

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 47 (1956)

Heft: 10

Artikel: Die Berücksichtigung klimatischer Einflüsse bei der Planung und Konstruktion elektronischer Geräte

Autor: Ganz, E. / Michel, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060091>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

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

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

GEMEINSAMES PUBLIKATIONSORGAN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS (SEV) UND DES VERBANDES SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSWERKE (VSE)

Die Berücksichtigung klimatischer Einflüsse bei der Planung und Konstruktion elektronischer Geräte

Von E. Ganz und K. Michel, Baden (AG)

551.584 : 621.38/389.001.4

Nach einer kurzen Diskussion des Begriffes «Tropen» werden die für die Planung und Konstruktion elektronischer Geräte wichtigen Klimafaktoren (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Eis, Luftverunreinigungen, Ultraviolettrstrahlung, Luftdruck) näher untersucht. Es wird gezeigt, dass diese Klimafaktoren nicht allein von der geographischen Lage (Grossklima) abhängig sind, sondern bei «mikroskopischer» Betrachtung in starker Masse auch von den örtlichen Verhältnissen (z. B. Aufstellungsort im Freien oder in Gebäuden, direkte Sonnenbestrahlung usw.) oder von der unmittelbaren Umgebung (z. B. Wärmestrahlung benachbarter Materialien) beeinflusst werden (Mikroklima, Technoklima). Durch diese mikro- oder technoklimatischen Einflüsse können extreme klimatische Verhältnisse entstehen, wie sie sich aus den Werten des Grossklimas kaum ableiten lassen, die jedoch die Lebensdauer oder Betriebssicherheit einer elektronischen Anlage wesentlich beeinträchtigen.

A. Einleitung

Es ist heute üblich, von «tropensicheren» Werkstoffen, Bauelementen und Geräten zu sprechen, wobei jedoch der Begriff der «Tropensicherheit» in Ermangelung einer allgemeinen und international anerkannten Definition sehr unterschiedlich interpretiert wird. Abgesehen davon, dass es kein einheitliches Tropenklima gibt und dass in den gemäßigten Zonen unter Umständen höhere klimatische Ansprüche an das Material gestellt werden können als in den tropischen Gebieten, lässt sich das Verhalten des Materials gegenüber klimatisch bedingten Einflüssen nicht auf einen Nenner bringen. Die verschiedenen Klimaeinflüsse, wie Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlungsverhältnisse usw., müssen gesondert betrachtet werden, um die Qualitätsansprüche an das Material abschätzen zu können. Zum Beispiel kann ein Funkgerät im Kofferraum eines Polizeiautos, das längere Zeit stillstehend der prallen Juli-Mittagssonne ausgesetzt ist, eine Umgebungstemperatur erhalten, welche den Temperaturen in tropischen Gegenden nicht nachsteht; oder ein Hochfrequenz-Industriegenerator zur Trocknung von Kochsalz in einer Saline (Fig. 12) ist derart starken salzhaltigen Dünsten ausgesetzt, wie sie in der freien Natur kaum je vorkommen. Diese Beispiele zeigen, dass für die klimatisch bedingte Beanspruchung des Materials vielfach weniger der geographische Ort mit seinem entsprechenden Ortsklima massgebend ist, als das Klima der unmittelbaren Umgebung des Apparates, das sogenannte Mikroklima.

Après avoir introduit la notion de climatisation, les auteurs étudient en détail les facteurs climatiques les plus importants pour l'élaboration et la construction d'appareils électroniques : température, humidité de l'air, glace, impuretés de l'air, radiations ultraviolettes, pression atmosphérique. Les auteurs montrent que ces facteurs climatiques ne dépendent pas uniquement de la situation géographique (climat général), mais aussi du microclimat, c'est-à-dire des conditions locales, telles qu'emplacement en plein air ou dans des bâtiments, exposition directe au soleil, etc., ou encore de l'environnement immédiat (radiations thermiques de matériaux voisins). Ces influences microclimatiques ou technoclimatiques peuvent donner lieu à des conditions locales extrêmes, nettement plus dangereuses que celles du climat général, et susceptibles d'affecter la durée de vie ou la sécurité de service d'une installation électronique.

B. Das Klima

1. Die Klimafaktoren

Unter «Klima» versteht man den mittleren Zustand der Atmosphäre über einem bestimmten Gebiet und den für dieses Gebiet charakteristischen (durchschnittlichen) Ablauf der Witterung. Die wichtigsten Klimaelemente, die an den meisten meteorologischen Stationen beobachtet werden, sind Temperatur, Luftdruck, Windrichtung und -stärke, Niederschläge (Art, Menge), Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer. Die mittlere Verteilung dieser Elemente wird bestimmt durch die Klimafaktoren; zu ihnen gehören geographische Breite und Höhe über Meer, Entfernung vom Meer oder grossen Binnenseen, Lage zu den vorherrschenden Winden, ferner in mehr lokaler Sicht Hangneigung (Exposition), Bodenbeschaffenheit, Vegetation usw. [1]¹.

Von grundlegender Bedeutung für die Verteilung der Klimata auf der Erde ist die geographische Breite, die das Verhältnis von Ein- und Ausstrahlung der Sonnenenergie bestimmt. Hieraus ergibt sich die aus dem Altertum stammende Einteilung in «mathematische Klimazonen», die durch die Polarkreise und Wendekreise begrenzt werden.

2. Begriff der Tropen

Das Gebiet zwischen den beiden Wendekreisen, die «heisse Zone» oder «Sommerzone», in der die Sonne im Mittagsstande nie unter 43° sinkt und

¹) siehe Literaturverzeichnis am Schluss des Aufsatzes.

zweimal im Jahre im Zenit steht, bezeichnet man heute im allgemeinen nach den «mathematisch-klimatischen» Gesichtspunkten als Tropen [2]. Dass dieser sehr weitreichende Begriff der «Tropen» zur Beurteilung der tatsächlichen Anforderungen an technische Apparate unzureichend ist, zeigt die Gegenüberstellung der klimatischen Bedingungen einiger Orte in unmittelbarer Nähe des Äquators (Tab. I), mit Orten, die schon ausserhalb des tropischen Gürtels liegen (Tab. II) [3].

Der Vergleich der verschiedenen Ortstemperaturen innerhalb und ausserhalb des «mathemati-

schen Tropengürtels» zeigt, dass ausserhalb der Zone zwischen den Wendekreisen höhere Orts-Maximaltemperaturen auftreten können als zwischen den Wendekreisen unmittelbar in der Nähe des Äquators. Natürlich sind derartige Temperaturmaxima an hier nicht aufgeführten Orten innerhalb des Tropengürtels durchaus nicht selten; mit den zitierten Beispielen soll lediglich gezeigt werden, dass die maximale Beanspruchung der Werkstoffe nicht nur auf den Tropengürtel beschränkt ist. Charakteristisch am Tropengürtel ist, dass sowohl die täglichen als auch die jahreszeitlichen Wärmeschwankungen in

Klima einiger Orte in unmittelbarer Nähe des Äquators

Tabelle I

	Land, Lage	Höhe über Meer m		Monat												Jahr
				Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
Bogota	Kolumbien (Landesinnere, Hochland)	2610	<i>i</i> <i>k</i>	14,5 5,7	14,5 6,1	15 10	15 14	15 11,5	14,5 5,8	14 5,3	14 5,8	14 6,1	14,5 16	14,5 12	14,5 6,8	14,5 105
Manaos	Brasilien (am Amazonenstrom im Landesinnern)	40	<i>i</i> <i>k</i>	26,5 22	26,5 20,5	26,5 22	26,5 22	26,5 17	26,5 10	27 4,8	28 3,3	28,5 4,6	28,5 11,5	28 14	27 20,5	27 172
Para (Belém)	Brasilien (Küste Atlantischer Ozean)	10	<i>a</i> <i>b</i> <i>c</i> <i>d</i> <i>e</i> <i>f</i> <i>g</i>	30,5 22 92 35 19 27 65	30 22 94 35 20 26 72	30,5 23 93 35 20,5 28 74	30,5 23 93 35 20 27 71	31 22 91 34,5 20 24 60	31 22 89 34,5 20 22 49	31 21,5 89 34,5 18 19 43	31 21,5 89 35 19,5 16 38	31,5 21,5 87 35,5 19,5 16 36	32 21,5 87 36,5 19,5 15 34	31,5 22 88 36 19 12 51	— — — — — — —	
Entebbe	Uganda (Küste Viktoriasee)	1134	<i>i</i> <i>k</i>	21,5 6,6	21,5 9,1	21,5 14,5	21 24,5	21 21,5	20,5 13,2	20,5 6,4	20,5 7,9	20,5 8,1	21 8,6	21 12,7	21 13	21 147

a Durchschnittliche tägliche Maximaltemperatur in °C
b Durchschnittliche tägliche Minimaltemperatur in °C
c Durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit in %
d Maximaltemperatur in °C
e Minimaltemperatur in °C
f Durchschnittliche Anzahl Regentage
g Durchschnittliche Bewölkung in % der Bedeckung des Himmels mit Wolken
i Durchschnittliche Monats- und Jahrestemperatur
k Durchschnittliche Niederschlagsmenge in cm

Klima einiger Orte ausserhalb des tropischen Klimagürtels, die jedoch in materialtechnischer (technoklimatischer) Beziehung ebenfalls zu den Tropen zu rechnen sind

Tabelle II

	Land, Lage	Höhe über Meer m		Monat												Jahr
				Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	
Buenos Aires	Argentinien (Meeresbucht, Rio de la Plata)	20	<i>a</i> <i>b</i> <i>c</i> <i>d</i> <i>e</i> <i>f</i> <i>g</i>	29,5 17 72 39 6,1 7 40	29 16,5 74 39,5 4,4 6 41	25,5 15 79 35 3,3 7 40	22 11,5 82 36 0,6 8 41	18 7,8 82 29 -3,9 7 50	14,5 5,0 86 25 -5 7 58	14 5,6 86 29 -5,6 8 51	15 6,1 82 29 -3,3 9 49	17,2 7,8 79 30,5 -2,2 8 48	20,5 10 77 33 -2,2 9 52	24 12,9 73 35 2,2 9 45	28 15,5 72 39 3,9 8 41	— — — — — — —
Tunis	Tunesien (Küste Mittelmeer)	40	<i>a</i> <i>b</i> <i>c</i> <i>d</i> <i>e</i> <i>f</i> <i>g</i>	14,5 6,1 76 29 -0,56 11 69	16 6,1 75 28,5 0 10 66	19 7,8 72 33 1,1 9 55	21 10 69 40 2,8 5 56	25 13,5 65 39,5 2,8 5 50	29,5 17 59 42 8,9 3 36	33,5 19,5 55 48 10 1 43	34 19,5 59 47 10,1 1 42	30 18 65 47 11,1 1 57	25,5 18 72 44,5 11,1 4,4 53	20,5 14 72 40,5 4,4 0,56 55	16 10 76 32 -1,1 9 62	— — — — — — —
In Salah	Wüste Sahara	310	<i>i</i> <i>k</i>	13 1	15 1	20 1	24,5 24,5	30 30	34,5 34,5	37 37	36 36	33,5 33,5	26,5 26,5	20 20	14,5 14,5	25,5 25,5

praktisch kein Regenfall

a Durchschnittliche tägliche Maximaltemperatur in °C
b Durchschnittliche tägliche Minimaltemperatur in °C
c Durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit in %
d Maximaltemperatur in °C
e Minimaltemperatur in °C
f Durchschnittliche Anzahl Regentage
g Durchschnittliche Bewölkung in % der Bedeckung des Himmels mit Wolken
i Durchschnittliche Monats- und Jahrestemperatur
k Durchschnittliche Niederschlagsmenge in cm

diesem Gebiet ausserordentlich gering sind, so dass ein Unterschied der Jahreszeiten kaum mehr feststellbar ist (daher wird diese Zone oft auch als «Sommerzone» bezeichnet).

3. Die Einteilung der Klimata

Eine ideale allseitig anerkannte Einteilung der Klimata gibt es bis heute leider noch nicht, da diese nach sehr verschiedenen Gesichtspunkten vorgenommen werden kann. Weite Verbreitung hat die Einteilung von *W. Köppen* (1900, zuletzt verbessert von *R. Geiger* 1954) gefunden, die ursprünglich auf den Beziehungen zur Vegetation aufgebaut war, später aber exakte klimatische Grenzwerte einführte. Neuerdings gewinnt das System von *Thorntwaite* (1931, 1948) Anklang, das auf der Wirkung von Temperatur und Niederschlag auf die Verdunstung beruht, aber zahlenmäßig wohl noch nicht endgültig festliegt. Ebenso ist in jüngster Zeit auch eine Einteilung nach der Ursache, d. h. nach den grossen Wind- und Luftdruckgürteln der Erde (Zirkulation der Atmosphäre) vorgeschlagen worden [1].

Nach *W. Köppen* z. B. können folgende hauptsächlichsten geographischen Klimatypen unterschieden werden:

Tropische Regenklimata:

Feuchtheisses Urwaldklima
Savannenklima

Trockene Klimata:

Steppenklima
Wüstenklima

Warme gemässigte Regenklimata:

Warmes wintergetrocknetes Klima
Warmes sommertrockenes Klima
Feuchtemperiertes Klima

Winterkalte gemässigte Klimata:

Feucht-winterkaltes Klima
Winter-trockenkaltes Klima

Schneeklima:

Tundrenklima
Klima ewigen Frostes

Diese Unterscheidung berücksichtigt vorwiegend die Sonneneinstrahlung (und damit die geographische Breite), die Winde, die Luftfeuchtigkeit (Nähe von Meeren, Seen, grossen Flüssen, Sümpfen usw.), gibt jedoch keinerlei oder nur beschränkte Auskunft über weitere Klimaelemente, wie Luftverunreinigungen (Aerosole, Stäube, aggressive Gase usw.), Luftdruck (Höhe über dem Meeresspiegel), Ultravioletstrahlung usw., welche die Betriebssicherheit von Geräten ebenfalls weitgehend beeinflussen können. Aber auch die offiziellen Werte der verschiedenen meteorologischen Beobachtungsstationen über die Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse geben für eine einwandfreie Planung der zu erwartenden Betriebsverhältnisse einer elektrischen Anlage noch keine erschöpfende Antwort, da diese Werte unter möglichst idealen meteorologischen Verhältnissen gemessen werden und mit den praktisch am Objekt herrschenden Bedingungen nur in den seltensten Fällen übereinstimmen. Aus diesen Gründen ist für die Planung einer Konstruktion in erster Linie das zu erwartende Klima der unmittelbaren Umgebung zu berücksichtigen, das sogenannte Mikroklima oder Kleinklima.

4. Das Mikroklima

Die Klimaangaben, wie sie in meteorologischen Statistiken und Berichten zu finden sind, beziehen sich auf die Luftsichten, die mindestens 2 m über der Erdoberfläche liegen. Die Einflüsse der nächsten Umgebung, wie z. B. der Bodengestaltung, werden bei der Messung der offiziellen Klimawerte möglichst ausgeschaltet. Die Ergebnisse der 10, 100, ja oft noch mehr Kilometer voneinander entfernten Beobachtungsstellen können hiervon zu einem einheitlichen Bild zusammengeschlossen werden. Man erhält damit die grosszügige räumliche Gliederung des Klimas für die betreffende Gegend oder das betreffende Land. Dieses Klima wird daher Grossklima oder Makroklima genannt [4].

Während sich im höheren Luftraum Gegensätze, falls sie auftreten, alsbald ausgleichen, können sie im bodennahen Luftraum auf kurze Entfernung hin nebeneinander bestehen bleiben; denn jede entstehende Austauschbewegung wird durch die Behinderung der Luftzirkulation in Bodennähe unterbunden. Zu den vertikalen Gegensätzen treten die horizontalen. Durch die Art des Bodens oder der Wand, durch die Gestalt, durch die örtlich wechselnde Beschattung oder Besonnung, durch den verschiedenen Windschutz und viele andere Umstände können auf kürzeste Entfernung grosse Klimagegensätze auftreten. Dieses örtlich begrenzte Klima wird heute als Mikroklima bezeichnet. Der Begriff Mikroklima ist am treffendsten definiert durch die Übersetzung: «Klima auf kleinstem Raum» [4].

In der Technik muss man die Mikroklimatologie nicht auf die freie Natur allein beschränken, sondern kann sie — was sogar von grösserer Wichtigkeit ist — auch auf die Verhältnisse in geschlossenen Räumen (Fabrikhallen, Büros, militärische Bunker usw.), ja sogar auf das Innere von Geräten, ausdehnen. So, wie im Innern eines Raumes an verschiedenen Stellen die mikroklimatischen Werte stark voneinander abweichen können (z. B. in der Nähe des Fussbodens, der Decke, der Wände usw.), so sind auch die Verhältnisse im Innern eines Gerätes je nach Einbauart und Einbauort des Materials vollständig verschieden. In der Nähe einer Glühkathodenröhre, eines hochbelasteten Widerstandes, Gleichrichters usw., ist mit Strahlungswärme zu rechnen, während Materialien in der Nähe einer Ansaugöffnung für Kühlluft eventuell starker Verschmutzung durch Stäube, Aerosole usw. ausgesetzt sein können. Durch diese erweiterte Anwendung der Mikroklimatologie auf die Technik ergeben sich vollständig neue Gesichtspunkte, die leider (nach den Kenntnissen der Autoren) bisher noch nicht umfassend ausgearbeitet worden sind. Auf Grund neuerer Veröffentlichungen zeichnet sich jedoch langsam das Bestreben ab, den klimatischen Einflüssen auf die technischen Belange vermehrte Aufmerksamkeit zu schenken und dieses Gebiet unter dem Begriff «Technoklimatologie» und «Technoklima» zusammenzufassen [5, 6].

C. Der Temperatureinfluss

Das wichtigste Klimaelement in der Technoklimatologie ist unzweifelhaft die Temperatur. Sie

kann sich als stationäre Temperatur (z. B. Betriebs-temperatur eines Apparates) oder als Temperaturschwankung auf die Materialien auswirken. Während die Extremwerte der Betriebstemperatur vorwiegend die statische Dimensionierung des Materials beeinflussen, können hohe, rasch aufeinanderfolgende Temperaturschwankungen eine vorzeitige mechanische Alterung bewirken. Durch das Zusammenwirken der Temperatur mit anderen Klimaelementen (wie z. B. Feuchtigkeit) können die Effekte noch wesentlich gesteigert werden.

die See [7]. In ähnlicher Weise verschieben auch die Meeresströmungen die Temperaturverhältnisse in der Richtung ihrer Bewegung.

e) Je höher wir uns in die Atmosphäre erheben, desto intensiver wird die Intensität der Sonnenstrahlung, weil sie um so weniger von den Schirmwirkungen der Atmosphäre beeinträchtigt ist; in den tiefer gelegenen Schichten der Erdatmosphäre sinkt die Temperatur durchschnittlich um 4...8 °C pro km Zunahme der Höhe, also ebensoviel wie bei der Annäherung an den Pol um ca. 10 Breitengrade oder etwas mehr als 1000 km. Tab. V zeigt die durchschnittliche Temperaturabnahme in Mitteleuropa pro Kilometer Höhenzunahme in der freien Atmosphäre, bezogen auf die Normaltemperatur auf Meeresniveau [7].

Mittlere Temperaturen für verschiedene geographische Breitengrade

Tabelle III

Geographische Breite		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
Nördliche Halbkugel	Jahr	26,2	26,7	25,3	20,3	14,0	5,7	-1,0	-10,0	-16,7
	Januar	26,4	25,8	21,9	14,6	4,9	-7,0	-15,8	-26,0	-33,5
	Juli	25,6	26,9	28,3	27,3	24,0	18,1	14,0	7,0	1,8
	Differenz	0,8	1,1	6,4	12,7	19,1	25,1	29,8	33,0	35,3
Südliche Halbkugel	Jahr	26,2	25,3	23,0	18,4	12,0	5,6	-2,0	-11,5	-19,8
	Januar	26,4	26,3	25,4	21,8	15,6	8,3	3,2	-0,8	-6,5
	Juli	25,6	23,9	20,0	14,6	9,0	2,9	-7,6	-22,2	-31,5
	Differenz	0,8	2,4	5,4	7,2	6,6	5,4	10,8	21,4	25,0

1. Die Temperaturbeeinflussung durch Sonnenstrahlung

Die Wirkung der Sonnenstrahlung ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

a) Von der geographischen Breite. Tab. III zeigt die mittleren Temperaturen verschiedener Breitengrade [7]. In diesen Zahlen sind jedoch auch die Wirkungen des verschiedenen Raumanteils von Land und Wasser mit enthalten, so dass sie nicht den theoretischen Werten entsprechen, die unter der Voraussetzung erhalten würden, die Erde sei eine glatte Kugel aus einheitlichem Material.

b) Die Beeinträchtigung der Sonneneinstrahlung durch Bewölkung bewirkt am Tage, im Sommer und in niedriger Breite eine Erniedrigung, in der Nacht, im Winter und in hohen Breiten eine Erhöhung der Temperatur gegenüber den Durchschnittswerten [7]. An ganz trüben Tagen weicht die Lufttemperatur durchschnittlich um folgende Größen vom Mittel der ganz heiteren Tage ab:

	Um 15 Uhr im Sommer	Um 6 Uhr im Winter
In Leningrad	-7°	+16°
In Tiflis	-8°	+ 6°

c) Die Temperaturunterschiede vom Äquator zum Pol werden grösser über dem Lande als über dem Wasser wegen der grösseren Befähigung des Wassers zur Aufspeicherung der Wärme (Tab. IV) [7] und wegen des Temperaturausgleiches durch Strömungen.

Mittlere Temperaturen für verschiedene geographische Breitengrade über dem Land und über dem Meer oder grossen Seen

Tabelle IV

Geogr. Breite	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Landklima	34,6	33,5	30,0	24,1	15,7	5,0	-7,7	-19,0	-24,9	-26,1
Seeklima	26,1	25,3	22,7	18,8	13,4	7,1	0,3	-5,2	-8,2	-8,7

Aus den selben Gründen ist der Temperaturunterschied der Jahres- und Tageszeiten auf dem Lande grösser als auf dem Meere. So weisen z. B. die beiden Orte Färöer (Seeklima) und Jakutsk (Landklima, kontinentales Klima), die beide auf 62,0° nördlicher Breite gelegen sind, im Januar und Juli folgende Durchschnittstemperaturen auf [1]:

Färöer: Januar + 3,2 °C; Juli + 10,6 °C; Differenz: 7,4 °C
Jakutsk: Januar -43,5 °C; Juli +19,0 °C; Differenz: 62,5 °C

d) Die Winde können je nach ihrer Richtung die Temperaturverhältnisse verschieben: Winde aus der Richtung der Pole bringen Kälte, solche von der Äquatorialseite Wärme in andere Breiten, landeinwärts wehende Winde bringen das Seeklima auf das Land, seewärts wehende das Landklima auf

Durchschnittliche Temperaturabnahme pro 1000 m Höhenzunahme

Tabelle V

Höhe ü. M. km	0...1	1...2	2...3	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8
Δt °C	6	5	5	5	6	7	7	7
Höhe ü. M. km	8...9	9...10	10...11	11...12	12...13	13...14	über 14	
Δt C°	7	6	4	1	-1	0	0	

Der Einfluss der Sonnenstrahlung auf das Mikro- bzw. Technoklima ist wesentlich stärker als auf das Grossklima, da bei der Bestrahlung einzelner Körper ein Teil der Strahlungsenergie unmittelbar in Wärme umgesetzt wird und der Wärmeaustausch fester Körper gegen die umgebende Lufthülle und von dieser Lufthülle zu der weiteren Umgebung relativ schlecht ist. Die Erwärmung eines Körpers, bzw. dessen Oberfläche bei direkter Sonnenbestrahlung ist von den physikalischen Eigenschaften des Körpers und seiner direkten Umgebung abhängig, wie:

Lage der Körperflächen zur Richtung der Sonnenstrahlen; Beschaffenheit der Oberflächen (Rauigkeit, Farbe); Grösse und Volumen des Körpers; Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärme des Stoffes; Unmittelbare Umgebung des Körpers, durch welche der Wärmeaustausch (direkte Wärmeableitung, Konvektion, Wärmestrahlung) beeinflusst wird.

Systematische Untersuchungen über die Erwärmung technischer Oberflächen unter direkter Sonnenbestrahlung wurden von K. Schropp [8] ausgeführt. Auf eine 5 cm starke Isolierplatte aus Kork oder Torf wurden verschiedene dünne Werkstoffe aufgeklebt, bzw. durch Drähte befestigt. Die einzelnen Werkstoffe bedeckten je eine Fläche von etwa 15 × 20 cm. Die Temperaturen wurden durch Thermoelemente gemessen, die zwischen die Isolierplatte und den auszumessenden Werkstoff eingelegt waren. Diese Messplatten wurden an möglichst windgeschützter Stelle auf freiem Dach senkrecht zur Sonnenstrahlung aufgestellt. Die in den Tab. VI und VII angeführten Messergebnisse sind die

Extremtemperaturen als Mittelwerte über etwa je 1 Stunde. Die höchsten Temperaturen traten durchschnittlich zwischen etwa 12...13 Uhr, die tiefsten zwischen ca. 3...5 Uhr auf. Die angegebenen Werte beziehen sich alle auf München bei wolkenlosem Himmel.

Höchsttemperaturen in °C verschiedener Oberflächen bei Sonnenbestrahlung

Tabelle VI

	Glänzende Alumin-umfolie	Rohes Alumin-um-blech	Papier schwarz	Glas auf weissem Papier	Glas auf schwarzem Papier	Luft
27. 9. 1929	38	57	75	45	74	21
	Glänzende Alumin-umfolie	Alumin-um-bronze	Papier schwarz	Lack-anstrich weiss	Lack-anstrich schwarz	Luft
28. 9. 1929	37	50	66	43	67	20
29. 9. 1929	32	50	61	40	65	20

Tiefste Temperaturen in °C verschiedener Oberflächen bei nächtlicher Ausstrahlung

Tabelle VII

	Glänzende Alumin-umfolie	Alumin-um-bronze	Papier schwarz	Papier weiss	Luft
11. 2. 1930:					
21.00 Uhr	- 6,9	- 9,5	-10,9	-10,3	-7,0
24.00 Uhr	- 9,0	-11,2	-11,8	-12,5	-9,0
12. 2. 1930:					
0.30 Uhr	-11,8	-11,6	-12,1	-12,5	-9,1
21.35 Uhr	- 7,9	- 7,1	- 8,3	- 8,0	-4,0
22.35 Uhr	- 5,3	- 7,8	- 7,8	- 7,3	-4,0

Die in den Tab. VI und VII dargestellten Versuchsresultate zeigen eindringlich, wie stark die technoklimatischen Verhältnisse von denjenigen des Gross- oder Ortsklimas abweichen können. Am Tage ist unter der Sonnenbestrahlung mit ausserordentlich hohen Erwärmungen zu rechnen, während in der Nacht infolge der Wärmeausstrahlung eine Unterkühlung gegenüber der Lufttemperatur eintreten kann. Hierdurch werden ausserordentlich grosse tägliche Temperaturschwankungen erhalten, welche das Material sehr stark beanspruchen können. Ferner veranschaulichen diese Messwerte deutlich, dass auch an Orten mit gemässigten Ortsklima-Verhältnissen durchaus Extremtemperaturen auftreten können, die eine besondere Berücksichtigung bei der Materialwahl und Konstruktion elektronischer Geräte notwendig machen.

Diese extremen Temperaturverhältnisse sind natürlich in ähnlicher Art und Weise auch in der freien Natur anzutreffen, weil sich hier unter dem Einfluss der Sonnenbestrahlung der Boden stark erwärmt und in der Nacht die aufgespeicherte Wärme an die benachbarten Luftsichten abgibt. Dass das Mikroklima, je näher dem Boden, desto extremer wird, gehört zu seinen besonderen Kennzeichen. Die Tagesschwankung der Temperatur

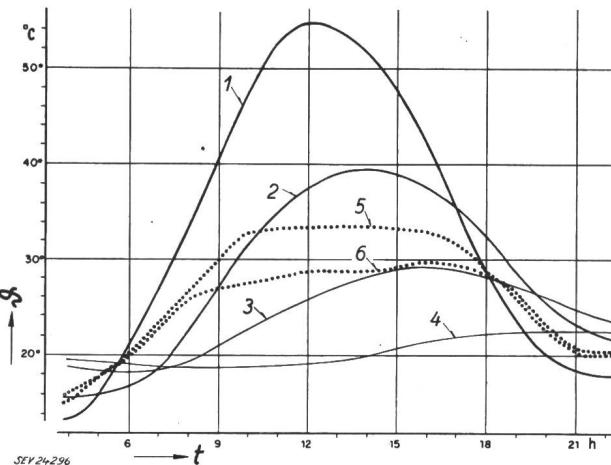
Tagestemperaturschwankung in Abhängigkeit von der Höhe über dem Boden, der Jahreszeit und Witterung

Tabelle VIII

Höhe über dem Boden in m	17,1	7,1	1,2	0,3	0,025
Monatsmittel Dezember in °C	2,4	2,7	3,1	3,3	3,7
Monatsmittel Juni in °C	7,7	8,3	9,4	10,2	11,8
8 sonnige Junitage in °C	10,9	11,9	14,0	15,3	18,0

nimmt mit der Annäherung an die Bodenfläche rasch zu (Tab. VIII) [4].

Fig. 1 zeigt den Temperaturgang über Wüstenboden in der Wüste Gobi (Ikengüng, 4. Juni 1931) [4]. Auch in unserem Klima sind solch hohe Oberflächentemperaturen keineswegs unbekannt, vor allem nicht über den dunklen Oberflächen unserer Kunststrassen. Aber auch auf natürlichen Böden sind die Mittagstemperaturen meist höher, als man anzunehmen pflegt. Nach neueren Messungen sind Boden-Oberflächentemperaturen von 70 °C und mehr wiederholt beobachtet worden. Man kann in unserem Klimagebiet an Südhängen unter günstigen



Temperaturgang unter und über der Bodenoberfläche in der Wüste Gobi

Messungen bei Ikengüng (41° 54' Nord, 107° 45' Ost) an einem Junitag mit wenig Cirruswolken und einigen Cumuli [4].

Man beachte, dass um die Mittagszeit die Temperatur der Bodenoberfläche gegenüber der Lufttemperatur stark ansteigt, in der Nacht jedoch stärker sinkt als diese.

t Tageszeit; 9 Temperatur; 1: Bodenoberfläche; 2: 5 cm unter der Bodenoberfläche; 3: 10 cm unter der Bodenoberfläche; 4: 25 cm unter der Bodenoberfläche; 5: 2 cm über der Bodenoberfläche; 6: 200 cm über der Bodenoberfläche

Bedingungen mit Temperaturen bis zu 80 °C rechnen [4]. Wie extrem unter günstigsten Verhältnissen die Temperaturverhältnisse werden können, zeigt R. Geiger an folgendem Beispiel: Bringt man ein Schwarzkugel-Thermometer in einen gut isolierten Kasten mit geschwärzten Wänden und deckt den Kasten mit einer Glasscheibe zu, so kann man im Innern desselben 120 °C messen. Diese hohe Temperatur wird erreicht, indem durch den Kasten der Wärmeausgleich nach aussen weitgehend verhindert wird.

Insbesondere mobile Geräte der Nachrichtentechnik (Funkgeräte der Armee, Polizei, Feuerwehr usw.), die in vielen Fällen im Freien betrieben werden und damit den oben geschilderten mikroklimatischen Verhältnissen ausgesetzt sind, müssen den hohen Extremtemperaturen und Temperaturschwankungen ohne Beeinträchtigung der Betriebssicherheit standhalten können. Aber auch dann, wenn solche Geräte nicht der direkten Sonnenbestrahlung ausgesetzt sind, sondern zum Beispiel in den Kofferraum eines Automobils (mobile Polizeifunkstationen, Taxifunk usw.) eingebaut sind, ist mit ähn-

lichen Temperaturen (mit Spitzen bis zu 80 °C im Kofferraum gemessen) zu rechnen, solange das Auto stillstehend der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist.

Da die Lebensdauer einzelner Bauelemente (Kondensatoren, Trockengleichrichter, Kohlenwiderstände usw.) in einem direkten Verhältnis zur herrschenden Umgebungstemperatur steht, ist es zur Beurteilung der zu erwartenden Lebensdauer eines elektronischen Gerätes von grosser Wichtigkeit, abzuschätzen, mit wie langen Zeitintervallen solche maximalen Temperaturen auf das Gerät einwirken können. Wenn wir die durchschnittliche Bewölkung verschiedener Orte miteinander vergleichen, ist deutlich ersichtlich, dass die Beanspruchung durch Sonnenbestrahlung in Wüstengegenden ganz wesentlich grösser ist als in Gegenden mit häufiger Bewölkung (Tab. IX) [3].

Durchschnittliche Bewölkung pro Monat in % der Bedeckung des Himmels mit Wolken

Tabelle IX

	Monat											
	Jan.	Feb.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Algier	51	48	48	47	43	33	29	28	40	46	52	51
Amsterdam	71	67	66	60	58	60	60	62	58	63	70	75
Barcelona	50	45	50	50	50	45	30	45	40	50	55	45
Berlin	73	72	66	60	56	56	61	58	55	65	73	77
Bombay	15	13	18	31	43	75	88	88	72	39	20	16
Bushire	45	40	41	33	22	2	8	10	6	10	26	47
Jerusalem	46	46	30	33	13	7	5	4	12	15	26	37
Rangoon	30	28	36	41	73	89	92	91	86	65	45	34
Rom	55	56	55	56	53	41	28	27	36	54	59	61
Wien	74	68	58	57	56	56	49	43*	45	56	71	76

2. Die Temperaturbeeinflussung durch Eigenerwärmung oder durch die gegenseitige Erwärmung zweier Apparate

Das Material im Innern eines Gerätes wird nicht nur von aussen durch die klimatischen Umgebungsverhältnisse beeinflusst, sondern in den meisten Fällen insbesondere durch die Eigenerwärmung während des Betriebszustandes oder durch die Erwärmung benachbarter Bauelemente und Apparate, die eine hohe Betriebswärme aufweisen.

D. Der Feuchtigkeitseinfluss

Insbesondere elektronische Geräte sind außerordentlich empfindlich auf Feuchtigkeitseinflüsse. Hochfrequenzspulen, die Feuchtigkeit aufnehmen, können hiervon ihre Spulengüte einbüßen und zudem eine grössere Eigenkapazität erhalten, welche sich in einer Verschiebung der Resonanzfrequenz auswirkt. An ungeschützten Papierkondensatoren fällt der Isolationswiderstand zusammen, wodurch die Spannungsfestigkeit des Dielektrikums nachlässt und die Verluste ansteigen. Isoliermaterialien von Klemmen, Röhrenfassungen usw. verringern bei längerer Feuchtigkeitseinwirkung ihre Spannungsfestigkeit. In Relais und Messinstrumenten können durch die Feuchtigkeit — insbesondere bei Gleichspannungsbetrieb — elektrolytische Korrosionen zwischen den Wicklungsdrähten oder Wicklungsdrähten und Armaturteilen eingeleitet werden, die zu Drahtunterbrüchen führen können. Die Korrosion von metallischen Konstruktionsteilen wird in der Regel die Funktion von Geräten nicht direkt beeinträchtigen, doch können Korrosionsprodukte

durch Behinderung feinmechanischer bewegter Teile Betriebsstörungen hervorrufen (Drehwerke von Messinstrumenten, Anker von Relais usw.; siehe Fig. 2a und b).

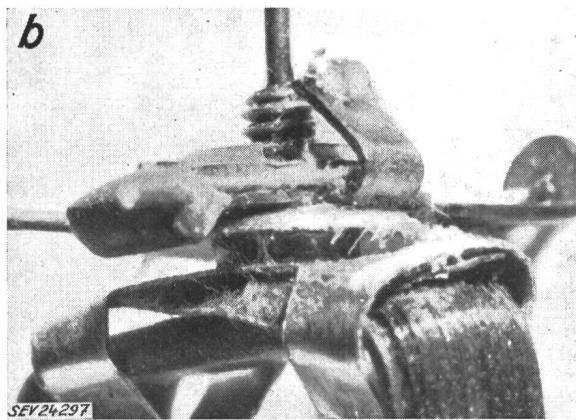
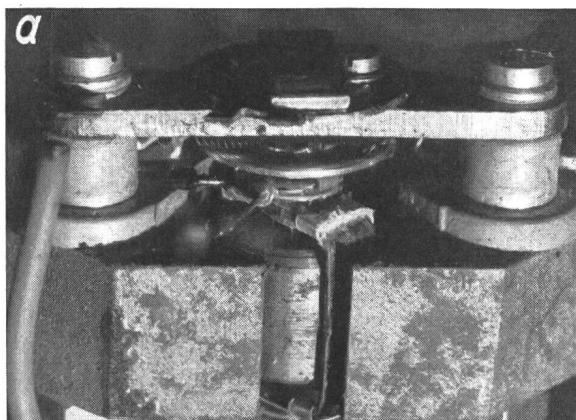


Fig. 2

Stark korrodiertes und mit Schimmelpilzen befallenes Messwerk eines Anzeigegerätes

Das Instrument war während ca. 1 Jahr in einer elektronischen Anlage an der Meeresküste des Persischen Golfs eingesetzt und musste wegen starken Reibungsfehlers ersetzt werden. Fig. 2b zeigt ein Detail des Instrumentes. Bemerkenswert ist der starke Befall mit Schimmelpilzen

Schimmelpilze, die sich nur in einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 75 % entwickeln können, werden sich ebenfalls nur in seltenen Fällen auf die Betriebssicherheit eines Gerätes schädlich auswirken, sofern die Abstände zwischen spannungsführenden Teilen richtig gewählt wurden. Korrosion und Schimmelpilz-Wachstum machen elektronische Apparate in jedem Falle unansehnlich und sollten schon deshalb — aus psychologischen Gründen — nach Möglichkeit vermieden werden, auch wenn sie keine technischen Schwierigkeiten verursachen (Fig. 3) [9].

Bei der Diskussion der Temperaturverhältnisse wurde gezeigt, dass in der Mikroklimatologie wesentliche Abweichungen der Temperaturen gegenüber dem Grossklima auftreten können. In ähnlicher Weise, ja sogar noch stärker, sind in der Technoklimatologie die Feuchtigkeitsverhältnisse mikroklimatologisch gesehen von denen des Grossklimas verschieden, da nicht allein die Luftfeuchtigkeit, d. h. der Wassergehalt der Luft, ausschlaggebend ist,

sondern das Zusammenwirken von Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Mit zunehmender Temperatur nimmt die Einwirkung der Feuchtigkeit auf die elektrischen (Spannungsfestigkeit, dielektrische Ver-

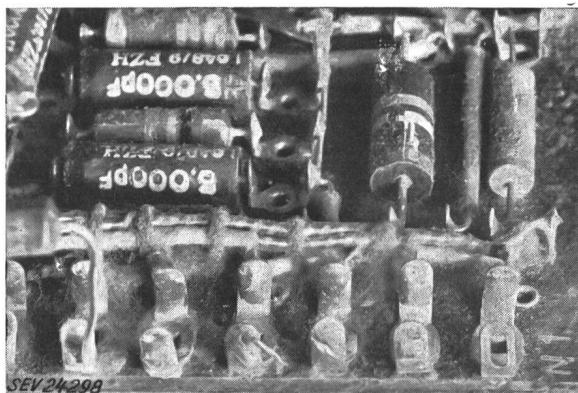


Fig. 3

Schimmelpilzbildung auf hygrokopischen oder verschmutzten Werkstoffen in einem elektronischen Gerät [9]

Das Wachstum von Schimmelpilzen in feuchtem Klima lässt sich verhindern durch die Wahl von Werkstoffen, die keinen Nährboden für Schimmelpilze bilden (Werkstoffe, die nicht oder nur wenig hygrokopisch sind) und durch geeignete Chemikalien mit pilzhemmender (fungistatischer) oder pilztötender (fungizider) Wirkung

luste) und mechanischen (Quellung, Spaltung) Eigenschaften von Isoliermaterialien zu, ebenso steigt auch die Korrosionsgeschwindigkeit auf metallischen Oberflächen stark an. Dieses Zusammenwirken von Temperatur und Feuchtigkeit lässt sich deutlich durch die Messung der Halbwertzeiten der Isolation von papierisolierten Kabeln bei verschiedenen Temperaturen in mit Wasserdampf gesättigter Luft illustrieren (Tab. X) [10].

Halbwertzeit eines papierisolierten Kabels bei verschiedenen Diffusionskonstanten

Tabelle X

Diffusionskonstante <i>D</i>	Halbwertzeit der Isolation			
	bei 9 °C und 100% relativer Feuchtigkeit		bei 20 °C und 100% relativer Feuchtigkeit	
	Stunden	Jahre	Stunden	Jahre
10^{-7}	$1,5 \cdot 10^2$	—	$7,3 \cdot 10^1$	—
10^{-8}	$1,5 \cdot 10^3$	—	$7,3 \cdot 10^2$	—
10^{-9}	$1,5 \cdot 10^4$	1,7	$7,3 \cdot 10^3$	0,84
10^{-10}	$1,5 \cdot 10^5$	17,0	$7,3 \cdot 10^4$	8,4

Bei Temperaturschwankungen kann der Taupunkt durchschritten werden und Kondensation auf den Materialoberflächen — je nach den spezifischen Temperaturverhältnissen innerhalb oder ausserhalb der Apparate — auftreten. Die kondensierte Feuchtigkeit ergibt in der Regel eine schärfere Beanspruchung des Materials als eine hohe Luftfeuchtigkeit allein. Besonders die Korrosion wird durch die Beftauung gefördert.

Der Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt der Luft und der Temperatur ist in der Technik auf Grund der physikalischen Gesetze eindeutig gegeben, so dass es möglich ist, den Feuchtigkeitsverlauf unter bestimmten Bedingungen bei veränderlicher Temperatur mehr oder weniger genau zu berechnen. In der freien Natur hingegen sind die Verhältnisse weit komplizierter — obwohl auch hier die physika-

lischen Grundgesetze ihre Gültigkeit bewahren —, da die verschiedenen Einflussfaktoren (Feuchtigkeitsquellen wie Seen, Flüsse, Wassertümpel, Vegetation, Winde aus trockenen oder feuchten Gebieten, makro- und mikroklimatische Temperaturschwankungen usw.) sich zahlenmäßig kaum erfassen lassen. Die Verschiedenartigkeit der Verhältnisse macht es schwierig, aus dem Gewirre der Erscheinungen die grossen Züge herauszulösen.

In den *gemässigten und kalten Zonen* besteht ein Gegensatz zwischen dem jährlichen Gang der Luftfeuchtigkeit des Grossklimas auf dem Festlande und dem Meere, der durch mannigfache Übergänge verwischt wird. Während im Binnenlande die Regenmenge in der warmen, die relative Feuchtigkeit und Häufigkeit des Nebels in der kalten Jahreszeit am grössten sind, ist es auf dem Ozean umgekehrt (Tab. XI) [7].

Der Einfluss der Jahreszeiten auf die Luftfeuchtigkeit des Grossklimas in gemässigten und kalten Zonen

Tabelle XI

	Winter a)	Frühling a)	Sommer a)	Herbst a)	Winter b)	Frühling b)	Sommer b)	Herbst b)
<i>Binnenland:</i>								
Prag (50° nördl. Breite)	66	84	115	70	183	66	95	78
Kimberley (29° südl. Breite)	32	61	89	52	216	55	119	63
<i>Ozean:</i>								
Färöer (62° nördl. Breite)	567	84	407	81	317	85	518	85
Pt. Nolloth (29° südl. Breite) (Westküste von Afrika)	61	76	17	83	4	87	37	80

a) durchschnittliche Regenmenge in mm

b) durchschnittliche relative Feuchtigkeit in %

In den meisten Gegenden der *heissen und der wärmeren gemässigten Zone* ist der jährliche Gang der Luftfeuchtigkeit des Grossklimas auf dem Festlande und dem Meere annähernd gleich. In der Regenzeit sind sowohl die relative Feuchtigkeit als auch die Gewitter häufiger als in der Trockenzeit, und zwar gilt dies sowohl für die sogenannten subtropischen Winterregen wie auch für die tropischen Regen bei höchstem Sonnenstand [7].

Die tägliche Periode der Luftfeuchtigkeit folgt grösstenteils denselben Gesetzmässigkeiten, die an der jährlichen wahrgenommen werden können, jedoch mit charakteristischen Abweichungen, die durch die Kürze des Zeitraumes bedingt sind, welcher gegenüber der Geschwindigkeit der Luftbewegungen nicht mehr als unendlich gross gelten kann [7].

Im allgemeinen ändert sich die relative Feuchtigkeit im umgekehrten Sinne wie die Temperatur (Fig. 4 [11]); durch periodische Winde können Abweichungen eintreten. So bewirkt an Küsten der Seewind häufig eine Zunahme der relativen Feuchtigkeit und der Nebelhäufigkeit um die Mittagsstunden, die an manchen Orten plötzlich eintritt und aufhört, jedoch an trüben Tagen meist ausbleibt. Auf Berggipfeln sind ebenfalls die Nebel am häufigsten um die Mittagszeit, weil sie hier eine Folge der Wolkenbildung in aufsteigenden Luftströmungen sind. Dagegen bilden sich im Tiefland bekanntlich lokale Nebel in der wärmeren Jahreszeit fast nur nach Sonnenuntergang, besonders auf feuchten Wiesen und Mooren, in Tälern und Mulden; steigende Sonne bringt sie bald wieder zur Auflö-

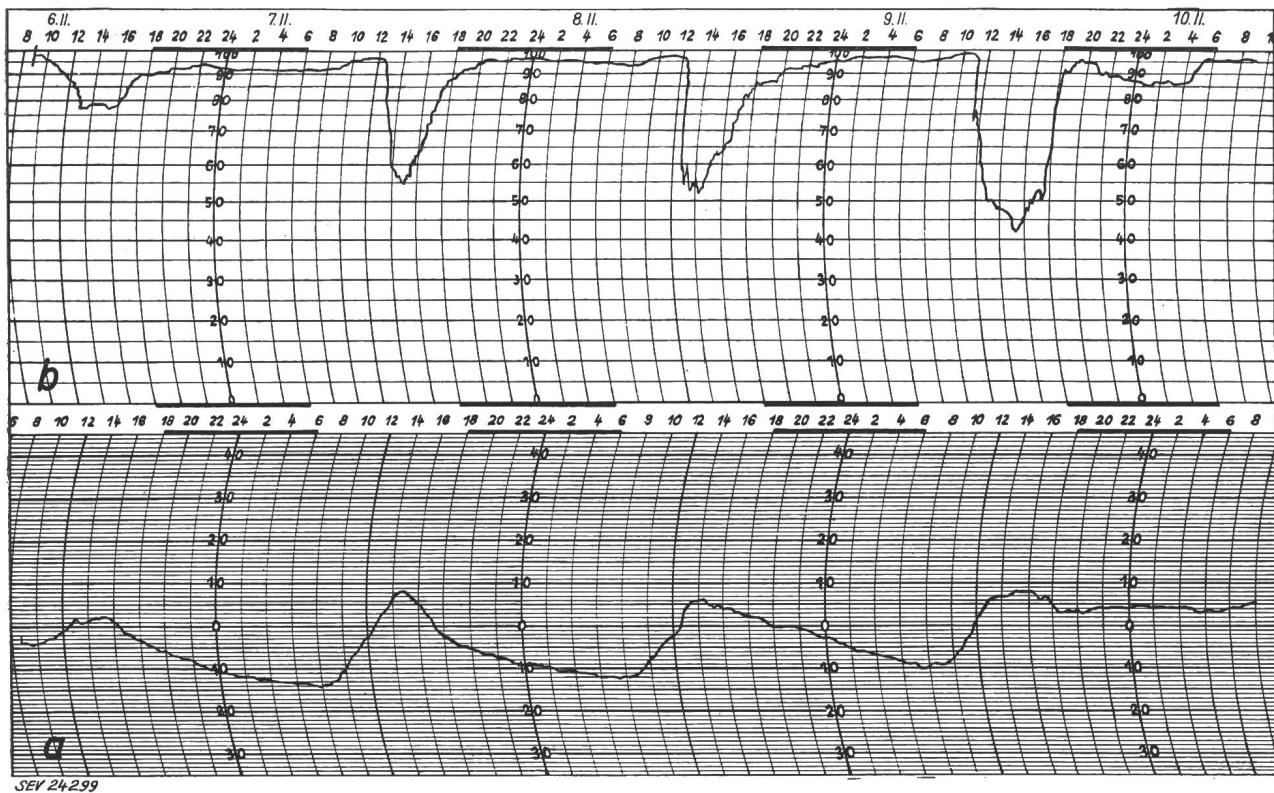


Fig. 4

Täglicher Verlauf der Temperatur und Feuchtigkeit bei winterlichem Hochdruckwetter

Gemessen in Bad Elster, 465 m ü. M., vom 6. bis 9. Februar 1939 in 2,3 m über dem Erdboden (Talsohlenlage) [11].

Das Beispiel zeigt deutlich, wie im allgemeinen die relative Luftfeuchtigkeit einen umgekehrten Verlauf zur Lufttemperatur aufweist

a Temperatur in °C; b relative Feuchtigkeit in %

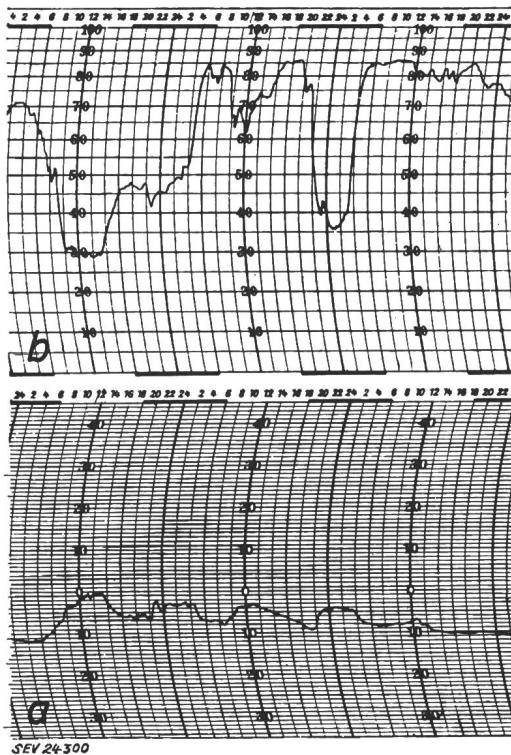


Fig. 5

Thermohygrometer-Registrierung eines winterlichen «Föhnwetters» im Gebirge (Arosa)

Der tägliche Temperaturverlauf ist gestört (indem z. B. um die Mitternachtszeit die Temperatur plötzlich ansteigt), und die Luftfeuchtigkeit weist einen von der Temperatur mehr oder weniger unabhängigen Verlauf auf [18]

a Temperatur in °C; b relative Feuchtigkeit in %

sung [7]. Fig. 5 zeigt ein deutliches Beispiel für den gestörten Witterungsablauf z. B. bei Föhnwetter im Gebirge (Arosa) [18].

In der Mikroklimatologie der freien Natur werden die Feuchtigkeitsverhältnisse der bodennahen Luftsicht durch die Wasserabgabe des Bodens bestimmt. Während die Temperatur bald ein Maximum, bald ein Minimum an der Erdoberfläche zeigt, nimmt der Wasserdampfgehalt der Luft normalerweise mit der Höhe über dem Wasserdampf abgebenden Boden ab (Fig. 6) [4].

Gegenüber der bodennahen Luftsicht ist in der wassernahen Luftsicht mit einer starken Wasser-

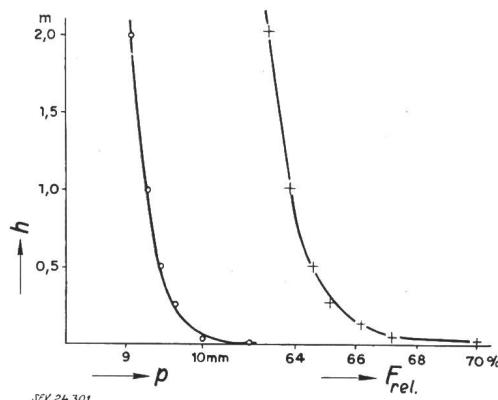


Fig. 6

Tagesmittel der Feuchtigkeitsgrößen in verschiedenen Höhen über dem Erdboden [4]

h Höhe über der Bodenfläche in m; p Dampfdruck in mm; $F_{rel.}$ relative Feuchtigkeit in %

dampfanreicherung zu rechnen. Aber auch hier nimmt die Luftfeuchtigkeit mit der Höhe über dem Wasserspiegel stark ab, wie die Messungen des Dampfdruckes über der Ostsee von *G. Wüst* deutlich zeigen (Tab. XII) [4].

Dampfdruck an verschiedenen Höhen über der Wasseroberfläche der Ostsee im September 1919

Tabelle XII

Höhe über der Wasseroberfläche cm	Wasser wärmer als Luft (17 Messreihen)		Wasser kälter als Luft (9 Messreihen)	
	Temperatur °C	Dampfdruck mm Hg	Temperatur °C	Dampfdruck mm Hg
200	13,95	10,28	16,52	11,85
120	13,98	10,39	16,50	11,91
50	14,10	10,58	16,56	11,99
20	14,43	10,97	16,78	12,35
Oberfläche	15,53	13,13	16,16	13,74

Für die Wasseroberfläche ist als Dampfdruck der Sättigungsdruck eingesetzt, der sich für die Temperatur des Wassers unter Berücksichtigung des Salzgehaltes ergibt. Berechnet man aus diesen Temperatur- und Dampfdruckwerten die relative Feuchtigkeit, so findet man Werte zwischen 85...90 %; auch sie zeigen eine schwache Zunahme gegen die Wasseroberfläche. Die Feuchtigkeitsmessungen von *H. Bruch* in 60 cm über dem Wasser ergaben über der Ostsee im Juli 1939 Werte zwischen 66 und 97 %; da es sich durchwegs um Schönwettertage handelt, gehört der Betrag von 66 % wohl schon zu den unteren Grenzwerten, die in Wassernähe vorkommen. Auf einem kleineren See ging wegen des nahen Landeinflusses die relative Luftfeuchtigkeit in gleicher Höhe (60 cm) naturgemäß erheblich weiter herab, nämlich bis auf 32 % [4].

Ähnliche Verhältnisse wie über Wasserflächen erhalten wir über Wiesen infolge der Wasserausdünstung der Pflanzen. In 2 cm Höhe über dem Boden im Gras wurde eine relative Feuchtigkeit von 96 % gemessen, in 100 cm Höhe in der freien Luft beträgt die Feuchtigkeit jedoch nur noch 57 %. *R. Wenger* beobachtete an einem Regentag zwischen Blattpflanzen 98 % relative Feuchtigkeit. Das ist der höchste verbürgte Wert, der beobachtet wurde [4].

Aber auch im Innern von Gebäuden sind zum Teil ausserordentlich hohe relative Luftfeuchtigkeiten anzutreffen, wie die Messungen von *L. Mulder* [12] zeigen (Tab. XIII).

Relative Feuchtigkeit in verschiedenen Kuhställen

Tabelle XIII

Stall	1	2	3	4	5	6
Aussen-temperatur °C	3,6	4,0	1,8	2,7	6,75	4,0
Mittlere Stall-temperatur °C	11,6	14,7	14,7	16,5	17,7	17,4
Relative Feuchtigkeit %	93,5	82,5	87,4	93,0	94,5	75,0
CO ₂ -Gehalt %	0,14	0,16	0,275	0,16	0,25	0,20

Ähnliche Verhältnisse sind in Metzgereien, Gerbereien, Wäschereien usw. anzutreffen. Tab. XIV gibt die empfehlenswerten oberen Grenzwerte für verschiedene Fabrikräume für Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit [13].

Empfehlenswerte Klimabedingungen für Fabrikräume

Tabelle XIV

Betriebsart	Temperatur		Relative Feuchtigkeit %
	Sommer °C	Winter °C	
Elektrotechnik:			
Radiogeräte	22	20	60
Spulen- u. Transformatorenbau	22	20	65
Feinmechanische und Messgeräte	20	20	50
Gummifabriken	22...24	22	50...70
Keramische Betriebe	23...24	22	65...70
Druckereien	15...23	15...20	60...70
Tabakwarenfabriken:			
Anfeuchteräume	24	22	92...93
Lagerräume	20	18	60...65
Textilbetriebe:			
Spinnereien	24	22	80...90
Weberien	23	21	75...85

Die Verhältnisse in Wohn- und Sanatoriumszimmern in Davos wurden sehr eingehend von *K. Egloff* untersucht [14], welcher zu folgenden Schlüssen kommt:

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

Vor der Lüftung: Dampfdruck 9,62 mm Hg
relative Feuchtigkeit 58%
Nach der Lüftung: Dampfdruck 9,38 mm Hg
relative Feuchtigkeit 57%

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

Vor der Lüftung: Dampfdruck 6,51 mm Hg
relative Feuchtigkeit 43%
Nach der Lüftung: Dampfdruck 3,99 mm Hg
relative Feuchtigkeit 39%

Der durch die Lüftung wirkte Rückgang der absoluten Luftfeuchtigkeit im Zimmer dauert meistens zirka 2 Stunden.

E. Der Einfluss von Schnee und Eis

Ein verantwortungsbewusstes Betriebspersonal wird sicherlich immer versuchen, elektronische Geräte vor freiem Schneefall zu schützen, dagegen sind Zusatz- und Hilfseinrichtungen, wie Antennen, Überlandleitungen, Erdungen usw., den direkten Witterungseinflüssen voll ausgesetzt. Auf die Diskussion der materialmässigen Beanspruchung von Antennentürmen und Überlandleitungen durch Eislästen und Winddrücke kann an dieser Stelle verzichtet werden, da sich der Fernmeldeingenieur mit diesen Festigkeitsproblemen kaum allein auseinander setzen muss, sondern hiezu die Fachleute des Freileitungsbauzes zuziehen wird. Dagegen hat er den Einfluss der Vereisung auf die elektrischen Daten der Leitungen und Antennen bei der Planung von Anlagen zu berücksichtigen.

A. de Quervain [15] zeigt an Hand von Messungen an der 10-kV-Hochspannungsleitung Schwägalp-Säntis, an welche ein Trägerfrequenzsender von 5 W Leistung mit einer Frequenz von 50 kHz, bzw.

130 kHz angekoppelt war, dass die Dämpfungs- zunahme pro km durch Vereisung gegenüber der trockenen Leitung mehr als das Zwanzigfache betragen kann. Dieser Dämpfungsanstieg ist nicht auf erhöhte Ableitung in Isolatorenketten, die mit Eis

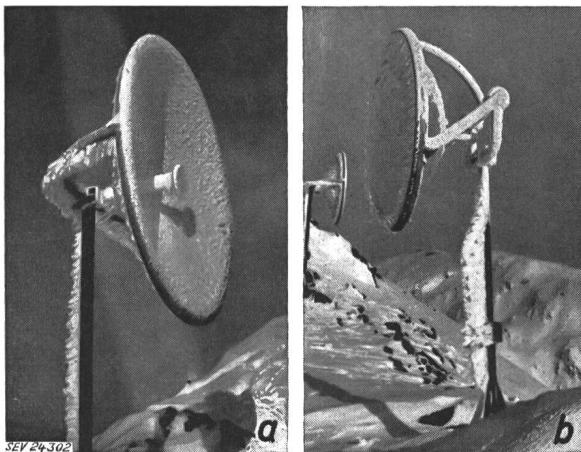


Fig. 7

Antennendipole im Hochgebirge

- a Stark vereiste Versuchsausführung eines Mikrowellenreflektors mit ungeschütztem Antennendipol. Der Dipol ist mit einer homogenen Reifschicht überzogen, wodurch die elektrischen Anpassungsverhältnisse gestört werden
- b Versuchsausführung eines mit Rauhreif überzogenen Mikrowellenreflektors, bei welchem die ganze Reflektoranwendung durch eine Kunststoffplatte abgedeckt ist

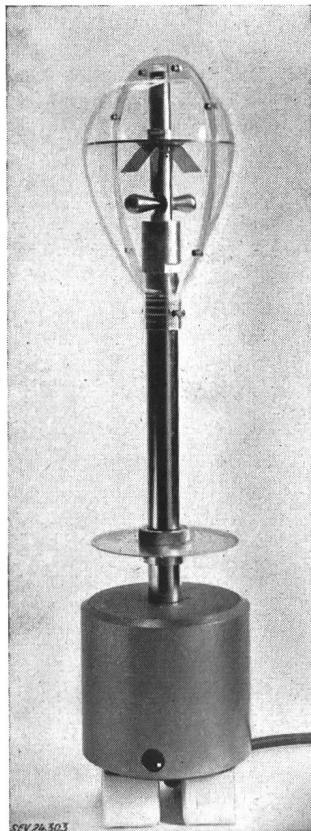


Fig. 8
Mikrowellen-Dipol, zum Schutze gegen Witterungseinflüsse in eine Kunststoffhaube eingebaut

eine Versuchsausführung eines Dipolantennen-Reflektors für Mikrowellen mit offenem, ungeschütztem Dipol bei einem Versuchsbetrieb auf dem Weissfluhjoch (2668 m ü. M.). Um die Dipolanordnung vor den Witterungseinflüssen so weit als möglich zu

schützen, ist es daher zweckmässig, den Dipol in eine Kunststoffhaube einzubauen (Fig. 8). Dabei besteht natürlich noch immer die Gefahr, dass durch Schnee- und Eisniederschläge auf der Kunststoffhaube die Abstrahlung gedämpft wird, dagegen lässt sich die Antennenverstimmung hiedurch praktisch vollständig verhindern (vorausgesetzt, dass der Dipol nicht mit gefrorenem Kondensationswasser überzogen ist).

Die Fig. 9 und 10 zeigen den Verlustwinkel und die Dielektrizitätskonstante von Eis und verschiedenen Arten von Rauhreif und Schnee in Funktion der Frequenz [15].

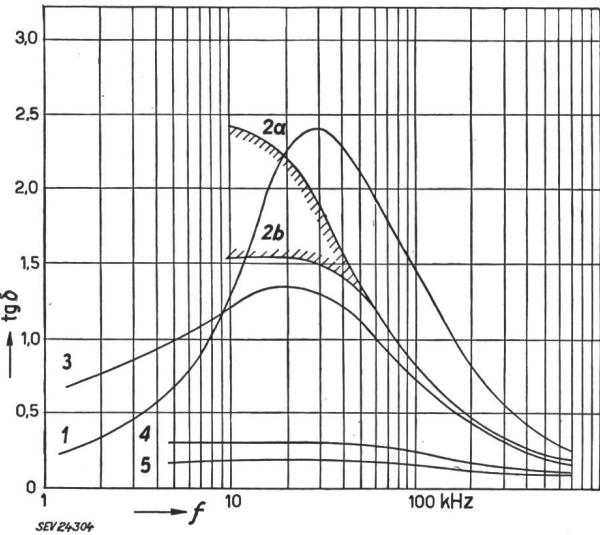


Fig. 9
Verlustwinkel $\operatorname{tg} \delta$ von Eis und verschiedenen Arten von Rauhreif und Schnee in Funktion der Frequenz f [15]
Temperatur -3°C

1 reines Eis; 2a, 2b wassergetränkter Schnee in verschiedenen Stadien der Ausfrierung; 3 gleicher Schnee wie bei 2a, 2b, jedoch durchgefroren, $\gamma = 0,83$; 4 körniger Schnee, $\gamma = 0,43$; 5 Rauhreif, weich, $\gamma = 0,29$

Praktisch gangbare Methoden zur Verhütung der Bildung von Eisansätzen sind bis heute nur wenige gegeben. Die Beeinflussung der meteorologischen Vereisungsbedingungen wird wohl auch in Zukunft wegen der Kleinheit der zu schützenden Objekte aus wirtschaftlichen Gründen kaum in Frage kommen. Auch die Wahl der Werkstoffe hat nur einen untergeordneten Einfluss, es sei denn, man berücksichtige auch Flüssigkeitsüberzüge, wie z. B. Äthylenglykol. Solche vermögen während einer gewissen Zeit unterkühlte Tröpfchen aufzunehmen und damit die Eisbildung zu verhüten [16]. Hingegen kann bei gewissen Objekten eine Aufheizung auf mindestens 0°C in Frage kommen. Auch die Formgebung, Abmessungen und Oberflächenbeschaffenheit des vom Reif befallenen Gegenstandes sind für die Form und Menge des Ansatzes von grosser Bedeutung. Das Verhältnis der an einem Kabel (Zylinder) in der Zeiteinheit ausgeschiedenen Reifmenge zum Durchmesser wird um so grösser, je dünner das Kabel ist. Wenn man also einen Leiter von gegebenem Querschnitt in vier parallele Drähte von halbem Durchmesser auflöst, wird man pro Längen- und Zeiteinheit nicht nur die doppelte Reifmenge einfangen,

sondern erheblich mehr. Dieses Verhalten spricht gegen gegliederte Konstruktionen und Netzwerke. Durch nichtmetallische glatte Überzüge kann das Haftvermögen von Reif ebenfalls erheblich herabgesetzt werden. Ein spontanes Abfallen des Ansatzes wird aber nur an Objekten eintreten, die vom Reif nicht völlig umschlossen sind [16], oder aber an flexiblen Oberflächen (z. B. Stoffüberzügen), welche sich unter dem Einfluss des Windes dauernd etwas bewegen.

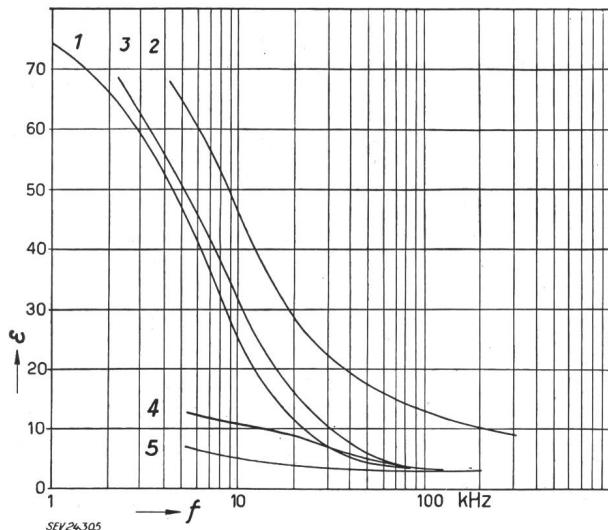


Fig. 10

Dielektrizitätskonstante ϵ von Eis und verschiedenen Arten von Rauhreif und Schnee in Funktion der Frequenz f [15]

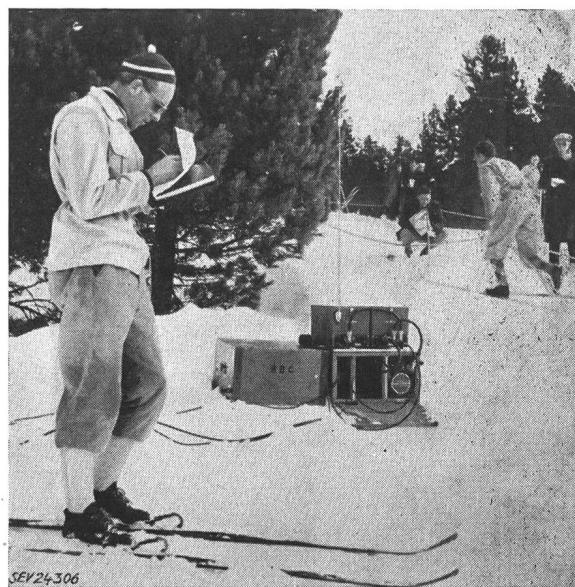
Temperatur -3°C

1 Eis nach F. X. Eder; 2..5 gleiche Proben wie für $\text{tg } \delta$ -Messungen (siehe Fig. 9)

Bei den von der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden, mit dem Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch, durchgeführten Versuchen an verschiedenen Mikrowellen-Reflektoren (Fig. 7) wiesen die Reflektoren zwischen dem 11. November 1947 und 30. April 1948 (171 Tage) während 75 Tagen nennenswerte Schnee-, Reif- oder Eisbeschläge auf. Der Frühwinter, also die Monate November und Dezember, brachte viel häufiger Reiferscheinungen als der Hoch- und Spätwinter. Vor allem konnten sich Reifbeschläge bei der verminderten Einstrahlung länger halten und über mehrere Tage aufbauen als im strahlungsreichen Spätwinter. Es zeigte sich, dass praktisch nur der dichte, bei Nebel auftretende Rauhreif eine Rolle spielt. Der lockere, aus klarer Luft aufgewachsene Reif erfordert eine starke Unterkühlung der Reflektor-Oberflächen durch Ausstrahlung (wolkenfreier Himmel). Kommt diese Unterkühlung zustande, so sorgen die ersten Sonnenstrahlen für eine Beseitigung des Beschlagens. Der Rauhreif hingegen bevorzugt Schlechtwetterlagen und ist besonders im Frühwinter oft von Schneefällen begleitet. Er wird auf der dem Wind zugekehrten Seite in der Staulage ausgeschieden. Insbesondere bilden sich die Ansatzpunkte an hervorspringenden Teilen. Bei Temperaturen über -5°C und unter dem Einfluss der Einstrahlung wurden die ursprünglich feinkristallinen Niederschläge, die sehr dicht waren und eine gute

Haftung aufwiesen, sukzessive glasig bis zu reinem Klareis. Wirklich starke Rauhreifablagerungen von 7, 10 und mehr cm Dicke konnten nicht beobachtet werden, dagegen häufig warzenförmige Ansätze von 1...3 cm Warzenhöhe und gelegentlich geschlossene Reifschichten von maximal 5 cm Dicke.

Auch unter der Voraussetzung, dass mobile Geräte gegen direkten Schneefall geschützt werden, können im Innern der Geräte unter bestimmten Bedingungen dennoch Frostschäden auftreten. Infolge einer plötzlichen Temperaturänderung, wie sie z. B. auftreten kann, wenn ein mobiles Gerät unmittelbar von der winterkalten Außenatmosphäre auf Zimmertemperatur gebracht wird, kann Wasserniederschlag auf den einzelnen Bauelementen durch Feuchtigkeitskondensation eintreten (Fig. 11). Derartige Kondensationsfilme führen öfters zu Überschlägen zwischen spannungsführenden Teilen, sofern die Kriechstrecken oder Luftabstände ungenügend dimensioniert sind.

Fig. 11
Mobile Reporterstation beim Einsatz an einem Skirennen

Wenn solche Anlagen nach längerem Gebrauch vom winterlichen Klima plötzlich in aufgeheizte Räume gebracht werden, erleiden die einzelnen Bestandteile ziemlich rapide Temperaturwechsel. Hierbei können Niederschläge von Wasserdampfkondensation auf den verschiedenen Materialien auftreten, was zu verschiedenen Schädigungen führen kann.

Umgekehrt können hygrokopische Werkstoffe mit hohem Feuchtigkeitsgehalt durch starke Abkühlung (Frost) geschädigt werden. Weiterhin kann bei starker Unterkühlung der Geräte das Drehmoment von drehbaren Teilen (Abstimmteile von Drehkondensatoren, Schwingtöpfen usw.) wegen Erstarrung der Schmiermittel außerordentlich stark erhöht werden, wie es durch die Verkleinerung des mechanischen Lagerspiels allein nicht zu erwarten ist. An einem Rollenlager konnte hierdurch eine Vergrößerung des Drehmomentes von 0,05 kgcm bei $+28^{\circ}\text{C}$ auf 0,42 kgcm bei -30°C bis zur Überwindung des ersten Haftmomentes gemessen werden. Nach der Überwindung dieser Kraft sank bei dieser Temperatur (-30°C) das Drehmoment auf 0,27 kgcm.

F. Der Einfluss von Luftverunreinigungen

1. Einteilung der Verunreinigungen

Es lassen sich drei grundsätzlich verschiedene Arten von Luftverunreinigungen unterscheiden:

- a) Dispersionen fester Stoffe in Luft: Staub.
- b) Dispersionen flüssiger Stoffe in Luft: Nebel.
- c) Mischungen gasförmiger Stoffe mit der Luft.

2. Staub

Staub findet sich überall in der Atmosphäre, sei er als kosmischer Staub, der im Raum des freien Kosmos zu finden ist (z. B. der Zodiakalstaub, der von den zahlreichen Kometen herstammt), oder als irdischer organischer oder anorganischer Staub (natürlicher Staub durch Verwitterung von Gestein, organische Staubwolken aus Blütenstaub, Industriestaub, Strassenstaub und nicht zuletzt der Wohnungsstaub). Selbst an Orten, die durch ihre außerordentliche Luftreinheit bekannt sind, wie z. B. Arosa oder Davos, können noch Staubpartikelchen gemessen werden. K. Egloff [14] hat auf einem ungeschützten Balkon des zweiten Stockwerkes eines Sanatoriums in Davos gemessen:

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Jahr
Partikel/cm ³	212	172	126	78	62	45	65	(62)	60	78	174	271	117

Das Ansteigen der Staubpartikel während der Wintermonate (der Monat Dezember weist mit 271 den sechsfachen Staubgehalt des Monats Juni auf) ist in erster Linie auf Heizungsrauch der Wohnhäuser im verhältnismässig dicht besiedelten Davoser Tal zurückzuführen.

Durchschnittlicher Staubgehalt der Luft an verschiedenen Orten

Tabelle XV

Ort	Höhe über Meer m	Messperiode	Staubpartikel pro cm ³
Weissfuhgipfel (ob Davos)	3000	Winter	0,15
Weissfuhjoch (ob Davos)	2700	Winter	1,02
Höhenweg (bei Davos)	2200	Winter	6,7
Arosa	1854	Jahr	24
Mitte Bodensee		Juli	73
Davos	1600	Jahr	117
Arbon am Bodensee (in einem Garten)	—		206
Zürich (Bahnhofstrasse und «Platte»)	—		1 200
Strassburg	—		10 000
Paris (Eiffelturm)	—		>10 000
London (Westminster)	—		20 000

Zur Beurteilung der Staubkonzentration von Davos hat K. Egloff weitere Messungen an verschiedenen anderen Orten durchgeführt und mit anderweitig veröffentlichten Messungen verglichen (Tab. XV).

Der Staubgehalt der Luft ist natürlich in hohem Masse vom Wind, dessen Stärke und Richtung, abhängig. Entweder führt der Wind Staubpartikelchen zum Messobjekt, oder er kann sie auch wegführen. Saharastaub wurde schon mehrfach in den Schweizer Alpen festgestellt. F. W. P. Götz beschreibt einen typischen Saharastaubfall vom 20./21. Mai 1937 in Arosa [18]:

«Schon am 20. ist in Arosa die Trübung während des ganzen Tages auffällig. Wo am Föhnhimmel ein Stückchen klaren Himmels aufreisst, ist er nicht blau, sondern violettblau, die Sonne ist matt und von einer grossen Scheibe umgeben. In der von stillen elektrischen Entladungen durchzuckten Nacht schlägt präfrontaler Regen der Warmfront mit braunen Schlammsspritzern an die Fenster; wehe der Hausfrau, die am Vorabend nicht ihre Wäsche von der Leine nahm. Am Mittag des 21. sind wir im Bereich des warmen Sektors. Rotgelbe Staubschwaden dringen über die Wettereecke des Rothorns ins Aroser Tal herein, der Sand wird trocken angeblasen, wir sind inmitten der Wüstenluft, und die Eigenfarbe des Indikators ist so intensiv, als wären wir in der libyschen Wüste. Aber gegen Abend kommen nun das Tal herauf die Nebelschwaden des „Churer Express“, kalte Luftmassen gemässigter Breiten. Und siehe, die Schwaden sind weiß, der einsetzende Regen ist nun wieder klar, und wie schliesslich die Bewölkung aufreisst, ist es direkt freudig empfundenes reines Blau.»

Während des grossen Staubfalles des Jahres 1901 über Nordafrika, Süd- und Mitteleuropa, wurden die Staubniederschläge über Italien auf 1314 000 t, über Österreich-Ungarn auf 375 500 t und über Norddeutschland und Dänemark auf 92 700 t geschätzt. Der Wüstenstaub der Sahara kommt nachweislich über das ganze Mittelmeergebiet in solchen Mengen nach Sizilien, dass er Menschen und Häuser dort gründlich verstaubt und unter den Kulturpflanzen schweren Schaden anrichtet [17].

Neben dem Gesteinsstaub ist auch mit grossen Quantitäten natürlichen organischen Staubes zu rechnen, der durch Winde über grosse Distanzen mitgerissen werden kann, je nach Bauart und Flugfähigkeit der Teilchen. R. Meldau [17] schreibt darüber:

«In der Vergangenheit hat der plötzliche Niederschlag organischer Staubmassen häufig abergläubische Furcht und Panik hervorgerufen (Blutregen, Schwefelregen). Elektrische Lokomotiven und auch Kraftfahrzeuge können in waldreichen Gegenden durch übermässigen Pollenflug Betriebsstörungen erleiden (Britisch-Columbien).»

Unter dem Begriff der «technischen Stäube» (im Gegensatz zu den «natürlichen Stäuben») wollen wir die Stäube bezeichnen, die entweder ungewollt (Verschleiss- und Verarbeitungsstaub, Abfallstaub, Feuerungsstaub) oder als künstliche Stäube (Zement, Kalk, Gips, Kohlenstaub, Düngemittel, Mehl usw.) entstehen können. Für die vorliegenden Untersuchungen interessieren insbesondere die ungewollten Stäube. Diese Stäube können sowohl anorganisch (Strassenstaub, Zementstaub, Metallstaub usw.) als auch organisch (Textilfasern in Büros, Wohnräumen, Textilien verarbeitenden Fabriken; Stäube von Kunststoffen in Kunststoffe verarbeitenden Betrie-

Durchschnittliche Staubgehalte in verschiedenen Räumen

Tabelle XVI

Ort	mg/m ³
Luft im Freien	bis 10 (20)
Stadtstrasse	1...3
Geschäftsäume	5
Maschinenwerkstatt	20
Papierfabrik	25
Sägewerk	15...20
Eisengießerei	2...50
Porzellanfabrik	120
Zementfabrik	100...400
Metallschleiferei	450
Gussputzerei	450
Bunkerraum von Dampfer bei Be-kohlen im Korbetrieb	über 1000

ben usw.) aufgebaut sein. Der Gehalt an technischen Stäuben schwankt natürlich sehr stark mit den örtlichen Verhältnissen. Eine Übersicht über verschiedene Arbeitsräume gibt R. Meldau in Tab. XVI [17].

3. Dispersionen flüssiger Stoffe in Luft

Von den Dispersionen flüssiger Stoffe in der Luft ist in der Technik insbesondere der Salznebel von grosser Wichtigkeit. Salznebel entstehen insbesondere über den salzhaltigen Meeren und Seen oder über salzhaltigen Bodenflächen und können je nach der Stärke und Richtung des Windes über grosse Distanzen vom Entstehungsort aus weggeweht werden. So wurde z. B. in Palästina noch ca. 30 km im Landesinnern von der Meeresküste aus eine starke Salzverkrustung auf Hochspannungsisolatoren festgestellt, welche die Spannungsfestigkeit der Isolatoren wesentlich verringerte.

Die chemische Zusammensetzung der Salznebeltröpfchen ist je nach den örtlichen Verhältnissen des Entstehungsortes mehr oder weniger stark verschieden. Zu Prüfzwecken (zur Untersuchung des Salznebeleinflusses auf elektrische Materialien) wird entsprechend den Regeln der Commission Electrotechnique Internationale deshalb eine Salzzusammensetzung gewählt, die den durchschnittlichen praktischen Verhältnissen entspricht. Dieser genormte Prüf-Salznebel wird durch feines Versprühen einer Flüssigkeit folgender Zusammensetzung erhalten [20]:

Natriumchlorid	27 g
Magnesiumchlorid (wasserfrei)	6 g
Kalziumchlorid (wasserfrei)	1 g
Kaliumchlorid	1 g

Mit destilliertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt.

4. Die Wirkung der Verschmutzung in elektronischen Geräten

Wie aus den Abschnitten 2 und 3 hervorgeht, ist immer mit einer gewissen Verunreinigung der Luft zu rechnen, welche verschiedene Wirkungen auf die Betriebssicherheit elektronischer Geräte ausüben kann, je nach Menge und Zusammensetzung der Verunreinigung und nach Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Insbesondere sind folgende Effekte zu berücksichtigen:

- a) Verschlechterung der Kriechstromfestigkeit von Isolermaterialien zwischen Spannung führenden Teilen.
- b) Verschlechterung der Kontaktgabe zwischen Druckkontakte (z. B. Relaiskontakte).
- c) Verkleinerung der Spannungsfestigkeit von luftisolierten Metallteilen (z. B. Drehkondensatoren).
- d) Bildung von Nährböden für Schimmelpilze auf Werkstoffen, die Schimmelpilze selbst nicht ernähren können.
- e) Insbesondere organische Stäube können stark hygrokopisch wirksam sein und hierturch im Innern eines Gerätes eine Atmosphäre schaffen, die feuchter ist als die Umgebungsluft.
- f) Salznebel und salzhaltige Stäube können in Verbindung mit hoher Luftfeuchtigkeit die Korrosion von Metallteilen einleiten oder stark fördern (Fig. 12).
- g) Insbesondere anorganische Stäube können in Lagern, Getrieben usw. (z. B. in Lagern von Messwerken) zu mechanischen Störungen führen.
- h) Bei starkem Staubniederschlag von organischen Stäuben auf betriebsmäßig stark erhitzen Bauelementen (z. B. Elektronenröhren, Transformatoren usw.) besteht die Gefahr der Selbstentzündung.

i) Starke Staubniederschläge auf betriebsmäßig stark erhitzen Bauelementen (z. B. Gleichrichtern) verschlechtern infolge ihrer schlechten Wärmeleitfähigkeit die Wärmeabgabe (Konvektion und Strahlung) und können daher zu einer inneren Überhitzung und dadurch zu einer Verkürzung der Lebensdauer dieser Bauelemente führen.

k) In Sandstürmen können sich z. B. Antennenmasten infolge der erzeugten Reibungselektrizität derart stark elektrisch aufladen, dass die entstandene Spannung für Menschen, Tiere und Sachen gefährlich werden kann.

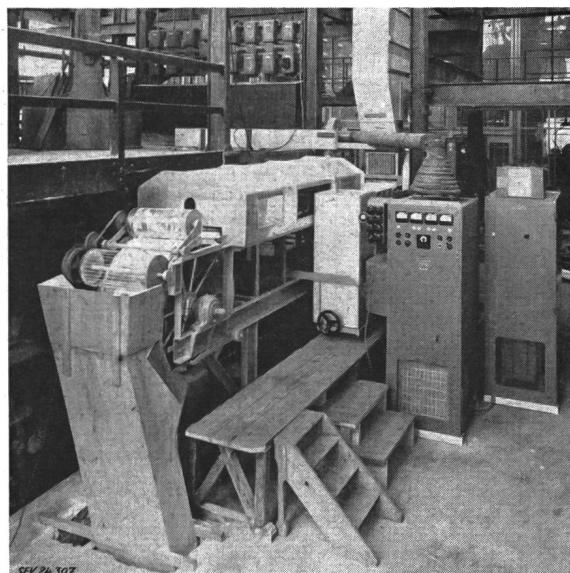


Fig. 12
Hochfrequenzgenerator zur dielektrischen Trocknung von Kochsalz in einer Saline

Bei einem derartigen Einsatz ist mit einer Salznebelkonzentration zu rechnen, wie sie über salzhaltigen Meeren kaum je auftreten wird. Dieses Beispiel der industriellen Anwendung eines elektronischen Gerätes zeigt deutlich, dass die Atmosphäre in gewissen Industrien unter Umständen viel aggressiver auf das Material einwirkt, als das in der freien Natur unter extremsten Bedingungen auftretende Klima

5. Schutzmassnahmen gegen die Verschmutzung

Als am nächsten liegende Schutzmassnahme gegen das Eindringen von Luftverunreinigungen in die Geräte kommt der nahezu hermetische Verschluss der Geräte in Frage (Abdichtung der Gerätetüren, -deckel, -fenster usw.). Diese Massnahme lässt sich aber bei Geräten mit einer grossen Eigenerwärmung nur in den seltensten Fällen realisieren, da insbesondere bei mobilen Geräten eine Wärmeabfuhr durch Flüssigkeitskühlung kaum durchführbar ist. Bei künstlicher Luftkühlung lassen sich selbstverständlich Filter verwenden, wie sie in verschiedenen Qualitäten im Handel sind. Ein vollständiger Schutz lässt sich jedoch auch mit den besten praktisch realisierbaren Filtern nicht erreichen, da z. B. Aerosole (z. B. Salznebel) eine derart feine Verteilung aufweisen, dass sie praktisch ungehindert durch das Filter passieren können. Aber auch Sandstaub von Sandstürmen enthält derart feine Teilchen, dass ein nicht unerheblicher Prozentsatz vom Filter nicht abgefangen werden kann. Unter normalen Verhältnissen dürfte ein gutes Filter allerdings in den meisten Fällen einen ausreichenden Schutz gewährleisten, besonders, da anzunehmen ist, dass die Geräte eine periodische Wartung erhalten (z. B. Röhrenwechsel) und bei dieser Gelegenheit gereinigt

werden. Bei extremer Verschmutzungsgefahr dürfte es vorteilhaft sein, dem Bedienungspersonal spezielle Reinigungen periodisch oder nach besonderen Anlässen (z. B. Sandsturm, Blütenstaubregen usw.) vorzuschreiben.

6. Gasförmige Luftverunreinigungen

Schädliche gasförmige Luftverunreinigungen sind z. B. Kohlendioxyd-, Schwefeldioxyd-, Schwefelwasserstoff-Gase usw., sofern sie in überdurchschnittlicher Konzentration auftreten. Natürlich kann die Skala aggressiver Gase, die vorwiegend Industrie-Abgase sind, beliebig erweitert werden; wir müssen uns aber an dieser Stelle auf die Diskussion der wichtigsten und häufigsten Schadenfälle und Schadenursachen beschränken.

Das in elektronischen Geräten am häufigsten zu Störungen führende Gas dürfte der Schwefelwasserstoff sein. Schwefelwasserstoff ist ein farbloses, nach «faulen Eiern» riechendes, in starker Konzentration stark giftiges Gas. In manchen vulkanischen Gegenden findet sich der Schwefelwasserstoff in den der Erde entströmenden Gasen. Weiter stellt er, da er sich in Wasser löst, einen der wichtigsten Bestandteile der «Schwefelquellen» (z. B. in Schinznach, Baden usw.) dar. Schliesslich bildet er sich bei der Fäulnis schwefelhaltiger organischer Stoffe (Eiweiss); so röhrt z. B. der üble Geruch fauler Eier grösstenteils vom Schwefelwasserstoff her. Aber auch Tabakrauch enthält Spuren von Schwefelwasserstoff, welche bereits ausreichend sind, nach langerer Einwirkungsdauer ernsthafte Störungen hervorzurufen.

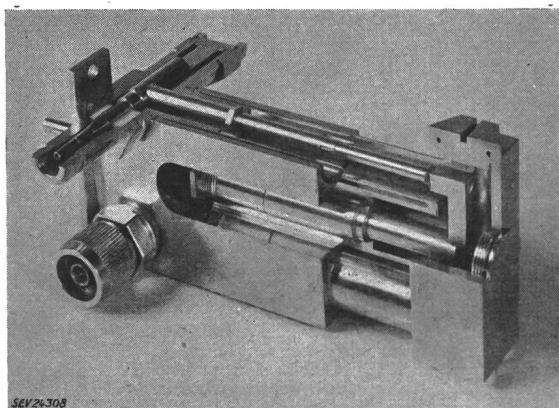


Fig. 13
«Line-Stretcher» einer Mikrowellen-Richtstrahlapparatur
(im Schnitt)

Um eine gute Oberflächenleitfähigkeit (Skineffekt) zu erhalten, werden derartige Bauelemente meistens versilbert und sind daher speziell empfindlich auf die Einflüsse von Schwefelwasserstoffgasen. Die nichtfunkenden Schiebekontakte dürfen auch nach langerer Lagerung keine Verschlechterung der Kontakt-eigenschaften aufweisen, so dass die Silberschicht noch zusätzlich einen speziellen Schutz erhält (z. B. durch Passivierung des Silbers oder durch leichte Vergoldung oder Rhodinierung)

Die schädliche Wirkung des Schwefelwasserstoffes liegt insbesondere im Angriff auf Silber; auf den Oberflächen von Silberkontakten oder versilberten Leitern wird schwarzes Silbersulfid Ag_2S gebildet. In der Elektrotechnik wird Silber wegen seiner ausserordentlich guten Leitfähigkeit für

Kontakte von Schaltern, Relais usw. angewendet, und die Hochfrequenztechnik verwendet versilberte Leiter zur Verminderung des Skineffektes (Spulen, Schwingtöpfe, Wellenleiter usw.) (Fig. 13). Leider ist die Leitfähigkeit des Silbersulfides schlecht, so dass die Kontaktverhältnisse oder die Dämpfung infolge erhöhten Skineffektes wesentlich verschlechtert werden können. Die aus der Literatur ersichtlichen Messungen der Leitfähigkeit widersprechen sich oft. Systematische Untersuchungen über diese

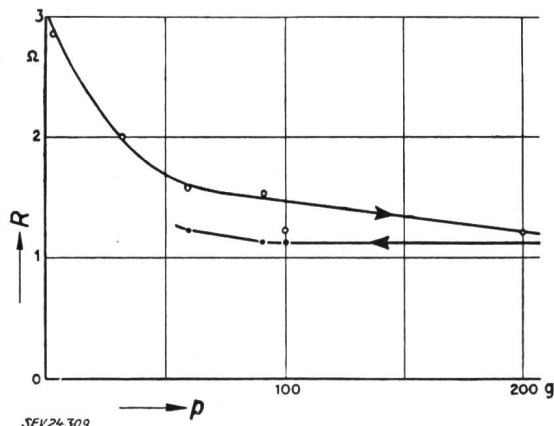


Fig. 14
Partieller Durchbruch eines Silbersulfidfilmes unter mechanischem Druck [19]

R Widerstand in Ω ; p mechanischer Druck in g;

→ Anstieg des Druckes;
← Abnahme des Druckes

Frage beschreibt J. C. Chaston [19]. An einem gleichmässigen Silbersulfidfilm (über einem Silberkörper) von 0,0018 mm Dicke wurde ein Widerstand von $3 \cdot 10^9 \mu\Omega/\text{cm}$ gemessen. Bei dieser Messung muss man damit rechnen, dass der Film infolge seiner geringen Dicke nicht vollständig homogen war und evtl. leitende Partikelchen enthielt, die den spezifischen Widerstand verkleinerten, denn Filmdicken von ca. 0,004 mm wirken praktisch als Isolatoren. Eigene Messungen zeigten an blanken Silberplättchen bei einem Kontaktdruck von 50 g und einem Radius der Messelektrode von 5 mm einen durchschnittlichen Kontaktwiderstand von ca. 3 m Ω . Nach 12stündiger Lagerung in ca. 15 % Schwefelwasserstoff-Luftatmosphäre stieg der Kontaktwiderstand auf ca. 13 m Ω und nach 24 Stunden auf ca. 17 m Ω an. Entsprechend Fig. 14 [19] ist allerdings damit zu rechnen, dass bei diesen Messungen wegen des verhältnismässig hohen Kontaktdruckes (absolut gesehen; in der Praxis sind 50 g durchaus üblich) die Silbersulfidschicht teilweise durchbrochen wurde. Bei «funkenden» Silberkontakten (z. B. Relaiskontakte), die relativ hohe Spannungen schalten, wird das Silbersulfid von der Spannung durchschlagen und durch den Funken in metallisches Silber reduziert, so dass sich die isolierende Schicht des Silbersulfides kaum unangenehm bemerkbar macht.

Zum Oberflächenschutz gegen Silbersulfidbildung an Silberkontakten und versilberten Leitern sind verschiedene Methoden bekannt. Die einfachste und gebräuchlichste Methode besteht in der soge-

nannten «Passivierung» der Oberfläche, sei es durch eine chemische Nachbehandlung oder, mit besserer Wirkung, durch eine elektrolytische Behandlung. Die Passivierung ist jedoch für Anwendungen bei extremen Klimaverhältnissen (überdurchschnittlich hohem Schwefelwasserstoffgehalt der Luft) meistens ungenügend, so dass man neuerdings die Silberoberflächen vielfach mit galvanischen Überzügen von anderen Edelmetallen, wie Gold oder Rhodium, schützt, wodurch allerdings ganz erhebliche Mehrkosten entstehen.

Die übrigen gasförmigen Luftverunreinigungen ergeben wesentlich andere Wirkungen als der Schwefelwasserstoff und sind nicht so spezifisch vorwiegend auf die elektronischen Geräte wirksam. Ihr Einfluss besteht vor allem in der Verschärfung der Korrosionsbedingungen an Metallteilen im Zusammenwirken mit Feuchtigkeit, Temperatur und salzhaltigen Niederschlägen. Als Ausnahme sind vielleicht noch die Quecksilberdämpfe zu erwähnen, welche ungeschützte Selengleichrichter innert kurzer Zeit zerstören können; einige kleine Quecksilbertropfchen von einem defekten Quecksilberthermometer oder Quecksilberschalter in einer versteckten Bodennute in einem Raum, in welchem Selengleichrichter ohne Quecksilberschutz (geeigneter Lacküberzug, Kapselung) im Betriebe stehen, genügen zur langsamen Zerstörung der Gleichrichter.

G. Der Einfluss der Ultraviolettrstrahlung

Als Ultraviolettrstrahlung wird normalerweise die elektromagnetische Strahlung der Wellenlänge zwischen ca. 40...4000 Å²⁾ bezeichnet; das ist der Bereich zwischen den längsten Röntgenstrahlen und der kür-

ansteigt. Da die Erdatmosphäre Ultraviolettrstrahlen absorbiert (mit kürzer werdender Wellenlänge nimmt die Absorption zu), ergeben sich für die Strahlungswirkungen ähnliche Zusammenhänge zwischen der Lage der bestrahlten Fläche auf der Erde (geographische Breite, Höhe über Meer, Reinheit der Atmosphäre) und den Tages- und Jahreszeiten wie bei der Sonnen-Wärmestrahlung. So haben die Strahlen innerhalb des tropischen Gürtels zwischen den beiden Wendekreisen bei angenähert senkrechter Einstrahlung (in bezug auf die Erdoberfläche) in der Erdatmosphäre den kleinsten Weg zurückzulegen und erreichen dadurch ihre höchste Intensität; demgegenüber müssen die Strahlen zur Bestrahlung der Erdpole den längsten Weg durch die Atmosphäre zurücklegen (angenähert tangentielle Durchschneidung der Atmosphäre) und werden dementsprechend stärker absorbiert. Da die kürzeren Wellenlängen zudem stärker absorbiert werden als die längeren, ist je nach geographischer Breite mit einer entsprechenden Verschiebung des Spektrums zu rechnen. Die katalytische Oxydation von organischen Werkstoffen z. B. durch die Ultraviolettrstrahlen nimmt zudem mit kürzer werdender Wellenlänge zu, so dass die Wirkung in der Umgebung des Äquators nicht nur zufolge der maximalen totalen Strahlungsintensität grösser wird, sondern auch wegen der Verschiebung des Strahlungsspektrums in Richtung der kürzeren Wellen. Ähnlich verhält es sich auch bei grossen Höhen über Meer, indem die mit zunehmender Höhe dünner und reiner werdende Luftsicht die Strahlen weniger absorbiert. Durch Wolken, Stäube und dgl. werden die Ultraviolettrstrahlen wie die Wärmestrahlungen zu-

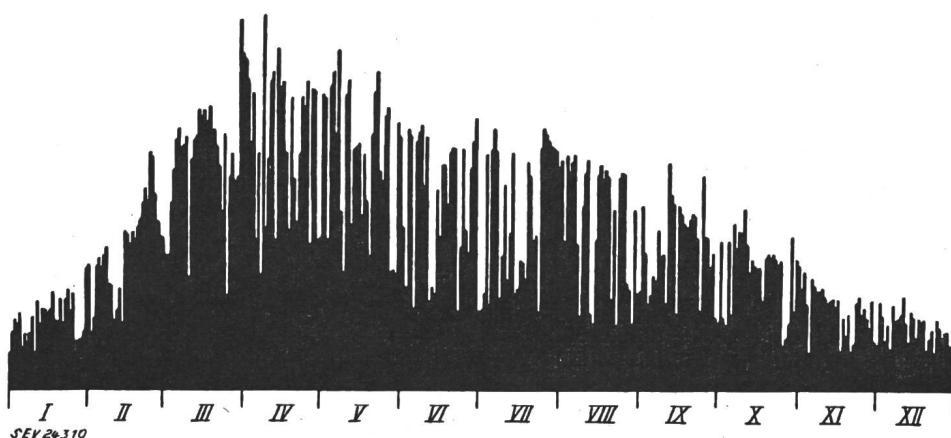


Fig. 15
Jahreschronik der mittäglichen Ultraviolettrstrahlen von Sonne, Himmel und Umgebung
(aufgenommen in Arosa, 1854 m ü. M., 1938 [18])

Die Lücken gehen auf starke Bewölkung oder Bedeckung zurück. Aber auch der bedeckte Himmel spendet noch eine beachtenswerte Dosis ultravioletter Strahlung. Der Anstieg mit der Sonnenhöhe geht bis zum März steil vor sich, um ab April abzuflachen und umzukehren, da nun das Ausapern, das Wegfallen des Schneereflexes, gegenläufig wirkt. Bei einer entsprechenden Darstellung von Aufnahmen auf dem Jungfraujoch fallen dagegen die Höchstwerte auf die Zeit des höchsten Sonnenstandes im Juni, da die Schneedecke das ganze Jahr hindurch angenähert konstant bleibt.

zesten Wellenlänge des sichtbaren Lichtes [21]. Für unsere Betrachtungen sind jedoch nur die von der Sonne ausgestrahlten Ultraviolettrstrahlen von Bedeutung, welche im wesentlichen zwischen 3000 bis 4000 Å Wellenlänge liegen und deren Intensität mit zunehmender Wellenlänge angenähert linear

sätzlich absorbiert (Fig. 15 [18]). Da der tropische Gürtel jedoch verhältnismässig häufig bewölkt ist, die Wüstenzonen am Randgebiet ausserhalb der Wendekreise jedoch nur selten nennenswerte Bewölkung aufweisen, ist in diesen Gegenden trotz der nicht mehr senkrechten Einstrahlung, über längere Zeit gesehen, mit der grössten Wirkung zu rechnen.

²⁾ 1 Å (Angström = 10^{-10} m = 0,1 nm (Nanometer)).

Die schädliche Wirkung der Ultraviolettrahmen beruht hauptsächlich auf der katalytischen Oxydation von organischen Werkstoffen, wodurch z. B. an Isolierstoffen die elektrischen und mechanischen Eigenschaften verschlechtert, Farben verändert, Dichtungen, Vibrationsdämpfungen aus Kautschuk usw. spröde werden usw. In den vorliegenden Betrachtungen interessiert insbesondere das Verhalten des Polyäthylens. Hochfrequenzkabel mit Polyäthylenschutzmänteln oder offene Feederleitungen mit Polyäthylendielektrikum sind als Antennen-zuleitungen oft über grössere Längen der freien Sonnenbestrahlung und damit den Ultraviolettrahmen ausgesetzt. Mit zunehmender Oxydation verschlechtern sich die elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Polyäthylens durch Abnahme der Zugfestigkeit, der Dehnung und des Oberflächen-Isolationswiderstandes sowie durch Zunahme der Dielektrizitätskonstanten und der dielektrischen Verluste [22]. Bei stark fortgeschrittenen Oxydationen bilden sich vorerst äusserlich sichtbare Risse in der Oberfläche, die zum vollständigen Zerfall des Materials führen können. Eingehende Versuche zeigen [22], dass schwarz eingefärbtes Polyäthylene eine wesentlich gesteigerte Widerstandsfähigkeit gegen Ultraviolettrahmen erhält. Durch die Einfärbung werden allerdings die dielektrischen Verluste etwas erhöht, dagegen bleiben sie unter der Strahlungseinwirkung während längerer Zeit angenähert konstant, wogegen das ungefärbte Polyäthylene schon nach relativ kurzer Bestrahlungsdauer einen ausserordentlich starken Verlustanstieg aufweist [23]. Aus diesen Gründen wird normalerweise nur das der freien Witterung ausgesetzte Polyäthylene gefärbt.

Den wirksamsten Schutz gegen Ultraviolettrahmen erhält man durch Abschirmung des empfindlichen Teiles gegen die Strahlen, z. B. durch Metallmantel oder durch Überzüge mit weniger empfindlichen Kunststoffen. So werden heute z. B. koaxiale Hochfrequenzkabel vielfach durch eine äussere Metallarmatur (z. B. dichtes Drahtgeflecht) oder durch einen äusseren Schutzmantel aus hochwertigem Polyvinylchlorid geschützt. Der Schutz von flexiblen Feederleitungen hingegen ist wesentlich schwieriger, sofern man nicht andere verschlechternde Eigenschaften in Kauf nehmen will (Erhöhung des Preises, der Kapazität, der Dämpfung usw.), weshalb man sich hier meistens durch die Verwendung gefärbten Polyäthylens hilft.

H. Der Einfluss des Luftdruckes

Mit zunehmender Höhe über Meer nimmt der Luftdruck und entsprechend die Luftdichte sukzessive ab. Für die Atmosphäre z. B. über Deutschland (bis 10 000 m ü. M. der deutschen Normalatmosphäre entsprechend) gibt Tab. XVII die Werte für Höhen bis 30 000 m ü. M. [24].

Mit abnehmendem Luftdruck, bzw. abnehmender Luftdichte nimmt auch die Spannungsfestigkeit der Luft ab (abgesehen von sehr hohem Vakuum, wo die Spannungsfestigkeit mit zunehmendem Vakuum wiederum stark ansteigt). Nach dem bekannten Gesetz von *F. Paschen* hängt die Durch-

Relativer Luftdruck p/p_0 und relative Luftdichte γ/γ_0 in verschiedenen Höhen über dem Meeresspiegel

Tabelle XVII

h m	p/p_0	γ/γ_0	h m	p/p_0	γ/γ_0
0	1	1	6 000	0,465	0,521
500	0,94	0,95	7 000	0,406	0,463
1000	0,88	0,90	8 000	0,354	0,412
1500	0,83	0,86	9 000	0,306	0,364
2000	0,78	0,81	10 000	0,268	0,324
3000	0,69	0,73	15 000	0,120	0,154
4000	0,61	0,65	20 000	0,056	0,071
5000	0,53	0,58	30 000	0,010	0,013

schlagspannung des homogenen Feldes für ein bestimmtes Gas und einen bestimmten Kathodenwerkstoff einzig und allein vom Produkt aus Gasdruck p und Schlagweite d ab. Da jedoch die entscheidende Elektronenionisierung nicht eigentlich vom Gasdruck, sondern von der Gasdichte abhängt, ist das Gesetz nur nach vorheriger Reduktion des Druckes auf einen einheitlichen Bezugswert erfüllt. Meist wird den Angaben der Druck p_0 bei 0 °C oder auch bei 20 °C zu Grunde gelegt:

$$p_0 = p \cdot \frac{273}{273 + t}$$

Sofern demnach eine Erhöhung der Gasdichte auf das δ -fache durch eine Verringerung der Schlagweite auf den δ -ten Teil begegnet wird, ändert sich die Durchschlagspannung zwischen Plattenelektroden mit korrigierter Randausbildung nicht [25]. Für verschiedene Werte des Produktes pd gibt Tab. XVIII die zugehörigen Durchbruchspannungen im homogenen Feld.

Durchbruchspannungen U_D im homogenen Feld in Abhängigkeit von pd auf 20 °C bezogen [25]

Tabelle XVIII

pd Torrem	U_D V	pd Torrem	U_d V
1	370	30	2200
2	480	40	2800
3	570	50	3300
4	650	60	3900
5	730	80	4900
6	810	100	5800
8	830	120	6700
10	1100	140	7600
20	1700	160	8500

Aus den Werten der Tab. XVII und XVIII ist ersichtlich, dass für Anwendungen in grossen Höhen über Meer die Luft- und Kriechdistanzen zwischen metallischen Teilen verschiedenen elektrischen Potentials entsprechend der Verkleinerung der Durchbruchspannung der Luft vergrössert werden müssen, um Durchschläge oder Überschläge zu vermeiden. Bei hermetisch verschlossenen Bauelementen (wie z. B. Kondensatoren) sind nur die ausserhalb des Gehäuses liegenden kritischen Distanzen der extremen Höhe anzupassen, wogegen die Distanzen im Innern des Bauelementes von den äusseren Luftdruckschwankungen nicht berührt werden. In vielen Fällen muss jedoch zum Schutz der Gehäuse ein Druckausgleich (z. B. durch Membranen) vorgesehen werden, wobei die Durchbruchspannung ebenfalls wieder vermindert werden kann.

Mit abnehmendem Luftdruck reduziert sich aber nicht nur die Spannungsfestigkeit der Luft, sondern

auch deren Fähigkeit, Wärmemengen von erhitzten Materialien in Form eines Wärmeaustausches abzuführen (Konvektion), wogegen die Wärmeabgabe durch Strahlung vom Luftdruck praktisch unabhängig bleibt. Für eine senkrechte erwärmte Platte erhält man nach *A. Schack* für die mittlere Wärmeübergangszahl α_m der freien Konvektion eine Näherungsgleichung [26], welche jedoch nur für Temperaturdifferenzen Δt von maximal 80 °C und Platten-temperaturen bis maximal 100 °C Gültigkeit besitzt:

$$\alpha_m = 4,80 \cdot \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{T_L \cdot h}} \cdot \sqrt[2]{\frac{p}{760}}$$

α_m mittlere Wärmeübergangszahl über die ganze senkrecht stehende Platte in kcal/m² h °C;

Δt Temperaturdifferenz zwischen der Platte und der umgebenden, von der Platte nicht erwärmten Luft in °C;

T_L absolute Temperatur der Luft in °K;

h Plattenhöhe in m;

p Luftdruck in Torr.

Ohne erzwungene Konvektion wird je nach der Oberflächentemperatur der erhitzten Fläche ein mehr oder weniger grosser Anteil der Wärme durch Strahlung abgegeben, bei forciertter Luftkühlung hingegen verschiebt sich der Anteil der Wärmeabgabe zugunsten der erzwungenen Konvektion, und der Strahlungsanteil nimmt mit zunehmender Luftgeschwindigkeit ab. Dadurch macht sich der Einfluss der abnehmenden Wärmeübergangszahl unter reduziertem Luftdruck bei der forcierten Kühlung weit stärker auf die totalen Kühlungsverhältnisse bemerkbar als bei natürlicher Konvektionskühlung, wodurch unzulässige Überhitzungen von Bauelementen mit Eigenerwärmung (Widerstände, Potentiometer, Gleichrichter usw.) oder von durch Strahlung erwärmten Materialien (Elektronenröhren, Widerstände, Transformatoren usw.) auftreten können. Hieraus entsteht die Forderung, dass an kritischen Bauelementen mit relativ grosser Eigenerwärmung die betriebsmässige elektrische Belastung für den Einsatz in grossen Höhen zu senken ist, um vorzeitige Alterung und Zerstörung der Bauelemente zu verhindern.

I. Schlussfolgerungen

Es wurde versucht darzustellen, dass die durch Klimafaktoren bedingte höhere Qualität von Materialien — seien es Werkstoffe, Bauelemente oder ganze Geräte — nicht nur durch den trivialen Begriff der «Tropenfestigkeit» gekennzeichnet werden kann, da die verschiedenen klimatisch bedingten Einflussfaktoren zu komplex sind. In erster Linie haben der Konstrukteur und der Planungsingenieur die mikroklimatischen, bzw. technoklimatischen Umgebungsverhältnisse (die natürlich vom Grossklima beeinflusst werden) zu berücksichtigen, um die zweckmässigen Vorkehrungen für ein einwandfreies Funktionieren der geplanten Konstruktion oder Anlage oder — was vom verkaufstechnischen Standpunkt aus ebenso wichtig ist — für eine optimale wirtschaftliche Konstruktion treffen zu können.

Insbesondere die letzte Forderung der wirtschaftlich optimalen Konstruktion in bezug auf die materialtechnischen Belange ist nicht immer leicht zu erfüllen. Es ist vielfach verhältnismässig einfach, grundsätzlich z. B. hermetisch eingeschlossene Kondensatoren, Relais usw. zu verwenden, damit sie gegen jeglichen Feuchtigkeits- und Staubeinfluss geschützt sind, oder die Spannungs- oder Strombelastung der einzelnen Bauelemente derart niedrig zu wählen, dass auch unter extremsten Umgebungstemperaturen keine wesentliche Alterung zufolge Temperatureinfluss eintreten kann, usw. Eine derartige Gerätekonstruktion wird jedoch unzweifelhaft sehr teuer zu stehen kommen und — was vielfach noch wichtiger ist — wird schwer und gross. Die Kunst des optimalen Konstruierens und Planens verlangt neben den allgemeinen chemischen, technologischen und physikalischen Kenntnissen auch die Kenntnis der klimatischen Einflussfaktoren und damit das Studium der Randgebiete der Klimatologie. Es wäre sehr zu begrüssen, wenn schon die Schulen im technologischen Unterricht diesen Zusammenhängen mehr Aufmerksamkeit schenken würden. Leider fehlt in der technischen Literatur noch immer ein zusammenfassendes und umfassendes Werk über die Technoklimatologie, weshalb das Studium dieses äusserst interessanten und nützlichen Fachgebietes aus den stark zerstreuten Literaturstellen der verschiedenen Fachrichtungen erfolgen muss und damit äusserst erschwert wird.

Literatur

- [1] *Der grosse Brockhaus*, 16. Auflage, 6. Band, Seite 428. Wiesbaden: F. A. Brockhaus 1955.
- [2] *Schulze, Walter M. H.*: Klimafaktoren in tropischen Gegenden und ihre prüftechnische Nachbildung. *ETZ* Bd. 61 (1940), Nr. 52, S. 1194...1200.
- [3] *Tannehill, Ivan Ray*: Weather Around the World. Princeton: University Press 1952.
- [4] *Geiger, Rudolf*: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig: Vieweg 1950.
- [5] *Schulze, Walter M. H.*: Einige grundsätzliche Betrachtungen über allgemeine Fragen technoklimatischer Prüfungen und Forschungen in der Elektrotechnik. *ETZ* Bd. 70(1949), Nr. 10/11, S. 343...348.
- [6] *Stäger, Hans*: Werkstoffkunde der elektrotechnischen Isolierstoffe. Berlin: Bornträger 1955.
- [7] *Köppen, W.*: Klimakunde. Leipzig: Göschen'sche Verlags-handlung 1911.
- [8] *Schropp, K.*: Die Temperaturen technischer Oberflächen unter dem Einfluss der Sonnenbestrahlung und der nächtlichen Ausstrahlung. *Gesundheitsing.* Bd. 54(1931), Nr. 50, S. 729...736.
- [9] *Ganz, E. und O. Wälchli*: Schimmelpilze in elektronischen Apparaten. *Bull. SEV* Bd. 46(1955), Nr. 6, S. 233...239.
- [10] *Müller, E.*: Ein Messverfahren zur Bestimmung der Diffusionskonstanten von Kabelmanteln aus Thermoplasten. *Bull. SEV* Bd. 41(1950), Nr. 3, S. 77...81.
- [11] *Flohn, Hermann*: Witterung und Klima in Mitteleuropa. Zürich: Hirzel 1954.
- [12] *Mulder, Louis L.*: Die Lüftung der Kuhställe der Bauerngehöfte in den niederländischen Wieringermeer-Polder. *Gesundheitsing.* Bd. 62(1939), Nr. 30, S. 417...422.
- [13] *Bradtko F. und W. Liese*: Hilfsbuch für raum- und aussenklimatische Messungen. Berlin / Göttingen / Heidelberg: Springer 1952.
- [14] *Egloff, K.*: Über das Klima im Zimmer und seine Beziehungen zum Aussenklima. *Diss.* Nr. 766. Zürich: Eidg. Techn. Hochschule 1933.
- [15] *Quervain, A. de*: Die Dämpfung von leistungsgerichteten Trägerfrequenzwellen durch Rauhreif. *Bull. SEV* Bd. 42 (1951), Nr. 24, S. 949...953.
- [16] *Quervain, M. de*: Zur Frage der atmosphärischen Ver-eisung. *Bull. SEV* Bd. 45(1954), Nr. 14, S. 578; 591...594.
- [17] *Meldau, R.*: Handbuch der Staubtechnik, 1. Band: Grundlagen. Düsseldorf: Deutscher Ingenieur-Verlag 1952.
- [18] *Götz, F. W. Paul*: Klima und Wetter in Arosa. Frauenfeld: Huber 1954.

- [19] *Chaston, J. C.:* Light and medium duty contact materials. Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. Bd. 19(1953), Nr. 2, S. 44..48.
- [20] *Commission Electrotechnique Internationale:* Essais fondamentaux climatiques et de robustesse mécanique des pièces détachées. Publ. Nr. 68, 1954. Genève: Bureau Central de la C.E.I. 1954.
- [21] *Koller, Lewis R.:* Ultraviolet Radiation. New York: Wiley 1952; London: Chapman & Hall 1952.
- [22] *Walder, V. T.:* Polyethylene for Wire and Cable. Electr. Engng. Bd. 71(1952), Nr. 1, S. 59..64.
- [23] *Anonymous:* Why Brown Polyethylen. Amphenol Engineering News, Bd. 2(1949), Nr. 7, S. 80. (Firmenzeitschrift der American Phenolic Corporation, Chicago.)
- [24] «Hütte», des Ingenieurs Taschenbuch. Berlin: Ernst 1936, 26. Auflage.
- [25] *Gänger, Berthold:* Der elektrische Durchschlag von Gasen. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer 1953.
- [26] *Schack, A.:* Der industrielle Wärmeübergang. Düsseldorf: Stahleisen 1948.

Adresse der Autoren:

E. Ganz, Physikalisches Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (Schweiz).

Dr. phil. K. Michel, Chemisches Laboratorium der A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden (Schweiz).

Erzeugung der Sende- und Überlagerungsfrequenz in Sende- und Empfangsgeräten

Vortrag, gehalten an der 19. Hochfrequenztagung des SEV vom 26. Oktober 1955 in Solothurn,
von *F. Läng*, Solothurn

621.396.93

Einleitend werden die Konsequenzen von Instabilitäten der Sende- und Empfangsfrequenz auf Geräuschabstand und Übertragungsqualität skizziert und daraus die Forderungen für die Frequenzstabilität formuliert. Unter Beschränkung auf Geräte für Frequenz- oder Phasenmodulation für das Frequenzgebiet von 30 bis 500 MHz werden die Verfahren der Ableitung der Sende-frequenzen von Kristalloszillatoren zusammengestellt. Dabei wird den Verfahren für Geräte mit Kanalumschaltung sowie den bei Vervielfachung und Mischung entstehenden Nebenwellen besondere Beachtung geschenkt. Abschliessend werden die Konsequenzen von Nebenwellen kurz erläutert.

Die rasch zunehmende Belegung der Frequenzbänder im Bereich von 30...500 MHz mit beweglichen Diensten aller Art stellt an die Trennschärfe der Empfänger und an die Stabilität von Sende- und Empfangsfrequenzen laufend steigende Anforderungen. Für die höheren Frequenzen des genannten Bandes verlangt die Stabilität schon für Geräte mit nur einer Arbeitsfrequenz grosse Aufmerksamkeit (Arbeitsfrequenz = Sende- oder Überlagerungsfrequenz).

Bei mobilen Sende-Empfangsanlagen für Kanalumschaltung in breiten Frequenzbändern zeigen sich zusätzliche Schwierigkeiten. Meist wird dafür auch die Forderung nach einfacher Bedienung gestellt, und die Geräte sind erschütterungsfest und betriebssicher für weite Temperatur- und Betriebsspannungsgrenzen zu bauen. Oft müssen solche Anlagen ohne sorgfältige äussere Frequenzplanung räumlich und frequenzmäßig eng beisammen für unabhängige Verbindungen eingesetzt werden, wobei die Gefahr besteht, dass sie sich gegenseitig auch durch Nebensende- und Nebenempfangsfrequenzen stören. Bei festgelegter mittlerer Reichweite sollen vor allem für tragbare Geräte Gewicht, Volumen und Energieverbrauch minimal sein.

Das erzwungene Streben nach bestmöglichster Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Frequenzbänder widerspricht ebenfalls in mehrfacher Beziehung den äusseren praktischen Anforderungen. Unter den grundlegenden Gestaltungsfragen kommt deshalb — neben den Selektionsproblemen — der innen Frequenzplanung besondere Bedeutung zu. Darunter sei das Streben nach der optimalen Lösung für das Erzeugen der Sende- und Überlagerungsfrequenz verstanden.

Am Anfang der innen Frequenzplanung steht meist die Frage nach der Modulationsart des zu er-

Les conséquences de l'instabilité des fréquences d'émission et de réception dans le rapport signal / bruit de fond et dans la qualité de la transmission sont d'abord esquissées. De là sont déduites les exigences pour la stabilité de la fréquence. L'étude est limitée aux appareils modulés en fréquence ou en phase et travaillant dans le domaine de 30 à 500 MHz. Les procédés pour dériver la fréquence de l'émetteur d'oscillateurs à quartz sont expliqués sommairement et groupés. En outre, une attention particulièrement est portée aux procédés utilisés dans les appareils à communication de canaux ainsi qu'aux fréquences parasites produites lors de multiplication et de mélange de fréquences. Pour terminer, les effets des fréquences parasites sont brièvement expliqués.

zeugenden Trägers. Um mit kleinen Sendeleistungen grosse Distanzen überbrücken zu können, selbst bei hohem Störpegel am Empfangsort, muss für Sprachübertragung Frequenz- oder besser Phasenmodulation angewendet werden. Diese weist ein breiteres Spektrum auf als Amplitudenmodulation und fordert deshalb breitere Verstärkungskanäle. Die steigende Wellenknappheit bedingt dagegen ein stets engeres Zusammenrücken der HF-Kanäle, was viel steilern Filtern und stabilern Arbeitsfrequenzen ruft.

Fig. 1 zeigt oben die Selektionskurven dreier Empfänger vergleichbarer Art. Die breiteste Kurve A gehört zu einem neuern ausländischen Erzeugnis, welches offensichtlich nicht für beste Ausnutzung des Frequenzbandes gebaut ist. Die mittlere Kurve B gehört zu einem neuen Sender-Empfänger eigener Entwicklung, welcher für Kanalabstände von 100 kHz entworfen wurde. Die schmalste Kurve C wurde ebenfalls in einem eigenen Gerät realisiert, welches in Radiotelephonnetzen mit nur 50 Hz Kanalabstand eingesetzt wird.

Die Kurvenschar unten in Fig. 1 zeigt die Konsequenzen der Unstabilität von Sende- oder Empfangsfrequenz. In der Mitte ist der Fuss der schmalsten Durchlasskurve eines Empfängers für 450 MHz nochmals dargestellt und darunter im gleichen Frequenzmaßstab Klirrfaktor, Geräuschabstand und Wortverständlichkeit der Übertragung. Der Klirrfaktor nimmt bei grösser werdender Verstimmung zu, während der Geräuschabstand, herrührend vom Empfängerrauschen *R* oder von Impulsstörungen *I*, stark abnimmt. Die Kurven gelten für einen reinen PhM-Empfänger¹⁾. Für die Messung von *R* wurde das Eingangssignal soweit reduziert, dass bei korrekter Abstimmung ein Rauschabstand von

¹⁾ PhM = Phasen-Modulation.