm auf. Der Felsboden, der schon durch das Rammen plastisch geworden war, verlor unter dem ständigen Druckwechsel seine Festigkeit noch mehr und wurde von den Bohlen teils zur Seite gedrängt, teils aufgebrochen. Zuletzt legte die Spundwand sich nach innen über, wobei das Baugerüst stellenweise zu Bruch ging (Abb. 12). Während der folgenden Ebbe drängte der Ueberdruck des in der Baugrube stehenden Wassers sie wieder nach außen (Abb. 15). Durch Wiederholung dieses Spiels bei anhaltendem starkem Seegang, der keine Sicherungsarbeiten zuließ, war die Wand in einigen Tagen vollständig umgelegt (Abb. 14).

Einige Spundwandstrecken, die versuchshalber auf die anderthalbfache Solltiefe, also bis 1,20 m in den anstehenden Fels gerammt waren, zeigten nur eine wenig höhere Widerstandsfähigkeit. Die Umwandlung des Gesteins in plastischen Ton gibt die Erklärung hierfür.

Die einzelnen Bohlen blieben bei der Zerstörung der Spundwand ziemlich unbeschädigt. Sie streckten sich etwas durch Abbiegen der Flansche von den Stegen und Durchbiegen der Stege (Abb. 15), so daß die Wellenhöhe der Spundwand kleiner wurde. Im übrigen gaben sie nur durch den Spielraum in den Schlössern nach, oder sie zogen sich bei dem Hin- und Herschwanen der Spundwand aus dem Boden heraus und verschoben sich bis zu 5 m gegeneinander. Bemerkenswert ist der gute Zusammenhalt der Schlösser. Trotz der tagelangen Beanspruchung und der vollständigen Verzerrung der Wand zwischen den Anschlüssen an die stehengebliebenen Querwände sprang keine Bohle aus dem Schloß.

So gut die einfache Spundwand mit genügender Absteifung den ruhenden Druck aushielt, den dynamischen Beanspruchungen durch Seegang war sie nicht gewachsen, da sie ihnen nicht genug Masse entgegengesetzte. Der Verwendung einfacher Spundwandfangedämme sind also auf der Insel ziemlich enge Grenzen gesteckt. Bei der Weiterführung der Nordostschutzmauer bis zur Nordspitze, d. h. in den Bereich zunehmender Brandung hinein könnte eine einfache Spundwand auch bei starker Absteifung wahrscheinlich nur noch auf 500 m Uferlänge verwendet werden. Die Reststrecke bis zur Nordspitze würde dann einen Fangedamm aus doppelter Spundwand mit Bodenfüllung erfordern.

2. Bauleistung und Kosten im Vergleich zur Südwest-Schutzmauer. Ein Vergleich der neuen Schutzmauer mit der älteren an der Südwestseite der Insel zeigt die Ueberlegenheit der hier angewendeten

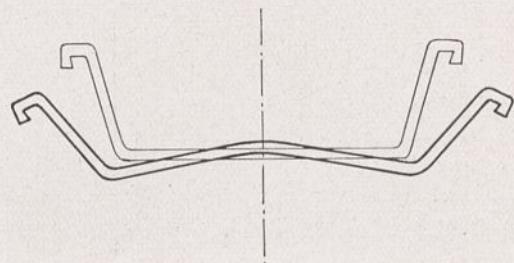


Abb. 15. Durchbiegung umgelegter Spundwandeneisen.

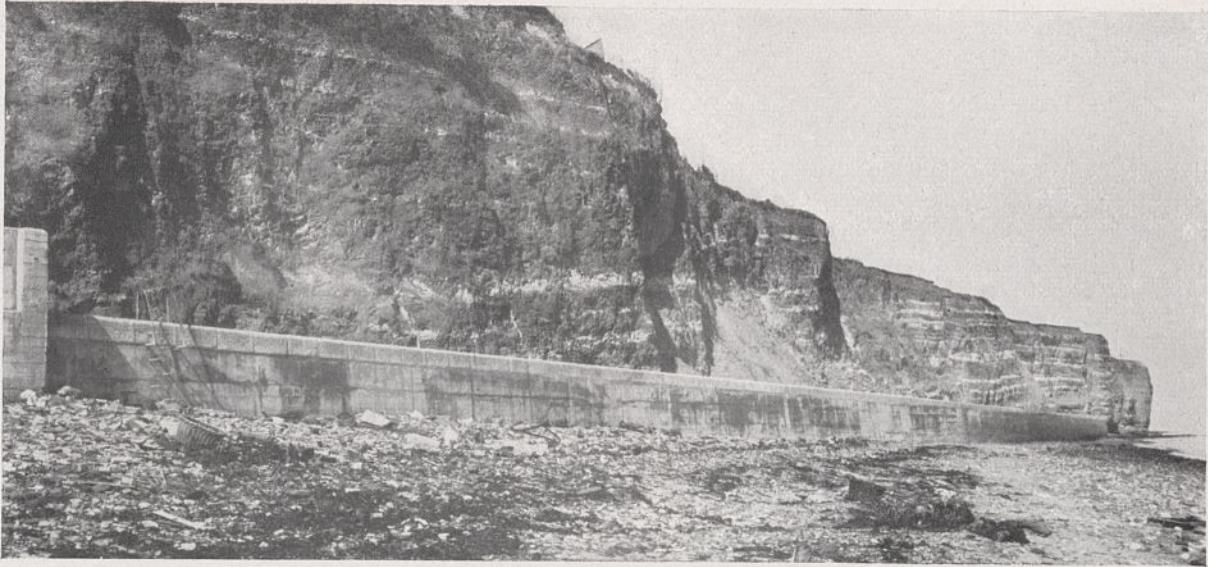


Abb. 16. Fertige Schutzmauer.

Bauweise hinsichtlich Ausführungszeit und Kosten. Die Zeit für Einrichten und Abräumen der Baustelle nicht mitgerechnet, wurden an der Südwestseite im Durchschnitt monatlich 50 m, in einem Sommer (fünf bis sechs Monate reine Bauzeit) 500 m Mauer fertiggestellt. An der Nordostseite betrug die monatliche Leistung 100 m, und die 500 m lange Mauer ist trotz der größeren Bodenbewegung in drei eigentlichen Baumonaten vollendet worden. Dabei war die Ausführungsgeschwindigkeit nicht von der Leistungsfähigkeit der Bauweise bestimmt, sondern von der Baustoffzufuhr, die wieder durch die Rücksicht auf den Badeverkehr begrenzt war. Bei unbeschränkter Anfuhr oder mit genügenden Lagerplätzen an der Baustelle hätte die Leistung etwa auf das Doppelte gesteigert werden können.

Die Baukosten betragen für 1 lfdm rd. 5500 RM gegen 4000 RM bei der Südwestmauer. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Nordostmauer durch die Einrichtung der Baustelle stärker belastet ist als die Südwestmauer, bei der sich geringere Einrichtungskosten auf eine längere Baustrecke verteilen. Gleiche Verhältnisse vorausgesetzt, hätte das neue Schutzwerk nur etwa 65 v H der Baukosten des älteren beansprucht. Es muß aber nochmals betont werden, daß die Fangedamm-Bauweise an der Südwestseite der Insel wegen der stärkeren Brandung nicht möglich war.

V. Künftige Arbeiten zur Vollendung des Inselchutzwerkes.

Die Häuser des Oberlandes sind nunmehr gegen Abbruch gesichert (Abb. 17). Nur das der Abbruchkante am nächsten stehende Haus, das rd. 6 m vom Klippenrand entfernt ist, wird ohne besondere Schutzmaßnahmen verloren sein; doch ist seine Lebensdauer vergrößert, weil der weitere Abbruch der Felswand jetzt langsamer vor sich geht.

An der Vollendung des Schutzes der ganzen Insel fehlt nunmehr noch die 900 m lange Strecke vom Endpunkt der fertigen Nordostmauer bis zur Nordspitze. Schon zur Ausnützung der vorhandenen Baustelleneinrichtung und des eingearbeiteten Personals wäre es vorteilhaft gewesen, den Bau ohne Unterbrechung bis dorthin durchzuführen. Wegen der mißlichen Finanzlage Preußens muß diese Arbeit einer späteren Zeit vorbehalten bleiben.

Die Bauangelegenheiten wurden wie bei der Vollendung der Südwestschutzmauer in der Provinzialinstanz durch den Oberregierungs- und -baurat *Dinkgreve* bearbeitet; Entwurfsaufstellung und Bauausführung lagen wieder in der Hand des Vorstandes des Wasserbauamts Tönning, Regierungsbaurat *Mannsdorf*, und des Regierungsbaurats *Bahr*, dem der Regierungsbaumeister a. D. *Gocht* für die örtliche Bauleitung beigegeben war.



Abb. 17. Fertige Schutzmauer mit den Häusern des Oberlandes.