

DAS KLIMA VON AGRA

(TESSIN)

EINE DRITTE UND LETZTE METEOROLOGISCH-
PHYSIKALISCH-PHYSIOLOGISCHE STUDIE

* 1927, Muottas Muraigel (Engadin 2456 m)

1932, Assuan (Ober-Ägypten), diese zusammen mit F. Lahmeyer, Assuan-Wildbad

DAS KLIMA VON AGRA

(TESSIN)

EINE DRITTE UND LETZTE* METEOROLOGISCH-
PHYSIKALISCH-PHYSIOLOGISCHE STUDIE

VON

PROF. DR. PHIL. ET MED. H. C. C. DORNO, DAVOS



MIT 41 TABELLEN SOWIE 8 ABBILDUNGEN

FRIEDR. VIEWEG & SOHN AKT.-GES. / BRAUNSCHWEIG

1934

ISBN 978-3-322-98155-4 ISBN 978-3-322-98820-1 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-98820-1

Alle Rechte vorbehalten

Inhaltsverzeichnis

	Seiten- zahl
Einleitung	1
I. Meteorologisch-physikalische Beobachtungen	3
Luftdruck	3
Lufttemperatur	3
Relative Feuchtigkeit	5
Absolute Feuchtigkeit	6
Sättigungsdefizit	7
Äquivalenttemperatur	7
Wind	8
Windstärke.	8
Windrichtung.	9
Bewölkung und Sonnenscheindauer	10
a) Bewölkung.	10
b) Sonnenscheindauer	12
Niederschläge	13
Nebel. Gewitter	15
Strahlung	16
1. Wärmestrahlung von Sonne, Himmel und Erdoberfläche	16
a) Schwarzkugelthermometer	16
b) Frigorimeterkugel	16
2. Wärmestrahlung nur der Sonne	17
3. Blauviolette (photochemische) Strahlung	19
a) Photochemische Ortshelligkeit.	19
b) Photochemisches Südlicht.	21
4. Kurzwellig ultraviolette Strahlung	22
a) der Sonne mittels Cadmiumzelle.	22
b) des Himmels mittels Cadmiumzelle	23
c) von Sonne + Himmel nach <i>Hill</i>	24
Luftelektrizität	25
Abkühlungsgröße	25
a) trocken	26
b) feucht.	28
Austrocknungsgröße	29
a) berechnet nach <i>Knoche</i>	29
b) gemessen mit <i>Piches</i> Atmometer	30
Wetterlagen	32
Zusammenfassung	35
II. Physiologische Betrachtungen.	36
Wasser- und Wärmeabgabe des Respirationstraktus	37
Wasser- und Wärmeabgabe der Oberhaut	38
Durch kurzwellig ultraviolette Strahlen, Luftverdünnung und Luftelektrizität ausgelöste Klimawirkungen	42
Unterschiedliche Klimawirkungen auf Mensch und Pflanze, Klimawirkungen im Zimmer	43

Verzeichnis der Abbildungen

	Abb.- Nr.	Seiten- zahl
Jahresgang der Lufttemperaturen in Agra	1	3
Lufttemperaturen in Agra und anderen Tessiner Orten	2	5
Relative Feuchtigkeit in Agra und anderen Tessiner Orten. Monatsmittel . .	3	6
Relative Feuchtigkeit in Agra und anderen Tessiner Orten. Mittagsmittel . .	4	6
Totale kalorische Strahlung in Abhängigkeit von Sonnenhöhe und Bewölkung	5	17
Gesamte und ultrarote Strahlung der Sonne	6	18
Ultraviolette Strahlung der Sonne	7	23
Beziehung zwischen Hauttemperatur und Abkühlungsgröße (trocken) bei Haut- temperatur	8	40

Verzeichnis der Tabellen

Auf Seite 44 bis 56 am Schlusse des Buches

	Tabellen- Nr.
Luftdruck	1
Lufttemperaturen	2
Vergleich der Lufttemperaturen von Agra und anderen Orten	3
Relative Feuchtigkeit	4
Vergleich der relativen Feuchtigkeiten von Agra und anderen Orten	5
Absolute Feuchtigkeit.	6
Vergleich der absoluten Feuchtigkeiten von Agra und anderen Orten	7
Sättigungsdefizit	8
Vergleich der Sättigungsdefizite von Agra und anderen Orten	9
Äquivalenttemperatur	10
Vergleich der Äquivalenttemperaturen von Agra und anderen Orten	11
Windgeschwindigkeit	12
Windrichtung.	13
Vergleich der Häufigkeit der Windrichtungen und der Windgeschwindigkeit von Agra und anderen Orten. Jahresmittel	14
Vergleich der Häufigkeit der Windrichtungen von Agra und anderen Tessiner Orten. Monatsmittel	15
Bewölkung, Zahl der heiteren und trüben Tage	16
Sonnenscheindauer	17
Vergleich der Zahl der heiteren, leicht bewölkten, bewölkten und bedeckten Tage 1. nach Schätzungen der Bewölkungsgrade, 2. nach Berechnung aus der Sonnenscheindauer	18
Täglicher Gang der Sonnenscheindauer	19
Vergleich der Bewölkung, der heiteren und trüben Tage und der Sonnenscheindauer von Agra und anderen Orten	20
Niederschläge	21
Vergleich der Niederschlagssummen und -häufigkeit von Agra und anderen Orten	22
Sonnenintensitäten, gemessen mit Schwarzkugelthermometer	23
Intensität der Gesamt-Sonnenstrahlung in cal/cm ² min.	24
Monatswerte der Strahlungsintensitäten und Wärmesummen der Sonne	25
Monatliche Werte und Häufigkeiten der photochemischen Ortshelligkeit.	26
Monatswerte und Häufigkeiten des photochemischen Südlichts und seines Verhältnisses zum Oberlicht	27
Ultraviolette Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe	28
Monatliche Mittel und Maxima der kurzweilig ultravioletten Strahlung von Sonne + Himmel in Agra und Davos	29
Luftelektrische Leitfähigkeit	30
Monatsmittel der trockenen Abkühlungsgröße	31
Monatsmittel der feuchten und $\frac{1}{2}$ feuchten Abkühlungsgröße und des Verhältnisses Abkühlungsgröße feucht/Abkühlungsgröße trocken	32
Monatliche Mittel, Maxima und Minima der Austrocknungsgröße und Verdunstungs- mengen	33 a–b
Verdunstungsmengen nach <i>Piche</i>	34
Temperaturänderungen von inklusive Vortag bis inklusive Nachttag des Nordföhns	35
Monatsmittel des Wasserverlustes des Respirationstraktus	36
Monatsmittel des Wärmeverlustes durch ruhige Atmung	37
Vergleich des Wasser- und Wärmeverlustes durch Atmung in Agra und anderen Orten	38
Monatsmittel der Temperaturen der Oberhaut im Schatten.	39
Physikalisch mögliche Verdunstungsmenge einer total feuchten Haut	40
Monatsmittel der trockenen Abkühlungsgröße bei Hauttemperaturen im Schatten	41

Einleitung

Die Bearbeitung des am Sanatorium Agra seit dem Jahre 1915 kontinuierlich gesammelten vielseitigen meteorologischen Materials bedeutet in doppelter Hinsicht eine interessante und dankbare Aufgabe:

1. Weil das Klima der „Sonnenprovinz der Schweiz“, des Tessin, nach den klassischen, einfachen Methoden der Meteorologie zwar in der Tallage am Seeufer (Lugano) und der Hanglage (Locarno-Muralto) sowie einigen Gipfelstationen (Monte Brè und Monte Generoso) sorgsamst und mit seltener Ausdauer beobachtet und bearbeitet worden ist [Ehre sei den Namen *Ferri*, *Mariani*¹⁾, *Kornmann*²⁾], dagegen noch eine Lücke besteht für die weiten Terrassen oberhalb Lugano bis Dino und Sonvico, welche durch zunehmende Besiedelung nicht zum wenigsten seitens den Süden aufsuchender Schonungsbedürftiger stetig an Bedeutung gewinnen. Für sie und wohl auch mannigfach für die südexponierten Lagen oberhalb Gordola bis Brissago, ja auch des Generoso-Massivs kann Agra mit Fug und Recht als Repräsentant gelten.

2. Weil die Gründung des Sanatoriums dem Gedanken entsprang, Patienten, welche das Hochgebirge nicht vertragen, eine geeignete Kurgelegenheit im milderen, sonnenreichen Süden zu schaffen und ihnen einen Austausch nach der Schwesteranstalt im 1600 m hoch gelegenen Davos-Wolfgang zu ermöglichen, falls nach erfolgter Kräftigung das Stimulans des Höhenwechsels erwünscht erschiene. Der Höhenwechsel ist ein wertvoller Heilfaktor für die Tuberkulosekranken, sei es für den Bewohner der Ebene zum Gebirge oder für den Gebirgsbewohner zur Ebene. So urteilt der Engadiner Arzt *R. Campbell*³⁾ auf Grund langjähriger Erfahrungen. Den eingehenden Kenntnissen des Hochgebirgsklimas ähnliche der Tessiner Mittellagen zur Seite zu stellen, lautet also die Aufgabe.

Schon während des Baues des mit allen Errungenschaften der Neuzeit außen und innen ausgestatteten Haupthauses im Jahre 1914 habe ich auf Ersuchen Herrn Konsul *Burchards* meinen Rat geliehen bei Errichtung, Ausstattung und Installierung der meteorologischen Station, und auch fernerhin mein Interesse derselben um so lieber geliehen, als der leitende Arzt, Prof. Dr. *Hanns Alexander* trotz seines immensen Arbeitsbereiches dauernd das größte Interesse und Verständnis für das klimatische Problem im Interesse seiner Kranken bewies und daher den Ausbau der Station nach modernen

Methoden (Strahlungs- und luftelektrische Messungen, Bestimmung der Abkühlungsgröße, Verdunstung u. a.) jederzeit lebhaft förderte. Daher beantwortete ich seine im Sommer 1932 an mich gerichtete Anfrage, ob wohl der Zeitpunkt gekommen sei, das seit 1915 gesammelte große Material einheitlich zusammenzustellen und zu bearbeiten und wer für diese Aufgabe wohl geeignet wäre, nach erster Prüfung der gesamten Akten dahin, daß ich nach Abschluß des Beobachtungsjahres 1932 gern selbst die Aufgabe übernehmen wolle. Ihr letzter Abschluß hat infolge Krankheit leider länger als erwünscht auf sich warten lassen.

Das Sanatorium Agra liegt bei 45° 58' geogr. Br., 8° 54' östlich Greenwich in 565 m Meereshöhe, 290 m oberhalb des Luganer Sees am Südostabhänge der Collina d'oro in nach Schönheit und Einsamkeit paradiesischer Lage auf dem geräumigen Plateau einer nach Süden in den See vorstoßenden, zu diesem und dem Scairolotal in E, S und W steil abfallenden Landzunge zwischen Rebbergen und Edelkastanienwäldern. Die Instrumente sind teils (Thermometer) auf der Nordseite, teils (Strahlungs- und Verdunstungsapparate) auf dem Dache des Haupthauses postiert, der Heliograph auf der Terrasse vor dem Hause, Barometer im Hausinnern. Trocken-, Feucht-, Maximum-, Minimum-, Insulations-Thermometer, Haarhygrometer, Regenmesser, Anemometer, Glaskugelheliograph nach *Campbell-Stokes* wurden von der Meteorologischen Zentralanstalt Zürich geliefert, und von dieser wurden auch die vom letztgenannten Instrument gelieferten Streifen der täglichen Sonnenscheindauer als wohl dem wichtigsten meteorologischen Element regelmäßig ausgewertet. Die Strahlungs- und luftelektrischen Apparate, Frigorimeter und Verdunstungsmesser stammen vom Physikalisch-meteorologischen Observatorium Davos. Mittels der ersteren hat auf meine Bitte das Preußische Meteorologische Observatorium Potsdam in den Jahren 1922/23 durch seinen Direktor, Herrn Geheimrat *Süring*, während 7 Monaten, und durch Herrn Dr. *Fritz Löwe* während 5 Monaten eine für den ganzen Südfuß der schweizer Alpen fundamentale Arbeit¹⁾ geliefert. Seit Oktober 1923 wurden unter des Davoser Observatoriums Anleitung und Aufsicht Strahlungsmessungen mittels einfacher Methoden fortgesetzt und Messungen und Registrierungen der Abkühlungsgröße und der Austrocknungsgröße (Verdunstung) hinzugefügt. Die Resultate wurden, begleitet von den Witterungstabellen, monatlich an das Davoser Observatorium zwecks Nachprüfung geliefert.

¹⁾ Ann. Schw. Met. Zentralanst. 1864ff.

²⁾ *Frank Kornmann*, Das Klima Luganos; *Paul Haupt*, 1924.

³⁾ Ann. Schw. Baln. Ges. 27, 1932.

Dorno, Klima von Agra

¹⁾ *R. Süring*, Strahlungsklimatische Untersuchungen in Agra (Tessin). Meteorol. Zeitschr. 41, 325—346, 1924.

Ein Wechsel der Thermometeraufstellung auf der Nordseite des Haupthauses vom Parterre des Westflügels zur Mitte der dritten Etage wurde auf Geheimrat *Sürings* Rat im November 1922 vorgenommen, weil in der Frühstunde des Herbstes und Frühjahrs die erstere Aufstellung von der Sonne erreicht wurde und ein Jalousieschutz nicht genügte. Über die hierdurch notwendig gewordene Korrektur wird unten berichtet.

Die Prüfung der 18jährigen Witterungstabellen (1915—1932) auf Homogenität verursachte einige Mühe, denn die Beobachtungen litten, wie an einer nicht-professionellen Station unvermeidlich, zeitweilig unter häufigem Beobachterwechsel, auch standen Perioden aufopfernd und sachgemäß wahrgenommenen Dienstes solche gegenüber, in denen nur eben schematisch der Pflicht genügt wurde. Gottlob überwiegen weitaus die ersteren, vornehmlich dank der jederseits vieljährigen interessevollen und sachverständigen Arbeiten der Herren *Warth*, *Schwick* und *Forster*, in anderen mußte dagegen jedes Einzelelement tagweise auf augenscheinliche Fehler durch falsche Ablesung oder reparaturbedürftig gewordene Instrumente geprüft werden, und für 4 Monate des Jahres 1925 blieb nichts anderes übrig als Rekonstruktion vermittels der gleichzeitigen Beobachtungen in Lugano. Einer Nachrechnung sind sämtliche Tabellen unterzogen worden.

Der Wechsel der Thermometeraufstellung erbrachte, wie das in einem so ausgeprägten Strahlungsklima nicht anders zu erwarten war, einige Ungleichheiten der Anzeige. Auf doppelte Weise sind dieselben festgestellt, nämlich 1. durch Vergleich der Tagesamplituden (Differenz der Mittag—Morgen- und der Mittag—Abend-Werte) in Lugano und Agra während der Periode 1915—1922 und der Periode 1923—1932; er erwies, daß in der ersten Periode die Morgenwerte im April 0.58° und im September 0.19° zu hoch gelegen haben, 2. durch Vergleich der monatlichen Temperaturmittel in Lugano und Agra während der beiden Perioden. Hier lagen die Werte der zweiten Periode stets höher, und zwar im Sommerhalbjahr (April—September) um 0.44° , im Winterhalbjahr (Oktober—März) um 1.1° , im Jahresmittel um 0.77° . Entsprechend sind die Werte der ersten Periode auf die zweite reduziert. Reflexion und Eigenstrahlung des auf der Nordseite (Rückseite) des Hauses unmittelbar aufsteigenden, in seinem unteren Teil im Hausschatten weniger von der Sonne erreichten, mit Edelkastanien geschmückten Ausläufers des Mt. Croce erklären die Differenz. Die zweite Aufstellung entspricht mehr als die erste dem durchschnittlichen Aufenthalt der Patienten.

Die Beobachtungstermine waren für sämtliche Witterungselemente (Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Bewölkung, Wind, Niederschlag, Verdunstung) die üblichen, nämlich $7\frac{1}{2}$, $13\frac{1}{2}$, $21\frac{1}{2}$ Uhr, dagegen für die Messung und Registrierung der Abkühlungsgröße mit Rücksicht auf den „Krankentag“ von April bis September $6\frac{1}{2}$, 13, $19\frac{1}{2}$ Uhr, von Oktober bis März $7\frac{1}{2}$, 13, $18\frac{1}{2}$ Uhr, für die Strahlungselemente diejenigen, welche die ge-

wünschten Zeitpunkte bzw. Zeitabschnitte bzw. die Meßmethoden erforderten; sie sind unten in den entsprechenden Abschnitten angegeben.

Eine 18jährige Beobachtungsreihe ist noch ziemlich kurz zur sicheren Feststellung der „Normalwerte“ in mittleren und hohen geographischen Breiten. Die sogenannte „Reduktion der kürzeren Reihe auf die lange“ bietet Aushilfe und einen Prüfstein für das Maß der Genauigkeit. Sie beruht auf dem Gesetz, daß die Differenzen der meteorologischen Werte zweier benachbarter Orte viel konstanter sind als die Werte selbst. Eine Prüfung der Temperaturdifferenzen zwischen Agra und dem kaum 6 km in Luftlinie entfernten, freilich fast 300 m niedriger gelegenen Lugano, von dem ein kontinuierliches Material ab 1864 vorliegt, führt zu dem Schluß, daß durch eine 50jährige Beobachtungsreihe sich das Jahresmittel der Temperatur Agras nur um 0.04° ändern, und zwar senken würde. Die Differenzen in der relativen Feuchtigkeit erweisen sich dagegen weit größer — aber aus einem Grunde, auf den noch zurückzukommen sein wird.

Die Monatsmittel der Witterungsfaktoren der Jahre 1915—1921 sind in den „Jahresberichten der Deutschen Heilstätte Davos“ regelmäßig publiziert worden. *F. Kornmann* hat l. c. auf S. 65—66 einige Schlußzahlen aus der Periode 1915—1919 zum Vergleich mit den Luganowerten herangezogen. In beiden Fällen bedürfen die Lufttemperaturen der oben begründeten Korrektur. In den allein aus Beiträgen anwesender oder früherer Patienten gespeisten „Monatsheften des Deutschen Hauses Agra“, genannt „Die Terrasse“, welche gleich dem vorbildlich von Prof. *Alexander* eingerichteten freiwilligen Arbeitsdienst erfreulich Zeugnis ablegt von der regen, die ärztlich-medikamentöse unterstützenden geistigen und körperlichen Arbeitstherapie, findet sich dann auf S. 34—48 und 67—69, 1930, die wertvolle Arbeit *E. Forsters* „15 Jahre meteorologische Messungen in Agra“, welche teils die Periode 1915—1929, teils nur die Periode 1923—1929 erfaßt. Mit seiner letzten Kraft hat dieser vielversprechende Student der Physik und Meteorologie in höheren Semestern das spröde und große Material zu meistern gesucht; ein stilles Heldentum spricht aus den das langsame Fortschreiten seiner Arbeit erklärenden Briefen und aus der Fülle der vorbereitenden Berechnungen und Übersichten, bei denen er in wahrer Freundschaft unterstützt wurde von Herrn *Richard Schwick*, der — gleichfalls für die meteorologische Wissenschaft enthusiastisch — weiter zurückliegende Zeiten langen Krankenlagers autodidaktisch erfolgreich zur Erwerbung von sicheren Fachkenntnissen ausgenutzt hatte. *Forster* ist die Herausschälung der Hauptcharakteristika der Witterungselemente so gut gelungen und er hat trotz großer Kürze eine so prägnante Darstellung und Erläuterung gegeben, daß ich — im Andenken an ihn —, wo immer möglich, seine eigenen Worte gebrauchen werde bei den im ersten Teile dieser Arbeit auf Grund nunmehr homogen gestalteter 18jähriger Reihen gezogenen erweiterten Schlüssen.

I. Meteorologisch-physikalische Beobachtungen

Luftdruck (Tabelle 1)

Derselbe wurde mittels eines Aneroidbarometers beobachtet. Dies erwies sich in den Jahren 1915—1927 zuverlässig, bedurfte alsdann aber Reparaturen. Notwendig gewordene Korrekturen seiner Angaben basieren auf dem Vergleich mit Lugano.

Der mittlere Barometerstand ist in Agra 712.5, im Tagesgang ist das Mittagsminimum angedeutet ($7\frac{1}{2}^h$ 712.5; $13\frac{1}{2}^h$ 712.4; $21\frac{1}{2}^h$ 712.6), im Jahresgange fällt das Maximum auf den September (714.2), das Minimum auf den April (709.0) im Gegensatz zu Lugano, wo der Luftdruck seinen Höchststand im Januar (739.6) erreicht, während der tiefste Stand ebenfalls auf den April (735.2) fällt. Es tritt darin das zutage, was durch die Temperaturmessungen bestätigt wird, nämlich, daß im Winter die schwere, kalte Luft unterhalb von Agra liegt. Fortschreitend zur Monte Generoso-Höhe (1610 m) finden wir wiederum das Minimum im April (623.7), das Maximum aber sogar im Juli (630.8), als Ausdruck der größten Temperaturunterschiede. In dieser Höhe verläuft die jährliche Luftdruckkurve schon streng einwellig, während in Agras Höhe das Wintermaximum als sekundäres noch leicht angedeutet erscheint. Entsprechend dem Temperaturgange nehmen die Jahresamplituden, wie aus obigen Zahlen ersichtlich, mit der Höhe zu, nämlich von 4.4 auf 5.2 bzw. 7.1 mm. Von der Monte Brè-Station liegen Barometerablesungen leider nicht vor. Der Jahresgang entspricht in Locarno und Bellinzona dem von Lugano; beide Orte liegen also im Winter noch im Bereich der kalten Luft. Die mittleren monatlichen Maxima und Minima des Luftdrucks belaufen sich in Agra auf 720.8 bzw. 702.6; als extremste sind in den 18 Jahren an den Beobachtungsterminen notiert 731.8 bzw. 687.0. Selbst diese extremsten aller möglichen Schwankungen sind nur wenig größer als die, der man sich durch eine Fahrt von Agra nach Lugano unterzieht. Die Schwankungen sind im Sommer (12.4) geringer als im Winter (21.9), während Frühjahr und Herbst, einander ähnlich (19.2 bzw. 19.7), eine Mittelstellung einnehmen.

Lufttemperatur (Tabelle 2 bis 3, Abb. 1 bis 2)

Mit einem Jahresmittel von 11.5°C übertrifft Agra die mittleren Temperaturen gleicher Höhenlage der Schweizer Nordalpen um volle 3° , und zwar — sehr günstig — durch Hebung der Wintertemperaturen um gut 5° , der Sommertemperaturen aber nur um 2° . Das Jahresmittel liegt auch 1° höher, als es im Mittel an gleich hoch gelegenen Orten der Schweizer Südalpen gefunden wird. Großer Sonnenscheinreichtum, weit gegen Süden aufgeschlossene, sanft geneigte Lage, Schutz gegen kalte Nord- und Ostwinde, Ausgleich durch den nahen See wirken diesbezüglich vereint. Nach den verhältnismäßig warmen Monaten Januar und Februar (3.6 bzw. 3.5°) steigt die Temperatur gleichmäßig an, um

im Juli (20.2°) den Höhepunkt zu erreichen, die Jahreschwankung beträgt also 16.7° . Im Herbst ist der Abfall weniger steil als der Anstieg im Frühjahr, denn die meteorologisch einander entsprechenden Monate weisen im Herbst fast 2° höhere Temperaturen auf als im Frühjahr. Von großer klimatischer Bedeutung sind die periodischen Temperaturschwankungen im Tageslaufe und die aperiodischen interdiurnen von Tag zu Tag. Erstere belaufen sich im Mittel nur auf 3.6° und sind im Winter (3.1°) am kleinsten, im Sommer (4.0°) am größten, im Frühjahr (3.9°) größer als im Herbst (3.4°). Die Temperatur steigt also im Mittel vom Morgentermin ($7\frac{1}{2}^h$) zum Mittagstermin ($13\frac{1}{2}^h$) nur um 3 bis 4° . Am

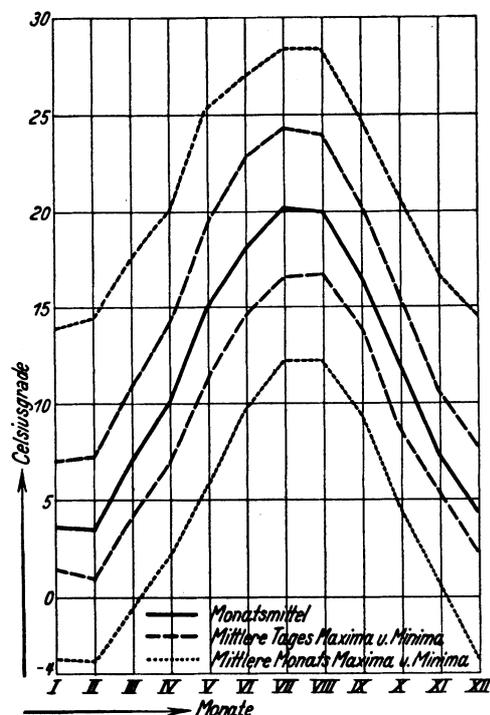


Abb. 1.

Jahresgang der Lufttemperaturen in Agra 1915—1932

Abendtermin ($21\frac{1}{2}^h$) ist es stets, im Mittel um 0.8° , wärmer als am Morgentermin. Nachts sinkt die Temperatur natürlich noch weiter, und die höchste Tagestemperatur trifft auch nicht stets auf den Mittagstermin, daher fallen die Schwankungen der von den Extremthermometern gemeldeten mittleren täglichen Maxima (15.3) und Minima (8.6) während des 24-Stunden-Tages höher aus und belaufen sich im Jahresmittel auf 6.7° , steigend vom Winter zum Sommer von 5.8 zu 7.8° . Die Mittel der im ganzen Monat notierten mittleren monatlichen Höchst- (21.0°) und Niedrigst- (3.8°) Werte schwanken natürlich viel mehr, nämlich um 17.2° , und zwar im Frühjahr (18.6°) am meisten, im Herbst (16.0°) am wenigsten. Insgesamt variieren die mittleren monatlichen Extremtemperaturen von 28.4° im Juli/August bis -3.3° , im Februar um 31.7° .

In Abb. 1 seien, wie *Forster* es mit wenig abweichenden Größenwerten getan hat, die Kurven der Monatsmittel, der mittleren täglichen Maxima und Minima und der mittleren monatlichen Maxima und Minima für das ganze Jahr gezeichnet und seine eigenen Worte hinzugefügt: „Der Abstand der beiden äußersten Linien stellt die mittlere größte Temperaturschwankung innerhalb eines Monats dar. Es fällt sofort auf, daß im Winter der Ausschlag nach oben geht (z. B. im Februar 10.9° über dem Tagesmittel, aber nur 6.8° darunter), eine Erscheinung, die wir hauptsächlich dem Nordföhn verdanken, während im Sommer der Ausschlag der Minima nach unten überwiegt. Auffallend ist weiterhin die geringe Schwankung im Herbst, die auf gleichmäßige Wettergestaltung schließen läßt.“

In die 18jährige Periode fielen abnorm warme Sommer und ungewöhnlich kalte Winter, so daß man aus diesen die äußersten Grenzen der jemals zu erwartenden Wärmeschwankung wohl ableiten kann. Die Mittel der ganzen Jahre werden relativ wenig tangiert (mit maximal 1.9° Schwankung), am meisten dagegen die Hochwinter- und Hochsommermonate. So kann es Februarmonate mit Temperaturmitteln von $+6.3^{\circ}$ und von -1.3° (Schwankung 7.6°) geben, und Julimonate von 23.7 und 17.4° (Schwankung 6.3°), also mit Unterschieden, die doppelt so groß sind als die normal zwischen Morgen- (oder Abend-) und Mittagstemperaturen zu erwartenden. Als höchster Hitzegrad ist innerhalb der 18 Jahre einmal 35.7° (Juni 1919) notiert; es folgt eine einmalige Notiz von 33.9° (August 1918). An der Richtigkeit beider könnten Zweifel aufkommen, da „Tropentage“, d. h. solche, an denen die Temperatur von 30° im Schatten zeitweilig erreicht wird, außerordentlich selten vorkommen, nämlich — wie Tabelle 2 ausweist — alle 2 Jahre nur etwa einmal. 31.5° dürfte die höchste erreichbare Temperatur sein. Als höchster Kältegrad findet sich einmal -11.1° (am 12. Februar 1929) während des in ganz Europa exorbitant strengen Winters; es folgt eine einmalige Notiz von -10° (Januar 1926). „Wintertage“, d. h. solche, an denen die Temperatur während des ganzen Tages unterhalb 0° verbleibt, sind durchschnittlich in jedem Jahre zweimal zu erwarten, am ehesten im Februar. Über die Zahl der „Sommer-tage“, an denen die Temperatur von 25° zeitweilig überschritten wird (nur 28 gegenüber 65 in Lugano, laut Tabelle 3) und der „Frosttage“, an denen zeitweilig Minusgrade auftreten (nur 30 gegenüber 53 in Lugano, laut Tabelle 3) und ihre Verteilung auf die einzelnen Monate berichtet die Tabelle 2 gleichfalls. Nur im Juli/August bzw. Januar/Februar finden sie sich häufiger.

Trotz der bekanntermaßen nicht selten das Tessin mit großer Plötzlichkeit und Wucht durchbrausenden kurzwährenden Unwetter nehmen — fast überraschend — die aperiodischen mittleren interdiurnen Schwankungen kein bedeutendes Ausmaß an, ja, sie erweisen sich im Jahresmittel mit 1.45° sogar im Vergleich mit anderen Orten als klein. Am größten sind sie im — mit Brausen

einziehenden — Frühjahr (im Mittel 1.70°), am kleinsten im durch Gleichmäßigkeit der Witterung ausgezeichneten Herbst (1.23°), im Winter (1.57°) ähnlich dem Frühjahr, im Sommer (1.33°) ähnlich dem Herbst. Einen gleichen Gang zeigen die monatlichen Maxima der interdiurnen Schwankungen, welche im Jahresmittel 4.67° erreichen. Im Frühjahr und Winter kommen von einem Tag zum anderen maximale Temperaturstürze von 7.4 bzw. 7.1° vor, im Sommer und Herbst solche von 6.3 bzw. 5.5° . Das einmalige absolute Maximum erreichte im Wechsel vom 30. November zum 1. Dezember 1922 8.5° .

Die kleine Vergleichstabelle 3 wird den Wert und die Gunst der genannten Temperaturzahlen in das richtige Licht setzen: Gegenüber der Talstation Lugano zeichnet sich Agra bei gleich günstigem Jahresmittel durch sehr viel geringere Temperaturschwankungen aus, sowohl im Jahresgang wie noch mehr im Tagesgang und in den Extremwerten. Nur in den aperiodischen interdiurnen Schwankungen weist es eine ein wenig höhere Zahl auf, wie sich leicht durch die freie Exposition gegen die West- und Südwestwinde erklärt. Nicht nur im Mittel des ganzen Jahres, sondern auch in allen einzelnen Jahreszeiten ist die Tagesamplitude (Differenz von Mittagswert und Morgenwert, der ja immer unter dem Abendwert liegt) in Lugano bedeutend höher, und zwar in der heißen Jahreszeit um volle 3.7° , in der kalten nur um 1.9° . So liegen die Temperaturen Agras in den warmen Tagesstunden (mittags) stets, im Sommer um 3.7° , im Winter nur um 0.3° niedriger, des Morgens und Abends aber höher, außer in den heißen Sommermonaten, im Winter um 2.2 bzw. 1.8° . Eindrucksvoller wirkt noch der Vergleich der Häufigkeit der Sommertage und Frosttage — erstere 2.3mal, letztere 1.7mal häufiger in Lugano. Hier kommen Sommermonate vor, in denen fast täglich 25° erreicht werden, das Mittagsmittel Luganos liegt ja auch bei 24.8° im Sommer. Geradezu erstaunlich groß erweist sich der Unterschied zwischen zwei nur 6 km voneinander entfernten und kaum 300 m verschieden hoch gelegenen Orten — ganz im Gegensatz zur geringen Differenz zwischen den ähnlich zueinander liegenden Orten Davos und Arosa. Er erklärt sich durch die eigenartige Topographie des Tessin und liefert den Beweis für die Notwendigkeit und Nützlichkeit der vorliegenden Arbeit.

Der Vorzug größerer und gleichzeitig gleichmäßiger Wärme wächst stark gegenüber den Orten der Ebene (Basel, Berlin) und weit mehr noch zum Hochgebirgskurort, wo die Tagesschwankungen mehr als das Doppelte der mittleren Jahrestemperatur erreichen. Auch die Temperaturschwankungen von Tag zu Tag schnellen aufwärts schon in Basel, mehr noch in Berlin und Davos, und erweisen sich in Agra, wie schon erwähnt, als gering. Aufmerksam sei noch darauf gemacht, daß die Zahl der „Sommertage“ in Agra geringer ist als in Berlin, was die häufig zu findende falsche Vorstellung einer zu großen Sommerhitze unwiderruflich widerlegt. Auch an diesen folgt in der Nacht — was für Lungenkranke besonders erwünscht und vorteilhaft ist — eine wohlthuende Ab-

kühlung, denn nur in $5\frac{1}{2}$ Nächten des ganzen Jahres verbleibt das Thermometer oberhalb 20° . Das ist sicherlich eine außerordentlich günstige Zahl. Beweisende Vergleichszahlen sind leider nicht zur Hand, doch besagt die Gegenüberstellung der hohen sommerlichen Abendtemperaturmittel von Lugano und Agra, daß sie in Lugano ganz wesentlich höher liegen muß. Imponierend ist die Differenz der jährlichen Frosttage von Davos und Agra = 165.

Innerhalb des Tessin fesseln die mit steigender Höhe recht regelmäßig kombiniert miteinander abnehmenden Temperaturen und Temperaturschwankungen. Nur Locarno fällt durch relativ höhere Temperatur und geringere, aber gegenüber Agra doch hohe Schwankung auf infolge seiner sehr geschützten und der Reflexion von der weiten Seefläche ausgesetzten Hanglage. Der Monte Generoso leidet infolge seiner gegen die Potiefebene vor-

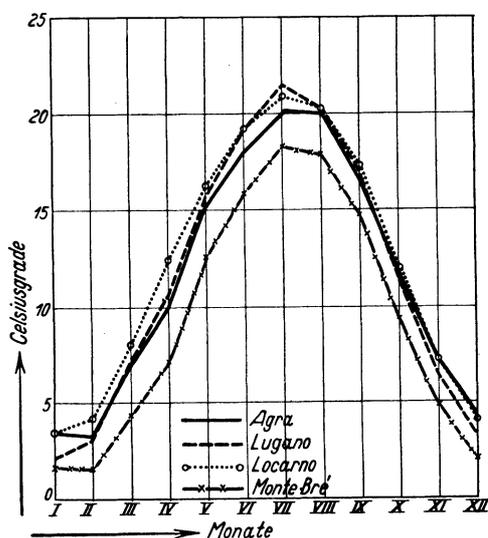


Abb. 2. Jahresgang der Temperaturmittel in Agra, Lugano, Locarno, Monte Brè

geschobenen Lage unter stark wechselnder, die Temperatur unregelmäßig beeinflussender Bewölkung. Im jährlichen Gang verlaufen (Abb. 2) die Temperaturen der Stationen Locarno, Agra, Monte Brè als Hang-, Plateau-, Gipfelstationen annähernd parallel, während die Temperaturen aller drei Orte gegenüber der ausgesprochenen Talstation Lugano mit der Höhe im Winter sehr viel weniger abnehmen als im Sommer — ein Ausdruck der winterlichen Temperaturumkehr von dem unter absinkender kalter Luft liegenden Tal zu den intensiv bestrahlten Höhen. Lugano ist daher im Januar etwa so kalt wie Monte Brè, holt im Frühjahr Agra und Locarno ein und steigt dann im Sommer beträchtlich darüber hinaus. Im Herbst, wenn die Atmosphäre gleichmäßig durchwärmt ist, verringern sich die entsprechenden Temperaturdifferenzen. Interessant ist der Vergleich der Jahrestemperaturen von Monte Generoso und dem ähnlich hoch gelegenen Davos. Die im ersteren Falle trotz stärkerer Bewölkung volle 20° wärmere Temperatur erklärt sich nicht durch die ein wenig südlichere

Lage, sondern durch grundsätzlich andere Luftkörper, welche infolge des mächtigen, klimascheidenden Alpenwalles die beiden Orte (und allgemein das Tessin und das Bündner Hochplateau) erreichen in dem großen Zirkulationsprozeß zwischen Äquator und Pol.

Luftfeuchtigkeit

a) Relative Feuchtigkeit (Tabelle 4 bis 5, Abb. 3 bis 4)

Das Haarhygrometer ist kein vollkommenes Instrument, es bedarf dauernder Überwachung durch ein Aspirationspsychrometer, mit welchem außer dem meist allein in üblicher Weise bestimmten Sättigungspunkt mindestens noch ein zweiter Punkt in niedrigen Graden sicher fixiert werden muß. Auch dann bleiben die Ausschläge keineswegs weder proportional der relativen Feuchtigkeit (rel. F.) noch auch stets den Gay-Lussacschen Zahlen, denn unter länger anhaltenden Extremen der Feuchtigkeit und Trockenheit oder Frost leidet auch das bestpräparierte Haar, und Staub und Strahlung werden diesem, Staub oder gar leichter Rostansatz der Spannvorrichtung und Zeigerübertragung fatal. So ist es keineswegs überraschend, sondern im Gegenteil natürlich, daß auf der Agreser Station sich des öfteren durch Neueinstellung des Instruments verursachte Sprünge von 5 bis 10% finden. An den amtlichen Stationen ist es nicht anders: So liegen in Bellinzona die Werte der rel. F. im größten Teil des Jahres 1928 und im ganzen Jahre 1929 bis zu 15% zu niedrig, und auf Monte Generoso differieren die Werte des Jahres 1918 in durch abweichende Bewölkung oder Niederschlag wohl nicht zu erklärender Weise auffällig von den übrigen Werten. Man wird sich damit zufrieden geben müssen, daß sich in langen Reihen derartige Unebenheiten genügend glätten. Fatal aber ist, daß das 50jährige Gesamt-mittel der Jahre 1864—1913 der rel. F. an der Basisstation Lugano, welches F. Kornmann (l. c.) auf Grund der großen Arbeit Prof. Ferris verwendet hat, um volle 10,2% nach oben abweicht von dem der hier zugrunde gelegten 17jährigen Vergleichsperiode 1915—1931, und zwar zu allen Terminen und Jahreszeiten ziemlich gleichmäßig. Durch instrumentelle Mängel läßt sich das schwerlich erklären, wohl aber durch einen Wechsel der Umgebung der Station, vielleicht verschiedenen Baumbestand des Gartens des Lyzeum, in dem sie liegt? Die neuen, niedrigeren Werte ordnen sich besser ein in die der verwandten Stationen Bellinzona und Locarno.

Das Jahresmittel von 68.4 rel. F. erweist sich gut 10% niedriger als an ähnlich hoch gelegenen Orten der schweizer Nordalpen. Dies gilt angenähert für das ganze Tessin und entspricht seiner oben schon erwähnten größeren Luftwärme, da ja doch rel. F. und Temperatur stets inversen Gang zu zeigen pflegen. Das gegenüber Lugano und Locarno um 4% höhere Jahresmittel (Tabelle 5) erklärt sich allein durch eine um 11 bis 12% geringere Mittagssenne. Daher kommen lästig fallende Trockenheitsgrade kaum vor und die rel. F. bleibt sich im Tageslauf bemerkenswert gleich, sie schwankt nämlich im Durchschnitt vom Morgen (bzw. Abend) zum Mittag nur um 10.3% (bzw. 9.3%), in Lugano aber um 20% (bzw. 17%) bei im Jahresgang (vom feuchtesten zum trockensten Monat) geringen Unterschieden (Agra 11.5%, Lugano 11.0%). Dieser Jahresgang weist anormal ein ausgesprochenes Frühjahrsminimum und Herbstmaximum auf, bei nur geringer Andeutung des üblichen Sommerminimums. Deutlicher als in den Tagesmitteln (Abb. 3) prägt sich das in den Mittags-

mitteln aus (Abb. 4). Dieser anormale, stark ausgeprägte Jahresgang wird nicht etwa durch Zufälligkeiten der Mittelbildung vorgetäuscht, sondern er kehrt in allen Einzeljahren wieder und er ist, wie eine nähere Betrachtung der Abb. 3 und 4 zeigt, keineswegs auf Agra be-

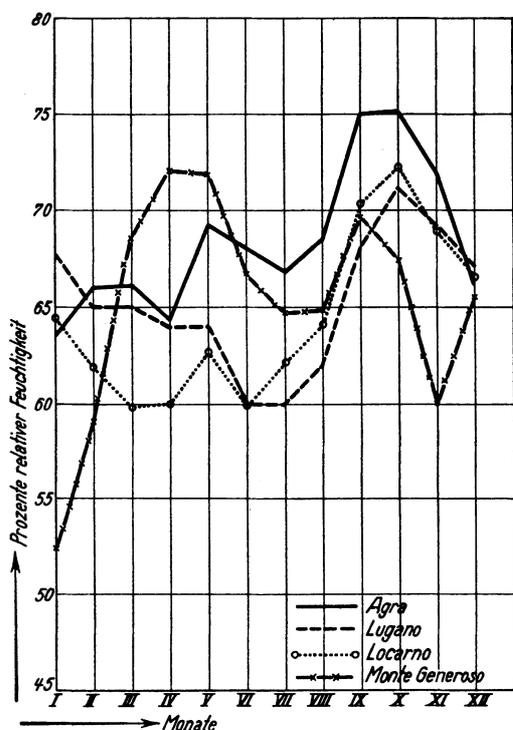


Abb. 3. Jahresgang der relativen Feuchtigkeit in Agra, Lugano, Locarno, Monte Generoso (Monatsmittel)

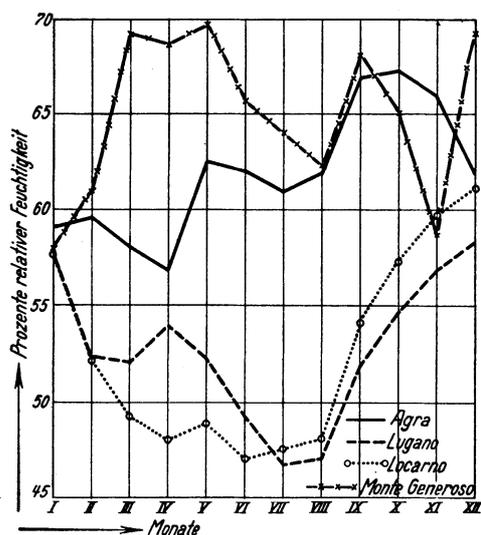


Abb. 4. Jahresgang der relativen Feuchtigkeit in Agra, Lugano, Locarno, Monte Generoso (Mittagsmittel)

schränkt, sondern dem ganzen Tessin (außer den hohen Berggipfeln) eigen, nur in Agra stärkstens ausgeprägt, denn auch in Lugano und Locarno (und ebenso an der trockensten und wenigst schwankenden der Tessiner Stationen, Bellinzona, dessen Kurve ähnlich der von Locarno, nur etwas niedriger, verläuft) ist die Frühjahrs-

senke im März/April erkennbar, und das Herbstmaximum deutlichst. Von Monte Brè liegen leider keine Zahlen vor. Nur Lugano als ausgeprägte Talstation zeigt richtig und klar das normale sommerliche Minimum. Die Kurve des Monte Generoso läuft unter dem Einfluß stärkerer und wechselnder Bewölkung und kräftiger Niederschläge ziemlich unregelmäßig, aber im allgemeinen invers zu den übrigen Kurven mit Hauptminimum im Winter, sekundärem im Sommer, Hauptmaximum im Frühjahr, sekundärem im Herbst. Die Ursachen der besprochenen Anormalität finden sich in dem Gemisch von Berg- und Talwinden, Land- und Seewinden, auf welche weiter unten eingegangen werden soll.

Tabelle 5 weist die in der Ebene und im Hochgebirge höheren Mittelwerte und größeren Schwankungen der rel. F. zahlenmäßig nach. In den Minimas kommt die verschiedene Trockenheit, d. h. die verschieden große Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf am deutlichsten zum Ausdruck.

Die Schwankungen der rel. F. von Jahr zu Jahr sind nicht gering, die Jahresmittel bewegen sich zwischen 77.6 und 60.4%; ihre Beziehung zur Niederschlagsmenge und Niederschlagshäufigkeit, zur Bewölkungsziffer und zu den Windrichtungen wird durch die Mittelbildung verwischt.

b) Absolute Feuchtigkeit (Tabelle 6 und 7)

Die absoluten Feuchtigkeiten, Sättigungsdefizite, Äquivalenttemperaturen sind für die Jahre 1930—1932 aus allen einzelnen Terminwerten einzeln berechnet. Es hat sich dabei gezeigt, daß für die Monatsmittel eine genügende Genauigkeit erreicht wird, wenn sie aus den monatlichen Mitteln der drei Termine abgeleitet werden. Daher sind dann auf diese Weise die absoluten Feuchtigkeiten, Sättigungsdefizite und Äquivalenttemperaturen auch für alle weiter zurückliegenden Jahre berechnet worden.

Die absolute Feuchtigkeit (abs. F.) gibt den wahren Wasserdampfgehalt der Luft in Gramm pro Kubikmeter Luft an und ist von Bedeutung, weil die Differenz zwischen ihr und dem Fassungsvermögen der Luft (d. h. möglicher abzüglich vorhandener Wasserdampfmenge) das Sättigungsdefizit ergibt, welches die Verdunstung (Austrocknung) maßgebend bestimmt.

Die abs. F. (7.41 im Jahresmittel, laut Tabelle 6) schwankt ähnlich der rel. F. im Tageslaufe nur wenig in Agra; der Anstieg vom Morgen zum Mittag verläuft in allen Monaten etwas steiler als der Abstieg vom Mittag zum Abend, und die Amplitude des Sommers übertrifft die des Winters. Ganz im Gegensatz zur rel. F. sind aber im Jahreslaufe die Schwankungen der abs. F. außerordentlich groß, denn absolut ist die Luft im Hochsommer zu allen Terminen rund 3.3mal feuchter als im Hochwinter, und maximal schwankt ihr Wasserdampfgehalt um das 16fache (von 1.11 auf 17.86). Die Schwankungen übertreffen laut Tabelle 7 sogar die Mittel. Die Ursache dieses ganz verschiedenen Verhaltens von rel. F. und abs. F. ist darin zu suchen, daß der Wasserdampfgehalt der gesättigten Luft mit steigender Temperatur nicht nur allgemein, sondern immer schneller zunimmt.

Deutlich zeigt die abs. F. ihre Abhängigkeit von der Temperatur trotz des oben besprochenen anormalen Verhaltens der rel. F. durch ununterbrochenen An- und Abstieg vom Januar zum Juli und umgekehrt (Tabelle 6); die Winter-, Frühjahrs-, Sommer-, Herbstwerte erreichen 3.81 bzw. 6.56 bzw. 11.49 bzw. 7.80 g; der Herbst ist also nicht nur relativ, sondern auch absolut feuchter als das Frühjahr.

Entsprechend der größeren rel. F. liegt auch die abs. F. in Agra im Jahresmittel ein wenig, im Mittagsmittel etwas mehr über der von Lugano, Locarno, Bellinzona (Tabelle 7), und die erwähnte große Abhängigkeit des Wasserdampfgehalts der Luft von der Temperatur bringt es mit sich, daß allgemein an allen Orten die Jahres- und Mittagsschwankungen etwas größer ausfallen als der mittlere Wasserdampfgehalt. Groß sind die Unterschiede in den Orten der Ebene nicht, wohl aber unterscheiden sich diese sehr beträchtlich von den (infolge niedrigerer Temperatur und daher geringem Fassungsvermögen der Luft) zu allen Tages- und Jahreszeiten ähnlich, um rund 40%, trockneren Gebirgsorten in etwa 1600 m Höhe, an denen sich die Schwankungen absolut viel kleiner, relativ aber größer erweisen.

Die Schwankungen der abs. F. von Jahr zu Jahr bewegen sich in den Grenzen von 8.53 und 6.07; sie übertreffen also ein wenig die der rel. F., in ganz großen Zügen kann man wohl aber eine Parallelität zwischen beiden aus den einzelnen Jahreswerten herauslesen.

Sättigungsdefizit (Tabelle 8 und 9)

Das Sättigungsdefizit (SD.) der Luft, d. h. die Wasserdampfmenge (in Gramm pro Kubikmeter Luft), welche die Luft bei gegebener Temperatur noch aufzunehmen imstande ist, oder die Differenz zwischen bei gegebener Lufttemperatur maximaler gegenüber vorhandener Wasserdampfmenge (abs. F.), weicht in seinem Gange infolge der oben besprochenen, mit steigender Temperatur immer schneller zunehmenden Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf recht beträchtlich ab von dem der abs. F., indem die Tagesschwankungen laut Tabelle 8 recht große sind. Der Anstieg vom Morgen zum Mittag beträgt (im Sommer etwas mehr, im Winter etwas weniger) im Mittel 70%, der zum Abend folgende Abstieg vollzieht sich ein wenig langsamer. Jahreschwankung und Mittagsschwankung halten sich laut Tabelle 9 prozentuell zum Jahresmittel in ähnlichen Grenzen wie bei der abs. F., die Schwankungen der Extreme wachsen aber (von 0.16 auf 15.31) zum Verhältnis 96:1 an, gegenüber 16:1 bei der abs. F. Die Jahreskurve verläuft wie bei der abs. F. einwellig mit stark ausgeprägtem Maximum im Sommer, Minimum im Winter. Bei gleichen (oder ähnlichen) Lufttemperaturen müssen abs. F. und SD. (als Differenz von maximal möglicher Wasserdampfmenge und abs. F.) inversen Gang haben. Daher liegen in der Jahreskurve die SD.-Werte des Herbstes unter denen des Frühjahrs, und aus gleichem Grunde weist Agra (laut Tabelle 9) gegenüber

den verwandten Tessiner Orten kleinere, und zwar mittags recht bedeutend kleinere Werte des SD. auf, und geringere Schwankungen besonders des mittags. Weit steht das SD. der kühleren und relativ feuchteren, absolut ähnlich feuchten in der Ebene nördlich der Alpen gelegenen Städte zurück, und die prozentuell großen Schwankungen deuten auf die Tatsache hin, daß das SD. daselbst im Winter ganz niedrig (auf etwa 0.50) sinkt, im Sommer aber ähnliche Werte aufweist wie die Tessiner Orte im Spätfrühjahr. An den Höhenorten kann infolge der niedrigen Lufttemperatur und daher geringen Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf das SD. der Luft nur geringe Werte erreichen, bei relativ sehr großen Schwankungen.

Die Schwankungen des SD. von Jahr zu Jahr (4.37:2.44) erreichen weit höhere Beträge als bei der rel. F. und abs. F.

Äquivalenttemperatur (Tabelle 10 und 11)

Die Äquivalenttemperatur stellt den Gesamtwärmeinhalt der Luft dar, der einerseits aus freier Wärme, wie sie durch die Lufttemperatur zum Ausdruck kommt, und andererseits aus im Wasserdampf gebundener Wärme besteht, oder — anders ausgedrückt — die Temperatur (in Celsiusgraden), welche die Luft annehmen würde, wenn ihre gesamte an Wasserdampf gebundene Wärme frei würde, ohne Zufuhr oder Wegnahme von Wärme und ohne Druckänderung. Sie ist also ein einheitlicher Ausdruck der klimatischen Faktoren „Lufttemperatur“, und „Luftfeuchtigkeit“. Als Faustregel gilt: sie ist gleich der Temperatur des trockenen Thermometers zuzüglich des doppelten Wertes der absoluten Feuchtigkeit:

$$\Theta = t + 2e$$

(Θ = Äquivalenttemperatur, t = Temperatur des trockenen Thermometers, e = absolute Feuchtigkeit). Infolge geringeren Luftdrucks erhöht sich der Faktor 2 mit Aufstieg vom Meeresniveau; in 1600 m Höhe beträgt er 2.5, in Agra 2.2.

Im physiologischen Teil werden wir von der Äquivalenttemperatur ergiebigen Gebrauch machen.

Laut Tabelle 10 beträgt die Äquivalenttemperatur im Jahresmittel 26.1; ihre Tagesschwankung vom Morgen und dem etwas wärmeren Abend zum Mittag ist mit 4.8 bzw. 3.4 nicht groß und wenig größer als die der Lufttemperatur, und im Sommer nicht viel größer als im Winter. Die Jahresschwankung und Mittagsschwankung stehen laut Tabelle 11 und 3 relativ zu den Mittelwerten ein wenig zurück hinter denen der Lufttemperatur, desgleichen auch die Schwankungen der Extreme (60.1 beim Jahresmittel 26.1 gegenüber 31.7 beim Jahresmittel 11.5). Die Jahreskurve verläuft natürlich wie die der Lufttemperatur und der abs. F., von denen die Äquivalenttemperatur abhängt, einwellig mit Maximum im Sommer, Minimum im Winter. Die Äquivalenttemperaturen des Herbstes liegen 3.3° über denen des Frühjahrs, gegenüber nur 2.0° bei der Lufttemperatur, weil — wie wir festgestellt haben — die Herbstluft feuchter ist als die

Frühjahrsluft. Da im Mittel etwas kälter, aber etwas feuchter, hält Agra (laut Tabelle 11) im Jahresmittel und Mittagsmittel und auch in den Schwankungen etwa die Mitte zwischen den verwandten Tessiner Orten. Die nördlich der Alpen gelegenen Städte weisen, weil sie feuchter sind, gegenüber dem Tessin in den Äquivalenttemperaturen etwa die gleichen Gradunterschiede auf wie in der Lufttemperatur, die Höhenorte vermehren sie aber um 3 bis 5°.

Die Schwankungen der Äquivalenttemperaturen von Jahr zu Jahr erreichen $29.1 - 22.6 = 6.5^\circ$, gegenüber nur 1.9° der Lufttemperatur. Wärmere Jahre scheinen hiernach auch feuchter zu sein.

Wind (Tabelle 12 bis 15)

Ein sehr wichtiges klimatisches Element bedeutet der Wind: 1. weil seine Stärke ganz wesentlich die Abkühlung und Verdunstung bestimmt und er daher beträchtlich mithilft, die Grenzen zu ziehen für die Existenzmöglichkeiten der ganzen lebenden Natur, 2. weil seine Richtung für den gesamten Wettercharakter den Ausschlag gibt — eine komplexe Größe, mit der allein die Weisen und die Praktiker des Altertums, wahrlich nicht erfolglos, meteorologische Wissenschaft betrieben haben und welche die moderne Wissenschaft jüngst wieder aufleben ließ durch Verfolgung der Bewegung der „Luftkörper“, nicht nur an der Erdoberfläche, sondern hinauf bis zur Wolkengrenze, und durch die Lehre der Ursachen und Folgen dieser Bewegungen. Die zu Gottheiten erhobenen Namen der Hauptwinde (Boreas, Zephyr) und ihr Charakter sind jedem bekannt. *Kassner*¹⁾ hat jüngst die lateinischen und griechischen Namen von 12 Windrichtungen publiziert, die er auf einer Windrose im vatikanischen Museum von Bramante verzeichnet fand.

Die Windgeschwindigkeiten sind in Agra, im Gegensatz zu an allen anderen Tessiner Stationen geübten Schätzungen nach der alten Mannheimer vierteiligen Skala, seit 1922 exakt gemessen, und zwar mittels Handanemometers an den üblichen drei Tagesterminen $7\frac{1}{2}$, $13\frac{1}{2}$, $21\frac{1}{2}$ h in Meter pro Sekunden auf dem freien Dache des Sanatoriums — nicht etwa im Windschutz des Hauses.

a) Windstärke (Tabelle 12)

Aus der Tabelle 12 entnehmen wir zunächst, daß im Mittel (1.5) die Luftbewegung eine sehr geringe ist, nämlich etwa gleich Fußgängergeschwindigkeit. Auch an manchen anderen, sehr geschützt liegenden Kurorten findet man wohl eine ähnliche; sehr vorteilhaft aber unterscheidet sich Agra von ihnen dadurch, daß das sehr geringe Mittel der Windgeschwindigkeit nicht auf einem außergewöhnlich hohen Prozentsatz von Kalmen (gänzlichen Windstillen) beruht, sondern weit mehr auf einem stetigen, wohlthuenden, leichten Luftzug, welcher Stagnationen mit oppressivem Wärmegefühl und mit reichen Staubsuspensionen ausschließt. Wie normal

überall, außer auf hohen Berggipfeln, fällt im Tageslaufe das Maximum (1.9) in die Mittagszeit, und am Morgen (1.2) ist es ruhiger als am Abend (1.4). Die Tagesamplituden des Winters stehen hinter denen der übrigen Jahreszeiten zurück. Im Jahreslaufe erweist sich der Frühlingswind als der lebhafteste (1.7), im Herbst und Winter (1.3) ist es am ruhigsten, der Sommer (1.5) hält die Mitte. Die Schwankungen im Jahres- und Tageslaufe sind also durchschnittlich nur klein. Selbstverständlich können bei gewissen Wetterlagen Einzelwerte ganz gewaltig von diesen Mittelwerten abweichen. So schwanken die 11 jährigen mittleren monatlichen Maxima der Tabelle 12 zwischen 8.2 und 4.9, und der gewitterreichste Monat Juli hält den Rekord. Während einbrechender Unwetter sind 18.4 m/sec im Juli 1927, und 16.1 m/sec im November 1926 als extremste Höchstgeschwindigkeiten notiert worden; sie liegen auf der Grenze zwischen „stürmischem Wind“ und „Sturm“.

Betrachtet man die Schwankungen von Jahr zu Jahr, so steigen die Jahresmittel von 1922/23 (1.47) bis zum Jahre 1926 (2.00), um dann fallend 1930/31 den Tiefstand (1.05) zu erreichen und 1932 wieder anzusteigen (1.47). Die Erscheinung, welche laut *W. Mörikofer*¹⁾ in den Ostalpen und auch an einigen Schweizerstationen (Säntis, Zürich) beobachtet worden ist, nämlich eine dauernde allmähliche Abnahme der durchschnittlichen Windgeschwindigkeit in den letzten 30 bis 50 Jahren, welche den Verdacht einer allmählichen Abnutzung der Anemographen aufkommen ließ, liegt hier also nicht vor.

Wagt man es, die nach der Mannheimer Skala notierten Windstärken Luganos in m/sec Geschwindigkeit umzurechnen, indem man Skalengrad 1 = 3.1 m/sec setzt und Skalengrad 2 = 6.7 und linear interpoliert, so findet man als mittleren jährlichen Wert 0.7 m/sec. Diese ganz außerordentlich geringe mittlere Luftbewegung Luganos erklärt sich laut Tabelle 14 dadurch, daß in $\frac{7}{8}$ aller Fälle die Luft vollkommen stagniert, dagegen der Wind, wenn er in dem restlichen $\frac{1}{8}$ aller Fälle weht, relativ kräftig auftritt, mit Geschwindigkeiten zwischen 5.3 und 3.1 m/sec, je nach Richtung. Das steht also in krassem Gegensatz zu dem glücklicheren Verhältnis in Agra, wo, wie wir sahen, in nur $\frac{1}{6}$ aller Fälle (und zwar bevorzugt im Winter) Luftruhe anzutreffen ist, weit überwiegend aber (in 80 von 100 Fällen) eine wohlthuende, nur geringe Luftbewegung. Aus der dritten Spalte der Tabelle 14 ist ersichtlich, wie diese Windgeschwindigkeiten zu den geschützt liegenden Großstädten der Schweiz und dann sprunghaft zu der Hauptstadt im norddeutschen Flachland zunimmt und die Kalmenzahlen gleichzeitig abnehmen. Die Davoser Windverhältnisse ähneln am ehesten denen Luganos; dort sind sie bei den niedrigen Lufttemperaturen als größtes Glück zu betrachten, und gerade sie bieten die notwendige Voraussetzung des Davoser Heilklimas. Das im breiten Tessintal gelegene Bellinzona ist den aufsteigend und absteigend das Tal durchziehenden Winden

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 51, 44, 1934.

¹⁾ Verh. d. Schweiz. Naturf. Ges. 1932, S. 282—293.

ausgesetzt und zeigt entsprechend weniger Kalmen (52.7 gegen 87.4% in dem durch aufsteigende Terrassen gegen Norden reich geschützten Lugano). Auf dem Gipfel des Monte Generoso kommt es nur selten (4.4%) zu Kalmen.

b) Windrichtungen (Tabelle 13 bis 15)

Wenden wir unsere Aufmerksamkeit nun an Hand der Tabelle 13 den in Agra im Mittel vorkommenden Windrichtungen zu, so finden wir weit bevorzugt in 40% aller Terminnotizen, d. h. — bei 20% Kalmen — in der Hälfte aller Fälle, in denen Wind weht, die des Nordquadranten, und zwar überwiegt NW bedeutend, während N infolge des in dieser Richtung unmittelbar hinter dem Hause erfolgenden Berganstieges nur sehr selten vorkommt. Nur SW findet sich dann noch häufiger, nämlich in 14.3% aller Terminbeobachtungen, d. h. in gut $\frac{1}{6}$ aller Winde. Einen Jahresgang weisen, wie die Verfolgung der einzelnen senkrechten Spalten der Tabelle 13 lehrt, nur die Windstillen und die SW sehr deutlich auf, und zwar in annähernd einander entgegengesetztem Sinne, denn die Kalmen sind erfreulicherweise am häufigsten in der kalten Jahreszeit, von Oktober bis Februar, und werden dann mit beginnendem Frühjahr immer seltener, hauptsächlich unter dem Einfluß der alsdann an Zahl stark zunehmenden SW-Winde. Bei den nicht so zahlreichen E-, SE- und S-Winden finden wir ferner noch eine Wintersenke mit folgendem kräftigen Anstieg im Frühjahr und sehr langsamem Abfall im Laufe des Herbstes. Der Jahresgang der Frequenz dieser Windrichtungen und auch ein Teil der Frequenzwechsel der SW-Winde erklärt sich durch den ganz regelmäßigen Tagesgang an den weit überwiegenden ungestörten Tagen. Mit Frühjahr beginnend und den ganzen Sommer und Herbst bis in den Dezember hinein anhaltend verläuft dieser nämlich derart, daß der in der Nacht aus NW bis N wehende leichte Wind etwa 3 Stunden nach Sonnenaufgang nach voraufgegangener Windstille über SE nach S zu drehen beginnt, um die Mittagszeit nach S und SSW und weiter am Nachmittag nach W und des abends nach NW. R. Süring hat (l. c.) aus täglich acht bis zehn an 26 Tagen vorgenommenen Messungen folgenden Tagesgang für November/Dezember bzw. Juli/August abgeleitet:

	6 ^h	8 ^h 30'	11 ^h	13 ^h 30'	16 ^h	18 ^h 30'	21 ^h
Nov./Dez.		N 1.2	SE 1.5	SW 1.8	W 1.7	NW 0.9	
Juli/Aug.	NE 0.8	SE 0.6	SSW 1.0	SSW 2.8	SW 1.7	WSW 1.0	E 0.5

Er gibt hierzu folgende Erklärung: „Die Lage einerseits hoch am Südabhang der Collina d'Oro, andererseits steil über dem Luganer See, begünstigt dicht über dem Boden die Ausbildung von Konvektionsströmungen mit täglicher Periode, die ein Gemisch von Berg- und Talwinden sowie von Land- und Seewinden sind. Auffallend ist hier, daß diese Tageswinde bis Ende Dezember vorkommen und daß sie im Sommer nicht wesentlich stärker sind als im Herbst. Dies hängt damit zusammen,

daß durch die lange Sonnenscheindauer die Südabhänge auch in der kühleren Jahreszeit noch kräftig erwärmt werden und daß dann die talabwärts gerichtete Strömung durch die normalen nördlichen Winde verstärkt ist.“ Der vom See aufsteigende, daher relativ feuchte Talwind, erklärt uns nun auch die S. 5 festgestellte geringe Tagesschwankung der rel. F. vom Morgen zum Mittag und ihre zur Mittagszeit gegenüber Lugano, Locarno, Bellinzona um 11 bis 12% größere Höhe, welche lästig fallende Trockenheitswirkungen verhindert; sie erklärt uns auch die in der warmen Jahreszeit ganz beträchtlich (im Sommer 3.7^o) niedrigere Mittagstemperatur Agras, denn die über dem See lagernde Luft bleibt stets relativ kühl und sie kühlt sich beim Anstieg um 300 m um wohl 2^o im Mittel ab. Als den Abendkühlung bringenden Bergwind haben wir vornehmlich den NW anzusprechen, welcher — verstärkt wohl durch im Vedeggiotale herabsinkende Luft — von den Gipfeln der Collina d'Oro herabsteigt. Wenn dieser NW-Bergwind nicht einen gleich ausgesprochenen Jahresgang (Frequenzminimum im Winter) aufweist, wie die aus dem Südquadranten aufsteigenden Talwinde, so liegt das daran, daß im Winter allgemein im europäischen Kontinent die NW-Strömung eine Steigerung erfährt. Im Gegensatz hierzu sind die vom Atlantischen Ozean kommenden, die Alpen südlich umströmenden Winde auf Frühjahr und Sommer beschränkt und seit *van Bebbler* bekannt als Zugstraße V. Diese steigern den Jahresgang der SW-Winde Agras, welcher von den Talwinden ausgelöst wird, und bestimmen damit auch den entgegengesetzt verlaufenden Jahresgang der Kalmen. Auf die mit diesen und noch anderen atmosphärischen Großzirkulationen verbundenen Wetterlagen wird noch weiter unten eingegangen.

Daß sich in Agra durch die Topographie der Umgebung stark beeinflusste leichte Lokalwinde in Verbindung mit gemäßigt zutretenden, rege ventilierenden, finden, zeigen die Tabellen 14 und 15. Alle Windrichtungen sind während des ganzen Jahres vertreten, im Gegensatz zu den reinen Talstationen Lugano, Davos, Bellinzona, in denen nur in der Talrichtung Winde wehen können, und bei deren Ausbleiben der Luftaustausch langsamst und in geringem Maße nur in vertikaler Richtung erfolgt. Zürich liegt zwischen den langen Ketten des Uto und des Zürichberges reich geschützt sowohl gegen NW wie auch gegen SE; in das Basler Tor zwischen Jura und Schwarzwald finden SE-Winde Zutritt. In der freien Ebene Norddeutschlands und auf dem am Südfuße der Alpen ziemlich frei exponierten Berggipfel des Monte Generoso finden wir eine grundsätzliche Verschiedenheit in der Häufigkeit der Windrichtungen, und — was hier am meisten interessiert — ein Vergleich der auf Monte Generoso und in Agra wehenden Winde zeigt nun recht deutlich den äußerst wichtigen Windschutz, welchen ein gütiger Gott Agra beschieden hat in SE (und laut Tabelle 13 auch in E) durch den zwischen Monte Arbostora und Salvatore sich hinziehenden, zusammenhängenden, meist 800 m übersteigenden, steilt zum trennenden schmalen Scai-

rolotal abstürzenden Gebirgszug, und in SW durch die viel zerrissenen, ein prächtiges Panorama bietenden, den Lago Maggiore vom Luganersee trennenden Gebirgsstöcke — neben dem, welche die Piemonteser und auch die fernen Westalpen dem ganzen Tessin gegen diesen „Schlechtwetterwind“ gewähren. In der „gemäßigt freien“ Exposition bei südlich milden Temperaturen ist die Kombination von Schonungs- und Reizklima begründet, welcher das Sanatorium Agra seine großen Erfolge verdankt, und das wir im physiologischen Teil zahlenmäßig durch die absoluten Größen seiner die Aufnahmeorgane des Menschen angreifenden Kräfte zu definieren suchen werden.

Auf die Jahresgänge, welche den einzelnen Windrichtungen an den vier Tessiner Orten eigen sind, wird in Verbindung mit der Besprechung der Hauptwetterlagen noch zurückgekommen werden; hingewiesen sei hier nur noch auf das Nachlassen bzw. den gänzlichen Ausfall des Talwindes in Bellinzona und Lugano während der kalten Jahreszeit (Tabelle 15) und den sehr wertvollen Schutz, welchen die im Norden Luganos steil aufsteigenden Terrassen diesem Ort auch im Winter und in den Übergangsjahreszeiten bieten.

Bewölkung und Sonnenscheindauer (Tabelle 16 bis 20)

a) Bewölkung

Über den bei Schätzungen der Bewölkung in Zehnteln der ganzen Himmelsfläche und der aus ihr abzuleitenden, sehr wichtigen „Häufigkeit“ der heiteren (0—2.5), leicht bewölkten (2.6—5.0), bewölkten (5.1—7.5) und bedeckten (7.6—10.0) Tage zu erreichenden Genauigkeitsgrad muß man sich bei klimatischen Studien Rechenschaft ablegen. Möglichst ganz freien, natürlichen Horizont vorausgesetzt, und von durch die Perspektive eingehenden systematischen Fehlern durch verschiedene Einschätzung der Wolkenlückengrößen in Zenit- und Horizontnähe abgesehen, ist bei gebrochener Bewölkung und ganz unregelmäßig über den Himmel verteilter Bewölkung eine gute Übereinstimmung zwischen verschiedenen Beobachtern keineswegs leicht zu erreichen. Die Ungleichheit der Auffassung wächst bei verschiedenen Wolkenarten; insbesondere wird fein zirröser Himmel teils gewissenhaftest abgeschätzt, teils außer acht gelassen. Die Einführung der Indizes 0—2, welche die Wolkendichte charakterisieren sollen, vermochte da nur wenig zu bessern. Hierzu kommen nun aber zwei wesentlich schwerer wiegende Momente:

Klar ist 1., daß die nur morgens, mittags und abends je einmal notierten Ziffern nicht ein sicheres Maß für die Verhältnisse in den Zwischenzeiten, also ihr Mittel nicht ein sicheres Maß für den ganzen Tag, zu liefern vermögen, am wenigsten in Klimaten, in denen nicht selten kurzwährende, schnelle Wetterwechsel eintreten, wie gerade im Tessin, und 2., daß vom medizinisch-klimatischen Standpunkt aus der Wolkencharakter weitgehend entscheidend ist — eine leider noch immer zu wenig beachtete, aber unbestreitbare Tatsache. Hohe, helle,

dem Zirrus und Alto-Stratus-Niveau angehörige Wolken, ja auch helle Cumuli nicht gar zu großer Ausdehnung erhöhen den heiter stimmenden Eindruck; ein blauer Himmel kann dagegen in lange anhaltenden wolkenlosen Perioden bei freiem Horizont nicht nur durch Monotonie ermüden, sondern sogar direkt bedrückend wirken. Das hat *Alexander von Humboldt* auf Teneriffa empfunden, und *Uexkuell* im Indischen Ozean („Eischalen“-Vergleich), und ich selbst unterlag diesem Eindruck wiederholt („Glocken“-Vergleich), sogar bei reichlich beschränktem natürlichem Horizont im Davoser Tal, als ich in 8jährigem Beobachtungsturnus an bisweilen 10 bis 12 einander folgenden wolkenlosen Tagen nach der Himmelspolarisation und dem „Bishop“-Ring mit nur kleinen Pausen vom Morgen bis zum Ende der bürgerlichen Dämmerung Ausschau hielt. „Die Heiterkeit oder die Trübe eines Klimas ist in seelischer Hinsicht von unendlicher Bedeutung, sei es in rein psychischem, subjektiv empfindendem Sinne, oder als psychischer Reiz auf psychologische Vorgänge“, schreibt *Walter Knoche*¹⁾ nach seinen weiten Reisen durch ganz Chile und andere südamerikanische Länder, und er schlägt daher neben der üblichen, noch eine, die hohen Wolken nicht mit einschließende (anthropoklimatische) Bewölkungsschätzung vor, die also allein das niederdrückende trübe Wetter erfaßt.

Bei diesen zahlreichen, den Bewölkungsschätzungen anhaftenden Mängeln, welche in Agra verschärft wurden durch den unvermeidlich häufigen Beobachterwechsel, war es nun lehrreich und interessant, die Bewölkungsziffern und — aus ihnen abgeleitet — die Häufigkeit der heiteren, leicht bewölkten, bewölkten und bedeckten Tage zu kontrollieren durch die vom Sonnenschein-Autographen fortlaufend über die ganzen Tage hinweg gezeichneten Sonnenscheindauern. Es soll doch die Relation bestehen

$$m = 1 - \frac{S_m}{S_0},$$

m = Bewölkungsgrad, S_m = gezeichnete Sonnenscheindauer, S_0 = mögliche Sonnenscheindauer oder — anders ausgedrückt — 100 minus gezeichnete Prozente der möglichen Sonnenscheindauer = Bewölkungsgrad in $1/100$ der ganzen Himmelsfläche.

Wir werden die Resultate dieser für die Jahre 1922—1931 monatweise durchgeführten Kontrollrechnungen sogleich kennenlernen.

Nach Schätzungen erreicht der mittlere Bewölkungsgrad in Agra laut Tabelle 16 im Jahr 4.9, es sind also im ganzen Jahresmittel weniger Wolken als blauer Himmel zu schauen — ein Verhältnis, welches innerhalb des Schweizer Tal- und Mittellandes außer im Tessin nur noch im Wallis anzutreffen ist. November und die Frühjahrsmonate sind die wolkenreichsten und trotzdem nicht bedeckter als das Schweizer Mittelland (Zürich, Basel) zur günstigsten Jahreszeit, Juli bis September. Das Sommerminimum der Bewölkung

¹⁾ Zeitschr. f. d. ges. physik. Ther. 32, 127—132, 1926.

findet sich, wie in ganz Mitteleuropa, auch in Agra, nur sind die Jahresschwankungen sehr klein (1.9 laut Tabelle 20) im Tages- wie auch im Mittagsmittel. Gleicherweise bestehen auch im Tageslaufe nur geringe Differenzen; die mittlere Bewölkungsziffer liegt laut Tabelle 16 morgens und mittags gleicherweise bei 5.1 und nur abends etwas niedriger (4.5) — ein vom üblichen Gang abweichender, der ein Mittagsminimum aufzuweisen pflegt, und erklärbar dadurch, daß im Spätfrühjahr und im Sommer die Bewölkung infolge (meist nur schwacher) Cu-Bildung zum Mittag leicht zunimmt, dagegen in den anderen Monaten abnimmt. Die Schwankungen von Jahr zu Jahr bewegen sich zwischen 4.3 und 5.4 (der Ziffer des Jahres 1926, welche — wie durch Berechnung aus der Sonnenscheindauer bewiesen — sicher zu hoch notiert worden ist). Monatsmittel, welche die Ziffer 6 (meist nur ganz wenig) überschreiten, finden sich nur in 12% aller Einzelfälle, und zwar nur im Februar bis Mai und Oktober bis November; ein einziger Monat tritt innerhalb der 18jährigen Periode auf, welcher an die Verhältnisse der jenseits der klimascheidenden Alpenkette liegenden Orte erinnert, nämlich der März 1928, welcher (nach Beobachtung und Berechnung übereinstimmend) die hohe Ziffer 8.2 aufweist. Sehr gering ist die Frequenz niedriger Wolken sowohl im Sommer wie im Winter, und sie kommen eigentlich nur an Regen- und Gewittertagen vor. Schaltet man diese aus, so bleibt die durchschnittliche Mittagsbewölkung unter 3 der zehnteiligen Skala. „Anthropoklimatisch“ im Sinne *Knoches* herrscht also stets, außer an Regen- und Gewittertagen, heiteres Wetter. Dieser dem Seengebiet am Fuße der Alpen mehr als der Po-tiefebene und auch noch Teilen Mittelitaliens eigene heitere Himmel, der die ausgangs des Altertums und im Mittelalter nach Süden drängenden Völkermassen nach Überwindung der grausen alpinen Schwierigkeiten als erster Eindruck empfing, wirkte wohl, wie *Knoche* (l. c.) richtig meint, „als Ferment in der Geschichte“; er erregt in Europa die Sehnsucht der Nordländer nach dem Süden.

Aus den S. 10 genannten zahlreichen Gründen sind nun die Bewölkungsschätzungen kontrolliert durch Berechnungen aus der Sonnenscheindauer nach der genannten Formel. In Tabelle 16 stehen in Klammern die auf diese Weise erhaltenen Zahlen neben den in üblicher Weise geschätzten Bewölkungsziffern. Ersichtlich wird aus dem Vergleich, daß im Sommerhalbjahr die Bewölkungsschätzungen zu hoch bzw. die Berechnungen zu niedrig ausfallen, während im Winterhalbjahr die Übereinstimmung befriedigen kann. Der Grund für diesen Jahresgang liegt auf der Hand: Mit steigender Sonne nimmt ihre Intensität zu; unterstützt durch höhere Lufttemperatur, also auch höhere Streifentemperatur, zeichnet die kräftigere Sonnenstrahlung eine breitere und auch seitlich ausgedehntere Grenzspur auf dem Heliographenstreifen, daher wird $S_m : S_0$ in der Formel größer (relativ zur Zeit niedrigstehender Sonne im Winter), also m , die berechnete Bewölkungsziffer, kleiner. Im allgemeinen wird auch stets die Berechnung

etwas kleinere Ziffern liefern müssen, da ja doch nicht alle Wolkenarten die durchfallende Strahlung so stark absorbieren, daß sie vollkommen unwirksam wird für den bestrahlten Streifen, und gerade die in Agra vorherrschenden hohen, lichten Wolken sind naturgemäß strahlendurchlässiger als dichte schwere Wolken. Somit fällt der Vergleich in seinem Schlußresultat recht zufriedenstellend aus; er erwies sich gleichzeitig nützlich zur Aufdeckung einiger Mängel, die durch zu hohe Einschätzung der horizontnah stehenden Wolken seitens eines mehrjährigen Beobachters unterlaufen sind, auf die schon *Forster* empirisch (wohl durch persönliche Rücksprache und gleichzeitige Ausschau) gekommen ist, und denen er durch eine Korrektur Rechnung getragen hat, welche die mittlere Bewölkung aus der Periode 1923—1929 beträchtlich, nämlich auf 4.3 gegenüber hier 4.9, senkte. In den Jahren 1923, 1926, 1927 fallen die Schätzungen 0.5 bis 0.9 Skalengrade zu hoch aus (statt im Mittel, wie oben konstatiert, 0.3). Wir dürfen daher annehmen und wollen das bei den folgenden Vergleichen mit anderen Orten im Sinne behalten, daß die in Tabelle 16 und 20 aufgeführten Werte Agras um einige Zehntel zu hoch liegen.

Die im Mittel nicht großen Unterschiede zwischen Berechnung und Schätzung der Bewölkungsziffern wirken sich nun aber erstaunlich stark aus in der Klassifikation in die vier Kategorien der „heiteren“, „leicht bewölkten“, „bewölkten“, „bedeckten“ Tage, wenn wir diese auf die am Fuße der Tabelle 18 aufgeführten Eigenschaften basieren. Wie diese Tabelle durch ihre letzte Reihe lehrt, steigt dann der Prozentanteil der „heiteren“ Tage durch die Berechnung auf 42 gegenüber 33 laut Schätzung. Man sieht sogleich, daß hierbei die Sommermonate den Ausschlag geben und erkennt durch Summierung der „heiteren“ und „leicht bewölkten“ Tage, daß es sich nur um eine teilweise Verschiebung der zweiten Kategorie „leicht bewölkt“ auf die erste, „heiter“, handelt, denn 56 bzw. 58%, also fast gleich viel, fallen sowohl nach Rechnung wie nach Schätzung auf die beiden ersten, günstigen Stufen. Die Verschiebung erklärt sich (gleich wie oben die durch Rechnung günstigere Bewölkungsziffer) durch die mit steigender Sonne zunehmende Intensität. Im anthropoklimatischen Sinne wird man auch noch einen beträchtlichen Teil der bewölkten Tage zu den psychisch erhebenden zählen können, und auch an den „bedeckten“ Tagen (mit bis zu 25% Sonnenscheindauer) fehlt es nicht an zahlreichen Stunden, die im gleichen Sinne wirken — wie wir noch zahlenmäßig nachweisen werden. Jahreszeitlich sind laut Spalte 2 der Tabelle 18 augenscheinlich die Hochwinter- und die Hochsommermonate günstigst gestellt und, was das erstere für die aus dem dann wolken- und nebelreichen Norden kommenden Kranken bedeutet, braucht nicht näher ausgeführt zu werden. Nur im April und November erreichen die „hellen“ und „leicht bewölkten“ Tage zusammengezählt nicht voll die Hälfte aller Tage, in allen anderen Monaten wird sie, meist sehr stark, überschritten.

Abweichend vom meist verbreiteten Gebrauch sind in Tabelle 18 unter „heiteren“ Tagen solche mit Bewölkung $\cong 2.5$ gruppiert, während in der Schweiz und in Deutschland für sie die obere Grenze 2.0 gezogen wird. Das ergibt einen kleinen Unterschied, denn laut Tabelle 16 sinkt dann die Zahl der „heiteren“ Tage auf 107 (von 116 laut Tabelle 18). Viel mehr unterscheiden sich natürlich „bedeckte“ Tage der Tabelle 18 von den „trüben“ der Tabelle 16, da erstere die Bewölkungsziffern 7.6—10.0 umfassen, letztere dagegen nur die Ziffern 9.0—10.0. Die Anzahl der „trüben“ Tage nennt die Tabelle 16 mit nur 76 im Jahre; sie steht also weit hinter der der „heiteren“ Tage zurück. Es ist schon vorgekommen, daß 4 Monate lang kein vollständig trüber Tag eintrat; im Gegensatz dazu dauerte die längste ununterbrochene Folge sonnenscheinloser Tage genau 1 Woche.

b) Sonnenscheindauer

Die jährliche Sonnenscheindauer hat sich im Mittel der 18jährigen Periode 1915—1932 mit 2231 Stunden (Tabelle 17) ausgewiesen. *Süring* leitet (l. c.) aus der 8jährigen Periode 1915—1922 durch Reduktion auf Luganos 37jährige Periode 2303 Stunden für Agra ab, *Forster* kam aus der Periode 1915—1929 auf 2244 Stunden. Die Differenzen dieser Zahlen spiegeln die große Variation dieses meteorologischen Hauptelementes wieder. Das sonnenreichste Jahr war 1921 (2476 Stunden), das sonnenärmste 1920 (1952 Stunden), die Schwankung betrug also 524 Stunden = 23.5% des Mittelwertes. Um die Umrechnung in Prozente der möglichen Sonnenscheindauer möglichst sicher zu gestalten, wurde nicht, wie es sonst oft geschieht, die Elevation des natürlichen Horizontes ausgewertet, was bei derart konturreichem, wie er sich in Agra findet, nicht zu befriedigenden Resultaten geführt hätte, oder nicht gar die letzte Brennspur auf dem Heliographenstreifen als Argument gewählt, weil diese gegenüber Sonnenaufgang und Sonnenuntergang verzögert auftritt, sondern es wurde von den Herren *Süring* und *Löwe* mühsam visuell das Erscheinen und Verschwinden der Sonne am Standort des Apparates das ganze Jahr über festgestellt, und der Apparat stand auf der Terrasse des Sanatoriums, wie schon S. 1 erwähnt, also zur ebenen Erde und dadurch nicht ganz wenig benachteiligt gegen die Liegehallen des Sanatoriums. Die Differenzen zwischen der astronomischen Rechnung für gänzlich freien Horizont enthält monatweise der untere Teil der Tabelle 17. Es gehen durch den natürlichen Horizont nur 6.84% Sonnenschein während des ganzen Jahres verloren, oder durchschnittlich 50 Minuten pro Tag. Das bedeutet für einen im Gebirge gelegenen Ort eine außerordentlich geringe Einbuße an — nur intensitätsschwacher, tiefstehender — Sonne. In Davos ist der Verlust 3.6mal größer, nämlich durchschnittlich 3 Stunden pro Tag. Am wenigsten werden, günstigerweise, die (außer November) prozentuell sonnenscheinärmsten Frühjahrsmonate betroffen. Im Jahresgang zeigt laut Tabelle 17 der Juli, obwohl von

kürzerer Tagesdauer als der Juni, das Maximum (290.4 Stunden), und der November, obwohl von längerer Tagesdauer als der Dezember, das Minimum (112.6 Stunden), die Jahresschwankung beträgt also 177.8 Stunden. Die Prozente der möglichen Dauer folgen laut letzter Spalte der Tabelle 17 natürlich der Bewölkung, daher Minima im November und im Frühjahr, Maxima im Winter und Sommer. An den sonnenreichsten Tagen steht die Sonne laut Spalte 4 im Juni 14.23 Stunden am Himmel, und im Dezember 7.53 Stunden. Laut Spalte 5 derselben Tabelle kommen gänzlich sonnenlose Tage durchschnittlich vom Mai bis Oktober nicht vor; zählt man aber die absoluten Minima einzeln aus, so gelangt man zu den Zahlen der letzten Spalte der Tabelle 16, also im ganzen Sommer zu 3, im ganzen Jahre zu 61 sonnenlosen Tagen. Von den insgesamt 107 „bedeckten“ Tagen (Tabelle 18) genießen also noch 46 Tage = 43% zeitweisen Sonnenschein. Mit 2231 Stunden mittlerer jährlicher Sonnenscheindauer und 54.2% der möglichen bei annähernd freiem Horizont steht Agra vor allen bewohnten Orten Mitteleuropas voran — auch das sonnenreiche Wallis kommt hier nicht mehr mit (siehe Montana, Tabelle 20). Der tägliche Gang der Sonnenscheindauer ist nur für das Jahr 1922/23 festgelegt (Tabelle 19); er weist wohl zur Genüge nach, daß sich Vor- und Nachmittag in keiner Weise systematisch voneinander unterscheiden und daß die (mit Kursivzahlen gedruckten) Maxima nicht streng auf den Mittag fallen, sondern, recht gleichmäßig verteilt, in die Zeit zwischen 9^h und 15^h. Über die jährliche und monatliche Häufigkeit der bis zu $\frac{1}{1}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ der möglichen Sonnenscheindauer aufweisenden heiteren, teilweise bewölkten und bedeckten Tage ist oben ausführlich gesprochen.

Lugano steht laut Tabelle 20 mit 105 Stunden jährlich und 0.5% der möglichen Sonnenscheindauer hinter Agra zurück, und es fehlt ihm mehr Morgen- und Abend- als Mittagsonnenschein, wie die Bewölkungsziffern besagen (welche, wie erinnert sei, für Agra um einige Zehntel zu hoch liegen), und es weist einen Überschuß an heiteren Tagen, aber einen noch größeren an trüben Tagen auf. Montana folgt in der Tabelle mit gegenüber Agra 145 Stunden geringerem Sonnenschein. Davos ähnelt Basel, obwohl ihm — wie schon erwähnt — 3 Stunden täglichen Sonnenscheins durch die schützenden Berge verlorengehen, weist aber eine Zahl „heiterer“ Tage auf, die die Basels um mehr als das Doppelte übertrifft; freilich stehen sie hinter denen der Tessiner Orte zurück, und entsprechend wächst die Zahl der „trüben“ Tage. Die Berliner Sonnenschein- und Bewölkungsverhältnisse ähneln denen Basels; an beiden Orten sind durchschnittlich 64% des Himmels bedeckt. Allen Tessiner Orten ist gemeinsam, daß die Bewölkung sowohl im Jahres- wie auch im Mittagsmittel im April am reichsten und im August am geringsten auftritt; selbst der Berggipfel des Monte Generoso teilt das Aprilmaximum, sein Minimum fällt dagegen — wie gemeiniglich auf hohen Höhen der Alpen — in den Winter (Februar).

Niederschläge (Tabelle 21 bis 22)

„Die Niederschläge fallen meist in Form von Regen. Es wäre jedoch ganz falsch anzunehmen, daß es in Agra im Winter keinen Schnee gibt. Eine zusammenhängende Schneedecke gehört durchaus zu einem Agreser Winter“ so schreibt *Forster*. Freilich hat man im Durchschnitt nur mit 10 Tagen Schneefall zu rechnen, die sich in der von Tabelle 21 angegebenen Weise auf die Monate November bis April verteilen. Die Maxima wechseln in den verschiedenen Jahren zwischen Dezember und Februar. Über die Dauer der Schneelage fehlen leider Aufzeichnungen, und die Dichte des Schneefalles ist nur hier und da mit Indizes 0—2 angegeben. Den ergiebigsten zusammenhängenden Schneefall eines Tages scheint der 22. Dezember 1927 mit 9.6 cm gebracht zu haben. Sein, wie allgemein aller Schneefälle, Wasserwert ist nicht festgestellt worden, doch liegen Berichte aus Agra und dem gesamten Tessin vor, nach denen der Schnee sehr feucht zu fallen pflegt, und daher — mehr als der Schnee als solcher — sein Gewicht gefürchtet wird, mit dem er bösen Vegetations- und Materialschaden anzurichten imstande ist; ähnlich wie der Sommerschnee im Hochgebirge. Kann doch vollends mit Wasser durchtränkter Schnee das spezifische Gewicht 0.82 erreichen, während ihm normal etwa 0.12 zukommt. Der höchste Monatswert dürfte im Januar 1917 mit 63 cm erreicht worden sein, der größte Jahreswert im gleichen Jahre 1917 mit 198 cm, ihm folgt in weitem Abstände das Jahr 1919 mit 93 cm. Die Notizen sind nicht einheitlich und lückenlos.

Weht Wind gegen eine Gebirgswand, so werden im Luv die Luftmassen zum Aufsteigen gezwungen, dadurch tritt Abkühlung und Kondensation des in ihnen enthaltenen Wasserdampfes ein, die zu Niederschlägen führt. Demgemäß verursachen die im Gefolge der häufigen Mittelmeerdepressionen aus SW und W gegen den mächtigen, auf der Südseite sehr steilen Alpenwall wehenden warmen und feuchten Winde am gesamten Südfuße der Alpen reiche Niederschläge, weit reichere, als sie der Nordseite eigen sind. Nach der von *Maurer* und *Lugeon*¹⁾ für die Periode 1910—1925 gezeichneten Niederschlagstafel sind in der Umgebung von Agra 180 cm jährlich zu erwarten. Die Aufzeichnungen für die Jahre 1915—1932 bestätigen das, denn es wurden im Mittel 177.2 cm laut Tabelle 21 gefunden. Es wechseln feuchte und trockene Jahre in unregelmäßiger Folge, sie schwanken in weiten Grenzen, nämlich zwischen 231.6 im Jahre 1926 und nur 96.1 im Jahre 1921, also um 135.5 cm oder um 76.6% des Mittelwertes. Gänzlich regenfreie Monate sind in den 18 Jahren dreimal vorgekommen (je einmal im Januar, Februar und Oktober). Die größte Regenmenge wurde im November 1926 mit 54.8 cm erreicht, und ähnlich im Mai 1917 mit 53.6 cm. Das ist annähernd soviel, wie in Berlin durchschnittlich im ganzen Jahre fällt. Allein innerhalb 24 Stunden fielen schon einmal 16.1 cm (Oktober 1928). Die mittleren

Tagesmaxima enthält die Spalte 3 der Tabelle 21. Sie zeigen reiner als die Monatsmittel (Spalte 2), bei denen die Frühjahrs mengen durch das fast ganz Europa eigene Mai-Maximum überwiegen, den mediterranen Typ des Jahresganges mit ausgesprochenem Herbstmaximum; in beiden Fällen fehlt das den mitteleuropäischen Typ charakterisierende Sommermaximum, und in beiden Fällen liegt ein tiefes Minimum im Winter. In den Wintermonaten (Dezember bis Februar) fällt kaum halb soviel Niederschlag als in den übrigen Jahreszeiten, die sich ja nicht gar zu sehr voneinander unterscheiden. Der Märzmonat nimmt eine Zwischenstellung ein. Infolge des großen Wintertiefs ist die Jahresschwankung, d. h. die Differenz zwischen größtem (24.6) und kleinstem (7.3) Monatsmittel, sehr groß = 17.3 oder 116% des mittleren Monatsmittels. Die mittleren jährlichen Tagesmaxima erreichen 9.45 cm und liegen damit genau auf der Höhe, welche man durch Interpolation aus den für die Periode 1901—1930 von *H. Uttinger*¹⁾ gezeichneten Niederschlagskarten findet. Das Verhältnis der mittleren Regenhöhe zum mittleren Maximum beträgt $177.2 : 9.45 = 18.8$, das des absoluten zum mittleren Maximum 2.1, die Schwankung der Tagesmaxima laut Tabelle 21 41.2 cm. Alle diese Zahlen fügen sich gut ein in die l. c. von *Uttinger* aus einer fast doppelt so langen und abweichenden Periode für das Tessin ermittelten, mehr wasserwirtschaftlich als klimatisch wichtigen Daten.

Nun muß man zur richtigen Beurteilung der Niederschläge in strahlungskräftigen Klimaten des Segens denken, den sie in den langen warmen Jahreszeiten bringen durch kühlende Erfrischung für Mensch und Tier und Zufuhr des wichtigsten Aufbaustoffes für die Pflanzenwelt, Reinigung der Luft von Staub und Suspensionen aller Art und nicht zum wenigsten durch Verhütung von verheerenden Bränden. Demnach sind die gerade in der warmen Jahreszeit sehr ergiebigen Gußregen geradezu notwendig. Nicht immer vermögen sie der Entstehung von Feuer vorzubeugen oder es schnell zu überwinden; die tagelang anhaltenden Brände auf dem dem Sanatorium Agra in Luftlinie nicht gar fernen Monte Arbostora im Jahre 1921 und auf den Abhängen von Miralago und San Bernardo, welche im Jahre 1930 Orselina-Locarno ernst bedrohten, sind warnende Beispiele aus jüngster Zeit. Gelegentliche Wasserknappheit in langen Trockenheitsperioden veranlaßte die weitschauende Direktion des Sanatoriums Agra, aus hygienischen und wirtschaftlichen Gründen unter großem Kostenaufwand eine Pumpstation am See mit fast unerschöpflicher Leistungsfähigkeit anzulegen.

Diese die Quantität der Niederschläge betreffenden wasserwirtschaftlichen Aspekte zeigen sich also unmittelbar von größter Bedeutung, und mittelbar auch für die medizinische Klimatologie. Fast noch wichtiger für diese ist die zeitliche Verteilung der Niederschlagsquantitäten, welche am leichtesten und gebrauchsgemäß durch die

¹⁾ Ann. Schw. Met. Zentralanst. 1929.

¹⁾ Ann. Schw. Met. Zentralanst. 1931.

„Zahl der Tage mit Niederschlag“ erfaßt wird. Tabelle 21 meldet sie durch Spalte 4, soweit sie 0.3 mm pro Tag übersteigen. An 111 Tagen im Jahre fällt hiernach Niederschlag, also kommt im Jahresmittel auf $2\frac{1}{2}$ niederschlagsfreie Tage ein solcher, an welchem der Boden mindestens für kurze Zeit befeuchtet wird — denn dazu genügen 0.3 mm. Der Vergleich der Spalten 4 und 2 läßt erkennen, daß im allgemeinen die Zahl der Niederschlags-tage mit der Niederschlagsmenge wächst, denn die häufigsten und die größten Regenmengen sind im Früh-jahr vereint und ähnlich auch im Herbst, die seltensten und die kleinsten Niederschlagsmengen finden sich dagegen im Winter beisammen, jedoch sind die Schwankungen recht ungleich groß, andernfalls müßten ja an jedem Regentage gleiche Regenmengen zu finden sein. Daß dies gar nicht der Fall ist, beweist Spalte 5, welche die Niederschlagsmenge pro Regentag (die Regendichte) angibt. Da sehen wir deutlich, daß die Sommer-Gewitterregen die weitaus ergiebigen sind, weit er-giebiger als die Frühjahrs- und Herbstregen. Im Sommer gibt es also seltene, aber sehr ergiebige Regen, im Früh-jahr und Herbst häufige, ziemlich ergiebige, im Winter seltene und nicht ergiebige Niederschläge. Da Nieder-schlagsmengen unter 2 mm Höhe am Tage den Spazier-gänger praktisch nicht belästigen, ist in Spalte 6 noch die Wahrscheinlichkeit für Niederschläge > 2 mm monat-weise und für das Jahr angegeben, d. h. das Verhältnis der Zahl der Niederschlagstage zur Gesamtzahl der Tage. Im Jahresmittel ist danach jeder vierte Tag ein Tag mit Niederschlag, es folgt also drei niederschlagsfreien Tagen immer einer, an dem mindestens 2 mm fallen. Über die verschiedenen Jahreszeiten sind diese Niederschlags-wahrscheinlichkeiten sehr verschieden verteilt:

im Winter	0.15,	d. h. 1 Niederschlagstag wechselt mit 6 niederschlagsfreien,
„ Frühjahr	0.33,	d. h. 1 Niederschlagstag wechselt mit 2 niederschlagsfreien,
„ Sommer	0.24,	d. h. 1 Niederschlagstag wechselt mit 3.2 niederschlagsfreien,
„ Herbst	0.27,	d. h. 1 Niederschlagstag wechselt mit 2.7 niederschlagsfreien.

Auch dies sagt uns noch nicht genügend, denn die Spanne eines 24-Stunden-Tages ist noch gar zu groß, es werden daher Tage mit Dauerregen gleich gewertet mit solchen, in denen das Mindestmaß von 2 mm innerhalb kürzester Frist fällt. Dank der Ausdauer der Beobachter der Jahre 1916—1921, welche nach Ausschau die Dauer jedes Einzelereignisses im Stundenmaß notierten (selbst nach aller Möglichkeit auch nachts), bietet sich hier die sehr seltene Gelegenheit, auf Grund einer 6jährigen Periode die Regenwahrscheinlichkeit im Stundenmaß anzugeben. Die Spalten 7 und 8 der Tabelle 21 charakterisieren nun am deutlichsten die Agreser Verhältnisse (und wohl auch die des ganzen Tessins): Auf die Sommermonate fallen trotz der großen Regenmengen die weitaus kürzesten Regenzeiten, d. h. der Regen pflegt dann flutartig zu fallen; die etwa nur halb so große Niederschlagsmenge des Winters fällt in rund der

doppelten Zeit. Im Frühjahr regnet es dreimal, im Herbst $2\frac{1}{3}$ mal länger als im Sommer. Im Sommer regnet es durchschnittlich 57.5 Minuten, während des 24-Stunden-Tages, im Jahre (Regenwahrscheinlichkeit 8.1% laut Spalte 8 der Tabelle 21) durchschnittlich fast 2 Stunden während des 24-Stunden-Tages.

Auch durch diese vielen hier zusammengetragenen Zahlen wird das für den Kuranden so wichtige meteorologische Element, welches der Regen darstellt, noch nicht genügend charakterisiert, denn Regen bei Sonnenschein, zumal Platzregen, stimmt direkt vergnüglich, nur der aus tiefen geschlossenen Wolken langsam hernieder-rieselnde ist es, der arg deprimierend zu wirken imstande ist. Ein Versuch, diesem Unterschied zahlenmäßig Rechnung zu tragen, ist dergestalt gemacht, daß monats-weise über die ganze 18jährige Beobachtungsperiode hinweg die Zahl der Niederschlagstage ausgezählt worden ist, an denen die Sonne mindestens 1 Stunde geschienen hat. Es hat sich, der Kürze wegen hier jahreszeitlich gesammelt, ergeben:

	Monatliche Zahl der Tage mit Niederschlag ohne Sonne	Monatliche Zahl der Tage mit Nieder-schlag und ≤ 1 Stunde Sonne	Monatliche Zahl der Tage mit Nieder-schlag und < 1 Stunde Sonne	Totale Zahl der Regentage > 0.3 mm
Frühjahr .	4.6	6.6	1.1	12.3
Sommer .	0.3	7.9	0.8	9.0
Herbst .	4.7	3.8	1.5	10.0
Winter .	4.7	1.1	0.0	5.8

Im Sommer kommen also psychisch deprimierende Regen so gut wie gar nicht vor, in den übrigen Jahreszeiten dagegen können solche innerhalb 4.7 Tagen monatlich während kürzerer oder längerer Zeit auftreten. Die tiefstehende und nur kurze Zeit des Tages am Himmel kreisende Wintersonne vermag die Wolkendecke an Niederschlagstagen selten zu durchdringen.

Auch über die Zeit ihres eigentlichen Fallens hinaus können sich die Niederschläge für den Kuranden auswirken, in günstigem Sinne durch Staubbinding oder in ungünstigem durch Durchnässung des Bodens, bisweilen bis zur Unpassierbarkeit in waldreichen Gegenden, die Gefahr nasser Füße und damit von Erkältungen erbringend. *Van Oordt*¹⁾ hat daher in die in seinem fundamen-talen Werk entworfene „ausführliche Klimatabelle“ sehr richtig eine Rubrik „Zahl der Tage mit trockenem Boden der Kurwege“ gefügt. Diese Frage ist aus dem vorliegenden Material für Agra numerisch nicht zu beantworten, aber allgemein kann gesagt werden, daß das harte, dichte und schwere Urgestein, welches den Untergrund bildet, im Verein mit der sehr steilen Böschung einen außerordentlich hohen „Abflußkoeffi-zienten“ und eine sehr geringe „Rücklage“ auch aus den sehr reichlichen Niederschlägen bedingen muß, so daß auf den weiten, dem Sanatorium stufenartig vor-gelagerten Terrassen wohl nie, und auf den anschließen-

¹⁾ *M. van Oordt*, Physikalische Therapie innerer Krank-heiten. Berlin, Julius Springer, 1920.

den Waldwegen kaum je nasser Boden die täglichen Promenaden beeinträchtigen kann. Der aus den Verwitterungsprodukten des Urgesteins unter der starken Einstrahlung etwa entstehende Straßenstaub bietet den oft noch nicht genügend gewürdigten großen Vorzug, sich infolge der Schwere des Materials schnell zu Boden zu senken — ganz im Gegensatz zu dem in den nördlichen Voralpen häufigen, in den Zentralalpen nicht seltenen, an warmen Tagen außerordentlich lange in der Luft schwebenden Staub aus Kalkgestein.

Drastisch wirken Vergleiche der Regenverhältnisse des Tessin mit denen anderer Orte (Tabelle 22). Die Niederschlagsmenge ist die zwei- bis dreifache derjenigen von Basel und Berlin und nicht viel weniger als die doppelte des Davoser Hochtales; ähnlich verhalten sich die mittleren Tagesmaxima zueinander, dagegen steht die „Zahl der Niederschlagstage“ weit zurück, sie erreicht nur etwa $\frac{2}{3}$ der in Basel und Berlin beobachteten und $\frac{3}{4}$ der Davoser. Aus beidem gemeinsam resultiert, daß die Regendichte, also die Regenmenge pro Regentag, drei- bis viermal so groß wird als im Norden der Alpen, und $2\frac{1}{2}$ mal so groß als im Hochalpental. Im Tessin ist, wie oben auch mittels des Wahrscheinlichkeitsfaktors nachgewiesen wurde, „das Problem gelöst, bei möglichst reichen Niederschlägen möglichst viele klare Tage zu haben“ — wie schon im Jahre 1879 der Botaniker *H. Christ*¹⁾ sehr richtig schrieb.

Innerhalb des Tessin zeichnet sich Locarno (Tabelle 22) wie der gesamte nach Süden und Südwesten offene Lago Maggiore durch gesteigerte Regenmenge und Regendichte aus, Bellinzona dagegen — da in teilweisem Regenschatten liegend — durch das Gegenteil. Zur Monte Brè-Höhe nimmt merkwürdigerweise, entgegen einer Allgemeinregel, die Niederschlagsmenge und die Zahl der Niederschlagstage ab, während dann beide zum exponierten Monte Generoso-Gipfel beträchtlich ansteigen. Auf beiden Höhen fällt der Niederschlag häufiger als im Tal und in den niedrigeren Lagen in Schneeform, auf Monte Generoso ähnlich häufig wie in Davos, trotz — wie wir konstatierten — wesentlich höherer Lufttemperatur.

Nebel, Gewitter (Tabelle 21 bis 22)

„In Agra kommen Nebel oder nebelartige Erscheinungen fast nur als Wolkenfetzen der großen Depressionsregen vor; sie setzen sich nicht fest, sondern ziehen sich rasch über den Ort fort“, so schreibt *R. Süring* (l. c.) auf Grund seiner persönlichen Beobachtungen. Bis zum Jahre 1925 sind im Jahresmittel 7 Nebeltage notiert, ähnlich wie gleichzeitig in Lugano; vom Jahre 1926 ab steigt dann plötzlich mit Beobachterwechsel die Zahl rapide, nämlich auf 37 jährlich im Mittel der Jahre 1926—1932, während Lugano für diese Epoche sogar nur 4 Nebeltage pro Jahr meldet. Die gänzlich abweichende

Auffassung der neuen Beobachter erklärt sich vermutlich durch die Verwechslung von niedrig hängenden Regenwolken mit Nebeln, denn es sind sehr häufig — beispielsweise allein im November 1927 an 8 Tagen, 16 Terminen — gleichzeitig Nebel und Regen vermerkt worden. Das Mittel der Jahre 1915—1925 wird daher den tatsächlichen Verhältnissen gerechter werden als das Gesamtmittel, und es ist daher in die Vergleichstabelle 22 eingefügt worden. Das mechanisch aus den Aufzeichnungen abgeleitete Mittel = 32 Tage jährlich (Tabelle 21) vertrüge sich auch gar nicht mit der von *J. Maurer*¹⁾ gezeichneten Nebelkarte der Schweiz.

Auch übersättigte Luft ist nur ganz vereinzelt nach kräftigen Gewittergüssen gefunden worden.

Durch sehr seltene Nebel zeichnet sich Locarno aus (Tabelle 22), während in Bellinzona Talnebel auftreten und der Monte Generoso ein Beispiel gibt für die große Häufigkeit von Bergnebeln auf freien Gipfeln.

Die Gewitterfrequenz am Südfuße der Alpen steht hinter der weiter Teile des Schweizer Mittellandes zurück und nimmt schnell von den Randzonen zu den inneren Tälern ab. Die große „Gewitterküche“ liegt am nördlichen Ende des Lago Maggiore; Locarno zeichnet sich durch größte Frequenz und häufige Lokalgewitter aus. Die Hauptgewitterstraße des Tessin führt von Locarno das Tessintal aufwärts über Bellinzona nach Roveredo, eine zweite von der Tessinmündung nach Lugano. Auch Ponte Tresa und Agno bevorzugen die Gewitter. Obwohl den drei letztgenannten Gewitterzentren benachbart, liegt Agra selbst nicht in den Zugstraßen, welche sich nördlich der Collina d'Oro halten; daher ist die Blitzgefahr, die sich in Agno und Lugano stark häuft, in Agra sehr gering — das zeigt die von *Charles Golaz*²⁾ für die Periode 1911—1930 gezeichnete Karte der Blitzeinschläge im Schweizer Alpenland vollkommen sicher.

27 Gewitter kamen in Agra im Jahresmittel zur Beobachtung (Tabelle 21). Nur die Wintermonate sind gewitterfrei; stark steigt die Frequenz vom Frühfrühjahr zum hohen Maximum des Hochsommers; es fehlt das in Deutschland bekannte Mai-Maximum mit nachfolgender Junisenke. Im Herbst klingt die Gewitterhäufigkeit langsam bis zum November ab. Durch das hohe Maximum wird die Regenmenge des Sommers stark beeinflusst, und zwar — wie wir schon sahen — infolge stark erhöhter Regendichte, also sehr großer Ergiebigkeit der Gewitterregen. „Die Schnelligkeit und Stärke des Gewittervorganges bildet für den empfänglichen Beschauer einen erheblichen sinnlichen und tonischen Reizkomplex“, schreibt *Kornmann* (l. c.) auf Grund seiner reichen ärztlichen Erfahrung. Wenn in der Vergleichstabelle 22 Agra mit der höchsten Zahl von Gewittertagen erscheint, so erklärt sich das außer durch seine hohe und freie Lage wohl auch durch die den Eifer steigernde Freude, mit der die Beobachter und ihre Leidensgefährten von ihren Liegehallen auf das erhabene Schauspiel warteten.

¹⁾ *H. Christ*, Das Pflanzenleben der Schweiz. Zürich 1879.

¹⁾ Ann. Schw. Met. Zentralanst. 1931.

²⁾ Meteorol. Zeitschr. 50, 145, 1933.

Strahlung (Tabelle 23 bis 29, Abb. 5 bis 7)

Die Sonnenscheindauer ist für das Strahlungsklima eines Ortes in erster Linie entscheidend. Sie ist oben schon ausführlich behandelt worden in Verbindung mit der Bewölkung. Im nachfolgenden gilt die Aufmerksamkeit der Intensität der Sonnen- und Himmelsstrahlung.

Die weitaus wertvollsten Reihen sind für den Jahresturnus Oktober 1922 bis September 1923 in der schon wiederholt zitierten Arbeit Geheimrat *Sürings* (Meteorol. Zeitschr. 1924) zusammengetragen; mittels einfacher Methoden sind in Agra Strahlungsmessungen auch außerhalb dieser Periode durchgeführt worden.

1. Wärmestrahlung von Sonne, Himmel und Erdoberfläche

a) Gemessen mit Schwarzkugelthermometer englischen Typs (Tabelle 23)

Diesem weitverbreiteten Instrument hatten zwar in der Fachliteratur wiederholt erörterte Mängel an, die sich in Extremklimaten mit starken Winden oder mit sehr niedrigen Lufttemperaturen oder gar bei Kombination beider böse auswirken können, für das gemäßigte Klima Agras ist das aber wenig zu befürchten. Freilich sind bei Bewertung der Angaben dieses oft „Insolationsthermometer“ genannten Instruments zwei wesentliche Punkte zu beachten: 1. es meldet nur für jeden Tag einen einzigen Wert, nämlich den Maximalwert, daher kann bei gleichen Maximalwerten das Strahlungswetter an verschiedenen Tagen doch einen ganz verschiedenartigen Verlauf nehmen, 2. es meldet bei der üblichen freien Exposition nicht die Strahlung der Sonne (wie man nach seinem Namen annehmen möchte), sondern die Gesamtstrahlung von Sonne, Himmel und Erdoberfläche, woraus sogleich hervorgeht, daß es sehr auf die unmittelbare Umgebung des Instruments, also auf geeignete Aufstellung ankommt.

Vom ganzen Jahre 1915 und sodann fortlaufend von Oktober 1922 ab liegen die Aufzeichnungen des stets frei auf dem oberen Dache des Sanatoriums exponierten Thermometers vor. Tabelle 23 enthält in Spalte 2 und 3 die monatlichen Mittel und mittleren Maxima in Celsiusgraden für die gesamte Periode 1915 + 1922—1932. Wir konstatieren einen anhaltenden Anstieg sowohl der Mittel wie der Maxima vom Dezember zum Juli mit folgendem etwas schnellerem Abfall, der sich durch gegenüber dem Frühjahr niedrigere Sonnenhöhen erklärt. Die Differenzen zwischen Mittel- und Maximalwerten belaufen sich in den Monaten Juni bis September auf nur etwa 6°, in den übrigen Monaten liegen sie dagegen meist doppelt so hoch. Das fast gänzliche Ausbleiben wirklich trüber Tage in den Sommermonaten, welches oben festgestellt wurde, gibt hierüber den Aufschluß. Gegenüber dem absoluten Maximalwert vom 9. August 1924 = 69,8° (maximale Lufttemperatur = 23,6°, Bewölkung = 3) würde Mißtrauen aufkommen, wenn nicht Werte von 67—68° im Laufe der Jahre wiederholt notiert worden wären. Das eigentliche Maß für die Strahlung ist nun aber nicht die Absoluttemperatur des Schwarzkugelthermometers, sondern seine Übertemperatur über Lufttemperatur. Für die Jahre 1930—1932 ist diese derart festgestellt, daß den monatlichen Maximalgraden

des Schwarzkugelthermometers die am gleichen Tage vom Extremthermometer angezeigten Wärmegrade der Lufttemperatur zugeordnet wurden. In Spalte 4 und 5 der Tabelle 23 sind die monatlichen Mittel der 3 Jahre eingesetzt, sowohl die (von den Maxima der Periode 1915 + 1922—1932 etwas abweichenden) des Schwarzkugelthermometers wie auch die seiner Übertemperatur über Lufttemperatur. In diesen kommt der jährliche Gang der Sonnenstrahlung, den wir noch kennenlernen werden, zum Ausdruck durch das Frühjahrsmaximum und das Minimum der tiefstehenden Wintersonne, überlagert vom Effekt der in den Sommermonaten starken zusätzlichen Wolkenstrahlung. Hinzugefügt sind der Tabelle 23 in Spalte 6 und 7, um die Nützlichkeit des Gebrauchs dieses einfachen Instruments nachzuweisen, die auf Davos bezüglichen, gleichfalls in der geschilderten Weise für 1930—1932 festgestellten Absolut- und Übertemperaturwerte. Die Absolutwerte liegen, wie vom 1000 m höher gelegenen Orte nicht anders zu erwarten, etwa 3° höher in den Monaten ohne Schneedecke (April bis Oktober), die Differenzen schnellen aber herauf bis zu einem 10° höheren Niveau, sobald Schneereflex hinzukommt. Schaut man vergleichsweise die Übertemperaturen beider Orte an, so verstärken sich die Unterschiede gewaltig, auf etwa 7° ohne Schneedecke und bis zu 18° bei Schneedecke. Hierbei wirken sich fehlerhaft übertreibend die an beiden Orten sehr verschiedenen Lufttemperaturen aus — der eingangs dieses Abschnittes erwähnte Mangel des Instrumentes.

b) Gemessen mittels der Davoser Frigorimeterkugel (Abb. 5)

Ein vervollkommnetes Schwarzkugelthermometer stellt die geschwärzte massive Kupferkugel von 7.5 cm Durchmesser des Davoser Frigorimeters dar, von welcher im Abschnitt über „Abkühlungsgröße“ noch die Rede sein wird. Bei Windstille unmittelbar, bei Wind bekannter Stärke mittelbar, bei Kenntnis des Ventilationsfaktors gibt ihre Übertemperatur über Lufttemperatur die gesamte kalorische ein- und ausgehende Strahlung aller Wellenlängen von Himmel, Erdboden und Sonne, und zwar, da seine physikalischen Konstanten gut definiert und bekannt sind, in absolutem Maß pro cm² bestrahlter Fläche und Sekunde in $\frac{1}{1000}$ g cal, d. h. das klimatisch wichtigste, weil den Wärmehaushalt stärkst beeinflussende Strahlungselement, mit für klimatische Verhältnisse genügender Exaktheit, welches ganz genau zu messen etlicher Instrumenttypen und peinlicher, zeitraubender Arbeit bedarf. Im Abschnitt über „Abkühlungsgröße“ wird hierauf zurückgekommen, hinsichtlich letzter Details muß hier, um nicht zu ausführlich zu werden, auf die „Assuanstudie“¹⁾ verwiesen werden.

An einer größeren Anzahl geeigneter Tage wurde zu diesem Zwecke in den Monaten Juli bis September 1926 und Mai und August 1927 am Mittagstermin, zusammen mit der Lufttemperatur, Bewölkung und Windgeschwindigkeit, die Temperatur der Kugel notiert. Die aus diesen Faktoren rechnerisch abgeleiteten Strahlungswerte sind

¹⁾ *Lahmeyer* und *Dorno*, Assuan, eine meteorologisch-physikalisch-physiologische Studie. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges., 1932.

in Abb. 5 eingetragen und 2 Grade sind durch die Punkt-reihen freihändig gezogen. Sie zeigen gleichzeitig die Absolutwerte der Gesamtstrahlung von Sonne, Himmel, und Erdoberfläche und ihre Abhängigkeit von dem Bewölkungsgrad und von der Sonnenhöhe. Die Streuung der Einzelwerte ist nicht größer, als sie vom geübten Ver-fahren erwartet werden kann, es darf aber nicht ver-schwiegen werden, daß einige — nicht gezeichnete — Werte ganz außer der Reihe fallen. Das erklärt sich zweifellos durch das Schicksal der Kugel vor dem

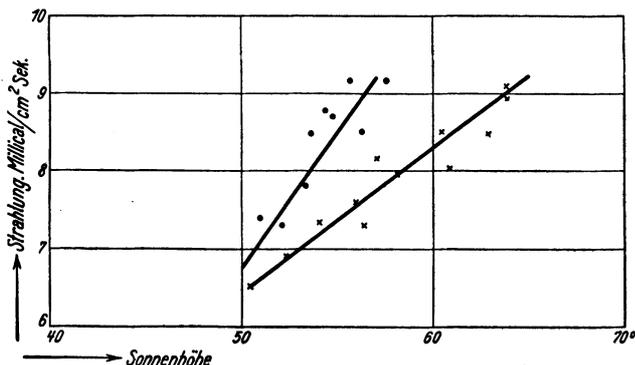


Abb. 5. Agra: Beziehung zwischen totaler kalorischer Strahlung (von Sonne, Himmel und Erdoberfläche), Sonnenhöhe und Bewölkung B_{0-3} ····, B_{4-9} ××××

Moment der Ablesung ihrer Temperatur, denn sie folgt mit dieser den meteorologischen Einflüssen, insbesondere vorübergehender Verschattung der Sonne, nur verzögert. Die Werte schwanken zwischen 6.50 und 9.20 Millical/cm² sec. *R. Süring* beobachtete (l. c.) die Intensität der Sonnenstrahlung um 13^h im Mittel der genannten Monate zu 1.30 g cal/cm² min. Das entspricht einer Strahlungszufuhr von 5.43 Millical/cm² sec für die ganze Kugeloberfläche, nämlich

$$\frac{1300 r^2 \pi}{60 \cdot 4 r^2 \pi}$$

— allein durch die Sonne. Hinzu kommt demnach durch Reflexion und Eigenstrahlung des Erdbodens und durch Strahlung heller Bewölkung des Grades 1—3 ein Zuwachs von 1.32 bis 3.77 (daher die Grenzwerte 6.75 und 9.20 der oberen Graden in der Abb. 5), und durch Erdbodenstrahlung und helle Bewölkung der Grade 4—9 ein solcher von 1.07 bis 3.77 (daher die Grenzwerte 6.50 und 9.20 der unteren Graden der Abb. 5). In beiden Fällen wirkt sich der Wechsel der Sonnenhöhe nach *Sürings* Meßreihen nur mit wenigen Prozenten aus, aber indirekt weit stärker durch intensivere Erhellung der reflektierenden Wolken. Der Maximalwert 9.20 liegt nahe bei dem Davoser Maximalwert 9.00¹⁾. Da die Strahlung der direkten Sonne in Agra bei Sonnenhöhen von 50—60° im Mittel 6½% schwächer ist als in Davos, ersetzt also unter gedachten Verhältnissen eine entsprechend größere Himmels- und Wolkenstrahlung diesen Ausfall vollauf, und das findet Bestätigung durch den Vergleich der Helligkeiten der Wolken (S. 20).

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1928, S. 403.

Es darf nicht stutzig machen, daß — klar verbliebene Sonne vorausgesetzt — selbst eine Bewölkung der Ziffer 9 noch strahlenvermehrend gegenüber wolkenlosem Himmel wirken kann; photometrisch¹⁾ ist in Davos dasselbe gefunden worden.

Von geschätzter Seite²⁾ ist berichtet worden, daß die Frigorimeterkugeln nicht vollständig schwarz seien, sondern nur 50—80% der auffallenden Strahlung absorbieren. Das kann wohl nicht allgemein zutreffen, denn 1. sprechen die umfangreichen Differenzmessungen mittels schwarzer und blanker bestvernickelter Kugeln während der Konstruktion des Frigorimeters im Jahre 1923 dagegen, 2. lieferten die unter ganz verschiedenen Umweltbedingungen in Davos, Assuan und Agra mit der Frigorimeterkugel angestellten Messungen soeben beschriebener Art gut miteinander verträgliche Zahlen, die in Davos auch durch Einzelmessungen der Sonnen-, Himmels- und Reflexstrahlung verifiziert worden sind, 3. ergaben im Zimmerexperiment aus anderen Gründen von mir angeregte peinliche und umfangreiche Vergleichsmessungen *Dr. Wielands* am Davoser Observatorium durch wechselnde Wärmezufuhr zur Kugel auf elektrischem und auf dem Strahlungswege befriedigend übereinstimmende Werte für die „spezifische Abkühlungsgröße“, nämlich 0.0168 gegenüber 0,0162 — freilich ohne Luftdruckkorrektur, welche am Resultat aber auch nicht viel ändert.

2. Wärmestrahlung nur der Sonne (Tabelle 24 bis 25, Abb. 6)

Diese exakten, mittels eines sorgsamst an die Smithonian-Skala Revised 1913 angeschlossenen Michelson-Aktinometers für die gesamte und die rote + ultrarote Strahlung der Sonne zusammengetragenen Reihen liegen nur für den Jahresturnus Oktober 1922 bis September 1923 vor, gesammelt von *Süring* und *Löwe*, und von Geheimrat *Süring* eingehend diskutiert in Meteorol. Zeitschr. 1924, S. 327—335. Auf diese mustergültige Arbeit sei hier hingewiesen. Für den Leser, welcher sie nicht zur Hand hat, folgen hier kleine Auszüge aus den Haupttabellen und graphischen Darstellungen mit ergänzendem Text.

Die Tabelle 24 enthält für die vier Jahreszeiten und das Jahr den Tagesgang der gesamten Sonnenintensität in gcal/cm² min, Tabelle 25 monatsweise die Mittags- und Maximalintensitäten sowie die täglichen Wärmesummen in gcal/cm², welche auf die zur Richtung der Sonnenstrahlen senkrechte und auf die horizontale Fläche fallen, und zwar 1. für den hypothetischen Fall stets wolkenlosen Himmels, 2. für die durchschnittliche Wirklichkeit, unter Berücksichtigung der Bewölkung. Abb. 6 wiederholt gewissermaßen durch die obere Kurvenschar den Inhalt der Tabelle 24 in graphischer Darstellung, und sie vereint damit durch die untere Kurvenschar die Wiedergabe des Tagesganges der Rot- + Ultrarotintensitäten für die vier Jahreszeiten.

Diese Abb. 6 besagt, kurz gefaßt: Die Gesamtintensität der Sonnenstrahlung erreicht während des ganzen Tages ihre Höchstwerte im Frühjahr, es folgen

¹⁾ Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1911, Tabelle 35.

²⁾ *K. Büttner*, Strahlentherapie 48, 388, 1933.

der Reihe nach Herbst, Winter, Sommer, wobei natürlich in den Morgen- und Abendstunden bei stark sinkender Sonne Überschneidungen vorkommen. Die Sommer- sonne ist mittags etwa 9% schwächer als die Winter- sonne, obwohl sie 44.5° höher steht (67.3° gegenüber 22.8°). Dies Wunder zeitigt der sehr viel größere Wasser- dampfgehalt der Luft (12.0 im Juli, 3.6 im Januar laut Tabelle 6), welcher insbesondere die rote + ultrarote Strahlung absorbiert, im Verein mit der durch den mittäglichen Auftrieb im Sommer sehr gesteigerten Inhomogenität der Atmosphäre. Die Unterschiede zwischen Sommer- und Wintersonne müssen daher im Rot + Ultrarot noch größer ausfallen, und das zeigen auch die Kurven VII und I der unteren Kurvenschar, denn die rote + ultrarote Intensität der mittäglichen

Sonnenhöhe	60°	40°	20°	10°
Juli/August (Sommer)				
Muottas Muraigl . . . 2456 m	0.639	0.643	0.666	0.751
Davos 1560 m	0.646	0.661	0.705	0.761
Agra 565 m	0.614	0.638	0.701	0.785
Potsdam 40 m	0.646	0.666	0.746	0.844
Januar (Winter)				
Muottas Muraigl	—	—	0.694	0.779
Davos	—	—	0.717	0.810
Agra	—	—	0.687	0.744
Potsdam	—	—	0.765	0.831

Die Nachmittagswerte der gesamten Sonnenstrahlung liegen laut Tabelle 24 stets unter den entsprechenden Vormittagswerten. Eine Trennung nach Wetterlagen gab die Aufklärung, daß das im Winter nur für die Tage mit Dunstbildung gilt, im Sommer aber für alle Wetterlagen, auch für Föhntage, und daß in dieser Jahreszeit die Unruhe der Luft mehr als Dunstbildung den Tagesgang verursacht. Das Monatsmaximum fällt auf den Februar, das Monatsminimum auf den Juli; die absoluten Maxima wurden am 13. Oktober 1922 mit 1.480 und ähnlich am 6. März 1923 mit 1.471 erreicht, beide bei Nordföhn, doch kommen auch bei S- und SW-Winden ähnlich hohe Werte vor. Die Minima bei 20° Sonnenhöhe trafen auf den 8. Juli 1923 vormittags mit 0.61 und nachmittags mit 0.41. Also spiegeln sich auch in den Maxima und Minima die kräftigere Frühjahrs- und Herbststrahlung und die schwache Sommerstrahlung wider.

Die Ergebnisse aus dem Vergleich mit anderen Orten faßt *Süring* folgendermaßen zusammen: „In der kühlen Jahreszeit und sogar noch etwas darüber hinaus, nämlich von September bis mindestens Ende März, hat die Sonnenstrahlung in Agra durchaus Gebirgscharakter (etwa einer Höhenlage von 1400 m entsprechend), sie ist also weit übernormal; in der zweiten Hälfte des Frühlings und im Sommer ist die Strahlung gleich derjenigen eines staubfreien Ortes in rund 500 m Höhe, d. h. ungefähr normal. Für einen Kurort dürfte diese Verteilung recht günstig sein; in der Jahreshälfte mit kurzen Tagen wird die hohe Strahlungsintensität im Zusammenhang mit der langen Sonnenscheindauer kaum anderswo an Wirksamkeit überboten, während in dem ebenfalls sonnenreichen Sommerhalbjahr die geringere Strahlungsintensität durch die Möglichkeit, sie ungewöhnlich lange auszunutzen, ausgeglichen wird. Die dann tagsüber von dem Luganer See aufsteigende und dabei gut durchmischte Luft übt sogar eine erwünschte Schirmwirkung gegen zu starke Strahlung und zu hohe Erwärmung aus. Die Gunst des Strahlungsklimas in Agra tritt namentlich hervor, wenn man die durchschnittlich täglich zugeführte Wärmemenge (Tabelle 25) mit den von anderen Orten vergleicht. Hier steht Agra dank seiner überragenden Sonnenscheindauer fast immer an erster Stelle, die Wintersumme ist doppelt so groß wie

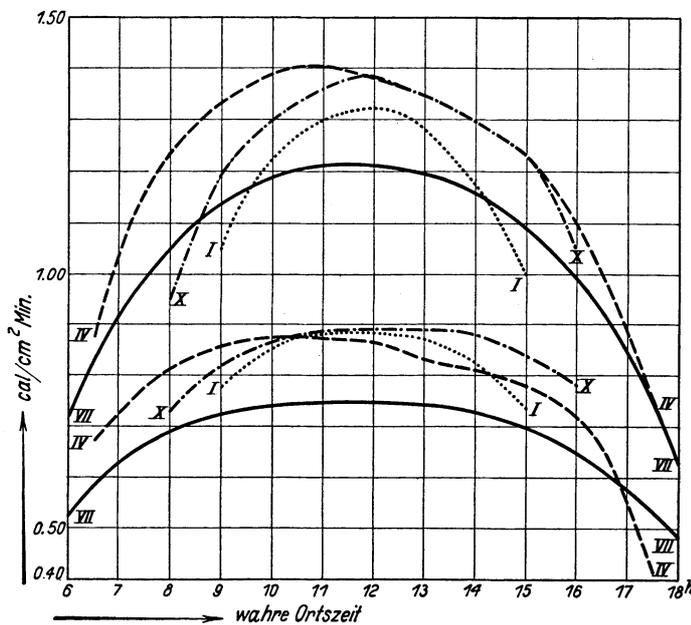


Abb. 6. Gesamtstrahlung (obere Kurvenschar) und Rotstrahlung (untere Kurvenschar) der Sonne in cal/cm² min im Januar, April, Juli und Oktober

Sommersonne ist volle 15% geringer als die der mittäglichen Wintersonne. Die übrigen Jahreszeitenkurven zeigen keine großen Unterschiede. Im Tageslaufe erfolgen die Änderungen im Rot + Ultrarot durchweg wesentlich langsamer, denn die unteren Kurvenscharen verlaufen viel flacher als die oberen der Gesamtintensität. Der Rotgehalt der Sonnenstrahlung nimmt, wie der Vergleich zwischen jahreszeitlich zueinander gehörigen Kurven lehrt, zum Mittag hin, also mit steigender Sonne und steigender Intensität, stets ab, die höhersteigende Sonne wird also immer relativ reicher an kurzwelligeren Strahlen, was auch visuell erkennbar wird durch heller gelbwerdende Färbung der Sonne.

Mit Zunahme des Wasserdampfes der Luft und mit Aufstieg vom Meeresniveau pflegt der Rot- + Ultrarotgehalt der Sonne abzunehmen; in Agra ist er auffallend niedrig, die Sonne also bevorzugt reich an kurzwelligeren, aktinischen Strahlen, wie folgender Vergleich zeigt:

in Riezlern, viermal so groß wie in Potsdam, und sogar noch etwas größer als in Davos. Auch im Sommer sind die Überschüsse erheblich, während sie in den Übergangsmontaten infolge der unbeständigen Witterung weniger hervortreten.“

3. Blauviolette Strahlung von Sonne + Himmel a) Auf die Horizontalfläche (Photochemische Ortshelligkeit) (Tabelle 26)

Die Beleuchtungsstärke der Horizontalfläche durch Sonne + Himmel wird mit „Ortshelligkeit“ bezeichnet. Ihre Tagessummen wurden photochemisch mittels des für meteorologische Zwecke aptierten *Eder-Hechtschen* Graukeilphotometers (Keilkonstante 0.305 unter gerauhtem Milchglas) in Davoser Skala (relative Lichtmengen der *Ederschen* Skala) mit in Davos abgestimmten Photometern und Photometerpapieren gemessen von Oktober 1922 bis Februar 1930, ausgenommen im Jahre 1925. Etliche Resultate der Periode Oktober 1922 bis März 1926 (exklusive 1925) sind bereits veröffentlicht¹⁾ im Zusammenhang mit denen vieler anderer zwischen dem nördlichen Polarkreis und dem südlichen Wendekreis gelegenen Stationen, die in einer von Davos organisierten Arbeitsgemeinschaft das noch recht unbekannte Lichtklima eines großen Teiles der Erde mittels dieser einfachen Methode messend zu verfolgen strebten. Die Apparatur, ihr Gebrauch für den vorliegenden Zweck, ihre Fehlergrenzen sind i. c. ausführlich besprochen. Der gemessene Spektralteil liegt im Blauviolett und Ultraviolett zwischen λ 440 bis 366, der optische Schwerpunkt bei etwa λ 410, vorausgesetzt, daß das im Juli 1921 von Hofrat *Eder* durch Herlango A.-G. für photographische Industrie, Wien, herausgebrachte „Chlorsilbernormalpapier“ zur Anwendung kommt. Das später, wohl seit 1927, von der Schwesterfirma Lainer & Hrdliczka, Wien, für Graukeilmessungen im Tageslicht gelieferte, mit Pinaflavol sensibilisierte Chlorsilberpapier hat den großen Vorzug, auch auf Blau, Grün, Gelb und Orange zu reagieren, also auch auf die im Sonnen- und Wolkenlicht vorhandenen langwelligeren Strahlen, es erschwert aber andererseits infolge dieser Reaktion auf einen sehr breiten Spektralbezirk die zu klimatischen Vergleichsmessungen durchaus nötige sichere Abstimmung der Photometer ganz außerordentlich, weil an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Jahres- und Tageszeiten die Ortshelligkeit spektral ganz verschieden zusammengesetzt ist. Auch in den Agreser langen Reihen wirkte sich das aus seit der Einführung des neuen, auch äußerlich sichtlich verschiedenen, weniger empfindlichen Papiers im Jahre 1927, wie sich aus der Zusammenstellung der „Normalwerte“, d. h. durch die Zusammenstellung der für die zweite Dekade aller Monate von 1922—1930 bei wolkenfreiem Himmel gefundenen Tagessummen nachweisen ließ. Die Differenzen der Tagessummen fanden sich in den Maximal- und Minimalwerten wieder. Diese Zusammenstellung bot nun aber auch die Möglichkeit zu einer einigermaßen

sicheren Korrektur. Diese bestand in einer Erhöhung der März—August-Ablesungen 1927 um 1 Strich = 2 Skalengrade = 15%, und aller Werte von September 1927 bis Februar 1930 um 2 Striche = 4 Skalengrade = 30%. Die von einem vertretungsweise eingestellten Beobachter während der 3 Monate Mai—Juli 1929 gesammelten Werte mußten fortgelassen werden wegen augenscheinlicher, vom Nachfolger auch bestätigter Fehler. Mit diesen Korrekturen ergaben sich nun die in Tabelle 26 vereinten monatlichen Mittel-, Maximal-, Minimal- und Normalwerte der photochemischen Ortshelligkeit. Unter letzteren sind die für wolkenlose Tage gültigen zu verstehen.

Die Normalwerte von Tagen gleichen Datums schwanken von Jahr zu Jahr, mit ganz wenigen Ausnahmen, um viel weniger als 10%, welche Schwankungsgröße in Davos¹⁾ photometrisch für Normaltage gefunden worden ist. Die monatlichen Maxima der Normaltage fallen in den verschiedenen Jahren nicht einheitlich auf den Monat mit höchstem Sonnenstande (Juni), sondern bewegen sich zwischen Mai und Juli, wie es auch in Davos¹⁾ photometrisch festgestellt wurde. Die Minima fallen stets in den Dezember. In den unter großem Mit-einfluß der Bewölkung stehenden Mittelwerten wechselt in den verschiedenen Jahren das Maximum auch zwischen Mai und Juli, doch fällt es im Durchschnitt der ganzen Beobachtungsperiode in den Jullmonat (gegenüber Maimonat bei den Normalwerten). Die Mittelwerte liegen etwas über dem arithmetischen Mittel aus Maxima und Minima, und zwar im Sommerhalbjahr dem Maximum näher, im Winterhalbjahr eher näher dem Minimum. Vom Winter zum Sommer schwanken die Monatsmittel im Verhältnis 1:4.7, die Monatsmaxima im Verhältnis 1:3.7, die Monatsminima im Verhältnis 1:7.0, der dunkelste Tag verhält sich zum hellsten im Durchschnitt der ganzen Periode wie 1:32.6. Das absolute Maximum erreichte im Mai 1928 den hohen Wert 1048, das absolute Minimum im Januar 1927 den außerordentlich geringen Wert 6; die Extreme stehen also im Verhältnis von 1:174.7. Auf eine derartig große Verhältniszahl wäre eine visuelle Schätzung wohl nie gekommen; das Auge läßt bekanntlich bei Abschätzung absoluter Helligkeiten böse im Stich. Die hohe Verhältniszahl gilt, wie erinnert sei, ja auch nicht für weißes Tageslicht, sondern für blauviolett, welches beträchtlich größeren Schwankungen unterworfen ist. In Davos schwankt das photometrisch gemessene weiße Tageslicht in der Mittagsstunde im Jahreslaufe maximal im Verhältnis 1:32¹⁾. Auf den starken physiologischen Reiz, der in diesen enormen Lichtwechseln liegt, wurde schon im Jahre 1911 i. c. hingewiesen. Er ist — wie hier festgestellt — auch dem Hochgebirgsverhältnissen ähnlichen Agreser Lichtklima eigen. In gleichem Sinne schrieb *Süring* (i. c.): „Es spricht sich hier der große Reiz aus, welchen gerade das südliche Tessin durch seinen Lichtwechsel bietet; die überwältigende Lichtfülle an föhningen Tagen und die beruhigende Gleichmäßigkeit einzelner trüber Tage.“

¹⁾ Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1911, Tabelle 35.

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 42, 81—97, 1925; 44, 369—380, 1927.

Es dürften noch folgende im Mittel der Periode 1922—1930 gefundenen, auf die Mittelwerte der Lichtsummen bezüglichen Verhältniszahlen interessieren:

$$\frac{\text{Januar—Juni}}{\text{Juli—Dezember}} = \frac{\text{erste Jahreshälfte}}{\text{zweite Jahreshälfte}} = \frac{1.15}{1}$$

$$\frac{\text{März—Juni}}{\text{Juli—Oktober}} = \frac{\text{erste Hälfte der Vegetationsperiode}}{\text{zweite Hälfte der Vegetationsperiode}} = \frac{1.07}{1}$$

$$\frac{\text{März—Mai}}{\text{September—November}} = \frac{\text{meteorologischer Frühling}}{\text{meteorologischer Herbst}} = \frac{1.66}{1}$$

Eine Beziehung zwischen Ortshelligkeit und Sonnenscheindauer besteht, wie die senkrechte Verfolgung der Spalte 6 und 7 der Tabelle 26 zeigt, nur insofern, als die Ziffern gleichzeitig steigen und fallen, aber doch in ganz verschiedenem Maße; so stehen die Prozente der Sonnenscheindauer und die der Ortshelligkeit beispielsweise im Juli im Verhältnis 1:1.2, im November aber im Verhältnis 1:1.6, die Ortshelligkeit hängt eben außer — gleich der Sonnenscheindauer — von Tageslänge und Bewölkungsziffer, sehr stark von der Sonnenhöhe und auch von der Wolkenart ab. Als besonders dunkel weisen sich durch die Prozentzahlen (Spalte 6) die Monate November und März aus, übereinstimmend mit der relativ großen Zahl ihrer trüben Tage (Tabelle 16), als besonders hell die Monate Juni—September, in denen, wie wir feststellten, wirklich trübe Tage fast fehlen. Beachtenswert hohe Prozentzahlen weisen auch die Hochwintermonate Dezember und Januar auf, entsprechend ihrer relativ kleinen Bewölkungsziffer (Tabelle 16). Hier ist nun nachgewiesen, wie sich die Bewölkung und die Zahl heiterer und trüber Tage numerisch auswirkt auf Helligkeit bzw. Dunkelheit. Wenn selbst in den ungünstigsten Monaten über 60% der bei wolkenlosem Himmel zu erwartenden Helligkeit besteht (Spalte 6) und im Mittel des gesamten Jahres 72.3% derselben, so gliedert sich hiermit Agra den bevorzugtesten Hochgebirgsorten ebenbürtig an, denn in Davos und Arosa wurden die mittleren Helligkeiten gleich 73.2 bzw. 73.7% der an Normaltagen (wolkenlosen Tagen) herrschenden konstatiert. Von meteorologischem Interesse als Beitrag zur noch wenig sicher bekannten Helligkeit der Wolken ist noch die folgende, jahreszeitlich geordnete Gegenüberstellung:

	Frühling	Sommer	Herbst	Winter	Jahr
Agra					
Einbuße an Sonnenschein	53.2	35.6	49.9	44.6	45.8 %
Einbuße an Helligkeit . .	32.9	20.0	32.3	25.5	27.7 %
Also letztere nur	62.0	56.0	65.0	57.0	60.0 %

der ersteren, oder, was dasselbe: vom Verlust der Helligkeit durch Abschirmung der direkten Sonne, kommen durch Wolkenreflex und Wolkentransparenz wieder ein

$$\parallel 38.0 \mid 44.0 \mid 35.0 \mid 43.0 \parallel 40.0 \%$$

also in den verschiedenen Jahreszeiten nicht gar verschieden viel, immerhin im Sommer und Winter mehr als im Frühjahr und Herbst.

Die entsprechenden Davoser Zahlen lauten:

$$\parallel 50.0 \mid 33.0 \mid 44.0 \mid 69.0 \parallel 49.0 \%$$

In der 1600 m Meereshöhe zeigt sich also — im Gegensatz zur 600 m Meereshöhe — ein sehr großer Unterschied zwischen den Helligkeiten von Sommer- und Winterwolken, indem daselbst die Sommerwolken die weitaus dunkelsten, die Winterwolken dagegen die weitaus hellsten sind — was übrigens schon aus Dauerregistrierungen der Ortshelligkeit¹⁾ bekannt ist. Im Sommer übertrifft die Wolkenhelligkeit in 600 m Höhe die des Hochgebirges, in den übrigen Jahreszeiten, besonders im Winter, ist es umgekehrt, desgleichen im Jahresmittel. Alles entspricht dem Augenschein, ist hier nur quantitativ in Zahlen gefaßt.

Die Häufigkeitszahlen der Spalten 8 bis 12 der Tabelle 26 ergänzen tagweise und daher noch detaillierter, was oben aus den Monatsmitteln geschlossen wurde: Die senkrechte Verfolgung der Spalten 8 bis 12 lehrt:

Lichtraubende Bewölkungen sind:

häufigst im Oktober/November und im März/April, seltenst im Juni/September, ziemlich selten im Januar/Februar.

Lichtvermehrnde Bewölkungen sind:

häufigst im August/September und im Dezember/Januar (auch November), seltenst im Oktober, ziemlich selten im Februar/März.

Mittelhelle Bewölkungen sind:

häufigst im Juli/August, seltenst im November.

Die Novemberwerte schwanken am meisten und sind im Mittel am kleinsten.

Weit über die Hälfte aller Tage weisen (unterste Reihe) 50 bis 100% der Normalwerte (bei wolkenlosem Himmel gültige Werte) auf, je fast 15% fallen auf 30 bis 50% bzw. 100 bis 150% der Normalwerte, nur $\frac{1}{8}$ aller Tage erreichen nicht 30%. Die Wolken wirken (laut der letzten beiden Spalten der untersten Reihe) helligkeitsvermehrnd in 15.1% aller Fälle, und der Zuwachs kann sich in Ausnahmefällen (0.8% aller Fälle) auf mehr als 50% belaufen.

Stellt man schließlich die Prozentzahlen der Normalwerte der Ortshelligkeit (Spalten 8 bis 12 der Tabelle 26) denen der Bewölkungszahlen (unterste Reihe Tabelle 18) gegenüber, so ergibt sich als vielleicht einmal praktisch verwertbar: Nur bei Bewölkungszahlen 7.5—10 (also nur an „bedeckten“ Tagen), d. h. in 27% aller Fälle, erreichen die Helligkeiten nicht die Hälfte der normal bei wolkenlosem Himmel zu erwartenden.

Hinsichtlich der Vergleiche mit dem Lichtklima anderer Orte muß hier der Hinweis auf meine oben zitierten ausführlichen Publikationen²⁾ genügen; nur kurz sei erwähnt:

Die Lichtsummen von Davos und Agra verhalten sich im Sommer wie 1.30:1, im Winter wie 1.36:1.

Wie im Hochgebirge bestehen also auch in Agra wesentlich geringere Differenzen zwischen den Sommer- und Winterhelligkeiten als in der Ebene.

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1921, Januar.

²⁾ Meteorol. Zeitschr. 42, 81—97, 1925; 44, 369—380, 1927.

Agra übertrifft das nicht gar fern in der Potiefebene gelegene Modena in der Winterzeit (November/Februar) um etwa 15%, steht ihm aber in der Sommerzeit um etwa 25% nach. Beides ist als bedeutender klimatischer Vorzug einzuschätzen.

b) Auf die nach Süden gerichtete Vertikalfläche (südliches Vorderlicht) (Tabelle 27)

So wichtig nun auch die Beleuchtungsstärke der horizontalen Fläche als einer in der unbelebten und belebten Natur weithin bevorzugten Fläche ist, so bedeutet doch für den viel in das Zimmer gebannten Kulturmenschen und für den für lange Zeiten an die Liegehallen des Sanatoriums gefesselten Kranken sehr viel mehr die Beleuchtungsstärke der gleich seinen Fenstern oder gleich seiner Liegehalle orientierten Vertikalfläche, denn allein von dieser wird die Helligkeit eines Zimmers oder einer Liegehalle bestimmt und damit die Strahlenmenge, welche den Insassen erreicht. Da die Front des Sanatoriums Agra und seiner Liegehallen fast genau nach Süden orientiert sind, ergab sich die Aufgabe, die Bestrahlungsstärke der nach Süd orientierten Vertikalfläche — das südliche Vorderlicht —, wie es fachmännisch genannt wird, messend zu verfolgen. Es ist mittels eines entsprechend vertikal nach Süd gerichteten Graukeilphotometers ganz analog den Messungen der Orthselligkeit (des Oberlichtes) geschehen, jedoch nur während der Periode Oktober 1922 bis inklusive Dezember 1924.

Die Spalten 2 bis 4 der Tabelle 27 melden wiederum die monatlichen Mittel, Maxima und Minima der pro Tag auf die Süd-Vertikalfläche fallenden Lichtsummen (im S. 19 genannten relativen Maß), die Spalten 5 bis 7 das Verhältnis der gleichzeitig auf die Süd- und die Horizontalfläche fallenden Lichtsummen nach Mitteln, Maxima und Minima. Nach Spalte 5 ist das Südlicht durchschnittlich im Winter sehr viel (bis zu 43%) heller als das gleichzeitige Oberlicht, im Sommer dagegen nur etwa halb so hell; daher auch die gegenüber dem Oberlicht geringeren Schwankungen der Mittelwerte im Jahreslauf (Spalte 2) — ein großer Vorzug für den Bettkranken. Das Verhältnis S:O fällt recht regelmäßig vom Winter zum Sommer und kehrt ebenso regelmäßig zum Winter zurück, sowohl bei den Mitteln wie bei den Maxima, während in den Minima eine deutliche Senke im Oktober/November auftritt durch das oben schon des öfteren festgestellte Erscheinen relativ schwerer Wolken in diesen Monaten. Im übrigen bleiben sich diese Minimalwerte während des ganzen Jahres am ähnlichsten, sodaß man stets, außer in seltenen Ausnahmefällen, mit mindestens rund 40% des Oberlichtes für die Süd Fenster rechnen kann. Im Durchschnitt erreichen die Südhelligkeiten 85% der Oberlichthelligkeiten; maximal und minimal schwanken sie aber zwischen 289% (November) und 29% (Otkober).

Nur durch kontinuierliche mehrjährige MeBreihen sind solche Übersichten über die Schwankungsgrößen und ihre weiter unten noch zu besprechenden Ursachen zu gewinnen; in der Praxis muß sich der Architekt (und auch der Sanatoriumsarzt) meist mit der Kenntnis der

Lichtverhältnisse für die zwei definierten Extremfälle des wolkenlosen und des gänzlich und gleichmäßig bedeckten Himmels begnügen; nur sie erlauben, die Verteilung des auf die Fensterfläche auffallenden Lichtes innerhalb des Zimmers (Liegehalle) von Punkt zu Punkt zu verfolgen, und nach diesen beiden Extremen wird die Totalhelligkeit des Zimmers und die Helligkeit eines Arbeits- oder Aufenthaltsplatzes im Zimmer meist bewertet. Dementsprechend sind noch in Spalte 8 und 9 der Tabelle 27 aufgeführt die Monatsmittel des Verhältnisses Südlicht: Oberlicht (S:O) an heiteren Tagen (Bew. 0—2) und an trüben Tagen (Bew. 9—10). Wir schließen aus ihnen: Bei wolkenlosem Himmel, also stets klarer Sonne und Ausschluß lichtvermehrender Wolken, hängt die Helligkeit des Südlichtes im wesentlichen von der Sonnenhöhe ab, denn bei horizontnaher Sonne fallen ihre Strahlen fast senkrecht auf die Fläche, bei höchststehender Sonne aber mit dem Einfallswinkel 67.3°. Mit dem cosinus des Einfallswinkels sinkt die Helligkeit der Fläche; im vorliegenden Falle also von 1 auf 0.386. Der wolkenlose Himmel trägt an sich nur wenig zur Beleuchtung bei, am meisten noch aus Sonnennähe, daher fällt auch die von ihm ausgehende Helligkeit etwa mit dem cosinus des Einfallswinkels der Sonnenstrahlen. Daher sehen wir denn tatsächlich bei B_{0-2} (Spalte 8 der Tabelle 27) das Verhältnis S:O ganz regelmäßig vom niedrigsten Sonnenstande im Dezember bis zum höchsten im Juli fallen und dann wieder zum Dezember steigen. Entsprechend der in der zweiten Jahreshälfte niedrigeren Sonne weisen auch die vom Juni gleich weit abstehenden Monate im Herbst weniger hohe Zahlen auf als im Frühjahr. Nur $43/100$ des Oberlichtes erreichen die nach Süden schauende Fläche im Juni, im Dezember dagegen $190/100$. Nehmen wir die Spalte 5 der Tabelle 26 zu Hilfe, welche die Normalwerte des Oberlichtes enthält, so errechnet sich die Helligkeit des Südlichtes bei wolkenlosem Himmel im Juni zu 331 und im Januar zu 330, also zufällig ganz gleich hoch. Es fallen also an wolkenlosen Tagen im Sommer und im Winter die gleichen Lichtsummen auf die Fensterfront des Südzimmers. In Davos, wo der starke Schneereflex hinzukommt, ist das Südzimmer im Winter sogar heller als im Sommer.

Auf die recht komplizierte Lichtverteilung des durch das Fenster einfallenden Lichtes innerhalb des Zimmers kann hier nicht näher eingegangen werden. Nur kurz sei gesagt, daß sie im Sommer viel ungleicher sein muß als im Winter, da ja die Fenster die Strahlen annähernd unverändert durchlassen und sie nicht diffundieren, wie das Milchglas des Instruments, und daher scharfe Grenzen zwischen Sonne und Schatten (zerstreutem Tageslicht) entstehen, welche bei hoher Sonne in Fensternähe liegen, bei niedriger Sonne aber kaum vorhanden sind, d. h. hoch auf der Zimmerrückwand liegen.

Die Unterschiede der Helligkeit des Südlichtes sind in Wirklichkeit (Spalte 2 der Tabelle 27) während des ganzen Jahres nicht annähernd so groß wie beim Oberlicht, denn nur etwa 1.7mal heller als im November/Dezember ist es im März und September; die Normalwerte

des Oberlichtes schwanken dagegen im Jahreslauf — laut Spalte 5, Tabelle 26 — im Verhältnis von 1 : 4.5.

Ganz anders liegen die Dinge im anderen Extremfall, dem des gleichmäßig bedeckten Himmels: Die Zahlen der Spalte 9 der Tabelle 27 unterscheiden sich weit weniger untereinander als die der Spalte 8. Bei wirklich vollkommen gleichmäßiger und die direkten Sonnenstrahlen wirklich gänzlich abblendender Wolkendecke müßten sie in allen Monaten gleich sein. In den etwas erhöhten Sommerwerten und den stark erhöhten Januar/Februarwerten kommt die uns ja schon bekannte lichtere Bewölkung dieser Monate zum Ausdruck, und im kleinen Novemberwert die dunklere Bewölkung dieses Monats. Wagen wir die Minima der Tabelle 26 (Spalte 4) als Extremfälle heranzuziehen zur Berechnung der Schwankungen der Helligkeiten der Südfläche an bedeckten Tagen, so finden wir sie — wie leicht zu überschlagen — ähnlich hoch wie die der Minima selbst, also vielfach höher als die Schwankungen beim wolkenlosen Himmel, und als allerniedrigsten Wert gelangen wir im November auf 12, während im Juli immerhin der Wert 100 erreicht würde, der sich dem für Dezember gültigen Mittelwert des Oberlichtes nähert.

Daß diese Extreme der Minima auch wirklich beobachtet worden sind, sagt Spalte 4 der Tabelle 27; die Minima stellen sich bei niedriger und mittlerer Sonne (bis Anfang Mai und ab Mitte August) bei Verbindung von geschlossener Wolkendecke mit Nebel, Dunst oder Regen ein, während in den Monaten mit hoher Sonne ein Einfluß der genannten Zusatzelemente nicht zu konstatieren ist. Die Maxima (Spalte 3) werden bei niedrigen und mittleren Sonnenhöhen von den heiteren Tagen geliefert, aber bei hoher Sonne gibt zusätzliche Wolkenhelligkeit den Ausschlag, denn Tage mit B_{6-8} kaum 50% der möglichen Sonnenscheindauer und Dunst oder gar zeitweiligem Regen liefern dann das hellste Südlicht und auch die größten Quotientenwerte S : O. Bei Schneelage kommen im Winter auch an teilweise bedeckten Tagen ähnlich hohe Werte vor als an wolkenlosen ohne Schneedecke.

Die Häufigkeit des Auftretens von Tagen verschiedener Helligkeit ist in Tabelle 27 ebenso gruppiert wie in Tabelle 26, d. h. beide sind bezogen auf das an gleichzeitigen Normaltagen (wolkenlosen Tagen) herrschende Oberlicht, sie sind also miteinander vergleichbar; die unterste Gruppe ist beim Südlicht noch einmal unterteilt in 20—30% und < 20%.

Auch beim Südlicht ist die Gruppe 50—100% bevorzugt, aber weit weniger als beim Oberlicht; über dieser Gruppe liegen 20% (gegenüber den 15% beim Oberlicht), unter ihr aber volle 49% (gegenüber nur 29% beim Oberlicht), 15% erreichen nicht einmal 20% des Oberlichtes an Normaltagen.

Weit weniger als beim Oberlicht entscheidet die Bewölkung, weit mehr der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen über die Helligkeit des Südlichtes. Daher werden 100% der Normalwerte des Oberlichtes nur in

den Monaten mit niedriger Sonne überschritten, dann aber freilich auch sehr stark, bis zu 290%.

An Orten ähnlicher geographischer Breite mit lang anhaltender Schneedecke und an solchen, die nahe dem Ufer ausgedehnter Wasserflächen liegen, erreichen infolge Reflexion die Quotienten S : O höhere Werte, die freilich an den allein zum Vergleich stehenden Orten teilweise wieder ausgeglichen werden durch reiche, dichte, niedrige Wolkendecke und Seenebel (oder umgekehrt: die Agra durch seine geringe Bewölkung und seinen weiten lichten Horizont ausgleicht).

Verhältnis Südlicht zu Oberlicht

	Agra	Friedrichshafen	Neuchâtel	Arosa
Winter	1.29	1.28	1.27	1.44
Frühling . . .	0.66	0.85	0.67	0.90
Sommer	0.54	0.58	0.51	0.51
Herbst	0.92	0.77	0.78	1.07
Jahr	0.85	0.87	0.81	0.98

4. Kurzwellig-ultraviolette Strahlung (< 320 $\mu\mu$) von Sonne und Himmel

Auch diese biologisch überaus wichtige Reizstrahlung hat *Süring* im Beobachtungsturnus Oktober 1922 bis September 1923 gemessen, und zwar photoelektrisch mit der Standard-Cadmiumzelle des Davoser Observatoriums, auf der die Davoser Skala beruht und an die viele, an Observatorien aller Erdteile gegangene Cadmiumzellen durch Eichung angeschlossen sind. Auf S. 335—340 seiner oben öfters zitierten Arbeit müssen die vielseitigen Resultate nachgelesen werden; hier mögen nur folgende Auszüge dienen:

a) Kurzwellige UV-Strahlung der Sonne (Abb. 7)

Die Kurven der Abb. 7 zeigen genügend genau und deutlich die Eigenschaften, durch die sich diese Strahlenart vor allen anderen auszeichnet, nämlich die großen Amplituden im Tages- und Jahresgang, den sehr steilen Anstieg vom Morgen zum Mittag und vom Winter zum Sommer. Diese Strahlung ist vorzugsweise und sehr viel mehr von der Sonnenhöhe abhängig wie die anderen; daher liegen die Frühjahrswerte auch wesentlich höher als die Herbstwerte, bei gleichen Sonnenhöhen ist es dagegen umgekehrt. Der Vergleich der Abb. 6 und 7 ist lehrreich 1. durch den Nachweis, daß und wieviel die Schwankungen mit kleiner werdenden Wellenlängen vom Rot + Ultrarot über die Gesamtintensität zum Ultraviolett zunehmen, 2. daß mit den Jahreszeiten die spektrale Zusammensetzung der Sonnenstrahlung weitgehend wechselt, denn die insgesamt schwächste Sommerstrahlung ist (bei den hohen Lufttemperaturen sehr vorteilhaft) ärmst an langwelligem (wärmendem) Rot + Ultrarot, aber reichst an kurzwelligem, reizausübendem Ultraviolett, dagegen sind die insgesamt nicht sehr starken Winterstrahlen (wiederum sehr vorteilhaft) reichst an langwelligem (wärmendem) Rot + Ultrarot, aber schwach an kurzwelligem Ultraviolett. Die Kurven

der UV-Strahlung (Abb. 7) verlaufen im Gegensatz zu den Kurvenscharen der Abb. 6 sehr symmetrisch zum Mittag, d. h. es fehlt die in der Gesamtintensität und im Rot + Ultrarot häufig beobachtete Abnahme am Nachmittag.

Mehr als alle anderen Strahlengattungen ist die UV-Strahlung abhängig von Lufttrübungen. Daher finden sich in Agra an Tagen mit Föhn viel höhere Werte als an solchen mit Dunst, besonders bei niedrigen Sonnenhöhen, und beträchtliche Schwankungen bei nicht selten in 500—1000 m über dem Erdboden unregelmäßig verteilten Dunstschichten. Hohe Cirruswolken vermindern dagegen die UV-Strahlung kaum, leicht verschleierte Sonne unterscheidet sich kaum von ganz

schieden, je nach lokalen Verhältnissen; gegenüber der Davoser Sonne ist die Agreser im kurzwelligen UV

bei 30° Sonnenhöhe etwa 10%	} schwächer,
„ 45° „ „ 35%	
„ 60° „ „ 45%	

dagegen — anormal — bei und unterhalb 20° Sonnenhöhe beträchtlich (bis zu 23%) stärker. Die daher geringere Schwankung zwischen Sommer und Winter dürfte für Agra kaum von Nachteil sein und die hier bei hohen Sonnenständen im Sommer geringere UV-Intensität wird aufgewogen durch dann etwa 30% längere Sonnenscheindauer.

Ein erschöpfend sicherer Vergleich mit Orten der norddeutschen Ebene ist kaum beizubringen, denn im

Winter gibt es dort eine wirklich klare Sonne kaum je und die kurzwellige UV-Sonnenstrahlung ist daher in dieser Jahreszeit dort außerordentlich gering. Im bevorzugt im breiten Lahntale gelegenen Gießen¹⁾ wurde gemessen:

an klaren Frühjartagen
37% weniger als in Agra
an klaren Sommertagen
19% weniger als in Agra
an klaren Herbsttagen
15% weniger als in Agra,
und die klaren Tage sind dort gegenüber Agra recht rar!

b) Kurzwellige UV-Strahlung des Himmels (Tabelle 28)

Die zur Verfügung stehende Apparatur gestattete Geheimrat Süring nur die Messung der UV-Intensität der Zenithstrahlung, und zwar einer kaum 30° um den Zenithpunkt laufenden Himmelszone, und auch dieser

nur bis zu maximal 40° Sonnenhöhe. Da die Verteilung der kurzwelligen UV-Intensitäten über den Himmel relativ gleichmäßig, sehr viel gleichmäßiger als die des sichtbaren Lichtes ist, bietet das Zenithlicht und seine Schwankungen in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe einen ziemlich guten Anhalt für die kurzwellige UV-Strahlung des ganzen Himmels.

Tabelle 28 läßt erkennen, daß bei gleichen Sonnenhöhen die Werte nur wenig voneinander verschieden sind, die kleinsten fallen auf den Frühling, in dem ja auch — in bezug auf gleiche Sonnenhöhen — die direkte UV-Sonnenstrahlung am geringsten ist, die größte auf Herbst und Winter. Von der Sonnenhöhe hängt die Intensität der Himmelsstrahlung weniger ab als die der

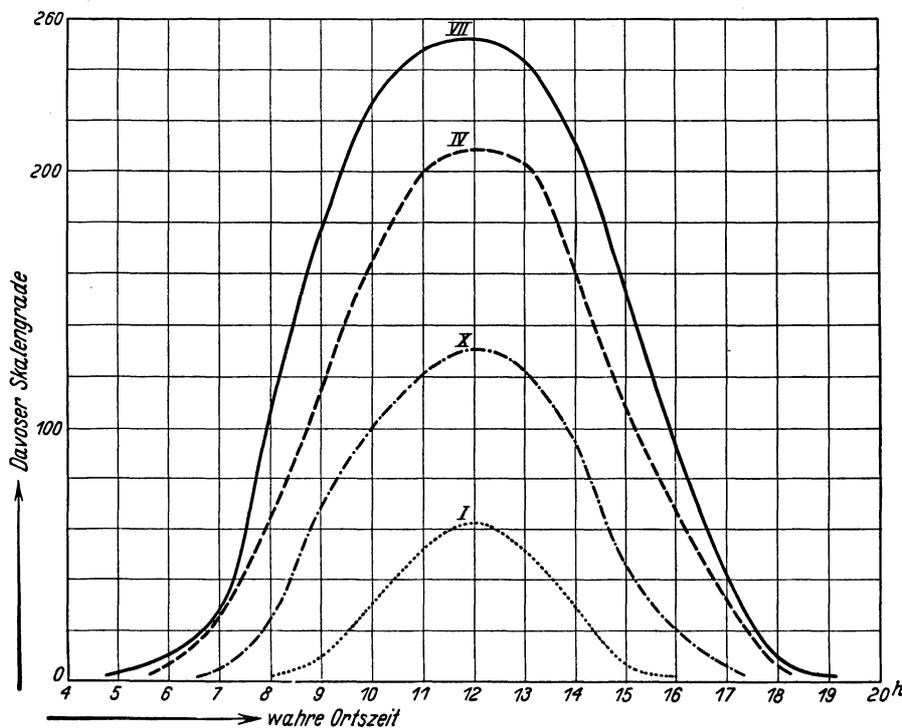


Abb. 7. Ultraviolettstrahlung der Sonne in Davoser Skalengraden im Januar, April, Juli und Oktober

klarer. Da die angewandte Cadmiumzelle nicht absolut rein allein die biologischen Reizstrahlen 320—290 meldet, sondern zu einem kleinen Teil auch auf längeres UV reagiert, wurde mittels eines geeigneten Filters auch der langwelligere UV-Anteil gesondert verfolgt. Es zeigte sich, daß die Strahlung der niedrigstehenden Sonne an diesen reicher war als die der hochstehenden und daß die nicht mehr zu den eigentlichen Reizstrahlen zu zählenden Wellenlängen 320—366 die Anzeigen der Cadmiumzelle nur mit 4 bis (bei kleinsten Sonnenhöhen) 10% vermehrten, sodaß sie auch ohne Korrektur genügend genau die gesuchte Größe, d. h. die Intensität der kurzwelligen UV-Strahlung (λ 320—290) der Sonne, liefern.

Die UV-Strahlung der Sonne nimmt mit der Meereshöhe zu, jedoch von Ort zu Ort und bei verschiedenen Sonnenhöhen und in verschiedenen Jahreszeiten ver-

¹⁾ Händel und Schultze, Strahlentherapie 39, 336—350, 1931.

direkten Sonne, denn sie schwankt zwischen 10 und 40° Sonnenhöhe nur im Verhältnis von etwa 1:6.5, die Sonne aber im Verhältnis 1:21.0. Hohe Cirri ändern nur wenig an der Zenithstrahlung, aber von der Sonne beschienene A-Cu-Wolken können das UV-Zenithlicht bis zu 50% erhöhen; A-Str wirkt vorwiegend schwächend (bis zu 20%), bei grauen, niedrigen Wolken fällt die Intensität schnell ab. Ein Vergleich mit Davos¹⁾ sagt etwa dasselbe, was für das direkte UV-Sonnenlicht gilt:

Sonnenhöhe		20°	25°	30°	35°
Juli/August	Agra	16.1	23.2	31.1	38.7
	Davos	11.9	21.5	33.0	45.9
Oktober	Agra	20.7	26.7	—	—
	Davos	11.8	20.6	—	—
Januar	Agra	19.6	—	—	—
	Davos	10.7	—	—	—

Auch in der UV-Himmelsstrahlung überwiegt bei niedrigen Sonnenhöhen Agra, bei hohen dagegen Davos, und zwar mit wachsender Sonnenhöhe immer mehr. Von nicht zu unterschätzender kurativer Bedeutung wird es für Agra sein, daß auch im Winter bei niedriger Sonne und auch bei jeder (außer doch nur seltener dichter) Bewölkung die lebenswichtige UV-Reizstrahlung im Himmelslicht relativ große Intensitäten besitzt, denn (wie die Apparatur hier nicht nachzuweisen erlaubte, aber wie für Davos und andere Orte, so auch für Agra gilt) das UV des Himmelslichtes übersteigt das von der Sonne direkt kommende (außer bei höchstem Sonnenstande) stets und umso bedeutender, je niedriger die Sonne steht. Das Himmelslicht kann also bei richtiger Dosierung dem Patienten auf der Liegehalle viel nützen und sollte nicht gleichzeitig mit der oft die Gefahr der Überhitzung bringenden direkten Sonne abgehalten werden.

c) Kurzweilige UV-Strahlung von Sonne + Himmel (Tabelle 29)

Auch nach Ablauf der *Süring-Löwesch* Beobachtungsperiode wurde danach getrachtet, die biologisch so überaus wichtige kurzweilig ultraviolette Strahlung mit einfacher Methode messend zu verfolgen. Hierzu bot sich Gelegenheit, nachdem die von *Leonard Hill*²⁾ eingeführte „Blue methylene“ Methode am Davoser Observatorium erprobt worden war. Nach ihr wird in kleinen zylindrischen Quarzröhrchen eine Lösung von Methylenblau in 30%igem Aceton frei gegen Sonne und Himmel ganz- oder (bei großen Intensitäten) halbtägig exponiert und ihre Blaufärbung bestimmt mittels einer Farbskala, welche in Beziehung steht zur Erythembildung und zur bakteriziden Wirkung der Strahlen $< 313 \mu\mu$.

¹⁾ Nur indirekt über die *Muottas-Muraigl*-Werte ist dieser Vergleich möglich; die in *Abh. Preuß. Met. Inst.* 5, 1919, Tabelle 54 enthaltenen Werte können nicht herangezogen werden, weil infolge verschiedener Lagerung der Zelle in der Zellenkapsel der Öffnungswinkel in Davos $> 30^\circ$, in Agra $< 30^\circ$ war.

²⁾ *Sunshine and Open Air Treatment* 1924. Edward Arnold & Co.

Nur auf solche, also auf das äußerste UV der Sonnen- und Himmelsstrahlung, reagiert die Lösung. Man erhält auf diese Weise die Summen der kurzweiligen UV-Strahlung, nicht — wie durch die viel genauere physikalische Meßmethode mittels der Cadmiumzelle — ihre Intensitäten für den Augenblick der Messung. Über die Vorteile und Nachteile, welche photochemische Meßmethoden (insbesondere bei Anwendung von Flüssigkeiten) bieten, möge man in der „Assuanstudie“ (l. c. S. 23) nachlesen. Schwierigkeiten bietet die sonst einfach auszuführende *Hillsche* Methode durch die nicht ganz leichte und sehr eigen auszuführende Befreiung der inneren Wandungen der nur kleines Lumen besitzenden Quarzröhrchen von feinstverteilt aus der Lösung sich abscheidenden Kohlepartikelchen, sei es, daß man sie durch Ausglühen oder mittels konzentrierter Salzsäure zu entfernen strebt.

Während der Jahre 1926 bis 1929 (bis in den Sommer 1929 hinein) wurden auf diese Weise in Agra die Tagessummen des kurzweiligen UV gemessen, und zwar bei freier Exposition gegen die gleichzeitig und allseitig von Sonne und Himmel auffallende Strahlung. Tabelle 29 gibt die monatlichen Mittel und Maxima an. Die Schwankungen sind, wie nach dem, was unter a) und b) dieses Abschnittes konstatiert, zu erwarten war, in diesem kurzweiligen Spektralteil weitaus größer als im blaviolett, von dem wir die Schwankungen der Tagessummen für Oberlicht und Südlicht in Tabelle 26 und 27 zum Vergleich zur Verfügung haben. Wechseln diese vom Winter zum Sommer im Verhältnis von etwa 1:4.5 bzw. 1:3.5, so finden wir im kurzweiligen UV eine Schwankung von 1:14 bei den Mitteln, und von 1:10 bei den Maxima. Der Einfluß der lichtraubenden Bewölkung, welcher im Verhältnis der Maxima zu den Mitteln zum Ausdruck kommt, ist wohl im UV durchschnittlich ein wenig geringer, besonders während der helleren Sommerbewölkung (vgl. S. 23 die starke Vermehrung des UV-Zenithlichtes durch helle A-Cu). Die Jahreskurve verläuft bei Mitteln und Maxima streng einwellig mit Maximum im Juli und Minimum im Dezember/Januar; die Werte des meteorologischen Herbstes (September—November) erreichen trotz im Mittel wesentlich niedrigeren Sonnenstandes annähernd die Frühjahrswerte (März—Mai). Energisch wird der Anstieg bzw. der Abfall der Werte im April bzw. Oktober. In den drei Sommermonaten werden wohl etwa gleiche Maxima erreicht, aber das Juni-Mittel steht recht weit zurück hinter dem der beiden folgenden Monate. Ein ähnlicher Jahresgang im UV gilt auch für alle Orte der nördlichen gemäßigten Zone, und er hat seinen tieferen Grund in der im Jahreslauf regelmäßig wechselnden Dicke der in 30—40 km Höhe schwebenden Ozonschicht, welche diese kurzweiligen UV-Strahlen ungemein mehr schwächt als die übrigen.

Auch Davos weist daher, wie die der Tabelle 29 beigefügten, auf die gleiche Beobachtungsperiode bezüglichen Zahlen ausweisen, einen ähnlichen Jahresgang auf wie Agra. Seine Absolutwerte liegen in den Mitteln 20%,

in den Maxima sogar 30% höher. Deutlich tritt der große Einfluß der Schneereflexion hervor, welche ja aus den unter a) und b) besprochenen Werten der alleinigen Sonne und der Zenithstrahlung nicht ersichtlich werden kann, denn die Davoser Werte des Winterhalbjahres liegen weit über den Agresern, die der Sommermonate aber sogar etwas unter ihnen. In Wirklichkeit werden auch die Davoser Sommersummen trotz der (infolge stark beschränkten natürlichen Horizonts) kürzeren Sonnenscheindauer die Agreser erreichen (vgl. die in Davos bei höherer und hoher Sonne beträchtlich größeren UV-Intensitäten der Sonne und des Himmels, S. 23), denn hier wirkt sich der bedeutende Temperatureinfluß auf die Reaktion des Methylenblaus aus — der große Mangel dieser einfachen Meßmethode, welcher am deutlichsten wird im Wüstenklima (vgl. „Assuanstudie“, I. c. S. 23—24). Diese Fehler sind durch auf der Lufttemperatur basierende Korrekturen nicht zu beseitigen, denn es kommt nicht auf die Temperatur der Luft an, sondern auf die der Testflüssigkeit, und diese hängt von der im nächsten Abschnitt zu besprechenden „Abkühlungsgröße“ ab, die ihrerseits vom Winde stark beeinflußt wird. Dieser aber ist im Davoser Sommer relativ stark bei gegenüber Agra beträchtlich geringeren Lufttemperaturen.

Luftelektrizität (Tabelle 30)

Auch für die Luftelektrizität hat sich die medizinische Klimatologie in den letzten Jahrzehnten zu interessieren begonnen; insbesondere hat man häufig versucht, die physiologischen Wirkungen des Föhns durch sie zu erklären. Da solche dem im Tessin wehenden Nordföhn nicht eigen sind, in großem Gegensatz zum auf der Nordseite der Alpen absteigenden, gemeiniglich nur mit „Föhn“ bezeichneten Südföhn, so lag es nahe, in Agra auch Messungen dieser Art aufzunehmen. Geheimrat *Süring* hat sich auch dieser Mühe unterzogen, indem er mittels eines *Gerdien*schen Aspirationsinstruments von Februar bis Junimitte 1923 an allen hierfür geeigneten Tagen von 8 bis 20^h die elektrische Leitfähigkeit der Luft bestimmte, und zwar, um durch das Erdfeld mögliche Fehlerquellen auszuschließen, auf einer „elektrisch ideal geschützten“ Loggia des Sanatoriums. Die von ihm (I. c. S. 342) gegebene Schlußtablette ist hier durch Tabelle 30 wiedergegeben. Unter λ_+ und λ_- ist die positive und negative elektrische Leitfähigkeit verstanden, unter λ die Summe beider, also die gesamte Leitfähigkeit, und unter q das Verhältnis $\lambda_+ : \lambda_-$. Um den Einfluß der Luftströmungen auf das Leitvermögen zu erkennen, sind die Meßwerte nach zwei Windrichtungen (E bis NW und SE bis W) unterschieden und auch die Differenzen angegeben. Die λ -Werte sind in 10^{-4} elektrostatischen Einheiten ausgedrückt.

Sowohl die λ - wie auch die q -Werte sind ungewöhnlich hoch; ähnlich hohe sind sonst nur in Polargegenden, auf Inseln oder auf dem freien Ozean, also an ganz staubfreien Orten, gefunden. Da auch die Werte der Tabelle

durchweg bei nördlichen Winden höher liegen als bei südlichen, so ist anzunehmen, daß die hohen Werte mit der großen Reinheit der Luft zusammenhängen.

Dunst vermindert die Gesamtleitfähigkeit, insbesondere λ_+ , und daher auch q , absteigende Luft und Trockenheit vergrößert die Gesamtleitfähigkeit, insbesondere λ_+ , und daher wird durch sie auch q vergrößert, aber in geringerem Maße. Nördliche Winde erbringen höhere λ und kleinere q , südliche nur, wenn sie trocken sind. Starke ultraviolette Strahlung vergrößert λ_- und vermindert daher q . Der Tagesgang, der durch Maxima des Morgens und Minima am Nachmittag charakterisiert ist, erklärt sich leicht durch den schon S. 9 besprochenen Wechsel von Berg- und Talwind, denn die von oben kommende Luft wird immer reiner sein als die von unten am Gehänge aufsteigende.

Diese sehr interessanten Befunde sind nachträglich durch *A. Gockel*¹⁾ in Locarno bestätigt worden; die eigenartigen luftelektrischen Verhältnisse scheinen also dem ganzen Tessin eigen zu sein. Als Wunsch kommt daher bei der Bearbeitung des doch wirklich umfangreichen und fruchtbaren Agreser Materials der auf, diese luftelektrischen Messungen möchten vervollkommen werden durch in den letzten Jahren mittels transportabler Apparate vereinfachte Bestimmungen des gesamten Ionenspektrums, also des Gehaltes der Luft an positiven und negativen leichten, schweren und mittelschweren Ionen, und zwar in Verbindung mit Staub- und Kondensationskern- und auch Variometermessungen, da bekanntlich neben den elektrischen auch kurzwährende Luftdruckschwankungen vielfach als Ursache der Föhnerscheinungen gelten. Im physiologischen Teil wird hierauf zurückgekommen.

Abkühlungsgröße (Tabelle 31 und 32)

Nachdem wir in den vorausgegangenen Abschnitten rein statistisch die meteorologischen Elemente im gebräuchlichen Maße zusammengestellt und deskriptiv betrachtet haben nach Größe, Schwankungen und Verhältnis zu solchen anderer bekannter interessierender Orte, gehen wir nun daran, ihre Wirkungen, also ihre dynamischen Größen, herauszufinden, wobei sich als grundlegend stets zwei für den Klimatologen herauszuschälen werden, nämlich die kalorische und die hygrische, die Abkühlungsgröße und die Austrocknungsgröße, also komplexe Werte der gleichzeitigen Wirkungen aller meteorologischen Elemente, denn sie bestimmen den Wärme- und Wasserhaushalt, Wärme und Wasser sind aber die Grundlagen sowohl alles Lebens wie fast aller das Antlitz der Erde formenden Verwitterungsprozesse physikalischer, chemischer und mikroorganischer Art. Wichtig ist hierbei die Erkenntnis, daß die beiden grundlegenden dynamischen Größen stets, außer der auf der ganzen Erde seltensten Ausnahme absoluter Trockenheit der Luft, miteinander gekoppelt vorkommen und sich

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 448.

dauernd gegenseitig beeinflussen. Die im Voraufgegangenen benutzten und allgemein gebräuchlichen meteorologischen Maße eignen sich nicht ohne weiteres zur Ableitung dieser beiden für die Klimatologie unentbehrlichen dynamischen Größen, denn sie sind bestimmt zur Verfolgung, Erklärung und Voraussage der Vorgänge in dem die Erdoberfläche einhüllenden Luftmeer; die Celsiusgrade der Temperatur, die Metersekunden des Windes, die relative und absolute Feuchtigkeit sagen unmittelbar nichts darüber aus, wie sie nach Kalorien erwärmend und nach Wassergewicht austrocknend wirken, weder einzeln noch gar durch gegenseitige Überlagerung die Wirkung vermehrend oder aufhebend. Es bedarf des Experiments an geeignet gewählten Bezugskörpern und der Registrierung von deren Angaben. Für die Abkühlungsgröße sind in den letztvergangenen 15 Jahren zwei Typen als geeignet befunden, und es bestehen demnach zwei Skalen, 1. die katathermometrische Skala *Leonard Hills*¹⁾, 2. die Davoser Frigorimeterskala von *Dorno* und *Thilenius*²⁾. Die erstere benutzt ein geeignet graduiertes Alkoholthermometer und bestimmt die Geschwindigkeit seiner Abkühlung von 38° auf 35° C, also im Mittel bei 36.5° C, der Bluttemperatur (Kerntemperatur) des Menschen. Die zweite bedient sich einer massiven geschwärzten Kupferkugel von 7.5 cm Durchmesser, welche durch elektrischen Strom dauernd auf 36.5° C gehalten wird, wobei sich der Strom automatisch ein- und ausschaltet. Das Katathermometer kann nur im Schatten gebraucht werden, da es Strahlung langsam und unregelmäßig aufnimmt, es gibt ferner nur relative Werte an, die unter künstlich geschaffenen äußeren Verhältnissen zwar durch einen mittleren Eichwert in absolute überführt werden können, und es hat derart kleine Dimensionen, daß bei ihm die Windwirkung gar zu sehr hervortritt, relativ zu den in der belebten Natur meist herrschenden Bedingungen; das Frigorimeter dagegen reagiert auch auf Strahlungen aller Art, kann daher sowohl in der Sonne wie vor starken künstlichen Strahlern gebraucht werden, es liefert, da seine physikalischen Konstanten gut definiert und bekannt sind, unmittelbar und unter allen in der Natur fast stets rege wechselnden Verhältnissen, z. B. der Turbulenz des Windes, absolutes Maß (der Kalorie pro Flächen- und Zeiteinheit), und es besitzt Größenverhältnisse, die einen guten Durchschnitt für die praktische Anwendung bieten, d. h. zur Beziehung auf Mensch, Tier, Pflanze. Dazu kommt der eminente Vorteil der dauernden Registriermöglichkeit (neben — gleich dem Katathermometer — der Lieferung von Momentanwerten), sei es der Summe über größere Zeiträume (Vormittag, Nachmittag, Nacht) oder sei es (bei Anschluß eines Komptators) der Einzelwerte für jeden Augenblick.

¹⁾ The Science of Ventilation and Open Air Treatment. London 1919 und 1920.

²⁾ Meteorol. Zeitschr. 1925, S. 57—60; 1928, S. 401—421; 1931, S. 254—260.

a) Trockene Abkühlungsgröße (Tabelle 31)

Von Oktober 1922 bis September 1923 hat *R. Süring* nach *Hills* Methode die Abkühlungsgröße im Schatten während des Krankentages festzulegen gesucht und daher im Winter um 7½^h, 13^h, 18½^h, im Sommer um 6½^h, 13^h, 19½^h gemessen; die Resultate finden sich l. c. S. 344—345. Er kommt zu dem Schluß, daß in Agra in der kühlen Jahreszeit die Windgeschwindigkeit für die Abkühlungsgröße ausschlaggebend ist und daher dann bei den wenig schwankenden, im Durchschnitt sehr schwachen Luftbewegungen die Werte wenig voneinander verschieden sind. Im Sommer aber ist die Lufttemperatur einflußreicher als der Wind und es sinkt daher die trockene Abkühlungsgröße vom Juni zum Juli sehr stark. Gegenüber Davos liegen die Agreser Winterwerte auf ähnlichem Niveau; die zu dieser Jahreszeit außerordentlich große Windstille des geschützten Hochtales vermag die wesentlich niedrigeren Temperaturen in der kalorischen Gesamtwirkung auszugleichen; im Sommer dagegen ist Davos nach der Abkühlungsgröße, also dynamisch, d. h. tatsächlich, wesentlich kühler als Agra, weil daselbst im Sommer tagsüber ein erfrischender Wind über den Wolfgangrücken weht und die Temperaturen der Nacht auch beträchtlich unter den Agreser liegen. Die Schwankungen vom Winter zum Sommer sind daher in Davos nur etwa ¼ so groß als in Agra.

Von Oktober 1923 bis Dezember 1924 wurden dann in Agra diese Messungen fortgesetzt. Die Werte liegen entsprechend dem Charakter dieser Jahre etwas höher, bestätigen im übrigen die Resultate des Vorjahres. Ende 1925 wurden dann die ersten Versuche mit dem Frigorimeter gemacht und ab 1. Januar 1926 kamen sie richtig in Gang, und sie wurden während der 3 Jahre 1926—1928, freilich mit vielen und langen Unterbrechungen, fortgesetzt. Diese Registrierungen stoßen in Agra auf große Schwierigkeiten: Voraussetzung für sie ist nämlich ein konstanter und bekannter elektrischer Strom, und diese Voraussetzung ist in Agra leider keineswegs gegeben. Der Strom kommt vom fernen Locarno und überquert die oben besprochenen Gewitterzugstraßen, welche auch außerhalb der eigentlichen Gewittertage häufig von großer elektrischer Ladung tragenden und daher auf den Starkstrom induzierend wirkenden Wolkenzügen passiert wird. So kam es in den genannten Jahren sogar bisweilen vor, daß selbst der elektrische Fahrstuhl des Sanatoriums mangels genügender Spannung versagte, und die vielen heftigen Lichtzuckungen (auch im Winterhalbjahr) berechtigten zu dem Verdacht jederzeitiger großer und starker Schwankungen. Dem ersten Modell des Frigorimeters wurden diese des öfteren fatal durch Magnetisierung des die Stromzufuhr regelnden Relais; die Folge war ein Dauerlauf des Heizstromes und ein Durchbrennen des Heizwiderstandes der Kugel, welches längere Reparaturen verlangte. So haben von den 3 Jahren nur 16 Monate zusammenhängender Registrierung verwandt werden können, und diese sind in Meteorol. Zeitschr. 1928, S. 401

—421, veröffentlicht, zusammen mit denen zahlreicher anderer zwischen dem nördlichen Polarkreis und dem südlichen Wendekreis in sehr verschiedenen Höhenlagen verstreut gelegener Stationen. In diesen Jahren wurde die Abkühlungsgröße bei 33° Kugeltemperatur registriert, welche gewählt wurde, weil sie etwa der Temperatur der Oberhaut des Menschen bei Zimmertemperatur entspricht. Dies ist zu beachten, wenn man diese Werte vergleichen will mit denen, die dann nach Konstruktion des neuen Frigorimetermodells im Jahre 1932 neu aufgenommen worden sind und die sich auf 36.5° Kugeltemperatur beziehen und daher bei gleichen atmosphärischen Einflüssen etwas höher liegen müssen.

Die Hauptresultate dieser auf Tages-, Nacht- und 24-Stunden-Mittelwerte (in Millikalorien pro cm² und Sekunde) verarbeiteten Registrierungen, welche — wie oben erwähnt — im Gegensatz zu den nur an drei Tagesterminen vorgenommenen Katathermometermessungen auch die Sonnen-, Himmels- und Erdstrahlung sowie auch die Wärme oder Kälte zuführenden Niederschläge, also sämtliche klimatische, kalorische Faktoren erfassen, mögen hier kurz zusammengefaßt werden: Die Winter- und Frühjahrswerte ähneln denen von Davos, die etwa halb so großen des Sommers und Herbstes liegen weit unter den Davosern (also beides in bester Übereinstimmung mit Herrn *Sürings* Befunden). Der erste Frühjahrseinzug ist mit einem kleinen Anstieg der Abkühlungsgröße verknüpft, die Frühjahrswerte liegen weit über den Herbstwerten. Auch im Hochsommer liegt die Abkühlungsgröße mit 4.7 im Mittel des 24-Stunden-Tages über den für Zimmertemperatur und Zimmerluft geltenden, weil sehr erwünschte Abkühlung bringende Nächte (7.4) die in der Sonne unerwünscht warmen Werte (2.0) des Tages ablösen. Während der Hochsommertage sind Stunden, in denen in der Sonne nicht Abkühlung, sondern Aufwärmung (über 33°) stattfindet, zahlreich. Im September/Oktober und im Mai/Juni liegen die Werte auf der erwünschtesten Höhenlage. Maxima der Abkühlungsgröße werden während der schnell vorüberziehenden Gewitter und Stürme gemessen, aber keineswegs bringt ein jedes Gewitter Abkühlung. Nur im Frühjahr treten größere interdiurne Schwankungen etwas häufiger auf, und sie erklären sich mehr durch Wind und Regen, gegen die man sich schützen kann, als durch Temperaturwechsel. Die Jahreschwankung der Monatsmittel hat sich etwa 50% größer ergeben als durch die Katamessungen, weil erstere in der Sonne, letztere im Schatten vorgenommen wurden. Die Abkühlungsgröße weist eine viel größere Amplitude auf als die Lufttemperatur, und zwar besonders nach der abkühlenden Seite hin, und bietet ein viel sichereres Maß für die Beurteilung des Wärmehaushaltes als die Lufttemperatur. Die Vergleiche mit den Abkühlungsgrößen anderer Orte müssen l. c. nachgelesen werden; die Abkühlungsgrößen schwanken in weiten Grenzen.

Mittels des mit stärkerem Relais ausgestatteten neuen Frigorimetermodells sind dann im Herbst 1932 die Registrierungen neu aufgenommen worden, und zwar

bei der heute allgemein eingeführten, der Kerntemperatur des Menschen gleichen Kugeltemperatur, 36.5° C. *W. Mörikofer*¹⁾ hat die Resultate der ersten 10 Monate, November 1932 bis August 1933, zusammen mit denen anderer, hauptsächlich schweizer Stationen, publiziert und diskutiert. In der nachfolgenden Tabelle 31 sind die mittleren monatlichen 24-Stunden-Werte aufgeführt, in Millikal cm² sec. Als wichtigste und interessanteste Momente schält *Mörikofer* heraus: Während die Jahresmittel der schweizer Stationen (außer der ganz windgeschützt und nach Süden exponierten Station am Monte Bré) sämtlich einander ähnlich lauten (12—14), ist ihre Jahresschwankung eine durchaus verschiedene: das Hochtal von Davos zeigt die kleinste (6.5), es folgen Montana und Agra (9.9 und 11.1), hauptsächlich infolge geringer Abkühlung im Sommer, und sodann die Stationen des Tieflandes (Basel 14.4). Am Krankentage ist die Abkühlung nicht viel geringer als während des 24-Stunden-Tages, weil die nächtliche niedrigere Temperatur und Ausstrahlung statt Einstrahlung einigermaßen ausgeglichen werden durch größere Luftruhe. Auf Grund einer gegenüber der von mir in *Meteorol. Zeitschr.* 1928, l. c. gegebenen, auf die Wärme- (Kälte-) Empfindung des Durchschnittsmenschen bezogenen, ein wenig abweichenden Klassifikation der Abkühlungsgröße, nämlich:

- 0— 5 = unangenehm heiß,
- 5—10 = angenehm,
- 10—15 = leicht kühl,
- 15—20 = kalt,
- > 20 = unangenehm kalt,

ergibt sich dann: Montana und Davos zeigen die größte und am gleichmäßigsten über das ganze Jahr verteilte Häufigkeit angenehmer Tage, unangenehm heiße Tage kommen im Sommerquartal $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ vor, in den übrigen Jahreszeiten kaum. Im Winter und Frühling entfällt die größte Häufigkeit auf die Stufe der leichten Kühle, während wirklich kalte Tage in etwa $\frac{1}{3}$ aller Fälle in diesen beiden Jahreszeiten auftreten. In Agra fällt im Winter die größte Häufigkeit auf die leicht kühlen Werte; einer großen Zahl unangenehm heißer Tage im Sommer steht eine angenehme Witterung im Frühjahr und Herbst gegenüber. Die Monte Bré-Fußstation dagegen bietet nur im Winter eine überwiegende Mehrheit von Tagen angenehmen Klimas, während es in den übrigen Jahreszeiten gemäß dieser Statistik unangenehm heiß sein muß. Basel hat im Frühjahr und Herbst vorwiegend angenehme Witterung; im Winter dominieren mäßig bis unangenehm kalte Tage, im Sommer überwiegen unangenehm warme.

Nochmals sei betont, daß sich diese Registrierungen und daher auch diese Klassifikationen auf Aufenthalt in der Sonne beziehen, dem man an unangenehm heißen Tagen durch Aufsuchen des Schattens sofort entgehen kann, und hinzugefügt sei, daß die 5.0-Grenze zwischen unangenehm heißen und angenehmen Tagen unter

¹⁾ Acta Davosiana 1, 3, 1933. Ärzte-Verein Davos.

Sonnenverhältnissen höher liegen muß als unter Schattenverhältnissen, weil ein beträchtlicher Teil der Sonnenstrahlen durch die Haut dringend das Körperinnere erwärmt. Die für Zimmertemperatur von 20° und Luftruhe des Zimmers (das Schonungsklima par excellence) gültige Abkühlungsgröße der Frigorimeterskala (36.5° C) liegt bei 3.33.

Wir werden weiter unten im physiologischen Teil sehen, daß und weshalb eine allein auf die trockene Abkühlungsgröße aufbauende Empfindungsskala nicht in allen Fällen genügen kann. Im folgenden soll denn auch auf den Schattenaufenthalt das Hauptgewicht gelegt werden, was um so mehr angebracht erscheint, als die direkte Sonne durch ihre penetrierenden, die Innenorgane des Körpers erreichenden Strahlen gerade Lungenkranken leicht gefährlich werden kann. Um das große Material Agras auf einen vergleichbaren Nenner zu bringen, sind alle — auch die in den Jahren 1922—1924 mittels Katathermometers gemessenen Werte — durch Umrechnung auf die Frigorimeterskala für Kugeltemperatur 36.5 und auf die drei den Krankentag einrahmenden Beobachtungstermine bezogen; ihre Mittel ergeben das Mittel des Krankentages. Die Spalten 3—12 der Tabelle 31 enthalten also monatweise die bei freier Exposition im Schatten um 7^h (Sommer 6½^h, Winter 7½^h), 13^h und 19^h (Sommer 19½^h, Winter 18½^h) in Agra für die Periode 1922—1924 und die Periode 1930—1932 gültigen Werte der trockenen Abkühlungsgröße, sowie die Tagesmittel, Maxima und Minima für die Periode 1930—1932, welche wir im physiologischen Teile detaillierter Betrachtung zu unterziehen gedenken. Die zur Errechnung verwandte, für das Frigorimeter bei freier, durch die Umgebung nicht deformierter Exposition auf vorgeschriebenem Postament gültige, für sehr viele und sehr verschiedene Orte erprobte Formel lautet¹⁾:

$$A = (0,22 + 0,25 \sqrt[1.5]{v}) \Theta.$$

A = Abkühlungsgröße trocken,
v = Windgeschwindigkeit in m/sec,
Θ = 36.5 — Lufttemperatur.

Diese Rechnungen können genügend genau ersetzt werden durch Entnahme aus graphischen Darstellungen, wie sie W. M. H. Schulze²⁾ für die „Ermittlung von Abkühlungsgröße und Hauttemperatur aus den meteorologischen Elementen“ sehr durchdacht und geschickt für eine freilich ein wenig abweichende Formel gegeben hat.

Die Schattenwerte (Tabelle 31) liegen natürlich über den registrierten Sonnenwerten und etwa so viel, wie zu erwarten ist, denn, setzt man die mittlere Sonnenintensität = 1200 Millical und beachtet, daß die Sonnenstrahlung nur auf den Querschnitt der Kugel, nicht auf die ganze Oberfläche fällt, ferner nur etwa 12 Stunden von den 24 Tagesstunden scheinen kann und, wie wir gefunden haben, bei Berücksichtigung der Bewölkung mit etwa $\frac{7}{10}$ zur Wirkung kommt, so erhält man einen

mittleren Zuwachs durch Strahlung von 2.1 Millical/sec, und das ist etwa der Unterschied der Jahresmittel der registrierten Sonnen- und der berechneten Schattenwerte. Diese unterscheiden sich in den beiden 2¼ bzw. 3 Jahre langen Perioden nicht ganz unwesentlich voneinander, aber auch im erwarteten Sinne, denn die mittlere Windgeschwindigkeit der ersten Periode betrug 1.47, die der zweiten 1.17, bei recht ähnlichen Lufttemperaturen. Die Jahresschwankung der Monatsmittel vom Winter zum Sommer von 8.5 beträgt 70% des Mittelwertes; *Süring* fand (l. c.) 77%. Die Tabelle liefert nun auch die Tagesschwankung, eine für den Kranken und Rekonvaleszenten sehr wichtige Größe; wir finden sie so gering, daß bald der eine, bald der andere der drei Tagestermine den größeren Wert aufweist und selbst im Mittel der beiden Perioden der doch wohl als wärmst erwartete Mittagstermin das eine Mal unter, das andere Mal über dem Morgentermin liegt. Solcherart gleicht der Wind die an sich geringen Temperaturschwankungen aus. Die Maxima erreichen natürlich derart hohe Werte, daß man sich gegen sie schützen muß, insbesondere im Frühjahrsanfang. Die Minima unterschreiten die für Zimmertemperatur von 20° und Luftruhe geltenden Werte von 3.63 nur in den Monaten Juni bis September, und nur um ein kleines; bei Schattenaufenthalt gibt es also keine lästig fallenden Tage. Die Tabelle 31 gibt an Hand der Empfindungsskala (S. 27) detaillierten Aufschluß: es kommen danach im Schatten weder unangenehm heiße Tage noch unangenehm heiße Tageszeiten vor und es fehlt auch vollkommen die Stufe „unangenehm kalt“. Es sind vielmehr vertreten:

	In den Tagesmitteln	Mittags	Morgens + abends	
Die Stufe				} % aller Fälle
5—10 = angenehm in	25.0	29.2	25.0	
10—15 = leicht kühl in	58.3	62.5	54.2	
15—20 = kalt in . . .	16.7	8.3	20.8	

also eine für einen milden klimatischen Reiz wohl sehr günstige Stufenverteilung.

b) Feuchte Abkühlungsgröße (Tabelle 32)

Nun werden einem feuchten Körper unter sonst gleichen Bedingungen wesentlich größere Wärmemengen entzogen als einem trockenen, weil die Verdunstungskälte zur trockenen Abkühlungsgröße hinzukommt. Die Messung und Registrierung der feuchten Abkühlungsgröße auf dem für die statischen Messungen der Temperatur des feuchten Thermometers üblichen Wege, d. h. der Abkühlungsgröße des mit feuchtem Musselin überzogenen Meßkörpers schließt beträchtliche Fehlerquellen in sich durch die Änderung 1. der Oberflächenbeschaffenheit, 2. der Wärmeleitfähigkeit. Beide wirken im gleichen Sinne, nämlich den Wärme-(Kälte-)Austausch verzögernd und liefern daher zu kleine Werte. Man bedient sich besser der Rechnung, welche sich — wie in der Natur — auf eine dünne, dem Körper (bei-

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1928, l. c.

²⁾ Ebenda 1933, S. 56—59.

spielsweise der Haut) anhaftende Flüssigkeitsschicht bezieht. Die hierzu nötige, zunächst etwas umständlich ausschauende Formel hat *M. Robitzsch*¹⁾ entwickelt; sie lautet:

$$A_f = h \frac{1000 \cdot 600}{241} \cdot \frac{0.622}{760} (e_w - e) + h \theta.$$

A_f = feuchte Abkühlungsgröße bei Kugeltemperatur 36,5° in Millical cm²/sec,

$$h = 0.22 + 0.25 \sqrt[1.5]{v} \quad (\text{wie S. 28}),$$

600 = Verdunstungskälte,

241 = spezifische Wärme der Luft,

0.622 = spezifisches Gewicht des Wasserdampfes,

760 = Luftdruck (für Meeresebene, sonst entsprechend der Höhenlage des Ortes),

e_w = Wasserdampfgehalt der bei 36,5° gesättigten Luft,

e = absolute Feuchtigkeit,

θ = 36,5 — Lufttemperatur.

Der in der Formel zuerst auftretende h -Wert wird zu groß sein, denn dieser für die Wärmeabgabe der trockenen Kupferkugel geltende Ventilationsfaktor hat zur Voraussetzung den dauernd schnellen Nachfluß von Wärme von der Leeseite zur Luvseite der gut wärmeleitenden Kupferkugel. Die Feuchtigkeitshaut haftet aber am Ort und hat auf der Leeseite einen Windschutz, der die Verdunstung herabsetzt. Nun ist dieser erfahrungsgemäß an glatten Kugeln auch bei laminarer Luftbewegung nicht groß, denn an glatten Flächen haftet der Wind²⁾. Da in der freien Natur der Wind selten laminar, sondern meist turbulent auftritt, werden sich die Verdunstungen auf Luv- und Leeseite noch weniger unterscheiden. Immerhin werden die berechneten feuchten Abkühlungsgrößen ein wenig (schätzungsweise 10% im Mittel) zu hoch liegen; sie würden weit weniger zutreffen, wenn man etwa die Luvseite als „windstill“ in Rechnung stellen wollte.

Da die Zahlenwerte sich stets gleichbleiben, gestaltet sich die Rechnung einfach. Das zweite Glied der rechten Seite der Gleichung bedeutet die trockene Abkühlungsgröße (vgl. S. 28), das erste den durch Verdunstung hinzukommenden Wärmeentzug.

Für die 3 Jahre 1930—1932 ist die Rechnung durchgeführt, monatweise für jeden der drei Tagestermine einzeln. Die Mittel der 3 Jahre enthält Tabelle 32 in Spalte 2—5, und in Spalte 8—11 sind hinzugefügt die

Verhältnisse $\frac{\text{Abkühlungsgröße feucht}}{\text{Abkühlungsgröße trocken}}$. Aus letzteren

erkennt man die ungemein energisch abkühlende Wirkung auf den feuchten Körper von 36,5°, denn ihm wird (im Jahresmittel) 4,31 mal mehr Wärme entzogen als dem trockenen, mittags etwa 12% mehr als morgens und abends, im Sommer fast 50% mehr als im Winter, im Herbst mehr als im Frühjahr, d. h. stets günstigst mit höherem Betrage dann, wenn es tatsächlich (nach der trockenen Abkühlungsgröße) wärmer wird und eine größere Wärmeabgabe erwünscht ist. Daher sind auch die Schwankungen der feuchten Abkühlungsgröße (Tabelle 32, Spalte 5) weit geringer als die der trockenen (Tabelle 31, Spalte 6) bei im übrigen ähnlichem Jahres-

gang. Auch den Maxima und Minima (Spalten 6—7 der Tabelle 32) ist dieser Jahresgang eigen. Sie verhalten sich wie etwa 5 : 1, die Mittel liegen den Minima näher als den Maxima. Als Extreme der feuchten Abkühlungsgröße sind in den 3 Jahren 1930—1932 gefunden worden 134,2 bzw. 14,0.

Bei Anwendung der Frigorimeterwerte auf den an die Oberhaut tatsächlich gestellten klimatischen Wärmeanspruch werden in der kühlen Jahreszeit die trockenen Abkühlungswerte, in der heißen die feuchten Abkühlungswerte heranzuziehen sein, jedoch liegen zwischen dem trockenen und dem total feuchten Zustande der Haut alle Möglichkeiten einer teilweise feuchten Haut. Es sind daher in Spalte 12—15 der Tabelle 32 auch die Abkühlungsgrößen für eine halbfeuchte¹⁾ Frigorimeterkugel angegeben; sie liegen den gleichzeitigen trockenen Abkühlungsgrößen näher als den feuchten, insbesondere im Sommer. Ihr Tages- und Jahresgang hat gleichen Charakter wie die der feuchten Abkühlungsgröße.

Erinnert sei zum Schluß noch einmal daran, daß alle hier betrachteten trockenen, feuchten und halbfeuchten Abkühlungswerte sich auf Schattenverhältnisse beziehen (s. S. 28).

Austrocknungsgröße (Verdunstung) (Tabelle 33—34)

a) Berechnete

Die Verdunstung hängt ab außer vom Luftdruck und von der Größe und Gestaltung der verdunstenden feuchten Fläche von ihrer Temperatur, vom Feuchtigkeitsgehalt der Luft und von der Windgeschwindigkeit. Für große, ebene Wasserflächen gilt in der Meteorologie vorzugsweise *Traberts* Formel:

$$V = c(1 + \alpha t) \sqrt{w}(E - e).$$

c = Konstante,

α = $1/273$ = Spannungskoeffizient der Luft,

t = Temperatur der verdunstenden Fläche,

w = Windgeschwindigkeit in m/sec,

$E - e$ = Sättigungsdefizit.

Für die Verdunstung kleinerer Oberflächen und daher geeigneter zur Anwendung auf die in der belebten Natur herrschenden Verhältnisse hat *Walter Knoche*²⁾ folgende Formel aufgestellt, welche in der medizinischen Klimatologie weitere Verbreitung gefunden hat und nur bei Extremen, wie sie in Agra gar nicht und überhaupt auf der Erde nur selten vorkommen, im Stiche läßt³⁾:

$$S_v = 0.023 F(v) \frac{E_t d E}{e d t} (1 + 0.084 v).$$

¹⁾ Welche nur soviel Feuchtigkeit abzugeben vermag, daß die ihr unmittelbar aufliegende, mit ihr zu identifizierende, den Austausch mit der Atmosphäre vermittelnde dünnste Grenzschicht nur zur Hälfte mit Wasserdampf gesättigt ist.

²⁾ Archiv der Deutschen Seewarte 48, 15, 1929.

³⁾ K. Büttner, Meteorol. Zeitschr. 50, 129—130, 1933.

¹⁾ Ann. d. Hydrgr. 59, 1931, Heft 3. Gerlands Beitr. 25, 194—210, 1930.

²⁾ Besson, Ann. d'Hyg., Climat de Paris.

- S_v = Austrocknungsgröße,
- v = Windgeschwindigkeit in km/Std.,
- $F(v)$ = Funktion von v , steigend von 1 zu 1.7 bei von 0 zu 30 km/Std. zunehmender Windgeschwindigkeit in der in der Fußnote angegebenen Weise¹⁾,
- e = absolute Feuchtigkeit,
- E = maximaler Wasserdampfgehalt der Luft bei Lufttemperatur t .

Die Durchrechnung aller Terminwerte je eines Winter- und Sommermonats (Januar 1931 und Juni 1932) hat gezeigt, daß man (bei Beziehung beider Formeln auf das übliche Verdunstungsmaß von mm/24 Stunden) für die Konstante c in *Traberts* Formel für die Mittagswerte des Sommers 0.70 setzen muß, d. h. einen ganz ähnlichen Wert wie für die Assuaner Winterverhältnisse (l. c., S. 11), daß sich derselbe aber für die Mittagverhältnisse des Winters auf 0.88 und für die Abend- und Morgenverhältnisse auf etwa 0.94 erhöht. Je größer die Verdunstung, umso schneller wachsen im allgemeinen die *Trabertschen* Werte, vornehmlich weil in dieser Formel die großen Windgeschwindigkeiten (bei größeren freien Wasserflächen) mehr zum Ausdruck kommen. Um *Knoches* Werte auf mm/24 Stunden zu reduzieren, muß man sie mit 60 multiplizieren, da sie sich auf cm/4 Stunden-Werte beziehen.

Tabelle 33 enthält unter a) die monatlichen Austrocknungswerte für die drei Tagetermine und ihre Mittel, Maxima und Minima, und unter b) dieselben nach Umrechnung in mm/24 Stunden-Verdunstungsmengen.

Nach der in der Fußnote²⁾ aufgeführten Klimaklassifikation *Knoches* schwanken sämtliche Terminwerte und auch Tagesmittel zwischen Stufe II (klein) im Hochwinter und Stufe V (ziemlich groß) im Hochsommer; nur die Mittagswerte erreichen die Stufe V, und zwar von April bis Oktober; im Frühjahr ist die Verdunstung stärker als im Herbst. Im Jahresmittel liegen die Morgen- und Abendwerte dicht an der unteren, die Mittagswerte nahe der oberen Grenze, die Mittel fast genau in der Mitte der Normalstufe IV, d. h. der erwünschtesten Stufe.

1)

v km/h	$F(v)$	v km/h	$F(v)$	v km/h	$F(v)$
0	1.000	5	1.592	10	1.777
1	1.148	6	1.667	15	1.782
2	1.274	7	1.712	20	1.782
3	1.392	8	1.746	25	1.782
4	1.493	9	1.762	30	1.782

2)

Verdunstungskraft der Luft	Stufe	Austrocknungswert
Fast Null oder sehr klein . . .	I	0.000 - 0.014
Klein	II	0.015 - 0.023
Ziemlich klein	III	0.024 - 0.035
Normal	IV	0.036 - 0.068
Ziemlich groß	V	0.069 - 0.114
Groß	VI	0.115 - 0.183
Sehr groß	VII	0.184 - 0.264
Außerordentlich groß . . .	VIII	0.265 <

Die monatlichen Maxima bewegen sich in den Stufen „groß“ und „sehr groß“, ausnahmsweise, im April und September, gelangen sie sogar in die höchste Stufe VIII; die Minima gehören im Winterhalbjahr der niedrigsten Stufe I (sehr klein) an, im Sommerhalbjahr der Stufe II (klein); es kommen somit innerhalb des Jahres sämtliche acht Stufen vor, aber die äußeren I bis II und VI bis VIII nur in Ausnahmefällen. Die Extremwerte der dreijährigen Periode 1930—1932 lauten: 0.519 bzw. 0.007.

Die Verdunstungsmengen unter b) der Tabelle 33 sagen natürlich dasselbe wie die soeben besprochenen Austrocknungsgrößen unter a), sie sind nur in einem anderen und geläufigeren Maße (mm/24 Stunden) ausgedrückt. In der winterlichen feuchten norddeutschen Ebene ist die Verdunstungsmöglichkeit gering, im Januar in Potsdam (0.3) nur $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ so groß als in Agra, im Juli sind die Unterschiede geringer, aber doch noch groß, nämlich Agra-Mittel 4.86, Potsdam-Maximum 3.65. Im Davoser Winter liegen an klaren Tagen die Verdunstungsmengen trotz der sehr trockenen Luft und des geringen Luftdruckes etwas niedriger als in Agra, infolge der niedrigen Temperaturen und geringen Luftbewegung, im Sommer dagegen übersteigen während des Krankentages 8^h bis 18^h die Davoser Werte die Agreser bis zu 50%.

Wiederum sei erinnert, daß Schattenverhältnisse, nicht Sonnenverhältnisse, betrachtet wurden, und feuchte Oberflächen von der gleichen Temperatur wie die umgebende Luft.

b) Gemessene (Tabelle 34)

Nun ist die Verdunstung auch direkt gemessen worden, und zwar mittels vollkommen frei gegen alle meteorologischen Elemente (auch die Sonnenstrahlung) exponierten *Piches* Evaporimeter in der Form, wie sie von den deutschen Botanikern¹⁾ angewandt zu werden pflegt. Die verdunstende, kreisrunde, dem kalibrierten Glasröhrchen unten aufsitzende Papierfläche hat hier die Größe

$$(15^2 + 15^2 - 0.75^2) \text{ mm}^2 = 1237 \text{ mm}^2,$$

und tiefgrüne, stark strahlenabsorbierende Farbe. Die äußeren Verhältnisse entsprechen also etwa der Exposition des Blattes eines freistehenden Baumes, oder etwa auch der des pigmentierten Ohres, der Nase, des Kinns des an freiem Ort in der Sonne wandelnden Menschen. Auch diesem Meßinstrument sind entsprechend seiner großen Einfachheit Mängel eigen, welche übrigens keinem der vielen Verdunstungsmeßapparate fehlen. *Heinrich von dem Borne*²⁾ hat sie besprochen. Der nach hiesigen Erfahrungen größte Mangel, nämlich die Unregelmäßigkeit der Durchfeuchtung des verdunstenden Fließpapiers, kann vermieden werden und ist weitgehend vermieden worden durch Ausstattung vieler an

¹⁾ *W. Walter*, Jahrb. d. wissensch. Bot. 48, 233—288, 1928.

²⁾ Verdunstungsstudien; Inauguraldissertation Frankfurt a. M. 1930, S. 426.

vielen Orten tätiger Piche-Evaporimeter mit Fließpapier gleicher Provenienz und gleichen Bezuges.

In Tabelle 34 sind die monatlichen Mittel der dreijährigen Periode 1930—1932 (von welcher nur die 3 Monate Januar bis März 1932 ausgefallen sind) aufgeführt in cm^3 verdunsteten Wassers für die drei Zeitabschnitte $7\frac{1}{2}$ — $13\frac{1}{2}$ ^h=Vormittag, $13\frac{1}{2}$ — $21\frac{1}{2}$ ^h=Nachmittag, $21\frac{1}{2}$ — $7\frac{1}{2}$ ^h=Nacht, und deren Summe ($21\frac{1}{2}$ — $21\frac{1}{2}$ ^h) = 24-Stunden-Tagessumme, dazu die Maxima und Minima. Herangezogen sind nur die Tage, an denen kein Niederschlag von Bedeutung (> 2 mm) fiel, weil an Regentagen durch unkontrollierbare Wasserzufuhr Unregelmäßigkeiten auftreten.

Der Jahresgang ist natürlich charakterisiert durch große Verdunstungswerte im Sommer, kleine, aber gegenüber anderen Orten bemerkenswert hohe im Winter, letzteres als Ausdruck eines dauernd beträchtlich gebliebenen Sättigungsdefizits (relativ trockener Luft). Ebenso halten sich im Tagesgang aus gleichem Grunde in Verbindung mit dem leichten Bergwind die Nachtwerte recht hoch gegenüber denen der Ebene, auch wenn man berücksichtigt, daß im Sommerhalbjahr die früh aufgehende Sonne einiges hinzufügt. Im windstillen Davos sinken die Werte während der ganzen Nacht auf 0, in Potsdam verdunstet im Winterhalbjahr von 20^{h} — 8^{h} nur $\frac{1}{10}$ mm. Die Vormittagswerte liegen nur scheinbar unter den Nachmittagswerten, denn sie repräsentieren 6-Stunden-Summen, die Nachmittagswerte aber 8-Stunden-Summen; in Wirklichkeit übersteigen sogar die Vormittagswerte ein wenig die Nachmittagswerte. Die Maxima liegen rund doppelt so hoch, die Minima ein Drittel so hoch wie die Mittel, bei im allgemeinen unverändertem Jahresgang, als Extreme fanden sich 24.2 bzw. 0.3. Also sind die Schwankungen der Verdunstung in der Sonne bei freier Exposition sehr groß.

Es wurde auch der Versuch gemacht, den Strahlungseinfluß auf die Verdunstung herauszuschälen und zu diesem Zwecke ein zweites gleichartiges Evaporimeter im Strahlungsschutz aufgestellt, jedoch konnte das nicht zum Ziele führen, denn ein dauernd gegen direkte Sonnenstrahlung geschützter Standort konnte nur durch gleichzeitigen Windschutz erkauft werden, zumal an einem Orte, an dem während des Tages der Wind ganz bevorzugt aus SE bis SW weht. So liegen denn häufig nicht nur die Tagwerte, sondern auch die Nachtwerte des geschützt aufgestellten Evaporimeters unter denen des frei exponierten. Es hätte eines gerade nur das kleine Meßinstrument gegen die Sonne schützenden, dauernd automatisch der Sonne nachgeführten kleinen Schirmes bedurft, und dies hätte nicht unbedeutende Kosten verursacht.

Obwohl mit *Piches* Evaporimeter die Strahlungssummen während dreier Tagesabschnitte gemessen worden sind, die in Tabelle 33 berechneten Werte sich aber nur auf die drei Termine beziehen, wollen wir doch versuchen, zur Kontrolle eine vergleichende Überschlagsrechnung durchzuführen. Die Relation des Piche-Instruments englischen Modells [welches sich durch eine ge-

ringere Verdunstungsfläche (1060 statt 1237 mm^2) und weißer statt grüner Farbe des Fließpapiers vom hier angewandten unterscheidet] zur Verdunstung einer freien Wasserfläche ist = $2.3 : 1$ gefunden¹⁾, die für das hier verwandte Modell gültige Beziehung Sonne : Schatten = $155 : 100$, die Beziehung grün : weiß im Schatten = $106 : 100$. Fassen wir das Mittel des Vormittags der Tabelle 34 = 2.7 cm^3 in 6 Stunden = 10.8 cm^3 in 24 Stunden ins Auge, so erhalten wir bei 54.2% möglicher Sonnenscheindauer (Tabelle 17):

$$10.8 \cdot \frac{1}{2.3} \cdot \frac{1060}{1237} \left(\frac{54.2}{100} \cdot \frac{100}{155} \cdot \frac{100}{106} + \frac{45.8}{100} \right) = 3.171,$$

gegenüber 3.27 als Mittel der Spalten 2 bis 3 der Tabelle 33 b. Nur zufällig stimmt die Überschlagsrechnung so gut, sie beweist aber, daß der Größenordnung nach die gemessenen und die berechneten Werte zueinander stimmen. Man findet auch weitgehende Parallelitäten im Tages- und Jahresgang der berechneten und gemessenen Werte in Tabelle 33 und 34, soweit Summen und Terminwerte überhaupt vergleichbar sind.

Mit gleichem Piche-Modell und Fließpapier gleichen Bezuges wurden bei gleichartiger Aufstellung — daher mit den Werten der Tabelle 34 unmittelbar vergleichbar — gemessen:

An der österreichischen biologischen Station Lunz im Aprilmittel $4.09 \text{ cm}^3/24$ Stunden, also nicht halb soviel wie in Agra (Ursache wohl hauptsächlich die lange Sonnenscheindauer und trockene Luft).

Im Hochgebirge in etwa 2400 m Höhe (Muottas Muraigl und Flüelahospiz) an wolkenfreien Julitagen mittlerer Windstärke 6.15 bzw. 6.73 für die Zeit 8 — 18^{h} , also kaum höher als in Agra (der bei den niedrigen Lufttemperaturen stark kühlende Wind setzt den Wert dort herab).

In Davos im Windschutz bei voller Bestrahlung und starker Rückstrahlung an einem sehr warmen Julitag als Extremwert 11.50 für die Zeit von 8 — 18^{h} , der den Agreser Extremwerten an Föhntagen, die bis zu 18.2 für die Zeit $7\frac{1}{2}$ — $21\frac{1}{2}$ ^h erreichen, nicht gleichkommt. Die obige Beziehung zwischen den Anzeigen des Piche-Instruments und der Verdunstung einer freien Wasserfläche liefert bei 92 Tagen mit Niederschlag > 2 mm, also nur 273 zu berücksichtigenden Tagen, als Jahressumme der Verdunstung

$$7.4 \cdot \frac{1}{2.3} \cdot \frac{1060}{1237} \cdot 273 = 753 \text{ mm}$$

und fast zu genau derselben Summe gelangt man aus *Knoches* Werten der Tabelle 33b, wenn man die Mittel der Terminwerte als Vormittags- und Nachmittagssummen und für die Nachtsomme das gleiche Verhältnis zur Tagessumme einsetzt, wie es mittels der Piche-Messungen gefunden worden ist.

Die jährliche Niederschlagssumme, 753 mm, ist als Minimalwert anzusprechen, weil auch an den 92 Tagen

¹⁾ Assuanstudie, I. c., S. 13.

mit Niederschlag > 2 mm einige Verdunstung stattgefunden haben wird. Für die Schweizer Seen hat *Jean Lugeon*¹⁾ 700 mm mittlerer jährlicher Verdunstung bei einer Höhenlage von 500 m abgeleitet. Die Tessiner Werte müssen über dem Durchschnitt liegen und bei der daselbst überreichen Vegetation dürften sich Seeverdunstung und Landverdunstung selbst im Jahresmittel nur wenig unterscheiden, so daß der gefundene Wert zu den bisherigen Erfahrungen zu passen scheint.

Wetterlagen (Tabelle 35)

Nachdem wir bisher die meteorologischen Elemente und ihre komplexen dynamischen Größen nach ihren Mitteln und vorzugsweise ihren periodischen Änderungen in Abhängigkeit von der Tages- und Jahreszeit betrachtet haben, die aperiodischen interdiurnen Schwankungen und Häufigkeiten gewisser Klassifikationen nur nebenher statistisch aufzählend, wollen wir noch zur Charakterisierung der wichtigsten Wettertypen übergehen. Auch sie sind keineswegs als rein aperiodisch anzusprechen, sondern vielfach an die Jahreszeiten und damit an die große solare Periode gebunden.

In allen Jahreszeiten vorherrschend ist in Agra die ungestörte Wetterlage anzutreffen mit dem normalen Tagesgang, welchen die vielen Tabellen für die verschiedenen meteorologischen Elemente als Monatsmittel aufweisen. Sie ist außer in den durch eine Großzahl von Kalmen ausgezeichneten Hochwintermonaten charakterisiert durch die dank Agras ausgezeichnete topographische Lage am Südostabhang des 300 m den See überragenden Plateaus regelmäßig auftretenden sanften Tal- (gleichzeitig See-) und Berg- (gleichzeitig Land-) Winde, welche besonders in den Sommermonaten sich auswirken durch Milderung von Wärme und Trockenheit und zu intensiver Strahlung. Wir haben das bei Diskussion des Verhaltens dieser Elemente, insbesondere der Winde, auf S. 9 schon besprochen, und es genügt daher der Hinweis darauf.

Saisongebunden erreichen dann im Frühjahr die vom Atlantik kommenden, die Alpen südlich umströmenden Winde Agra als warme, regnerische SW-Winde meist mäßiger Stärke. Durch Hemmung der Bewegung der in breiter Front von Westen heranziehenden Luftmassen²⁾ treten gleichzeitig Druckerhöhung über den Alpen und Depressionen im Norden über der Nordsee und oft auch im Süden über dem Mittelmeer auf, letztere oft als „Resonanzdepressionen“ bezeichnet. Sie beeinflussen sich gegenseitig und führen häufig bei Vordringen und Übergreifen der südlichen Zyklone über das Gebirge oder durch ihre Verbindung mit den im Frühling auch über dem südlichen Mittelmeer häufigen Zyklonen zum meist nur mit „Föhn“ bezeichneten Südföhn. Ist er kräftig ausgebildet, so lösen sich schon in größerer Ent-

fernung vom südlichen Alpenwall über der Poebene die Luftmassen vom Boden und überströmen in großen Höhen die Alpen. *W. Pepler*¹⁾ hat jüngst eine Großzahl dieser Fälle auf Grund der Beobachtungen seiner Drachenstation am Bodensee im einzelnen untersucht und die Mannigfaltigkeit des Austausches zwischen Süd und Nord festgestellt. Agras Klima wird also weniger direkt von diesen Winden berührt als indirekt von den in ihrem Gefolge auftretenden Niederschlägen, deren Entstehung, Verlauf und Menge wir schon S. 13 betrachteten. Dasselbe gilt für die im Herbst (auch im Frühjahr) durch Hochdruck im Süden und Südosten Europas und Minima über der Nordsee ausgelösten häufigen Südföhnströmungen. Der im Frühjahr häufiger als im Herbst auftretende und auch im Mittel nur 1 bis 2 Tage im Jahre aus SE kommende, bekanntlich bisweilen Stauffälle sogar über Mitteleuropa verursachende mächtige feuchte warme Sciroccosturm ist verursacht durch Zyklonen über dem südlichen Mittelmeer und gefürchtet wegen Verheerungen und Überschwemmungen, die er anzurichten imstande ist. Druckstörungen durch flache Tiefs oder Teiltiefs über dem Golf von Genua, der Poebene und der Adria pflegen nur selten zum Aufstieg von Luftkörpern bis zur Alpenkammhöhe zu führen, sie wirken sich vielmehr meist durch Begegnung mit N—NE-Richtung besitzenden hohen Luftströmungen zu allmählich von oben nach unten fortschreitender Wolkenbildung und folgendem Regen aus. Keineswegs jedoch muß jeder SW-Wind in Agra warm und feucht eintreffen; im Gegenteil, es gibt hier auch ausnehmend trockene SW-Luftströmungen mit ganz besonders klarem Himmel, und zwar als Folge lokaler Föhnströmung über das zwischen Lago Maggiore und Luganersee gelegene italienische Bergland.

Treffen im Sommer am Südfuße der Alpen von N bis E absteigende kühle, trockene und von S bis W anwehende warme, feuchte Winde aufeinander, und kommen dazu lokale starke Erwärmungen, was insbesondere am Nordende des Lago Maggiore häufig ist, so resultieren meist kurze, mit flutartigem Regen verbundene Gewitter, deren Verlauf, Häufigkeit und Zugstraßen wir schon S. 15 verfolgt haben. Meist, aber keineswegs immer, wie die Abkühlungsgrößen beweisen, bringen diese erfrischende Kühle; segensreich wirken sie sich aus durch Reinigung der Luft von Staub und durch Behebung aller durch zu große Trockenheit entstehenden Mängel und Gefahren (S. 13), psychisch erhebend durch ihr majestätisches Schauspiel (S. 15).

Gegen Wind und Wetter aus SE ist Agra, wie schon S. 9 erörtert wurde, gnädig weitgehend geschützt durch den zwischen Monte Arbostora und Salvatore sich hinziehenden zusammenhängenden, meist 800 m übersteigenden, steil zum trennenden schmalen Scairolotal absteigenden Gebirgszug, anderenfalls wäre es bei der exponierten Plateaulage hoch über dem See weit weniger gut bestellt um sein Klima, denn sowohl die im Frühjahr

¹⁾ Précipitations atmosphériques, Ecoulement et Hydro-électricité. Publ. Nr. 16 d. Schweiz. Meteorol. Zentralanst. u. Schweiz. Ges. f. Wasserbewirtschaftung 1928.

²⁾ A. Schmauss, Meteorol. Zeitschr. 34, 1917.

¹⁾ Gerlands Beitr. 33, 223—245, 1931.

von der Adria am Südfuß der Alpen und über der Poebene häufig wehenden, wie auch die im Herbst über dem ganzen Alpengebiet durch das Druckmaximum über der Donaumündung ausgelösten SE-Winde werden erfolgreich abgehalten und damit auch die anderorts sintflutartig auftretenden Regen, welche das mediterrane Herbstmaximum der Niederschläge verursachen. Wir konstatieren schon S. 13, daß dies in Agra nur teilweise ausgeprägt ist. Nur der wütige Scirocco überwindet diesen mächtigen Windschutz ein bis zweimal im Jahre.

Die interessanteste Wetterlage stellt der Nordföhn dar. Er ist (von kurzen Windsbräuten bei Gewittern abgesehen) der einzige Wind, welcher wirklich stark auftreten kann. Keineswegs bietet nämlich der Alpenwall, trotz seiner Mächtigkeit, vollen Schutz gegen von Norden wehende Winde, er modelt sie vielmehr meist nur um in Fallwinde. Laut *H. von Fickers*¹⁾ Untersuchungen sind, wie *Süring* l. c., S. 343, prägnant schreibt, hierbei drei Stadien zu unterscheiden: Ist die Alpenkette im Verhältnis zur Höhe der von N einbrechenden kalten Luftströmungen niedrig, so treten Nordwinde in beträchtlichen Massen auf die Südseite. Unter diesen Umständen kann in Agra der Föhn sogar zur Bora werden, also Temperaturerniedrigungen bringen. Es ist auch im allgemeinen kein reiner blauer Himmel sichtbar, sondern meist ein ziemlich dichter Ci-Schleier. Diesem cirrösen Föhn folgt ein zweites Stadium (zuweilen geht es ihm auch voran), in welchem die kalten Luftmassen des Nordabhanges wesentlich tiefer liegen, so daß sie nur in seichter Schicht die Alpen überfließen. In diesem Falle pflegt die hohe Ci-Decke zu fehlen, die vom Alpenkamm herankommenden mittelhohen (A—Cu und A—Str) lösen sich über dem Tessiner Seengebiet auf, der Himmel wird tiefblau. Nach den Wolkenformen könnte man dies als das Lenticularis-Stadium bezeichnen, in welchem dynamische Wolken entstehen bei Abströmung der feuchten Luftschicht über ein Hindernis [nicht etwa nur massives Gebirge, sondern auch aufsteigende Luftmassen²⁾] hinweg, wobei nur verhältnismäßig geringe Auftriebsgeschwindigkeiten entwickelt werden und die relativ geringe Hebung der Luftschicht ihre Ausbeulung nach oben und damit die Bildung der Wolkenkappe veranlaßt. Sind die Sonneneinstrahlung und infolgedessen auch die Bodenerwärmung sehr stark, so kann es örtlich zu kleinen Cu-Bildungen kommen, die sogar Niederschlag ausscheiden. So fielen am 17. April 1923 mittags bei 17% relativer Feuchtigkeit einige Regentropfen. Bei dem dritten Stadium reichen die kalten Luftmassen der nördlichen Alpendepression nur knapp bis zur Alpenhöhe; sie treten daher nur gelegentlich auf die Südseite, die schwachen Nordwinde werden unterbrochen durch lokale Einflüsse, z. B. Berg- und Talwinde, und das Ergebnis ist milde trockene und reine Luft. Das Lenticularis- und das Tageswindstadium sind die Hauptrepräsentanten für das Klima von Agra während der kühlen Jahreszeit.

¹⁾ Meteorol. Zeitschr. 1920, S. 350.

²⁾ *U. Chorus*, ebenda 1933, Heft 12.

Dorno, Klima von Agra

Bei dieser Mannigfaltigkeit des Nordföhns hat *Forster* schon recht, wenn er schreibt: „Der Föhn bringt die größten Temperatur- und Feuchtigkeitsgegensätze. Manchmal verursacht er die Höchsttemperatur eines Monats, ein andermal begleitet er einen Kälteeinbruch. Die interdiurne Veränderlichkeit ist darum bei Föhn am größten. Unter seinem Regime ist der Himmel meist heiter oder leicht bewölkt, ja gerade bei Föhn ist die Atmosphäre für Strahlung besonders durchlässig. Die nördlich der Alpen zutreffende Regel, daß auf Föhn schlecht Wetter folgt, ist auf das Tessin nicht anwendbar. Es wurden im Gegenteil häufig sehr stabile Schönwetterperioden durch ihn eingeleitet. Auch verursacht er nicht die unangenehmen Störungen im Befinden, die als Föhnkrankheit bezeichnet werden.“

Die mit dem Nordföhn verbundenen Verhältnisse aus dem vorliegenden Material etwas sicherer zu definieren, soll im folgenden versucht werden. Die Aufzeichnungen der Periode Juni 1926 bis Dezember 1932 scheinen dazu geeignet. Als Argumente für den Begriff „Nordföhn“ wurden gewählt die Windrichtung N—NNE und die Lufttrockenheit, und nur solche Tage, an denen alle drei Terminbeobachtungen diesen Argumenten genügten, wurden angesprochen. Danach traten insgesamt 80 Föhnperioden mit 109 Tagen = jährlich 16,8 Tage (statt 35 nach *Forster*, 38,5 in Lugano laut *Kornmann*) auf, nämlich

1 Periode	von 5 Tagen	=	5
6 Perioden	„ 3 „	=	18
13 „	„ 2 „	=	26
60 „	„ 1 Tage	=	60
80			109

Die längsten Perioden fallen auf die kalte Jahreszeit. Die Jahre 1928, 1929 zeichneten sich durch sehr geringe Zahl von Föhntagen aus; in 1929 findet er sich vom 1. Mai bis 31. August gar nicht notiert; dies war das Jahr mit den ausnehmend kalten Monaten Januar und Februar.

In allen Jahreszeiten trat der Föhn auf und gar nicht mit der erwarteten sehr verschiedenen Häufigkeit, nämlich:

im Frühjahr	mit	29%
„ Winter	„	26%
„ Sommer	„	24%
„ Herbst	„	21%
		100%

In allen Jahreszeiten stieg der Luftdruck von niedrig bzw. mittel (relativ zu den umgebenden Tagen) stetig mehr oder weniger.

Bei Einsetzen des Föhns war die Ausgangstemperatur (relativ zu den umgebenden Tagen)

- im Frühjahr eher warm, aber bisweilen auch kalt,
- „ Sommer abwechselnd warm, kalt, mittel,
- „ Herbst eher kühl, aber bisweilen auch warm,
- „ Winter abwechselnd warm, kalt, mittel,

— also Winter etwa gleich Sommer, Frühjahr entgegengesetzt Herbst.

Im folgenden sind nun unterschieden die erste Unterperiode vom Beginn des Föhnvortages bis zum letzten

Föhnstage und die zweite vom letzten Föhnstage zum unmittelbar folgenden Tage. Wie die Tabelle 35 zeigt, tritt während des Föhns (oberste Reihe) im Gesamtmittel eine ganz geringe Aufwärmung von $+ 0,28^{\circ}$ C ein; sie beschränkt sich im wesentlichen auf die Frühjahrsmonate, wo sie einige Grade beträgt, während in den meisten anderen Monaten, insbesondere im Dezember, Abkühlung eintritt. Der Rückschlag nach dem letzten Föhnstage (zweite Reihe) kommt stets (mit Ausnahme des April) durch ein Sinken der Temperatur zum Ausdruck, am stärksten in der kühlen Jahreszeit, aber auch im Juni. Total (dritte Reihe) bringt der Nordföhn hiernach eine kleine Abkühlung ($-0,39^{\circ}$) bei ausgeprägtem Jahresgang, nämlich Aufwärmung von Februar bis April, Abkühlung in allen anderen Monaten, insbesondere Oktober bis Dezember. Im Juni halten sich Aufwärmung während des Föhns und Abkühlung am Nachtage die Waage. Warme Fallwinde gibt es hiernach nur am Winterende und Frühlingsanfang — paradox zieht bei Föhnlagen der Frühling von Norden her ein. Hiermit soll nicht gesagt sein, daß sanfte föhnartige Bergwinde nicht die kalte Jahreszeit in Agra milder gestalten, wie *Süring* geschlossen hat, denn hier oben betrachteten wir ja nur voll ausgebildete Föhnperioden, nicht die viel zahlreicheren kurzwährenden leichten Nordwinde. Sehr wohl dürften gerade diese, die kalte Jahreszeit beherrschenden (S. 33), Fallwindcharakter tragenden, leichten intermittierenden Windströmungen durch Milderung des Winters der subtropischen Vegetation des Tessins die Lebensmöglichkeit bieten, welche in südlicher Richtung erst an der Riviera wiederkehrt, nach großer Unterbrechung durch die im Winter kräftiger Ausstrahlung, wechselnd mit kalten, aus SE von der Adria wehenden Winden ausgesetzte Poebene.

Ziel der Beobachtungen sollte fernerhin sein, durch die begleitenden Wolkenarten und „Singularitätspunkte“ festzustellen, ob der Frühjahrsföhn vornehmlich dem Stadium 1 und 2 von *Fickers*, von denen S. 33 die Rede war, angehört und der Föhn des Sommers und Herbstes mehr dem Stadium 3.

Die größten in Agra vorkommenden interdiurnen Temperaturschwankungen von 6 bis 8° C (S. 4) fallen in die Föhnperioden, und zwar während des Dezember, Januar und März, und in etwa gleicher Höhe vom Vortage zum ersten Föhnstage und vom letzten Föhnstage zum Nachtage.

Nun vergegenwärtige man sich folgendes: Weht ein kräftiger Wind in breiter Front gegen ein hohes Gebirge, so wird zwar der Hauptteil der Luftmassen zum Aufsteigen gezwungen, ja dieser Hauptteil hebt sich schon in weiterer Entfernung von der hohen Gebirgswand vom Boden ab und überweht das niedrige Vorgelände, aber untere Massen der entstehenden Wirbelkörper dringen in die Täler ein und bilden daselbst individuelle Luftkörper, die von den Luftströmungen in der Höhe unabhängig werden. Talverengungen beschleunigen die Windgeschwindigkeit, Talerweiterungen verlangsamen sie;

Querschnittsänderungen können lokale Unterschiede in der Gestaltung der Witterung herbeiführen. Konvergenz- und Divergenzpunkte und damit Vertikalbewegungen entstehen dort, wo Täler zusammenstoßen; verschiedenartige Exposition gegen eine starke und langscheinende Sonne, Wechsel von Land und Wasser verstärken sie; Wolkenbildung oder Wolkenauflösung sind die Folge. Wo beständen zur Ausbildung solcher Singularitäten im Stromfeld günstigere Bedingungen als in dem topographisch so überaus mannigfaltigen, der nach Süden steil abfallenden Alpenkette vorgelagerten, Schweizerischen und Oberitalienischen Seengebiet und insbesondere auch in dem uns hier beschäftigenden Agra? Die Berg- und Talwinde, Land- und Seewinde, der über die italienische Bergkette zwischen Lago Maggiore und Luganersee sich ausbildende lokale Föhn können als Beweis angerufen werden. Aber die Singularitäten sind nicht auf die niedrigen Höhen beschränkt, sondern auch in der freien Atmosphäre finden Konvergenzen und Divergenzen der Stromlinien unter Einfluß von Höhe und Gestalt von Bodenerhebungen statt. *W. Pepler* konnte das l. c. von etlichen Punkten der West- und Ostalpen, des Schwarzwaldes und der böhmischen Randgebirge nachweisen, und *W. Brückmann*¹⁾ kam hinsichtlich des Schwarzwaldes zu demselben Schluß in seiner Abhandlung „Beispiele der Gestalt des Stromfeldes der Luft in der Schweiz“, in der er aus Abweichungen der potentiellen Temperaturen von Mittelwerten die Strömungsverhältnisse der Luft innerhalb der Schweiz bei verschiedenen Wetterlagen konstruiert und mit dem tatsächlich beobachteten Ablauf vergleicht. So zeigen nach *R. Süring* (l. c.) die schwachen Winde und die Wolkenformen in Agra, daß hier die Bedingungen zur Entwicklung von Divergenzpunkten der Luftströmungen mit absteigender, reinste Höhenluft heranführender Bewegung günstig liegen. In Gestalt der irisierenden A-Cu mit ihren linsenförmigen Rändern sieht man geradezu diese Divergenzpunkte am Himmel; man hört sie sogar gewissermaßen an den elektrischen Knistergeräuschen beim Reiben von seidnen Stoffen und Haaren. Der Luftaustausch vollzieht sich so langsam, daß dadurch Störungen des körperlichen Wohlbefindens, welche sonst bei Föhn so häufig sind, nicht nachgewiesen werden konnten. Diesen teils direkt aus der freien Atmosphäre absteigenden, teils den Bergwind beschleunigenden Luftströmungen einerseits und den vom See aufsteigenden staubfreien, über vegetationsreiches Gelände streichenden andererseits verdankt Agra seine außergewöhnliche Reinheit der Luft, welche indirekt bewiesen ist durch ihre trotz dickerer durchstrahlter Luftmasse der dünnen Hochgebirgsatmosphäre ähnlich große Strahlendurchlässigkeit und ihr anormal hohes elektrisches Leitvermögen, und direkt noch bewiesen werden sollte durch Staub- und Kondensationskernmessungen in Verbindung mit luftelektrischen mittels vervollkommener Methoden.

¹⁾ Ann. Schweiz. Meteorol. Zentralanst. 1928.

Zusammenfassung des meteorologisch-physikalischen Teils

Das Klima von Agra ist durch die den Wärme- und Wasserhaushalt des Menschen bestimmenden Grundgrößen der medizinischen Klimatologie, nämlich 1. der Abkühlungsgröße und 2. der Austrocknungsgröße charakterisiert als ein zu allen Jahres- und Tageszeiten reizmildes, denn nach erprobter empirischer Empfindungsskala:

fehlen zu 1. beim Aufenthalt im Schatten sowohl „unangenehm heiße“ wie auch „unangenehm kalte“ Tage, und weit überwiegen die „leicht kühlen“ bei im Sommer daneben mehr hervortretenden „angenehmen“, im Winter öfter vertretenen „kalten“ Tagen. Und dies gilt auch für die verschiedenen Tageszeiten, denn die Schwankungen innerhalb des Tages sind so gering, daß zu allen Jahreszeiten abwechselnd bald der Morgen-, bald der Mittag-, bald der Abendwert der höchste ist, bei dem winterähnlichen Frühjahr und dem sommerähnlichen Herbst.

liegen zu 2. im Jahresmittel die Morgen- und Abendwerte der Austrocknungsgröße dicht an der unteren, die Mittagswerte nahe der oberen Grenze, die Mittel fast genau in der Mitte der „Normalstufe“, d. h. der erwünschtesten Stufe, und die Schwankungen halten sich im gesamten Jahres- und Tageslauf in kleinen Grenzen, nämlich zwischen der Stufe „klein“ im Hochwinter und „ziemlich groß“ im Sommer zur Mittagszeit. Auch hier steht das Frühjahr dem Winter, der Herbst dem Sommer näher.

Selbstverständlich kommen bei gewissen Wetterlagen, insbesondere bei ausgesprochenem Nordföhn und Gewittern, ausnahmsweise Extremwerte vor; die Zahl der Föhntage hat sich bei scharfer Kritik mit nur 16.8 im Jahre ausgewiesen, die Zahl der Gewittertage bei weitem Ausgreifen auch auf fernab ziehende Gewitter mit 27. Beide bedeuten willkommene physische und psychische Reize, beide sorgen für Zufuhr reinster und erfrischender Luft.

Verursacht werden diese günstigen thermischen und hygrischen Wirkungsgrößen hauptsächlich

durch die lange Sonnenscheindauer von 2231 Stunden jährlich, die längste je an einem Ort der Schweiz oder Mitteleuropas registrierte; sie erreicht 54.2% der möglichen, und der für einen Gebirgsort ganz selten freie Horizont raubt nur 6.8% der astronomischen. Winter und Sommer sind am meisten, Frühjahr weniger bevorzugt. Entsprechend gering ist die Bewölkung und die Zahl der trüben Tage, entsprechend groß die Zahl der heiteren. Im „anthropoklimatischen“ Sinne, d. h. bei richtiger Bewertung der häufigst auftretenden hohen hellen Wolken als Strahlung und Lustgefühl erhöhend, herrscht stets, außer an Regen- und Gewittertagen,

heiteres Wetter. Nebeltage sind äußerst selten; Nebel treten fast nur als rasch über den Ort hinziehende Wolkenfetzen auf. Niederschläge sind reichlich aber kurzweilig, so daß die Regenwahrscheinlichkeit, welche sogar stundenweise festgelegt werden konnte, gering (0.08) ist.

durch die große Intensität der Sonnenstrahlung, welche von September bis Ende März Gebirgscharakter besitzt, entsprechend einer Höhenlage von 1400 m, und in der zweiten Hälfte des Frühlings und im Sommer gleich der eines staubfreien Ortes in rund 500 m Höhe ist.

durch die große Intensität der Himmelsstrahlung infolge ganz vorherrschend hoher, heller, strahlungs-kräftiger Wolken, welche 40% des Ausfalls direkter Sonne wiedergeben.

durch die hohe Jahresmitteltemperatur von 11.5° (als Folge der mächtigen Strahlungszufuhr), welche der des extrem geschützten Lugano gleichkommt, bei weit geringeren Schwankungen im Tages- und Jahreslauf, also insbesondere Verhinderung extrem hoher Mittags- und Sommertemperaturen; die Zahl der Sommertage (Maximum > 25°) ist in Agra geringer als in Berlin.

durch eine mäßige relative Feuchtigkeit, welche mit 68.8% im Durchschnitt 4%, mittags 11 bis 12% höher liegt als in Lugano, und die sich im Tageslauf recht gleich bleibt und auch im Jahreslauf nur um 11% schwankt. So sind lästigfallende Trockenheitsgrade vermieden.

durch eine geringe, im Mittel nur Fußgänger-geschwindigkeit (1.5 m/sec) besitzende Luftbewegung, welche sich nicht, wie an den meisten geschützten Kurorten, durch einen großen Reichtum von Kalmen erklärt, sondern durch große Stetigkeit im Tages- und Jahreslauf auszeichnet. Agra weist nur in 22.0%, Lugano dagegen in 87.4% aller Fälle Windstille auf. Herbst und Winter sind wind-schwächst (1.3), Frühling windstärkst (1.7).

durch die Richtung dieser Winde, welche an den weit überwiegenden ungestörten Tagen in allen Jahreszeiten außer etwa den durch großen Kalmen-reichtum ausgezeichneten Hochwintermonaten im Laufe des Tages regelmäßig wechseln vom Tal- (gleichzeitig See-) zum Berg- (gleichzeitig Land-) Wind. Diese sind es, welche durch Heranführung kühler Höhenluft und feuchter Seeluft den Agreser Sommer vor Extremen der Wärme und Trockenheit schützen, in starrem Gegensatz zu den bekanntesten Tessiner Kurorten.

durch einen steten regen Luftkörperwechsel im großen Zirkulationsprozeß der Atmosphäre, welcher es zu einer ungünstig wirkenden „Alterung“ der Luftkörper nicht kommen läßt. Im Winter weht, meist nur in schwacher Luftströmung, Kontinental-luft als reinste Bergluft vom Alpenkamm, um-

gewandelt in Fallwindcharakter tragende trockene milde Luft, welche des Winters Strenge mindert (im Jahre 1918 begann die Pfirsichblüte am 28. Februar) und dadurch der subtropischen Vegetation Lebensmöglichkeit bietet, welche dem südlicher gelegenen Oberitalien fehlt. Im Frühjahr beginnen dann vom Atlantik und dem Mittelmeer feuchte warme Luftmassen anzuziehen und sie gewinnen immer mehr das Übergewicht während des ganzen Sommers und bis tief in den Herbst hinein und steigern so in dieser Jahreszeit die Feuchtigkeit zum Maximum und die Lufttemperatur weit über die des Frühjahrs hinaus. Im Frühjahr bricht in Gegenwehr noch etwas häufiger kontinentale Luft als Nordföhn kräftig durch, alsdann temperaturerhöhend wirkend; auch im Sommer und Herbst kommen solche Gegenreaktionen, wenn auch seltener und mit weniger ausgeprägtem Charakter, vor. Vor der im Spätherbst beginnenden und im Winter anhaltenden, häufig am ganzen Südfuß der Alpen kräftig wehenden kalten trockenen Ostluft sind die tief eingeschnittenen Tessiner Täler im allgemeinen geschützt und Agra im besonderen durch den vom Monte Salvatore zum Monte Arbostora sich hinziehenden Bergrücken.

Ergänzt wird diese Gunst der beiden klimatischen Grundelemente

durch eine ausnehmend große Reinheit der Luft als Folge ihrer steten Erneuerung durch staubfreie Höhen- und Seeluft, bewiesen durch ihre der Hochgebirgsluft ähnliche Strahlendurchlässigkeit und eine ganz übernormal große elektrische Leitfähigkeit.

durch Reichtum an den biologisch wichtigsten kurzwelligen UV-Strahlen der Sonne und des Himmels, welcher insbesondere bei niedrigen Sonnenhöhen, also im Winter, wertvoll ist; steht die Sonne hoch, so bleibt das Hochgebirgstal an UV-Sonnen- und Himmelsstrahlung überlegen, aber auch hier

findet ein gewisser Ausgleich statt durch die alsdann in Agra 30% längere Sonnenscheindauer.

durch eine den Nordländer ganz gefangene paradisiach schöne Lage. Bei nach allen Seiten (außer gegen Nord) weit geöffnetem Horizont grüßen die mit ewigem Schnee bedeckten Bergriesen aus weiter Ferne und bedrücken nicht den an die Gebirgswelt nicht gewöhnten Flachländer; das in Ost, Süd und West sich ausbreitende Panorama von ungezählten, meist waldgeschmückten Hügeln und Seen berührt ihn wie ein Blick über die ganze Herrlichkeit der Gotteswelt; die Sicht auf den tief zu seinen Füßen ruhenden klaren, in allen Farben spielenden See kann nie schwindelerregend wirken, weil breite, langsam herabführende Terrassen dem Sanatorium vorgelagert sind. Die diese schmückende üppigste Flora von ungeahnter Farbenpracht, die lockenden Rebberge und der üppige Wald von Edelkastanien vervollständigen die Pracht der Landschaft und des Klimas des Südens. Dankbar zu sein sollte Deutschland nie aufhören den Männern, welche dies nach wohl einst ruhmreicher Geschichte einsam und verträumt, seitwärts des Weges gelegene, Paradies entdeckt und ausgebaut haben zu einem, zum einzigen Punkt, an dem jenseits der Alpen der schwergeprüfte Lungenkranke, insbesondere der die Peitsche des Hochgebirges nicht ertragende, in aufopfernder, sicherster ärztlicher Hut zu allen Jahreszeiten Hilfe suchen kann, und rein deutscher Geist sich mit südlicher Pracht vereint.

Im zweiten, dem physiologischen Teil sollen die hier auf Lufttemperatur bezogenen kalorischen und hygrischen Wirkungsgrößen auf den Menschen angewandt und damit die seine Aufnahmeorgane tatsächlich angreifenden klimatischen Kräfte in absolutem Maß der Kalorie und des Gewichts pro Flächen- und Zeiteinheit ausgedrückt werden, auf die er physiologisch zu reagieren gezwungen ist.

II. Physiologische Betrachtungen

Um nun die im vorausgegangenen Abschnitt auf Lufttemperatur bezogenen kalorischen und hygrischen Wirkungsgrößen auf den Menschen anzuwenden und damit die seine Aufnahmeorgane tatsächlich angreifenden klimatischen Kräfte in absolutem Maß der Kalorie und des Gewichts pro Flächen- und Zeiteinheit auszudrücken, bedarf es der Umrechnung auf die Temperatur und den Feuchtigkeitsgrad der aufnehmenden Organe, also des Respirationstraktus und der Oberhaut. Diese dürfen physikalisch als Gleichgewichtstemperaturen und Gleichgewichtsfeuchtigkeiten angesehen werden zwischen den Wärme und Feuchtigkeit entziehenden (in Extremfällen auch zuführenden) meteorologischen Faktoren

aller Art und den Wärme und Feuchtigkeit zuführenden (in Extremfällen auch entziehenden) physiologischen Regulatoren (Hautdurchblutung, Perspiration, oxydative Prozesse).

Mangels begleitender physiologischer Messungen der Kern- und Hauttemperaturen und des respiratorischen Gaswechsels müssen hier folgende Voraussetzungen gemacht werden:

1. Der Mensch hält seine Kerntemperatur konstant auf 36.5° C.
2. Er hält seine Wärmeproduktion konstant auf einer aus der Erfahrung gewonnenen Höhe. Hier wird als Beispiel ein gesunder Erwachsener betrachtet werden mit einer Wärmeproduktion von 0.590 cal/m² min.

3. Er reguliert seine Hauttemperaturen unter dem Einfluß der meteorologischen Elemente stets nach den von Vincent aufgestellten Formeln.
4. (In Ermangelung solcher zuverlässigen Formeln auch für den Feuchtigkeitsgrad der Haut.) Seine Oberhaut sei entweder trocken, ganz feucht, halb feucht oder $\frac{1}{5}$ feucht.

Es wird also gewissermaßen ein Normaltyp eines gesunden Menschen betrachtet unter dem Einfluß physikalisch-meteorologischer Kräfte. Es wird zunächst vorausgesetzt, daß er auf diese jederzeit und an jedem Ort gleich reagiert und es wird davon abgesehen, daß es auch noch andere als die bisher betrachteten physikalisch-meteorologischen Kräfte gibt, welche sich auch physiologisch auswirken können, etwa Luftverdünnung und Lufterlektrizität.

Wir stützen uns in diesem ganzen Abschnitt auf die monatlichen Terminmittel ($7\frac{1}{2}$, $13\frac{1}{2}$, $21\frac{1}{2}^h$), Maxima und Minima allein der dreijährigen Periode 1930—1932 (vgl. S. 6). Die Durchrechnung aller einzelnen Terminwerte je eines Winter- und Sommermonats (Januar 1931 und Juni 1932) hat bewiesen, daß man mit den monatlichen Terminmitteln genügend sicher zum Ziel kommt.

Wasser- und Wärmeabgabe des Respirationstraktus (Tabelle 36 bis 38)

Der Wasserentzug ist in Gramm/Min. gegeben durch die physiologische Sättigungsdefizit, d. h. durch die Differenz zwischen bei der Temperatur und dem Sättigungsgrad der Ausatemluft¹⁾ (34.8° , 95%) im Liter möglicher und in der eingeatmeten Luft vorhandener Wasserdampfmenge bei Zugrundelegung eines Atemvolumens von 6 Liter pro Minute bei ruhiger Atmung. Erstere beträgt pro Liter stets 39.53 mg, letztere ist monatweise für die drei Tagestermine, Maxima und Minima, gegeben durch eine für die Periode 1930—1932 analog Tabelle 6 aufgestellte Tabelle, wofern man die Zahlen als Milligramm Wasserdampf deutet. Tabelle 36 enthält den an den drei Tagesterminen jedes Monats durchschnittlich zu erwartenden Wasserverlust (in Gramm pro Minute) sowie die Tagesmittel, monatlichen Maxima und Minima. Die Tagesschwankungen sind in allen Jahreszeiten sehr gering, nur ein wenig lebhafter ist die Wasserabgabe am frühen Morgen als zu den anderen Tageszeiten; ziemlich beträchtlich dagegen zeigen sich die Jahresschwankungen mit 27% des Mittelwertes in dem Sinne, daß im Sommer am wenigsten, im Winter am meisten vom Respirationstraktus (alias der Lunge) verdunstet. Dies steht in krassestem Gegensatz zu dem, was wir in gebräuchlichem meteorologischen Maß auf S. 31 (Tabelle 33 bis 34) für die tote Natur, die Luft, gefunden haben und ist ein Beispiel par excellence dafür, zu welchen Fehlschlüssen die meteorologischen Daten in Hinsicht ihrer Wirkungen auf einen Körper mit Eigentemperatur ohne Umrechnung führen

können, ähnlich wie beispielsweise eine relative Feuchtigkeit von 100% für 0° Lufttemperatur nur 50% für eine etwa durch Strahlung auf 10° C erwärmte Wand und nur 10% für den Menschen mit seiner Körpertemperatur von 36.5° C bedeutet.

Im dem Winter ähnlichen Frühjahr ist der Wasserverlust durch die Lunge größer als im dem Sommer ähnlichen Herbst. Die Maxima und Minima weisen denselben Jahresgang auf wie die Mittel, die Extreme schwanken im Sommer ungleich mehr als im Winter und maximal von 0.130 zu 0.229, also 50% um den Mittelwert von 0.193. Es finden sich, wenn auch nur äußerst selten, in den drei Sommermonaten sowohl des mittags wie des abends Verhältnisse, unter denen die Wasserdampfabgabe das Maß um ein klein wenig (Spalte 7 der Tabelle 36) unterschreitet, welches nötig ist, um das Auftreten des Schwülegefühls zu verhindern. Die Grenze hierfür liegt bei 0.139 g/min nach der Lancaster-Castensschen Schwülekurve, vorausgesetzt, daß die durch die Lungen erfolgende Wasserdampf-abgabe das Auftreten des Schwülegefühls allein bestimmt. H. Ruge¹⁾ errechnet auf Grund ein wenig abweichender Zahlen 0.135. In diesen seltenen Fällen folgt dann aber auch ausnahmslos sogleich das erlösende Gewitter, wie die Durchsicht der Einzelwerte lehrt.

Der Wärmeaustausch ist recht genau berechenbar aus der Differenz des Wärmehalts der ein- und ausgeatmeten Luft, gegeben durch das Produkt ihres Grammgewichts $\times \frac{\text{spezifische Wärme} \left(\frac{241}{1000}\right)}{1000} \times \text{Äquivalenttemperatur } (t + 2.2 e)^2$. Das jeweilige Gewicht eines Liters Luft ergibt sich aus Mariotte-Gay Lussacs Grundgesetz $p \cdot v = p_0 \cdot v_0 (1 + \alpha t)$ und dem bei 0° und 760 mm Druck bekannten Luftgewicht = 1.2928 g pro Liter; einheitlich wurde $p = 712.5$, dem mittleren Luftdruck Agras, angenommen. Die Äquivalenttemperatur der eingeatmeten Luft wurde für die Periode 1930—1932 analog Tabelle 10 für die drei Beobachtungstermine, ihre Mittel, Maxima und Minima, berechnet; die Äquivalenttemperatur der ausgeatmeten Luft (34.8° , 95%) beträgt stets 121.7; ihr Gewicht ist um den Betrag des ausgeatmeten Wasserdampfes (Tabelle 36) größer als das der eingeatmeten Luft. Wiederum wurde ein Atemvolumen von 6 Liter pro Minute bei ruhiger Atmung angenommen. So ergaben sich als Mittel der drei Jahre 1930—1932 die in Tabelle 37 zusammengestellten Wärmeverluste durch Atmung in g · cal/min für die drei Beobachtungstermine, ihre Mittel, Maxima und Minima.

Auch die Wärmeverluste durch Atmung schwanken während des ganzen Jahres im Tageslaufe nur wenig; regelmäßig sind sie mittags am kleinsten, morgens am größten. Recht groß (46% um den Mittelwert) sind dagegen die Schwankungen vom Sommerminimum

¹⁾ H. von Diringshofen, Zeitschr. f. Hyg. 112, 2, 222—241, 1931.

¹⁾ Marine-Medizinalabteilung d. Reichswehrministeriums, Berlin 1932, Heft 22.

²⁾ Siehe S. 7.

zum Wintermaximum; Frühjahr stellt wiederum größere Ansprüche als Herbst. Wärme- und Wasserverlust durch Atmung laufen also, wie zu erwarten war, gleichsinnig, doch variiert der erstere erheblich mehr. Dasselbe gilt auch von den Extremwerten (Spalte 6 und 7 der Tabelle 37); bei dem der Mittelwerte gleichem Jahresgang schwanken sie maximal von 88 zu 208, also 80% um das Mittel von 153.

Interessant gestaltet sich der Vergleich mit den zur Mittagszeit herrschenden Verhältnissen auf dem gut 1000 m höheren Monte Generoso (Tabelle 38). Der Wasserentzug durch Atmung ist auf dem Gipfel stets nicht unwesentlich höher als in Agra, die Differenzen werden kleiner von der warmen zur kalten Jahreszeit; ähnlich verhält sich der Wärmeentzug, nur kehrt er in den Hochwintermonaten sogar um, d. h. die Gipfelstation stellt dann etwas geringeren Wärmeanspruch. In Wirklichkeit wird es anders sein, denn die physiologische Regulation setzt ein, das Atemvolumen vergrößert sich mit Aufstieg in die Höhe, und damit wächst Wasser- und Wärmeanspruch. Doch wir befassen uns hier nicht mit den physiologischen Reaktionen, sondern mit den klimatischen physikalischen Ansprüchen, welche die physiologische Reaktion auslösen. Die Unterschiede zwischen Agra und Lugano sind gering, aber doch deutlich in dem Sinne, daß Agra sich milder zeigt.

Einen Mangel stellt bei diesen Berechnungen, was nicht verheimlicht sei, die einheitliche Annahme von 34,8° C und 95% Sättigung für die Ausatemungsluft dar. Mangels anderer Unterlagen mußte dieser Ausweg gewählt werden. Es ist jedoch als sicher anzunehmen, daß bei lange anhaltender Einatmung kalter oder sehr trockener Luft dieser Mittelwert stark unterschritten wird und alsdann die Wärme- und Wasserabgabe im Winter geringer als errechnet ausfällt, wofür nicht wiederum durch Änderung des Atemvolumens physiologisch eine Kompensation eintritt.

Ob für minutiöse Untersuchungen dieser Art das Atempsychochrometer *Loewy* und *v. Diringshofens*, l. c., genügt, oder nach *Schmidt* und *Kairies*¹⁾ eine Thermotopographie im Munde vor und nach der Exposition nötig wird, muß die Erfahrung lehren. Die Fähigkeit und Zeit zur Wiedergewinnung der Ausgangstemperatur war letzteren ein sicheres Maß zur Bestimmung des Abhärtegrades, denn der Unabgehärtete stellt die Temperatur in langsamem bzw. sehr langsamem regelmäßigen Anstieg wieder her, d. h. er reagiert physikalisch, der Abgehärtete aber reagiert stoßweise, d. h. physiologisch; dazu zeigt der erstere bei Fußabkühlung als Reflexwirkung ein sofortiges Absinken der Gaumentemperatur, welche beim letzteren ausbleibt, — eine klinisch leicht ausführbare Prüfung der Kurfortschritte.

Wasser- und Wärmeabgabe der Oberhaut

(Tabelle 39 bis 41)

Nicht gleich sicher gelingt die Bestimmung der klimatischen Wasser- und Wärmeansprüche an die Oberhaut.

¹⁾ Entstehung von Erkältungskrankheiten; Fischer 1932.

Die Wasserabgabe (Verdunstung, Austrocknung) hängt ab von der Größe und Gestaltung der verdunstenden feuchten Fläche und von ihrer Temperatur. Auf S. 29 ist erörtert, daß und weshalb *Knoches* Formel für die Austrocknungsgröße geeignet ist zur Anwendung auf die in der belebten Natur herrschenden Größenverhältnisse, somit auch auf den Menschen. Als Voraussetzung der nachfolgenden Rechnungen gilt, wie für alle Verdunstungswerte, auch des meteorologischen Abschnitts (S. 28—29), daß nur „freies“, also nicht chemisch oder hygroskopisch gebundenes Wasser verdunstet. Die Temperatur der Oberhaut müßte, streng genommen, in jedem Einzelfalle an einer großen Zahl von Stellen gemessen werden, wie es *Francis G. Benedict*¹⁾ sehr sorgsam getan hat. Jüngst ist es *Pfleiderer* und *Büttner*²⁾ gelungen, die von mir seit vielen Jahren als notwendig und erfüllbar hingestellte Aufgabe zu lösen, nämlich die Mitteltemperatur der maßgebenden Oberfläche des mit Ausnahme des Unterleibes nackten liegenden Menschen aus nur neun über den Körper verteilten Meßstellen nach Maßgabe der Flächenbedeutung der betreffenden Areale abzuleiten. Die neun Hautstellen und die Faktoren für die einzelnen Hauttemperaturen lauten:

Stirn	0.12×	Hauttemperatur
Brust	0.18×	„
Epigastrium	0.16×	„
Oberarm	0.08×	„
Unterarm	0.06×	„
Handrücken	0.03×	„
Oberschenkel	0.18×	„
Unterschenkel	0.14×	„
Fußrücken	0.05×	„

Summe = mittlere Hauttemperatur.

Hiermit ist die Grundlage gelegt für exakte klimatische Studien des Wärme- und Wasserhaushalts und der Energiebilanz des Menschen.

Bei unseren Übersichtsrechnungen müssen wir uns hier mangels begleitender Hauttemperaturmessungen und unter Berücksichtigung nicht des nackten, sondern des zweckmäßig bekleideten Menschen mit *Vincent's* Formel begnügen, laut Voraussetzung 3 auf S. 37. Unter Schattenverhältnissen, die wir zunächst betrachten, gilt daher

$$P = 30.1 + 0.21 - v(4.12 - 0.13 t),$$

P = Hauttemperatur in Celsiusgraden, t = Lufttemperatur in Celsiusgraden, v = Windgeschwindigkeit in m/sec. In Tabelle 39 sind die so errechneten Temperaturen der Oberhaut für die drei Termine sowie ihre Mittel, Maxima und Minima aufgeführt. Sie bleiben sich im Tageslauf sehr ähnlich und schwanken im Jahreslauf 19% um den Mittelwert. Im Winter und Früh-

¹⁾ *Leopoldina*, Amerikaband. 4, 129—145, 1929. Quelle & Meyer.

²⁾ *H. Pfeiderer*, Studien über den Wärmehaushalt des Menschen. *Zeitschr. f. d. ges. exper. Med.* 90, 245—296, 1933; *K. Büttner*, *Verh. d. Deutsch. Ges. f. inn. Med.*, 45. Kongreß Wiesbaden 1933, S. 369—372.

frühjahr finden sich die niedrigsten, im Hochsommer die höchsten Werte. Dasselbe besagen die Extremwerte, deren niedrigste, bei Kombination von kräftigem Wind mit niedriger Temperatur gefundene, als richtig bezweifelt werden können, denn bei derartigen Extremen versagt wohl die Formel.

Eine Umrechnung der auf Lufttemperatur bezogenen Tabellen 33a bis 33b auf die Hauttemperaturen der Tabelle 39 erbringt nun die in Tabelle 40 gesammelten monatlichen Termin-, Mittel-, Maximal- und Minimalwerte der Austrocknungsgröße (Verdunstung) unter a) in *Knoches* Maß (siehe S. 29—30) und unter b) in Millimeter/24 Stunden. Nach *Knoches* in der Fußnote¹⁾ gegebenen bioklimatischen Klassifikation fallen sämtliche Termin- und Mittelwerte in die Stufen „normalfeucht“ und „ziemlich trocken“, nur in den Mittagsstunden des Dezembers wird es „trocken“. Die Extreme (Spalte 6 und 7 der Tabelle 40) spielen im Dezember eben noch in die Klasse „sehr trocken“ und im Sommer in die Klasse „ziemlich feucht“ hinein. Also auch bioklimatisch erweisen sich die Feuchtigkeitsverhältnisse Agras als denkbar günstigst, nicht monoton, aber in mäßigen Grenzen stimulierend schwankend, und auch für die Oberhaut ist, gleichwie für die Lunge (S. 37), der Wasseranspruch im Winter größer als im Sommer, im strikten Gegensatz zu den Verdunstungsverhältnissen für die tote Natur (S. 31, Tabelle 33 bis 34).

Wollte sich ein Erwachsener normaler Größe in unbedecktem Zustande diesen wasserentziehenden Kräften aussetzen, so würde er, falls er rein physikalisch reagiert und physiologische Abwehrmittel nicht aufzubringen vermöchte, laut Tabelle 40c im Durchschnitt 20.4 g Wasser in der Minute, also täglich 29.4 kg Wasser durch die Oberhaut verlieren.

Ein Mann von 75 kg Körpergewicht und 165 cm Höhe besitzt nach der Formel *Dubois-Reynolds*

$$A = W^{0.425} \times H^{0.725} \times 0.00718$$

(A in Quadratmeter, W in Kilogramm, H in Zentimeter) 18240 cm² Oberfläche. Diese wird vom Winde nur zur Hälfte getroffen, denn die Leeseite bleibt windstill, wofern man sich die wenigen, auf sie übertretenden Luftbewegungen kompensiert denkt durch den Schutz, welchen die inneren Beinflächen sich gegenseitig und die inneren Armflächen dem Thorax bieten. So wird der Windfaktor, welcher in *Knoches* Formel (S. 30) bei im Jahresmittel 1.5 m/sec Windgeschwindigkeit 0.05419, bei Windstille aber 0.023 beträgt, also im ersteren Falle 2.356mal größer ist, für die ganze Oberfläche $\frac{2.356 + 1}{2} = 1.678$, d. h. um 1.404mal geringer als für

¹⁾

Bioklimatischer Zustand in bezug auf die Luftfeuchtigkeit	Stufe	Austrocknungs-wert
Außerordentlich und sehr feucht	I	0.00—0.10
Feucht	II	0.11—0.13
Ziemlich feucht	III	0.14—0.20
Normal feucht	IV	0.21—0.35
Ziemlich trocken	V	0.36—0.50
Trocken	VI	0.51—1.00
Sehr trocken	VII	1.01—2.00
Außerordentlich trocken	VIII	2.01—

Tabelle 40b angenommen (2.356). Die Zahlen der Tabelle 40b sind demnach zu multiplizieren mit $\frac{18240}{1.404 \times 1440 \times 10} = 0.9022$, um die Millimeter pro 24-Stundenwerte in Gramm pro Minutenwerte für 18240 cm² Oberfläche überzuführen.

Unter den extremen Verhältnissen des Assuaner Wüstenwinters errechneten sich 48.8 kg physikalischer Wasseranspruch pro Tag, und diese wurden nach physiologischen Messungen auf 5% herabgedrückt durch Kleidung, Windschutz und vor allem natürlich durch physiologische Regulation. Nehmen wir nach *Tabulae biologicae* III, S. 491, das Verhältnis der Wasserabgabe durch Haut und Lunge (für ein gemäßigtes Klima) zu 3.4 an, so finden wir (bei im Jahresmittel 0.193 g/min Wasserdampf-abgabe durch Atmung laut Tabelle 36) für Agra eine mittlere Wasserdampf-abgabe durch die Haut von 0.659 g/min = 0.948 kg/Tag oder nur 3.2% des Wasseranspruchs von 29.4 kg/Tag. Der Wasseranspruch an die Haut ist laut Tabelle 40a im Winter 1.247mal größer, im Sommer 0.772mal kleiner als im Jahresmittel. Setzen wir den Fall, die Haut gäbe konstant nur 3.2% des Wasseranspruchs ab, so würde sie im Jahresmittel zu 26.2%, im Sommer zu 34.5%, im Winter zu 15.5% feucht gesättigt sein¹⁾. Wollten wir aber voraussetzen, die Haut bemühe sich, durch physiologische Reaktion die Wasserdampf-abgabe unter allen atmosphärischen Einflüssen stets auf 0.659 g/min (wie oben) zu erhalten, so führt eine in gleicher Weise wie unten (unter gesicherterer Annahme konstanter Wärmeproduktion bekannter Größe) für die Beziehung zwischen Wärmeabgabe durch die Haut und Hauttemperatur gezeichnete Kurve zu folgenden Verhältnis-zahlen zwischen physikalischer und physiologischer Wasserabgabe durch die Haut.

Hauttemperatur in °C	Physiologische Reaktion in Prozenten des physikalischen Anspruchs	Relativ
33.0	4.67	1.85
32.0	4.11	1.63
31.0	3.64	1.44
30.0	3.29	1.30
29.7	3.20	1.27
29.0	2.99	1.18
28.0	2.74	1.08
27.0	2.53	1.00

Die sehr viel geringeren Prozente als bei der Wärmeabgabe (Tabelle S. 40) erklären sich durch die Bezugnahme auf den nackten Menschen bei der Perspiration, auf den bekleideten bei der Wärmeabgabe. Auf diese kleine Tabelle wird auf S. 41 zurückgekommen.

Auch die Wärmeabgabe eines jeden Körpers hängt ab von der Größe, Gestalt, Beschaffenheit und Temperatur seiner Oberfläche, dazu von seinem Volumen, spezifischen Gewicht, seiner spezifischen Wärme und inneren und äußeren Wärmeleitfähigkeit. Die geschlossene Faust, auf deren Daumenballen sich *Vincentis*

¹⁾ Nämlich für das Jahresmittel bei 29.7° Hauttemperatur 31.02 (Wasserdampfgehalt bei gesättigter Luft) — 7.42 (abs. F.) = 23.6, wovon 3.2% = 0.75, 0.75 = 8.12 — 7.42 und 8.12 = 26.2% von 31.02.

Temperaturformel bezieht, ähnelt in Form und Größe der Frigorimeterkugel, zufällig ist auch das Produkt spezifisches Gewicht mal spezifischer Wärme für sie und die Kugel gleich groß¹⁾, sie hat auch etwa die gleiche Glätte, und ihr Strahlungsvermögen ist für langwellige Strahlung (im Schatten) auch gleich dem des schwarzen Körpers, also auch der Frigorimeterkugel. Daher wird auch die (sehr entscheidende) äußere Leitfähigkeit, der Ventilationsfaktor, etwa dieselbe sein, und das Frigorimeter würde daher unmittelbar den Wärmeverlust der Haut in Millical/cm²sec melden, wofern seine Temperatur auf Hauttemperatur, statt — wie üblich — auf 36.5° einreguliert wird (bzw. wenn man die bei 36.5° registrierten Werte nach Newtons Formel

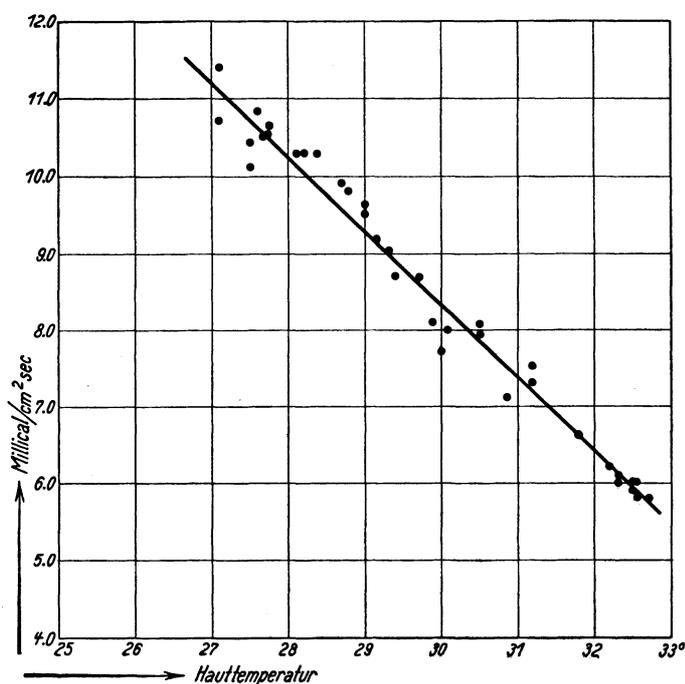


Abb. 8. Beziehung zwischen Hauttemperatur und Abkühlungsgrößen (trocken) bei Hauttemperatur

auf Hauttemperatur umrechnet), wofern das abkühlende Volumen in beiden Fällen dasselbe wäre. Dies ist nun aber keineswegs der Fall, und ein prinzipieller Gegensatz besteht darin, daß sich bei der Haut das abkühlende Volumen jederzeit schnell zu ändern vermag in Anpassung an die ihr Wärme entziehenden (oder auch zuführenden) äußeren Faktoren (kalorisch-meteorologische Elemente aller Art, einschließlich Strahlung) mittels der Vasomotoren und der „aktiven Autonomie“ der Hautkapillaren“, während die Temperatur der Frigorimeterkugel auf einer konstanten Höhe (üblicherweise 36.5° C) verbleibt. Ordnen wir (Abb. 8) in einem rechtwinkligen Koordinatensystem den Hauttemperaturen der Tabelle 39 die zugehörigen, auf die Hauttemperatur umgerechneten Abkühlungswerte der trockenen Kugel (Tabelle 41)

¹⁾ Es sei verwiesen auf S. 40—41 der „Assuanstudie“, I. c., wo sich die hier sehr knapp gegebenen Daten ausführlich und zahlenmäßig belegt finden.

zu, und nehmen wir, wie in dem vorausgegangenen Abschnitt, mit Vincent die Hauttemperatur des Daumenballens für die ganze Hautoberfläche unter der Voraussetzung „geeigneter Kleidung“ als gültig an, so sagt uns die entstehende Kurve:

1. die Temperaturen der Oberhaut fallen zwischen 33 und 27° recht regelmäßig mit zunehmender physikalischer Abkühlungsgröße,
2. solange nach Voraussetzung 2. auf S. 36 die Wärmeproduktion und damit auch die Wärmeabgabe durch die Haut die gleiche bleibt (denn die Variation der Wärmeabgabe durch Atmung ist demgegenüber zu vernachlässigen), nimmt das Verhältnis der Wärmeabgabe der Frigorimeterkugel (physikalische Abkühlungsgröße) zur Wärmeabgabe der Oberhaut (physiologische Abkühlungsgröße) mit wachsender physikalischer Abkühlungsgröße (zunehmendem Kälteanspruch) dauernd zu,
3. dies erklärt sich durch die wechselnde Blutzufuhr zur Haut, unter welcher Blutmenge und -strömungsgeschwindigkeit, Änderung der Blutzusammensetzung, der Permeabilität, des Lymphstromes, nicht aber insensible oder Schweißsekretion verstanden ist.

Setzen wir nun mangels begleitender Gaswechseluntersuchungen gesicherte Mittelwerte ein und nehmen für einen Erwachsenen den Erhaltungsumsatz mit 120 cm³ O₂-Verbrauch pro Minute und Quadratmeter Oberfläche an für 14 Stunden Ruhe, und 25% mehr für 10 Stunden ruhiger Tätigkeit, d. h. im Mittel 0.1325 Liter O₂-Verbrauch mal 5 gleich 0.662 cal/m² min Wärmeproduktion. Dies führt unter Berücksichtigung der Wärmeabgabe durch die Lunge in Höhe von 0.0839 cal/m² min (nämlich laut Tabelle 37 0.153 für einen Erwachsenen von 1.824 m² Oberfläche) zu einer Wärmeabgabe von 0.5781 cal/m² min = 0.9635 Millical/cm²sec durch die Oberhaut. Stellen wir dieser konstanten Wärmeabgabe der Haut von 0.9635 die Wärmeabgabe des Frigorimeters bei verschiedenen Hauttemperaturen gegenüber, so finden wir aus der Kurve Abb. 8 folgende Beziehungen zwischen physikalischer (Kugel-) und physiologischer (Haut-) Abkühlungsgröße:

Hauttemperatur in °C	Wärmeabgabe Haut Milli-cal/cm ² sec	Wärmeabgabe Kugel Milli-cal/cm ² sec	Verhältnis Kugel zu Haut	Physiologische Reaktion in Prozenten des physikalischen Anspruchs	Relativ	
					Abkühlung	Per-spiration laut Seite 39
33	0.9635	5.40	5.61	17.80	2.06	1.85
32	0.9635	6.40	6.64	15.10	1.75	1.63
31	0.9635	7.35	7.63	13.10	1.52	1.44
30	0.9635	8.28	8.59	11.60	1.34	1.30
29	0.9635	9.23	9.58	10.40	1.20	1.18
28	0.9635	10.20	10.59	9.44	1.09	1.08
27	0.9635	11.15	11.57	8.64	1.00	1.00

Bei der mittleren Hauttemperatur von 30° gibt also die Haut nur 1/8.59 = etwa 12% soviel Wärme ab wie die Frigorimeterkugel, bei 33° 1/5.61 = etwa 18%, bei 27° nur 1/11.57 = etwa 9%, und dies besagt (da nach obigem hinsichtlich Abkühlungsgröße der Frigorimeterkugel und der Faust nur das abkühlende Volumen differiert): Die Haut ist bei 33° Hauttemperatur doppelt so stark durchblutet wie bei 27° (durchblutet = vereinfachter Ausdruck in obigem Sinne).

Diese kleine Tabelle ist für eine praktische Anwendung geeignet. Hat man die Hauttemperatur des Daumenballens gemessen, so genügt die Einregulierung des Frigorimeters auf ihre Temperatur, um im gewohnten Verfahren die Abkühlungsgröße bei Hauttemperatur unmittelbar zu erhalten. Fällt diese niedriger aus als nach Spalte 3 zu erwarten, so läßt die Wärmeregulation zu wünschen übrig, sei es infolge zu geringer Hautdurchblutung oder zu starker Perspiration (zu feuchter Haut), und geringere Dosierung der Freiluftkur bzw. stärkere künstliche Bewärmung durch Kleidung erscheint angebracht. Den Grad der „Abhärtung“, den Allgemeinerfolg der Kur zu kontrollieren, ist auf diese Weise Gelegenheit gegeben. Hat man nur den neueren, robusteren Frigorimetertyp zur Hand, welcher unregulierbar einheitlich bei 37° registriert, so bedarf es der Umrechnung des erhaltenen Wertes durch Division mit

$$37^{\circ} - \text{Lufttemperatur}$$

Hauttemperatur – Lufttemperatur

Eine weitere interessante und praktische Gebrauch dienliche Angabe macht die Tabelle: Unter Agreser mittleren Schattenverhältnissen entspricht laut Spalte 1 und 3 eine Zuführung von 0.96 Millical/cm²sec zur Frigorimeterkugel einer Erhöhung der Temperatur der normal funktionierenden Haut um 1°. Eine fast gleiche Energiezufuhr (0.951 Millical/cm²sec) erhöht auch die Temperatur der Frigorimeterkugel um 1°. Daher entspricht mit genügender Genauigkeit im ganzen (außer in Extremfällen) in Agra vorkommenden Bereich eine Änderung der Kugeltemperatur von 1° einer solchen der Haut von 1°. Bei *Pfleiderer* und *Büttner*s, in der Praxis bewährten Abkühlungsmesser ist eine Temperaturänderung der Kugel von 2° bei mittleren meteorologischen Verhältnissen äquivalent einer solchen der Haut von gut 1°.

Der obigen kleinen Tabelle sind nun in den letzten beiden Spalten noch hinzugefügt die Verhältnisse, in welchen bei Abkühlung und bei Perspiration die physiologische Regulation mit steigender Hauttemperatur den angreifenden physikalischen Kräften mehr und mehr Zutritt gestattet bzw. umgekehrt, in denen sie bei fallender Hauttemperatur das Innere des Organismus schützt. Es ist doch erstaunlich, wie weit die Regulationsmechanismen der Hautdurchblutung und der Perspiration einander parallel gehen, so daß sie sich weitgehend zu vertreten vermögen, und welcher sicheren Index für sie die Hauttemperatur beim Durchschnittsmenschen darzustellen scheint. Mit Streuungen wird

man natürlich stets zu rechnen haben wegen der großen individuellen Unterschiede der Eigenschaften des Integuments und der nervösen Erregbarkeit.

Rechnen wir die Wärmeabgabe durch die Lunge hinzu, so finden wir bei Vernachlässigung der wenigen durch Aufwärmung der Kost und durch Arbeit verbrauchten Prozente des totalen Wärmeumsatzes folgende Regel für die Relation zwischen totaler Wärmeabgabe (= Wärmeproduktion) und physikalischer Abkühlungsgröße: Die totale Wärmeabgabe eines gesunden Erwachsenen normaler Größe und normalen Gewichts in Agra beim Aufenthalt im Schatten ist in Millicalorien pro Quadratzentimeter Oberfläche und Sekunde gegeben

unter mittleren Verhältnissen durch	12.8%,
unter Sommerverhältnissen durch	17.5%,
unter Winterverhältnissen durch	11.0%

der physikalischen (vom Frigorimeter bei Hauttemperatur gemeldeten) Abkühlungsgröße.

Die totale Wärmeproduktion in kg cal/Tag beträgt das $\frac{18240 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24}{1000 \cdot 1000} = 1572$ fache der so erhaltenen

Zahlen.

Voraussetzung ist, wie wiederholt sei, daß keine physiologischen Reaktionen regulierend eingreifen durch oxydative Prozesse (Gaswechseländerung).

Begibt man sich nun aus dem Schatten in die Sonne, so erhöhen sich die Hauttemperaturen nach *Vincent*s Formel

$$P = 26.5 + 0.3 t - 1.2 v + 0.2 \delta$$

(t = Lufttemperatur in Celsiusgraden, v = Windgeschwindigkeit in m/sec, δ = Übertemperatur des Schwarzkugelthermometers über Lufttemperatur) und die Abkühlungsgrößen bei feuchter, $\frac{1}{2}$ feuchter und $\frac{1}{5}$ feuchter Haut entsprechend *Robitzsch*s Formel (S. 29, Tabelle 32). Für insgesamt 40 Tage aus den Monaten Mai, Juni, Juli, August der Jahre 1926, 1927 liegen die nötigen Daten vor, und aus ihnen sind die mittäglichen Hauttemperaturen im Mittel zu 37.5° (schwankend zwischen 35.6 und im Extremfalle, in dem *Vincent*s Formel versagt, 39.5) berechnet und den feuchten, $\frac{1}{2}$ feuchten und $\frac{1}{5}$ feuchten Abkühlungsgrößen in einem Koordinatensystem in gleicher Weise wie in Abb. 8 zugeordnet worden (hier aus Raumbeschränkungsgründen nicht tabelliert und abgebildet). Es ergibt sich, daß für eine total feuchte Haut noch etwas höhere Abkühlungswerte gelten als die in Spalte 5 der Tabelle 32 aufgeführten (nämlich im Mittel 49.7, gegenüber 43.8 für Mai/August), für eine $\frac{1}{2}$ feuchte Haut aber niedrigere als laut Spalte 15 der Tabelle 32 (nämlich im Mittel 16.7 gegenüber 20.9), und daß die Verlängerung der in Abb. 8 für trockene Haut gezeichneten Geraden zwischen den für $\frac{1}{5}$ feucht und $\frac{1}{2}$ feucht sich ergebenden verläuft, und zwar näher der $\frac{1}{5}$ feucht-Kurve, so daß man unter der wohl berechtigten Voraussetzung, die Haut betätige ihre physiologische Reaktion dahin, daß sie auch in der Sonne von den ihr gebotenen totalen kalorischen Größen nur den ihr unter Schattenverhältnissen konvenierenden Anteil aufnimmt, schließen

möchte, sie halte in der Sonne ihren mittleren Feuchtigkeitsgrad auf gut 30%. Die analogen Rechnungen für die extremen winterlichen Assuaner Wüstenverhältnisse ergaben 15%, *M. Hirsch*¹⁾ rechnet für Behaglichkeitsgefühl im Zimmer (also ohne Luftbewegung) mit 40%, nach *H. Boruttau* hätte man unter Zimmerverhältnissen mit 72% abzüglich chemisch gebundener 25.4% (laut *L. Hill*) mit 46.6% zu rechnen. Es ist bemerkenswert und schwerlich ein Zufall, daß der hier aus der Abkühlungsgröße für den Feuchtigkeitsgrad der Haut abgeleitete Wert von „gut 30%“ nahe liegt dem auf S. 39 aus der Austrocknungsgröße für den Sommer errechneten von 34.5%.

Die Haut paßt sich hiernach mit ihrer Wasser- und Wärmeabgabe durch Einschränkung der Perspiration bzw. durch Drosselung der Hautdurchblutung dauernd den Umweltsbedingungen an und scheint nach der „Assuanstudie“ S. 44 und nach *Loewy* und *Uhlmanns*²⁾ jüngsten Untersuchungen im geheizten Hochgebirgszimmer unter Extrembedingungen, gleichzeitig der Trockenheit und der Wärme, vor allem den Wasserbestand des Organismus zu schützen, und zu diesem Zweck die Wasserabgabe bei weiter zunehmender Wärme einzuschränken und eine Aufwärmung in den Kauf zu nehmen. Die Oberhaut stellt nicht nur das größte, sondern auch ein sehr weises Organ dar. Die Bedeutung seiner von den klimatischen Reizen stark beeinflussbaren Innensekretion (Produktion spezifischer Abwehrstoffe seitens der Parenchymzellen) für die Tuberkulose hat *A. Jesionek* gelehrt, schwerlich wird sie auf diese eine Krankheit beschränkt sein. Die große Wichtigkeit von Hautfeuchtigkeitsmessungen (neben Hauttemperaturmessungen) erhellt hieraus wohl zur Genüge; nur mikroanalytisch werden die zu stellenden Anforderungen zu erfüllen sein, sei es auf dem in der „Assuanstudie“, S. 38 vorgeschlagenen Wege oder dem von *K. Büttner* (l. c.) beschrittenen, der Bestimmung des Feuchtigkeitsübergangskoeffizienten nach der *Prandtl'schen* Grenzschichttheorie.

Die Tatsache, daß die Außenhaut des gesunden Menschen vorweg ihren Feuchtigkeitsgrad den Umweltfaktoren anzupassen scheint, erklärt auch, daß nach empirischem Befund die Angaben der trockenen Frigorimeterkugel in weiten Grenzen dem Gefühl entsprechen (vgl. die auf der trockenen Abkühlungsgröße aufgebaute Empfindungsskala, S. 27). Wie aber, wenn emotionell, pharmakologisch oder pathologisch die Haut zu feucht, ja total feucht wird? Alsdann tritt tatsächlich bis zum vierfachen gesteigerter (Tabelle 32, Spalte 8 bis 11) Wärmeentzug ein, und Erkältung wird die Folge sein, wenn nicht rechtzeitig für Bekleidungs- oder Deckenschutz gesorgt wird.

*A. Goldscheider*³⁾ hat jüngst das Verhältnis der physikalischen zu den anderen Formen der inneren

Medizin behandelt und dabei auf die große Bedeutung der Körperoberfläche als vorzugsweisem Angriff hingewiesen, welche durch ihren Reichtum an reizbaren Nervenendigungen die empfangenen Reize auf das gesamte cerebrospinale und vegetative Nervensystem und folglich auf den ganzen Körper überträgt. „Es handelt sich nicht nur um Reflexwirkungen auf die Muskulatur, sondern auf alle inneren Organe, die Blutgefäße, Drüsen, den Gewebestoffwechsel, das Ionenmilieu, die Blutzusammensetzung und die endokrinen Organe.“

Im Anschluß an die „Assuanstudie“ habe ich eine größere Zahl von Fragen aufgeworfen¹⁾ über die indirekten Folgen sehr großer Einschränkung von Wärmeabgabe und Wasserabgabe und damit großer Verschiebung des Blutstromes von der Peripherie zu den inneren Organen und reich veränderten Grades der Lungendurchblutung. Die bekannte Tatsache, daß Lungenkranke nach forcierten Liegekuren unter extremen Kälte- und Trockenheitsbedingungen am stärksten frieren nach ihrem Eintritt in das warme Zimmer, hat *H. Pfeleiderer* (l. c.) erklärt durch sehr verstärkten Afflux der Hautdurchblutung nach der Wiedererwärmung. In diesem Stadium kann — wie von ihm nachgewiesen — ein sicherlich unerwünschter rapider Sturz der Kerntemperatur mit recht unangenehmen subjektiven Empfindungen auftreten.

Neben den Wärme- (thermischen) und Trockenheits- (xerosischen) Reizen der Oberhaut treten die übrigen in der Klimaphysiologie außer unter Extremverhältnissen, die in Agra sicherlich nicht vorliegen, zurück. Der photochemische, durch Pigmentation der Haut mit all ihren vielseitigen indirekten Folgen ist proportional dem Reichtum der Sonnen- und Himmelsstrahlung an kurzwelligen ultravioletten Strahlen, welcher auf S. 22—25 behandelt worden ist; er steht den hochgebirgsklimatischen Verhältnissen weit näher als denen der Ebene. Umgekehrt werden bei nur 565 m Meereshöhe und 712.5 mm mittlerem Luftdruck die durch ungenügende Versorgung der Gewebe mit Sauerstoff im Hochgebirge ausgelösten fundamentalen Umstellungen fehlen. Über das Wesen, ja die Existenz luftelektrischer physiologischer Reize besteht noch wenig Klarheit; sie scheinen ja in Agra auszubleiben, wofern die Föhnwirkungen teilweise oder ganz auf ihnen beruhen, und das würde vielleicht zu erklären sein durch die auf S. 25 gefundene anormal große Leitfähigkeit der Luft, denn unter solchen Verhältnissen wird der menschliche Körper, oder richtiger die Anhängsel, vor allem die Haare, seiner Oberhaut und seine Kleidung größere Ladungen nicht annehmen (zumal auch die exorbitante Trockenheit des Hochgebirges und damit eine übergroße Trockenheit der Haut fehlt), und daher nicht zum Mitschwingen angeregt werden durch elektromagnetische Strahlungen, welche bei Wetterumschlägen als Folge atmosphärischer Störungen durch Ausgleich

¹⁾ Gesundheitsingenieur 53, S. H. 36, 1930.

²⁾ Zeitschr. f. d. ges. physik. Ther. 45, 183—196, 1933.

³⁾ Zeitschr. f. d. ges. physik. Ther. 44, 4, 147—176, 1933.

¹⁾ Schweizer. Med. Wochenschr. 62, 474—506, 1932.

oder Verlagerung hoher Potentiale an Aufgleit- und Einbruchflächen entstehen. Die Haarwurzeln reichen unter die Endigungen der sensiblen Nerven der Haut, könnten also sehr wohl Überträger solcher Reize sein¹⁾. So häufig nach einem Zusammenhang von Lufterktrizität und Föhnwirkungen gesucht worden ist, hat man merkwürdigerweise noch nie der Konstitution der Haut zur Föhnkrankheit Neigender Aufmerksamkeit geschenkt. Neben dieser Wirkung über das Nervensystem wird eine solche über das Blut für möglich gehalten, nachdem es *Fr. Dessauer*²⁾ und seinen Mitarbeitern gelungen ist, mittels unipolar negativ geladener Luft etliche quälende Krankheiten erfolgreich zu bekämpfen und nachzuweisen, daß unipolar positive Luft ungünstig wirkt. Vermöge ihrer elektrischen Ladung, vermöge adsorbierter Gase und eventuell auch pharmakologisch können Ionen zusammen mit dem Sauerstoff der Luft durch die Lungenalveolen zur Wirkung kommen. „Überlegt man, daß wir mit jedem Atemzug pro Kubikzentimeter 100 bis 50000 Schwebeteilchen einatmen, und daß davon unter Umständen ein beträchtlicher Teil zurückgehalten wird, so liegt die Vermutung nahe, daß im organischen Leben und insbesondere bei Lebewesen, die mit weit ausgebildeten Atmungsorganen ausgestattet sind, biologische Einflüsse dieser neu erschlossenen Geschehenswelt vorhanden sein können,“ schreibt *Dessauer*³⁾, nachdem er zuvor die ungeheure qualitative und quantitative Mannigfaltigkeit der Schwebeteilchen der Luft beleuchtet und ihre Größenvariation zu $1 : 10^{18}$ (d. h. von Hagelkorn- zu Kontinent- oder Mondgröße) festgestellt hat.

Noch auf zwei Punkte sei zum Schluß kurz hingewiesen:

1. Es ist der klimatologische Wert der Abkühlungsgröße angefochten worden mit dem Hinweis, daß bei ähnlichen Abkühlungsgrößen in Davos und Agra total verschiedene Vegetation an beiden Orten bestehe. Diesem Einwand war schon im voraus bei der ersten Publikation in *Meteorol. Zeitschr.* 1928 und später im *Bäder-Almanach* 15, 1930 begegnet: Nicht das Frigorimeter, sondern die

Phänologie läßt hier im Stich bei Beurteilung der Eignung eines Klimas für den Menschen mit seinem Selbstregulierungsvermögen der Eigentemperatur. Ferner: „Der Mensch hängt fast ausschließlich ab von den Wärme- und Wasserverhältnissen der Luft, die im Boden wurzelnde Pflanze aber in gleicher Weise von den Wärme- und Wasserverhältnissen der Luft und des Bodens, und diese gehen keineswegs immer parallel. Die größten Differenzen erbringt eine dicke, lang anhaltende trockene Schneedecke, wie sie im vorliegenden Vergleichsfall 5 Monate hindurch Davos besitzt.“

2. Immer wieder taucht der Einwand auf, das Klima wirke nur beim Aufenthalt im Freien, nicht im Zimmer (außer hinsichtlich des Luftdrucks). Dies trifft wirklich nicht zu, und ungezählten Besuchern habe ich als Beweis ein kleines Blatt dünnen Schreibpapiers mitgegeben, dessen Gefühl zwischen Daumen und Zeigefinger in der Davoser Höhe mit dem an ihrem Heimortort ich zu vergleichen bat. Einen exakten Beweis für die dauernde prompte Folge, insbesondere der Feuchtigkeit der Luft und aller Gegenstände (aber auch anderer meteorologischer Elemente) im Zimmer hinter den Wechsell in der Atmosphäre hat *Kurt Egloff*¹⁾ erbracht (indirekt durch lufterktrische Registrierungen war er schon 23 Jahre zuvor geliefert worden²⁾, und zwar, um Einwänden zu begegnen, nicht in einem modernen leichten Neubau, sondern in einem solidest gebauten, wohl reichlich 50 Jahre stehenden Davoser Sanatorium. Über den Austausch klimatischer Faktoren bei Häusern verschiedenen Mauermaterials und verschiedener Mauerkonstruktion hat *B. Tanaka*³⁾ in der südmandschurischen Hauptstadt Dairen sehr umfangreiche, wertvolle Untersuchungen durchgeführt. Das Thema ist akut und von größter Wichtigkeit wegen der Vielfältigkeit der heutzutage häufig nicht genügend geprüft auf den Markt kommenden Baumaterialien⁴⁾.

Nach diesen Abschweifungen sei zum Schluß noch einmal auf die S. 35—36 gegebene Zusammenfassung der rein klimatischen Untersuchungsergebnisse verwiesen.

¹⁾ Promotionsarbeit Zürich Nr. 766, 1933.

²⁾ Studie über Licht und Luft des Hochgebirges, Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn, 1911.

³⁾ *Keiô Igaku* XII, 1932, 8. August; XIII, 1933, 5. Mai und 8. August.

⁴⁾ *Haller, Stadler und Osswald*, Physik des Backsteins. Schweiz. Zieglersekretariat, 1934.

¹⁾ *Das Wetter* 44, 265—271, 1927; *Strahlentherapie* 42, 87—95, 1931.

²⁾ Zehnjahresband d. Instituts für physikalische Grundlagen der Medizin. Georg Thieme 1931.

³⁾ *Strahlentherapie* 47, 20, 1933.

Tabelle 1
Luftdruck (in Millimeter Quecksilber)

Monat	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel	Mittlere monatliche	
					Maxima	Minima
	700 +					
Januar	14.4	14.2	14.6	13.3	24.2	-0.7
Februar	12.0	11.9	12.2	12.4	22.4	0.0
März	11.6	11.4	11.7	11.2	22.0	-1.7
April	8.2	8.1	8.3	9.0	17.8	-1.3
Mai	11.2	11.9	12.0	12.5	18.8	3.8
Juni	13.1	12.8	12.9	13.0	19.0	6.0
Juli	13.6	13.2	13.2	13.6	18.8	6.8
August	14.0	13.8	13.8	13.8	19.2	7.0
September	13.9	13.8	14.0	14.2	20.6	5.3
Oktober	12.6	12.5	12.9	12.9	21.2	1.6
November	12.3	12.1	12.6	12.6	23.4	0.3
Dezember	13.1	13.0	13.3	12.6	22.6	4.4
Jahr	12.5	12.4	12.6	12.5	20.8	2.6

Tabelle 2
Lufttemperaturen (Celsiusgrade)

Monat	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel	Mittlere Tagesextreme		Mittlere Monatsextreme		Interdiurne Schwankungen		Zahl der Extremtage		Sommer- tage Max. > 25°	Tropen- tage Max. > 30°
					Max.	Min.	Max.	Min.	mitt- lere	maxi- male	Frost- tage Min. < 0°	Winter- tage Max. < 0°		
					Januar	2.5	5.4	3.3	3.6	7.1	1.5	13.9		
Februar	1.9	5.7	3.3	3.5	7.3	1.0	14.4	-3.3	1.6	5.1	9.2	1.2		
März	5.2	9.4	6.6	7.0	10.9	4.1	17.5	-0.6	1.5	4.7	3.5	0.0		
April	8.8	12.5	9.5	10.1	14.1	6.9	20.1	2.1	1.7	5.0	0.2			
Mai	13.9	17.7	14.3	15.1	19.5	11.4	25.4	5.7	1.9	5.7			1.4	
Juni	16.9	20.8	17.3	18.1	22.8	14.6	27.0	9.7	1.4	4.3			4.3	
Juli	18.8	22.9	19.4	20.2	24.3	16.5	28.4	12.2	1.4	4.9			11.2	0.6
August	18.5	22.6	19.3	20.0	24.0	16.7	28.4	12.2	1.2	3.9			9.5	
September	15.1	19.0	16.0	16.5	20.4	13.9	24.9	9.3	1.1	3.6			1.5	
Oktober	10.4	14.0	11.4	11.8	15.4	9.4	20.5	4.3	1.3	3.8			0.0	
November	6.1	8.9	6.8	7.2	10.6	5.1	16.6	0.5	1.3	4.6	1.0			
Dezember	3.2	5.9	4.0	4.3	7.7	2.1	14.5	-3.3	1.4	4.9	5.3	0.5		
Jahr	10.1	13.7	10.9	11.5	15.3	8.6	21.0	3.8	1.45	4.7	30	2	28	0.6

Tabelle 3
Vergleich¹⁾ der Lufttemperaturen (in Celsiusgraden) von Agra und anderen Orten

Ort	Meeres- höhe m	Jahres- mittel	Mittags- mittel ²⁾	Jahres- schwank- ung ³⁾	Tages- schwank- ung ⁴⁾	Mittags- schwank- ung ⁵⁾	Extremste Schwan- kung ⁶⁾	Mittlere interdiurne Schwan- kung	Zahl der Frosttage	Zahl der Sommer- tage
Agra	565	11.5	13.8	16.7	3.6	17.7	35.1	1.45	30.3	27.9
Lugano	276	11.5	15.5	19.2	6.4	20.9	38.3	1.38	52.7	65.1
Basel	280	9.3	12.3	18.7	5.2	19.6	43.1	1.79	66.2	37.6
Berlin	40	8.6	11.7	18.7	5.8	—	47.0	1.91	77.0	33.9
Davos	1560	2.7	8.1	19.1	5.8	20.2	45.6	1.93	195.0	0.8
Locarno	239	12.1	15.4	17.6	5.3	19.1	34.9	1.35		
Bellinzona	237	11.5	15.6	19.1	6.5	20.8	40.1	—		
Monte Bré	910	9.2	10.8	16.7	2.5	17.4	32.6	—		
Monte Generoso	1610	4.7	6.2	15.5	2.6	17.1	35.4	1.69		

¹⁾ Periode: Agra 1915—1931 (daher kleine Abweichungen gegenüber Tabelle 2), ebenso alle anderen Orte außer Berlin 1881—1910, Basel 1908—1927, Monte Generoso 1915—1918.

²⁾ Jahresmittel der Mittagswerte.

³⁾ Differenz der Mittel des wärmsten und kältesten Monats.

⁴⁾ Differenz von Mittagswert und Morgenwert im Jahresmittel.

⁵⁾ Differenz der Mittagswerte des wärmsten und kältesten Monats.

⁶⁾ Differenz der mittleren Jahresextreme.

Tabelle 4
Relative Feuchtigkeit (in Prozenten)

Monat	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel	Mittlere Tagesextreme		Mittlere Monatsextreme	
					Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Januar	65.8	59.1	65.7	63.5	94	27	96	23
Februar	70.6	59.5	68.0	66.0	92	34	97	26
März	71.9	57.9	68.6	66.1	95	27	99	22
April	69.0	56.9	66.9	64.4	94	28	97	22
Mai	73.0	62.5	72.1	69.2	96	32	98	27
Juni	71.1	62.0	71.4	68.1	93	41	98	32
Juli	69.7	61.0	70.8	66.9	90	41	97	34
August	72.4	61.9	71.2	68.5	93	36	98	31
September	79.5	66.9	78.5	75.0	94	42	98	30
Oktober	79.7	67.2	78.5	75.1	95	38	98	26
November	75.0	65.8	74.6	71.8	96	39	98	30
Dezember	68.4	61.9	67.8	66.0	95	27	98	22
Jahr	72.2	61.9	71.2	68.4	94	34	98	27

Tabelle 5
Vergleich¹⁾ der relativen Feuchtigkeiten (in Prozenten) von Agra und anderen Orten

Ort	Meeres- höhe m	Jahres- mittel	Mittags- mittel ²⁾	Jahres- schwankung ³⁾	Tages- schwankung ⁴⁾	Mittags- schwankung ⁵⁾	Jahres- minima	Absolute Minima
Agra	565	68	61.9	11.5	10.3	10.3	14.0	5
Lugano	276	65	53.0	11.0	20.0	11.6	13.8	5
Basel	280	78	67.0	17	21.0	26.0	26.0	20
Berlin	40	76	63.8	22	24.2	31.6	26.0	15
Davos	1560	77	59.0	10	28.0	16.0	24.4	19
Locarno	239	64	52.0	12.3	21.0	14.1	12.4	3
Bellinzona	237	65	50.0	11.9	24.0	9.2	15.2	7
Monte Generoso	1610	65	63.0	19.6	(4.0)	12.2	(4.0)	(0)

1) Siehe Anmerkung zu Tabelle 3.

2) Jahresmittel der Mittagswerte.

3) Differenz der Mittel des feuchtesten und trockensten Monats.

4) Differenz von Morgenwert und Mittagswert im Jahresmittel.

5) Differenz der Mittagswerte des feuchtesten und trockensten Monats.

Tabelle 6
Absolute Feuchtigkeit (Gramm/Kubikmeter)

Monat	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel	Mittlere monatliche	
					Maxima	Minima
Januar	3.45	3.81	3.67	3.64	5.79	1.40
Februar	3.62	3.96	3.85	3.81	5.64	1.65
März	4.76	5.02	4.98	4.92	7.37	1.45
April	5.73	6.06	5.85	5.88	8.96	2.30
Mai	8.54	9.33	8.72	8.87	14.57	3.43
Juni	10.20	11.27	10.51	10.66	16.66	5.64
Juli	11.31	12.69	11.90	11.96	17.44	4.51
August	11.34	12.51	11.74	11.86	17.86	4.20
September	10.04	10.82	10.56	10.48	15.49	4.07
Oktober	7.30	7.80	7.65	7.58	12.08	1.86
November	5.16	5.45	5.37	5.33	9.53	2.12
Dezember	3.80	4.13	3.97	3.97	7.84	1.11
Jahr	7.10	7.74	7.40	7.41	11.60	2.81

Tabelle 7

Vergleich¹⁾ der absoluten Feuchtigkeiten (Gramm/Kubikmeter) von Agra und anderen Orten

Ort	Meereshöhe m	Jahresmittel	Mittags- mittel ²⁾	Jahres- schwankung ⁴⁾	Mittags- schwankung ⁵⁾
Agra	565	7.41	7.90 ³⁾	8.32	8.74
Lugano	276	7.10	7.40	7.73	8.01
Basel	280	7.48	7.64	8.01	7.67
Berlin	40	6.90	—	6.80	—
Davos	1560	4.77	4.63	5.56	4.72
Locarno	239	7.28	7.23	7.76	7.33
Bellinzona	237	7.14	7.12	7.94	8.41
Monte Generoso	1610	4.52	5.12	5.30	6.19

1) Siehe Anmerkung zu Tabelle 3.

2) Jahresmittel der Mittagswerte.

3) Berechnet (gleich wie für die anderen Stationen) aus den Monatsmitteln von Temperatur und relativer Feuchtigkeit.

4) Differenz der Mittel des feuchtesten und trockensten Monats.

5) Differenz der Mittagswerte des feuchtesten und trockensten Monats.

Tabelle 8

Sättigungsdefizit (Gramm/Kubikmeter)

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Mittlere monatliche	
					Maxima	Minima
Januar	1.82	2.71	1.95	2.16	6.71	0.40
Februar	1.53	2.73	1.85	2.04	6.10	0.26
März	1.90	3.75	2.34	2.66	10.30	0.16
April	2.60	4.68	2.92	3.40	10.77	0.18
Mai	3.28	5.80	3.44	4.18	12.36	0.23
Juni	4.13	6.95	4.21	5.10	13.14	0.49
Juli	4.86	8.13	4.90	6.03	15.12	0.55
August	4.32	7.70	4.73	5.58	15.31	0.74
September	2.55	5.38	2.85	3.59	11.86	0.38
Oktober	1.87	3.85	2.10	2.61	12.69	0.44
November	1.71	2.86	1.84	2.15	8.36	0.27
Dezember	1.79	2.62	1.92	2.11	9.49	0.21
Jahr	2.70	4.76	2.92	3.47	11.02	0.36

Tabelle 9

Vergleich¹⁾ der Sättigungsdefizite (Gramm/Kubikmeter) von Agra und anderen Orten

Ort	Meereshöhe m	Jahresmittel	Mittags- mittel ²⁾	Jahres- schwankung ⁴⁾	Mittags- schwankung ⁵⁾
Agra	565	3.47	4.73 ³⁾	3.99	5.59
Lugano	276	3.94	7.03	5.87	10.60
Basel	280	2.17	4.15	3.93	7.45
Berlin	40	2.56	—	4.93	—
Davos	1560	1.39	3.45	2.27	4.93
Locarno	239	4.05	6.89	4.92	9.44
Bellinzona	237	3.90	7.39	5.47	10.25
Monte Generoso	1610	2.33	2.72	2.58	3.68

1) Siehe Anmerkung zu Tabelle 3.

2) Jahresmittel der Mittagswerte.

3) Siehe Anmerkung zu Tabelle 7.

4) Differenz der größten und kleinsten Monatsmittel.

5) Differenz der größten und kleinsten Mittagswerte.

Tabelle 10. Äquivalenttemperatur (Celsiusgrade)

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Mittlere monatliche	
					Maxima	Minima
Januar	8.7	12.4	10.1	10.4	20.0	2.1
Februar	8.7	13.2	10.6	10.9	18.7	0.8
März	14.6	18.8	16.4	16.7	28.1	4.7
April	19.9	24.3	20.9	21.7	33.4	10.8
Mai	30.8	36.2	31.6	32.9	53.5	18.2
Juni	37.2	43.2	38.2	39.5	57.3	27.2
Juli	41.4	47.7	43.1	44.1	59.1	26.6
August	40.9	47.4	42.5	43.6	60.9	26.0
September	34.8	40.4	36.8	37.3	51.9	22.0
Oktober	24.5	29.1	26.1	26.6	42.3	11.1
November	15.9	19.3	17.1	17.4	31.6	10.0
Dezember	10.3	13.6	11.4	11.8	26.4	3.1
Jahr	24.0	28.8	25.4	26.1	40.3	13.6

Tabelle 11. Vergleich¹⁾ der Äquivalenttemperaturen (in Celsiusgraden) von Agra und anderen Orten

Ort	Meereshöhe m	Jahresmittel	Mittags- mittel ²⁾	Jahres- schwankung ⁴⁾	Mittags- schwankung ⁵⁾
Agra	565	26.1	29.5 ³⁾	33.7	35.2
Lugano	276	25.7	30.3	34.7	37.0
Basel	280	24.4	27.6	35.2	36.1
Berlin	40	23.1	—	32.7	—
Davos	1560	14.6	21.6	33.0	35.2
Locarno	239	26.6	29.8	33.1	33.6
Bellinzona	237	25.8	29.9	34.9	37.6
Monte Generoso	1610	16.0	16.7	28.7	29.5

- 1) Siehe Anmerkung zu Tabelle 3.
- 2) Jahresmittel der Mittagswerte.
- 3) Siehe Anmerkung zu Tabelle 7.
- 4) Differenz der größten und kleinsten Monatsmittel.
- 5) Differenz der größten und kleinsten Mittagsmittel.

Tabelle 12. Windgeschwindigkeit (Meter/Sekunde)

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Mittlere monatliche Maxima
Januar	1.0	1.2	1.1	1.1	6.0
Februar	1.3	1.8	1.2	1.4	6.1
März	1.2	2.1	1.5	1.6	5.8
April	1.6	2.5	1.9	2.0	7.0
Mai	1.1	2.1	1.6	1.6	5.7
Juni	1.2	2.1	1.4	1.5	4.9
Juli	1.1	2.1	1.5	1.6	8.2
August	1.0	2.1	1.4	1.5	5.4
September	1.0	2.0	1.2	1.4	6.0
Oktober	1.1	1.7	1.2	1.3	7.1
November	1.2	1.2	1.2	1.2	7.6
Dezember	1.3	1.4	1.2	1.3	6.3
Jahr	1.2	1.9	1.4	1.5	6.3

Tabelle 13. Windrichtung (Zahl der Tage)

Monat	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	C	total
Januar	7	15	2	5	3	6	5	21	29	93
Februar	2	10	2	3	7	12	5	19	24	84
März	2	12	2	5	8	19	6	21	18	93
April	1	19	4	8	6	18	5	17	12	90
Mai	3	16	4	8	6	16	5	20	15	93
Juni	2	16	3	8	5	17	2	25	12	90
Juli	2	16	4	10	4	14	7	23	13	93
August	2	17	4	6	5	15	6	18	20	93
September	2	15	3	6	5	13	5	20	21	90
Oktober	3	17	3	7	7	11	4	18	23	93
November	4	14	2	7	4	6	4	23	26	90
Dezember	5	17	3	5	3	6	6	23	25	93
Jahr	3	15	3	6	5	13	5	21	20	91Tage
	3.3	16.4	3.3	6.6	5.5	14.3	5.5	23.1	22.0	100%

Tabelle 14. Vergleich¹⁾ der prozentuellen Häufigkeit der Windrichtungen und der Windgeschwindigkeit (m/sec) von Agra und anderen Orten (Jahresmittel)

Ort	Meeres- höhe m	Wind- geschwin- digkeit	Windrichtung ²⁾					total
			NE	SW	NW	SE	C	
Agra	565	1.5	23.0	25.3	23.1	6.6	22.0	100
Lugano	276	0.7	8.2	2.1	0.5	1.8	87.4	100
Basel	280	2.1	23.7	27.1	7.1	13.5	28.6	100
Zürich	470	2.5	25.2	25.3	8.3	3.3	37.9	100
Berlin	40	4.5	18.3	45.0	14.7	13.5	8.5	100
Davos	1560	1.3	22.5	5.5	—	1.0	71.0	100
Bellinzona	237	—	28.6	18.7	—	—	52.7	100
Monte Generoso	1610	—	28.5	9.9	38.5	18.7	4.4	100

¹⁾ Periode: Agra 1922—1931, ebenso die anderen Orte außer Basel 1929—1933, Zürich und Berlin langjährige.

²⁾ Es sind zusammengefaßt N + NE + E = NE, W + SW + S = SW.

Tabelle 15. Vergleich der prozentuellen Häufigkeit der Windrichtungen von Agra, Lugano, Bellinzona, Monte Generoso. Monatsmittel. Periode 1915—1931

Monat	Windrichtung 1)					Windrichtung 1)				
	NE	SW	NW	SE	C	NE	SW	NW	SE	C
	Agra					Lugano				
Januar	31.2	12.9	23.7	8.6	23.6	8.6	—	—	—	91.4
Februar	18.8	30.6	24.7	4.7	21.2	7.0	1.2	—	—	91.8
März	19.4	32.3	24.7	5.4	18.2	8.6	1.1	—	—	90.3
April	26.7	31.1	18.9	10.0	13.3	11.1	1.1	—	—	87.8
Mai	26.9	30.1	21.5	9.7	11.8	5.4	1.1	—	—	93.5
Juni	24.4	27.8	30.0	10.0	7.8	7.8	1.1	—	—	91.1
Juli	24.8	25.8	24.8	10.8	14.0	6.5	1.1	—	—	92.5
August	26.9	30.1	18.3	7.5	17.2	8.6	1.1	—	—	90.3
September	24.4	31.1	21.1	5.6	17.8	5.6	2.2	—	—	92.2
Oktober	25.8	25.8	20.4	9.7	18.3	6.5	—	—	—	93.5
November	26.7	15.6	23.3	10.0	24.4	7.8	1.1	—	—	91.1
Dezember	28.0	16.1	25.8	6.4	23.7	9.7	—	—	—	90.3
Jahr	25.3	25.8	23.1	8.2	17.6	7.8	0.9	—	—	91.3
	Bellinzona					Monte Generoso				
Januar	29.0	6.5	—	—	64.5	31.2	9.6	47.3	6.5	5.4
Februar	24.7	11.8	—	—	63.5	42.4	5.9	41.2	3.5	7.0
März	25.8	19.4	—	—	54.8	36.5	9.7	33.3	15.1	5.4
April	32.2	22.2	—	—	45.6	24.4	13.3	30.0	30.0	2.3
Mai	29.0	24.8	—	—	46.2	25.8	10.8	26.9	33.3	3.2
Juni	34.4	25.6	—	—	40.0	23.3	11.1	37.8	25.6	2.2
Juli	33.3	24.6	—	—	41.9	21.5	11.8	39.8	24.7	2.2
August	33.3	23.7	—	—	43.0	25.8	11.8	40.9	19.4	2.1
September	26.7	24.4	—	—	48.9	27.8	12.2	36.7	20.0	3.3
Oktober	25.8	19.4	—	—	54.9	24.7	7.5	39.8	23.7	4.3
November	28.9	10.0	—	—	61.1	28.9	1.1	57.8	3.3	8.9
Dezember	31.2	5.4	—	—	63.5	31.0	8.6	43.0	10.8	6.5
Jahr	29.5	18.2	—	—	52.3	28.6	9.5	39.5	18.0	4.4

¹⁾ Es sind zusammengefaßt: N + NE + E = NE, W + SW + S = SW.

Tabelle 16. Bewölkung, Zahl der heiteren und trüben Tage

Monat	Bewölkungsgrad 0—10				Zahl der heiteren Tage B ₀₋₂	Zahl der trüben Tage B ₉₋₁₀	Tage ohne Sonnenschein
	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel			
Januar	4.5	4.7	3.9	4.3 (4.5)	13	6	8
Februar	5.2	4.7	4.2	4.7 (4.8)	10	6	6
März	5.8	5.5	4.9	5.4 (5.4)	9	9	7
April	5.7	6.1	5.1	5.7 (5.4)	7	8	6
Mai	5.2	5.5	5.1	5.3 (5.1)	8	7	4
Juni	4.8	5.0	4.7	4.8 (4.1)	7	4	1
Juli	4.0	4.3	4.0	4.0 (3.4)	10	2	1
August	4.3	4.1	3.4	3.9 (3.3)	10	3	1
September	5.1	5.0	4.3	4.8 (4.3)	8	5	3
Oktober	5.3	5.4	4.5	5.1 (4.8)	8	8	6
November	5.9	5.9	5.8	5.9 (5.8)	6	10	10
Dezember	4.9	4.6	4.3	4.6 (4.5)	11	8	8
Jahr: Summe					107	76	61
Mittel	5.1	5.1	4.5	4.9 (4.6)			

Tabelle 17

Monat	Sonnenscheindauer					Natürlicher Horizont. Sonnenscheindauer, möglich (in Stunden)		
	Stunden-summen	Pro Tag	Maximum pro Tag	Minimum pro Tag	Prozente der möglichen Dauer	Astro-nomisch	Am Apparat	Differenz
Januar	137.1	4.42	8.14	0	58.4	276.2	248.0	28.2
Februar	145.0	5.14	9.38	0	53.6	284.7	259.4	25.3
März	160.7	5.19	10.70	0	46.5	364.1	344.8	19.3
April	169.3	5.64	12.46	0	46.1	401.5	378.9	22.6
Mai	219.8	7.09	13.77	0.03	47.8	458.8	440.7	18.1
Juni	254.7	8.49	14.23	0.47	59.0	468.5	439.1	29.4
Juli	290.4	9.34	14.20	0.73	66.1	474.2	446.1	28.1
August	279.2	9.00	13.42	0.44	68.2	436.2	411.8	24.4
September	192.8	6.43	11.65	0.03	57.2	375.6	349.9	25.7
Oktober	155.2	5.01	9.83	0.73	54.7	335.3	310.0	25.3
November	112.6	3.75	8.26	0	38.3	279.2	253.3	25.9
Dezember	113.9	3.67	7.53	0	54.3	263.3	233.4	29.9
Jahr: Summe	2230.7					4417.6	4115.4	302.2 = 6.84%
Mittel		6.10	11.13	0.20	54.2			= 50 Min./Tag

Tabelle 18

Vergleich der Zahl der heiteren, leicht bewölkten, bewölkten und bedeckten Tage in Agra, Monatsmittel. Periode 1915—1931

1. Nach Schätzungen der Bewölkungsgrade¹⁾ (linke obere Zahlen)
2. Nach Berechnung aus der Sonnenscheindauer¹⁾ (rechte untere Zahlen)

Monat	Heiter		Leicht bewölkt		Bewölkt		Bedeckt	
Januar	13	14	5	4	5	3	8	10
Februar	10	13	6	3	4	3	8	9
März	9	11	6	5	5	4	11	11
April	7	10	6	4	6	5	11	11
Mai	8	11	7	6	6	5	10	9
Juni	8	12	9	7	7	5	6	6
Juli	11	15	9	8	4	4	4	4
August	13	17	9	7	5	3	4	4
September	9	13	8	5	5	4	8	8
Oktober	9	12	8	5	4	3	10	11
November	7	10	7	4	4	4	12	12
Dezember	12	13	7	3	3	3	9	12
Jahr	116	151	87	61	61	46	101	107
	33	42	23	16	17	13	27	29

} Tage
} %

¹⁾ Heiter: Bewölkungsgrad 0—2.5 Sonne 76—100% der möglichen Dauer.
 Leicht bewölkt: „ 2.6—5.0 „ 51—75% „ „ „
 Bewölkt: „ 5.1—7.5 „ 26—50% „ „ „
 Bedeckt: „ 7.6—10.0 „ 0—25% „ „ „

Tabelle 19
Täglicher Gang der Sonnenscheindauer 1922—1923

Monat	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20 ^h	Tages- summen
1923																
Januar . . .				11.4	17.2	18.7	18.6	18.0	17.3	17.5	16.3	3.8				138.8
Februar . . .			2.6	8.1	11.7	11.4	12.0	11.6	13.1	13.0	11.9	6.4	0.1			101.9
März . . .		2.4	13.6	16.9	19.3	20.4	21.9	22.1	22.0	17.9	15.2	12.0	4.4			188.1
April . . .	0.9	6.3	8.7	10.3	10.9	12.3	13.5	11.9	9.6	10.3	8.3	7.3	8.0	2.3		120.6
Mai . . .	9.6	17.1	17.3	18.0	19.8	19.8	19.3	19.9	20.2	18.1	16.5	18.0	14.7	8.2	0.7	237.2
Juni . . .	11.8	16.8	19.6	21.1	21.7	21.6	20.9	19.6	20.4	19.8	20.8	19.2	15.7	13.2	3.8	266.0
Juli . . .	11.4	19.5	21.2	23.3	26.3	25.8	26.0	24.6	23.7	23.6	24.1	21.7	20.2	15.1	2.8	309.3
August . . .	5.6	19.2	21.5	23.3	24.6	24.6	25.5	25.4	25.5	26.4	24.3	22.9	22.3	12.3	0.3	303.7
September .		3.8	17.3	20.1	22.2	21.6	20.2	20.6	18.9	20.0	20.9	20.9	12.9	0.3		219.7
1922																
Oktober . .			4.7	8.0	9.7	10.3	11.6	13.9	13.9	12.8	11.6	9.3	1.0			106.8
November .			0.6	17.7	24.2	25.5	26.3	25.8	25.9	25.9	22.7	7.5				202.1
Dezember .				6.5	13.7	15.1	15.9	17.6	19.0	18.9	12.7	0.2				119.6

Tabelle 20

Vergleich¹⁾ der Jahres- und Mittagmittel der Bewölkung (B_{0-10}), der heiteren und trüben Tage und der Sonnenscheindauer von Agra und anderen Orten

Ort	Meeres- höhe m	Bewölkung B_{0-10}				Zahl der heiteren Tage B_{0-2}	Zahl der trüben Tage B_{9-10}	Sonnenscheindauer (Stunden)		
		Jahres- mittel	Mittags- mittel ²⁾	Jahres- schwankung ³⁾	Mittags- schwankung ⁴⁾			Jahr	Prozente der möglichen Dauer	Jahres- schwankung ³⁾
Agra	565	4.8	5.1	1.9	1.9	107	76	2231	54.2	178
Lugano	276	4.3	4.2	2.0	2.2	133	106	2126	53.7	185
Basel	280	6.4	6.4	2.4	2.0	43	139	1784	40.0	189
Berlin	40	6.4	—	2.2	—	44	140	1606	36.0	218
Montana	1450	5.3	—	1.5	—	—	—	2086	52.0	123
Davos	1560	5.3	5.7	1.5	1.2	95	97	1751	52.0	124
Locarno	239	4.3	4.4	1.8	2.0	130	79			
Bellinzona . . .	237	4.6	4.9	1.9	2.2	142	79			
Monte Bré . . .	910	4.3	4.4	2.1	2.4	—	—			
Monte Generoso	1610	5.8	6.0	1.5	1.9	115	111			

1) Siehe Anmerkung zu Tabelle 3. Periode: Montana 1929—1931.

2) Jahresmittel der Mittagswerte.

3) Differenz der größten und kleinsten Monatsmittel.

4) Differenz der größten und kleinsten Mittagmittel.

Tabelle 21
Niederschläge

Monat	Summen mm	Tages- maxima mm	Zahl der Nieder- schlags- tage > 0,3 mm	Regen- dichte ¹⁾	Nieder- schlags- wahr- scheinlich- keit ≤ 2 mm	Nieder- schlags- dauer in Stunden	Nieder- schlags- wahr- scheinlich- keit nach Stunden	Tage mit		
								Schneefall	Nebel	Gewitter
Januar	73.4	22.9	5	14.7	0.14	66	0.088	3.2	2.5	0.0
Februar	74.1	27.9	5	14.8	0.13	44	0.064	2.7	3.2	0.1
März	126.9	30.7	10	12.7	0.26	91	0.122	2.1	4.4	0.3
April	190.4	45.3	13	14.7	0.36	98	0.137	0.1	3.0	2.3
Mai	246.3	54.3	14	17.6	0.38	71	0.096	0.0	2.9	3.0
Juni	148.9	48.8	11	13.5	0.28	35	0.048	0.0	1.0	5.3
Juli	162.6	59.6	8	20.3	0.23	25	0.033	0.0	0.4	6.0
August	160.0	61.6	8	20.0	0.21	29	0.039	0.0	0.6	3.7
September . . .	171.2	52.2	9	19.0	0.26	39	0.055	0.0	2.6	3.9
Oktober	172.3	64.1	10	17.2	0.24	75	0.101	0.0	3.1	1.4
November . . .	160.7	44.0	11	14.6	0.31	90	0.125	0.3	5.4	1.1
Dezember . . .	85.3	28.8	7	12.2	0.17	48	0.064	1.6	3.0	0.0
Jahr: Summe .	1772.1		111			711		10.0	(32.1) ²⁾	27.1
Mittel		45.0		16.0	0.25		0.081			

1) Niederschlagsmenge pro Regentag (mm).

2) Viel zu hoch, vermutlich 7 (siehe Text).

Tabelle 22

Vergleich¹⁾ der Niederschlagssummen und -häufigkeit, der Schneefall-, Nebel- und Gewittertage von Agra und anderen Orten

Ort	Meeres- höhe m	Nieder- schlags- summen pro Jahr mm	Mittlere Tages- maxima mm	Tage mit Nieder- schlag > 0,3 mm	Regen- dichte ³⁾	Zahl der Tage mit		
						Schneefall	Nebel	Gewitter
Agra	565	1772	45	111	16.0	10	7	27
Lugano	276	1711	41	118	14.5	10	6	22
Basel	280	815	18	167 ²⁾	4.9	—	42	23
Berlin	40	570	—	169 ²⁾	3.4	35	47	19
Davos	1560	943	21	156	6.0	78	8	10
Locarno	239	1891	47	122	15.5	10	1	23
Bellinzona	237	1591	39	112	14.2	10	15	25
Monte Bré	910	1619	38	109	14.9	18	10	14
Monte Generoso	1610	2450	45	163	15.0	76	133	21

¹⁾ Siehe Anmerkung zu Tabelle 3.
²⁾ > 0.1 mm.
³⁾ Niederschlagsmenge pro Regentag in mm.

Tabelle 23

Sonnenintensitäten, gemessen mit Schwarzkugelthermometer in Celsiusgraden

Monat	Agra 1915 + 1922—1932		Maxima 1930—1932			
	Mittel	Maxima	Agra		Davos	
			Schwarzkugel	Über- temperaturen	Schwarzkugel	Über- temperaturen
Januar	28.9	40.7	39.7	29.4	50.5	45.4
Februar	30.1	43.9	45.0	37.7	51.5	47.7
März	35.6	49.8	50.4	36.5	58.5	53.7
April	42.3	54.9	55.7	39.2	58.0	52.2
Mai	48.3	59.6	58.3	32.8	61.0	40.0
Juni	54.8	60.8	61.4	34.3	62.0	39.7
Juli	56.6	62.3	60.2	34.2	63.5	39.9
August	54.5	60.9	57.8	30.8	64.0	39.8
September	47.8	56.5	54.1	30.8	57.0	41.2
Oktober	38.2	51.6	51.1	32.4	54.0	41.6
November	27.9	44.3	40.6	26.3	49.0	44.9
Dezember	25.6	39.7	42.9	27.2	45.5	40.7
Jahr	40.9	52.1	51.4	32.6	56.2	43.8

Tabelle 24

Intensität der Gesamt-Sonnenstrahlung (cal/cm² min) in Abhängigkeit von der Tageszeit 1922—1923

Wahre Ortszeit:	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18 ^h
Jahreszeiten:													
Winter				1.113	1.270	1.333	1.351	1.313	1.220	1.063			
Frühling		0.943	1.172	1.280	1.347	1.373	1.363	1.337	1.292	1.207	1.083	0.833	
Sommer	0.753	1.010	1.143	1.230	1.240	1.269	1.267	1.250	1.213	1.150	1.050	0.897	0.647
Herbst				1.173	1.287	1.336	1.354	1.320	1.247	1.123			
Jahr				1.199	1.286	1.305	1.334	1.305	1.243	1.136			

Tabelle 25

Monatswerte der Strahlungsintensitäten (J) und Wärmesummen (Q) der Sonne

Monate:	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
	cal/cm ² min												
J _{Mittags}	1.325	1.462	1.353	1.380	1.355	1.313	1.212	1.275	1.360	1.384	1.317	1.265	—
J _{Max}	1.380	1.462	1.471	1.450	1.453	1.462	1.402	1.427	1.469	1.480	1.475	1.374	1.480
	cal/cm ² Tag												
Q _{norm. wolkenlos}	551	728	740	895	954	953	849	825	806	680	547	485	—
Q _{horiz. wolkenlos}	174	275	365	517	600	623	553	507	430	301	182	132	—
Q _{horiz. durchschnittl.}	102	160	189	253	313	420	372	347	242	147	87	67	225

Tabelle 26

Monatliche Mittel-, Maximal, Minimal-, Normalwerte und Häufigkeiten der photochemischen Ortshelligkeit (relative Lichtmengen pro Tag)

Monat	Mittel	Maxima	Minima	Normal	Mittelwerte in % der Normalwerte	% der Sonnenscheindauer	Zahl der Tage mit				
							< 30	30-50	50-100	100-150	> 150 %
							der Normalwerte				
Januar	165	285	29	211	78.2	58.4	3.2	4.2	16.7	6.2	0.7
Februar	252	417	53	352	71.6	53.6	3.5	4.0	17.3	3.5	0.0
März	330	616	93	525	62.9	46.5	5.3	4.5	17.9	3.3	0.0
April	457	825	96	655	69.8	46.1	5.2	4.0	16.7	4.1	0.0
Mai	541	913	111	788	68.7	47.8	4.5	5.5	17.3	3.7	0.0
Juni	575	856	138	771	74.6	59.0	2.5	5.0	18.5	4.0	0.0
Juli	585	798	199	736	79.5	66.1	0.7	2.8	23.8	2.7	1.0
August	513	750	134	598	85.8	68.2	1.6	2.2	20.7	6.5	0.0
September	406	676	92	520	78.1	57.2	2.3	3.5	18.0	5.7	0.5
Oktober	270	535	41	425	63.5	54.7	6.0	5.3	17.2	2.5	0.0
November	125	265	28	203	61.6	38.3	6.2	7.0	11.7	4.6	0.5
Dezember	128	245	30	174	73.6	54.3	4.5	5.2	15.5	5.5	0.3
Jahr	362	598	87	497	72.3	54.2	45.5 12.5	53.2 14.6	211.3 57.8	52.3 14.3	3.0Tage 0.8%

Tabelle 27

Monatliche Mittel-, Maximal- und Minimalwerte des photochemischen Südlichts (S) und seines Verhältnisses zum Oberlicht (S : O), sowie Häufigkeiten der Mittelwerte des Südlichts (relative Lichtmengen pro Tag)

Monat	Südlicht Tagessummen			S : O			S : O		Zahl der Tage mit					
	Mittel	Max.	Min.	Mittel	Max.	Min.	Bei B ₀₋₂	Bei B ₉₋₁₀	< 20	20-30	30-50	50-100	100-150	> 150 %
									des Oberlichts bei S ₄ B ₀					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Januar	264	477	43	1.43	2.32	0.62	1.82	1.10	0.5	1.0	4.5	5.5	6.0	13.5
Februar	265	517	44	1.04	1.73	0.47	1.63	0.71	4.0	3.5	3.5	7.0	8.0	2.5
März	310	535	68	0.84	1.21	0.41	1.11	0.63	5.5	1.5	6.0	16.5	1.5	0.0
April	259	549	53	0.61	0.98	0.43	0.75	0.49	8.5	5.5	4.0	12.0	0.0	0.0
Mai	302	456	58	0.53	0.66	0.41	0.56	0.52	5.0	5.5	12.5	8.0	0.0	0.0
Juni	265	441	51	0.48	0.66	0.40	0.43	0.52	4.5	6.0	18.0	1.5	0.0	0.0
Juli	296	383	87	0.51	0.60	0.36	0.49	0.54	1.5	3.0	22.5	4.0	0.0	0.0
August	352	519	120	0.64	0.90	0.47	0.69	0.57	1.0	3.0	4.5	20.5	2.0	0.0
September	382	633	68	0.83	1.43	0.47	1.00	0.59	2.0	2.0	5.0	15.5	5.5	0.0
Oktober	278	601	22	0.88	1.59	0.29	1.11	0.47	7.5	2.0	3.0	11.5	6.5	0.5
November	167	423	13	1.06	2.89	0.32	1.84	0.41	9.0	3.0	2.5	2.5	6.0	7.0
Dezember	228	434	15	1.41	2.80	0.41	1.90	0.48	4.5	1.5	2.5	5.0	3.0	14.5
Jahr	281	497	54	0.85	1.48	0.42	1.11	0.59	53.5 14.6	37.5 10.3	88.5 24.2	109.5 30.0	38.5 10.5	38.0Tage 10.4%

Tabelle 28

Ultraviolette Himmelsstrahlung in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe (Davoser Skala)

Sonnenhöhe:	10	15	20	25	30	35	40	40	35	30	25	20	15	10°
Jahreszeiten:														
Winter	6.8	13.0	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	19.8	14.9	9.6
Frühling	5.6	10.0	14.9	21.2	27.8	34.0	40.6	39.2	35.0	29.2	21.9	15.2	10.0	5.6
Sommer	7.2	11.2	15.9	22.6	31.2	39.0	46.4	43.6	36.1	28.9	21.7	14.9	9.3	4.7
Herbst	7.0	14.2	20.3	26.3	32.9	—	—	—	—	32.6	26.6	19.6	13.6	7.2
Jahr	6.6	21.1	17.8	—	—	—	—	—	—	—	—	17.4	11.9	6.8

Tabelle 29. **Monatliche Mittel und Maxima der kurzweilig-ultravioletten Strahlung von Sonne + Himmel in Agra und Davos (Tagessummen in Kolorimetergraden nach Leonard Hill)**

Monat	Agra		Davos	
	Mittel	Maxima	Mittel	Maxima
Januar	0.70	1.4	2.45	3.8
Februar	1.41	2.9	3.28	4.5
März	1.96	3.8	3.49	6.3
April	3.27	6.9	5.69	11.3
Mai	4.50	8.8	7.08	12.2
Juni	6.45	12.5	6.72	12.5
Juli	10.03	12.8	8.18	14.2
August	9.60	11.3	8.05	12.5
September	6.37	9.3	5.54	10.8
Oktober	3.13	6.2	3.87	6.2
November	1.12	2.8	2.94	4.8
Dezember	0.72	1.2	2.29	3.7
Jahr	4.11	6.7	4.97	8.6

Tabelle 30. **Luftelektrische Leitfähigkeit in 10⁻⁴ ESE**

Wind	8-12 ^h				12-16 ^h				16-20 ^h				Mittel			
	λ	λ ₊	λ ₋	q	λ	λ ₊	λ ₋	q	λ	λ ₊	λ ₋	q	λ	λ ₊	λ ₋	q
E-NW	3.46	2.11	1.35	1.62	3.27	1.86	1.41	1.40	2.98	1.95	1.03	1.88	3.23	1.97	1.26	1.63
SE-W.	3.20	2.00	1.20	1.82	2.61	1.63	0.98	1.70	2.54	1.49	1.05	1.49	2.78	1.71	1.07	1.68
Diff. N-S	0.26	0.11	0.15	-0.20	0.66	0.23	0.43	-0.30	0.44	0.46	-0.02	0.39	0.45	0.26	0.19	-0.05

Tabelle 31. **Monatsmittel der trockenen Abkühlungsgröße (Frigorimeterskala 36.5° C) Millical/cm² sec**

Monat	Registriert in Sonne 1932-1933	Schattenwerte, berechnet Periode 1922-1924				Schattenwerte, berechnet Periode 1930-1932					
		8	13	19 ^h	Krankentag	8	13	19 ^h	Krankentag	Maxima	Minima
Januar	15.8	17.9	14.6	17.2	16.5	12.7	14.0	12.3	13.0	26.1	6.3
Februar	15.1	16.2	14.8	17.8	16.3	15.5	13.9	13.5	14.3	34.7	6.4
März	13.2	13.5	13.6	16.1	14.4	14.5	16.9	15.5	15.7	27.9	6.1
April	12.5	13.0	12.6	13.8	13.1	12.6	15.5	15.1	14.4	25.3	5.1
Mai	10.3	10.7	10.5	12.4	11.2	10.7	11.6	11.2	11.2	22.0	3.4
Juni	10.0	10.5	10.0	11.6	10.7	7.5	8.4	8.1	8.0	14.2	3.1
Juli	4.7	7.8	7.0	7.5	7.4	7.8	8.0	8.9	8.2	19.6	3.3
August	5.1	9.0	7.5	9.4	8.6	7.6	7.9	8.1	7.9	18.5	3.0
September	—	11.2	9.7	10.3	10.7	9.6	10.3	9.9	9.9	19.4	3.6
Oktober	—	11.8	10.7	12.9	11.8	11.9	11.7	10.7	11.4	20.6	4.7
November	12.4	14.7	14.6	15.0	14.8	12.8	12.0	12.1	12.3	24.5	5.5
Dezember	13.4	16.4	14.4	16.5	15.8	13.4	14.9	13.1	13.8	29.7	5.8
Jahr	10.0	12.7	11.7	13.4	12.6	11.4	12.1	11.6	11.7	23.5	4.8

Tabelle 32. **Monatliche Mittel, Maxima, Minima der feuchten Abkühlungsgröße, Verhältnis $\frac{\text{Abkühlungsgröße feucht}}{\text{Abkühlungsgröße trocken}}$ und Abkühlungsgröße $\frac{1}{2}$ feucht und $\frac{1}{5}$ feucht. Periode 1930-1932**

Monat	Abkühlungsgröße feucht						$\frac{\text{feucht}}{\text{trocken}}$				Abkühlungsgröße $\frac{1}{2}$ feucht				Abkühlungsgröße $\frac{1}{5}$ feucht			
	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel	Max.	Min.	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel	7 ^{1/2}	13 ^{1/2}	21 ^{1/2} ^h	Mittel
Januar	44.3	51.9	43.8	46.7	99.4	24.7	3.50	3.70	3.56	3.60	27.2	31.2	26.7	28.4	16.9	18.8	16.4	17.4
Februar	53.0	51.0	47.6	50.5	124.7	24.5	3.43	3.68	3.53	3.55	32.6	30.5	28.9	30.7	20.4	18.3	17.8	18.8
März	52.7	68.3	57.9	59.8	122.9	24.3	3.64	4.07	3.74	3.82	31.6	39.7	34.3	35.2	19.0	22.5	20.1	20.5
April	49.3	67.5	59.9	58.9	102.7	22.2	3.90	4.34	3.98	4.08	28.3	37.5	34.1	33.3	15.6	19.5	18.6	17.9
Mai	45.7	56.8	48.9	50.5	94.1	18.2	4.27	4.92	4.35	4.51	24.3	28.6	25.9	26.2	11.4	11.7	12.1	11.7
Juni	35.4	47.6	38.3	40.4	70.5	17.1	4.72	5.72	4.79	5.07	16.8	21.0	18.0	18.6	5.7	5.0	5.9	5.5
Juli	38.8	46.7	44.5	43.3	98.5	17.4	5.01	5.84	5.01	5.29	18.4	20.4	20.8	19.9	6.2	4.7	6.6	5.8
August	36.5	45.4	40.4	40.8	83.5	16.4	4.79	5.78	5.00	5.19	17.5	19.8	18.8	18.7	6.1	4.4	5.8	5.4
September	41.6	51.8	44.1	45.8	88.3	17.6	4.36	5.03	4.44	4.61	21.6	25.5	22.5	23.2	9.7	9.8	9.6	9.7
Oktober	48.5	54.1	44.9	49.2	93.0	21.0	4.08	4.63	4.19	4.30	27.0	28.9	24.6	26.8	14.1	13.7	12.3	13.4
November	48.3	49.1	47.1	48.2	102.2	22.6	3.79	4.07	3.87	3.91	27.9	31.1	27.0	28.7	15.7	15.0	15.0	15.2
Dezember	52.3	57.1	47.6	52.3	109.3	23.3	3.99	3.83	3.65	3.82	31.1	34.0	28.7	31.3	18.4	20.2	17.4	18.7
Jahr	45.5	53.9	47.1	48.7	99.1	20.8	4.12	4.63	4.18	4.31	25.4	29.0	25.9	26.8	13.3	13.6	13.1	13.3

Tabelle 33a—b
**Monatliche Mittel, Maxima und Minima der Austrocknungsgröße (Luft) nach Walter Knoche
 und Verdunstungsmengen (Millimeter/24 Stunden). Periode 1930—1932**

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Maxima	Minima
a) Austrocknungsgröße						
Januar	0.01823	0.03046	0.01911	0.02260	0.190	0.009
Februar	0.01932	0.02721	0.01949	0.02201	0.148	0.010
März	0.02595	0.06678	0.03412	0.04228	0.404	0.009
April	0.03323	0.08382	0.04715	0.05473	0.313	0.014
Mai	0.04227	0.09475	0.05110	0.06271	0.299	0.013
Juni	0.04358	0.10996	0.04985	0.06800	0.175	0.020
Juli	0.05822	0.11360	0.07123	0.08102	0.252	0.023
August	0.04769	0.10630	0.06157	0.07185	0.261	0.021
September	0.03964	0.08928	0.04704	0.05866	0.331	0.018
Oktober	0.03870	0.07486	0.03844	0.05067	0.219	0.015
November	0.02704	0.04227	0.03132	0.03354	0.169	0.011
Dezember	0.02857	0.04437	0.02520	0.03272	0.291	0.008
Jahr	0.03520	0.07364	0.04130	0.05007	0.254	0.014
b) Dieselbe, umgerechnet auf Verdunstungsmengen Millimeter/24 Stunden						
Januar	1.14	1.82	1.15	1.37	11.42	0.53
Februar	1.16	1.63	1.17	1.32	9.88	0.55
März	1.56	4.01	2.05	2.54	23.25	0.53
April	1.99	5.03	2.83	3.28	18.76	0.80
Mai	2.54	5.69	3.07	3.77	17.94	0.77
Juni	2.61	6.60	2.99	4.07	10.48	1.187
Juli	3.49	6.81	4.27	4.86	15.13	1.35
August	2.86	6.38	3.70	4.31	15.64	1.28
September	2.37	5.36	2.82	3.52	19.89	1.10
Oktober	2.32	4.49	2.30	3.04	13.12	0.85
November	1.62	2.54	1.88	2.01	10.12	0.70
Dezember	1.72	2.66	1.51	1.97	17.42	0.50
Jahr	2.12	4.42	2.48	3.01	15.17	0.85

Tabelle 34
Verdunstungsmengen nach Piche (Kubikzentimeter)

Monat	Mittel				Maxima	Minima
	21 ¹ / ₂ —7 ¹ / ₂	7 ¹ / ₂ —13 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂ —21 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ —21 ¹ / ₂ ^h		
Januar	0.9	1.7	1.8	4.4	9.4	0.8
Februar	2.1	2.3	2.9	7.3	13.9	2.8
März	1.3	2.3	3.0	6.6	16.6	1.9
April	1.8	3.2	3.8	8.8	18.9	3.3
Mai	2.3	4.3	4.9	11.5	20.6	2.3
Juni	2.0	4.2	4.5	10.7	17.3	5.7
Juli	2.2	3.8	4.7	10.7	20.3	3.4
August	1.6	3.1	3.2	7.9	15.8	3.6
September	1.2	2.6	2.7	6.7	13.6	3.1
Oktober	1.1	2.1	2.0	5.2	12.3	1.7
November	0.9	1.4	1.7	4.0	11.6	1.0
Dezember	1.2	1.5	1.5	4.2	9.0	1.6
Jahr	1.6	2.7	3.1	7.4	14.9	2.6

Tabelle 35
Temperaturänderungen von einschließlich Vortag bis einschließlich Nachttag des Nordföhns

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Oktober	Nov.	Dez.	Mittel
1. Von Beginn des Vortags bis zum letzten Föhntag												
+ 0.28	+ 2.53	+ 1.58	+ 0.94	- 0.26	+ 1.28	- 0.38	+ 0.70	- 0.97	- 0.90	+ 0.15	- 1.63	+ 0.28
2. Vom letzten Föhntag bis zum Ende des Nachttags												
- 2.03	- 1.93	- 1.29	+ 0.72	- 0.31	- 1.28	- 0.08	- 1.02	- 0.23	- 1.52	- 1.52	- 0.83	- 0.67
3. Total												
- 1.75	+ 0.60	+ 0.29	+ 1.66	- 0.57	0	- 0.46	- 0.32	- 1.20	- 2.42	- 1.37	- 2.46	- 0.39

Tabelle 36. Wasserverlust des Respirationstraktus bei ruhiger Atmung (Gramm/Minute)

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Maxima	Minima
Januar	0.217	0.214	0.215	0.215	0.229	0.203
Februar	0.219	0.216	0.217	0.217	0.227	0.203
März	0.211	0.210	0.208	0.210	0.228	0.193
April	0.202	0.200	0.201	0.201	0.223	0.184
Mai	0.187	0.183	0.187	0.186	0.217	0.150
Juni	0.168	0.165	0.167	0.167	0.203	0.137
Juli	0.173	0.165	0.169	0.169	0.210	0.132
August	0.169	0.165	0.165	0.166	0.212	0.130
September	0.175	0.172	0.172	0.173	0.213	0.144
Oktober	0.196	0.193	0.194	0.194	0.226	0.165
November	0.202	0.201	0.201	0.201	0.225	0.180
Dezember	0.215	0.213	0.213	0.214	0.231	0.190
Jahr	0.195	0.191	0.192	0.193	0.220	0.168

Tabelle 37. Wärmeverlust durch ruhige Atmung (Grammkalorien/Minute)

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Maxima	Minima
Januar	187	179	184	184	205	163
Februar	194	183	190	189	208	166
März	180	168	175	174	199	147
April	165	155	163	161	186	137
Mai	145	135	145	141	171	101
Juni	126	118	124	122	162	96
Juli	125	114	123	121	153	91
August	124	111	120	118	154	88
September	134	124	131	130	153	104
Oktober	157	146	154	152	184	121
November	168	161	165	165	187	141
Dezember	184	176	178	180	203	150
Jahr	157	148	154	153	180	125

Tabelle 38. Vergleich des Wasser- und Wärmeeinzugs bei ruhiger Atmung von Agra und anderen Orten

Monat	Wasserentzug Gramm/min			Wärmeeentzug g cal/min		
	Lugano (276 m)	Mt. Generoso (1610 m)	Agra (565 m)	Lugano (276 m)	Mt. Generoso (1610 m)	Agra (565 m)
Januar	0.214	0.223	0.213	186	177	179
Februar	0.214	0.216	0.212	181	177	177
März	0.206	0.217	0.206	167	170	164
April	0.198	0.212	0.199	155	160	154
Mai	0.184	0.199	0.180	134	142	132
Juni	0.174	0.192	0.170	121	131	120
Juli	0.166	0.185	0.161	110	122	110
August	0.169	0.188	0.161	113	125	111
September	0.176	0.194	0.171	125	134	124
Oktober	0.194	0.208	0.189	150	152	145
November	0.207	0.219	0.204	171	170	166
Dezember	0.213	0.218	0.211	183	173	177
Jahr	0.193	0.206	0.190	150	153	147

Tabelle 39. Temperaturen der Oberhaut (im Schatten) berechnet nach Vincents Formel

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Maxima	Minima
Januar	28.8	28.1	29.0	28.6	31.6	18.0
Februar	27.1	28.2	28.4	27.9	31.6	8.9
März	27.7	26.0	27.1	26.9	32.1	11.2
April	29.1	27.0	27.5	27.9	32.6	17.5
Mai	30.5	30.0	30.1	30.2	34.4	22.6
Juni	32.5	32.3	32.2	32.3	34.7	27.1
Juli	32.5	32.6	31.8	32.3	34.6	20.9
August	32.5	32.7	32.3	32.5	34.7	26.0
September	31.2	30.9	31.2	31.0	34.1	24.4
Oktober	29.7	29.9	30.5	30.0	33.1	21.5
November	29.0	29.4	29.3	29.2	32.4	18.7
Dezember	27.6	27.5	28.7	27.9	32.1	14.0
Jahr	29.9	29.6	29.8	29.7	33.2	19.2

Tabelle 40
 Physikalisch mögliche Verdunstung einer total feuchten Oberhaut bei Hauttemperaturen laut Vincent

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel	Maxima	Minima
a) Austrocknungsgröße nach Walter Knoche						
Januar	0.460	0.481	0.447	0.463	0.645	0.384
Februar	0.457	0.447	0.438	0.446	0.688	0.286
März	0.427	0.508	0.425	0.453	0.823	0.294
April	0.368	0.453	0.402	0.407	0.846	0.289
Mai	0.307	0.395	0.327	0.342	0.630	0.210
Juni	0.232	0.347	0.247	0.275	0.370	0.154
Juli	0.273	0.355	0.300	0.310	0.448	0.144
August	0.247	0.340	0.272	0.287	0.611	0.146
September	0.283	0.373	0.297	0.318	0.680	0.168
Oktober	0.347	0.415	0.327	0.363	0.636	0.214
November	0.350	0.380	0.355	0.362	0.538	0.245
Dezember	0.503	0.527	0.475	0.502	1.020	0.372
Jahr	0.354	0.418	0.359	0.377	0.678	0.242
b) Verdunstungsmengen in Millimetern/24 Stunden						
Januar	27.6	28.9	26.8	27.8	38.7	23.0
Februar	27.4	26.8	26.3	26.8	41.3	17.1
März	25.6	30.5	25.5	27.2	49.4	17.6
April	22.1	27.2	24.1	24.4	50.8	17.3
Mai	18.4	23.7	19.6	20.5	37.8	12.6
Juni	13.9	20.8	14.8	16.5	22.3	9.2
Juli	16.4	21.3	18.0	18.6	26.9	8.6
August	14.8	20.4	16.3	17.2	36.7	8.8
September	17.0	22.4	17.8	19.1	40.8	10.1
Oktober	20.8	24.9	19.6	21.8	38.2	12.8
November	21.0	22.8	21.3	21.7	32.3	14.7
Dezember	30.2	31.6	28.5	30.1	61.2	22.3
Jahr	21.3	25.1	21.5	22.6	39.7	14.5
c) Physikalisch mögliche Wasserabgabe eines unbedeckten Durchschnittsmenschen (Oberfläche 18240 cm ²) bei dauernd freier Exposition in Gramm/Minuten						
Januar	24.9	26.1	24.1	25.0	34.9	20.7
Februar	24.7	24.2	23.7	24.2	37.2	15.4
März	23.1	27.5	23.0	24.5	44.5	16.0
April	20.0	24.5	21.7	22.1	45.8	15.6
Mai	16.6	21.3	17.6	18.5	34.1	11.4
Juni	12.6	18.7	13.3	14.9	20.1	8.3
Juli	14.7	19.1	16.3	16.7	24.3	7.8
August	13.4	18.3	14.7	15.5	33.1	7.9
September	15.2	20.3	16.1	17.2	36.8	9.1
Oktober	18.7	22.6	17.6	19.6	34.4	11.5
November	19.0	20.5	19.1	19.5	29.1	13.2
Dezember	27.2	28.4	25.6	27.1	55.2	20.1
Jahr	19.2	22.6	19.4	20.4	35.8	13.1

Tabelle 41
 Monatsmittel der trockenen Abkühlungsgröße bei Hauttemperaturen im Schatten. Millical/cm² sec

Monat	7 ¹ / ₂	13 ¹ / ₂	21 ¹ / ₂ ^h	Mittel
Januar	9.81	10.25	9.56	9.87
Februar	11.38	10.25	10.27	10.63
März	10.50	10.48	10.70	10.56
April	9.22	9.34	10.09	9.56
Mai	7.91	7.65	8.00	7.86
Juni	5.93	5.96	6.19	6.03
Juli	6.00	5.84	6.55	6.13
August	5.99	5.76	6.14	5.96
September	7.29	7.13	7.46	7.29
Oktober	8.70	8.09	8.07	8.28
November	9.46	8.68	8.98	9.04
Dezember	10.78	10.36	9.91	10.35
Jahr	8.58	8.32	8.49	8.46