

Ueber das Klima im Zimmer und seine Beziehungen zum Aussenklima,

mit besonderer Berücksichtigung von Feuchtigkeit,
Staub- und Ionengehalt der Luft.

Von der
Eidgenössischen Technischen Hochschule
in Zürich
zur Erlangung der
Würde eines Doktors der Naturwissenschaften
genehmigte
Promotionsarbeit
vorgelegt von
Kurt Egloff, Apotheker
aus
Tägerwilen (Thurgau)

Nr. 766

Referent: Herr Professor Dr. W. von Gonzenbach
Korreferent: Herr Professor Dr. F. Tank

Leer - Vide - Empty

*Meinen lieben Eltern und meinem
Onkel, Herrn F. Roedde gewidmet.*

Leer - Vide - Empty

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	7-- 8
I. Teil: BESCHREIBUNG UND KRITIK DER MESSMETHODEN	9--21
Messbedingungen	9
Beobachtungsort und Räumlichkeiten	9
Messzeit	10
BEOBACHTUNGSELEMENTE	11
A. Lufttemperatur	11
B. Luftfeuchtigkeit	11
C. Abkühlungsgrösse	12
D. Helligkeit	13
E. Staubgehalt	14
F. Kondensationskerne	16
G. Ionenzahl	17
II. Teil: BEOBACHTUNGSERGEBNISSE	21--69
A. Lufttemperatur	24
B. Luftfeuchtigkeit	25--39
1. Luftfeuchtigkeit im Freien	25
2. Luftfeuchtigkeit im Sanatoriumszimmer	27
a) Einfluss der Lüftung	27
b) Einfluss der Bewohnung	28
c) Einfluss der Heizung	28
3. Luftfeuchtigkeitsbestimmungen in andern Räumlichkeiten	29
C. Abkühlungsgrösse	31--34
1. Die Abkühlungsgrösse im Freien	31
2. Die Abkühlungsgrösse im Zimmer	33
a) Abkühlungsgrösse und Behaglichkeit	33
D. Helligkeitsbestimmungen	34--36
E. Ergebnisse der Staubzählungen	36--47
1. Staubzählungen im Freien	36
a) Abhängigkeit des Staubgehaltes der Luft von meteorologischen Faktoren	38
b) Tagesgang der Staubzahlen im Freien	40
2. Staubzählungen im Sanatoriumszimmer	40
a) Einfluss der Lüftung	42
b) Einfluss der Zimmerreinigung	43
c) Einfluss des Bettmachens	43
d) Einfluss der Heizung	43
e) Künstliche Beeinflussung des Luftstaubes	43
3. Staubzählungen in andern Räumlichkeiten	44
4. Ergänzungen zur Staubbestimmung	47
a) Die Wahl des Standortes	47
b) Korngrösse des Luftstaubes	47

c) Beziehung zwischen Teilchenzahl und gravimetrisch bestimmter Luftstaubmenge	47
d) Bakteriologisches	47
e) Azidität und Alkalinität des Luftstaubes	47
F. Ergebnisse der Kondensationskernzählungen	47—53
1. Kernzählungen im Freien	49
a) Witterungseinflüsse auf die Kernzahlen	50
b) Tagesgang der Kernzahlen im Freien	50
2. Kernzählungen im Zimmer	51
a) Einfluss der Lüftung	53
b) Einfluss künstlicher Luftbefeuchtung	53
3. Geladene Kondensationskerne	72
G. Ergebnisse der Ionenzählungen	54—69
1. Normales Verhalten der Ionenzahlen im ungestörten, geschlossenen Zimmer	54
2. Einfluss spezieller meteorologischer Faktoren auf die Ionenzahlen im geschlossenen Zimmer	59
a) Einfluss der Dunstbildung	60
b) Einfluss der Niederschläge	60
c) Einfluss der Windrichtung	60
3. Einfluss des Bewohnens a. die Ionenzahlen im geschlossenen Zimmer	62
a) Bewohnung	62
b) Lüftung	64
c) Heizung	65
4. Veränderung der Ionenzahlen durch künstliche Beeinflussung	65
a) Luftbefeuchtung	65
b) Lenardeфект	67
c) Tabaksrauch	67
d) Ozonisation	68
5. Das Verhalten der mittelschweren Ionen	68
III. Teil: BESONDERE KÜNSTLICHE BEEINFLUSSUNGEN	70
H. Luftbefeuchtung mit dem Wasserverdunstungsapparat «LUCAGRA»	70—73
a) Zimmerluftbefeuchtung mit Lucagra	70
b) Luftstaubbekämpfung mit Lucagra	71
I. Ozonisierung mit «Viozon-Normal»	74—78
Zusammenfassung	78—81
Literaturverzeichnis	81—84

Einleitung.

Die Klimaforschung erstreckt sich unter anderem auch in weitgehendem Masse auf die Untersuchung der Beziehungen, die zwischen den klimatischen Faktoren und dem kranken und gesunden Menschen bestehen. Wir dürfen mit Befriedigung feststellen, dass gerade auf diesem Gebiete das «Schweizerische Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Tuberkulose» in Davos führend und bahnbrechend vorangegangen ist.

Es ist aber im allgemeinen zu wenig darauf Rücksicht genommen worden, dass der weit überwiegende Teil der Kulturmenschen nicht den Klimafaktoren, wie sie im Freien bestehen, ausgesetzt ist, sondern dass die Mehrzahl der Menschen ihr Leben zumeist im geschlossenen Raum zubringt.

Da aber der menschliche Körper und die menschliche Psyche von Natur aus den Umweltfaktoren angepasst ist, so ergibt es sich ganz von selbst als Postulat biologisch-einfühlender Hygiene, dass die Umweltsbedingungen im geschlossenen Raum so gut wie möglich den natürlichen Umweltsbedingungen des Freiluftklimas angeglichen werden sollten, und dass bei der Gestaltung des Innenklimas nur die gesundheitsfeindlichen Extreme der Witterung ausgeschaltet, im übrigen aber die gesundheitsfördernden Faktoren nach Möglichkeit erhalten bleiben sollten.

Was aber ist —, was heisst Innenklima?

Dieser Begriff ist noch viel zu wenig erforscht und mit Beobachtungsmaterial belegt. Die Wohnungshygiene sollte sich zur Aufgabe machen, noch viel intensiver, als es bis jetzt geschehen ist, Beobachtungsmaterial aus Wohn-, Arbeits-, Schlaf- und Krankenzimmern zusammenzutragen, um so Innen- und Aussenklima messbar miteinander vergleichen zu können, um daraus wissenschaftlich gesicherte Postulate für Bauherren, Architekten und Gesundheitsingenieure des Lüftungs-, Heizungs- und Beleuchtungsfaches abzuleiten.

In Fachzeitschriften wie dem «Gesundheitsingenieur», dem «Archiv für Hygiene und Bakteriologie» u. a. finden wir zwar oft Probleme wie Heizung, Lüftung, Ventilation, Staubbekämpfung in Fabrikbetrieben und Aehnliches behandelt, doch werden solche Fragen meist nur für sich als Einzelbeobachtungen diskutiert und werden daher nicht selten etwas einseitig beleuchtet. Ausgedehnte Untersuchungen über die klimatischen Verhältnisse in Wohn-, Schlaf- und Krankenzimmern etc. liegen bis jetzt nur sehr lückenhaft vor.

Mit vorliegender Arbeit haben wir den Versuch einer vergleichenden Innen- und Aussenklima-Beobachtung angestellt, wobei wir, materiell und zeitlich an gewisse Grenzen gebunden, uns auf die vergleichende Festlegung der luftklimatischen Faktoren beschränken mussten und vom Strahlungsklima nur die Helligkeit, nicht aber die invisiblen Strahlungsmomente berücksichtigen konnten.

Wir benützten diese Gelegenheit, um zwei Apparaturen zur Luftkonditionierung, einen Luftbefeuchtungs- und einen Ozonisierungsapparat, darauf hin zu prüfen, inwieweit sich mit deren Hilfe Feuchtigkeits-, Staub- und luftelektrische Verhältnisse, sowie chemische Luftverunreinigungen künstlich beeinflussen lassen.

I. TEIL.

Beschreibung und Kritik der Messmethoden.

Messbedingungen.

Es war ursprünglich vorgesehen, dass ich mir die notwendige Technik der Messmethoden am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium in Davos (I. Abteilung des Schweiz. Forschungsinstituts für Hochgebirgsklima und Tuberkulose) aneignen, das eigentliche Beobachtungsmaterial dann aber anschliessend in Zürich sammeln sollte. Durch den Umstand, dass sich in Zürich aber die nötigen Apparaturen nicht vorfanden, wurde das Programm insofern abgeändert, dass der ganze einjährige Messungs- und Versuchsturnus in Davos durchgeführt wurde.

Der Leiter des Observatoriums Davos, Herr Direktor Dr. Mörikofer, hat mir ein ganz vorzügliches und den modernsten Ansprüchen genügendes Instrumentarium zur Verfügung gestellt und hat mir auch in jeder Beziehung in entgegenkommendster Weise seinen Rat und seine Hilfe zuteil werden lassen. Herrn Dr. Mörikofer und seinen Mitarbeitern spreche ich an dieser Stelle meinen ergebensten Dank aus.

Beobachtungsort und -Räumlichkeiten.

Ständiger Messort war Davos (1600 m ü. M.).

Die Wahl dieses Ortes war, wie oben gesagt, aus technischen Gründen bedingt. Davos hat nun aber auch ganz besondere Berechtigung, als Beobachtungsort in Frage zu kommen.

Einerseits muss es gerade in diesem Tuberkulosekurort von Interesse sein, auch zimmerklimatische Verhältnisse zu kennen. Andererseits ist das «Davoser Klima» genau studiert, wie wohl kein Klima eines andern Schweizerortes. Durch die Arbeiten von Dorno, Loewy, Mörikofer u. a. liegt für diese Arbeit, die ihr Hauptaugenmerk auf Innenverhältnisse richtet, sehr grosses Vergleichsmaterial vor. Natürlich wurden dadurch viele Parallelmessungen im Freien nicht überflüssig.

Es galt nun Zimmer zu finden, die einen möglichst eindeutig ausgesprochenen Typus vertreten. Naheliegend war es, in Davos die Verhältnisse des Sanatoriumszimmers zu untersuchen.

Dank des verständnisvollen Entgegenkommens der Direktion des Sanatoriums «Schweizerhof», hatten wir während eines ganzen Jahres zwei unbenützte Krankenzimmer in diesem Hause zur Verfügung.

Herrn Direktor Neimeier, sowie Herrn Chefarzt Dr. H. Staub, bin ich für diese Begünstigung zu grossem Dank verpflichtet.

Die Zimmer sind durch folgende Daten charakterisiert:

Zimmer I: $3\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2,75\text{ m}$.

Fenster nach SE $100\text{ cm} \times 160\text{ cm}$.

Fensterfläche = $2/15$ der Bodenfläche.

Zimmer II: $5,5\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2,75\text{ m}$.

Fenster nach SE $140\text{ cm} \times 160\text{ cm}$.

Türe auf Liegehalle führend nach SW. mit Fenster $90 \times 160\text{ cm}$.

Fensterfläche = $2/9$ der Bodenfläche.

Die Zimmer besitzen Doppeltüren und -Fenster, Linolböden; die Mauern sind mit abwaschbaren Tapeten von hellem Grundton bezogen. Die Zimmer haben Waschbecken mit fliessendem kaltem und warmem Wasser und je einen Radiator der Wasserzentralheizung.

Beide Räume befinden sich im zweiten Stockwerk, liegen also in der Mitte des vierstöckigen Gebäudes.

Luftfeuchtigkeitsbestimmungen wurden in 12 weiteren Gebäuden in Davos vorgenommen.

Zur Ergänzung sind die Staub- und Kondensationskernmessungen auf verschiedene Oertlichkeiten der Landschaft Davos, auf Zürich, auf Arbon am Bodensee und auf den See selbst ausgedehnt worden. Ebenso wurden die verschiedenartigsten Räume auf ihren Staubgehalt untersucht; so wurden in bewohnten und unbewohnten Krankenzimmern, Wohnräumen mit Ofenheizung, Kino, Molkerei, Postbüro, Schulzimmern und Fabrikbetrieben, Hunderte von Staubproben gesammelt.

Im Schulzimmer wurden ausserdem noch Ionenzählungen vorgenommen. Herr Reallehrer Hartmann ermöglichte mir in liebenswürdiger Weise wiederholtes Experimentieren im Schulzimmer.

Messzeit.

Vom Frühjahr 1932 bis zum Frühjahr 1933 wurde das Zahlenmaterial in sehr dichter Beobachtungsfolge, ohne längere Unterbrechung gesammelt. Die Termine wurden zu allen möglichen Tages- und Nachtstunden angesetzt. Wiederholt sind zusammenhängende 24-stündige Messreihen durchgeführt worden.

Beobachtungselemente

Meine Beobachtungen in Zimmern erstrecken sich auf folgende Elemente:¹⁾

- A. Lufttemperatur.
 - B. Luftfeuchtigkeit.²⁾
 - C. Abkühlungsgrösse.
 - D. Helligkeit.
 - E. Staubgehalt der Luft.
 - F. Kondensationskerne.
 - G. Ionenzahl.
-

Da die zu den Messungen benützten Instrumente und die angewandten Methoden, teilweise wenigstens, noch relativ neu und daher noch wenig eingebürgert sind, so darf ich sie nicht ohne weiteres als bekannt voraussetzen, ausgenommen bei den spezifischen Fachleuten.

Aus diesem Grunde sollen die Methoden an dieser Stelle kurz beschrieben, teilweise auch auf Grund eigener Erfahrungen kritisiert werden.

Für besondere Einzelheiten wird auf die Spezialliteratur verwiesen.

A. Lufttemperatur.

Ein vom Observatorium Davos kontrollierter Fuess'scher Thermograph registrierte während des ganzen Jahres die Zimmertemperatur. Momentanwerte wurden ausserdem bei jeder Messung mit dem Assmann'schen *Aspirationspsychrometer* (10) in der Mitte des Zimmers festgestellt.

B. Luftfeuchtigkeit.

Der Dampfdruck oder die absolute Feuchtigkeit wurde bei jedem Messtermin mittels des Assmann'schen *Aspirationspsychrometers* (10) bestimmt. Aus der Angabe des nassen und derjenigen des trockenen Thermometers wurde der Dampfdruck nach der *Sprung'schen Formel* (11) berechnet. Diese lautet:

$$e = \acute{e} - \frac{(T - T')}{2} \cdot \frac{b}{755}$$

Dabei bedeutet: e = Dampfdruck in mm Hg.

\acute{e} = die der Temperatur des feuchten Thermometers entsprechende maximale Dampfspannung

T = Temperatur des trockenen Thermometers.

T' = Temperatur des feuchten Thermometers.

b = Barometerstand in mm Hg.

¹⁾ Der Luftdruck wurde zwar meistens auch registriert. Da er aber für unsern Fall nicht von grossem Interesse ist, so wurde er in der Auswertung nicht berücksichtigt.

²⁾ Experimentelle Versuche über Luftbefeuchtung werden zusammen mit Ozonisierungsexperimenten, in einem besonderen Teil, am Schluss dieser Arbeit beschrieben.

Aus dem so ermittelten Dampfdruck e ergibt sich die relative Feuchtigkeit rechnerisch in Prozent:

$$\text{R. F.} = \frac{e}{\text{Maximaldampfdruck bei T}} \cdot 100$$

Ein ständig kontrollierter Hygrograph mit eintägiger Umlaufzeit gab überdies noch alle wünschenswerten Zwischenwerte der relativen Feuchtigkeit.

Der Hygieniker ist leider noch vielfach gewohnt, sich für die Angabe der relativen Feuchtigkeit ausschliesslich auf das Haarhygrometer zu verlassen. Doch ändert sich, besonders bei längerem Gebrauch des Instrumentes in trockenen Räumen, die Elastizität des Haares und damit die Anzeige des Instrumentes beträchtlich. Häufig wird auch noch der Fehler gemacht, dass das Hygrometer an der Wand des Zimmers befestigt wird. Dabei nimmt aber das Instrument die Temperatur und teilweise auch die Feuchtigkeit der Wand an, wodurch eine weitere Fehlerquelle entsteht.

In der Bioklimatologie wird der Dampfdruck oft nicht in Beziehung zu dem bei der herrschenden Temperatur maximal möglichen Feuchtigkeitsgehalt gesetzt, sondern zum Sättigungsdruck, welcher bei der in der Lunge herrschenden Temperatur von etwa 37° möglich wäre. Die aus dieser Rechnung resultierende Zahl wird die *physiologische* Feuchtigkeit genannt.

Ferner wird zur Charakterisierung des Feuchtigkeitsgrades der Luft ab und zu das sogenannte *Sättigungsdefizit* herangezogen, das ist die Differenz zwischen dem bestehenden Dampfdruck und dem zu der herrschenden Temperatur gehörigen Sättigungsdruck.

Wird der Sättigungsdruck wiederum auf 37° bezogen, so gibt die Differenz zwischen demselben und dem bestehenden Dampfdruck das *physiologische Sättigungsdefizit* (7).

In der vorliegenden Arbeit wird nur kurz auf das physiologische Sättigungsdefizit eingegangen.

Auf die Angabe von physiologischer Feuchtigkeit und physikalischem Sättigungsdefizit ist aber verzichtet worden, weil sonst bei der Vielheit der Begriffe leicht Konfusionen zustandekommen könnten, und weil andererseits diese Grössen aus den angegebenen Daten jederzeit durch eine einfache Rechnung rekonstruiert werden können.

C. Abkühlungsgrösse.

Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, dass dieselbe Lufttemperatur bei verschiedenen Begleitumständen sehr ungleich empfunden werden kann. Die Temperaturangabe allein ist ein sehr unvollkommenes Mass, um die Wärmeempfindung des menschlichen Körpers auszudrücken. Die Wärmeempfindung wird ausser von der Temperatur noch wesentlich von der Luftbewegung und der Luftfeuchtigkeit, vor allem aber auch von der Ein- und

Ausstrahlung beeinflusst. Es war daher schon lange das Bestreben, ein Instrument zu ersinnen, das möglichst vielen dieser Begleitfaktoren Rechnung trägt.

Im Jahre 1919 gelang es Leonhard Hill, in seinem Katathermometer ein Instrument zu schaffen, das diesem Ziele näher kam. (15). Das Hill'sche Katathermometer steht heute noch in hohem Ansehen, ist aber inzwischen durch die Konstruktion des *Davoser Frigorimeters* bedeutend überholt worden.

Das *Davoser Frigorimeter* (16) ist von Dorno und Thilenius gebaut worden und ist jetzt schon an sehr vielen Instituten eingeführt, sodass den hier gegebenen Zahlen reiches Vergleichsmaterial gegenübergestellt werden kann. Das Messprinzip ist folgendes:

Eine massive, geschwärzte Kupferkugel wird durch einen elektrischen Widerstand auf 37° geheizt. Ist diese Temperatur erreicht, so wird der Heizstrom automatisch unterbrochen, und die Kugel kühlt sich an der kälteren Luft der Umgebung ab. Sinkt nun die Temperatur auf 36° , so wird der Heizstromkreis durch Auslösung eines Relais wieder geschlossen und die Aufheizung wiederholt sich. Die Schaltakte liegen somit bei 37° und 36° , sodass die mittlere Kugeltemperatur bei $36,5^{\circ}$ (Körpertemperatur) liegt.

Auf dem Schaltbrett ist eine Uhr so im Stromkreis montiert, dass sie nur läuft, wenn der Heizstrom fließt. Aus dem Ausdruck:

$$\frac{\text{Heizdauer}}{\text{Heizdauer} + \text{Abkühlungsdauer}} \cdot \text{Heizkonstante}$$

wird die der Kugel zugeführte Joule'sche Wärme berechnet, und diese, ausgedrückt in Milligrammkalorien pro Sekunde und pro cm^2 der Kugeloberfläche, stellt die gesuchte Abkühlungsgrösse dar.

Da nun die Bezugstemperatur der Kugel $36,5^{\circ}$ beträgt, könnte man versucht sein, dieser *physikalischen Abkühlungsgrösse* die Wärmeleistung des menschlichen Körpers gleichzusetzen. In Uebereinstimmung mit neueren Untersuchungen (20) zeigt sich aber, dass die Abkühlungsgrösse auch abhängig von der Beschaffenheit des Messorgans ist. Es sind hier vor allem Leitfähigkeit, sowie Form und Farbe der Oberfläche zu nennen, letztere sich in Strahlungs- und Konvektionseinflüssen äussernd.

Ein direkter Schluss auf die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers ist aus diesem Grunde nicht vorbehaltlos zulässig. Trotz dieser Einschränkung gibt uns die Kenntnis der Abkühlungsgrösse eine wertvolle Bereicherung des klimatologischen Beobachtungsmaterials, vor allem, wenn es sich um vergleichend-klimatologische Fragen handelt.

D. Helligkeit.

Die Helligkeit im Zimmer wurde in Form der *Tageslichtsummen* in relativen Lichteinheiten bestimmt. Das hierzu benützte *Eder-Hecht'sche Grau-*

keilphotometer (23) besteht aus einer Spiegelglasplatte, auf welcher eine Schicht schwarzer Tusch-Glyzerin-Gelatine aufgetragen ist, deren Dichte und damit Lichtabsorption von einem zum andern Ende gleichmässig zunimmt. Auf dieser Glasplatte ist eine Skala mit 2 mm-Teilung angebracht, welche je nach Lichtintensität und Expositionsdauer auf ein darunter liegendes Tageslichtphotopapier mehr oder weniger weit abgebildet wird.

Dieses Lichtmass ist kein Absolutes, sondern seine Bewertung bezieht sich auf die von Dorno (26) in die Strahlungsklimatologie eingeführte *Davoser Standardskala*.

Die Lichtmessungen wurden durchgeführt in Davos:

im Sanatoriumszimmer (Vertikal- und Horizontalfläche),
auf der Liegehalle und unter freiem Himmel. Die letzteren Werte werden das ganze Jahr hindurch am Observatorium Davos registriert und wurden mir für die in Betracht kommenden Daten zur Verfügung gestellt.

Die Fehlergrenze der Graukeilmethode ist ziemlich hoch, nämlich zu etwa 20% anzusetzen. Untersuchungen am Observatorium Davos haben gezeigt, dass trotz sorgfältigster Präparation, das zur Verwendung kommende Photopapier vorläufig noch nicht zu behebbende Differenzen aufweist.

Da in unserm Falle aber nur Mittelwerte aus vielen Messungen interessieren, so ist die photochemische Methode hier zweifellos durchaus brauchbar.

E. Staubgehalt.

Zur Mengebestimmung des Staubes und des Russes stehen mehrere Wege offen.

Bei der Filtermethode wird ein bestimmtes Luftquantum durch ein Papierfilter gesaugt, der Staub bleibt auf dem letzteren haften und wird dann an Testpapieren kolorimetrisch ausgewertet; oder das Filter ist löslich z. B. aus Zucker. Im letzteren Falle wird das Filter gelöst, die Lösungsflüssigkeit wieder durch Papier filtriert, dann der zurückbleibende Staub auf dem Papier getrocknet und seine Menge gravimetrisch bestimmt. Die erstgenannte Methode ist wenig verlässlich, da Staub verschiedener Herkunft sehr unterschiedlich gefärbt sein kann, und daher die Farbtonung ein sehr ungenaues Mass für die Staubdichte darstellt.

Das Verfahren mit dem löslichen Filter ist wohl mit recht beträchtlichen, in der Methode liegenden Fehlerquellen behaftet und hat ausserdem den Nachteil, dass wasserlösliche Partikel nicht berücksichtigt werden. Nach Owens (28) machen aber die löslichen Teilchen in Stadtluft ca. 20%, in Landluft sogar ca. 40% des gesamten Staubes aus.

Der selbe Nachteil haftet auch der Glyzerinmethode an. Hier wird eine

Glasplatte von bekannter Oberfläche mit Glycerin bestrichen, 24 Stunden am Untersuchungsort exponiert, dann abgespült, das Waschwasser filtriert, das Filter getrocknet und gewogen (39).

Für meine Messungen stand mir der *Owen'sche Staubzähler* (28) zur Verfügung.

Dieser Apparat besteht aus einer 50 cm³ fassenden Luftpumpe, die durch einen schmalen Spalt mit einem Ansaugstutzen in Kommunikation steht. Dieses Ansaugrohr ist mit Löschpapier ausgeschlagen, das immer feucht gehalten wird. Aehnlich wie beim Aitken'schen Instrument kondensiert auch hier durch plötzliche Abkühlung bei jedem Pumpenzug etwas Wasser aus, und schlägt sich auf ein zwischen Pumpe und Ansaugrohr eingelegtes Deckgläschen nieder. Dieser feuchte Beschlag genügt, um die beim Ansaugen mitgerissenen Staubpartikel auf dem Deckgläschen festzukleben, wo sie zur mikroskopischen Auszählung gelangen.

Jötten (34) beschreibt neuerdings eine Apparatur, die das Owen'sche Prinzip beibehält, es aber dadurch verbessert, dass das genaue Luftquantum stets mit derselben Aspirationswirkung angesaugt werden kann.

Auch die neue Pippettenmethode (35) soll, besonders wenn es sich um die genaue Bestimmung der Korngrösse handelt, gute Resultate liefern. Diese Apparate standen mir jedoch nicht zur Verfügung.

Zur Technik der Owen'schen Methode ist folgendes zu bemerken: Die mit Staub beschlagenen Deckgläschen werden vor dem Auszählen mit einem Metallring als Zwischenlage auf einem Objektträger festgeklebt. Ich empfehle, vor dem Aufkleben die beiden Endpunkte des Staubstreifens durch kleine Tintenpunkte kenntlich zu machen. Dadurch wird das sonst oft schwierige Auffinden der zarten Staubstreifen unter dem Mikroskop wesentlich erleichtert.

Der Befeuchtungsgrad des Löschpapiers und die nötige Anzahl der Pumpenzüge müssen, um ein möglichst gutes Präparat zu liefern, den örtlichen Verhältnissen angepasst und jeweils empirisch gefunden werden. Der Apparat soll zur Messung möglichst die Temperatur der Luft des Messortes besitzen, da sonst bei plötzlichem Temperaturwechsel, besonders bei Messungen im Winter und im Freien, zu starke Kondensationswasserbildung das Präparat verdirbt.

Es liegen nach der Owen'schen Methode bestimmte Staubzahlen mehrerer Beobachter vor. Leider wird aber in den wenigsten Fällen die bei der Auszählung angewandte Vergrößerung angegeben. Es ist aber naheliegend, dass mit der Vergrößerung auch die Zahl der in den Sichtbarkeitsbereich rückenden Staubpartikel zunimmt. Ich habe diese Beziehung an vielen Präparaten untersucht und will hier ein Durchschnittsergebnis anführen:

Vergrößerung	100	250	500	1000	1500	2000 ¹⁾
Sichtbare Staubteilchen . . .	65	102	113	122	124	125

Die Darstellung zeigt, dass die von tausendfacher Vergrößerung an gefundenen Staubzahlen rasch einem gewissen Endwert zustreben, mit andern Worten, dass eine tausendfache Vergrößerung praktisch genügt, aber auch unbedingt notwendig ist, um alle Staubteilchen zu erfassen. Dadurch, dass bei forcierter Vergrößerung keine kleineren Teilchen mehr sichtbar werden, ist anzunehmen, dass die, bei tausendfacher Vergrößerung eben noch sichtbaren Partikelchen von etwa $1/10 \mu$, die reelle Grenze der vorkommenden Staubteilchen bilden. Diese Grenze kann an andern Orten und besonders in speziellen Industriebetrieben von ganz anderer Grössenordnung sein.

Die nachstehend gefundenen Staubzahlen beziehen sich stets auf tausendfache Vergrößerung.

Auch die Beleuchtung des Gesichtsfeldes ist beim Auszählen von Wichtigkeit. Um hier eine Gleichmässigkeit zu gewährleisten, sollte immer dieselbe künstliche Lichtquelle benützt werden. Die Anwendung eines Dunkelfeldkondensators erwies sich als ungünstig und besonders für die Form- und Grössenbestimmung der kleinsten Teilchen direkt hinderlich.

Die Fehlergrenze der Owen'schen Methode soll nach Vigdorczick (38) bei sorgfältigem Arbeiten 4% nicht übersteigen.

Ich fand den mittleren Fehler, an eigenen und an Owen'schen Original-Testpräparaten bestimmt, zu $\pm 2,2\%$.

F. Kondensationskerne.

Im Gegensatz zu den mineralischen Staubteilchen und Russpartikelchen, die mit dem Owen'schen Staubzähler gemessen werden, existieren in der Atmosphäre stets noch andere, viel feinere und stets hygroskopische Gebilde, die Kondensationskerne.

Deren Zahl wurde mit dem Aitken'schen Kernzähler, verbessert von Lüdeling (42), bestimmt.

Ein kleiner, durch nasses Löschpapier feucht gehaltener Rezipient *R*, steht in Verbindung mit einer kleinen Luftpumpe. Durch Betätigung der letzteren wird die in *R* enthaltene, feuchtigkeitsgesättigte Luft expandiert, dadurch abgekühlt und ein Teil ihres Wasserdampfes fällt als Kondensations-tröpfchen auf eine Zählplatte aus.

Nun ist aber der Kondensationsvorgang und damit die Tröpfchenbildung an das Vorhandensein hygroskopischer Kerne gebunden. Als solche wirken vor allem Molekülgruppen von Verbrennungsgasen, Rauch, Ionen usw.

Das Aitken'sche Instrument wird häufig kurzweg als Staubzähler be-

¹⁾ Diese Bestimmung wurde mittels des Seibert-(Wetzlar)Universalmikroskops Nummer 1387 durchgeführt.

zeichnet, was es aber im Grunde genommen gar nicht ist. Die Kernzahlen geben wohl ein gewisses Bild für den Verunreinigungsgrad der Luft, durch Rauchherde, Kamine, Autos etc. verursacht; berücksichtigen aber in keiner Weise *mineralischen* Staub, also gerade nicht den Staub im engeren Sinne.

Diese Tatsache kommt sehr anschaulich durch folgenden Versuch zum Ausdruck:

Auf einem Balkon stellte ich im Abstand von 5 Minuten zwei Messungen mit dem Aitken'schen Instrument und gleichzeitig mit dem Owen'schen Staubzähler an. Während die erste Messung bei normalen Umständen vor sich ging, wurde die zweite gemacht, während gleichzeitig im untern Stockwerk ein staubiger Teppich geklopft wurde. Durch diese Stauberzeugung wurden die Kondensationskernzahlen nicht beeinflusst, während sich die nach der Owens'schen Methode bestimmten Staubpartikel zahlenmässig vervierfachten. (Vergl. 46.)

Ein Teil der Kondensationskerne besitzt elektrische Ladung. Diese geladenen Kerne stellen schwere Ionen dar.

In der vorliegenden Arbeit wurden bei der Kernzahlbestimmung stets auch diejenigen Kerne mitgezählt, die beim zweiten und den folgenden Pumpenzügen ausfielen. (44)

G. Ionenzahl.

Bei den luftelektrischen Elementen sind zwei Begriffe auseinanderzuhalten, nämlich das Potentialgefälle und die luftelektrische Leitfähigkeit.

Unter dem Potentialgefälle versteht man das Spannungsgefälle zwischen der meist positiven, in der Atmosphäre verteilten Ladung und der im Vergleich damit negativen Oberflächenladung der Erde. Seine Grösse ist von vorhandenen Ionen, geladenen Dunsteilchen, Wolken und Niederschlägen abhängig und deshalb stark variabel. Da der Mensch ein guter elektrischer Leiter ist, so wird niemals eine Spannungsdifferenz zwischen Kopf und Füssen bestehen und ausserdem wird er, falls er nicht sehr gut gegen die Erde isoliert ist, gegenüber dieser auch keinen Potentialunterschied besitzen.

Die luftelektrische Leitfähigkeit ist dadurch bedingt, dass in der Atmosphäre stets elektrisch geladene Teilchen vorhanden sind, die unter dem Einfluss des elektrischen Erdfeldes wandern; die durch diesen elektrischen Ladungstransport erzeugte Leitfähigkeit entsteht fast ausschliesslich durch die leichten Ionen.

Um die Entstehung und die Eigenschaften der atmosphärischen Ionen zu erläutern, zitiere ich hier eine Zusammenfassung Linkes (57).

«Der Vorgang in der Atmosphäre ist folgender: Durch radioaktive Kräfte sowie die Wirkung der kosmischen Höhenstrahlung werden die neutralen Gasmoleküle der Luft ionisiert, d. h. es entsteht dauernd eine gleich-

grosse Zahl (etwa 4 pro Sekunde) von positiven und negativen Molekülionen. Diese Molekülionen vereinigen sich in Bruchteilen der Sekunde mit neutralen Molekülen zu einem kleinen Molekülkomplex, und zwar mit etwa soviel Molekülen, wie durch Umlagerung des ionisierten Moleküls auf seiner Oberfläche Platz haben, etwa 10. Diesen kleinen Molekülkomplex nennen wir dann ein «Kleinion» oder «Leichtion», das also die Einheitsladung ($\pm 4,77 \cdot 10^{-10}$ elektrost. Einh.) trägt und etwa die Masse von 10 zweiatomigen Molekülen hat. Seine Grösse wird durch die Beweglichkeit im Felde von 1 Volt pro Zentimeter gemessen.»

Wenn sich nun in der Atmosphäre Partikelchen (Dunst-, Nebel-, Rauchteilchen etc.) suspendiert finden, so lagern sich die Kleinionen an diese an und werden so zu schweren oder Langevin-Ionen. Auch für diese wird im allgemeinen eine Einheitsladung von $4,77 \cdot 10^{-10}$ E. S. E. angenommen.

Die Untersuchungen, die sich auf die mittelschweren oder Intermediärionen beziehen, stehen noch sehr in den Anfängen. Es gilt im allgemeinen die Annahme, dass sie sich ähnlich wie die schweren Träger verhalten.

Bis vor kurzem wurde in der einschlägigen Literatur fast ausschliesslich das Verhalten der leichten und der schweren Ionen, und noch öfter Beobachtungen nur die erste Gruppe betreffend, beschrieben. Neuere Forschungen haben aber ergeben, dass man mit einem mehr oder weniger fortlaufenden *Ionen-Spektrum* rechnen muss, in welchem allerdings gewisse Bereiche bevorzugt zu sein scheinen.

Die drei wichtigsten Ionengruppen sind durch folgende Daten charakterisiert: *)

Ionenart	Untere Beweglichkeitsgrenze im Feld von 1 Volt/cm	Radius	zusammengesetzt aus:
Leicht oder Kleinionen	~ 1 cm/sec.	$\begin{matrix} - 8 \\ 3-4 \cdot 10 \\ \text{cm} \end{matrix}$	~ 10 Molek.
Mittelschwere	0,005 cm/sec.	$\begin{matrix} - 7 \\ \sim 10 \\ \text{cm} \end{matrix}$	100,000 bis 1 Million
Schwere oder Langevin-Ionen	bis 0,0003 cm/sec.	$\begin{matrix} - 6 \\ \sim 10 \\ \text{cm} \end{matrix}$	~ 10 Millionen Moleküle

Bei der vorliegenden Untersuchung wurden während des ganzen Messjahres die leichten Ionen für sich allein, die mittelschweren und die schweren zusammen, und zeitweise auch die mittelschweren getrennt von den schweren beobachtet.

*) Die mittelschweren Ionen werden oft noch unterteilt in leichte und schwere Intermediärionen. Ebenso werden noch Ultra-Schwerionen beschrieben, die aus ca. 30 Millionen Molekülen bestehen sollen.

Unter der Angabe «schwere oder Langevin-Ionen» ist im folgenden, wenn nichts besonderes dazu bemerkt ist, stets die Summe der mittelschweren und der schweren Träger zu verstehen.

Messungen des Potentialgefälles wurden nicht vorgenommen, da für dieses Element, speziell für Davos, bereits genügendes Beobachtungsmaterial vorliegt. (3, 68 a.)

a) Leichte Ionen.

Die Zahl der positiven und der negativen leichten Ionen wurde an den Messtagen meist stündlich mittels des *Ebert'schen Ionenaspirators* (52) bestimmt.

Dieses Instrument misst den Spannungsabfall eines mittels einer Zambonisäule aufgeladenen Stabkondensators. Dieser Ladungsverlust wird dadurch bewirkt, dass eine Turbine eine anemometrisch messbare Luftmenge am Kondensator vorbeisaugt, wobei die + resp. die — Ionen dieses Luftquantums, die ihrer Zahl und Einzelladung entsprechende Elektrizitätsmenge am Kondensator neutralisieren. Da immer nur die Träger mit dem, der Kondensatorladung entgegengesetzten Ladungsvorzeichen zur Messung gelangen, so sind zur Zählung der Ionen beider Vorzeichen zwei Messreihen mit entgegengesetzter Ladung notwendig.

Die auf dem Kondensator liegende Elektrizitätsmenge wird am Anfang und am Schluss der Messung, d. h. vor und nach dem Durchsaugen der Luft, an einem Wulff'schen Zweifadenelektrometer abgelesen. Aus Ladungsverlust, Kapazität des Kondensators und Menge der durchgesaugten Luft, lässt sich die zur Messzeit bestehende Ionisation oder Raumladung $E +$ und $E -$ berechnen. Durch Division dieser Grösse $E +$ bzw. $E -$ durch die Einzelladung eines Ions ($4,77 \cdot 10^{-10}$) erhalten wir die Anzahl der positiven und der negativen leichten Träger in einem cm^3 der untersuchten Luft. Die Eichungen der Kondensatorkapazität und des Rosenmüller'schen Anemometers sind vom Eidg. Amt für Mass und Gewicht vorgenommen worden.

Wichtig ist, zu beachten, dass gemäss dem Vorschlage Gockels (52) bei sämtlichen Messungen ein nur 10 cm langer Kondensator verwendet wurde, womit erreicht werden soll, dass mittelschwere und schwere Ionen nicht berücksichtigt werden.

Die untere Beweglichkeitsgrenze der bei diesen Bedingungen gemessenen Ionen liegt nach Gockel bei

0,19 cm/sec. in einem Feld von 1 Volt/cm.

Bei jeder Messerie wurde die Ladung $E +$ und $E -$ und daraus die Ionenzahlen $n +$ und $n -$, sowie der Quotient $\frac{n +}{n -} = q$ bestimmt.

Die hier veröffentlichten Resultate sind nur dann direkt zahlenmässig mit den Angaben anderer Beobachter vergleichbar, wenn jeweils auch dieser

kurze Kondensator zur Anwendung gelangte. Der früher meist verwendete Kondensator misst 40 cm und fängt infolgedessen alle Ionen bis zur untern Beweglichkeitsgrenze von 0,03 cm/sec. ab. Damit kommt man aber schon in den Bereich der mittelschweren Träger, und die Angaben für Leichtionenzahlen fallen zu hoch aus.

b) Schwere Ionen.

Die Messung der schweren Ionen war bis vor kurzem ein nicht sehr einfaches Unterfangen, da die bestehenden Apparaturen recht umständlich und wenig manibel waren. Erst der von H. Israel, Frankfurt a/M., gebaute *Universal-Ionenzähler* (58) ermöglicht durch seine sinnreiche Konstruktion, in relativ kurzen Messzeiten gleichzeitig die positiven und die negativen Ionen eines beliebig auswählbaren Spektralbereiches zu erfassen. Diese Vorteile werden folgendermassen erreicht:

Das *Israel'sche* Instrument besitzt zwei Rohrkondensatoren, deren äussere Elektroden mit Hilfe von Trockenbatterien auf gleichhohe Spannung, aber entgegengesetzten Vorzeichens gebracht werden. Durch beide Rohrkondensatoren wird ein gleichmässiger Luftstrom mittels eines als Ansauger umgebauten Föhnapparates durchgesaugt. Dieser Luftstrom ist an einer Luftdrosselung regulierbar, und die sekundliche Fördermenge wird an einem geeichten Rotameter angegeben. Es wird nun nicht wie beim Ebert'schen Ionenaspirator der Spannungsabfall der aufgeladenen Elektrode gemessen, sondern die nach den gleichen Prinzipien erfolgende Aufladung des innern Kondensatorrohres, dessen Anfangsladung = 0 ist.

Jede der beiden Innenelektroden steht in Verbindung mit einem Lindemann'schen Elektrometer von sehr hoher Empfindlichkeit. Da nun das Abfangen der Ionen eines bestimmten Beweglichkeitsbereiches durch die Grösse der Kondensatoraufladung und die Geschwindigkeit des Luftstromes bedingt ist, so kann durch geeignete Variation dieser Faktoren der Messbereich in beliebige Abschnitte des Ionenspektrums verlegt werden. Diese Variationsmöglichkeiten sind beim *Israel'schen* Instrument in idealer Weise geschaffen. Damit ist erreicht, dass bei absoluter Gleichzeitigkeit für positive und negative Elektrizitätsträger, in Messperioden von wenigen Minuten, zuverlässige Messungen in allen wünschbaren Beweglichkeitsbereichen gemacht werden können.

Bei allen Messungen wurden die leichten Ionen schon in einem Vorkondensator abgefangen, gelangten gar nicht in die Messkondensatoren, und wurden somit nicht berücksichtigt, sondern immer vollständig unabhängig von den Langevin-Ionen mit dem Ebert'schen Instrument gemessen.

Die angelegte Kondensatorspannung betrug + oder - 200 Volt und die durchgesaugte Luftmenge 100 cm³/sec. je Rohr. Bei diesen Bedingungen wurden alle Ionen oberhalb einer Grenzgeschwindigkeit von 0,000 4 cm/sec.: Volt/cm abgefangen.

Die Messzeit betrug immer fünf Minuten, bei minütlicher Elektrometerablesung.

Der hauptsächlich durch Ablesungsungenauigkeit bedingte Fehler liegt unterhalb von 2%, doch ist infolge der natürlichen Schwankungen der Ionenzahl das Messobjekt gar nicht so genau definiert.

c) Mittelschwere Ionen.

Ueber das Wesen und Verhalten der mittelschweren Ionen sind wir noch sehr wenig orientiert. Es schien deshalb wünschenswert, auch sie in den Rahmen unserer Betrachtung zu ziehen. Durch Herabsetzung der Kondensatorenspannung wurden die Bedingungen geschaffen, die Grenzgeschwindigkeit von $k = 0,0004$ auf $k = 0,004$ heraufzusetzen.

In einzelnen Fällen wurde nur die Spannung des einen Rohres vermindert, sodass es möglich war, gleichzeitig schwere und mittelschwere Ionen abzufangen, allerdings nur eines Vorzeichens.

Dieses gleichzeitige Messen zweier verschiedener Ionenarten erscheint zweckmässig, wenn man bedenkt, wie schnell sich die Ionisationsverhältnisse ändern können, wie aus dem von Israel geprägten Ausdruck «Ionenböigkeit» hervorgeht.

Die mittelschweren Träger wurden aber nur sporadisch gemessen, besonders wenn es galt, künstliche Versuchsbedingungen in ihrer Auswirkung auf verschiedene Ionenarten zu verfolgen.

II. THEIL:

Beobachtungsergebnisse.

Das Beobachtungsjournal des Messjahres enthält etwa 30 000 gesammelte Messergebnisse. Aus technischen Gründen ist es hier unmöglich, dieses grosse Zahlenmaterial in der Gesamtheit wiederzugeben.

Ein Abdruck aller Messprotokolle wäre auch insofern uninteressant, als sich aus einer solchen Zahlenaufstellung nur schwer Zusammenhänge, Gesetzmässigkeiten und die Auswirkungen natürlicher und künstlicher Beeinflussungen herauslesen liessen.

Das gesamte Zahlenmaterial ist für jedes der Messelemente nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet, bezw. durch Auswahl spezieller Bedingungen in Mittelbildungen zusammengedrängt worden.

Jedes der Messelemente wird im Folgenden für sich herausgegriffen und besprochen.

Dabei werden Tages- und Jahresgänge aufgestellt und es wird auf die Untersuchung und die Beschreibung der Auswirkung meteorologischer und physikalischer Faktoren ausführlich eingegangen.

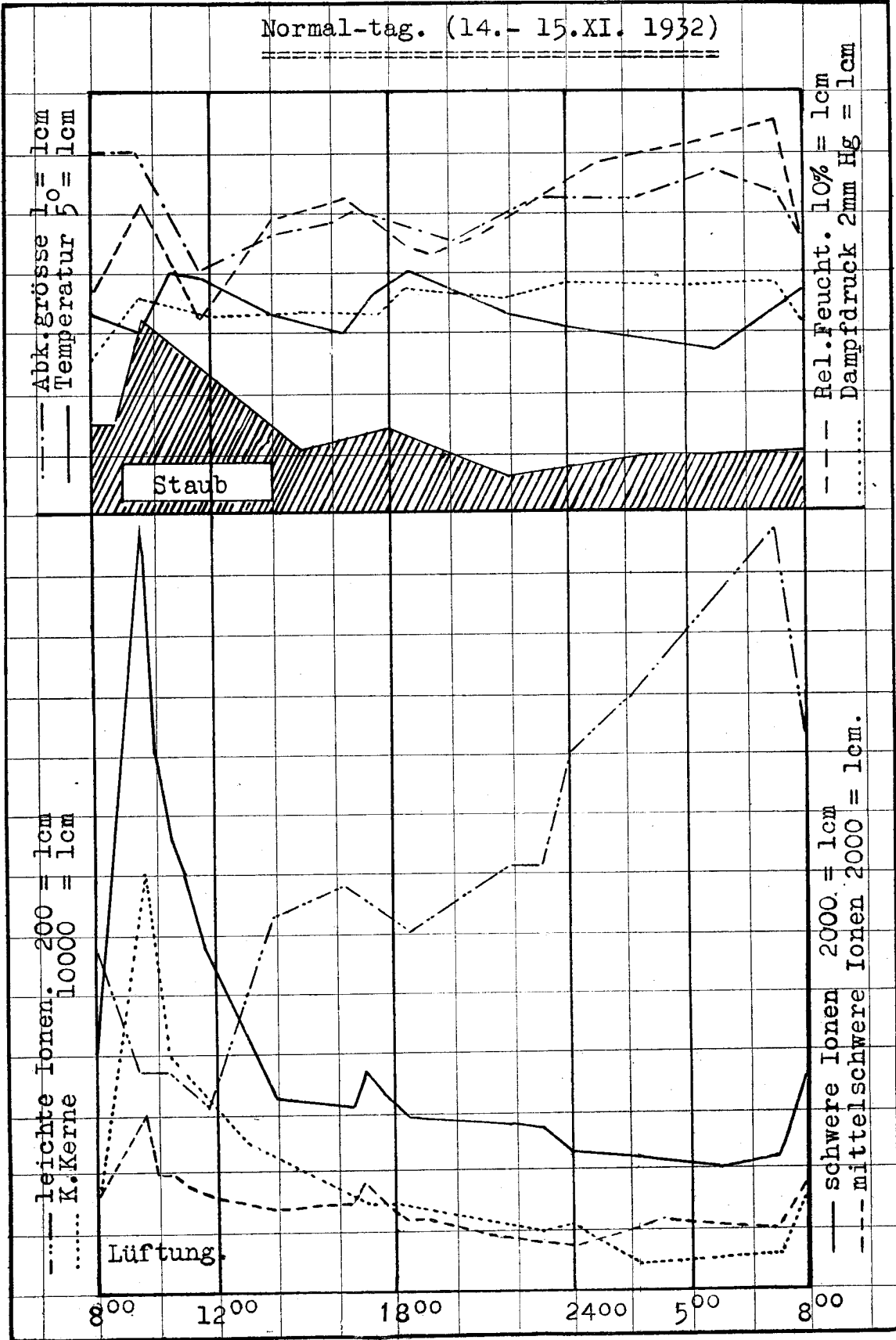
Bevor wir aber zur Besprechung der einzelnen Elemente schreiten, erscheint es zweckmässig, wenigstens das Beobachtungsprotokoll *eines* vollen Messtages vollständig, und zwar in Form einer Tabelle und einer graphischen Darstellung wiederzugeben.

Tabelle 1 und Figur 1 enthalten die Messungsdaten vom 14./15. XI. 1932. In Tab. 1 bedeutet:

- t = Temperatur des trockenen Thermometers.
- t' = Temperatur des feuchten Thermometers.
- D. D. = Dampfdruck.
- R. F. = Relative Feuchtigkeit.
- A. G. = Abkühlungsgrösse.
- n = Zahl der Leichtionen/cm³ Luft.
- N = Zahl der mittelschweren Ionen/cm³ Luft.
- Nⁱ = Zahl der Schwerionen/cm³ Luft.
- Z = Zahl der Kondensationskerne/cm³ Luft.

Auf eine besondere Beschreibung der in Tab. 1 und Fig. 1 festgelegten Ergebnisse kann hier verzichtet werden, da wir jeweils bei der Beschreibung der einzelnen Elemente auf das Beispiel des 14./15. XI. zurückverweisen werden.

Normal-tag. (14.- 15.XI. 1932)



Beobachtungsprotokoll vom 14.—15. XI. 1932

Zeit	Witterung	t	t'	D. D.	R. F.	A. G.	n	Ni	N	Z	Staub	Bemerkungen
8 ³⁰	sehr schön, Dunst	16,4	8,6	5,15	37	6,0	1140	3100	8310	16000	150	vor Lüftung
9 ³⁰	» » » windstill	15,3	10,2	7,20	56	5,0	728	5920	25900	70000	320	nach Lüftung
10 ⁰⁰								4000	18200			kühl
10 ³⁰	Sonne	20,2	10,6	5,59	32	4,0	710	4000	15320	40000		angenehm
11 ³⁰	Sonne	19,5	11,3	6,63	39	4,6	620	3520	12870	37500		Heizung abgestellt
14 ⁰⁰	NE 1—2	16,8	9,43	6,66	47	4,8	1270	2800	6520	24000	100	zu kühl
16 ³⁰	Sonne weg	15,0	9,60	6,71	52		1370	2880	6360	16000		zu kühl
17 ³⁰	» » »	17,8	10,6	6,58	44	4,6	1275	3080	6520	13000		Heizung wieder in Betrieb, angenehm
18 ³⁰	windstill, kalt	20,2	12,4	7,55	43	4,5	1195	2640	5980	16000	136	Heizung wieder in Betrieb, angenehm
22 ⁰⁰	» » »	16,4	10,6	7,16	51	4,5	1420	1820	5400	10000	52	Heizung abgestellt, zu kühl
23 ⁰⁰	sternhell, kalt	15,8	10,5	7,31	55	5,0	1420	1760	4580	11000		Heizung abgestellt, zu kühl
24 ⁰⁰	» » »	15,2	10,6	7,66	60	5,2	1795	1760	4580	9000		Heizung abgestellt, zu kühl
2 ³⁰	kalt, klar	14,6	10,0	7,29	59	5,3	1990	2400	4480	3000	78	unangenehm kalt
5 ⁰⁰		13,9	9,0			5,7	2325	2400	4060	5000		unangenehm kalt
7 ⁰⁰	Dunst, schön	13,6	10,0	7,70	66	5,4	2550	2080	4580	6000		
7 ⁴⁵	» » »	18,4	10,8	6,55	42	4,6	2045	3040	5800	10000	96	seit 7 ¹⁵ Heizung
8 ¹⁵		19,4	10,6	5,92	35		1875	3680	7400	16000		angenehm.

Tab. 1

A. Lufttemperatur.

Die Lufttemperatur ist dasjenige physikalische Element, dessen Regulierung im heizbaren Zimmer am leichtesten durchführbar ist, wenigstens im Hochgebirge, wo eine willkürliche Temperaturerniedrigung wohl kaum jemals wünschenswert wäre. Monats- und Jahresmittel der Freiluft- und der Zimmertemperatur sind unter anderem in Tabelle 2 enthalten.

Temperatur, Abkühlungsgrösse und Luftfeuchtigkeit während des Messjahres im Freien und im Zimmer in Davos.

Monat	Im Freien				Im Zimmer			
	T.	D. D.	R. F.	Abk. Gr.	T.	D. D.	R. F.	Abk. Gr.
Januar . . .	-7,9	2,23	83	15,4	17,0	4,72	29	5,3
Februar . . .	-5,4	2,63	79	15,4	17,3	4,06	28	5,0
März	-0,6	3,16	73	12,8	18,2	4,45	28	4,8
April	3,2	4,33	76	12,9	18,0	4,68	30	4,4
Mai*	6,9	5,46	76	11,9	17,6	6,09	40	4,5
Juni	10,3	6,62	73	10,4	16,8	7,50	51	4,5
Juli	12,7	8,20	77	9,2	18,8	9,86	61	4,0
August* . . .	14,7	8,73	73	7,4	19,8	9,97	55	3,7
September . .	12,5	8,30	79	8,5	18,7	9,33	58	4,1
Oktober . . .	3,7	4,93	83	12,7	16,2	6,15	45	4,9
November . .	0,1	3,82	82	12,1	17,0	6,04	40	4,9
Dezember . .	-3,0	2,92	78	13,0	18,0	4,83	30	5,1
Jahr	3,9	5,11	78	11,8	17,8	6,47	41	4,6

TAB. 2

* Die Zimmerwerte der Monate Mai und August sind interpoliert.

In Fig. 4 ist der Jahrgang der Temperatur im Freien (Kurve I) und im Sanatoriumszimmer (Kurve II) wiedergegeben. Während die Lufttemperatur im Freien von den sommerlichen zu den winterlichen Monatsmitteln eine Differenz von ca. 20° aufweist und der Unterschied der Extremtemperaturen über 40° betragen kann, sehen wir, dass die Zimmerkurve überaus gleichmässig verläuft.

Während der Heizperiode, also zwischen Oktober und Mai, bleiben die Monatsmittel der Zimmertemperatur annähernd konstant. Der Einfluss der Aussentemperatur kommt nur im Hochsommer in einem Kulminationspunkt gleichsam zum Durchbruch.

Dass das Oktobermittel der Zimmertemperatur etwas unter demjenigen des Dezembers liegt, kommt daher, dass im Herbst die Zentralheizung noch nicht durchgehend in Betrieb war, sondern nur in den Morgen- und Abendstunden kräftig betätigt wurde.

Die Temperaturangabe für sich allein ist aber nur wenig geeignet, z. B. über die Behaglichkeitsempfindung in einem Raume genügend Aufschluss zu geben. Wir werden daher bei der Besprechung der Luftfeuchtigkeit und der Abkühlungsgrösse im Zusammenhang mit diesen Begriffen auch noch näher auf die Temperaturverhältnisse zurückkommen müssen.

B. Luftfeuchtigkeit.

1. Luftfeuchtigkeit im Freien.

Die absolute Luftfeuchtigkeit oder der Dampfdruck ist vom hygienisch-physiologischen Standpunkt aus bedeutend massgebender als die relative Feuchtigkeit, zum mindesten was das sogenannte Austrocknungsvermögen der Luft anbetrifft.

Die relative Feuchtigkeit wirkt sich biologisch nur durch ihre Beziehung zum Wärmeleitvermögen der Luft aus und hat deshalb hygienisch nur Bedeutung bei tiefen Temperaturen. Das physiologische *Sättigungsdefizit*, das sich ganz besonders auf die Schleimhäute der Atmungsorgane auswirkt, das aber auch bei höheren Temperaturen bei der Wärmeabgabe des Körpers durch die Haut (Schweissverdunstung) aktiv beteiligt ist, ist bioklimatologisch sehr viel wichtiger. Die Werte dieses Sättigungsdefizites ergäben sich aus der graphischen Darstellung (Fig. 2) ganz von selber, als Vertikaldistanz vom Sättigungsdruck bei 37 °, d. i. 47,1 mm Hg, zur Kurve des herrschenden Dampfdruckes.

Aus räumlichen Gründen konnte jedoch in Fig. 2 die Bezugslinie für den Sättigungsdruck bei 37 ° nicht eingezeichnet werden und so sollen die Zahlen des physiologischen Sättigungsdefizites in nachstehender Tabelle 3 für Frei- und Zimmerluft aufgeführt werden.

Physiologisches Sättigungsdefizit nach Monatsmitteln im Freien und im Zimmer in Davos (in mm Hg.)

Monat	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Jahr
Im Freien	44,87	44,47	43,94	42,77	41,64	40,48	38,90	38,37	38,80	42,17	43,28	44,18	41,99
Im Zimmer	42,38	43,04	42,65	42,42	41,01	39,60	37,42	37,13	37,77	40,95	41,06	42,27	40,63

TAB. 3.

Diese Zahlen des physiologischen Sättigungsdefizites geben gleichzeitig an, wieviel Milligramm Wasser die Lunge beim Ausatmen eines Liters Luft an diese abgibt (7).

Absolute und relative Feuchtigkeit
im Freien und im Zimmer.

- Dampfdruck im Freien. I
- - - Dampfdruck im Zimmer. II
- · - · - Relative Feuchtigkeit im Zimmer. III
- · · · · Relative Feuchtigkeit im Freien. IV

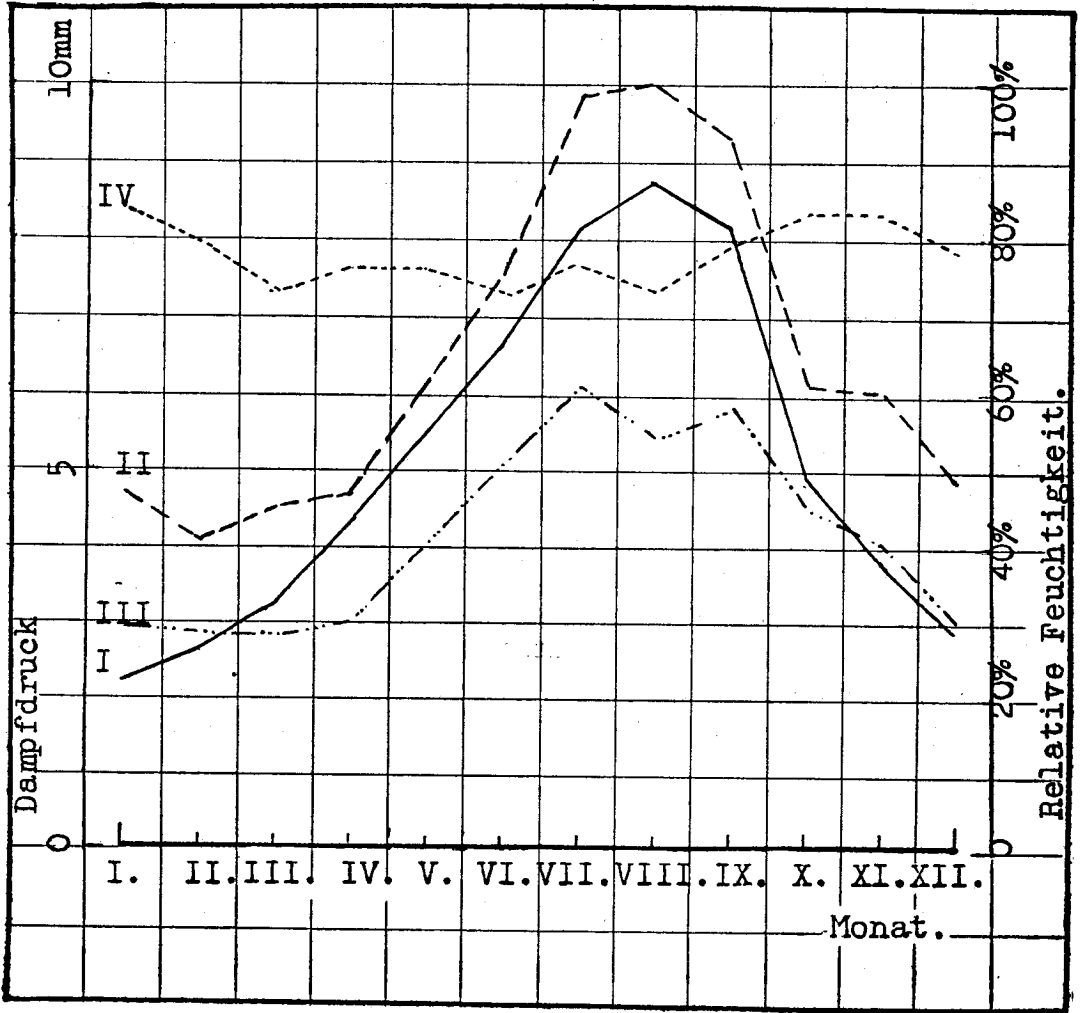


Fig. 2.

Die obigen Werte, sowie die nachstehende graphische Darstellung zeigen mit aller Deutlichkeit ein Hauptcharakteristikum des Hochgebirgsklimas, nämlich die sehr geringen Werte der absoluten Luftfeuchtigkeit, die in ihrem

jahreszeitlichen Verlauf die typischen Schwankungen vom Maximum des Hochsommers zum Minimum des Winters aufweisen.

Dabei bleibt im Freien das Verhältnis zum Sättigungsdruck der herrschenden Temperatur, d. i. die relative Feuchtigkeit, ziemlich gleichmässig. Sie bewegt sich nur mit geringen, bis zu 5% betragenden Abweichungen, um das Jahresmittel von 78%. Die genauen Daten der nach Monaten gemittelten Luftfeuchtigkeitsverhältnisse sind aus Tab. 2 ersichtlich.

2. Luftfeuchtigkeit im Sanatoriumszimmer.

Die Dampfdruckverhältnisse im Zimmer sind im Jahresgang weitgehend durch die im Freien bestehenden bedingt. Der parallele Verlauf der Kurven I und II (Fig. 2) bringt dies deutlich zum Ausdruck. Dabei liegen die Zimmerwerte durchwegs um ca. 1—2 mm Hg höher.

Da den den Werten im Freien angenäherten Dampfdruckwerten im Zimmer keine entsprechende Temperaturschwankung gegenübersteht, ergibt sich notwendigerweise, dass die Kurve der relativen Luftfeuchtigkeit im Zimmer von derjenigen im Freien sehr stark differiert, d. h. in den Monaten der Heizperiode sehr geringe Höhe aufweist.

Das bedeutet wohl zugleich ein stärkeres Austrocknungsvermögen gegenüber den toten Objekten im Zimmer und disponiert den Raum zu vermehrter Luftstaubbildung.

Für die physiologische Wirkung auf die Atmungsschleimhäute dagegen ist also die Kurve des physiologischen Sättigungsdefizites massgebend, die von derjenigen der relativen Feuchtigkeit völlig unabhängig ist, und ihrerseits nur das Korrelat der Dampfdruckkurve des Zimmers darstellt.

a) Einfluss der Lüftung.

Da im Sommer die Luftfeuchtigkeits- und auch die Temperaturverhältnisse zwischen Frei- und Zimmerluft ziemlich ausgeglichen sind, so ist der Lüftungseinfluss auf die Luftfeuchtigkeit im Zimmer sehr gering, wie wir den Mittelwerten der Julibeobachtungen entnehmen können:

	Dampfdruck	Rel. Feuchtigkeit	
	9,62	58%	vor der Lüftung.
Juli:	9,38	57%	nach der Lüftung.

Im Winter dagegen geht mit der Lüftung ein ganz beträchtlicher Sturz der Temperatur einher, so dass, trotz des niedriger werdenden Dampfdruckes, im allgemeinen eine momentane Erhöhung der relativen Feuchtigkeit auftritt.

Je nach der Heizungsintensität erreicht die Temperatur mehr oder weniger rasch wieder ihre ursprüngliche Höhe nach dem Schliessen der Fenster, und da der Dampfdruck erst viel langsamer wieder zunimmt, so bleibt die relative Feuchtigkeit einige Zeit unter dem Wert, den sie vor der Lüftung besass. Die vulgäre Meinung, dass die «feuchte Winterluft Nässe in die Wohnung bringe», ist also ganz unrichtig, wie wir aus den Beobachtungsmitteln des Monats Januar sehen:

	Dampfdruck	Rel. Feuchtigkeit	
Januar:	6,51	43%	vor der Lüftung.
	3,99	39%	nach der Lüftung.

Der durch die Lüftung bewirkte Rückgang der absoluten Luftfeuchtigkeit im Zimmer dauerte meistens zirka 2 Stunden.

b) Einfluss der Bewohnung.

Da der Mensch durch Atmung und Hautausdünstung pro Stunde bei normaler Temperatur und mittlerer Feuchtigkeit etwa 25 Gramm Wasser an die Zimmerluft abgibt, müsste rechnerisch in einem Zimmer von 50 m³ Inhalt eine Dampfdruckzunahme von etwa 0,5 mm Hg/Stunde bei der Anwesenheit einer Person messbar sein. Dieser Anstieg ist aber infolge der Lüfterneuerung, die selbst bei geschlossenen Fenstern vor sich geht (Eigenventilation), viel geringer und es wird dieser Feuchtigkeitszunahme erst bei der Anwesenheit vieler Menschen in einem Raume irgendeine Bedeutung zukommen. In einem Schulzimmer von 200 m³ bestimmte ich mehrmals, nach zweistündiger Anwesenheit von 40 Schülern, eine Dampfdruckzunahme von 10 auf 13 mm.

c) Einfluss der Heizung.

Bei vergleichenden Luftfeuchtigkeitsbestimmungen in sonst gleich konditionierten, aber verschieden stark geheizten Zimmern, ergab sich die, unseres Wissens in wohnungshygienischen Werken nirgends festgelegte Feststellung, dass der Wasserdampfgehalt der Zimmerluft wesentlich vom Heizungszustand des betreffenden Raumes abhängig ist. Es zeigte sich nämlich, dass mit steigender Lufttemperatur der Dampfdruck in der Zimmerluft einen linearen Anstieg erfuhr, wie in Fig. 3 gezeigt ist.

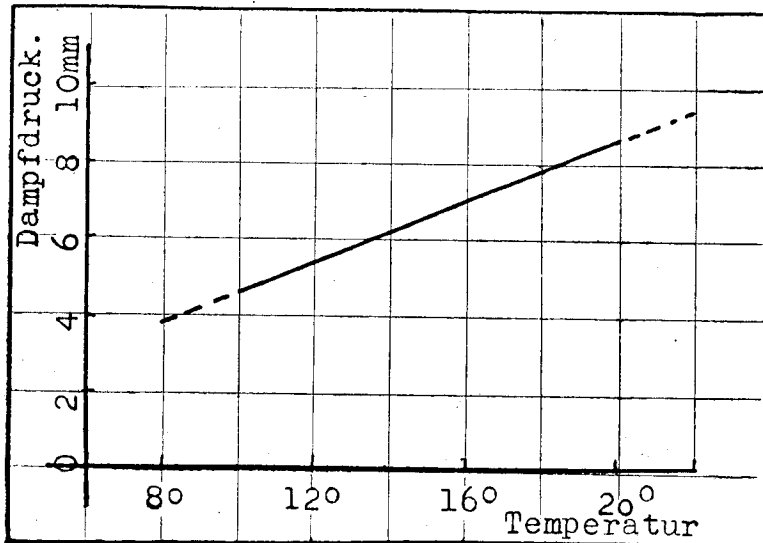


Fig. 3.

Für diesen Dampfdruckanstieg, der im Mittel aus über 500 im gleichen Monat und in etwa 10 verschiedenen Räumlichkeiten gewonnenen Beobachtungen, stets ähnliche Werte annahm, (etwa 0,4 mm Hg/1° Temperaturzunahme) kann als Wasserbezugsquelle nur das Mauerwerk in Betracht kommen. Wasserdampfabgabe durch Lebewesen (Menschen, Tiere, Pflanzen) kam in keinem Falle in Frage, da die Zimmer unbewohnt waren. Ebenso kann der Einfluss der Aussenluft nicht für diese Erscheinung verantwortlich gemacht werden, da wir feststellten, dass die absolute Luftfeuchtigkeit im Freien stets beträchtlich unter dem im Zimmer herrschenden Dampfdruck liegt. Wir sind versucht, uns dieses Phänomen mit dem bei verschiedenen Temperaturen wechselnden *Gasadsorptionsvermögen* des Mauerwerkes zu erklären:

Das Mauermaterial, das immer mehr oder weniger porös ist, adsorbiert Gase und neben anderen auch Wasserdampf. Bei erhöhter Temperatur ist der Adsorptionskoeffizient geringer als bei tieferen Temperaturen. (Diese Erscheinung ist genau studiert und auch zahlenmässig festgelegt, z. B. für Kohle und Glas, nicht aber für die verschiedenen Arten der Baustoffe). (21 und 22.)

Obwohl wir also die für jedes Baumaterial spezifischen Koeffizienten vorläufig nicht kennen, dürfen wir, wenigstens hypothetisch, ein ähnliches Verhalten, wenn auch mit entsprechend anderen Materialkonstanten, voraussetzen.

Wenn also die Zimmertemperatur steigt, so treten aus dem Mauerwerk Gase aus, von denen uns hier nur der Wasserdampf interessiert, und so ist eine Erklärungsmöglichkeit für die mit steigender Zimmertemperatur zunehmende absolute Luftfeuchtigkeit gegeben. Dieser Prozess ist reversibel, indem mit sinkender Temperatur das Gasadsorptionsvermögen der Mauer wieder steigt, wodurch der Zimmerluft allmählich wieder Wasserdampf entzogen wird.

Es soll dies ein Erklärungsversuch sein, dessen genaue experimentelle Erhärtung uns momentan noch mangelt, doch wäre eine eingehende Ueberprüfung dieser Frage für die Bauhygiene sicher von Interesse.

3. Luftfeuchtigkeitsbestimmungen in andern Räumlichkeiten.

Im weitem wurden in Davos in 12 verschiedenen Wohnhäusern mehrere hundert Luftfeuchtigkeitsmessungen vorgenommen. Die Bauobjekte waren so gewählt, dass sich womöglich Anhaltspunkte über den Einfluss von Baualter, Stockwerk, Orientierung, Heizung etc. ergeben sollten.

In einer Gruppe von 5 neuen Häusern (Baualter höchstens 3 Jahre) wurde im Mittel während des Monats Januar 8,6 mm absolute und 57% relative Feuchtigkeit festgestellt, gegenüber 5 mm und 33% relative Feuchtigkeit in älteren Häusern. Eine Abstufung vom 1. zum 3. Baujahr liess sich nicht er-

kennen, da verschiedenartige Bauweise, Isolation, Grundwasser-, Heizungs- und Lüftungsverhältnisse, wohl aber auch die Austrocknungsdauer des Rohbaues vor der Anbringung des Verputzes an Wichtigkeit überwiegen.

Abgesehen von Kellergeschossen waren in den verschiedenen Stockwerken desselben Bauobjektes keine wesentlich verschiedenen Luftfeuchtigkeitsverhältnisse zu erkennen. Ebenso waren die Differenzen zwischen Nord- und Südzimmern derselben Wohnung viel geringer, als man annehmen möchte. Die Art der Raumbenützung dagegen scheint von so grossem Einfluss zu sein, dass allfällige kleine, aus verschiedener Lage im Hause resultierende Differenzen demgegenüber gänzlich zurücktreten.

In Zimmern mit Ofenheizung war in den berücksichtigten Objekten (alles ältere Häuser) während des Hochwinters stets eine um etwa 10% höhere Luftfeuchtigkeit gemessen worden, als in Zimmern mit Zentralheizung.

Damit ist aber das Problem der Wohnungsfeuchtigkeit noch längst nicht erschöpft. Als weitere Faktoren kommen Wandstärke, Materialeigenschaften, Isolation, Grundwasserverhältnisse u. a. hinzu, die der bauhygienischen Forschung noch ein weites Arbeitsgebiet offen lassen.

Bei meinen Feuchtigkeitsbestimmungen hat es sich gezeigt, dass die in den bisherigen Hand- und Lehrbüchern meist nur in Form einer grob umschriebenen Anforderung an den Grad der zulässigen relativen Feuchtigkeit enthaltenen Angaben bei weitem nicht genügen, um über die Erfüllung der Behaglichkeitsansprüche in einer Wohnung Auskunft zu geben.

Für alle 12 in Davos berücksichtigten Häuser war durchwegs die Bedingung einer zwischen 30 und 60% liegenden relativen Luftfeuchtigkeit erfüllt, obschon in praxi bei einigen dieser Bauobjekte eine Einfügung in die Behaglichkeitszone problematisch erschien, indem an verschiedenen Orten Schimmelbildung an den Wänden auftrat.

Aus dem oben beschriebenen Verhalten der Luftfeuchtigkeit in geheizten Räumen ist zu entnehmen, dass nur Bauobjekte in Bezug auf Luftfeuchtigkeit miteinander verglichen werden dürfen, wenn in ihren Zimmern annähernd gleiche Temperatur besteht und wenn die Messungen im selben jahreszeitlichen Abschnitt, unter denselben Lüftungsbedingungen durchgeführt werden.

Zu abschliessenden Gutachten über die Feuchtigkeitsverhältnisse von Wohnungen ist es ferner unerlässlich, Feuchtigkeitsbestimmungen des Mauermaterials durchzuführen, Bestimmungen, die bis dahin allerdings noch sehr mühevoll, zeitraubend und kostspielig sind (14).

C. Abkühlungsgrösse.

1. Die Abkühlungsgrösse im Frelen.

Die ausserordentlich gleichmässige und dabei relativ geringe Abkühlungsgrösse ist einer der Hauptfaktoren, Davos zum privilegierten Tuberkulosekurort zu erheben.

Der mittlere Jahreswert beträgt nur 10,8 ($\text{mg cal/cm}^2/\text{sec.}$), während Basel einen Jahresdurchschnitt von 13,5 aufweist und das sonnige Agra (Tessin) als typischer Vertreter des Schonungsklimas, mit 10,3 nur sehr wenig günstiger als das über 1000 m höher gelegene Davos dasteht. Dabei sind die Jahresschwankungen für Agra rund doppelt, für Basel sogar dreimal so gross wie für Davos. Diese trotz der beträchtlichen Temperaturschwankungen relativ geringen jahreszeitlichen Unterschiede sind auf die besonders im Winter im Davoser Hochtal sehr geringe Luftbewegung zurückzuführen (vergl. Fig. 4).

Von welcher grossen Bedeutung die Luftbewegung auf die Grössengestaltung der Abkühlungsgrösse ist, geht daraus hervor, dass ein schwacher Wind von 2,8 m/sec. dieselbe Erhöhung der Abkühlungsgrösse bewirkt, wie eine Temperaturabnahme von über 20° . (7) So kommt es auch, dass in Davos die geringste Abkühlungsgrösse im Tagesgang nicht zur Zeit der höchsten Lufttemperatur, also in den frühen Nachmittagsstunden, beobachtet wird, sondern am fast immer windstillen Vormittag. Der typische Tagesgang der Abkühlungsgrösse in Davos ist aus folgenden Monatsmitteln ersichtlich:

Zeit:	8—12 ⁰⁰	12—16 ⁰⁰	16—20 ⁰⁰	20—24 ⁰⁰	0—8 ⁰⁰
Januar:	16,1	16,9	19,1	18,9	18,1
August:	6,3	7,5	12,0	12,6	10,8

Durch ungleiche Erwärmung der oberen und der unteren Talpartien entsteht besonders an sonnigen Tagen im Davosertal ein typischer lokaler Mittagwind, der in den frühen Nachmittagsstunden sein Maximum erreicht und der sich, wie aus obigen Zahlen hervorgeht, auf die Abkühlungsgrösse auswirkt.

Die nur an der Südfront offene Liegehalle besitzt infolge des weitgehenden Windschutzes und der durchschnittlich etwas höheren Lufttemperatur, eine bedeutend geringere Abkühlungsgrösse als die Freiluft. (Siehe Kurve IV).

Mittlere Monatswerte für
Temperatur und Abkühlungsgröße,

- Temperatur im Freien. I
- - - - Temperatur im Zimmer. II
- . - . Abkühlungsgröße im Freien. III
- . . . Abkühlungsgröße auf Liegehalle. IV
- Abkühlungsgröße im Zimmer. V

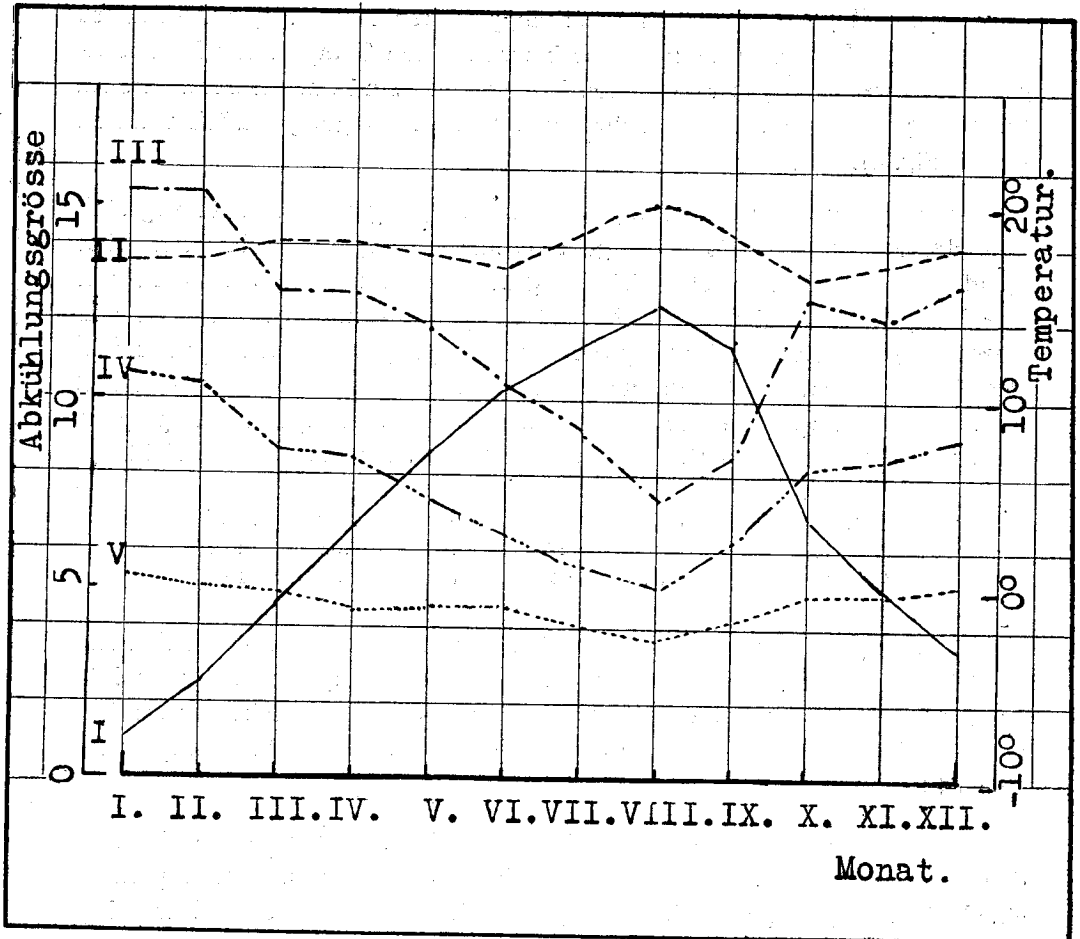


Fig. 4.

2. Die Abkühlungsgrösse im Zimmer.

Im geschlossenen Zimmer, wo normalerweise Luftbewegung nur in Form der durch Temperaturdifferenzen erzeugten Zirkulationsströmung auftritt, ist die Abkühlungsgrösse in überragendem Masse Funktion der Lufttemperatur. Da nun dieselbe, wie wir gesehen haben, im Jahresgang nur kleine Schwankungen aufweist, so ist auch ein regelmässiger Gang der Abkühlungsgrösse zu erwarten. (Fig. 4, Kurve V.)

Dass die Abkühlungsgrösse im Zimmer in unserem Beobachtungsjahr trotz leicht steigender Temperatur vom Oktober zum Dezember etwas zunahm, ist wohl auf die in der kalten Jahreszeit etwas erhöhte Luftzirkulation zurückzuführen; denn je grösser die Temperaturunterschiede zwischen aussen und innen bzw. zwischen Heizungsstelle und Fenster sind, um so regere «Selbstlüftung» des Zimmers tritt auf. Diese Zirkulations- und Austauschströmungen müssen recht beträchtlich sein, wenn nach Küster (69) die Luft eines geschlossenen Zimmers durch Eigenventilation etwa einmal pro Stunde durch Frischluft verdrängt wird.

Ich habe wiederholt versucht, mit Hilfe des Frigorimeters wenigstens die Grössenordnung der Luftströmungsgeschwindigkeit im Zimmer zu bestimmen.

Ausgehend von der Formel von Bider (18):

$$\frac{A}{O} = 0,31 + 0,112 v$$

(A = Abkühlungsgrösse; O = Temperaturdifferenz zwischen Frigorimeterkugel und Luft; v = Windgeschwindigkeit.)

könnte man versucht sein, A und O als Bekannte einzusetzen und daraus rechnerisch v zu bestimmen.

Die obige, empirisch gefundene Formel gilt aber nur für Windgeschwindigkeiten $0,5 < v > 5,0$ und darf nicht über diese Werte hinaus extrapoliert werden. Ausserdem entsteht infolge der rund 15° betragenden Temperaturdifferenz zwischen Kugel und Zimmerluft eine von der Kugel aufsteigende Windströmung, die wohl bei der Berechnung von höheren Windgeschwindigkeiten vernachlässigt werden darf, dagegen in unserm Fall wahrscheinlich von ungefähr derselben Grössenordnung ist, wie die uns interessierende Strömungsgeschwindigkeit der Zimmerluft. Aus diesen Gründen lässt sich die letztere aus obiger Formel auch nicht annähernd berechnen.

Rauchexperimente ergaben, dass die Luftströmungsgeschwindigkeit im geschlossenen, geheizten Zimmer etwa in der Grössenordnung $v = 0,03 - 0,10$ m/sec. liegt.

a) Abkühlungsgrösse und Behaglichkeit.

Der menschliche Körper ist auf Wärmeabgabe eingestellt. Bei normaler Zimmertemperatur ($18-20^\circ$) beträgt der Wärmeverlust beim Menschen im Mittel etwa 80 Kalorien pro Stunde (69). Ist der an den Körper gestellte

Wärmeanspruch bedeutend grösser, so tritt das «Kältegefühl» auf, während andererseits bei unterdrückter Wärmeabgabemöglichkeit, Wärmestauung auftritt, die sich im Gefühl der «Hitze», und gepaart mit hoher Luftfeuchtigkeit im Gefühl der «Schwüle» äussert.

In Verbindung mit der Angabe der Luftfeuchtigkeit ist die Abkühlungsgrösse in hohem Masse geeignet, die Grenzen der in einem Raume empfundenen Behaglichkeit zahlenmässig zu umschreiben. Als Resultat meiner einjährigen Registrierungen ergab sich eine Abkühlungsgrösse von 4,2 bei einer Zimmertemperatur von 18,8°, und 30—50 % relativer Feuchtigkeit als *Optimum* des Wohlbefindens im Zimmer. Es wäre falsch, diesen Behaglichkeitspunkt, der sich nur auf die Person des Beobachters bezieht, als allgemein gültiges Behaglichkeitsoptimum zu betrachten, da weitgehende individuelle Differenzen in dem Wärmebedürfnis und der Wärmeempfindung der einzelnen Menschen bestehen.

Die Festlegung eines möglichst allgemein gültigen Behaglichkeitsoptimums durch physikalische Daten ist sehr schwierig. Ausser Temperatur, Luftbewegung, Luftfeuchtigkeit und abgesehen von individuell verschiedenem Empfinden und persönlicher Anpassung (Abhärtung oder Verweichlichung) sind Kleidung, Helligkeit, Schlaf- und Essbedürfnis etc. von grossem Einfluss auf das Behaglichkeitsgefühl. So machte sich z. B. bei den 24stündigen Beobachtungen mit zunehmender Ermüdung jeweils eine deutliche Verschiebung der Behaglichkeitszone, im Sinne eines grösseren Wärmeanspruchs bemerkbar.

Die gründlichsten Untersuchungen über die Festlegung von Behaglichkeitszonen in Zimmern, sind bis heute von der «American Society of Heating and Ventilating Engineers», unter Mitwirkung von 130 Versuchspersonen, angestellt worden. Als Resultat dieser Forschungen sind «Empfindungstemperaturen» und Behaglichkeitslinien empirisch aus dem subjektiven Empfinden dieser Versuchspersonen festgelegt worden (69). Diese Festlegungen beziehen sich auf den ruhenden Körper und sind deshalb andere, als die, die für den körperlich arbeitenden Menschen gelten würden. Durch Körperbewegung wird zur Erreichung des Behaglichkeitsgefühls der an die Umgebung gestellte Wärmeanspruch geringer.

D. Helligkeitsbestimmungen.

Bei der phototechnischen Helligkeitsbestimmung ist, wie auf Seite 462 beschrieben wurde, mit einer recht hohen Fehlergrenze zu rechnen. Die mit Hilfe des Graukeilphotometers bestimmten relativen Tageslichtsummen sind daher mit grosser Reserve aufzufassen.

Die Resultate waren so wenig befriedigend, dass nur die in Zimmermitte bestimmte Helligkeit, in ihrem prozentualen Verhältnis zu den gleichzeitig

im Freien beobachteten relativen Lichtsummen, in der Auswertung berücksichtigt wurden.

Im Prinzip handelt es sich also um den Begriff des *Tageslichtquotienten* (27), der in diesem Fall eigentlich richtigere Masse ergibt, da sich die Messzeit auf die gesamte Dauer der Tageshelligkeit erstreckt und nicht nur aus Momentanwerten resultiert, deren Zuverlässigkeit noch durch Zufälligkeiten beeinträchtigt werden kann.

Es wurden folgende Tageslichtquotienten in der Mitte des Sanatoriumszimmers gemessen:

Juli	August	Sept	Okt.	Nov.	Dez.	Januar	Febr.	März
5,3%	?	4,5%	3,3%	3,4%	2,5%	2,5%	2,7%	4,2%

Tab. 4

Im Mittel der 8 Monate, in denen genügendes Beobachtungsmaterial vorliegt, betrug die relative Lichtsumme in Zimmermitte 3,5% von derjenigen unter freiem Himmel.

Dieses Verhältnis war keineswegs konstant, vielmehr lässt sich aus obigen Monatsmitteln ein Jahresgang erkennen, indem im Winter auch *prozentual* die geringste Lichtmenge ins Zimmer fiel. Aber auch an aufeinanderfolgenden Tagen war stets zu beobachten, dass der prozentuale Wert der ins Zimmer fallenden relativen Lichtsumme immer um so höher war, je grösser die Tageshelligkeit unter freiem Himmel war. Beispiele:

	rel. Lichtsumme im Freien	rel. Lichtsumme im Zimmer	Tageslicht- quotient
30. März	295	16	5,4
31. März	110	4,1	3,7

Eine erste Ueberlegung hätte erwarten lassen, dass sich der Quotient im Winter günstiger gestalten würde, durch die starke Reflexwirkung der schneebedeckten Berghänge. Doch ergibt sich, dass dieser Faktor doch im Vergleich zu der Erhellungswirkung des Firmaments wesentlich zurücktritt. Mit andern Worten: Die durch den Oeffnungswinkel bedingte Helligkeit ist für die Gestaltung des Tageslichtquotienten im Zimmer massgebend und ihre Reduktion während des Winters kann durch verstärkte Reflexion nicht entsprechend kompensiert werden.

Im Dezember und Januar wurden Vergleichsbestimmungen der Tageslichtsummen in Arbon durchgeführt. Die dort im Zimmer gewonnenen Photostreifen waren jedoch nicht zu verwerten, da die Lichtintensität zu gering

war, um sich dem exponierten Photopapier genügend mitzuteilen; es hätten denn durchlässigere Graukeile verwendet werden müssen.

Die in Arbon während dieser zwei Monate unter freiem Himmel gemachten Proben ergaben im Mittel eine relative Tageslichtsumme, die 39% von der gleichzeitig in Davos beobachteten ausmacht.

Die ins Zimmer fallende Lichtmenge ist also bedeutend geringer, als man eindrucksmässig anzunehmen versucht sein könnte. Dabei gilt der gefundene mittlere Tageslichtquotient von 3,5 für ein «helles» sonniges Zimmer.

Selbstverständlich kann diese Prozentzahl nur für unser Versuchszimmer als charakteristisch gelten und kann in andern Räumen ganz andere Werte annehmen.

Ausser Fensterfläche, Stockwerk, Dimensionierung und Orientierung eines Zimmers sind Farbe von Wand, Decke und Boden, sowie der Möbel etc. von grossem Einfluss.

Helligkeitsproben wurden zeitweise auch auf der «Davoser»-Liegehalle gewonnen.

Die dort in der Horizontalfläche gemessene relative Lichtsumme betrug im Mittel 43% der Lichtsumme im Freien. Obwohl die Liegehalle so orientiert ist, dass die grösstmögliche Sonnenhelligkeit einfallen kann, empfängt sie doch weniger als die Hälfte der Totalhelligkeit, da ein grosser Teil der Himmelshelligkeit durch Dach und Wandungen abgeschirmt wird.

E. Ergebnisse der Staubzählungen.

1. Staubzählungen im Freien.

Die Reinheit der Luft gilt als eines der wichtigsten Kriterien zur Beurteilung eines Ortes in Bezug auf seine Eignung zur Kurstation. Wir sind gewohnt, von der «Staubfreiheit» der Alpentäler und speziell der Landschaft Davos zu sprechen, finden aber in der Literatur keine einzige Angabe, die uns über die Zahl der in der Luft suspendierten Staubpartikel unterrichten könnte. Die Zahlen von Bider (68a) stützen sich nur auf sehr spärliches Beobachtungsmaterial, das seinerzeit am Observatorium Davos während weniger Wochen gesammelt worden war.

Da also kein genügendes Material über die Staubverhältnisse der Landschaft Davos vorlag, musste ich, um allfällige Zusammenhänge zwischen Freiluft- und Zimmerverhältnissen ableiten zu können, auch im Freien ausgedehnte Staubbestimmungen vornehmen.

Der ständige Beobachtungsplatz war ein ungeschützter Balkon im zweiten Stockwerk des im Zentrum des Kurortes liegenden Sanatoriums «Schweizerhof». Die Staubzahlen, nach Monaten gemittelt, sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt:

Monat:	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Jahr
Partikel pro cm ³	212	172	126	78	62	45	65	(62)	60	78	174	271	117

TAB. 5.

Etwas verblüffend wird es erscheinen, bei der Betrachtung des Jahresganges zu sehen, dass weitaus die höchsten Staubzahlen im Winter gemessen wurden, wobei z. B. der Dezember mit 271 den sechsfachen Staubgehalt des Monats Juni aufwies. Um Missverständnisse zu vermeiden, muss daran erinnert werden, dass bei der Owens'schen Methode auch die Russpartikel mitgezählt werden. Wir sehen also, wie mit der Zunahme der Heizungsintensität der Verunreinigungsgrad der Luft gewaltig anwächst, und zwar so, dass die Bedeutung des sommerlichen Strassenstaubes weit hinterder vorwiegend durch Rauch bedingten Luftverunreinigung des Winters zurücksteht. (Vergl. auch das Verhalten der Kondensationskerne (Abschnitt F.).

Die sprichwörtlich reine Winterluft des Hochgebirges wird also in Bezug auf Reinheit von der Sommerluft um ein Vielfaches übertroffen, wenigstens in dem verhältnismässig dicht besiedelten Davosertal.

Um eine bessere Vorstellung von der Grösse des Jahresmittels (117 Verunreinigungspartikel pro cm³ Luft) im Vergleich mit den Verhältnissen andererorts zu ermöglichen, seien einige Beispiele angeführt:

1. *Weissfluhgipfel	3000 m (Winter)	0,15
2. *Weissfluhjoch	2700 m (Winter)	1,02
3. *Höhenweg	2200 m (Winter)	6,7
4. Mitte Biscayaschlucht		15
5. *Clavadel	1800 m (bei Davos)	41
6. *Schatzalp	1800 m (bei Davos)	52
7. Flugzeug	3000 m (England)	60
8. *Mitte Bodensee (Juli)		73
9. *Davos	1600 m	117
10. Flugzeug	1500 m (England)	200
11. *Arbon a/Bodensee (in einem Garten)		206
12. *Zürich (Bahnhofstrasse und «Platte»)		1200
13. Strassburg		10000
14. Paris (Eifelturm)	über	10000
15. London (Westminster)		20000

Die mit * bezeichneten Zahlen wurden von mir selbst bestimmt, sind aber mit Ausnahme von 9 (Davos) nur als Stichproben zu bewerten, da denselben nur je 10—40 Einzelbeobachtungen zugrundeliegen. Die Angaben 4., 7., 10. und 15. stammen von Owens (29, 30).

Aus diesen Beispielen geht hervor, dass die Landschaft Davos in Bezug auf Staubmenge und damit Luftreinheit ausserordentlich günstig dasteht und z. B. im Juli weniger Luftstaub aufwies, als in der Mitte des Bodensees gemessen wurde.

a) *Abhängigkeit des Staubgehaltes der Luft von meteorologischen Faktoren.*

Die Staubzahl der Luft ist in hohem Masse abhängig von der Windstärke und der Windrichtung. Die Beobachtungsergebnisse in Bezug auf den Einfluss der Windstärke sind aus Tabelle 6 für 200 in Davos gemachte Messungen zu ersehen:

		<i>Windstärke: in halber Beaufortskala, geschätzt.</i>					
		0	1	2	3	4	höher
Sommer:	Staubzahl:	86	71	51	44	37	
	Beobachtg.:	(41)	(20)	(11)	(6)	(3)	(0)
Winter:	Staubzahl:	232	99	85	79	52	29
	Beobachtg.:	(51)	(28)	(14)	(9)	(4)	(3)

TAB. 6.

Die höchsten Werte werden bei Windstille beobachtet. Zwar wird im Sommer durch den Wind Strassenstaub aufgewirbelt, aber die dadurch verursachte Zunahme des Luftstaubes wird weitaus übertroffen durch die bei Luftbewegung zu beobachtende Staubwegführung. Während bei Windstille die staubreichere Luft über der Talschaft stagniert, wird sie bei Wind verdrängt durch erhöhte Zufuhr reiner Luft, aus den um Davos liegenden, sehr dünn besiedelten Alpentälern.

Dass aber nicht jeder Wind beliebiger Herkunft in Davos den gleich grossen staubvermindernden Effekt aufweist, zeigt Tabelle 7.

		Windrichtung:	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Calmen
Sommer:	Staubzahl:	—	64	42	43	32	54	—	48	85	
	Beobachtg.:	—	(15)	(1)	(3)	(5)	(15)	—	(1)	(41)	
Winter:	Staubzahl:	51	98	—	84	63	105	—	—	232	
	Beobachtg.:	(2)	(29)	—	(4)	(10)	(12)	—	—	(51)	

TAB. 7.

Die Staubzahlen der Tabelle 7 sind in Fig. 5 für Sommer und Winter getrennt von einem O-Punkt aus radial in der Richtung der Windherkunft aufgetragen. Die beiden Kreise stellen in ihrem Radius die bei Windstille beobachteten Staubwerte für den Sommer (kleiner Kreis) und für den Winter (grosser Kreis) dar. Wir sehen, dass NE und SW-Wind die Staubwerte am wenigsten herabzusetzen vermögen. In der Herkunftsrichtung dieser Winde ist das Davosertal am dichtesten bebaut. Die Staubzahlen sind umso höher, je grösser und je dichter das Gebiet besiedelt ist, über das der Wind bis zum Standort des Beobachters streichen muss. Die geringsten Staubzahlen wurden bei Föhn gemessen. Diese Beobachtung ist doppelt begründet; einerseits mit der dünnen Besiedelung des Südhanges des Tales, andererseits damit, dass der Föhn als Fallwind sehr reine Luft aus höheren Atmosphärenschichten herunterführt.

STAUBZAHLEN

in Relation zur Windrichtung

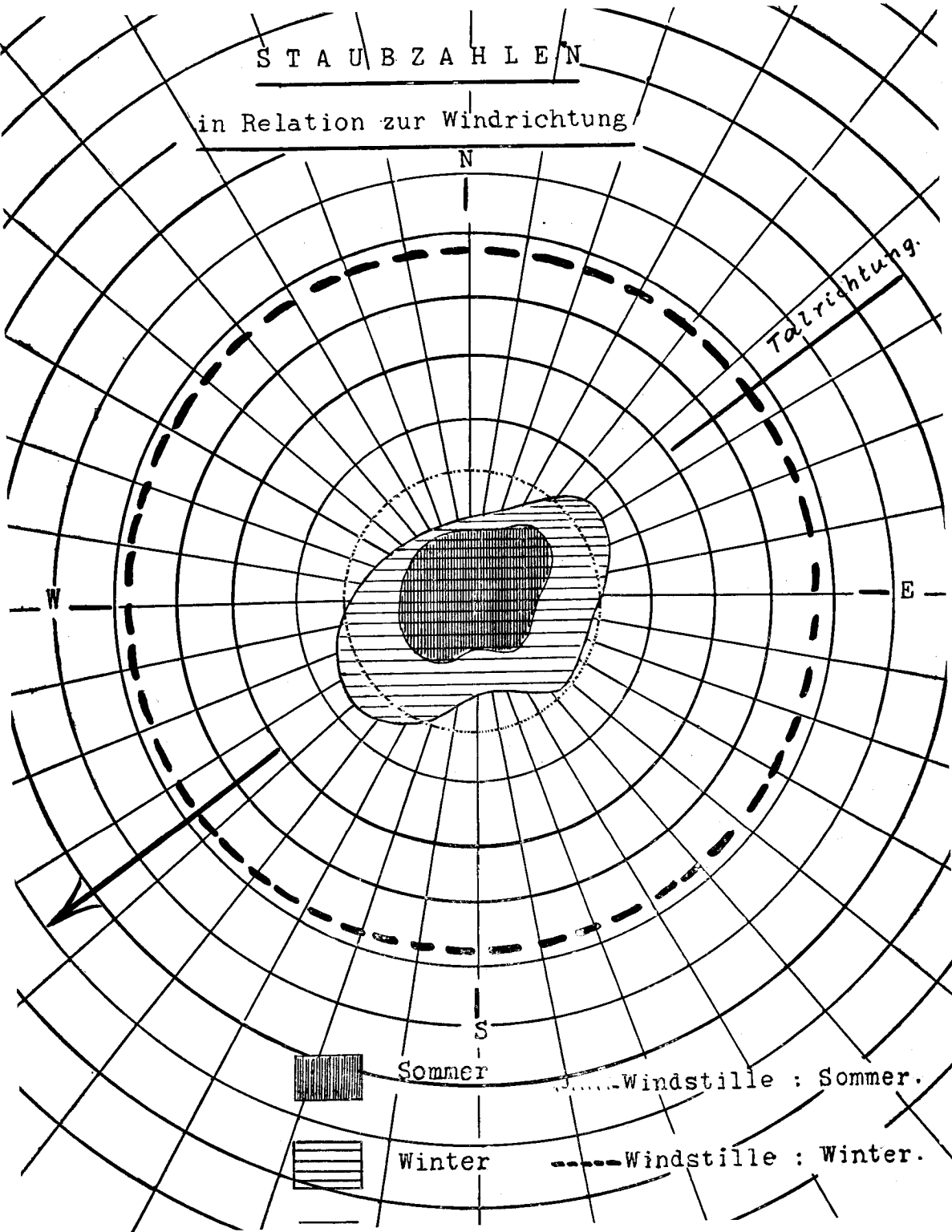


Fig. 5.

Ausser der Windabhängigkeit ist natürlich der Einfluss anderer meteorologischer Faktoren zum Teil noch ausgeprägter zu erkennen. Im Jahresmittel wurden bei verschiedener Witterung folgende Zahlen gefunden:

	bei: Regen	Schneefall	trübem Wetter	schönem Wetter	Dunst
Staubzahl:	51	55	94	112	420
Beobachtg.:	(30)	(21)	(47)	(66)	(38)

TAB. 8.

Dass bei Niederschlägen und nach solchen die Luftverunreinigung am geringsten ist, ist selbstverständlich. Ein grosser Teil der suspendierten Partikel wird durch die fallenden Tropfen mitgerissen und andererseits wird im Sommer durch den Regen die Bildung von Strassenstaub unterdrückt.

b) Tagesgang der Staubzahlen im Freien.

An Normaltagen im Sommer ist der Staubgehalt der Luft in Davos zu den verschiedenen Tagesstunden ziemlich ausgeglichen. Dabei sind jedoch anders als man annehmen könnte, die höchsten Werte deutlich in den frühen Vormittagsstunden zu beobachten. Die Abnahme des Luftstaubes gegen Mittag und noch ausgesprochener gegen Abend, ist einzig auf das regelmässige Auftreten des Talwindes zurückzuführen.

Im Winter sind die tageszeitlichen Unterschiede viel ausgeprägter und die Staubwerte können unter Umständen um das Zehnfache vom Minimal zum Maximalwert innerhalb desselben Tages variieren. Der Tagesgang im Winter ist aber in Davos im wesentlichen kein natürlicher, da die ausserordentlich hohen Morgenwerte ausschliesslich durch die in diesen Stunden intensivste Rauchentwicklung verursacht werden. Tabelle 9 enthält den Tagesgang der Staubzahlen, wie er in den verschiedenen Jahreszeiten beobachtet wurde:

Zeit	8 ⁰⁰	12 ⁰⁰	18 ⁰⁰	24 ⁰⁰
Frühling	220	92	86	38
Sommer	65	48	38	?
Herbst	305	72	63	41
Winter	365	145	132	63

TAB. 9

2. Staubzählungen im Sanatoriumszimmer.

Schon nach relativ kurzer Beobachtungsdauer fiel es auf, dass die Staubzahlen im geschlossenen, unbeeinflussten Zimmer, ohne sichtbaren Grund, je nach der Tageszeit mit grosser Regelmässigkeit kleiner oder grösser wurden. Eine Gegenüberstellung der gleichzeitig bestimmten Aussenwerte führte zur Erkenntnis, dass sowohl die groben jahreszeitlichen Differenzen, als auch momentane Schwankungen des Staubgehaltes der Freiluft sich auf die Luft

des geschlossenen Zimmers in etwas abgeschwächter Amplitude übertragen.

In den Monatsmitteln aus mehreren hundert Bestimmungen wurden im Sanatoriumszimmer folgende Staubwerte beobachtet:

Monat	I.	II.	III.	IV.	V.*	VI.	VII.	VIII.*	IX.	X.	XI.	XII.	Jahr
	270	200	169	110	(98)	86	64	(66)	68	138	212	272	146

TAB. 10.

* = interpoliert.

Das im Zimmer gefundene Jahresmittel von 146 Verunreinigungspartikelchen pro cm^3 Luft ist um rund 25% höher, als der 117 betragende Durchschnittswert der Davoser Freiluft. Fig. 6 zeigt uns, wie auch die täglichen und tageszeitlichen Schwankungen des Staubgehaltes im Freien und im Zimmer weitgehend parallel verlaufen.

Fig. 6 stellt nur einen kurzen Ausschnitt einer sich über das ganze Jahr erstreckenden Beobachtungsserie dar, wobei stets gleichzeitig mit einer Zimmerbestimmung die Staubzählung auch im Freien durchgeführt wurde.

Luftstaub im Sanatoriumszimmer und im Freien.

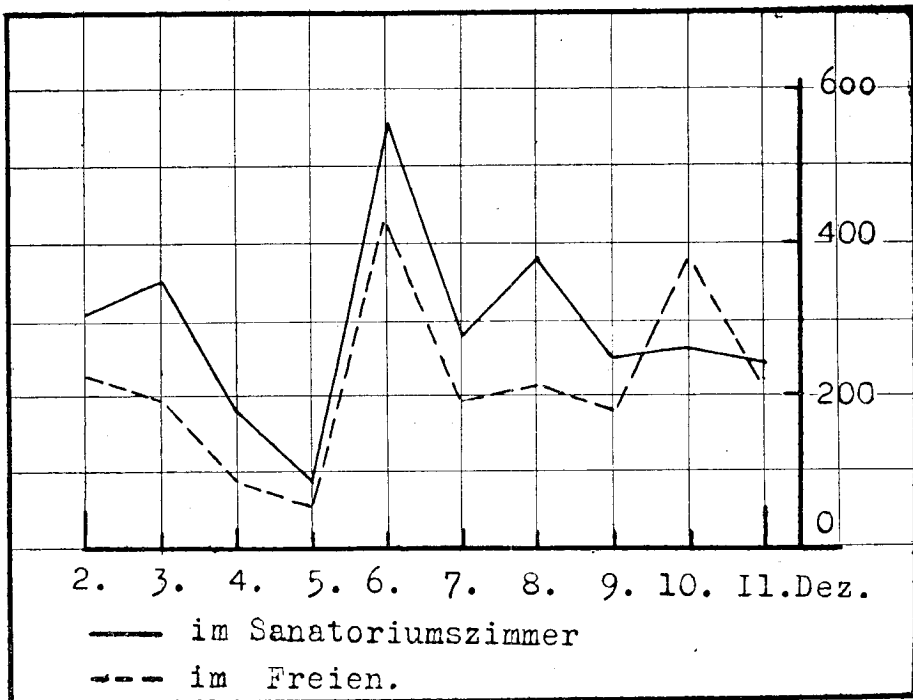


Fig. 6.

Mit der Bewohnung eines Zimmers sind stets verschiedene Eingriffe verbunden (Lüftung, Zimmerreinigung, Heizung usw.), die sich mehr oder weniger deutlich auf die Grössengestaltung der Staubzahl der Zimmerluft aus-

wirken. Die diesbezüglichen Versuche und Beobachtungen werden im Folgenden so beschrieben, dass immer die im Mittel vieler Bestimmungen beobachteten Auswirkungen in Zahlen aufgeführt werden.

a) Einfluss der Lüftung.

Da im Sommer der Staubgehalt der Freiluft zu verschiedenen Tagesstunden ziemlich ausgeglichen ist (vergl. Tab. 9) und das Tagesmittel durchwegs unter demjenigen der Zimmerluft liegt, so tritt in dieser Jahreszeit durch Zimmerlüftung meist eine wesentliche Staubverminderung im Zimmer ein:

Im Juli beobachtete Mittelwerte:

Vor der Lüftung	128	Partikel/cm ³ Luft.
Nach der Lüftung	91	» »

Ein ganz anderes Verhalten wurde in der Regel während des Winters, oder um gleich auf die Herkunft der Verunreinigungsteilchen hinzudeuten, während der Heizperiode beobachtet.

Da naturgemäss der Zeitpunkt der Lüftung eines Schlaf- oder Krankenzimmers meist in den Vormittagsstunden liegt, so fällt die Zeit des Fensteröffnens gerade in die Stunden der intensivsten Rauchentwicklung. So kommt es, dass nach der Lüftung an einem Wintermorgen im allgemeinen mehr Staub- und Russsteilchen in der Zimmerluft schweben, als vor der Lüftung. (Vergl. Fig. 1). Einige Beispiele sollen uns über den Lüftungseffekt in Bezug auf die Staubzahlen orientieren.

Im Mittel für Dezember und Januar ergaben sich folgende Resultate:

Zeit:	8 ⁰⁰	10 ⁰⁰	12 ⁰⁰	18 ⁰⁰	
I Im Freien	284	418	226	107	Partikel/cm ³ Luft.
II Im ungelüfteten Zimmer	351	397	249	203	» »
III Im gelüfteten Zimmer	351	400	182	126	» »

TAB. 11.

(Bei II. wurde das Zimmer den ganzen Tag nie gelüftet, während bei III. je eine Lüftung zwischen 8 und 10⁰⁰ sowie zwischen 12 und 14⁰⁰ von 30 bis 60 minütiger Dauer stattfand.)

Aus Zeile II dieser Beispiele geht hervor, dass wir dem starken Anstieg der Luftverunreinigung, wie er im Freien durch die Rauchentwicklung in den winterlichen Vormittagsstunden auftritt, auch im geschlossenen Zimmer nicht entgehen können. Vielmehr lässt sich die Staub- bzw. Russzunahme in der Zimmerluft verfolgen, ziemlich gleichgültig, ob eine Lüftung in dieser Zeit vorgenommen wird, oder ob die Fenster geschlossen bleiben.

Dagegen bleiben die einmal ins Zimmer eingedrungenen Partikel im Zimmer länger suspendiert (Zeile II), während sie im Freien in den Nachmittagsstunden durch den Wind weggeführt werden, sodass eine Lüftung am Nachmittag meist eine Staubverminderung bewirkt (Zeile III).

b) Einfluss der Zimmerreinigung.

Mit Recht ist das Kehren der Zimmerböden mit Besen ganz besonders in Spitälern und Sanatorien verpönt. Interessehalber wurden öfters Staubbestimmungen vor und nach der Bodenreinigung, welche teils mit Besen, teils mit feuchten Lappen vorgenommen wurde, angestellt, die im Mittel folgende Luftstaubzahlen lieferten:

Vor dem Kehren	165	Partikel/cm ³ Luft.
Nach dem Kehren mit Besen	329	» »
Vor der Bodenreinigung	256	» »
Nach feuchter Bodenreinigung	272	» »

In den meisten Fällen wurde also der Staubgehalt der Zimmerluft durch das Kehren mit Besen rund verdoppelt, während in der Regel nach der Bodenreinigung mit feuchtem Lappen nur eine unbedeutende Luftstaubvermehrung zu konstatieren war.

c) Einfluss des Bettmachens.

Geringer als man vielleicht annehmen möchte, war in den beobachteten Fällen die Zunahme des Luftstaubes durch das «Machen» der Betten verursacht. Es wurde durchschnittlich ein Anstieg der Staubzahl von 156 auf 196 gemessen.

Da übrigens die Vornahme der Zimmerreinigung und des Bettmachens normalerweise bei offenem Fenster stattfindet, so sind diese Vorkehrungen auf die Grössengestaltung der Staubzahl nur von rasch vorübergehender Bedeutung, da ein Ausgleich mit den Aussenverhältnissen alsbald eintritt.

d) Einfluss der Heizung.

Im Sanatoriumszimmer, das Zentralheizung besitzt, brachten Heitztage gegenüber Tagen ohne Heizung keine mit Sicherheit festzustellende Luftstauberhöhung. Theoretisch wäre an Heitztagen durch verstärkte Strömung der Zimmerluft vermehrte Staubaufwirbelung zu erwarten. Bei den gepflegten, sauber gehaltenen Linolböden des Sanatoriums ist aber dieser allfällige Anstieg so gering, dass er gegenüber andern Faktoren an Bedeutung ganz zurücktritt.

(Ueber den Einfluss der Ofenheizung siehe unten.)

e) Künstliche Beeinflussung des Luftstaubes im Zimmer.

Versuche und Ergebnisse der künstlichen Luftbefeuchtung auf die Staubzahl der Zimmerluft werden später in Zusammenhang mit der Beschreibung der Leistungsfähigkeit des Lucagra-Wasserverdunstlers erörtert.

Durch Zigarettenrauch wurde im Zimmer von 50 m³ Inhalt im Mittel aus 20 Beobachtungen folgende Erhöhung des Staubgehaltes festgestellt:

Vor dem Rauchen	162	Partikel/cm ³ Luft.
Nach der I. Zigarette	331	» »
Nach der II. Zigarette	435	» »

Die durch Rauchen entstehenden Partikelchen sind ausserordentlich feinkörnig, sodass sie dem Gesetz der Schwerkraft kaum mehr folgend, mehrere Stunden bis zum vollständigen «Absetzen» brauchen.

3. Staubzählungen in andern Räumlichkeiten.

Der Staubgehalt der Luft in Räumlichkeiten wird einerseits durch die Staubverhältnisse, wie sie im Freien bestehen, primär beeinflusst, andererseits kommt meist noch eine sekundäre Staubvermehrung, wie sie durch die Art der Raumbenützung bedingt ist, hinzu. Als relativ günstig können deshalb die Staubverhältnisse eines Raumes gelten, wenn in der Raumluft nicht wesentlich *mehr* Staubpartikel suspendiert sind, als in der Freiluft des betreffenden Ortes.

Da wir gesehen haben, in welcher Masse die Reinheit der Aussenluft auf die Grössengestaltung der Staubzahl im Rauminnern einwirkt, und wie gross andererseits an demselben Beobachtungsort die tages- und jahreszeitlichen Unterschiede sein können, so vermögen nur Relativwerte ein ungefähres Bild über günstige oder ungünstige Staubverhältnisse eines Raumes zu vermitteln; d. h. jeder in einem Raume gemessenen Staubzahl muss die Zahl der gleichzeitig im Freien suspendierten Teilchen gegenübergestellt werden.

In der folgenden Zusammenstellung sind die Ergebnisse, in den hauptsächlich berücksichtigten Räumlichkeiten gewonnen, gemittelt in Kolonne I enthalten. Die Zahlen in Klammern III bedeuten die gleichzeitig gezählten Staubpartikel im Freien. Diese Freiluftwerte sind gleich 100% gesetzt worden, sodass Kolonne II zu entnehmen ist, wieviel % der Luftstaub des interessierenden Raumes vom Staubgehalt der Freiluft des betreffenden Ortes beträgt.

	im Raum		im Freien	
	I	II	III	IV
1. Molkerei Davos (Milchsammelraum)	145	91%	(159 = 100%)	
2. Sanatoriumszimmer Davos	146	125%	(117 = 100%)	
3. Wohnzimmer mit Ofen, Davos	192	164%	(117 = 100%)	
4. Schulzimmer Davos (40 Schüler)	248	94%	(265 = 100%)	
5. Kino Davos	218	83%	(261 = 100%)	
6. Postbüro Davos	276	188%	(147 = 100%)	
7. Bonbüro Saurerwerke Arbon	285	218%	(131 = 100%)	
8. Motorenprobierstand der Saurerwerke Arbon	1570	1200%	(131 = 100%)	

1. Für den Staubgehalt der *Molkereiräumlichkeiten* ist ausschliesslich der Verunreinigungsgrad der Freiluft massgebend. Eine sekundäre Staubbildung ist auf den nassen Fliesen unmöglich.
2. Das normal bewohnte Davoser *Sanatoriumszimmer* hat im Jahresmittel etwa $\frac{1}{4}$ mehr Staub, als die Freiluft, was bei dem geringen absoluten Staubgehalt der letzteren als sehr günstig gelten muss.
3. In Zimmern mit Ofenheizung wurde in Davos stets eine wesentlich höhere Staubzahl gefunden, als in Zimmern mit Zentralheizung. Der relativ grosse, beobachtete Unterschied mag vielleicht zum direkten Vergleich der gewählten Bauobjekte nur in beschränktem Masse gelten, da immerhin bauliche und lokale Unterschiede die Staubverhältnisse erheblich beeinflussen können.
4. Ueberraschend waren die Ergebnisse im Schulzimmer. Die Beobachtungen waren dort aber so zahlreich, dass Zufallsresultate nicht in Betracht fallen. Trotz geschlossener Fenster wurde im Klassenzimmer von 200 m³ Inhalt und bei mehrstündiger Anwesenheit von etwa 40 Schülern stets ein ausgesprochener Parallelismus des Staubgehaltes im Zimmer und im Freien festgestellt.

Luftstaub im Schulzimmer und im Freien.

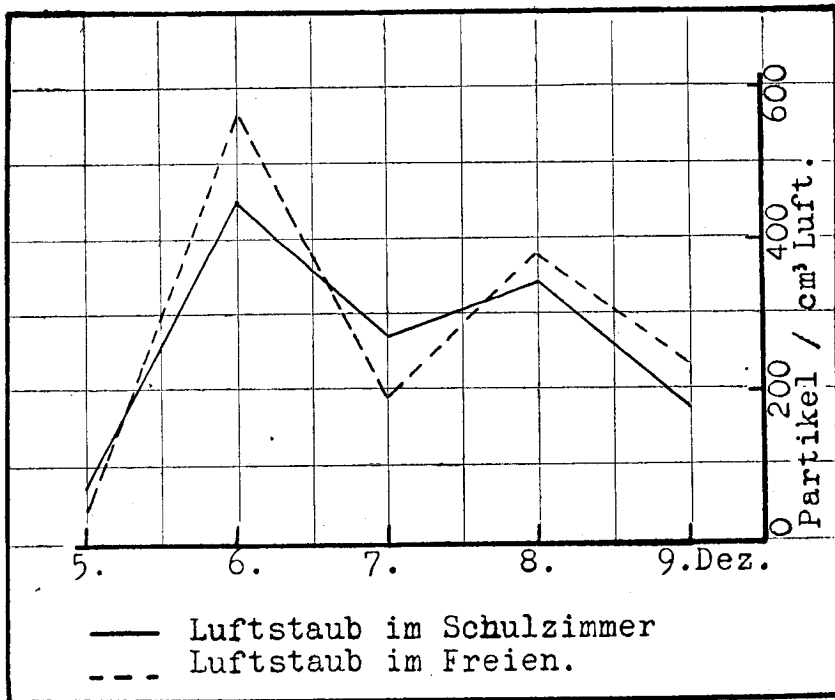


Fig. 7

Die ausserordentlich geringen Staubwerte vom 5. XII. (Fig. 7) waren die Folge ausgiebigen Schneefalles. Wie es kommt, dass aber im Mittel im Schulzimmer weniger Staubpartikel zu messen waren, als in der Freiluft, kann noch deutlicher in Beispiel 5 erklärt werden.

5. Im vollbesetzten Lokal des neuen Kinos in Davos ging meist mit fortschreitender Zeit, vom Beginn der Vorstellung bis zum Schluss derselben, eine kontinuierliche Abnahme des Luftstaubes einher. In den meisten Fällen konnten die Verhältnisse der Luft im Freien für diese Erscheinung nicht verantwortlich gemacht werden. Ebenso ist der Einwand, dass Staub durch eintretende Personen aufgewirbelt und sich dann nach und nach absetzen würde, nicht stichhaltig, was aus Bestimmungen, die unmittelbar vor der Oeffnung der Türen gemacht worden waren, hervorging.

Die Staubabnahme beruht in diesem Fall im wesentlichen darauf, dass etwa 30% des eingeatmeten Luftstaubes in den Atmungswegen und den Lungen der Rauminnsassen verbleiben (28).

In einem dicht mit Menschen besetzten Lokal wird die Luft trotz natürlicher und eventuell künstlicher Ventilation so stark «veratmet», dass der Luftstaub, sofern nicht in ausgiebigem Masse neuer hinzukommt, allmählich verschwindet.

Das erwähnte Kino besitzt eine Lüftungsanlage, über deren Leistungsgrösse ich jedoch keine Angaben erhalten konnte.

Man könnte versucht sein, die Luftstaubabnahme in einem dicht besetzten Raum auf die durch Atmung und Ausdünstung erheblich gesteigerte Feuchtigkeit zurückzuführen, doch scheint dieser Faktor nach unseren experimentellen Erfahrungen (S. 72) nur von untergeordneter Bedeutung zu sein.

6. Der Luftstaubgehalt im Postbüro Davos wurde bedeutend geringer gefunden, als erwartet worden war. Im Winter herrscht in diesem Raum meist ein typischer «Staubgeruch», der aber offenbar eher als Folge der Staubverschmelzung auf den Heizungsrohren zustande kommt, als durch die Luftstaubmenge an sich.
8. Trotzdem im Motorenprobierstand der Saurerwerke die Auspuffgase der in Betrieb stehenden Motoren im wesentlichen abgesaugt werden, ist der Gehalt der Hallenluft an Russteilchen noch sehr hoch.

Es wurden auch öfters Bestimmungen des Luftstaubes in Restaurants und Eisenbahnwagen vorgenommen, doch lässt sich ein Mittelwert für diese Orte deshalb nicht angeben, weil dort die Grösse der Staubzahl hauptsächlich von vorhandenem Tabaksrauch bestimmt wird. (Vergl. oben, sub e).

Die in Eisenbahnabteilen beobachteten Luftstaubzahlen waren durchwegs relativ hoch und bewegten sich etwa in der Grössenordnung von 500 bis 1000 Teilchen/cm³ Luft.

4. Ergänzungen zur Staubbestimmung mit der Owen'schen Methode.

a) Die Wahl des Standortes.

Um einen möglichst guten Einblick in die Staubverhältnisse eines Ortes zu gewinnen, gilt es vor allem, einen für den Ort typischen Standplatz zu finden, an welchem spontane Zustandsstörungen nach Möglichkeit nicht vorkommen. Der anfänglich in Davos berücksichtigte Postplatz wurde deshalb als untypischer Standort aufgegeben, da es vorkam, dass unmittelbar nach dem Vorbeifahren eines Autobus 1070 Staubteilchen/cm³ Luft gezählt wurden, nachdem eine 10 Minuten früher ausgeführte Messung nur 380 Teilchen ergeben hatte.

b) Korngrösse des Luftstaubes.

Mit der Art der Staubherkunft und -Entstehung ist die Korngrösse sehr verschieden. Während im Sommer die Grösse von 0,7—1 μ vorherrschte, und Teilchen bis zu 20 μ nicht selten waren, betrug die im Winter typische Korngrösse $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ μ .

c) Beziehung zwischen Teilchenzahl und gravimetrisch bestimmter Luftstaubmenge.

Owens hat die Beziehung zwischen Teilchenzahl und gravimetrisch bestimmter Staubmenge untersucht und gefunden, dass etwa 10 000 Teilchen/cm³ Luft einem Milligramm Staub enthalten in 1 m³ Luft entsprechen. Diese Beziehung stellt selbstverständlich nur einen groben Mittelwert dar, von dem aber die Verhältnisse an verschiedenen Orten infolge andersartiger Teilchengrösse und -Beschaffenheit beträchtlich abweichen können (30).

d) Bakteriologisches.

Durch spezifische Färbung des Staubpräparates können gewisse, allfällig aus der Luft angesaugte Mikroorganismen direkt unter der Immersionslinse sichtbar gemacht werden.

Auf das bakteriologische Problem der Zimmerluft konnte ich jedoch nicht näher eingehen. Es wurden nur etwa 30, in bewohnten Sanatoriumszimmern gesammelte Staubproben mit der Wahlfärbung für Tbc.-Bazillen behandelt. Ich konnte aber auf diesem Wege selbst in Luftstaubproben aus Zimmern von Kranken, deren Sputum sehr keimreich war (bis Gaffky 8) niemals Tuberkulosebazillen nachweisen.

e) Azidität und Alkalinität des Luftstaubes.

Um die saure oder alkalische Reaktion des Luftstaubes festzustellen, schlägt Owens (30) vor, ein mit alkalischer bzw. saurer Lösung von Methylorange imprägniertes Filterpapier an Stelle des Deckglases in die Apparatur einzulegen. Durch Ansaugen einer starken Staubprobe bei überfeuchteter Ansaugkammer, soll die Reaktion der Staubpartikel direkt auf dem Indikatorpapier zum Ausdruck kommen.

Ich habe öfters versucht, dieses Verfahren in Davos anzuwenden, jedoch stets ohne Erfolg. Uebrigens kann beim oben beschriebenen Vorgehen die Reaktion der Luft (SO_2 ; CO_2 etc.) die eigentliche Reaktion des Luftstaubes unter Umständen verdecken.

Ich möchte deshalb eine empfindlichere und die Luftreaktion nicht berücksichtigende Säuregradbestimmung des Luftstaubes vorschlagen:

Das Laboratorium Lautenschläger, München, bringt ein Folienkolorimeter in den Handel, das uns gestattet, genaue pH-Werte im Bereiche von 2—9 durch Farbumschlag von kleinen, mit Indikatorflüssigkeiten imprägnierten Filmstreifen durchzuführen. Dieses Kolorimeter kann für die Staubanalyse in folgender Weise zu Hilfe genommen werden:

Es wird wie üblich eine Staubprobe auf ein Deckgläschen gesaugt und zwar werden 1000 cm^3 Luft aspiriert. Hierauf bringt man das Deckgläschen in ein ganz kleines Schälchen und übergiesst die Staubprobe mit 1 cm^3 destilliertem Wasser. Die löslichen Staubpartikel teilen nun dem Wasser ihren Säuregrad mit. Durch Einlegen einer Folie in das Wasser und anschliessende Auswertung derselben an einer Testskala, wird der pH-Wert der Lösung bestimmt.

Da der Säuregrad abhängig ist von der chemischen Natur der Staubpartikel, sowie von der Anzahl der wasserlöslichen Teilchen, und da diese beiden Faktoren bei jeder Probe verschieden sein können, so müssen wir uns mit einem relativen Masstab begnügen. Wir bestimmen also gewissermassen die Wasserstoffionenkonzentration, die der in einem Liter Luft enthaltene Staub einem cm^3 destillierten Wasser vermittelt.

Die Kenntnis dieser Grösse kann unter Umständen in Bezug auf die Lufthygiene gewisser Fabrikbetriebe wünschenswert sein.

Bei der oben beschriebenen pH-Wertbestimmung des Luftstaubes sind zwei Fehlerquellen zu beachten, bzw. möglichst auszuschalten.

1. Deckglas und Schälchen müssen vor den Proben «desalkalinisiert» werden, um die Zuverlässigkeit der Probe nicht durch freiwerdendes Alkali aus dem Glase zu beeinträchtigen.

2. Die Wasserstoffionenkonzentration des zur Verwendung kommenden destillierten Wassers ist in einer Vorprobe zu bestimmen, nötigenfalls zu korrigieren, oder die Unstimmigkeit rechnerisch zu berücksichtigen. Das destillierte Wasser ist in den wenigsten Fällen genau neutral und vor allem bleibt sein pH-Wert nicht längere Zeit konstant.

F. Ergebnisse der Kondensationskernzählungen.

Da auch über die Zahl der Kondensationskerne in Davos im Freien keine Bestimmungen über eine längere Beobachtungsdauer vorlagen, mussten die Kernzählungen auch im Freien durchgeführt werden.

Als Standort für die Beobachtungen in Davos war wieder der schon bei den Staubzählungen erwähnte Balkon des Sanatoriums «Schweizerhof» gewählt worden.

Die nach Monaten gemittelten Ergebnisse dieser Bestimmungen sind in Tabelle 12 enthalten.

Monatsmittel der Kernzahlen. (Kerne / cm³ Luft.)

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Jahr
218 000	168 500	201 000	105 000	68 000	31 000	55 000	(54 400)	53 700	120 000	144 000	177 000	116 300

TAB. 12.

Da man weiss, dass mit zunehmender Höhenlage im allgemeinen die Kernzahl abnimmt, so liessen mich die obigen, in Davos gefundenen ausserordentlich hohen Werte an einen methodischen Fehler denken. Erst Vergleichsmessungen am Bodensee, in Zürich und in 3000 m Höhe, zerstreuten diese Zweifel.

Die gefundenen Kernzahlen sind:

1. Weissfluhgipfel	(Winter)	3000 m	95
2. Weissfluhjoch	(Winter)	2700 m	190
3. Höhenweg/Davos	(Winter)	2200 m	1 700
4. Arbon a/Bodensee		400 m	32 000
5. Zürich	(Winter)	400 m	160 000
6. Davos	(Sommer)	1600 m	48 500
Davos	(Winter)	1600 m	165 400

Es zeigt sich, dass für das Tiefland und die unbewohnten Berglagen die zu erwartende Gesetzmässigkeit der abnehmenden Kernzahlen mit zunehmender Höhe besteht, dass aber die in Davos gefundene Kernzahl Z sich nicht in die Regel einfügt.

Man hält oft die Kenntnis der Kondensationskernzahl für einen zuverlässigen Masstab für den Verunreinigungsgrad der Luft; ja man ist versucht, sie für eine feinere Indikation als die Angabe des Luftstaubgehaltes einzuschätzen (47).

Wenn diese Voraussetzung den Tatsachen entsprechen würde, so käme Davos in Bezug auf Luftreinheit weit hinter den Industrieort am Bodensee und etwa in den gleichen Rang wie Zürich zu stehen; was aber selbstverständlich in Wirklichkeit nicht zutrifft. (Vergl. Staubzahlen oben.)

Wir deuten dieses Phänomen folgendermassen:

Der weitaus massgebendste Faktor für die Bildung der Kondensationskerne ist der Rauch. Das relativ dicht besiedelte Davoser Hochtal ist besonders im Winter sehr windarm, sodass die durch Rauch kernreiche Luft über der Ortschaft stagniert. Dazu kommt, dass die Luftfeuchtigkeit ausserordentlich gering ist, wodurch es den Kondensationskernen erschwert ist, Tröpf-

chen zu bilden. (Vergl. Versuche über künstliche Luftbefeuchtung S. 72.)

Ganz anders liegen die Verhältnisse im Tiefland:

Ueber der Grosstadt werden noch viel mehr Kondensationskerne durch Rauchentwicklung gebildet, als im Davosertal. Sie werden aber durch den meist stärkeren und häufigeren Wind viel leichter weggetragen und sie haben ausserdem bei der höheren Luftfeuchtigkeit des Tieflandes viel grössere Leichtigkeit sich abzusättigen, d. h. Wassertröpfchen zu bilden. Die mikroskopisch kleinen Tröpfchen brauchen nicht rasch abzusinken, sondern lagern als Dunst oder Nebel über der Stadt.

Sobald die Kondensationskerne aber abgesättigt sind, also Dunst- oder Nebelteilchen bilden, werden sie im Aitken'schen Instrument nicht mehr berücksichtigt; denn der Nachweis beruht ja gerade auf der Fähigkeit der Kondensationskerne, Tröpfchenbildung zu veranlassen.

Aus diesen Feststellungen geht hervor, dass die Grösse der Kernzahl *Z* keineswegs geeignet ist, einen Begriff für den Verunreinigungsgrad der Luft, einer Siedelung im Hochgebirge im Vergleich mit Orten des Tieflandes, zu geben.

a) Witterungseinflüsse auf die Kernzahlen im Freien.

Für die Zahl der Kondensationskerne besteht in grober Andeutung derselbe Zusammenhang mit der Windrichtung, wie er bei der Beschreibung der Staubzahlen gezeigt wurde (vergl. Fig. 5).

Zeit	Wind	Davos (1600 m)	Höhenweg (2200 m)	Weissfluhjoch (2700 m)	Weissfluhgipfel (3000 m)	
14. Februar 1933	9 ⁰⁰	O 140 000 (545)				
	10 ⁰⁰	O	1750			
	11 ⁰⁰	NW 4—5	.....	(3,7)	
	12 ³⁰	W 5—6	.....		60 (1,3)
	14 ⁰⁰	W 5—6	.....		
	16 ⁰⁰	WSW 2—3	.....		
	17 ⁰⁰	O	180 000 (276)	720 (1,6)	40 (0,8)	15 (0)
27. Februar 1933	8 ³⁰	O 24 000 (426)	.....		
	9 ³⁰	SW 1—2	.....	10 000	
	10 ³⁰	SW 0—3	.....	3600	
	12 ⁰⁰	SW 2—3	(5,6)	340 (1,2)	140 (0,3)
	14 ⁰⁰	SW 2—3		320	
	15 ⁰⁰	SW 1			
	16 ⁰⁰	O	300 000 (230)			
			(2,3)			

TAB. 13.

(Die Zahlen im Klammern bedeuten die gleichzeitig gezählten Staubteilchen/cm³ Luft.)

In Tab. 13 kommt der Einfluss der Windrichtung und der Windstärke auf die Kernzahl sehr deutlich zum Ausdruck. Ebenso bestätigt sich die Regel der abnehmenden Kernzahlen mit zunehmender Höhe.

Während der Wind am 14. II. aus unbesiedeltem Berggebiet wehte, brachte er am 27. II. deutlich kernreiche Luft aus der im SW der drei obern Beobachtungsorte liegenden Talschaft Davos.

Föhnlage zeichnet sich auch in Bezug auf die Kondensationskernzahlen durch besondere Luftreinheit, in diesem Fall durch kleine Z-Werte aus.

Die grössten Z-Zahlen wurden (bis 400 000) in Davos bei maritimen Warmlufteinbrüchen, meist gefolgt von Regen, beobachtet. Die kleinsten Werte bis hinunter zu 2000—3000 wurden während Regenfällen gemessen.

Die starke Kernzahlverminderung bei Niederschlag kommt daher, dass ein Teil der Kondensationskerne selbst zur Bildung von Regentropfen benötigt wird, wohl aber eine noch grössere Zahl durch die fallenden Tropfen mitgerissen wird.

b) Tagesgang der Kernzahlen im Freien.

Im Sommer liess sich eine gesetzmässige Abhängigkeit von der Tagesstunde nur insofern feststellen, als ein leichter Rückgang der Kernzahlen mit dem regelmässigen Auftreten des Mittagswindes einherging.

Im Winter ist der Tagesgang ausgesprochener, ist aber im Wesentlichen kein natürlicher, indem die höchsten Werte für Z stets zur Zeit der intensivsten Rauchentwicklung (am Vormittag) beobachtet werden.

2. Kernzählungen im Zimmer.

Im Zimmer wurden durchwegs geringere Werte für Z gefunden als im Freien. Selbst unmittelbar nach erfolgter Lüftung waren die Zimmerwerte meist beträchtlich geringer, als sie Freiluftbestimmungen auf dem Balkon des Sanatoriums ergaben.

Die im Sanatoriumszimmer gefundenen Kernzahlen waren:

Monatsmittel der Kernzahlen im Zimmer (Kerne/cm³ Luft).

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Jahr
31 500	24 000	30 500	25 600	24 000	22 800	22 000	(23 000)	25 000	17 200	29 400	24 600	25 000

TAB. 14.

Im Mittel aus über 1000 Beobachtungen betrug das Verhältnis

$$\frac{Z \text{ im Zimmer}}{Z \text{ im Freien}} = \frac{18}{100}$$

Daraus erklärt sich der aus Tab. 14 ersichtliche, gegenüber dem in Tab. 12 enthaltenen Jahresgang der Kernzahlen im Freien sehr stark abgeschwächte Jahresgang im Zimmer.

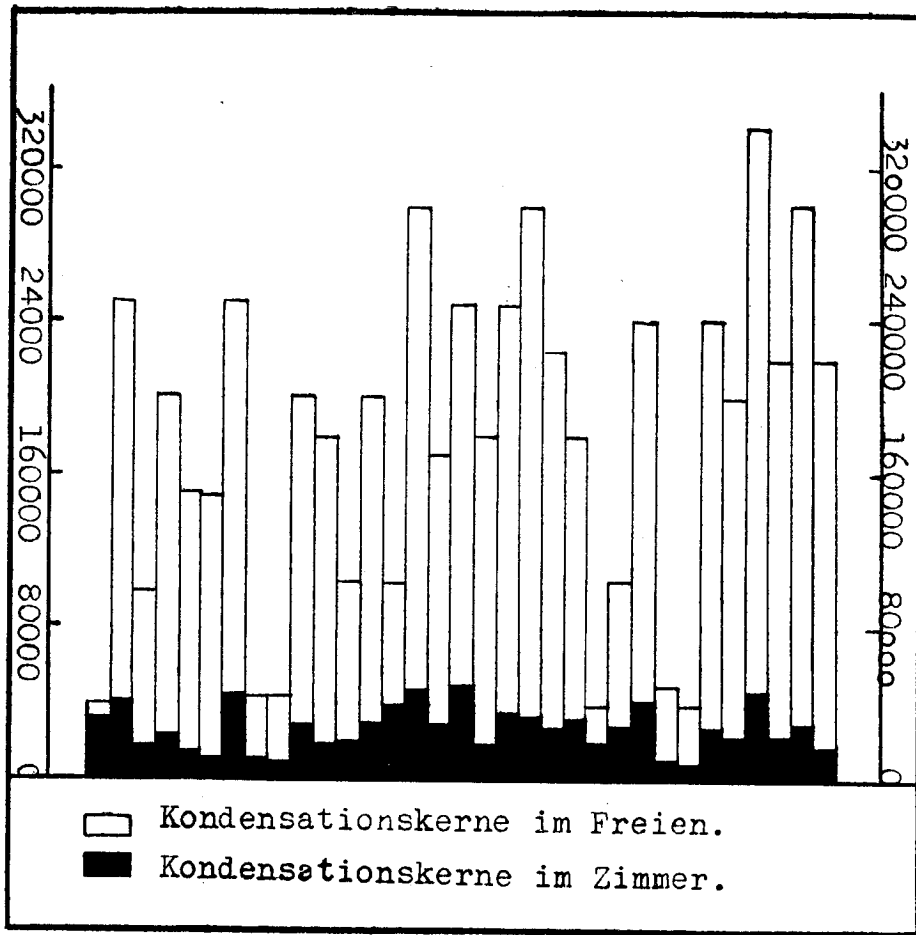


Fig. 8.

Das aber auch die momentanen Schwankungen der Kernzahlen im Freien sich mit einer um etwa $\frac{4}{5}$ abgeschwächten Amplitude auf das geschlossene Zimmer übertragen, geht aus Fig. 8 hervor. Diese Figur stellt nur einen kurzen Ausschnitt aus einer Reihe aufeinanderfolgender Kernzählungen aus dem Monat November dar.

Nachdem wir gesehen haben, dass selbst die viel größeren Staubpartikel vom Freien ins geschlossene Zimmer dringen, so ist nicht anzunehmen, dass der Grossteil der Kondensationskerne aus irgend einem Grunde daran verhindert wird, ins Zimmer zu gelangen. Viel wahrscheinlicher ist es, dass sie nach dem Eindringen ins Zimmer sehr rasch zu Grunde gehen. Das rasche

Verschwinden scheint durch plötzlichen Temperatur- und Luftfeuchtigkeitswechsel verursacht zu sein, indem sie durch spontane Absättigung (Tröpfchenbildung) dem Nachweis entgehen. Für diese Annahme spricht die Beobachtung, dass der Quotient Z im Zimmer in der kalten Jahreszeit am grössten ist, dann, wenn auch die grössten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsdifferenzen zwischen innen und aussen bestehen.

Z im Freien

ten ist, dann, wenn auch die grössten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsdifferenzen zwischen innen und aussen bestehen.

a) Einfluss der Lüftung.

Ausser während Regenfällen nahm die Kernzahl bei der Lüftung des Zimmers in demselben stets beträchtlich zu. Vom Schliessen der Fenster bis zum wiedererreichten Normalzustand, verging im allgemeinen eine Zeit von 3—4 Stunden. (Vergl. Fig. 12.)

b) Einfluss künstlicher Luftbefeuchtung.

Durch künstliche Befeuchtung der Zimmerluft geht die Zahl der Kondensationskerne beträchtlich zurück. Während in 2 Versuchszimmern bei gleichen Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen annähernd gleichviel Kerne gezählt wurden, sank in dem einen Zimmer, wo die Luftfeuchtigkeit nachträglich künstlich verdoppelt worden war, gegenüber Z im andern unbeeinflussten Zimmer um rund 25% (Mittel aus 100 Beobachtungen). Aus Fig. 15 ersehen wir, dass durch Rauchen künstlich erzeugte Kondensationskerne im Zimmer mit erhöhter Luftfeuchtigkeit bedeutend rascher verschwanden (abgesättigt wurden), als im Zimmer mit trockenerer Luft.

3. Geladene Kondensationskerne.

Ein Teil der Kondensationskerne trägt eine Elementarladung ($4,77 \cdot 10^{-10}$ el. stat. Einh.). Diese geladenen Kerne stellen *schwere Ionen* dar.

Die geladenen Kerne = Schwerionen, werden mit N bezeichnet, während die ungeladenen Kerne das Zeichen N_0 haben.

Das von mir in Davos gefundene Verhältnis $N_0 : N$ ist nach Monaten gemittelt in Tabelle 15 enthalten.

Als Mittelwert für das ganze Jahr fand ich im Sanatoriumszimmer

$$N_0 : N = 2,05.$$

Es ist dies eine sehr gute Uebereinstimmung mit den Werten, die nach Schachl (49)

V. F. Hess auf Helgoland	= 2,2
J. J. Nolan u. P. J. Nolan in Glencree	= 2,2
J. Scholz für Freiluft	= 2,2 und
J. Scholz für Kellerluft	= 2,0

fanden.

Da die Kernzahlen mit steigender Feuchtigkeit abnehmen, die Schwerionen aber dagegen eher zahlreicher werden, so ist bei hoher Luftfeuchtigkeit der Quotient $N_0 : N$ kleiner, d. h. es sind prozentual mehr geladene Kerne vorhanden, als bei trockener Luft.

Bei meinen Beobachtungen scheint sich im allgemeinen die Feststellung Israels (61) zu bestätigen, nämlich dass prozentual umsomehr Kerne geladen sind, je kleiner die Gesamtzahl aller Kerne ($N + N_0 = Z$) ist.

G. Ergebnisse der Ionenzählungen.

Den im folgenden gegebenen Zahlen und Kurven liegen gegen 3000 Einzelbeobachtungen zu Grunde. Auf eine vollständige Wiedergabe des Messprotokolls ist schon aus dem Grunde verzichtet worden, weil eine solche Aufstellung keinen befriedigenden Ueberblick zu gewähren geeignet ist. Das grosse Zahlenmaterial ist deshalb nach folgenden Gesichtspunkten gewertet und zusammengestellt worden:

1. Normales Verhalten der Ionenzahlen im ungestörten Zimmer (Tagesgang; Jahresgang).
2. Einfluss spezieller meteorologischer Faktoren auf die Ionenzahlen im geschlossenen Zimmer.
3. Einfluss des Bewohnens auf die Ionenzahlen im geschlossenen Zimmer
4. Veränderung der Ionenzahlen durch künstliche Beeinflussung.
5. Das Verhalten der mittelschweren Ionen.

Zur Entlastung des Textes und der Figuren sind die folgenden, in der Fachliteratur gebräuchlichen Bezeichnungen verwendet worden. Es bedeutet:

$N +$ und $N -$ = Anzahl der positiven bzw. negativen Schwerionen.

$n +$ und $n -$ = Anzahl der positiven bzw. negativen Leichtionen.

n = Summe der positiven und der negativen Leichtionen.

N = Summe der positiven und der negativen Schwerionen

N_i = Summe der positiven und negativen mittelschweren (intermediären Ionen).

$$q = \text{Quotient } \frac{n +}{n -} = \frac{\text{positive leichte}}{\text{negative leichte Ionen.}}$$

$$Q = \text{Quotient } \frac{N +}{N -} = \frac{\text{positive schwere}}{\text{negative schwere Ionen.}}$$

Z = Anzahl der Kondensationskerne (geladene + ungeladene).

N_0 = Anzahl der ungeladenen Kondensationskerne.

(Die Anzahl der Ionen oder der Kondensationskerne bezieht sich stets auf einen cm^3 Luft.)

1. Normales Verhalten der Ionenzahlen im ungestörten geschlossenen Zimmer.

Die für die Anzahl leichter und schwerer Ionen sowie für die Zahl der Kondensationskerne und ihrer Quotienten gefundenen Werte wurden monatsweise gemittelt und in Tabelle 15 zusammengestellt.

Monat	Leichte Ionen		Schwere Ionen		$\frac{N}{n}$	N + n	Kondens Kerne	
	n	$\frac{n+}{n-}$	N	$\frac{N+}{N-}$			Z	$\frac{N_0}{N}$
Januar	730	1,14	11 900	1,03	16,3	12 630	31 500	1,64
Februar	860	1,26	8 110	1,01	9,4	8 970	24 000	1,96
März	970	1,20	9 230	1,00	9,5	10 200	30 500	2,30
April	1 360	1,11	6 770	1,01	5,0	8 130	25 600	2,77
Mai	1 370	1,19	8 280	0,99	6,0	9 650	24 000	1,91
Juni	1 690	1,14	8 925	0,94	5,3	10 615	22 800	1,67
Juli	2 420	1,12	6 120	0,96	2,5	8 540	22 000	2,60
(August)	2 340	1,14	6 395	0,95	2,7	8 735	23 000	2,60
September	2 260	1,15	6 670	0,94	2,9	8 930	25 000	2,75
Oktober	1 640	1,09	7 280	1,02	4,4	8 920	17 200	1,37
November	1 080	1,12	10 780	1,04	10,0	11 860	29 400	1,74
Dezember	950	1,23	10 620	1,05	11,2	11,570	24 600	1,33
Jahr	1 465	1,15	8 430	0,99	7,1	9 895	25 000	2,05

TAB. 15.

Die Werte der Tabelle lassen deutlich den ausgesprochenen Jahresgang der Anzahl leichter und schwerer Ionen erkennen.

Gegenüber einem Jahresmittel von rund 1500 an leichten Ionen wurde im Januar ein Minimum von 730, im Juli dagegen ein Maximum von 2420 leichten Ionen festgestellt. Umgekehrt verhält sich der Jahresgang der schweren luftelektrischen Träger. Bei einem durchschnittlichen Jahreswert von 8500 Langevin-Ionen stehen den hohen Ionenzahlen der Heizperiode die Sommerwerte mit 6000—7000 Ionen gegenüber. In starkem Mass, nämlich von 2,5 bis 16,3 variiert das Verhältnis der schweren zu den leichten Trägern.

Die Erklärung für diesen Jahresgang bietet uns ein Vergleich mit den Verhältnissen im Freien. Da die Apparatur zur Zählung der schweren Ionen nicht leicht transportabel ist und mir zwei gleiche Apparate nicht zur Verfügung standen, konnten Parallelmessungen im Zimmer und im Freien nicht durchgeführt werden. Doch standen mir die Resultate der Ionenmessungen zur Verfügung, die im vorangehenden Jahr am Observatorium Davos im Freien durchgeführt worden waren. Dieses Beobachtungsmaterial (68) kann zweifellos als typisch für die Ionenverhältnisse der Davoser Hochtallage gelten und ist meinen im Zimmer gefundenen Ergebnissen in Fig. 9 gegenübergestellt worden.

Wir sehen, dass zwischen dem Gang der leichten Ionen im Freien und im geschlossenen Zimmer ein deutlicher Parallelismus besteht. Weniger scharf ausgesprochen, aber immer noch deutlich erkennbar gilt dies für die Aussen- und Innenverhältnisse der schweren Ionen im Jahresturnus. Die Abweichungen vom Mittelwert sind für die Langevin-Ionen im Freien bedeutend grösser. Der Jahresgang aller luftelektrischen Träger ist inmitten einer grösseren Ort-

Jahresgang der Ionen
in Davos.

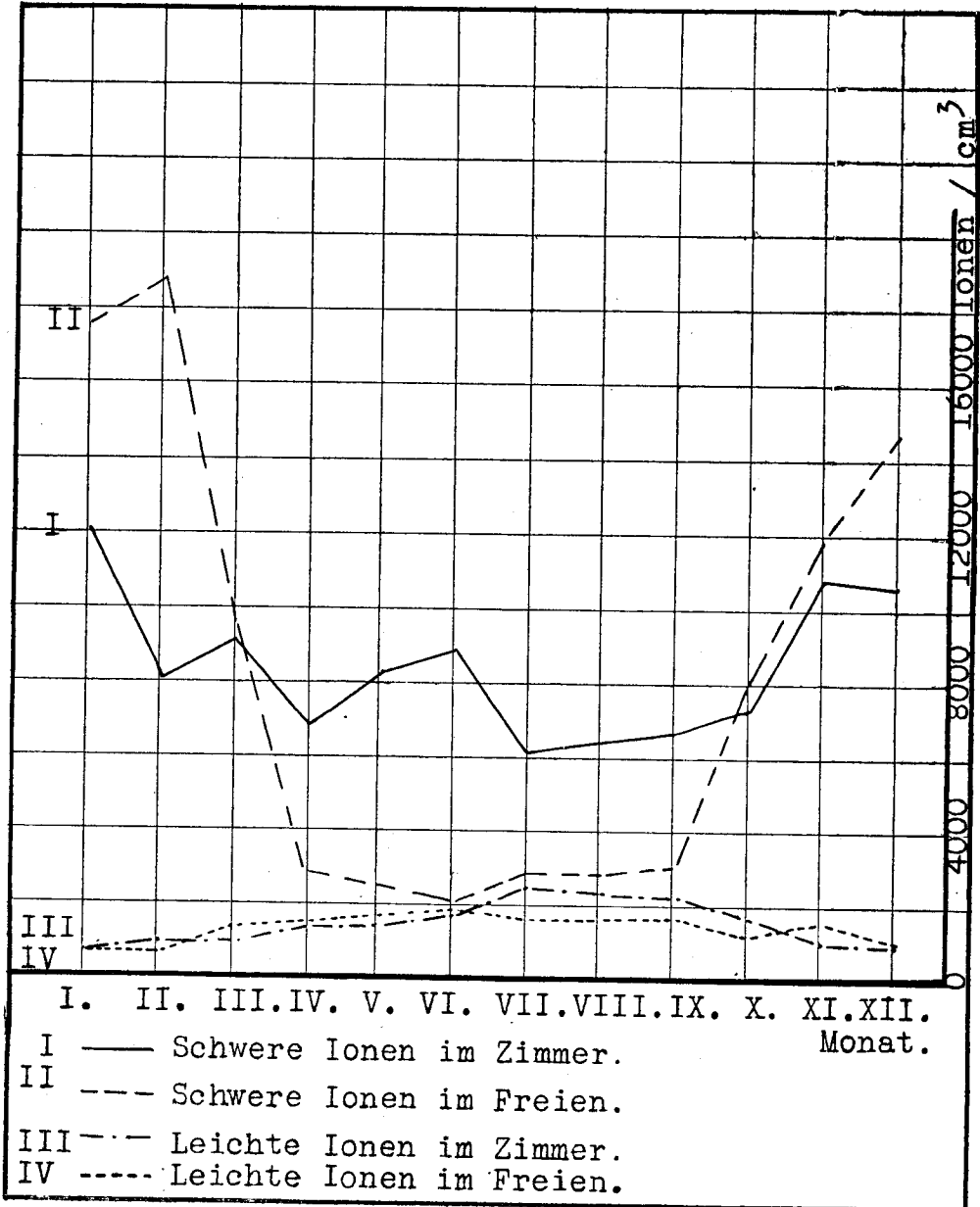


Fig. 9.

schaft oder gar in der Grosstadt, kein absolut natürlicher, sondern im wesentlichen von der Bebauungsdichte und der damit verbundenen Rauchentwicklung bedingt. Die Winterwerte für Langevin-Ionen sind für Davos grösstenteils nur infolge der Rauchentwicklung während der Heizperiode um ein Vielfaches höher als im Sommer. In einem Industriezentrum, wo das ganze Jahr hindurch Fabrikschlote rauchen, sind die jahreszeitlichen Unterschiede bedeutend geringer.

Der Zufall spielte uns ein überaus deutliches Beispiel der Wirkung des Rauches auf die Ionenzahlen in die Hände. Es konnten nämlich Ionenzahlungen im Freien während einer in etwa $\frac{1}{2}$ km vom Observatorium stattfindenden Feuersbrunst angestellt werden. Dabei wurden 83 000 schwere Ionen gemessen; rund das Achtfache des zur selben Stunde normalen Wertes.

Da nun das Verhältnis $\frac{N}{n}$ abhängig ist von der Reinheit der Luft, so kann uns dieser Ausdruck einen gewissen Einblick in den Verunreinigungsgrad der Luft vermitteln. Je reiner die Luft ist, um so kleiner wird also der Quotient $\frac{N}{n}$. Zur Illustration mögen einige Beispiele dienen:

Beobachter	Ort	$\frac{N}{n}$
Mc. Celland	Dublin	200
Mc. Laughlin	Paris	130
Israel	Frankfurt a/M.	Sommer 6,7
		Winter 27,2
Mörikofer und Chorus	Davos	Sommer 1,5
		Winter 13,2
Eigene Beobachtungen	Davos (Zimmer)	Sommer 2,5
		Winter 16,3
Kennedy	Dalkey (W. Küste Irland)	1,4

Der Gedanke, diesen Quotienten auf die Zimmerluft anzuwenden, ist naheliegend. Wir müssten also gewissermassen die zunehmende Verschlechterung der Luft eines geschlossenen Raumes, mit der fortschreitenden Zeit nach der Lüftung und der Intensität der Bewohnung, in diesem Quotienten verfolgen können. Inwieweit dies zutrifft, ist in Abschnitt 3 beschrieben.

Schon nach relativ kurzer Beobachtungsdauer zeigten sich zu verschiedenen Tageszeiten Unterschiede der Ionenzahlen, die eine gewisse Tagesperiodizität erkennen liessen. Diesem Verhalten habe ich versucht durch 24-stündige Messerien auf den Grund zu kommen, was auch überaus gut geglückt ist. Wenn wir nämlich die Messresultate nach Beobachtungsstunden geordnet, in ein 24-Stundendiagramm eintragen und die gemessenen Zahlen für jede Tagesstunde über einen längeren Zeitabschnitt hinweg arithmetisch mitteln, so kommen für die leichten und die schweren Ionen Kurven zustande, wie sie in Fig. 10 für die drei Herbstmonate wiedergegeben sind (Kurve I und II).

Tagesgang der Ionen in Davos (Herbst).

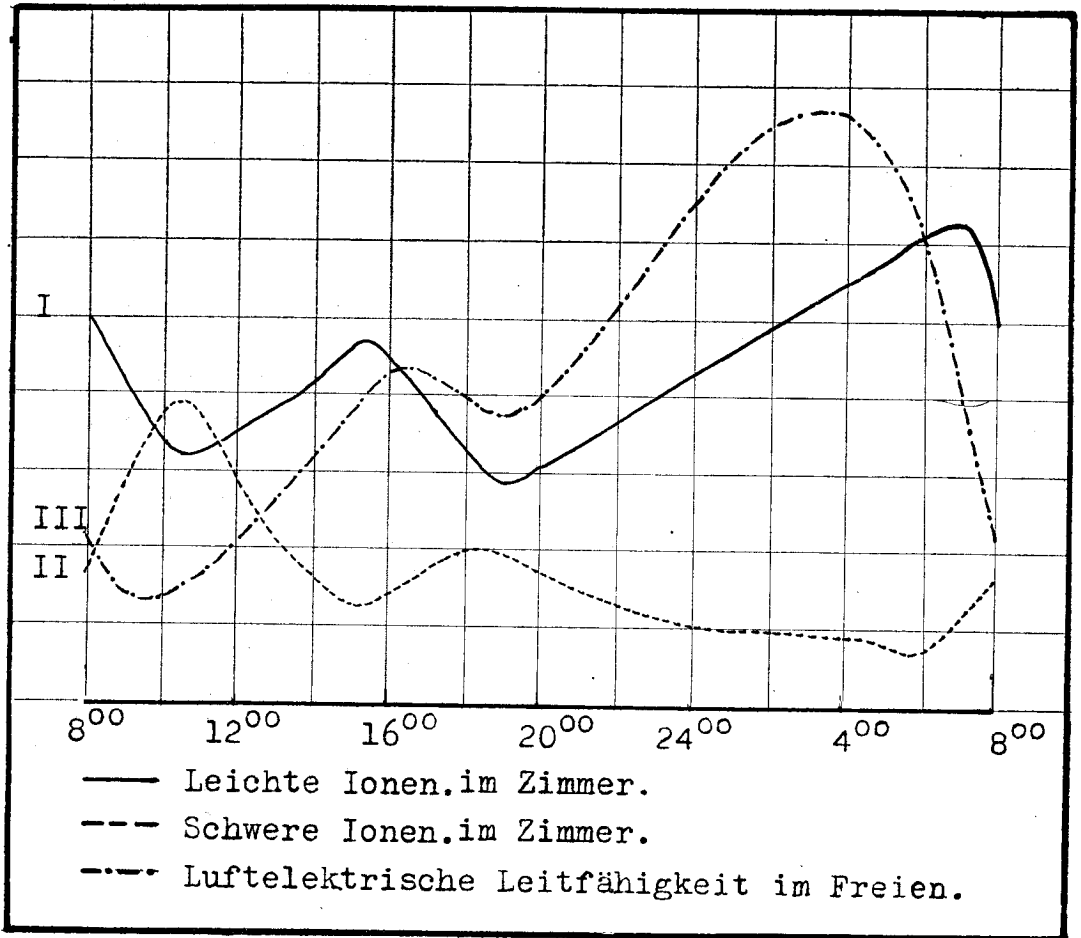


Fig. 10.

Dass der Verlauf der schweren lufterlektrischen Träger sich demjenigen der leichten gegenüber spiegelbildlich verhält, ist in der Entstehung der schweren Ionen aus den leichten bedingt.*

Da aus dem Freien keine Nachtwerte von Ionenzählungen vorliegen, können wir wenigstens für die leichten Ionen als Vergleichsmaterial, die in überragendem Masse von diesen bedingte lufterlektrische Leitfähigkeit verwenden.

In Fig. 10 ist die von Dorno (3) bestimmte, für die Herbstmonate in Davos geltende Leitfähigkeit in Beziehung zu den von mir gefundenen Ionenzahlen gesetzt worden (Kurve III).

*) Es ist zu beachten, dass in Fig. 10 aus Gründen der bessern Anschaulichkeit für die Zahlen der Schwerionen ein zehnmaler kleinerer Maßstab gewählt wurde, als zur Darstellung der Kleinionenzahlen.

Aus dieser Figur lässt sich erkennen, dass die Zahl der leichten Ionen im Zimmer, der Leitfähigkeit und damit auch der Zahl der Leichtionen im Freien weitgehend parallel verläuft. Eine gelegentliche Verspätung und vor allem die geringere Amplitude der Schwankungen zeigen, dass die Schwankungen der Ionenzahlen im Freien sich in stark abgeschwächtem Masse ins geschlossene Zimmer fortpflanzen.

Die beiden Minima der Leichtionen-Zahlen in den Morgen- und Abendstunden hängen mit der in dieser Zeit meist vorkommenden Dunstbildung zusammen. (Siehe folgenden Abschnitt.)

Trotzdem einem Rückgang der leichten Ionen eine Zunahme der Langevin-Ionen gegenübersteht, so ist die Ionensumme zu verschiedenen Tageszeiten keineswegs konstant. Wie gross die Schwankungen der Ionensummen an demselben Tag sein können, wird durch folgende Beispiele gezeigt:

14. XI. 10⁰⁰ Leichtionen: 710; Schwerionen: 15 320; Summe 16 030

14. XI. 24⁰⁰ Leichtionen: 1 790; Schwerionen: 4 580; Summe 6 370

Noch beträchtlicher sind aber die Unterschiede der Ionensummen zu verschiedenen Jahreszeiten. Als Extremwerte im ungestörten Zimmer habe ich folgende Zahlen gefunden:

26. I. 11⁰⁰ Leichtionen: 355; Schwerionen: 31 070; Summe: 31 425

15. VII. 9⁰⁰ Leichtionen: 5480; Schwerionen: 5 580; Summe: 11 060

Bei der Aufstellung von Monats- und Jahresmitteln dürfen deshalb die beobachteten Ionenzahlen nicht wahllos gemittelt werden da sonst leicht beträchtliche Ungenauigkeiten, verursacht durch den starken Tagesgang, die Auswertung in ihrer Zuverlässigkeit beeinträchtigen können.

In Tab. 15 und Fig. 9 wurden nur gleichmässig verteilte Beobachtungszahlen zwischen 8 und 18 Uhr verwertet. Die Nachtbeobachtungen wurden weggelassen, teils weil sie nicht für alle Monate gemacht worden waren, teils weil sie in den zum Vergleich herangezogenen Beobachtungen des Observatoriums im Freien gänzlich fehlen. Die reellen Monatsmittel mit einbezogenen Nachtwerten würden für die leichten Ionen etwas höher, für die schweren dagegen niedriger ausfallen. Die Messungen im August fielen wegen Abwesenheit des Beobachters aus; die Augustwerte sind aber zur Jahresmittelbildung interpoliert worden.

2. Einfluss spezieller meteorologischer Faktoren auf die Ionenzahlen im geschlossenen Zimmer.

Trotzdem sich meine luftelektrischen Messungen nur auf das Zimmer beziehen, traten gewisse meteorologische Einflüsse deutlich hervor. Es ergab sich nämlich, wie es schon bei der Beschreibung des Tagesganges gezeigt ist, dass die Ionen keineswegs vor Doppeltüre und -Fenster haltmachen, son-

dem mit geringer zeitlicher Verschiebung und beträchtlich geschwächter Amplitude sich vom Freien auf das geschlossene Zimmer fortpflanzen.

Die Einzelheiten der luftelektrischen Unterschiede bei verschiedener Witterung werden im Nachfolgenden ausgeführt; eine kurze Zusammenstellung der q - und Q -Werte zeigt, dass nicht nur die Zahl, sondern auch das Verhältnis der positiven zu den negativen Ionen von der Witterung beeinflusst wird.

Mittelwerte für q und Q bei verschiedener Witterung:

	q	Q
im Jahresmittel	1,15	0,99
bei Dunst	1,22	1,02
bei Regen	0,96	0,93
bei Schneefall	1,08	0,98
bei Föhn	1,13	1,03

TAB. 16

a) Einfluss der Dunstbildung.

Ganz allgemein konnte ich feststellen, dass bei Dunst stets die Minima der Leitchionenzahlen zu beobachten sind. Diese Feststellung trifft sowohl für den Einzelfall, wie für den Tages- und den Jahresgang zu, was schon oben bei der Erörterung des Tagesganges gezeigt wurde.

Ausserdem finden wir in den dunst- und rauchreichen Tages- und Jahreszeiten erhöhte Werte für q und Q , was wir um so eher mit der Vermehrung positiver Träger in Beziehung setzen möchten, als wir auch bei Versuchen mit Zigarrettenrauch eine Zunahme von q und Q gefunden haben (vergl. unten).

b) Einfluss der Niederschläge.

Bei Niederschlägen wurde sehr oft q und $Q < 1$ gefunden. Der Grund dafür ist dem Physiker wohlbekannt und liegt in dem sogenannten *Lenard-effekt*, der Entstehung von negativen Ionen durch Zerspritzen von Wassertropfen. In der Natur ist dieser Effekt besonders deutlich in unmittelbarer Nähe von Wasserfällen zu verfolgen. (Ueber experimentellen Nachweis des Lenardeffektes unten).

Die Neigung zu einer negativen Unipolarität wurde sehr oft bei Regen und etwas weniger deutlich, aber doch erkennbar bei Schneefall gefunden (vergl. Tab. 16).

c) Einfluss der Windrichtung.

Eine deutliche Abhängigkeit der Ionenzahlen im geschlossenen Zimmer von der Windrichtung war im allgemeinen nicht festzustellen; ein eindeutiger Zusammenhang trat einzig bei *Föhn* in Erscheinung. Einem Ansteigen der Zahl der leichten Ionen steht eine Abnahme der schweren Träger gegenüber. Dieses Verhalten bei Föhn ist auch von Israel, Storm van Leeuwen und anderen beobachtet worden. Man erklärt sich diese Erscheinung als Folge der durch den Föhn verursachten Zufuhr trockenerer und reinerer Luft.

Beobachtete Mittelwerte:

		N	$\frac{N}{n}$
Normal	1050	9700	9,2
bei Föhn	1430	8080	5,6

Immer noch vertreten verschiedene Forscher die Ansicht, dass die sogenannte «Föhnkrankheit» auf einer den Föhn begleitenden Aenderung im Ionisationsgleichgewicht der Atmosphäre beruhe. Oft soll eine negative Unipolarität, d. h. der Quotient $\frac{n^+}{n^-} < 1$ beobachtet worden sein. Fig. 11 gibt die Häufigkeit der gefundenen q-Werte für meine Beobachtungen in Davos und zwar für 29 Fälle von Föhn, gegenüber rund 400 föhnfreien Fällen wieder.

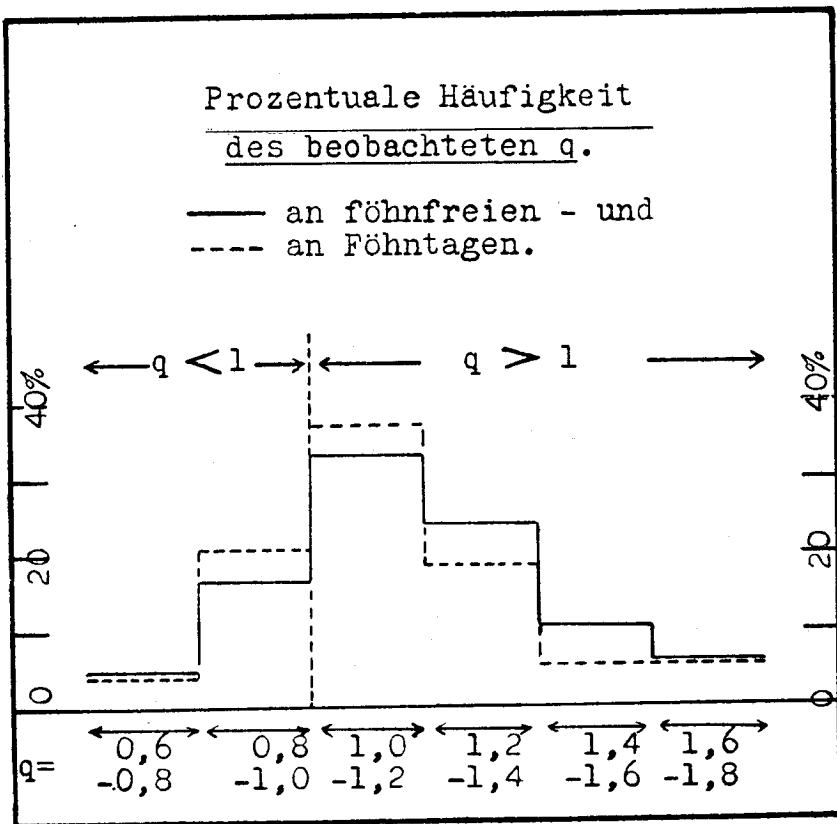


Fig. 11.

Nur in $\frac{1}{4}$ aller Beobachtungen bei Föhn wurde $q < 1$ gefunden. Es ist dies gegenüber den Messungen ohne Föhn nur ein Unterschied von 4%. Ein Vorherrschen negativer Unipolarität lässt sich somit aus meinem Material in keiner Weise ableiten.

Die Annahme, in den luftelektrischen Erscheinungen die Ursache der Föhnkrankheit zu finden, ist inzwischen von mehreren Forschern widerlegt worden.

Vor allem durch die Beobachtungen und Experimente Storm van Leeuwens (65) ist die seinerzeit rechtverbreitete Ansicht sehr ins Wanken gebracht, wenn nicht gar vernichtet worden.

Gleichzeitige, ausführliche, noch nicht veröffentlichte Untersuchungen am Observatorium Davos haben zu genau denselben Ergebnissen geführt.

Ich habe öfter versucht, meine Ionenbeobachtungen mit dem Befinden mehrerer Patienten in Beziehung zu setzen, doch ohne jeden Erfolg.

Der oben erwähnte Anstieg der leichten Ionen ist kein besonderes Charakteristikum für Föhnlage, sondern deutet ganz einfach auf sehr grosse Luftreinheit. Eine solche macht sich noch ausgesprochener unmittelbar nach ausgiebigen Schneefällen, also bei ganz andern Witterungsbedingungen als Föhn, bemerkbar.

3. Einfluss des Bewohnens auf die Ionenzahlen im geschlossenen Zimmer.

In diesem Abschnitt wird der Einfluss der Anwesenheit einer oder vieler Personen auf die Ionenzahlen im Zimmer beschrieben. Anschliessend wird auf die mit der Bewohnung verbundenen *natürlichen* Beeinflussungen (Lüftung und Heizung) eingegangen.

a) Bewohnung.

Je intensiver die Bewohnung eines Zimmers ist, umso mehr nimmt in diesem die Luftfeuchtigkeit zu (vergl. S. 28). Infolgedessen sollte man annehmen, dass mit ansteigender Feuchtigkeit die Zahl der Leichtionen zugunsten derjenigen der schweren abnähme, ähnlich wie wir das im Freien beim Auftreten von Dunst verfolgen können.

Nun haben wir aber oben festgestellt (S. 28), dass in einem Versuchszimmer von 50 m³ Inhalt die Feuchtigkeitszunahme durch die Anwesenheit von wenigen Personen nur etwa 5% oder 1 mm Hg beträgt und deshalb ist es nicht weiter verwunderlich, dass keine, eventuell durch die steigende Feuchtigkeit verursachte Aenderung der Ionenzahl, bemerkt werden konnte. Aber auch in einem Schulzimmer von 200 m³ Inhalt konnte, bei mehrstündiger Anwesenheit von 40 Schülern, trotz einer Zunahme der relativen Feuchtigkeit um rund 20%, bei sechs verschiedenen Versuchsreihen, kein wesentlicher Rückgang der leichten Ionen festgestellt werden.

Während im gewöhnlichen Versuchszimmer auch die q -Werte keinerlei Tendenz grösser zu werden oder abzunehmen zeigten, wurde im Schulzimmer in 5 von 6 Fällen ein deutliches Zurückgehen von q beobachtet. Um aber zu entscheiden, ob hier eine Zufälligkeit oder eine eventuelle Gesetzmässigkeit vorliegt, sind diese Beobachtungen zu wenig zahlreich.

Die erste Feststellung, dass selbst in einem sehr dicht bewohnten Raum die Zahl der leichten Ionen nicht zurückging, ist damit zu erklären, dass die Luft- und damit die Ionenerneuerung selbst bei geschlossenen Fenstern sehr intensiv ist. Eine eventuelle, durch zunehmende Feuchtigkeit verursachte Verminderung der leichten Ionen wird durch diese Lüfterneuerung vollkommen verwischt.

Ausserdem entstehen in jedem Zimmer ständig neue leichte Träger, sowohl durch Radiumemanation der Mauer, als auch durch kosmische Strahlung. Dass mit einer ständigen Neubildung zu rechnen ist, geht aus den Experimenten Storm van Steeuwens (65) hervor. Bei seinen Versuchen wurde einer hermetisch schliessenden Kammer nur Luft zugeführt, die ihre Ionen in einem Vorkondensator abgegeben hatte, sodass die Kammer nur entionierte Luft erhielt; trotzdem war aber die Kleinionenzahl in der Kammer nicht unter einen gewissen Minimalwert herunterzubringen. Für die Neubildung leichter Ionen im Zimmer spricht auch die Feststellung, dass häufig vor dem Lüften mehr leichte Ionen im Zimmer zu messen waren als nachher und dass sich bei täglich mehrmaligem Lüften im Winter diese Beobachtung stets wiederholte. Nach dem durch Lüftung erzielten Ausgleich zwischen innen und aussen nahm somit die Leichtionenzahl im Zimmer stets von selbst wieder zu.

Die Möglichkeit, die mit der Dauer und der Intensität der Bewohnung fortschreitende Verschlechterung der Zimmerluft in dem Quotienten $\frac{N}{n}$ zu verfolgen, wie S. 57 angedeutet wurde, besteht also für ein normales Zimmer, das nicht hermetisch verschliessbar ist, und in das die kosmische Strahlung einzudringen vermag, nicht.

Dass aber in einer hermetisch verschlossenen Stahlkammer von 20 m³ Inhalt, in welcher sich 7 Personen ca. 1 ½ Stunden lang aufhielten, die Kleinionen fast quantitativ zu schweren wurden, geht aus amerikanischen Versuchen (63) hervor. Die rasche Abnahme der Leichtionen wird noch unterstützt durch den Umstand, dass neben der Umbildung der Ionen von leichten in schwere, auch eine grosse Zahl der Leichtionen in den Atmungswegen der Versuchspersonen zurückgehalten werden, ein Vorgang, der durch den Aufenthalt so vieler Menschen in einem derartig kleinen Luftvolumen zu extremen Bedingungen führt.

Dass beim Einatmen der Luft die leichten Ionen grösstenteils in den Atmungswegen absorbiert werden, hat Janitzky gezeigt (53).

An anderer Stelle der eben zitierten amerikanischen Arbeit wird eine starke Abnahme der Kleinionen in einem gewöhnlichen Versammlungszimmer beschrieben. Doch handelt es sich dort zweifellos um einen Fehlschluss, der dadurch bewirkt wurde, dass die Personen in dem betreffenden Zimmer rauchen durften. Wie aber Rauch die ganze Ionenbilanz vollkommen um-

stürzt, dürfte bekannt und wird auf Grund eigener Versuche auf S. 67 genauer ausgeführt.

b) Lüftung.

Den in Fig. 10 und Fig. 9 dargestellten Tages- und Jahresgangkurven der Ionenzahlen haben wir entnommen, dass sich die Ionenverhältnisse im Freien in hohem Masse auf das geschlossene Zimmer fortpflanzen. Kleine oder grössere Differenzen zwischen Aussen- und Innenverhältnissen kommen durch Lüftungsbeobachtungen zum Ausdruck.

Im Sommer:

Da naturgemäss ein Zimmer meist in den Morgenstunden gelüftet wird, ist oft eine Verminderung der Zahl der Leichtionen mit der Lüftung verbunden, da vor dem Oeffnen der Fenster die hohen Leichtionenwerte der Frühstunden (vergl. Fig. 10) im Zimmer länger erhalten bleiben, als im Freien.

Beispiele:

	vor der Lüftung			nach der Lüftung		
	n	N		n	N	
21. VI.	800	1810	5080;	830	1460	7230

Zu andern Tageszeiten dagegen sind im Freien die leichten Ionen im allgemeinen zahlreicher als im geschlossenen Zimmer, sodass bei der Lüftung eine Zunahme der Kleinionen im Zimmer stattfindet:

	vor der Lüftung			nach der Lüftung		
	n	N		n	N	
10. VI.	1500	800	7830;	1600	1060	8010

Im Winter:

Bei sehr raschem Anstieg der Schwerionen im Freien, wie er im Winter in den Morgenstunden mit beginnender Rauchentwicklung aus den Heizungen auftritt, ist im Zimmer eine wesentliche Verzögerung und Abschwächung dieses Anstieges zu konstatieren. Wenn wir zu dieser Zeit starker Rauchentwicklung lüften, so dringen eine Menge schwerer Ionen und Kondensationskerne, also auch Rauchteilchen ins Zimmer ein, wie dies in Fig. 1 deutlich zu erkennen ist. Vom Schliessen des Fensters bis zu dem Augenblick, wo der ausgeglichene Normalzustand des Ionenbildes wiedererreicht ist, vergeht im allgemeinen eine Zeit von 3 Stunden. In Fig. 12 ist der zeitliche Verlauf der Abnahme der Schwerionen- und Kernzahlen im Mittel aus 40 Beobachtungsreihen dargestellt.

Für die Beständigkeit der kleinen Ionen ist keine feste Norm aufzustellen. Wenn, wie Hess auf Helgoland gemessen hat, die Kleinionen in sehr reiner Seeluft nur eine Existenzdauer von 3—5 Minuten aufweisen, so ist zu erwarten, dass sie im Zimmer inmitten einer grösseren Ortschaft in einem Bruchteil dieser Zeit zugrundegehen, und zwar, umso rascher, je mehr Verunreinigungen in Form von ungeladenen Kernen sich ihnen zur Anlagerung bieten.

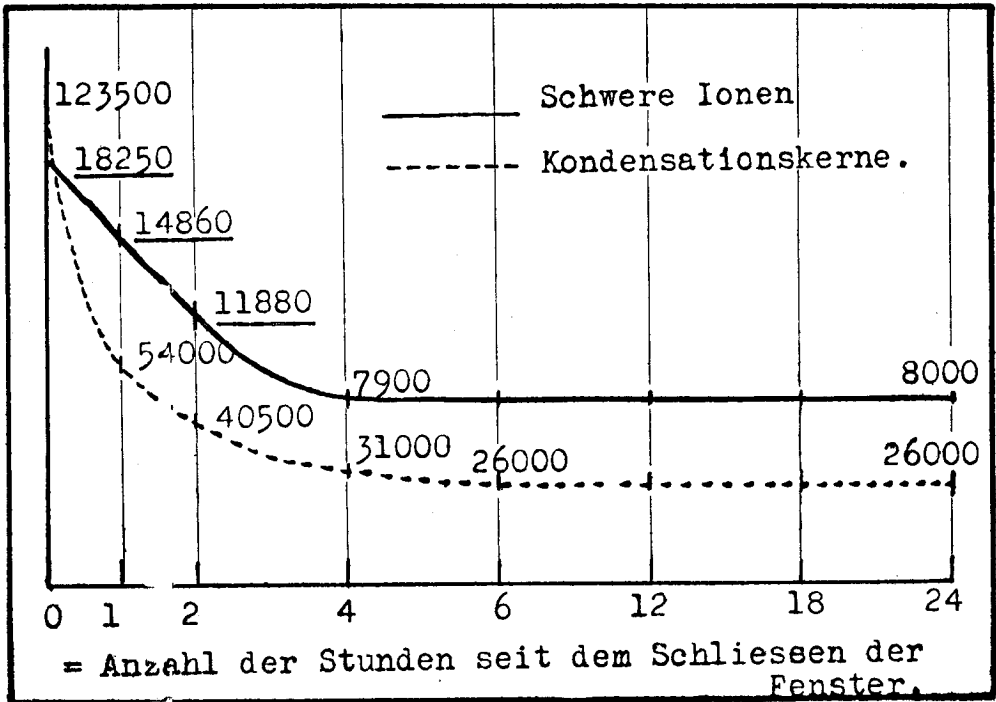


Fig. 12.

c) Heizung.

In Zimmern mit Zentralheizung konnte kein deutlicher Unterschied zwischen Hei- tagen und Tagen ohne Heizung für die Ionenzahlen gefunden werden. Dasselbe gilt für Zimmer mit Ofenfeuerung, natürlich unter der Voraus- setzung, dass keine Rauchentwicklung aus dem Ofen ins Zimmer gelangt.

4. - ränderung der Ionenzahlen durch künstliche Beeinflussung.

a) Luftbefeuchtung.

Wie w. S. 62 gesehen haben, war die Relation zwischen der zunehmen- den Feuch- tigkeit und dem Verhalten der Ionenzahlen auch bei intensiver Be- wohnung eines Raumes nicht befriedigend zu konstatieren. Um aber einen allfälligen Zusammenhang mit meinen Mitteln zeigen zu können, habe ich mehrere 24-stündige Versuchsreihen durchgeführt. In der Hälfte der Fälle wurde die Luftfeuchtigkeit nicht künstlich beeinflusst, in den andern Ver- suchen dagegen waren sowohl Dampfdruck wie relative Feuchtigkeit gegen- über den normalen Bedingungen verdoppelt. Diese starke Befeuchtung der Zimmerluft wurde mittels eines «Lucagra»-Verdunstlers zeitweise unterstützt durch Wasserverdampfung mit einem gewöhnlichen elektrischen Koch- apparat, erreicht.

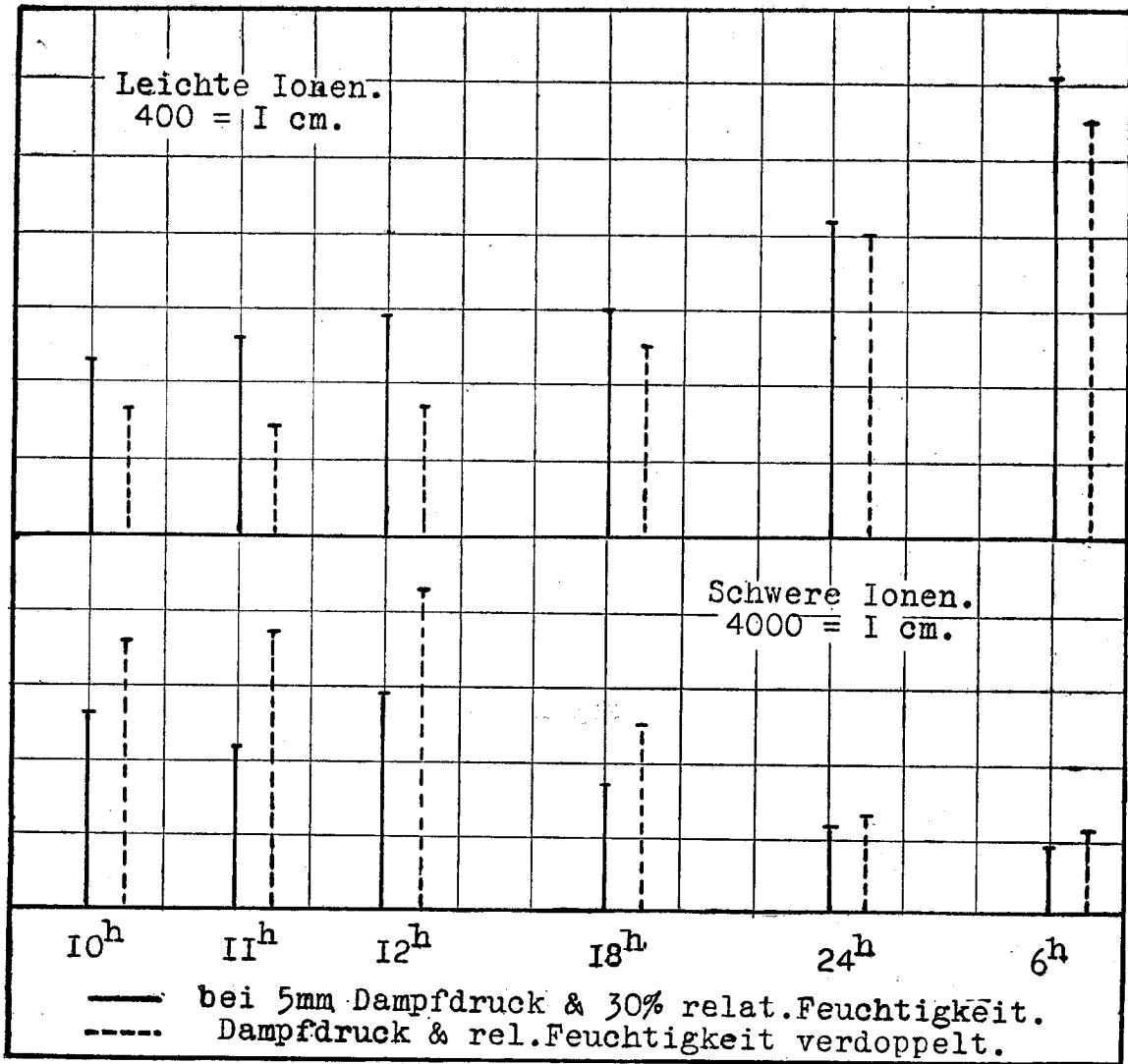


Fig. 13.

Wenn nun die in diesen Versuchen gemessenen Leicht- und Schwerionenzahlen nach absoluter bzw. relativer Feuchtigkeit, jedoch ohne Berücksichtigung der Beobachtungsstunde geordnet werden, so ergibt sich scheinbar kein Zusammenhang zwischen Luftfeuchtigkeit und Ionenzahlen. Fig. 13 zeigt aber, dass bei gebührender Berücksichtigung des Tagesganges ein Zusammenhang zwischen der Luftfeuchtigkeit und den Ionenzahlen, in dem Sinne, wie er nach theoretischen Ueberlegungen zu erwarten ist, durchaus besteht.

Die Differenzen der Ionenzahlen sind aber selbst bei einem 100%igen Feuchtigkeitsunterschied relativ gering, sodass diese kleinen Zustandsstörungen durch die viel grösseren normalen tagesperiodischen Schwankungen gänzlich verdeckt werden. Durch die Nichtberücksichtigung des Tagesganges der Ionen könnte auch der Befund Israels (59) Erklärung finden, dass die Schwerionen mit steigender relativer Feuchtigkeit zunehmen, bis 60% R. F., dann plötzlich umgekehrte Tendenz zeigen, um dann von 70% R. F. an aufwärts wieder zuzunehmen. Dass ein solches Verhalten nicht gut der Wirklichkeit entsprechen kann, nimmt auch Israel an.

Es muss also betont werden, dass bei der Aufstellung von Relationen, sei es zwischen meteorologischen, oder rein physikalischen Elementen und den Ionenzahlen, der Tagesgang der letzteren berücksichtigt werden muss, dass also nur Beobachtungen in den gleichen Tagesstunden und auch in gleichen jahreszeitlichen Intervallen liegend, einander gegenübergestellt werden dürfen.

b) Lenardeffekt.

Den Lenardeffekt konnte ich im Versuchszimmer sehr einfach nachweisen, indem ich den Strahl der Wasserleitung auf eine horizontal angebrachte Glasplatte plätschern liess, und dicht daneben die leichten Ionen mit dem Ebert'schen Apparat abfing. Die negative Unipolarität war aber nur in unmittelbarer Nähe des plätschernden Wassers zu konstatieren und der Effekt war zu schwach, um sich dem Luftvolumen des ganzen Zimmers mitzuteilen.

c) Tabaksrauch.

Eine einzige im geschlossenen Zimmer gerauchte Zigarette stört die normale Ionenbilanz vollständig. Die leichten Ionen vereinigen sich begierig mit den zahllosen beim Rauchen entstehenden ungeladenen Kondensationskernen und werden so zu schweren. Ein Durchschnittsbeispiel von der kleinionenzerstörenden Wirkung des Zigarettenrauches gibt folgende Zahlen:

	n	q	EN	q	$\frac{N}{n}$
Vor dem Rauchen	1480	1,12	8 750	1,01	5,9
Nach dem Rauchen	355	1,34	22 200	1,06	62,7

Die luftelektrische Nachwirkung einer gerauchten Zigarette in einem geschlossenen Zimmer von 50 m³ Inhalt beträgt 3—4 Stunden. Die Wirkung des Tabaksrauches auf die Ionen dürfte allgemein bekannt sein, scheint aber dann und wann vergessen zu werden (s. S. 63). Der Quotient q wurde bei Rauch grösser als im Normalzustand der Luft gefunden. Als Mittel aus 20 Beobachtungen mit Rauch ergab sich $q = 1,34$ (normal $q = 1,16$).

Wenn wir den Jahresgang von q und Q in der Tabelle 15 verfolgen, so fällt auf, dass die Werte für die Wintermonate um ein Geringes höher sind, als im Sommer. Es könnte dies vielleicht mit dem erhöhten Rauchgehalt der Winterluft erklärbar sein.

d) Ozonisierung.

Der «Viozon-Normal» (s. unten) erzeugt durch dunkle Entladung enorme Mengen von positiven leichten Ionen. Die Lebensdauer derselben beträgt nur wenige Minuten, oder gar nur Bruchteile dieser Zeit. In dem Mass, wie die Zahl der Leichtionen mit fortschreitender Zeit nach dem Ausschalten des Ozonapparates zurückgeht, kann die Zunahme der Schwerionenzahl verfolgt werden:

n+	n—	N+	N—	
1 030	1 030	4 000	3 700	ohne Ozonisierung.
1 635	840	7 600	4 000	nach 5' Ozonisierung.
9 800	860	10 800	5 300	» 10' »
13 900	1 470	21 300	6 800	» 15' »
				O ₃ -Apparat abgestellt.
510	120	29 000	5 760	5 Minuten später.
470	270	13 600	10 000	10 Minuten später.

5. Das Verhalten der mittelschweren Ionen.

Die mittelschweren oder Intermediär-Ionen wurden nur zeitweise für sich allein berücksichtigt. Auch sie weisen einen Tagesgang auf, der demjenigen der schweren weitgehend parallel verläuft (vergl. Fig. 1). Im Mittel aller (150) Beobachtungen betrug ihre Anzahl 69% von der Zahl der Schwerionen.

Das Verhältnis $\frac{N}{N_i}$ ist aber nicht konstant. Es hat sich gezeigt, dass bei gleichmässigem Ansteigen der Schwerionenzahl die Zahl der Intermediär-Ionen nicht im gleichen Verhältnis zunimmt. Die Anzahl der mittelschweren Träger in Funktion der Schwerionenzahlen koordinativ aufgetragen, ergaben die Parabel, die in Fig. 14 dargestellt ist.

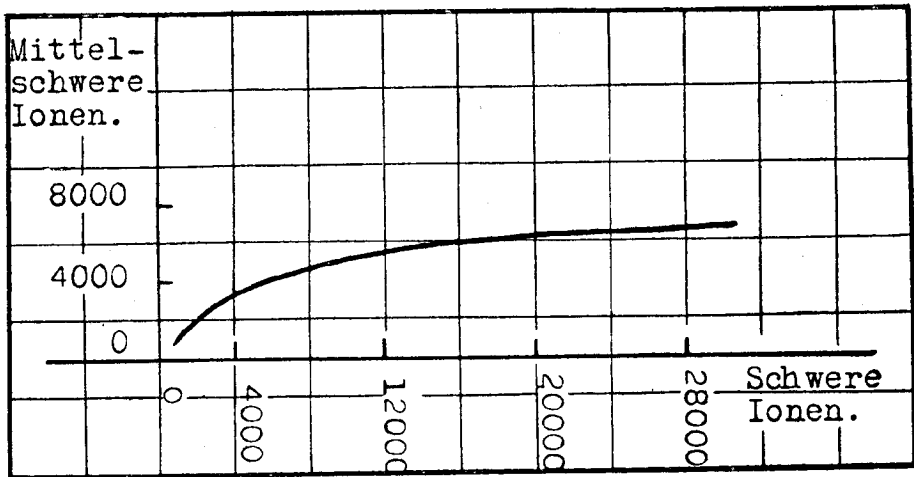


Fig. 14.

Ueberraschend ist der ausserordentlich grosse Anteil der mittelschweren Ionen am Ionenspektrum, den ich in Davos im Zimmer gefunden habe. Aehnliche Verhältnisse fand aber auch Israel in Bad Gastein, während er feststellte, dass in Frankfurt a/M. diese Spektrumsgruppe fast gänzlich fehlt (61).

Die grosse Zahl von mittelschweren Trägern scheint also gegenüber dem fast vollständigen Fehlen dieser Ionenart in der Grosstadt ein Charakteristikum der Gebirgsluft zu sein.

Es sei hier noch daran erinnert, dass Janitzky (53) nachweisen konnte, dass gerade die mittelschweren Ionen zu 20—40% in den Lungen verbleiben, während die leichten fast quantitativ schon beim Einatmen in den Atmungswegen adsorbiert, die schweren dagegen wieder ausgeatmet werden. Aus diesem Grunde ist man neuerdings der Ansicht, dass die mittelschweren Träger für eine eventuelle biologische Wirkung der Ionen verantwortlich zu machen sind.

Wenn aber Israel (61) die allerdings sehr vorsichtige Vermutung ausdrückt, «dass die blutdrucksenkende Wirkung der Gasteiner Kur neben anderem mit auf diesen Ionisationsverhältnissen beruhen könnte, so ist zu bedenken, dass den Versuchen Janitzkys MgO-Ionen zu Grunde liegen, deren Wirkung immerhin schon allein pharmakologischer Natur sein kann.

III. Teil.

Besondere künstliche Beeinflussungen.

H. Luftbefeuchtung mit dem Wasserverdunstungsapparat «LUCAGRA».

Der Lucagra-Wasserverdunster (75) wird in verschiedener Ausführung als Aufsatzapparat auf die Radiatoren der Zentralheizung geliefert. Bei meinen Versuchen wurde die Wirkungsweise des Standmodelles geprüft.

Vier in Form eines Rechteckes zusammengeschweisste Blechrinnen bilden ein einkammeriges Wasserreservoir mit ca. 3 l Fassungsvermögen. Die beiden Längsschenkel sind durch eine stark wasseraufsaugende Pappmasse brückenartig miteinander verbunden. Die hohe Kapillarität des Materials sorgt für ständige Wassersättigung des Kartons durch Ansaugung aus dem gefüllten Wasserbehälter. Damit ist eine sehr grosse Verdunstungsfläche geschaffen, an der die vom Radiator aufsteigende warme Luft vorbeistreichen und sich dabei befeuchten muss.

Ausserdem soll der von der aufsteigenden Luft mitgeführte Staub an der nassen Pappmasse haften bleiben und es wird in den Prospekten eine beträchtliche Luftstaubverminderung bei Lucagra-Betrieb beschrieben.

Versuchsergebnisse.

a) Zimmerluftbefeuchtung mit Lucagra.

Der Lucagra-Standapparat war während des ganzen Winters abwechselnd in verschiedenen Sanatoriumszimmern in Betrieb. Die Leistungen in Bezug auf Luftbefeuchtung waren sehr ausgesprochen.

In einem Zimmer von 50 m³ Inhalt und bei rund 18° Temperatur betrug der Wasserverbrauch innerhalb 24 Stunden 2—3 Liter, ausgehend von verschieden hoher primärer Luftfeuchtigkeit war der Endeffekt folgender:

Verhalten der relativen Feuchtigkeit mit und ohne Lucagra bei rund 18° Zimmertemperatur im Mittel aus 100 Beobachtungen: (Ein Apparat in einem Zimmer von 50 m³ Inhalt.)

Ohne Lucagra	mit Lucagra	Anstieg der R. F.
15—25%	43%	23%
25—35%	49%	19%
35—45%	56%	16%
45—55%	60%	10%
über 60%		0—5%

Wir sehen aus diesen Beispielen, dass der Anstieg der relativen Feuchtigkeit

keit umso grösser ist, je kleiner die ursprüngliche relative Luftfeuchtigkeit vor Inbetriebnahme des Apparates war. Der Anstieg der absoluten und der relativen Luftfeuchtigkeit im Zimmer machte sich stets schon ca. 1 Stunde nach der Füllung des Wasserbehälters deutlich bemerkbar und erreichte seine volle Amplitude nach etwa 24 Stunden. Die Nachwirkung der Luftbefeuchtung war nach Einstellung derselben meist nach kurzer Dauer, z. B. über Nacht verschwunden.

Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse solcher Versuche wird meist dadurch beeinträchtigt, dass wir in gewöhnlichen Zimmern den Einfluss der Freiluftverhältnisse nicht genügend ausschalten, und auch die Zimmertemperatur nur schwer einigermassen konstant halten können. Es wäre für derartige Untersuchungen wertvoll, wenn man in speziellen Versuchszimmern mit dosierbarer Bewetterung experimentieren könnte.

Um mit meinen Mitteln möglichst einwandfreie Resultate zu gewinnen, habe ich stets Parallelversuche in zwei ähnlich konditionierten Räumen durchgeführt, wobei die Bedingungen in dem einen Zimmer variiert wurden, das andere Zimmer aber unbeeinflusst blieb und nur zum Vergleich herangezogen wurde.

b) Luftstaubbekämpfung mit Lucagra.

Es wurden über 100 Parallelbestimmungen des Luftstaubes in Zimmern ausgeführt, teils ohne, teils mit künstlicher Luftbefeuchtung. In der Mehrzahl der Fälle war jedoch keineswegs eine Luftstaubverminderung bei Lucagrabetrieb zu verfolgen.

In nachstehender Fig. 15 sind die Resultate zweier parallel durchgeführter Beobachtungsserien wiedergegeben. Sie wurden gewonnen in zwei ursprünglich gleich konditionierten Zimmern, wobei aber die Luftfeuchtigkeit in dem einen Raume gegenüber dem Normalzustand verdoppelt worden war.

Zu Beginn der Versuchsserien war in beiden Zimmern durch Tabakrauch eine ungefähr gleichgrosse, erhöhte Staub- und Kondensationskernzahl geschaffen worden.

Wie wir aus Fig. 15 sehen, war der Verlauf der Staubzahlen in beiden Zimmern sehr ähnlich und vom 4. Beobachtungstermin ab deutlich parallel dem Verlauf der Staubzahlen im Freien. Auch die Absolutwerte unterschieden sich nicht zu Gunsten des Zimmers mit erhöhter Luftfeuchtigkeit.

Fortgesetzte Bestimmungen über mehrere Wochen hinweg führten zu analogen Ergebnissen.

Diese Befunde stehen in krassem Gegensatz zu den Angaben in den Lucagra-Prospekten u. a. zum Attest Jöttens *).

*) Attest K. W. Jötten. Münster W. Mai 1931. Quartblattabdruck der Lucagra-Gesellschaft.

Die günstigen Ergebnisse bei den Versuchen Jöttens mögen wohl hauptsächlich darauf zurückzuführen sein, dass bei diesen Versuchen die Staubproben meist direkt über den Radiatoren der Zentralheizung bzw. über den Lucagra-Apparaten genommen worden waren. Auch bei meinen Untersuchungen war in der Regel eine Staubverminderung direkt über dem Verdunstungsapparat nachzuweisen:

	über dem Radiator	in Zimmermitte
ohne Lucagra	345	335
mit Lucagra	245	325

Aus obigen, im Mittel gefundenen Zahlen geht hervor, dass die Luftstaubverminderung durch Luftbefeuchtung wohl direkt über dem Apparat gemessen, deutlich hervortritt, dass sich aber im Falle des Sanatoriumszimmers diese günstige Auswirkung nicht auf das ganze Zimmer wirksam übertrug.

Es ist auch denkbar, dass Versuche, an verschiedenen Orten angestellt, auch deshalb auseinandergehende Resultate liefern können, weil Staub verschiedener Herkunft und Beschaffenheit andere hygroskopische Eigenschaften besitzen, und sich daher der Luftfeuchtigkeit gegenüber ganz verschieden verhalten kann.

Obwohl die Luftverbesserung durch Entstaubung in den beobachteten Fällen gar nicht, oder nicht in dem Grade einer praktischen Bedeutung hervortrat, liess sich andererseits stets eine deutliche Geruchsverminderung konstatieren. Diese war besonders charakteristisch bei den Versuchen mit Zigarettenrauch, indem der Rauchgeruch im Zimmer mit trockener Luft durchwegs etwa doppelt so lange zu erkennen war, als im Zimmer mit künstlich erhöhter Luftfeuchtigkeit.

Der unangenehme «Staubgeruch», wie er in gewissen Räumen durch Staubversengung auf überhitzten Heizungsrohren und Heizkörpern verursacht wird, konnte mit Lucagra wirksam unterdrückt werden. Als Träger vieler Gerüche scheinen die Kondensationskerne in Frage zu kommen, indem mit der Abnahme ihrer Zahl auch stets eine Geruchsverminderung einhergeht.

Im Zimmer mit erhöhter Luftfeuchtigkeit war die Kernzahl stets um rund 25% kleiner als im Zimmer mit trockener Luft (vergl. Fig. 15). Die unbestreitbare Erfahrungstatsache, dass sich gewisse sensible Personen in einem Zimmer mit künstlich erhöhter Luftfeuchtigkeit wohler fühlen, kann nicht mit dem geringeren physiologischen Sättigungsdefizit (Austrocknungsvermögen) und auch nicht mit einem Unterschied im Staubgehalt erklärt werden; vielleicht dass die beträchtliche Differenz im Gehalt an Kondensationskernen damit in Zusammenhang gebracht werden kann. Wie freilich diese Zusammenhänge sich auswirken, das müsste Gegenstand besonderer Untersuchungen sein.

Gleichzeitige Staub- und Kernzählungen im normalen
und im künstlich befeuchteten Zimmer.

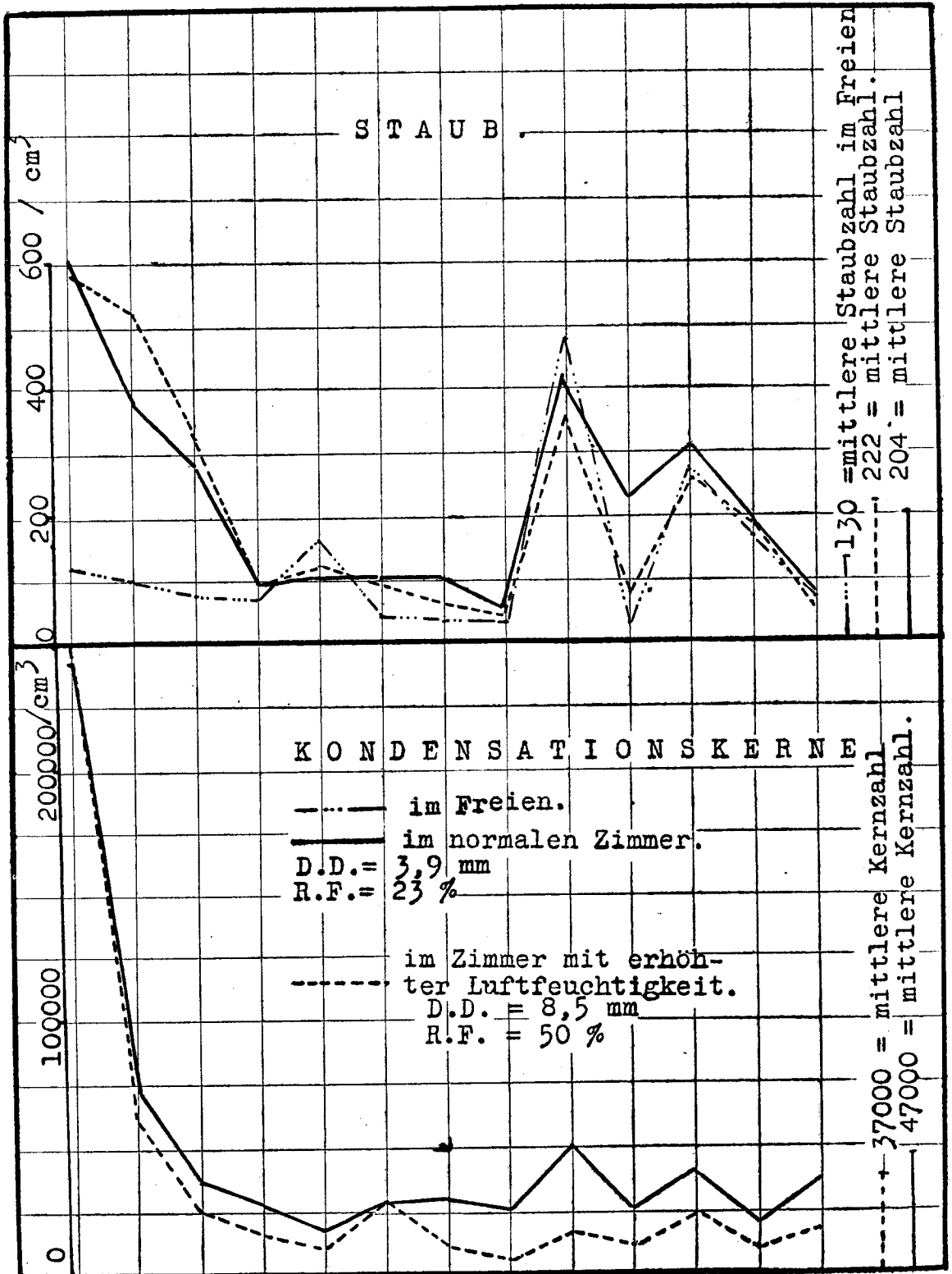


Fig. 15.

I. Ozonisierung mit «Viozon-Normal».

Das Ozonisierungsprinzip angewandt zur Keimfreimachung von Trinkwasser oder zur Luftverbesserung z. B. in Grossschlachthäusern, war immer viel zu kostspielig, als dass seine Anwendung in Kleinbetrieben und für Privatgebrauch in Frage gekommen wäre.

Seit einigen Jahren erst wird von der Radiologie A.-G. Berlin ein kleiner, solid gebauter Apparat in den Handel gebracht, bei welchem die Ozonerzeugung aus dem Sauerstoff der Luft, auf dem Prinzip der dunklen Entladung beruht. Dieser «Viozon-Normal» (82) wird an das Lichtnetz angeschlossen und der Netzstrom wird in Hochfrequenzstrom umgewandelt, der an einem System von Funkenstrecken dunkle Entladung hervorruft. Ein dem Ozonerzeuger angebaute Ventilator sorgt für gute Verteilung der ozonisierten Luft im Raum. Ozonisator und Ventilator können getrennt jeder für sich betrieben werden.

Die Anschaffungskosten des Apparates sind relativ gering, ca. 110 Rm.; der Stromverbrauch soll nicht grösser sein, als der einer Glühlampe von 50 Watt (81).

Versuchsergebnisse.

Von der Dosierung des durch den Apparat erzeugten Ozons konnte abgesehen werden, da dieselbe vom chemischen Laboratorium der Universität Jena 1931 ausgeführt worden war. Laut diesem Attest soll 1 m³ der geförderten Luft ca. 0,4 mg reines Ozon enthalten.

Nach den Prüfungsberichten der Faraday-House Testing Laboratories in London sollen beim Betrieb unerwünschte Stickoxyde nicht auftreten.

Thiele (83) schreibt: «Die Versuche ergaben, dass der Keimgehalt der Luft nach der Ozonisierung (mittels Viozon) um 69,7—84,2% (im Durchschnitt 76,9%) geringer war als vor der Ozonisierung.»

- Bei den vorliegenden Versuchen wurde vor allem Wert darauf gelegt, an Hand chemischer Experimente zu zeigen, ob die «Luftverbesserung» mittels Ozon auf Geruchsvernichtung, oder nur auf Geruchsüberlagerung beruhe.

Es ist u. a. auch schon die Vermutung geäussert worden, dass unsere Geruchsnerven durch das Ozon gelähmt würden und alsdann nicht mehr auf Gerüche ansprechen könnten. Diese Möglichkeit muss aber fallen gelassen werden, indem nämlich eine Versuchsperson, die sich längere Zeit im O₃-Strom aufhält, das Geruchsvermögen durchaus beibehält.

Um zu prüfen, ob die Geruchsvernichtung in gewissen Fällen auf einer chemischen Oxydation beruhe, stellte ich längere Versuchsreihen, teils mit oxydablen teils mit inoxydablen, chemisch leicht fassbaren Riechstoffen an. Herr Professor Loewy hatte die Freundlichkeit, mir für diese Zwecke ein chemisches Laboratorium im Forschungsinstitut zur Verfügung zu stellen, wofür ich ihm an dieser Stelle meinen Dank ausspreche.

Die in nachstehender Tabelle aufgeführten Gase und Dämpfe wurden in einer gut verschliessbaren, ca. 3 m³ fassenden Kapelle erzeugt. In diesem Raum war der Ozonapparat aufgestellt. Die chemischen Nachweisreaktionen

Chemische Versuche mit dem «Viozon-Apparat».

Ver- such- No.	Erzeug- Gerät	Versuchs- bedingun- gen	Nach 5 min.		10 min.		20 min.		40 min.		60 min.	
			B.	Ch.	B.	Ch.	B.	Ch.	B.	Ch.	B.	Ch.
1.	Formaldehyd.	O ₃ u. Ventilator	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
2.	»	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
3.	Chlor	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
4.	Benzol	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
5.	Schwefelwasserstoff	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
6.	»	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
7.	»	ohne O ₃	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
8.	Ammoniak	mit O ₃	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
9.	»	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
10.	»	ohne O ₃	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
11.	Tetrachl. kohlenst.	mit O ₃	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
12.	»	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
13.	Essigester	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
14.	Leuchtgas	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
15.	»	»	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

TAB. 17.

In obiger Tabelle bedeutet:

- ++ = sehr stark positive Reaktion.
- + = deutlich positive Reaktion.
- + - = Unsicherheit zwischen + und -.
- = ausgesprochen negative Reaktion.

wurden soweit zugänglich in der Kapelle ausgeführt, zum Teil aber auch an Luftproben, die mittels eines Doppelgebläses der Versuchskammer entnommen worden waren. Die Versuchsergebnisse sind in Tab. 17 enthalten; darin bedeuten die Zeitangaben die Dauer der Ozonisierung nach der Einstellung der Gasentwicklung.

Mit B. ist die biologische — mit Ch. dagegen die chemische Nachweisbarkeit der betreffenden Riechstoffe bezeichnet. Als B. gilt in diesem Falle der geruchliche Nachweis, eventuell begleitet von einer Reizung der Schleimhäute und der Augenbindehaut.

In den Kolonnen: Ch., ist das Verhalten gegenüber spezifischen chemischen Reagentien aufgeführt.

Aus Tab. 17 können wir folgendes ableiten:

1. Oxydable Gase sind in der Regel schon nach 10 Minuten geruchsmässig nicht mehr nachweisbar, wenn der Ozonisorator in Betrieb ist.
2. Die chemische Reaktion bleibt bedeutend länger positiv, nimmt aber mit der fortschreitenden Zeit der Ozonisierung doch deutlich ab, um nach ca. 40 Minuten vollständig zu verschwinden (vergl. Versuche Nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14 und 15).

Die Versuche Nr. 7 und 10 sind Kontrollbeobachtungen, bei denen der Ozonisorator ausser Betrieb steht, und sie haben den Zweck, zu zeigen, dass das Verschwinden des Riechstoffes nicht ein allmähliches Entweichen des Gases aus der Versuchskammer als Ursache hat.

3. Nicht oxydable Dämpfe sind geruchsmässig viel länger zu erkennen und geben nach einer vollen Stunde noch eine deutliche chemische Identitätsreaktion (vergl. Versuche Nr. 8, 9, 11 und 12).

Weitere Experimente mit «Viozon-Normal»:

Ein Versuch im Keller des Forschungsinstitutes, der als Stallung für zirka 150 Kleintiere (Meerschweinchen, Kaninchen, Ratten) dient, den üblen Geruch zu beseitigen, fiel auch nach längerem Ozonisieren unbefriedigend aus. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Versuchen Nr. 8 und 9, da anzunehmen ist, dass der Geruch in diesem Raum, dem Harn von Pflanzenfressern entstammend, grösstenteils ammoniakalischer Natur (inoxydabel) ist und daher vom Ozon chemisch nicht beeinflusst wird.

In einem Schulzimmer von 200 m³ (35 Schüler) zeitigten mehrere Versuche mit Viozon-Normal in Bezug auf Geruchsbekämpfung sehr gute Resultate. Die Fenster des Klassenzimmers blieben jeweils den ganzen Tag geschlossen und die Ozonisierung wurde in den Unterrichtspausen immer nach zweistündigem Intervall 8 Minuten lang durchgeführt. Der subjektive Eindruck über den Zustand der Luft war sowohl für die Schüler, als auch für

den vom Freien her Eintretenden ein angenehmer. Eine schädliche Auswirkung (Kopfschmerzen, Halskratzen etc.) wurden weder vom Lehrer, noch von Schülern beobachtet.

Ozonisierungsexperimente im Sanatoriumszimmer lieferten ebenfalls gute Resultate in Bezug auf Geruchsbekämpfung. Es muss jedoch unbedingt die Dosierungsvorschrift, der Grösse des Raumes Rechnung tragend, eingehalten werden.

Bei stark forcierter Ozonisierung (30—60 minütiger Betrieb des Apparates in einem Zimmer von 50 m³ Inhalt) machten sich Schädigungen bemerkbar, die sich in Kopfschmerzen, Halskratzen, Schwindel und Brechreiz äuserten.

Bei meinen Versuchen in Sanatoriumszimmern zeigten sich zwei typische Fälle von idiosynkratischer Einstellung gegenüber Ozon, schon nach ganz kurzer Betriebsdauer des Apparates.

Tabaksrauch wurde durch den Ozonisor nicht vernichtet, sondern nur durch den Ventilator des Apparates gleichmässig im Raume verwirbelt. Gleichzeitig vermischte sich der Geruch des Ozons mit demjenigen des Rauches und der Rauchgeruch wurde mit der Zeit überlagert und schliesslich gänzlich verdeckt durch den Eigengeruch des Ozons.

Der «Viozon-Normal» arbeitete in seiner Eigenschaft als Luftozonisierungsapparat ganz ausgezeichnet, und er kann da, wo Ozonisierung erwünscht ist, sehr empfohlen werden.

Es sei mir an dieser Stelle noch eine kleine Aeusserung zum Thema der Luftozonisierung im Allgemeinen gestattet.

In den Prospekten wird Ozonisierung für die verschiedenartigsten Räume empfohlen. Es werden Fabrikations-, Lager- und Verkaufsräume der Lebensmittelbranche, ferner Büros, Restaurants, Kinos, Schulräume, dann aber auch Schlaf-, Kranken- und Sanatoriumszimmer genannt. Dabei scheint man sich aber zu wenig Rechenschaft darüber zu geben, dass die, durch das Ozonisieren bewirkte *Desodorisierung* in den wenigsten Fällen einer wirklichen *Luftverbesserung* gleichzusetzen ist. Es sei nochmals betont, dass die in dieser Richtung angestellten Versuche deutlich zeigen, dass nur chemisch oxydierbare Riechstoffe im Sinne einer Vernichtung beeinflusst werden, und auch diese nur bei einer forcierteren Ozonisierung, wie sie in bewohnten Räumen, ohne nachteilige Wirkung auf die Insassen gar nicht durchgeführt werden kann.

Eine Ozonisierung im Krankenzimmer könnte deshalb höchstens dort gute Dienste leisten, wo eine Krankheit besonders penetrante Gerüche verursacht (verjauchtes Karzinom, Lungengangrän etc.), unter denen Patient und Wartepersonal leiden.

In den übrigen Kranken- und Sanatoriumszimmern dagegen kann Ozonisierung nie eine sinngemässe Lüftung ersetzen oder gar an Zweckmässigkeit übertreffen.

Zusammenfassung.

A. Die Lufttemperatur ist das durch Heizung am einfachsten willkürlich beeinflussbare klimatische Element, da im Hochgebirge eine künstliche Temperaturerniedrigung kaum jemals wünschenswert wäre. In einem gut geheizten Zimmer ist daher der Jahresverlauf der Temperaturkurve sehr gleichmässig, und die Temperatur der Freiluft vermag sich nur im Hochsommer in Form eines leichten Anstieges in der Zimmerkurve zu spiegeln.

B. Die absolute Feuchtigkeit im Freien und im geschlossenen Zimmer weist einen deutlich parallelen Jahresgang, mit dem Maximum im Sommer und dem Minimum im Winter auf, wobei die Zimmerwerte stets um 1—2 mm Hg höher liegen, als die Freiluftwerte. Der Dampfdruck im geheizten Zimmer steigt mit der Lufttemperatur in linearer Proportion, eine Erscheinung, für deren Erklärung wir die mit steigender Temperatur abnehmende Adsorptionsfähigkeit des Mauermaterials verantwortlich zu machen geneigt sind.

Die relative Feuchtigkeit im Freien weicht im Laufe des Jahres nur um sehr geringe Beträge vom Mittelwert (78%) ab, da der tieferen Temperatur des Winters auch ein geringerer Sättigungsdruck entspricht. Im Zimmer dagegen bewirkt der kleinere Dampfdruck der Wintermonate, bei gleichzeitig fast unveränderter Lufttemperatur eine wesentliche Verringerung der relativen Feuchtigkeit.

Dem für das Hochgebirgsklima typischen geringen Dampfdruck entspricht ein sehr hohes physiologisches Sättigungsdefizit, das einen der wichtigsten therapeutischen Faktoren darstellt, insbesondere was exsudative Erkrankungen der Atmungsorgane anbetrifft.

C. Die Abkühlungsgrösse ist in Davos trotz beträchtlicher Temperaturschwankungen infolge der sehr schwachen Luftbewegung sehr gleichmässig und bei einem Jahresmittel von nur etwa 11 mg. cal/cm²/sec., im Vergleich zu der Höhenlage des Ortes ausserordentlich gering.

Da im geschlossenen Zimmer Luftbewegung nur in Form der Zirkulations- und Austauschströmungen auftritt, ist die Abkühlungsgrösse in wesentlichen Funktion der Lufttemperatur, und da dieselbe in allen Monatsmitteln fast gleich bleibt, so sind auch die Werte der Abkühlungsgrösse sehr gleichmässig. Im Jahresmittel wurden sie zu 4,6 für das typische Davoser Sanatoriumszimmer, und zu 7,8 für die nach S offene Liegehalle gefunden.

D. Als Tageslichtquotient ergab sich in der Mitte des Sanatoriumszimmers

(Horizontalfläche) 3,5%, auf der Liegehalle 43% der Tageshelligkeit unter freiem Himmel.

- E. Im Jahresmittel wurden in Davos im Freien 117 Staub- und Russteilchen/cm³ Luft gezählt, wobei die hauptsächlich aus Russpartikeln bestehenden Luftverunreinigungen des Winters zahlenmässig ein Vielfaches des vorwiegend mineralischen Sommerstaubes ausmachten. Als Gegenbeispiel sei die mittlere Staubzahl von London = 20,000 Teilchen/cm³ angeführt.

Ausser besonderen Witterungseinflüssen wie Niederschlag, Dunst etc., sind Windstärke und Windherkunft von grossem Einfluss auf die Staubzahlen und sind an Normaltagen direkt an der Gestaltung des Tagesganges der Staubwerte beteiligt.

Im Sanatoriumszimmer, aber auch in einem dicht besetzten Schulzimmer ist der Staubgehalt der Freiluft in überragendem Masse für die Grössengestaltung der Staubzahl ausschlaggebend. Der in den winterlichen Vormittagsstunden durch vermehrte Rauchentwicklung verursachten Staubzunahme in der Freiluft können wir auch im geschlossenen Zimmer nicht entgehen.

Die viel grössere Reinheit der Frei- und auch der Zimmerluft in Davos allein ermöglicht die ungestörte heilsame Auswirkung des sub B erwähnten geringen Dampfdruckes. Das auch in der Niederung im Winter auftretende grössere physiologische Sättigungsdefizit wird dort in seiner günstigen Auswirkung wesentlich beeinträchtigt durch die viel grössere Reizwirkung des höheren Staubgehaltes auf die Atmungsschleimhäute.

- F. Die Zahl der Kondensationskerne ist im Winter in Davos durch Rauchentwicklung erstaunlich hoch; ja sie ist zufolge der sehr schwachen Luftbewegung und der geringen Luftfeuchtigkeit etwa von der gleichen Grössenordnung wie in Zürich. Im geschlossenen Zimmer ist die Kernzahl viel geringer als in der Freiluft und beträgt im Mittel nur etwa $\frac{1}{5}$ der letzteren. Die Kernzahl ist *nicht* geeignet, über den relativen Verunreinigungsgrad der Atmosphäre und speziell als Masstab der Luftverunreinigung im Verhältnis eines Ortes im Tiefland zu einer Siedelung im Hochgebirge oder von Frei- zu Zimmerluft zuverlässige Einblicke zu vermitteln.

- G. Leicht- und Schwerionenzahlen haben stets spiegelbildlichen Verlauf; trotzdem ist die Summe $n + N$ nicht konstant. Der Jahresgang stellt für leichte und schwere Ionen eine einperiodige Kurve dar und weist für die Leichtionenzahlen ein Maximum im Sommer, gegenüber einem Minimum im Winter, auf. Der aus 24-stündigen Messreihen ermittelte Tagesgang der Leichtionen verläuft mit wünschbar guter Uebereinstimmung mit der für Davos bereits früher von Dorno registrierten luftelektrischen Leitfähigkeit parallel.

Der Tagesgang der Ionen im Freien tritt mit leichter Verzögerung und abgeschwächter Amplitude auch in das geschlossene Zimmer. Die mittelschweren Ionen verhalten sich im wesentlichen ähnlich wie die schweren und machten im Davoser Zimmer im Mittel 68% der letzteren aus. Dabei waren sie prozentual um so häufiger, je weniger Schwerionen vorhanden waren.

Die Luftionen, sowie die durch dieselben bedingte luftelektrische Leitfähigkeit, scheinen eine unmittelbare hygienische Bedeutung nicht zu besitzen. Versuche, die luftelektrischen Erscheinungen mit dem subjektiven Befinden gesunder und kranker Menschen (Wetterfähigkeit, Föhnkrankheit) in Beziehung zu bringen, fielen immer negativ aus, indem sich nie ein Zusammenhang ableiten liess.

- H. Die luftbefeuchtende Wirkung des Wasserverdunsters «Lucagra» ist ausgesprochen gut und zwar ist der prozentuale Feuchtigkeitsanstieg bei Lucagra-Betrieb um so grösser, je geringer die primäre Luftfeuchtigkeit, vor Inbetriebnahme des Apparates, ist.

Mit einem Apparat in einem Zimmer von 50 m³ konnte im Durchschnitt ein Anstieg der relativen Feuchtigkeit um 15%, im günstigsten Fall bis zu 25% beobachtet werden; ein so günstiges Resultat wird von keinem der vielen andern Wasserverdunster erreicht.

Bei der grossen therapeutischen Bedeutung, die wir hohen Werten des physiologischen Sättigungsdefizits beimessen, wäre eine künstliche Luftbefeuchtung nicht erwünscht, wenn nicht mit hohem Sättigungsdefizit zugleich eine vermehrte Staubentstehung, mit ihrer unerwünschten Einwirkung auf die Atmungsschleimhäute Hand in Hand ginge. Eine Luftbefeuchtung erscheint uns deshalb nur dann indiziert, wenn wir damit zugleich den Staubgehalt und noch besser die Staubentwicklung herabsetzen können. Diese Wirkung kann darin zum Ausdruck kommen, dass die Staubpartikelchen hygroskopisch beschwert und damit weniger flugfähig werden, und ferner durch den Umstand, dass durch entsprechende Konstruktion des Luftbefeuchters die am Radiator aufsteigende staubführende Luft ihren Staub an den Befeuchtungsflächen abzustreichen vermag.

Bei unsern Versuchen zeigte in der Tat die Luft unmittelbar über dem Apparat einen Wenigergehalt an Staub bis zu 50%; doch wirkt sich leider diese Verminderung nicht wesentlich auf die Staubzahl der Luft des ganzen Zimmers aus. Die beschriebene Staubverminderung, direkt über dem Apparat beobachtet, darf somit nicht dahin gedeutet werden, dass der Apparat eine wesentliche Luftstaubverminderung im ganzen Zimmer bewirke. Viel deutlicher wie auf die Staubzahl wirkt sich die Luftbefeuchtung auf die Zahl der Kondensationskerne im Sinne einer Verminderung aus. Der günstige Einfluss der künstlichen Luftbefeuchtung auf

das subjektive Empfinden sensibler Personen steht vermutlich mit diesem Phänomen in Zusammenhang.

- I. Mit Luftozonisierung liess sich effektiv chemisch kontrollierbare Zerstörung *oxydabler* Riechstoffe erzielen. Der Umstand, dass das subjektiv empfundene Verschwinden früher eintritt, als die objektiv nachweisbare Zerstörung, der Umstand ferner, dass auch inoxydable Geruchstoffe bei der Ozonisation für unser subjektives Empfinden zu verschwinden scheinen, lässt sich nur durch eine Ueberdeckung bzw. eine Verdeckung des Geruches durch Ozon erklären. Mit andern Worten: Die Reinigung der Luft durch Ozonisierung ist eine rein sinnesphysiologische, d. h. subjektive; objektiv ist sie nur in dem Sinne vorhanden, als oxydable Riechstoffe in der Tat vernichtet werden können, aber, nach unsern Untersuchungen, nur von so grossen Ozonmengen, dass diese wiederum ihrerseits sich unangenehm, ja Unbehagen erzeugend, auswirken.

Eine praktische Verwendung der Ozonisierung zu subjektiv empfundener Luftverbesserung kann also nur in ganz besondern Fällen in Betracht kommen, beispielsweise in Krankenzimmern, wo durch gangränöse Prozesse und Ausscheidungen eine unerträgliche Geruchsbelästigung für Kranke, Mitpatienten und Wartepersonal herrscht; eventuell ist eine Luftozonisierung auch in überfüllten Warteräumen und dergleichen am Platze.

Literaturverzeichnis.

A. Klimatologie.

1. C. Dorno: Ueberspezifisch-medizinische Klimatologie. Met. Zeitschr. Heft 2 (1922).
2. C. Dorno: Die für den Mediziner wichtigen meteorologisch-klimatologischen Kenntnisse. Klin. Wo. Schr. I. Jg. S. 505, Verlag Julius Springer.
3. C. Dorno: Studie über Licht und Luft im Hochgebirge. Vieweg, Braunschweig 1911.
4. C. Dorno: Grundzüge des Klimas von Muottas-Muraigl. Vieweg, Braunschweig 1927.
5. V. Conrad: Physikalische Grundlagen der Klimatologie. Beihefte zur Zeitschr. f. Tuberkulose, Nr. 46 (1932).
6. W. Mörikofer: Zur Bioklimatologie der Schweiz, I., II. u. III. Teil. Schweiz. med. Jahrbuch Basel 1931/32 u. 33.
7. W. Mörikofer: Das Hochgebirgsklima In: Loewy: Physiologie des Höhenklimas. J. Springer, Berlin 1932.
8. W. Mörikofer: Die Vorzüge des Hochgebirgsklimas. Praxis Nr. 5 (1932).
9. W. Hausmann: Medizinische Klimatologie und öffentliche Gesundheitspflege im Sinne der T. B. C.-Bekämpfung. Beihefte zur Zeitschr. f. TBC. Nr. 46 (1932).

B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Abkühlungsgröße.

10. Assmann: Das Aspirationspsychrometer: Ein Apparat zur Bestimmung der wahren Temperatur und Feuchtigkeit der Luft. Abhandlung d. Preuss. Met. Instituts. Band I S. 115—270.
11. J. Hann und R. Süring: Lehrbuch der Meteorologie. IV. Aufl. S. 238 ff. Leipzig 1926.
12. G. Lutz: Gewerbehygiene. Wissensch. Verlagsbuchhandl. m. b. H. Stuttgart 1932.
13. M. Rubner, M. v. Gruber u. M. Ficker: Handbuch der Hygiene. 6 Bände. Verlag: S. Hirzel, Leipzig 1911.
14. S. Cammerer: Wärmeschutztechnische Untersuchungen an neueren Wandkonstruktionen. Ges. Ing. 54. Jg. Heft 43 (1931).
15. L. Hill: The Katathermometer in studies of body heat and efficiency. Med. Res. Council. Ser. 73. London (1923).
16. R. Thilenius: Die Konstruktion des Davoser Frigorimeters. Met. Zeitschr. 48. S. 254 ff. (1931).
17. C. Dorno: Die Abkühlungsgröße in verschiedenen Klimaten nach Dauerregistrierungen mittels des Davoser Frigorimeters. Met. Zeitschr. 45, S. 401 ff. (1928).
18. M. Bider: Ergebnisse der Beobachtungen mit dem Davoser Frigorimeter in Basel. Strahlentherapie. 39. Bd. (1931).
19. H. Bruppacher: Die Bedeutung der Entwärmungsverhältnisse und deren Bestimmung mittels Kata-Thermometer und Davoser Frigorimeter. Techn. Rundschau. 24. Jg. Nr. 12 u. 13. Bern 1932.
20. Th. Meissner: Studien über die Abkühlungsgröße. Zeitschr. f. d. ges. phys. Ther. 43. Bd. 3. Heft (1932).
21. H. Freundlich: Kapillarchemie. S. 249 ff. Leipzig 1922.
22. H. Cassel: Zur Kenntnis des Adsorbierten Aggregatzustandes. Ergebnisse der exakten Naturwissensch. 6. Bd. S. 104 ff. Berlin 1927.

C. Helligkeit.

23. I. M. Eder: Ein neues Graukeilphotometer für Sensitometrie, photographische Kopierverfahren, und wissenschaftliche Lichtmessungen. Verlag Knapp, Halle a/S. 1920.
24. A. Kopfmüller: Verbessertes Graukeilphotometer. Zeitschr. f. wissenschaftl. Bäderkunde, Heft 11 1930.
25. C. Dorno: Tageslichtmessungen in Innenräumen. Schweiz. Zeitschr. für Gesundheitspflege. 1923.
26. C. Dorno: Parallelmessungen der phototechnischen Ortshelligkeit zwischen nördlichem Polarkreis u. südlichem Wendekreis, mittels Eders Graukeilphotometer. Met. Zeitschr. 1927.
27. H. Selter, H. Fetzer und P. Weiland: Der Wert des Tageslichtquotienten für die Beurteilung der Tagesbeleuchtung von Arbeitsplätzen. Archiv f. Hyg. u. Bakt. Bd. 110, Heft 1 (1933).

D. Staub und Kondensationskerne.

28. Eighth Report of the Advisory Committee on atmospheric pollution. London 1922.
29. Ninth Report 1923.
30. Tenth Report 1924.
31. Eleventh Report 1925.
32. Twelfth Report 1926.
33. M. Kagan & W. Broumstein: Rational method for calculating records obtained by means of Owens' jet dustcounting apparatus. J. ind. Hyg. 13. S. 10 ff. 1931.
34. K. W. Jötten: Neue Staubbestimmungsapparatur. Zentralbl. f. Gewerbehygiene u. Unfallverhütung. Nov. 1930.

35. Meldau & Stach: Neue Wege der mikroskop. Staubforschung. V. d. I. Bd. 76. Nr. 25 (1932).
36. Pesch: Mikroskopische Staubbestimmungen; Beitrag zur Wertung von Strassenreinigungsverfahren. Ges. Ing. 53, Jg. 5. Heft (1930).
37. P. Köhler u. C. Sorgenfrei: Ueber eine neue Methode der Freiluftstaubuntersuchung. Zeitschr. f. d. ges. phys. Ther. 44. Bd. 3. Heft. 1933.
38. E. Vigdorick: Die Bestimmung der Staubbildungen der Luft nach der Owens'schen Methode. Gig. i. Epidem. 7. Nr. 11. S. 10 ff. Leningrad.
39. M. Donau: Hygienische Untersuchungen über die klimatischen Faktoren u. d. Russ- und Staubgehalt der Luft in verschiedenen Stadtteilen Gross-Dresdens. Dissertation. T. H. Dresden 1931.

-
40. W. Aitken: Staub, Nebel, Wolken. Der Naturforscher, S. 69 ff. 1881.
 41. Lüdeling: Lufterlektrische und Staubmessungen an der Ostsee. Veröffentl. d. k. Preuss. Met. Inst. 1904.
 42. W. Aitken: Proc. Roy. Soc. Edinburg 1899.
 43. Boylan: Atmospheric dust and condensation nuclei. Proc. Roy. Irish Acad. Vol. A No. 6. 1926.
 44. Tichanowsky: Zur Methodik der Messungen mit dem Aitken'schen Kernzähler. Met. Zeitschr. S. 107 ff. 1928.
 45. W. Schmidt: Messungen des Staubgehaltes der Luft am Rande einer Grosstadt. Met. Zeitschr. S. 281. 1918.
 46. W. Mörkofer: Staubzählungen im Engadin. Verh. d. schweiz. Nat. Ges. II. Teil, S. 191. Bern 1922.
 47. Sarnetzky: Die Staubanzahl und ihr Verhalten in der Luft. Ges. Ing. 1925.
 48. V. F. Hess: Ueber Zählungen der Kondensationskerne im Innsbrucker Mittelgebirge. Gerl. Beitr. 28. Bd. S. 129. 1930.
 49. F. Schachl: Untersuchungen über die Zahl der geladenen und ungeladenen Kondensationskerne in Stadt- und Gebirgsluft. Gerl. Beitr. 38. Bd. 2. Heft. 1933.

E. Lufterlektrizität.

50. K. Kähler: Lufterlektrizität. Sammlung Göschen. 2. Aufl. 1921.
51. V. F. Hess: Die elektrische Leitfähigkeit der Atmosphäre und ihre Ursachen. Sammlung Vieweg. Heft 84/85. Braunschweig (1926).
52. A. Gockel: Lufterlektrische Beobachtungen im schweiz. Mittelland, im Jura und in den Alpen. Neue Denksch. d. Schweiz. Nat. Ges. Bd. LIV. Abh. 1 (1917).
53. F. Dessauer: Zehn Jahre Forschung auf dem physikal.-med. Grenzgebiet. Leipzig 1931.
54. K. Kähler: Ueber das Ionenspektrum der Atmosphäre. Die Naturwissenschaften. Heft 43. 1932.
55. A. Wiegand: Die Lufterlektrizität in der freien Atmosphäre. Verh. d. klimatolog. Tagung in Davos. 1925.
56. A. Wiegand: Lufterlektrische Untersuchungen bei Flugzeugaufstiegen. Fortsch. d. Chemie, Phys. u. phys. Chemie. 18. Bd. Heft 5.
57. F. Linke: Ueber atmosphärische Ionen: Zeitschr. f. d. ges. phys. Ther. 43. Bd. 3. Heft. 1932.
58. H. Israel: Ein transportables Messgerät für schwere Ionen. Zeitschr. f. Geophysik. 5. Jg. Heft 8.
59. H. Israel: Untersuchungen über schwere Ionen in der Atmosphäre. Gerl. Beitr. 23. Bd. S. 144 ff. (1929).

60. H. Israel: Zur Methodik der Grössenbestimmung von Luftionen. Gerl. Beitr. 31. Bd. (1931).
61. H. Israel: Luftelektrische Messungen im Hochgebirge ... Gerl. Beitr. 34. Bd. (1931).
62. O. Mathias: Ueber den Kleinionengehalt der Luft auf Helgoland und seine Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren. Gerl. Beitr. 27. Bd.
63. C. P. Yaglou, L. Claribel Benjamin and S. P. Choate: Changes in Ionic Content of Air in Occupied Rooms, Ventilated by Natural and by Mechanical Methods. J. of Americ. Soc. of Heat. and Ventil. Eng. Boston U. S. A. 1931.
64. G. Schorer: Ueber die Einwirkung der Luftelektrizität auf gesunde und kranke Menschen. Schweiz. med. Wo. 61. Jg. Nr. 18.
65. Storm van Leeuwen: Studien über die physiologische Wirkung des Föhns. Münch. med. Wo. 79. Jg. Nr. 8 u. 11 (1932).
66. K. Franke: Luftelektrische Erscheinungen und Witterungseinflüsse auf den Menschen. Strahlenther. 43. Bd. S. 517 ff. (1932).
67. U. Chorus und F. Levi: Luftelektrische Erscheinungen und Witterungseinflüsse auf den Menschen. Strahlentherapie. 43. Bd. (1932).
68. W. Mörikofer u. U. Chorus: Ergebnisse der Ionenzählungen in Davos. Verh. d. schweiz. Nat. G. S. 324. Thun 1932.
- 68a. M. Bider: Ueber den Einfl. met. Faktoren auf d. luftel. Potentialgefälle.. Festschr. f. d. 110. Jahresversammlung d. Schw. Nat. Ges. Davos 1929, S. 78 ff.

F. Zimmerklima und künstliche Beeinflussung.

69. E. Küster: Wohnungsklimatische Betrachtungen. Ges. Ing. 53. Jg. Heft 44 (1930).
 70. S. Muntner: Ueber Luftbefeuchtung. Ges. Ing. 49. Jg. 13. Heft (1926).
 71. L. Fleischer: Luftbefeuchter u. ihre hygienische Bedeutung. Ges. Ing. 48. Jg. 20. Heft. (1925).
 72. M. Hirsch: Hausbewetterung. Künstliche Regelung der Luftbeschaffenheit in Gebäuderäumen. Ges. Ing. 49. Jg. 13. Heft (1926).
 73. M. Hirsch: Einfluss der Luftbeschaffenheit auf das Behaglichkeitsgefühl nach Versuch und Theorie. Ges. Ing. 53. Jg. S. 36 (1930).
 74. Habs-Horst: Experimentelle Untersuchung über die hygien. Wirksamkeit von Luftbefeuchtungsanlagen. Ges. Ing. 53. Jg. II. S. 593 (1930).
 75. Bürgers und Bachmann: Zur Frage der Zimmerluftbefeuchtung. Ges. Ing. 54. Jg. Heft 43 (1931).
 76. E. Küster und A. Janitzky: Versuche über Raumbelüftung. Zeitschr. f. d. ges. phys. Therapie. 43. Bd. I. Heft (1932).
 77. E. Brezina und W. Schmidt: Versuche über die Wirkung von Absaugvorrichtungen. Archiv f. Gewerbepathol. und Gewerbehyg. 3. Bd. 4. Heft (1932).
 78. K. Rybka: Raumlufbefeuchtung nach amerikanischer Auffassung. Ges. Ing. 55. Jg. Heft 53 (1932).
-
79. M. Moeller: Das Ozon. Sammlung Vieweg. Heft 52. Braunschweig. 1921.
 80. Engelen: Die Rolle des Sauerstoffs in den Lebensvorgängen. Deutsche Aerztezeitung, 5. Jg. Nr. 232.
 81. Gutachten über den Apparat «Viozon» zum Ozonisieren der Luft. Tschechische Tech. Hochschule. Prag 1929.
 82. Blase-Crimmitschau: Ozonisierung der Kühlhausluft mit dem «Viozon». Deutsche Schlachthof-Zeitung. Folge 12 (1929).
 83. A. Thiele: Untersuchungen über die Brauchbarkeit des «Viozon» zur Ozonisierung im Kühlraum. Deutsche Schlachthof-Zeitung, Folge 10 u. 11 (1932).

LEBENS LAUF.

Ich, Kurt Egloff, wurde am 10. Dezember 1907 als Sohn des Kurt Egloff und der Anna geb. Roedde, in Arbon geboren. Vom 6. bis zum 15. Lebensjahr besuchte ich die Volks- und die Sekundarschule am Wohnort meiner Eltern und trat im Frühjahr 1923 in die technische Abteilung der Kantonsschule in Frauenfeld ein. Nach dem regulären Besuch der thurgauischen Kantonsschule und bestandener Maturität studierte ich 1926/28 an der pharmazeutischen Abteilung der E. T. H. Nach dem ersten Vorexamen in Zürich folgten drei Praktikantensemester in Lausanne, wo ich auch das 2. pharmazeutische Vorexamen ablegte. Zum Abschluss der Fachstudien studierte ich sodann drei weitere Semester an der Universität Lausanne, wo ich im März 1932 das schweiz. Staatsexamen für Pharmazie bestand.. Zurückgekehrt an die E. T. H. in Zürich, interessierte mich Herr Professor Dr. von Gonzenbach für das Thema der vorliegenden Arbeit. Während eines vollen Jahresturnus wurde das Beobachtungsmaterial am «Schweizerischen Forschungsinstitut für Hochgebirgsklima und Tuberkulose» in Davos gesammelt und anschliessend im Sommersemester 1933 in Zürich textlich verarbeitet.