Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 39 (1961)

Heft: 7

Artikel: Vergleichende Untersuchungen an Kunststoffen im Hinblick auf deren Verwendung als Baustoff für Telephonstationsgehäuse

Autor: Künzler, H. / Fierz, W. / Grimm, G.O.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-875251

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: 09.12.2025

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

Nº 7 - BERN, VII. 1961 - JAHRGANG - ANNÉE - ANNO XXXIX

TECHNISCHE MITTEILUNGEN

BULLETIN TECHNIQUE

PTT

BOLLETTINO TECNICO

Herausgegeben von den Schweizerischen Post-, Telephon- und Telegraphen-Betrieben – Publié par l'entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses – Pubblicato dall'Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

H. Künzler, W. Fierz, Bern, und G. O. Grimm, Rapperswil

Vergleichende Untersuchungen an Kunststoffen im Hinblick auf deren Verwendung als Baustoff für Telephonstationsgehäuse

621.395.721.1–215:678.5/.7

1. Einleitung

Im Jahre 1942 ging die PTT-Verwaltung dazu über, Gehäuse und Mikrotelephon ihrer Telephonstationen aus Kunststoff pressen zu lassen. Man wählte dazu einen härtbaren Kunststoff, nämlich einen Phenoplasten der Typenbezeichnung H.POP. Im allgemeinen bewährten sich diese Presslinge gut. Dennoch haften ihnen gewisse Nachteile an. Das Pressmaterial ist ziemlich spröde, weshalb man mit gelegentlichen Bruchschäden rechnen muss. Daneben sind die Phenoplaste nicht lichtecht. Bei starker Sonnenbestrahlung verliert die Oberfläche ihren Glanz, wird zunächst matter, dann fleckig und zuletzt unansehnlich. Das Gehäuse muss in diesem Zustand vorzeitig ausgewechselt werden, obwohl es sonst noch über Jahre hinaus brauchbar wäre. Der ungenügenden Lichtechtheit und der gelbbraunen Eigenfarbe zufolge lassen sich die Phenoplaste nur schwarz oder dunkelbraun färben, was heutzutage als unschön empfunden wird.

Dem Verlangen nach hellen Farben Folge gebend, stellt die PTT-Verwaltung seit dem Jahre 1955 ihren Abonnenten auf besonderen Wunsch auch eine crèmefarbige Telephonstation zur Verfügung. Ihr Gehäuse wird mit einem Melaminoplasten (Typenbezeichnung H.MOP) gepresst. Leider ist dieses Material noch spröder als die Phenoplaste. Auch genügt die Masshaltigkeit der Presslinge dort, wo besonders hohe Anforderungen gestellt werden, des verhältnismässig grossen Nachschwundes wegen nicht vollumfänglich. Dieser kann auch die gefürchteten Spannungsrisse verursachen. Die übrigen Eigenschaften der Melaminoplasten sind jedoch meist ausgezeichnet.

Bei dieser Sachlage drängte sich schon seit einiger Zeit die Frage auf, ob die Gehäuse der Telephonstationen aus einem Kunststoff herstellbar seien, dem die oben erwähnten Nachteile nicht anhaften. Die stürmische Entwicklung auf dem Gebiete der Thermoplaste während der letzten 10 Jahre liess uns hoffen, in deren Reihen ein Material zu finden, das unseren vielfältigen strengen Anforderungen genüge.

Die Thermoplaste werden im Spritzgussverfahren geformt. Die Abkühlzeit im Werkzeug ist hier kleiner als die bei den Duroplasten durch die Härtungsreaktion bedingte Stehzeit. Die Herstellungszeit wird dementsprechend kürzer, so dass die Preise der thermoplastischen Formstücke trotz dem teureren Material in wirtschaftlich tragbaren Grenzen liegen. Dies ist mit ein Grund, weshalb die Thermoplaste von Jahr zu Jahr vermehrt auf dem Markte erscheinen.

Die Festigkeitseigenschaften der Thermoplaste in neuwertigem Zustand sind zwar hinlänglich bekannt. Aber für die Beurteilung, ob sich ein solcher Kunststoff zur Herstellung von Telephonstationen eigne, genügen diese Angaben nicht. Ein Telephonstationsgehäuse sollte nämlich zehn und mehr Jahre gebrauchstüchtig und zudem auch schön bleiben. Die Alterungseigenschaften spielen somit für diesen Anwendungszweck eine ausschlaggebende Rolle.

Als wir im Jahre 1959 ernstlich daran dachten, unsere Telephonstationsgehäuse spritzen zu lassen, wollte uns in der Schweiz niemand einen Thermoplasten mit der geforderten Alterungsbeständigkeit nennen. Das Verhalten über Zeiträume von mehr als 3–5 Jahre war zu wenig bekannt, so dass damals keine

sichere Prognose gewagt werden durfte. Zudem lauteten die Berichte über Betriebserfahrungen im Auslande zwiespältig.

Wir waren deshalb gezwungen, eigene Versuche durchzuführen und das Problem vor allem in bezug auf den besondern Verwendungszweck hin zu studieren.

2. Das Versuchsprogramm

Wir sahen uns auf dem Markte eifrig nach Thermoplasten um, die uns als Baustoff für Telephonstationsgehäuse einigermassen geeignet erschienen und wählten für unsere Versuche acht Typen aus. Da wir mit den Duroplasten (Phenoplast und Melaminoplast) bereits über mehrjährige praktische Erfahrung verfügten, zogen wir auch diese beiden Werkstoffe heran und verglichen ihr Verhalten mit demjenigen der Thermoplasten. Die Liste der zu vergleichenden Kunststoffe umfasste:

Nr. 1 : Phenoplast, VSM-Typ H.POP
Nr. 2 : Melaminoplast, VSM-Typ H.MOP, mit Cellulose als Harzträger
Nr. 3*: Polystyrol, schlagfest, mit Butadienzusatz
Nr. 4*: Acrylglas D 1, wärmebeständige Sorte
Nr. 5 : Acrylglas D 2
Nr. 6 : Acrylglas P, wärmebeständige Sorte
Nr. 7*: Celluloseacetat mit höherem Veresterungsgrad, formbeständig
Nr. 8*: Celluloseproponat
Nr. 9 : Polyamid auf Caprolactambasis
Nr. 10 : Polycarbonat

Diese Numerierung gilt für den ganzen vorliegenden Bericht. Die mit * bezeichneten Thermoplaste werden im Auslande bereits als Werkstoff für Telephonstationsgehäuse verwendet. Auf das Cellulosebutyrat verzichteten wir, weil es nicht geruchlos ist.

Aus den angeführten Thermoplasten liessen wir von der Firma *H. Weidmann AG*, Rapperswil, die notwendige Zahl von Prüfstäben und Stationsgehäusen nach dem Spritzverfahren herstellen. Die Duroplastgehäuse entnahmen wir dem Lager der PTT-Verwaltung in Ostermundigen. Die gespritzten Gehäuse hatten die gleiche Form wie die gepressten. Die Versuchsergebnisse können nämlich nur miteinander verglichen werden, wenn die Prüflinge auch formgleich sind. Um dies zu erreichen, musste eine Pressform, die der Herstellung von üblichen PTT-Tischstationsgehäusen diente, in eine Spritzform umgebaut werden. In *Figur 1* ist ein Gehäuse, wie wir es für die Versuche verwendeten, von vorne und von der Seite abgebildet.

Nach reiflicher Überlegung einigten wir uns auf folgendes Versuchsprogramm:

Bestimmung der mechanischen Festigkeitseigenschaften der Werkstoffe

Darunter fallen die Zerreissfestigkeit, die Dehnung, die Biege- und Schlagbiegefestigkeit, der Elastizitätsmodul und die Ritzhärte.

Diese Werte sind an neuwertigen und gealterten Prüfstäben zu bestimmen.

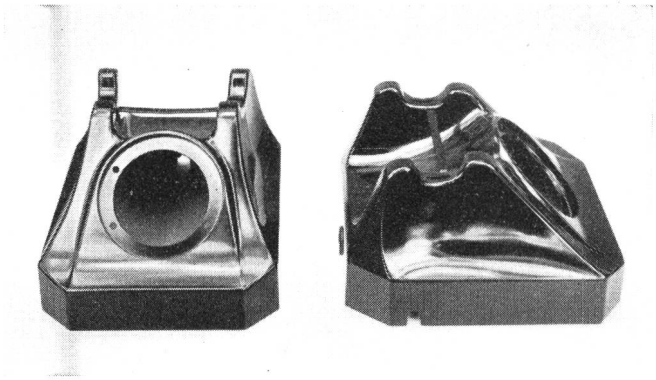

Fig. 1. Vorder- und Seitenansicht des Tischstationsgehäuses PTT

Ein Teil der Proben ist künstlich im Atlas-Weatherometer zu altern, ein zweiter auf dem Dach des GD-PTT-Gebäudes an der Speichergasse 6 in Bern und ein dritter auf dem Jungfraujoch vor der PTT-Höhenstation.

Bestimmung der Masshaltigkeit der Gehäuse

Es ist der Einfluss der Luftfeuchtigkeit, der Wärme und der Alterung auf die Masshaltigkeit zu bestimmen. Ausserdem sind der Formschwund bei der Herstellung und der Nachschwund zu messen.

Bestimmung der Gehäuseeigenschaften

Verhalten der Gehäuse im Fallversuch und Widerstand gegen Mikrotelephonaufschläge.

Widerstand der Gehäuseoberfläche gegen mechanische und chemische Beanspruchung, zu prüfen durch herabfallende Holzwürfel und Stahlsandkörner, durch Bewitterung und durch Einwirkung von Chemikalien.

Neigung zur elektro-statischen Aufladung und als Folge davon zur vermehrten Verstaubung.

Lichtechtheitsprüfung.

Auswertung

Die Versuchsergebnisse sollen nach einem System ausgewertet werden, das dem vorgesehenen Verwendungszweck der Kunststoffe angepasst ist und einen begründeten Entscheid ermöglicht.

3. Die Alterungsmethoden

Dem Konstrukteur liegt viel daran, die Neigung eines Kunststoffes, sich mit der Zeit zu verändern, im voraus zu kennen, damit er die richtige Wahl treffen kann. Da die Alterungsversuche bei Betriebsverhältnissen in der Regel zu lange dauern, ist man gezwungen, sie abzukürzen. Dies geschieht dadurch, dass die Umgebungsbedingungen des Prüflings verschärft werden. Gerade darin liegen jedoch die Schwierigkeiten für die Beurteilung. Die Ergebnisse fallen zwar rascher an, aber man weiss zum voraus nicht mit Sicherheit, ob durch die Verschärfung nur gerade ein ihr proportionaler Effekt erzeugt wird oder ob die Alterung nach einem prinzipiell andern Reaktionsablauf erfolgt. Es können sich unter verschärften Bedingungen durchaus chemische und physikalische Reaktionen abspielen, die entweder für die Einsatz-

bedingungen der Praxis keine Bedeutung haben oder bei den Betriebsverhältnissen gar nicht vorkommen.

Diese Unsicherheit berücksichtigend, entschlossen wir uns, unsere Kunststoffproben auf drei verschiedene Arten zu altern, um über breitere Vergleichsgrundlagen zu verfügen und gleichzeitig die verschiedenen Methoden einander gegenüberstellen zu können.

Künstliche Alterung im Atlas-Weatherometer

Wir befestigten die Prüfstäbe auf der Innenseite der drehbaren Trommel des Atlas-Weatherometers und bestrahlten sie während 1000 Stunden mit dem Licht der beiden Bogenlampen. Zudem berieselten wir die Prüflinge intermittierend nach folgendem Zyklus: 3 Minuten Berieselung mit entsalztem Wasser, 17 Minuten ohne Berieselung. Das Weatherometer stand täglich 23 Stunden im Betrieb; während der 24. Stunde wurden jeweils die Kohlen in den Bogenlampen ersetzt. Die Oberflächentemperatur der Prüflinge lag etwa bei 65° C. *Figur 2* zeigt das Innere des Atlas-Weatherometers.

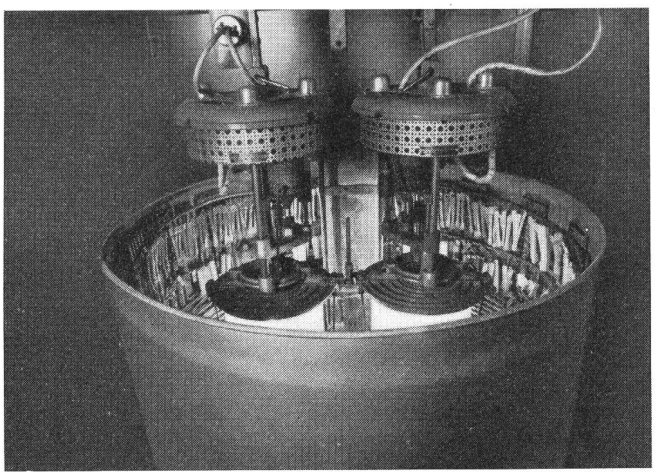

Fig. 2. Inneres des Atlas-Weatherometers

Bewitterung im Freien in Bern

Figur 3a zeigt den Prüfstand auf dem Dach des GD-PTT-Gebäudes an der Speichergasse 6 in Bern (ca. 550 m ü.M.). Nebst den Prüfstäben setzten wir auch die Telephonstationsgehäuse diesen Bedingungen aus. Zudem führten wir noch eine Lichtechtheitsprüfung durch. Die dazugehörigen Prüflinge kann man in der erwähnten Figur auf dem Boden hinter den Gehäusen erkennen. (Die Kabel rechts auf dem Gestell gehören nicht zur vorliegenden Untersuchung.)

Der Bewitterungsversuch begann am 10. März 1960 und dauerte bis zum 9. September 1960, also sechs Monate.

Bewitterung im Freien auf dem Jungfraujoch

In *Figur 3b* erkennt man den Prüfstand vor der PTT-Station auf dem Jungfraujoch (ca. 3690 m ü.M.). Dieser Alterungsversuch dauerte vom 10. Mai 1960 bis zum 11. November 1960, was ebenfalls 6 Monate ausmacht.

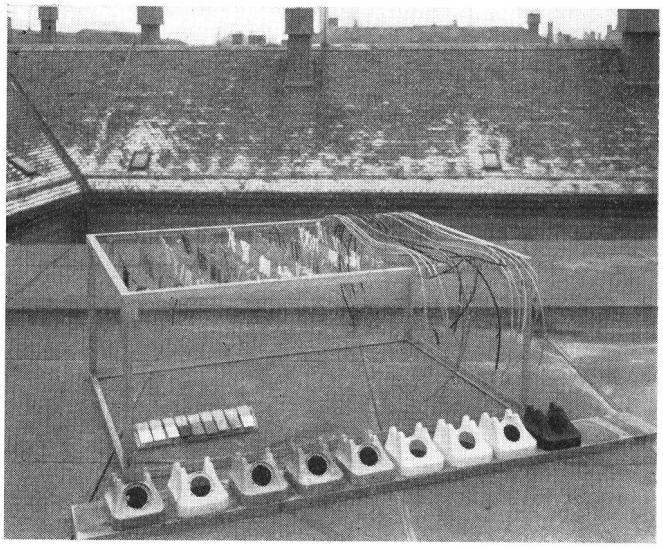

Fig. 3a. Bewitterungsprüfstand in Bern

In der *Tabelle 1* sind die klimatischen Verhältnisse während der Bewitterungsdauer für beide Prüfstände angegeben. Es fällt auf, dass in Bern wesentlich mehr Stunden Sonnenschein zu verzeichnen waren als auf dem Jungfraujoch. Auch lag die mittlere Temperatur im Unterland um 18,5° C höher als im Hochgebirge. Anderseits ist die Strahlung in der Höhe intensiver; sie ist reicher an kurzwelligem Licht, das stark auf Kunststoffe einwirkt.

Der stärkeren Wirkung des Lichtes stehen jedoch weniger Stunden Sonnenschein und die tiefere Temperatur entgegen. Wenn man von der Regel ausgeht, dass eine Temperaturverminderung von 10° C die Reaktionsgeschwindigkeit halbiere, so würde die Alterung auf dem Jungfraujoch bei den erwähnten Versuchsverhältnissen etwa viermal langsamer fortschreiten als in Bern. Zudem waren die Prüflinge auf dem Jungfraujoch zeitweise mit Schnee bedeckt, so dass sie der Sonnenwirkung entzogen blieben. Aus technischen Gründen konnten wir den Versuch auf dem Jungfraujoch leider erst am 10. Mai 1960, also zwei Monate nach demjenigen in Bern beginnen, was

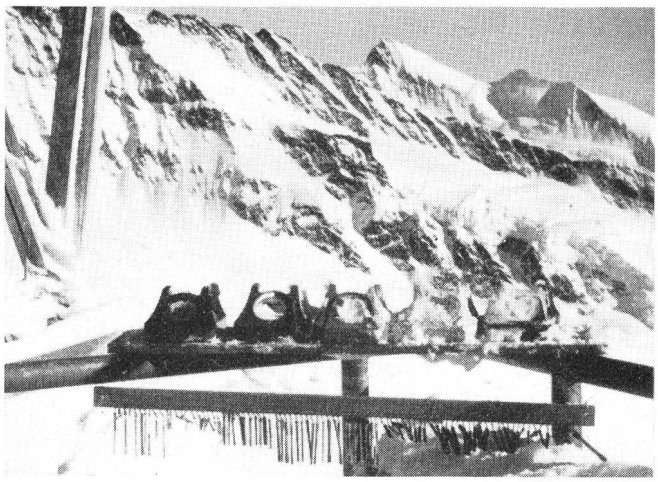

Fig. 3b. Bewitterungsprüfstand auf Jungfraujoch

Tabelle 1

Die klimatischen Verhältnisse, denen die Kunststoffproben während des Bewitterungsversuches in Bern und auf dem Jungfraujoch ausgesetzt waren

Monat	Bern				Jungfraujoch		
	Sonne h	Niederschlag mm	Mittlere Temperatur °C	Bewölkung in Achteln	Sonne h	Mittlere Temperatur °C	Bewölkung
III	116,3[1]	13,2[1]	6,9[1]	5[1]			
IV	180,8	41,1	8,5	5			
V	274,2	85,8	14,2	5	125[3]	–3,6[3]	7,0[3]
VI	249,9	58,1	17,0	5	161	–2,2	6,6
VII	206,7	111,4	16,5	5	119	–2,9	7,9
VIII	211,6	196,4	16,7	5	183	–2,5	6,8
IX	47,5[2]	46,8[2]	13,3[2]	5[2]	144	–4,6	6,1
X					60	–8,9	7,6
XI					71[4]	–9,0[4]	7,4[4]
Total	1287	552,8	13,3	5	863	–4,8	7,05

Die Angaben für Bern stammen vom Meteorologischen Observatorium Bern, diejenigen für das Jungfraujoch von der MZA Zürich.
[1] Werte für die Zeit vom 10. bis zum 30. III. 60. – [2] vom 1. bis zum 9. XI. 60. – [3] vom 10. bis zum 30. V. 60. – [4] vom 1. bis zum 11. XI. 60.

aber photochemisch keinen grossen Einfluss haben konnte, da die Tageslängen in beiden Versuchen nahezu gleich waren (2700 Stunden beim Berner- und 2600 Stunden beim Jungfraujoch-Versuch).

4. Die mechanischen Festigkeitseigenschaften der neuwertigen und der gealterten Prüfstäbe

Zerreissfestigkeit und Dehnung

Diese Grössen wurden auf einer «Drage»-Zerreissmaschine mit einer Zerreissgeschwindigkeit von 10 cm/min gemessen. Um definierte Verhältnisse zu bekommen, lagerten wir die Prüfstäbe vor der Messung während 14 Tagen bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit.

Die Prüfstäbe der Duroplaste entsprechen dem VSM Normalblatt 77 101, diejenigen der Thermoplaste sind in *Figur 4* (oben) abgebildet. Es handelt sich um Stäbe mit einem Querschnitt von 6 × 4 mm. Der Schaft misst 50 mm, die Enden 15 mm. Die Übergänge sind abgerundet.

Die Thermoplaststäbe standen in zwei Sorten zur Verfügung, nämlich solche mit einer Angußstelle und solche mit zweiseitigen Einspritzstellen. Diese sollten über die Verschweissbarkeit der Thermoplaste unterrichten. Die Fliessrichtung lag bei beiden Arten in der Stablängsachse.

Um vergleichbare Zahlen zu bekommen, rechneten wir die gewonnenen Messwerte für die Zerreissfestigkeit auf kg/mm² um. Die Dehnung wurde aus den Zugsdehnungsdiagrammen ermittelt und in Prozenten angegeben.

In *Figur 5* sind die Messergebnisse in Säulenform aufgezeichnet. Es handelt sich um Mittelwerte aus je 10 Messwerten bei den neuwertigen (a) und den im Atlas-Weatherometer künstlich gealterten (b), beziehungsweise aus je 4 Messwerten bei den in Bern (c) und auf dem Jungfraujoch (d) bewitterten Proben.

Es erhellt aus der Figur 5, dass die Zerreissfestigkeit der beidseitig gespritzten Prüfstäbe fast durchwegs tiefer liegt als diejenige der einseitig gespritzten. Dies bedeutet, dass die Verschweissung in der Mitte des Stabes nicht vollständig ist. Dass der Hersteller von Thermoplastformstücken diesem Problem besondere Aufmerksamkeit schenken muss, zeigt *Figur 6*. Es handelt sich um ein Gehäuse aus dem Kunststoff Nr. 7 (Celluloseacetat), bei dem sich die zusammenfliessenden Thermoplastmassen nicht einwandfrei verschweissten, so dass an der gefährdeten Stelle im unteren Teil ein Riss entstand. Da von jedem Kunststoff nur relativ wenige Versuchsgehäuse gespritzt werden konnten, war es nicht möglich, die optimalen Spritzbedingungen zu finden. Sind sie jedoch sichergestellt, so lassen sich solche Fehler vermeiden.

Die Kunststoffe Nr. 1 und 2, die Duroplaste, werden nicht gespritzt, sondern gepresst, und ihre Stabform ist von derjenigen der Thermoplaste verschieden. Der bessern Übersicht halber sind sie in der Figur 5

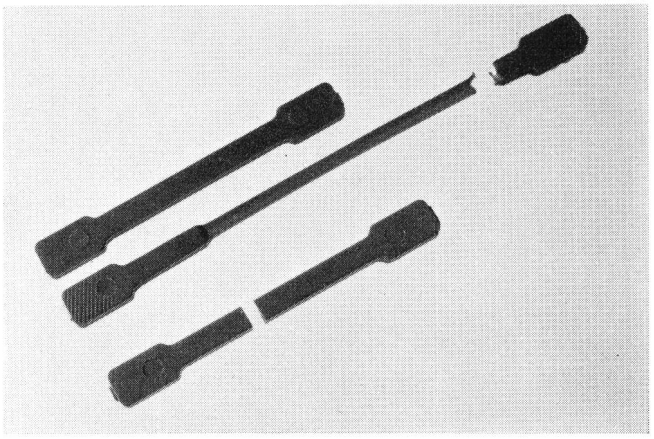

Fig. 4. Prüfstäbe von Thermoplasten.
Oben: neu; Mitte: Bruch nach plastischer Verformung (Nr. 9); unten: Bruch nach elastischer Verformung (Nr. 4)

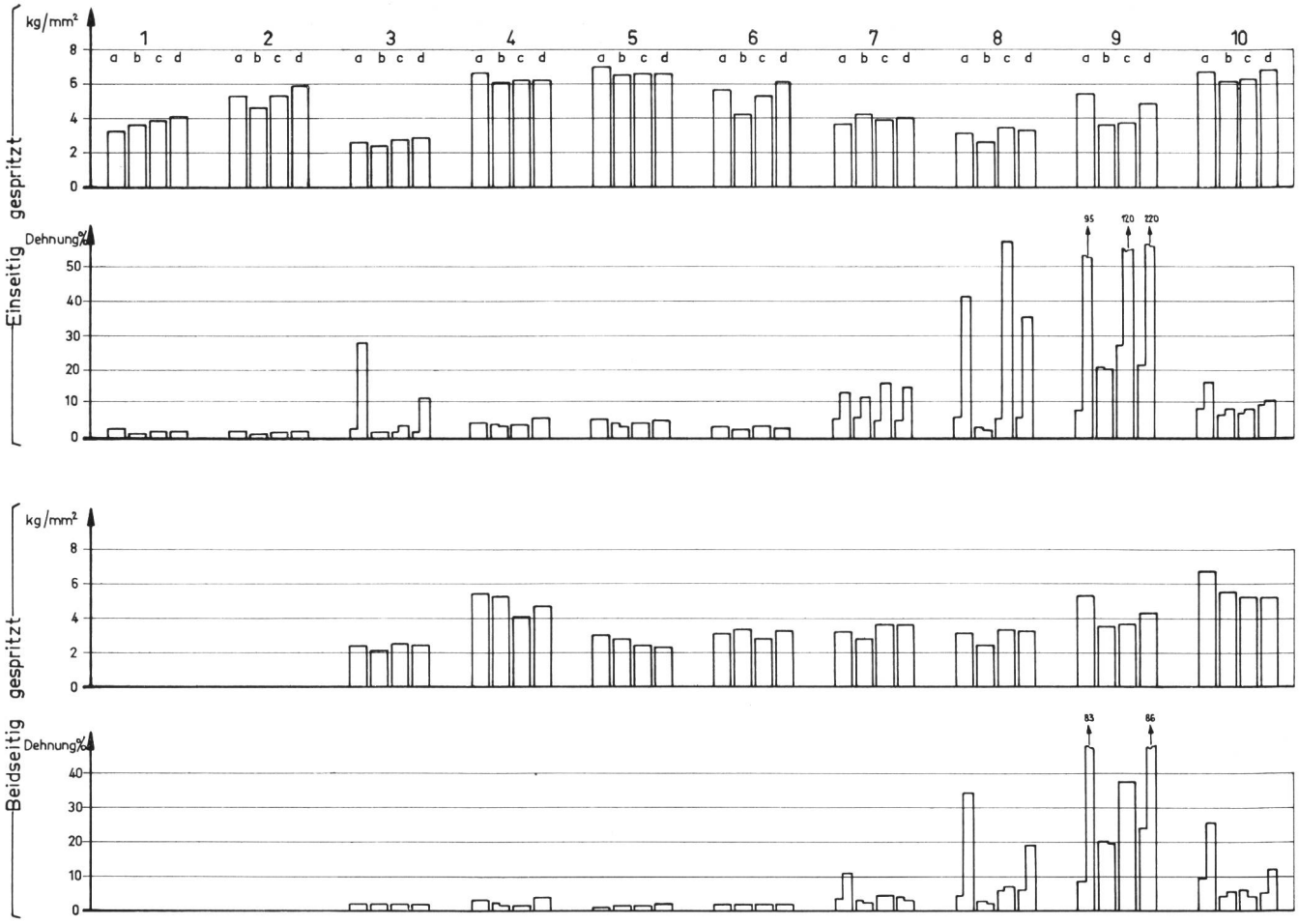

Fig. 5. Zerreissfestigkeit in kg/mm² und Dehnung in %. Ziffern 1–10 = Kunststoff-Nummern. a: neuwertig; b: im Atlas-Weatherometer gealtert; c: in Bern und d: auf dem Jungfraujoch bewittert

neben die Werte der einseitig gespritzten Thermoplaststäbe gesetzt.

Die Zerreissfestigkeit spielt für unseren Verwendungszweck nicht eine so ausschlaggebende Rolle. Wesentlich ist lediglich, dass sie über 3 kg/mm² liegt. Ein Blick auf Figur 5 lässt auch erkennen, wie wenig sie im allgemeinen bei allen untersuchten Kunststoffen durch Alterung beeinträchtigt wird, was sich damit erklärt, dass nur ein verhältnismässig kleiner Anteil des Querschnittes dem Alterungseinfluss ausgesetzt war.

Bei der Dehnung unterscheidet man den elastischen und den plastischen Anteil der Verformung. Für den Bau von Telephonstationsgehäusen ist jedoch lediglich die elastische Dehnung von Bedeutung. Diese liegt im Mittel bei den Thermoplasten in verhältnismässig engen Grenzen zwischen 2 und 6%. Eine Ausnahme machten jedoch die Kunststoffe Nr. 9 (Polyamid) und in geringem Masse auch Nr. 10 (Polycarbonat). Hier ist übrigens der Übergang von der elastischen zur plastischen Deformation verwischt. Die Duroplaste (Nr. 1 und 2) lassen sich erwartungsgemäss weniger als 2% dehnen.

In der Figur 5 sind besonders bei den Kunststoffen Nr. 3, 7, 8, 9 und 10 die Säulen, deren Höhe die Dehnung angibt, zweistufig gezeichnet. Die erste Stufe entspricht dem elastischen, die zweite dem plastischen Dehnungsanteil, bezogen jeweils auf die Länge des ungedehnten Stabes. Bei dieser Berechnungsart kann es somit vorkommen, dass die elastische Verformung grösser ist als die plastische (siehe Kunststoff Nr. 4, Acrylglas D 1, Säule b in der Fig. 5).

Figur 7 zeigt die typischen Zug-Dehnungsdiagramme der einzelnen Kunststoffe. Man kann deutlich zwei Klassen unterscheiden. Die Duroplaste (Nr. 1 und 2) sowie die Acrylgläser (Nr. 4–6) zerreissen

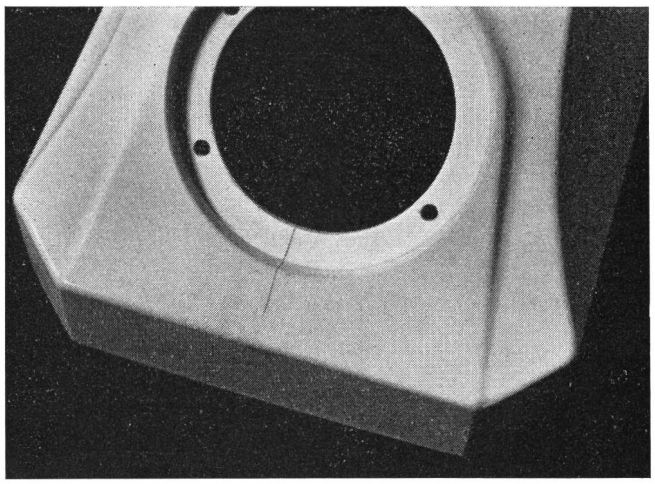

Fig. 6. Rissbildung durch mangelhafte Verschweissung beim Spritzen

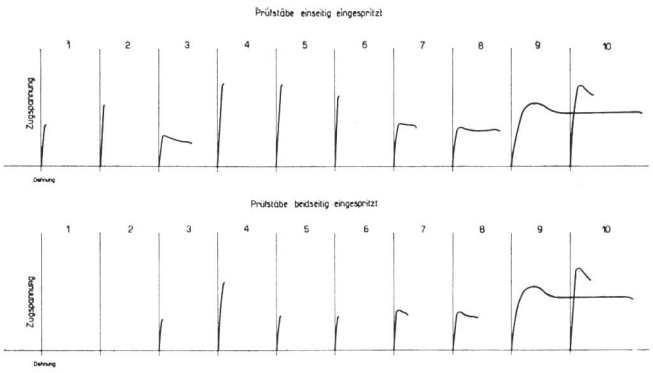

Fig. 7. Zug-Dehnungsdiagramme (Legende siehe Fig. 5)

innerhalb oder am Ende des elastischen Bereiches, während sich die übrigen Prüfstäbe, ganz besonders ausgeprägt aber das Polyamid (Nr. 9), stark plastisch verformen und der Trennbruch erst eintritt, wenn der Querschnitt des Stabes stark verringert ist. Die beiden Typen sind in Figur 4 Mitte und unten abgebildet.

Auch hier ist das unterschiedliche Verhalten der einseitig und doppelseitig gespritzten Prüfstäbe besonders bezüglich der plastischen Verformung auffällig.

Biegefestigkeit

Für die Bestimmung der Biegefestigkeit benützten wir Flachstäbe (siehe *Figur 8* oben) der Abmessungen $60 \times 10 \times 4$ mm. Die Prüfmethode entsprach der VSM-Norm 77 103. Die Stempelgeschwindigkeit betrug 60 mm/min. Vor der Messung lagerten wir die Prüflinge während 14 Tagen bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit.

Die Last-Durchbiegungsdiagramme der Thermoplaste hatten alle die Form, wie sie in *Figur 9* oben als Beispiel aufgezeichnet ist. Bis zum Punkte P_1 hat man es mit der elastischen, von P_1 bis P_3 mit der plastischen Durchbiegung zu tun. Der Punkt P_2 gibt die Maximallast an. Die Duroplaste (Nr. 1 und 2) sowie beim Acrylglas P die im Atlas-Weatherometer gealterte Probe Nr. 6b brachen schon beim Punkte P_1 durch. Es sind deshalb für sie in *Figur 10*, wo die mittlere Biegefestigkeit in Säulenform dargestellt ist, die Werte bei Maximallast nicht angeführt. Ein Teil der Thermoplaste zerbrach zwischen P_2 und P_3, während es bei den restlichen überhaupt nicht zu einem Bruch kam, so vorwiegend bei den Kunststoffen Nr. 7, 8, 9 und teilweise auch bei Nr. 10, also bei den Celluloseestern, beim Polyamid und beim Polycarbonat. Interessant ist, dass beim Polystyrol (Nr. 3) dieser Fall lediglich bei den im Freien in Bern bewitterten Proben eintrat, was wohl als Alterungseinfluss gewertet werden darf. Auch dort, wo der Prüfstab nicht zerbrach, benützten wir die Werte für die Last bei den Punkten P_1 und P_2 zur Berechnung der Biegefestigkeit.

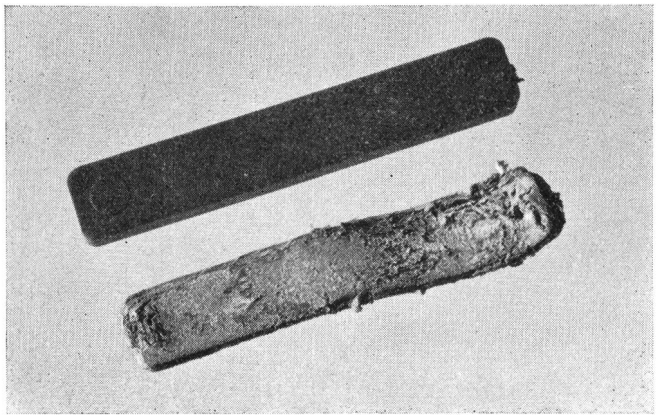

Fig. 8. Flachstäbe zur Bestimmung der Biegefestigkeit. Oben: neu; unten: gealtert im Atlas-Weatherometer (Nr. 7)

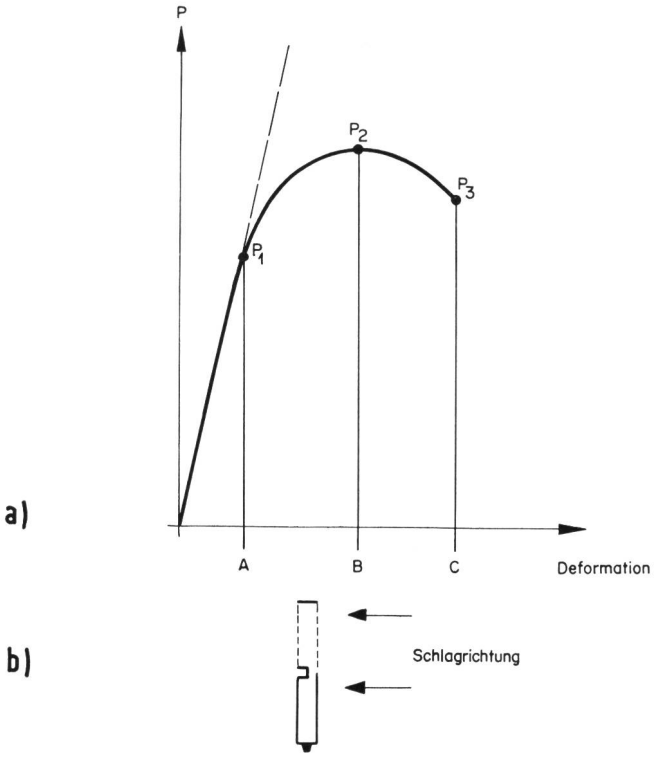

Fig. 9. a) Typisches Last-Durchbiegungsdiagramm.
b) Prüfkörper zur Bestimmung der Schlagbiegefestigkeit (für 2 Messungen)

Im allgemeinen besitzen die spröderen Kunststoffe eine höhere Biegefestigkeit als die zäheren. Sie liegt bei jenen über 9 kg/mm², bei diesen um 5 kg/mm² herum, was die Figur 10 deutlich zeigt.

Der Einfluss der Alterung auf die Biegefestigkeit ist gering. Am stärksten änderten sich die Werte beim Polyamid (Nr. 9), wo sie für b, c und d um mehr als ein Drittel abgesunken sind. Allein, es ist schwer zu sagen, wie weit der Abfall auf die Alterung und wie weit auf Unterschiede im Wassergehalt zurückzuführen ist, da sich das Feuchtigkeitsgleichgewicht nur sehr langsam einstellt.

Ein besonderer Fall ergab sich beim Probestab Nr. 7 (Celluloseacetat), der im Atlas-Weatherometer gealtert wurde (s. Figur 8 unten). Die Oberfläche des Materials splitterte bei dieser Beanspruchung auf. Es scheint, dass sie gegen die kombinierte Einwirkung von Licht, Wärme und Wasser empfindlich ist.

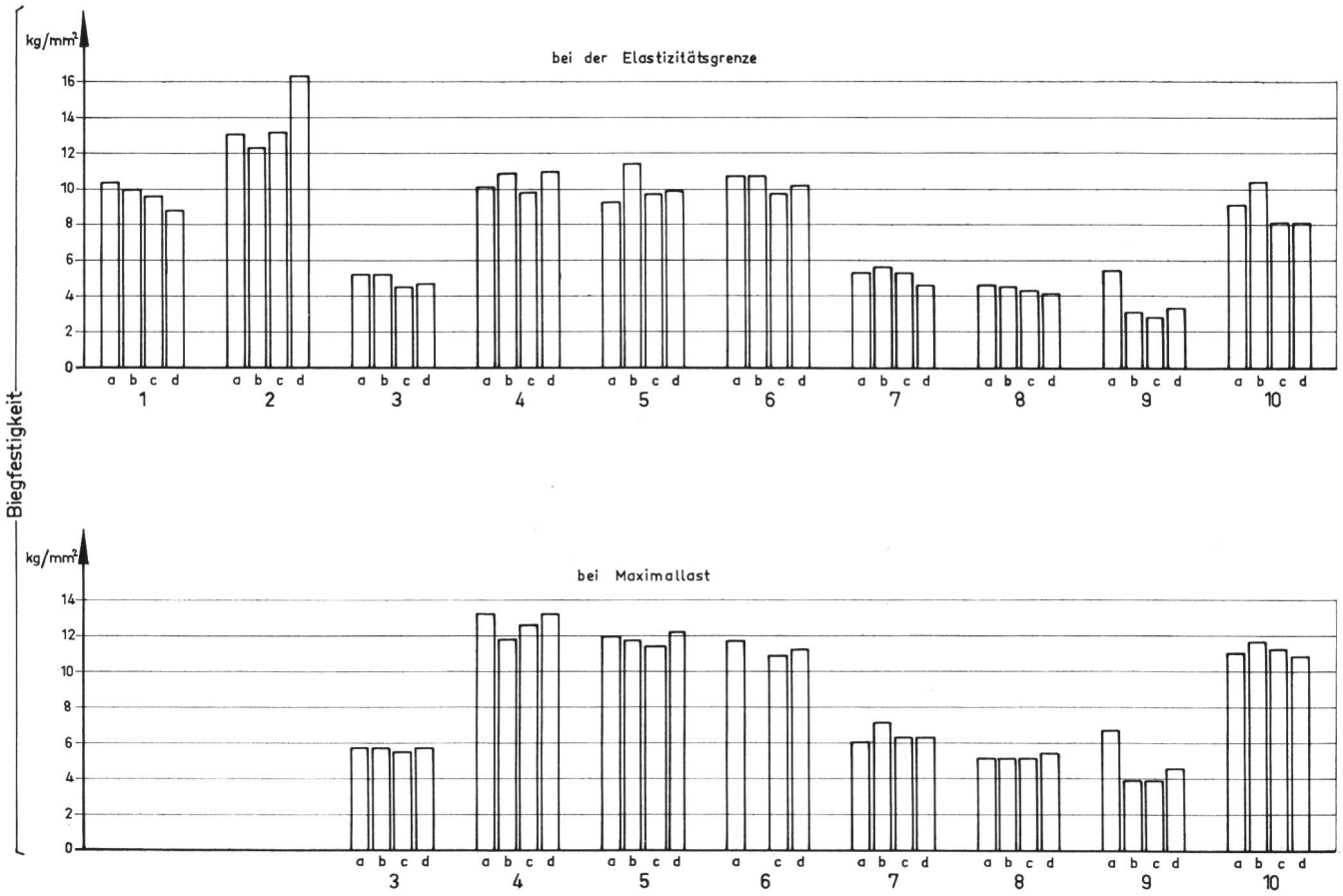

Fig. 10. Die Biegefestigkeit. Oben: bei der Elastizitätsgrenze; unten: bei Maximallast (Legende siehe Fig. 5)

Schlagbiegefestigkeit

Die Schlagbiegefestigkeit wurde auf dem Dynstatgerät gemessen. Als Probekörper dienten Stäbchen von 15 mm Länge, 10 mm Breite und 3 mm Dicke. Bei den Thermoplasten spritzten wir gleichzeitig zwei Prüfkörper, die in der Figur 9 unten durch ausgezogene und gestrichelte Linien unterschieden sind. Die Eingußstelle befindet sich am untern Ende der Zeichnung. Vor der Prüfung wurden die Proben wiederum in der üblichen Weise klimatisiert.

Die Messergebnisse sind in *Figur 11* dargestellt. Da die Streuungen bei diesen Messungen verhältnismässig gross werden können, trugen wir in Figur 11 nicht die Mittel-, sondern die Zentralwerte ein. Zu Vergleichszwecken eignet sich hier der Zentralwert besser, weil der Einfluss der extremen Messwerte gemildert wird. Der Zentralwert liegt so, dass die Anzahl der Proben mit grösseren Werten gleich der Anzahl derjenigen mit geringeren ist. Bei den zähesten Probestäben trat kein Bruch ein. Der Probekörper verbog sich lediglich, wobei in der Oberfläche zum Teil Risse entstanden.

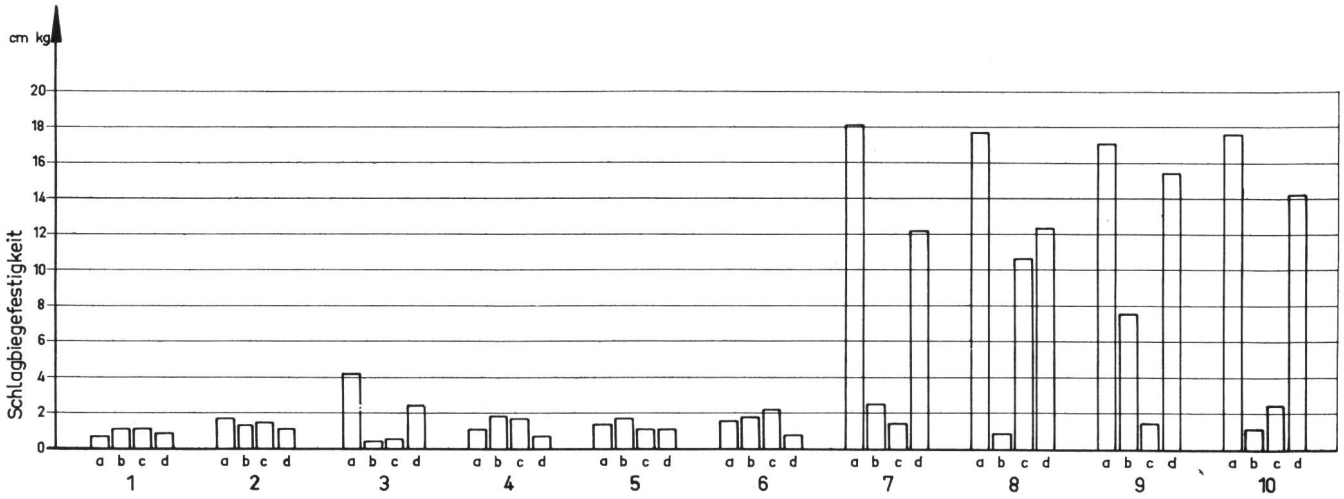

Fig. 11. Die Schlagbiegefestigkeit (Legende siehe Fig. 5)

Die Schlagbiegefestigkeit der Kunststoffe 1–6 liegt gegenüber den zähen Materialien im neuwertigen Zustand (Säule a) mit Werten zwischen 1 und 2 cm.kg tief. Polystyrol (Nr. 3) ist merklich schlagfester, doch fällt der Wert von 4,2 cm.kg des neuen Werkstoffes bei der Alterung ganz erheblich ab. Diese Alterungsneigung tritt jedoch bezüglich der Schlagbiegefestigkeit ganz besonders schwerwiegend bei den Celluloseestern (Nr. 7 und 8) sowie beim Polyamid (Nr. 9) und überraschend auch beim Polycarbonat (Nr. 10) auf. Die Duroplaste (Nr. 1 und 2) und die Acrylgläser zeigen diesen Effekt praktisch nicht.

Für den vorgesehenen Zweck ist ein Kunststoff mit hoher Schlagbiegefestigkeit durchaus erwünscht. Noch wichtiger aber ist es, dass er sich über lange Zeiträume möglichst wenig ändert, dass er also alterungsbeständig ist. Wenn nur eine der beiden Forderungen erfüllt werden kann, so gebührt der zweiten der Vorrang. Die Alterung ist durch die Veränderung der chemischen und physikalischen Mikrostruktur eines Thermoplasten bedingt, was sich ganz allgemein ungünstig auswirkt und zu unangenehmen Überraschungen führen kann.

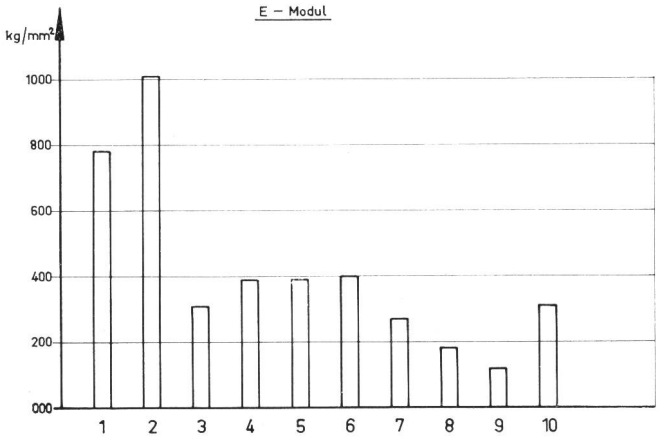

Fig. 12. Der Elastizitätsmodul neuwertiger Kunststoffe (Legende siehe Fig. 5)

Betrachtet man die Figur 11, so fällt auf, dass bei den zähen Materialien die Einflüsse des Atlas-Weatherometers und das Klima von Bern sehr stark auf die Schlagbiegefestigkeit wirkten, während die Bewitterung auf dem Jungfraujoch weniger schädlich war. Bei den spröden Werkstoffen wirkte sich das Klima mit den grossen Temperaturschwankungen auf dem Jungfraujoch am meisten aus.

Elastizitätsmodul

Der Elastizitätsmodul wurde an Prüfstäben der gehärteten Kunststoffe nach der Methode VSM 77 111 bestimmt. Bei den Thermoplasten mussten wir eine abgeänderte Prüfvorrichtung anwenden. Wir waren gezwungen, mit nur halb so langen Stäben zu arbeiten. Dies bedeutet, dass der Abstand der Belastungs- und Meßschneiden gegenüber dem obengenannten VSM-Normblatt auf die Hälfte verringert und das Gewicht auf 1,600 kg herabgesetzt wurden. Vor der Messung klimatisierten wir die Prüflinge wiederum bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchtigkeit während 14 Tagen.

Leider war es uns nur möglich, den E-Modul an den Prüfkörpern aus neuem Material zu bestimmen. Wir haben jedoch vorgesehen, die Bestimmung an gealterten Probestäben noch nachzuholen. In *Figur 12* sind die gemessenen Werte graphisch dargestellt. Die Duroplaste (Nr. 1 und 2) sind mit einem Elastizitätsmodul über 750 kg/mm² als spröde Werkstoffe anzusprechen, die Thermoplaste mit Werten um 300 kg/mm² und geringer dagegen als zähe. Die Acrylgläser liegen dazwischen.

Bei jenen Thermoplasten, die merkliche Mengen Feuchtigkeit aufzunehmen vermögen, wird der E-Modul durch die Klimatisierung stark beeinflusst. Es ist durchaus möglich, dass die Werte bei längerer Lagerung in Luft von 65% relativer Feuchte noch etwas weiter abgesunken wären.

Ritzhärte

Ein Mass für die Widerstandsfähigkeit eines Farbanstriches oder einer Kunststoffoberfläche kann die Ritzhärte nach *Clemen* geben. Die Prüfung besteht im Prinzip darin, dass man eine an einem Hebelarm befestigte, definierte Stahlspitze auf die Oberfläche des Prüflings setzt. Die Nadel wird mit zunehmenden Gewichten aufgedrückt, während man das Prüfplättchen mit vorgeschriebener Geschwindigkeit senkrecht zur Achse der belasteten Spitze verschiebt. Dasjenige Gewicht in Gramm ausgedrückt, bei dem die bewegte Kunststoffoberfläche von der Stahlspitze eben angeritzt wird, gibt das Mass für die Ritzhärte.

Wir bestimmten die Ritzhärte nach Clemen an neuwertigem und gealtertem Material. In *Figur 13* sind die Messergebnisse zusammengestellt.

Die härteste Oberfläche sowohl im neuen als auch im bewitterten Zustand besitzt der Melaminoplast (Nr. 2). Er ist zudem auch alterungsbeständig. Einen ähnlichen Wert weist der Phenoplast in neuwertigem Zustande auf. Dieses Material wird aber durch künstliche Alterung und Bewitterung wesentlich schlechter.

Von den Thermoplasten verhalten sich die Acrylgläser (Nr. 4–6) am günstigsten, während die weichen und zähen Typen kratzempfindlich sind. Im ganzen genommen hängt die Ritzhärte der Thermoplaste nur wenig von der Alterung ab. Am deutlichsten kommt dies beim Kunststoff Nr. 8 (Celluloseproponat) zum Ausdruck, wobei allerdings der erstaunlich hohe Wert im neuen Zustand auch «zufällig» sein könnte, da der Prüfkörper besonders wenig Feuchtigkeit enthielt.

Bei Telephonstationsgehäusen ist es wichtig, dass ihre Oberfläche möglichst lange, das heisst über Jahre hinaus, unversehrt bleibt. Sie darf weder durch die Kanten von Fingernägeln noch durch Schreibgeräte, Brieföffner, Lineale und andere harte Gegenstände unansehnlich werden. Die Ritzhärte ist somit für die Beurteilung eines Kunststoffes im vorliegenden Anwendungsgebiet ein recht wertvolles Kriterium.

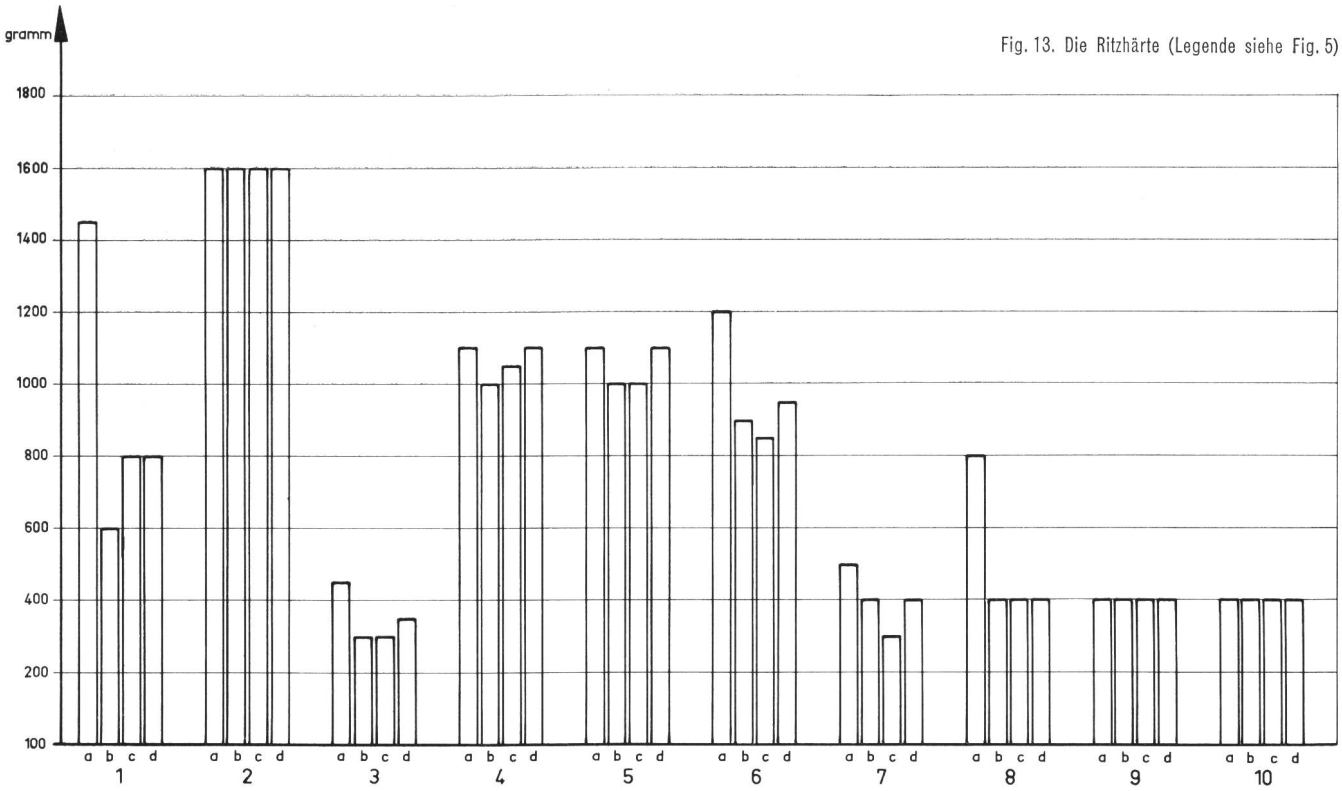

Fig. 13. Die Ritzhärte (Legende siehe Fig. 5)

5. Die Bestimmung der Masshaltigkeit der Gehäuse

Von Formstücken aus Kunststoffen, ob gepresst oder gespritzt, erwartet man, dass sie während der ganzen Dauer ihres Einsatzes masshaltig bleiben. Weder durch das Klima noch durch andere Einflüsse, wie Kristallisation, Weichmacherverlust und andere, dürfen die Abmessungen die vorgeschriebenen Toleranzfelder verlassen.

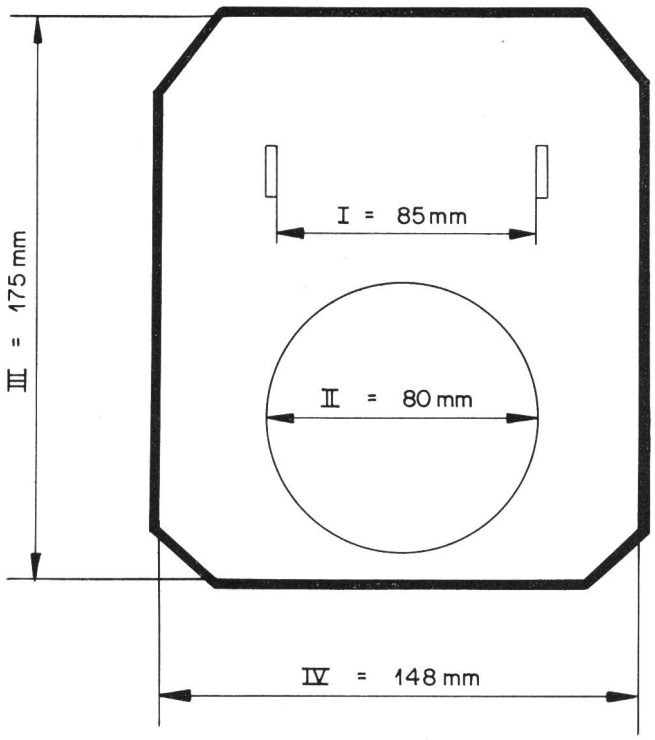

Fig. 14. Bestimmung der Masshaltigkeit am Gehäuse. Mass I: Abstand der Gabelkontaktschlitze; Mass II: Durchmesser der Nummernschalteröffnung; Mass III: Länge des Gehäuses; Mass IV: Breite des Gehäuses

Nun ist aber bekannt, dass alle Thermoplaste mit zunehmender Temperatur weicher werden. Einige von ihnen sind zudem merklich feuchtigkeitsempfindlich, weshalb sie rasch quellen und auch dadurch erweichen. Der gefürchtete Kaltfluss kann bei vielen Thermoplasten schon bei recht mässigen Temperaturen und geringen mechanischen Beanspruchungen einsetzen. Es war deshalb unerlässlich, unsere Kunststoffe in dieser Hinsicht eingehend zu prüfen.

Zu diesem Zwecke legten wir an den Gehäusen vier Masse fest. Sie sind in der *Figur 14* angegeben. Die Distanz der Gabelkontaktschlitze (Mass I) und der Durchmesser der Nummernschalteröffnung (Mass II) sind betrieblich besonders wichtig und deshalb in den folgenden Figuren dick ausgezogen beziehungsweise dick gestrichelt. Die Masse III und IV, begrenzt durch die freien Kanten unten am Gehäuse, können von zufälligen Spannungen beeinflusst werden und sind deshalb nicht so verbindlich wie I und II. Sie werden in den Abbildungen dünn ausgezogen (III) und dünn gestrichelt (IV).

Der Einfluss von Befeuchtung und Trocknung auf die Masshaltigkeit

Zur Bestimmung des Einflusses von Befeuchtung und Trocknung auf die Masshaltigkeit benützten wir von jeder Kunststoffsorte drei Gehäuse. Leider stand uns jedoch vom Polycarbonat (Nr. 10) nur ein Stück zur Verfügung. Um definierte Ausgangsbedingungen zu erhalten, lagerten wir die Prüflinge zuerst während

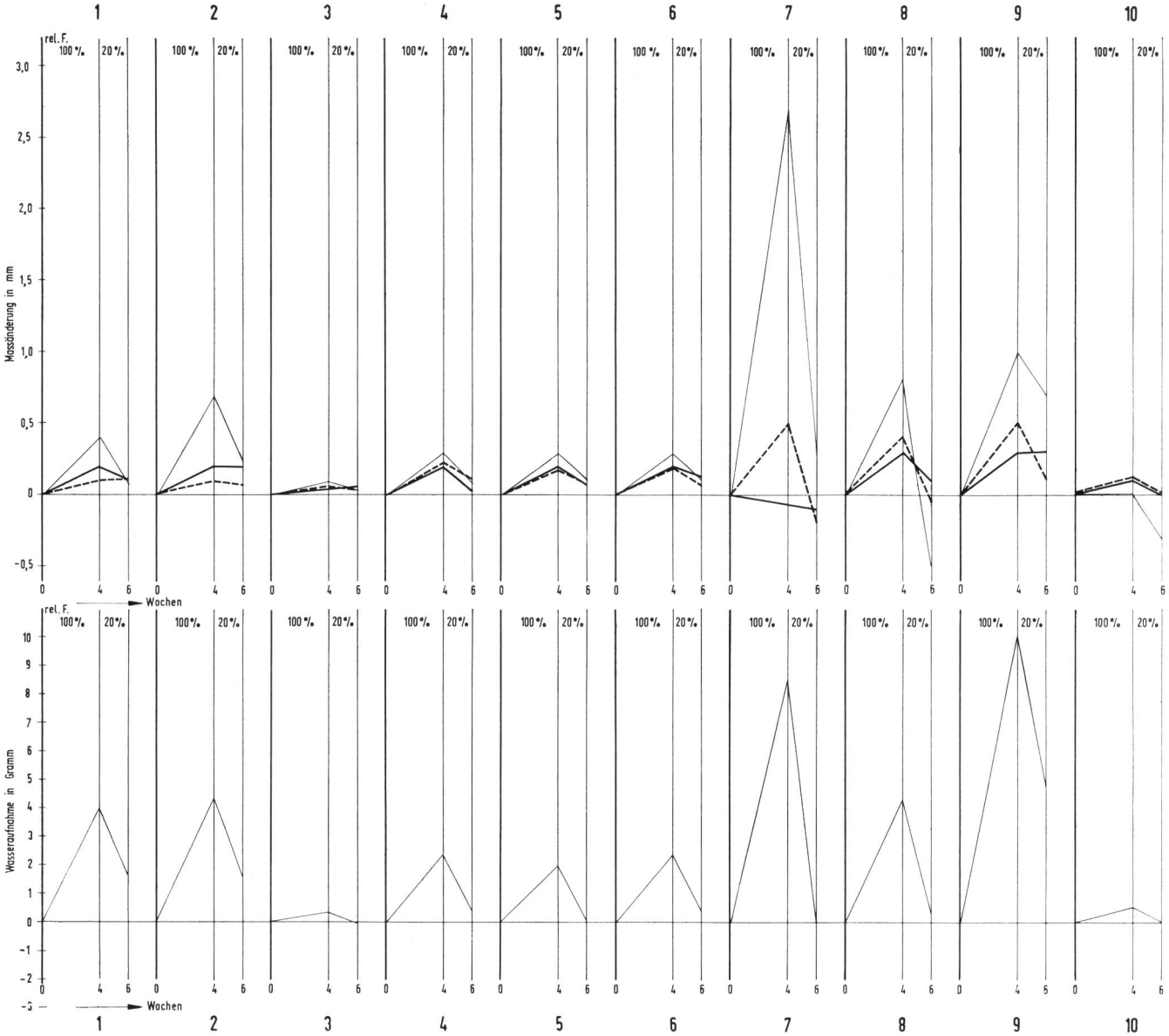

Fig. 15. Einfluss von Befeuchtung und Trocknung auf die Masshaltigkeit und auf das Gewicht der Gehäuse. Oben: Massänderung in mm; dick ausgezogen: Mass I (siehe Fig. 14); dick gestrichelt: Mass II; dünn ausgezogen: Mass III. Unten: Veränderung des Gewichtes durch Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit (Legende siehe Fig. 5)

eines Monats bei 20° C und 30 % relativer Luftfeuchtigkeit. Hernach wurden sie entsprechend den Angaben in Figur 14 genau ausgemessen, gewogen und in Luft von 20° C und 98–100 % relativer Feuchtigkeit gebracht. Nach weiteren vier Wochen bestimmten wir die Mass- und Gewichtsänderung und trockneten die Gehäuse während 14 Tagen bei 20° C und 20 % relativer Feuchtigkeit aus, worauf wir die Masse und das Gewicht erneut kontrollierten.

In der *Figur 15* sind die Messergebnisse (Mittelwerte) zusammengestellt. Es springt in die Augen, dass die Thermoplaste Nr. 3 (Polystyrol), Nr. 4–6 (Acrylgläser) sowie Nr. 10 (Polycarbonat) weder gegen Feuchtigkeit noch gegen Trockenheit besonders empfindlich sind. Man darf sie demnach als weitgehend formfest in dieser Beziehung bezeichnen. Demgegenüber sind die Duroplaste (Nr. 1 und 2), die Celluloseester (Nr. 7 und 8) sowie das Polyamid (Nr. 9) weniger masshaltig (vgl. Figur 15 oben).

Parallel zur Veränderung der Abmessungen verlaufen die Wasseraufnahme und -abgabe, was in Figur 15 unten gezeigt ist. Hygroskopische Materialien verändern ihre Dimensionen unter dem Einfluss von wechselnder Feuchtigkeit mehr als wasserunempfindliche. Masshaltige Werkstoffe müssen somit unter diesen gesucht werden.

Die Wärmefestigkeit der Gehäuse

Es wurden wiederum je drei neue Gehäuse (von Nr. 10 jedoch nur eines) entsprechend den Angaben in Figur 14 ausgemessen. Hernach brachten wir sie in den Trockenschrank, hielten sie während 16 Tagen bei 50° C, erhöhten anschliessend die Temperatur auf 60° C und steigerten diese am 39. Tage weiter auf 70° C. Nach 46 Tagen brachen wir den Versuch ab. Von Zeit zu Zeit kontrollierten wir die Masse I–IV, wobei wir jeweils bei etwa 20° C nach dem Temperaturausgleich mit der Schublehre massen. Letzte Messung

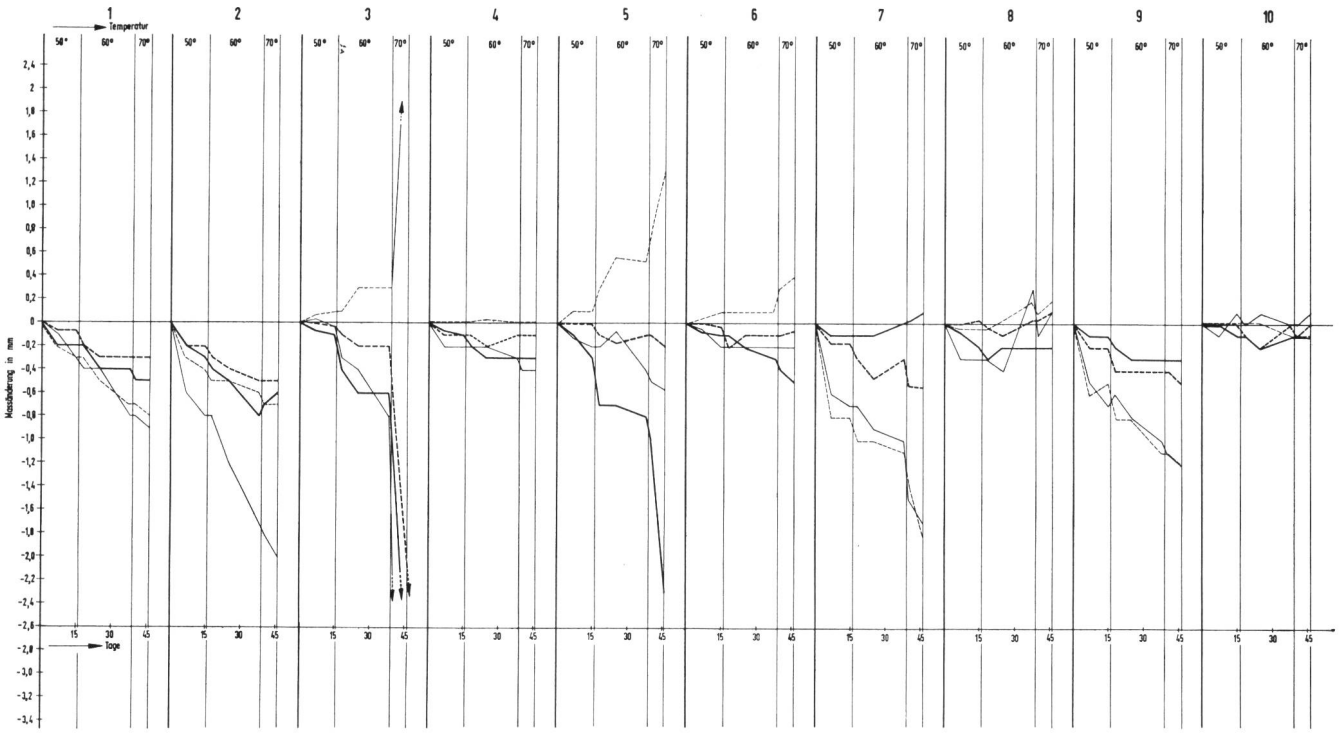

Fig. 16. Temperatureinfluss auf die Masshaltigkeit. Lagerung: 16 Tage bei 50° C, 23 Tage bei 60° C und 7 Tage bei 70° C. Dick ausgezogen: Mass I (siehe Fig. 14); dick gestrichelt: Mass II; dünn ausgezogen: Mass III; dünn gestrichelt: Mass IV; (Legende siehe Fig. 5)

bei 50° nach 15, bei 60° nach 38 und bei 70° nach 46 Tagen. Wir wählten diese Versuchstemperaturen, weil wir mehrfach auf der Oberfläche von Gehäusen, die zur Sommerzeit am Fenster von der Sonne bestrahlt wurden, 60–68°C messen konnten.

Wider Erwarten behalten die Duroplaste ihre Masse nicht bei, wenn sie erwärmt werden, sondern schrumpfen leicht zusammen. Beim Melaminoplast verengt sich das Hauptmass I im Maximum um 0,8 mm, das Mass III sogar um 2 mm (siehe *Figur 16*, wo die Mittelwerte eingetragen sind). Beide Kunststoffe geben bei langanhaltender Trocknung zum Teil irreversibel Wasser ab. Bei den Melaminoplasten kommt darüber hinaus der über einige Monate nach der Herstellung sich erstreckende, ganz irreversible Nachschwund.

Am wenigsten temperaturempfindlich ist der Kunststoff Nr. 10, das Polycarbonat, gefolgt vom Acrylglas D_1 (Nr. 4). Bei jenem beträgt die maximale Schrumpfung der Hauptmasse I und II während der gesamten Versuchsdauer lediglich 0,2 mm, bei diesem 0,3 mm. Es erstaunt nicht, dass der weichere Bruder von Nr. 4, das Acrylglas D_2 (Nr. 5), seines niedrigen Durchschnittspolymerisationsgewichtes und seines Gehaltes an Monomeren wegen, weniger wärmefest ist. Schon bei 60°C fängt es an, sich beträchtlich zu verformen, und bei 70°C sinkt es zusammen. Besonders schwerwiegend ist die starke Abnahme des Masses I (Distanz der Gabelkontaktschlitze). Besser verhält sich wieder das Acrylglas P (Nr. 6) sowie das Celluloseepropionat (Nr. 8). Der andere Celluloseester (Nr. 7) verformt sich mit zunehmender Temperatur merklich und ist etwa dem Polyamid (Nr. 9) gleichzusetzen. Am schlimmsten aber von allen untersuchten Kunststoffen steht es um das Polystyrol (Nr. 3), das bei 60°C zu fliessen beginnt und bei 70° so zusammensackt, dass die Massänderungen ausserhalb der Skala unserer Figur 16 liegen.

Im allgemeinen schrumpfen alle Masse unter dem Temperatureinfluss zusammen. Erwähnenswerte Ausnahmen gibt es nur bei den Kunststoffen Nr. 3, 5 und 6, wo die Breite des Gehäuses (Mass IV, in Figur 16 dünn gestrichelt) auf Kosten der Länge (Mass III, dünn ausgezogen) durch Wärmeeinwirkung grösser geworden ist.

Es fällt auch auf, dass sich die Masse nicht stetig sondern unregelmässig verändern, sie werden sogar in einigen Fällen abwechselnd grösser und dann wieder kleiner. Besonders deutlich zeigen die Gehäuse Nr. 6, 8 und 10 dieses Verhalten.

Da ein Telephonstationsgehäuse die technische Einrichtung für den Empfang und den Abgang von Gesprächen umschliessen muss, und der gesamte Apparat auf kleinstem Raum konstruiert ist, darf die Kunststofform bei den vorkommenden Betriebstemperaturen nicht schrumpfen. Eine merkliche Verminderung des Masses I (s. Figur 14) könnte beispielsweise die Gabelarme einklemmen und dadurch den Betrieb unterbrechen. Auch andere technische Störungen sind denkbar, die als Folge ungenügender Masshaltigkeit des Stationsgehäuses auftreten könnten. Man hat deshalb darauf zu achten, dass für unsern Zweck nur Kunststoffe in die engere Wahl gelangen, die bei den vorkommenden Betriebstemperaturen genügend formbeständig sind.

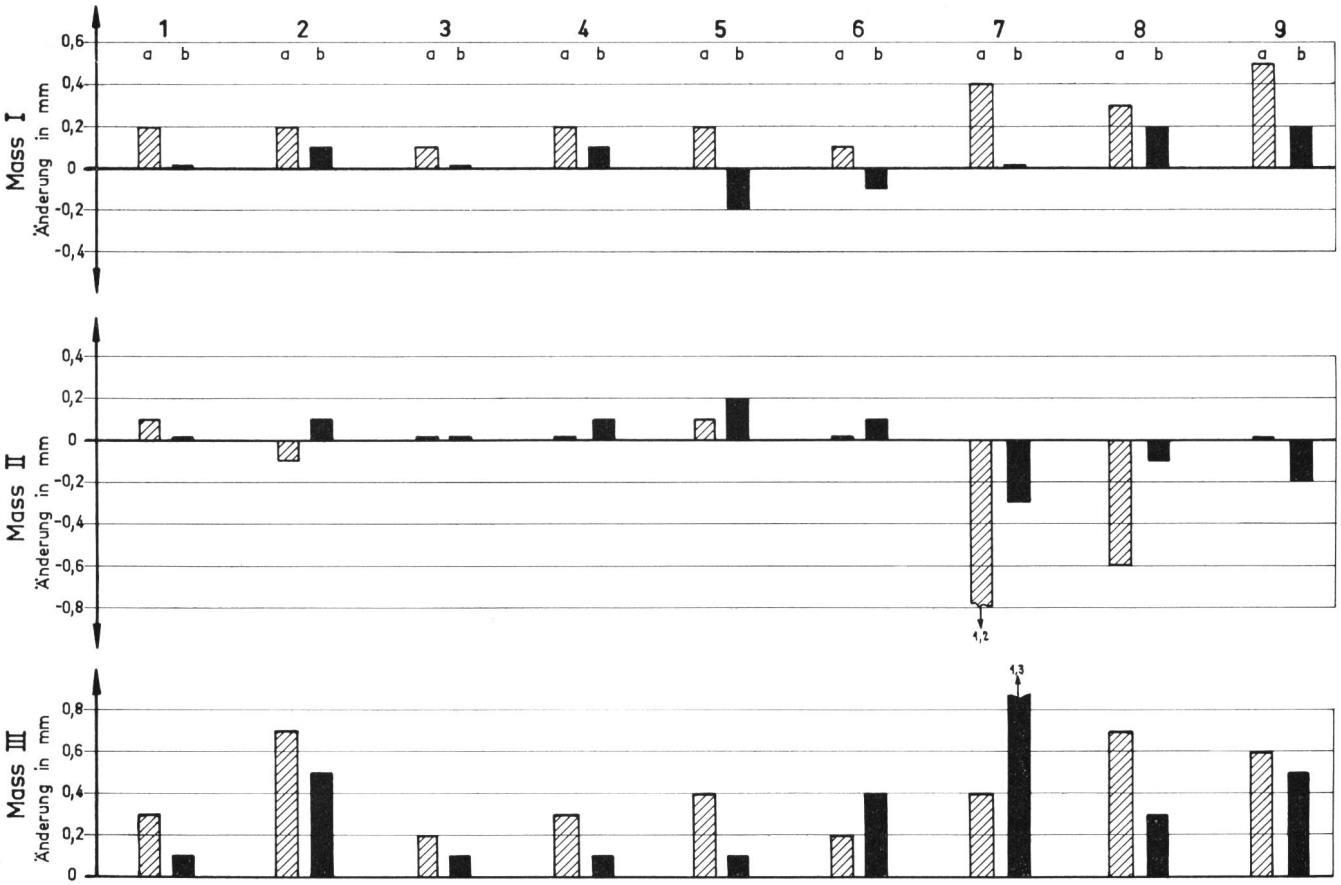

Fig. 17. Massänderung der Gehäuse nach Bewitterung im Freien. a) in Bern, b) auf Jungfraujoch. Mass I bis III siehe Fig. 14 (Legende siehe Fig. 5)

Die Masshaltigkeit in der Kälte und nach anschliessendem Wärmeschock

Wir bestimmten wiederum bei je drei Gehäusen (bei Nr. 10 an einem Gehäuse) die Ausgangsmasse (s. Figur 14) bei 20°C. Dann kühlten wir die Prüflinge auf –10°C ab und lagerten sie während 72 Stunden bei dieser Temperatur. Aus dem Kühlschrank genommen, kontrollierten wir nach dem Temperaturausgleich die Masse mit der Schublehre. Danach wurden die Stationsgehäuse erneut auf –10°C so lange abgekühlt, bis sie durch und durch diese Temperatur angenommen hatten, und jetzt für 24 Stunden in einen Trockenschrank von +50°C gebracht. Nach diesem Wärmeschock massen wir die auf 20°C abgekühlten Prüfkörper aus.

Die Kälte beeinflusste die untersuchten Masse praktisch nicht. Ebenso blieb der Wärmeschock wirkungslos, so dass von dieser Seite her nichts zu befürchten ist.

Die Massänderung der untersuchten Gehäuse während sechsmonatiger Bewitterung in Bern und auf dem Jungfraujoch

Vor den Bewitterungsversuchen in Bern und auf dem Jungfraujoch bestimmten wir an je einem Gehäuse die Ausgangsmasse I–III (leider fehlte uns für diese Untersuchungen ein Polycarbonatgehäuse). Bei Versuchsende wurden die Veränderungen gemessen und die Abweichungen in die *Figur 17* eingetragen, wobei die Säule a für die in Bern, die Säule b für die auf dem Jungfraujoch bewitterte Station gilt.

Wie aus Figur 17 hervorgeht, war die Bewitterung bei den Gehäusen Nr. 1–6 ohne bedeutenden Einfluss auf die wichtigen Masse I und II. Meistens nahmen die überwachten Distanzen etwas zu. Die Zunahme überschritt jedoch den Wert 0,2 mm nicht. Beim Mass III, Länge des Gehäuses, sind die Veränderungen etwas grösser ausgefallen. Das Formstück hat sich vermutlich etwas verzogen. Die Abweichungen dürfen jedoch auch hier mit Ausnahme des Melaminoplastgehäuses als tragbar bezeichnet werden.

Anders steht es jedoch mit den Celluloseestern (Nr. 7 und 8) und dem Polyamid (Nr. 9), wo beachtliche Zu- bzw. Abnahmen der meisten Masse auftraten. Dies hängt wohl mit der grösseren Feuchtigkeitsempfindlichkeit dieser Werkstoffe zusammen.

In den meisten Fällen war die Bewitterung in Bern wirkungsvoller als diejenige auf dem Jungfraujoch.

Der Formschwund

Das aus der Form ausgestossene, noch warme Formstück kühlt sich an der Luft langsam auf die Umgebungstemperatur ab und zieht sich dabei ein wenig zusammen. Die Verminderung der Abmessungen eines Kunststoffstückes während dieses Vorganges, errechnet aus den entsprechenden Werten der kalten Form und des kalten Formstückes, nennt man Formschwund. Er wird in Prozenten ausgedrückt. Um ihn

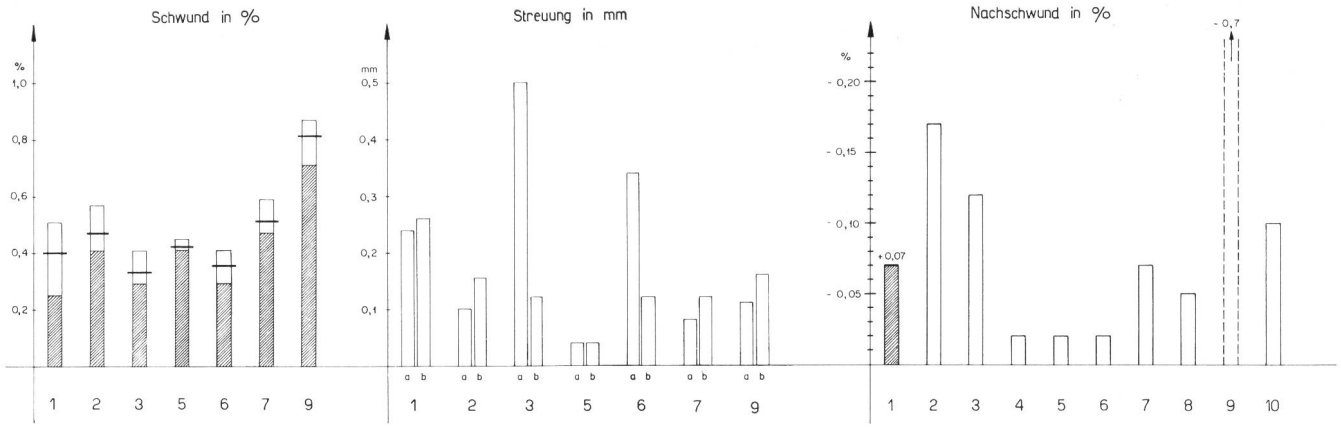

Fig. 18. Formschwund und Nachschwund. Links: Formschwund in %. Querstrich: Mittelwert. Weisses Säulenfeld: Streubereich. Mitte: Streuung der beiden untersuchten Masse in mm. a) Distanz der Gabelkontaktschlitze, b) Stegdistanz auf der Innenseite des Gehäuses. Rechts: Nachschwund in %. Säule 1: die Masse nahmen zu, Säule 9: gilt nur bei trockener Umgebungsluft

zu ermitteln, wählten wir am Gehäuse zwei Distanzen, die nicht der Gefahr eines allfälligen Verzuges ausgesetzt waren. Als solche glaubten wir das Mass I der Figur 14 (Distanz der Gabelkontaktschlitze) und den Abstand der äussersten Festigkeitsstege im Innern des Gehäuses (unten, vorne) ansprechen zu dürfen. Besonders bei diesem Mass erfasst man wohl ausschliesslich den linearen Schwund des Werkstoffes. Von den Acrylgläsern D_1 und D_2 (Nr. 4 und 5) untersuchten wir lediglich das zweite, weil wir in dieser Hinsicht die beiden Produkte einander gleichsetzen durften. Von den Gehäusen Nr. 8 (Celluloseproprionat) und Nr. 10 (Polycarbonat) fehlten uns leider die nötigen Stücke. Bei den übrigen Sorten ermittelten wir an je 10 Gehäusen den Formschwund.

Die Ergebnisse sind in *Figur 18* links veranschaulicht. Der obere weisse Teil jeder Säule gibt den Streubereich, der verlängerte Querstrich den Mittelwert des Formschwundes in Prozenten an. Zum Vergleich führten wir in der *Tabelle 2* die Schwundmasse an, wie sie in den entsprechenden Werkstoffblättern gegeben werden. Diese überdecken, insbesondere bei den Thermoplasten, einen etwas grösseren Bereich, da sie der ganzen Vielfalt möglicher Verarbeitungsbedingungen gerecht werden müssen. Die von uns gemessenen Beträge des Schwundes stimmen mit den Literaturwerten befriedigend überein.

Die Grösse des Formschwundes als solche ist nicht von grosser Bedeutung, weil die Werkzeugmasse entsprechend angepasst werden können. Wichtig dagegen ist die Streubreite des Formschwundes, weil sie bald zu grösseren, bald zu kleineren Abmessungen gegenüber dem Sollmass führt.

Die Streuung kann vielerlei Ursachen haben. Am augenfälligsten sind die Temperaturschwankungen von Werkzeug und Werkstoff. Die Thermoplastgehäuse sind alle unter gleichen Bedingungen in genügend grosser Zahl hergestellt worden, so dass die Unterschiede in der Streuung des Formschwundes in gewissem Sinn eine Werkstoffeigenheit darstellen.

Aus diesem Grund sind für die beiden untersuchten Masse die Differenzen (in mm) zwischen den gemessenen maximalen und minimalen Schwundmassen gebildet und in die *Figur 18* Mitte eingezeichnet. Die Säule a gibt den Streubereich des Formschwundes für die Distanz der Gabelkontaktschlitze, die Säule b für die Stegdistanzen an.

Die schon in der Figur 18 links ersichtliche geringe Streuung des Formschwundes beim Acrylglas D_2 (Nr. 5) sticht bei der mittleren Figur besonders deutlich heraus.

Tabelle 2 **Formschwund bei der Herstellung von Telephongehäusen aus verschiedenen Kunststoffen**

Gehäuse		Schwund in %		
Nr.	Material	gemessener Bereich	Mittelwert	Bereich nach Literaturangaben
1	Phenoplast	0,25 bis 0,51	0,40	0,6 bis 0,8
2	Melaminoplast	0,41 bis 0,57	0,47	0,5(1,3) bis 0,6(1,6)[1]
3	Polystyrol	0,29 bis 0,41	0,33	0,2 bis 0,6
4	Acrylglas D1			
5	Acrylglas D2	0,41 bis 0,45	0,42	0,4 bis 0,8
6	Acrylglas P	0,29 bis 0,41	0,35	0,5 bis 0,9
7	Celluloseacetat	0,47 bis 0,59	0,51	ca. 0,5
8	Celluloseproprionat			
9	Polyamid	0,71 bis 0,87	0,81	0,8 bis 1,2

[1] Bei den Werten in Klammern ist der Nachschwund mit eingerechnet

Die Acrylgläser sind dafür bekannt, dass sie nach dem Spritzvorgang innere Spannungen aufweisen. Man kann diese aber beheben, indem die Formstücke getempert werden. Die durch eine solche Wärmenachbehandlung verursachten Massänderungen liegen innerhalb weniger Hundertstelmillimeter und fallen somit nicht ins Gewicht.

Der Nachschwund

Als Nachschwund bezeichnet man die Abnahme der Abmessungen eines neuen Kunststoff-Formstückes im Laufe der Zeit. Zur Bestimmung des Nachschwundes wurde das eben ausgestossene und auf Zimmertemperatur abgekühlte Versuchsgehäuse gleich wie oben ausgemessen und danach von Zeit zu Zeit unter den gleichen Messbedingungen kontrolliert. Leider standen uns nicht von allen Kunststoffen genügend Gehäuse zur Verfügung, da wir sie für andere Versuche benötigten. Dort, wo wir die Messungen nicht selbst ausführen konnten, zogen wir die Angaben der Literatur oder der Lieferfirmen heran. In der *Tabelle 3* ist der Nachschwund in Prozenten, extrapoliert auf sechs Monate, angegeben. In der mittleren Spalte ist der letzte Messtag angeführt. Die Melaminoplastgehäuse konnten nicht sechs Monate lang beobachtet werden, doch erlaubt uns die praktische Erfahrung, den extrapolierten Werten einige Sicherheit beizumessen. Das gleiche gilt von den meisten Literaturangaben.

Nachschwund in Prozenten während 6 Monaten

Tabelle 3

Gehäuse		letzte Messung nach Tagen	Nachschwund in % extrapoliert auf 6 Monate
Nr.	Material		
1	Phenoplast	171	+0,07[1]
2	Melaminoplast	109	—0,17
3	Polystyrol	nach Literatur	—0,12
4	Acrylglas D1	266	—0,02
5	Acrylglas D2	266	—0,02
6	Acrylglas P	nach Literatur	—0,02
7	Celluloseacetat	276	—0,07
8	Cellulosepropionat	276	—0,05
9	Polyamid	mündliche Mitteilung	ca. —0,7[2]
10	Polycarbonat	nach Literatur	—0,10

[1] + bedeutet, dass die Abmessungen grösser, – dagegen, dass sie kleiner geworden sind. [2] bei trockener Lagerung

In *Figur 18* rechts sind die gefundenen Verhältnisse in der üblichen Säulenform aufgezeichnet. Das Phenoplastgehäuse ist nicht geschrumpft, sondern grösser geworden, deshalb ist die Säule schraffiert und der Wert +0,07% darübergeschrieben. Der Wert für Polyamid (Nr. 9) liegt mit —0,7% ausserhalb unserer Skala. Er ist auch nicht von grosser praktischer Bedeutung, weil er sich nur dann in diesem Ausmass auswirken könnte, wenn das Gehäuse die ganze Zeit über trocken bliebe. Beim Spritzen ist das Polyamid zwar trocken, aber bei der Lagerung in normalem Raumklima nimmt es bis 4% Wasser auf und wächst dabei um 0,5–0,8%, wodurch der Nachschwund wieder mehr oder weniger ausgeglichen wird.

Am günstigsten verhielten sich wiederum die Acrylgläser (Nr. 4–6), deren Nachschwund bei unseren Versuchen —0,02% nicht überstieg.

6. Bestimmung einiger Gehäuseeigenschaften im Hinblick auf den Betrieb

Die bisherigen Untersuchungen gingen im wesentlichen darauf aus, die Materialeigenschaften der Kunststoffe selbst zu kennzeichnen. Dies traf auch dort zu, wo wir die Messungen an Gehäusen ausführten. Die Telephonstationen werden aber im Betrieb noch auf andere Arten beansprucht, die nicht so leicht versuchsmässig zu erfassen sind. Wir hielten deshalb dafür, mit unsern Gehäusen einige Versuche durchzuführen, die solchen betrieblichen Einflüssen besonders Rechnung trugen.

Fallversuche im Rollfass

Es kommt immer wieder vor, dass Tischstationen vom Pult oder vom Tisch stürzen, Mikrotelephone dem Telephonierenden aus der Hand gleiten und zu Boden fallen oder die Apparate mit festen Gegenständen angeschlagen werden. Vielfach kommt es dabei zu Bruchschäden, und es wird notwendig, das Gehäuse oder den Hörer vorzeitig zu ersetzen. Wünschenswert wäre es deshalb, einen Kunststoff zu finden, der gelegentliche Schläge oder Stürze heil zu überstehen vermag. Nun darf man nicht ohne weiteres von der Dehnung oder der Schlagbiegefestigkeit eines Materials auf sein Verhalten im Betrieb schliessen, weil neben den eigentlichen Werkstoffeigenschaften

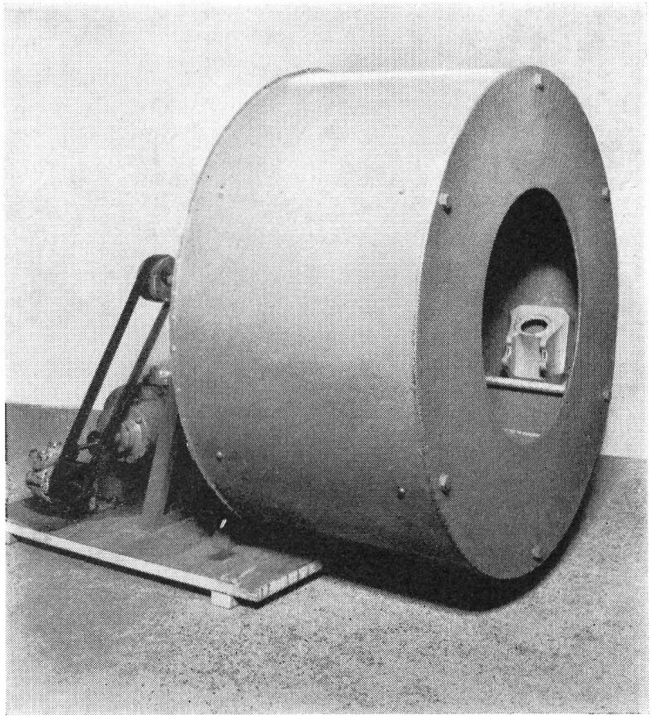

Fig. 19. Rollfass für die Fallversuche

auch noch andere Faktoren die Widerstandsfähigkeit eines Formstückes bestimmen. So spielen die Wandstärke und vor allem die Gestalt des Gehäuses in dieser Hinsicht eine beträchtliche Rolle.

Mit dem Fallversuch im Rollfass sollte abgeklärt werden, in welchem Mass ein Gehäuse harte Schläge aushalten kann. Wir bauten uns für diesen Zweck ein Rollfass, wie es *Figur 19* zeigt. Sein Durchmesser beträgt 100 cm. Auf der Innenseite sind insgesamt sechs Schikanen angebracht, von denen in Figur 19 eine sichtbar ist. In die sich mit einer Tourenzahl von 12 U/min drehende Trommel wurde ein leeres Stationsgehäuse gebracht und während einer halben Stunde darin belassen. Dabei nahmen die Schikanen den Prüfling mit in die Höhe (s. Figur 19), bis er ins «Übergewicht» kam und abstürzte.

Da es jedoch einen Unterschied ausmacht, ob das leere Gehäuse oder die betriebsbereite Telephonstation in die Tiefe fällt, wiederholten wir die eben beschriebenen Versuche, indem wir den 1,5 kg schweren Apparat in die Kunststoffgehäuse einbauten. Allerdings brachen wir diesen Versuch ab, wenn grosse Risse entstanden oder gar Stücke aus dem Kunststoff ausbrachen. Gleichzeitig notierten wir uns die Anzahl Stürze, die der Prüfling bis zu diesem Zeitpunkt durchgemacht hatte.

Einige Schwierigkeiten bereitete uns die Bewertung der Versuchsergebnisse. Da es keine messbaren Grössen zu beurteilen gab, stellten wir eine Bewertungsskala auf, bei der 10 als die beste, 1 als die schlechteste Note festgelegt wurde. Da einer Beurteilung dieser Art stets die Gefahr subjektiver Einflüsse anhaftet, liessen wir das Versuchsmaterial durch vier Personen unabhängig voneinander beurteilen. Als Schlusser-

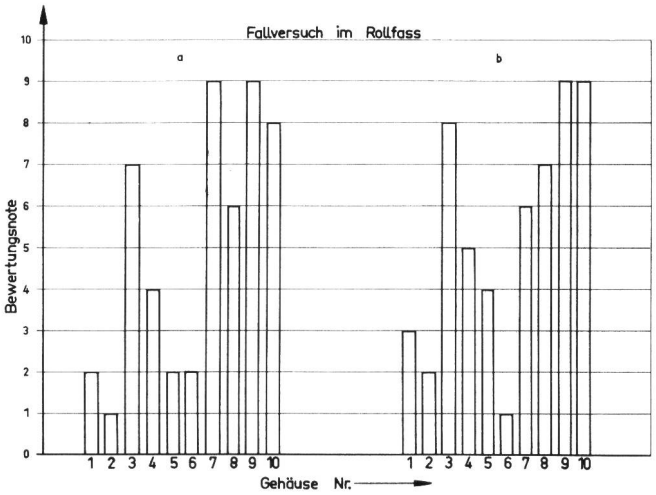

Fig. 20. Fallversuch im Rollfass. a) leere Gehäuse; b) betriebsbereite Station (Legende siehe Fig. 5)

Tabelle 4 **Fallversuche im Rollfass**

Gehäuse		Mit leeren Telephongehäusen während 30 Minuten		Gehäuse mit eingebautem Apparateteil Gewicht = 1,5 kg		
Nr.	Material	Beobachtungen	Note[1]	Sturzzahl	Beobachtungen	Note[1]
1	Phenoplast	Rissbildung, ⅓ des Gehäuses ausgebrochen	2	3 20	Risse entzwei gebrochen	3
2	Melaminoplast	Rissbildung, ½ des Gehäuses ausgebrochen	1	5	entzwei gebrochen	2
3	Polystyrol	Kanten teilweise ausgebrochen	7	40	Unten ist der Rand abgesprengt. Dann Versuch abgebrochen	8
4	Acrylglas D1	Risse, kleine Stücke ausgebrochen	4	10	grosse Risse	5
5	Acrylglas D2	Rissbildung, ⅓ des Gehäuses ausgebrochen	2	10	grosse Risse, Stücke ausgebrochen	4
6	Acrylglas P	Risse, ⅓ des Gehäuses ausgebrochen	2	2	grosse Risse	1
7	Celluloseacetat	schwache Druckstellen auf Höcker und Kanten	9	20	grosser Riss	6
8	Celluloseproponat	ein 6 cm langer Riss	6	40	Unten ist ein Stück ausgebrochen	7
9	Polyamid	schwache Druckstellen auf Höcker und Kanten	9	60[2]	kleine Risse, schwache Druckstellen	9
10	Polycarbonat	starke Druckstellen auf Höcker und Kanten, keine Risse	8	60[2]	keine Risse	9

[1] 10 ist die beste, 1 die schlechteste Note. – [2] nach 60 Stürzen wurde der Versuch abgebrochen

gebnis nahmen wir den Mittelwert, aufgerundet auf die nächste ganze Note. Es darf gesagt werden, dass die vier Bewertungen praktisch gleich lauteten. *Figur 20* und *Tabelle 4* enthalten die Versuchsergebnisse.

Betrachten wir zunächst die Darstellung a in Figur 20: Die leeren Gehäuse der Duroplaste (Nr. 1 und 2) und der Acrylgläser D_2 und P (Nr. 5 und 6) erhielten die geringsten Noten. Nr. 2 (Melaminoplast) wurde während des 30minütigen Aufenthaltes im Rollfass in einzelne Stücke zerschlagen. Nr. 1, 5 und 6 wiesen grosse Risse auf; etwa ein Drittel des Gehäuses war ausgebrochen. Wir konnten diese Proben nur mit der Note 2 bewerten. Die Schwäche der Acrylgläser ist ihre Sprödigkeit. Doch fällt auf, dass das Acrylglas D_1 (Nr. 4) sich weniger brüchig verhält. Während der barbarischen Behandlung im Rollfass brachen lediglich kleine Stücke aus.

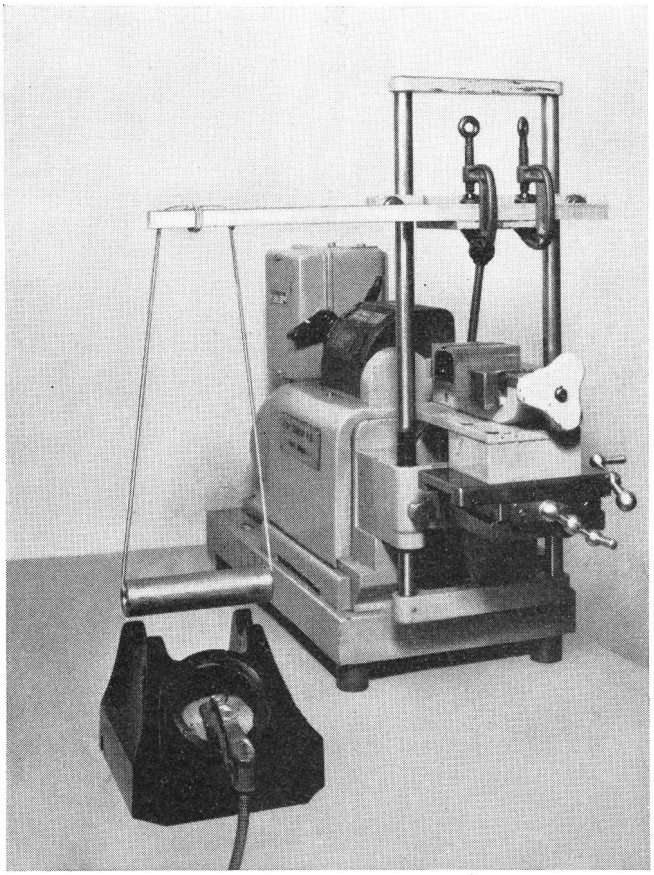

Fig. 21. Apparatur zur Erzeugung periodischer Schläge auf das Telephongehäuse

Bei dem zähen Kunststoff sind die Bruchschäden nur geringfügig oder ganz ausgeblieben. Die Note 10 konnten wir indessen keinem Gehäuse zusprechen, weil alle zähen Materialien Oberflächenverletzungen oder Druckstellen erhielten und zum Teil unansehnlich wurden. Immerhin waren sie bei Versuchsende, wenn nicht mehr schön, so doch funktionsfähig.

Ein ähnliches Bild lieferte der Versuch b. Die spröden Gehäuse verhielten sich hier eher etwas günstiger (Ausnahme Nr. 6). Es scheint, dass die Grundplatte des Telephonapparates dem Gehäuse Halt gibt.

Mikrotelephonaufschläge

Nach einem Telephongespräch muss der Hörer wieder auf den Apparat zurückgelegt werden. Jeder Telephonierende tut dies seinem Temperament und seiner augenblicklichen Stimmung entsprechend, mit einer Geste, die alle Nuancen zwischen sanftem Auflegen und zornigem Hinwerfen annehmen kann. Es schien uns deshalb zweckmässig, den Widerstand der Versuchsgehäuse gegen Mikrotelephonaufschläge in einem Modellversuch zu untersuchen. Zu diesem Zwecke liessen wir einen Messingstab vom etwa 1,5-fachen Gewicht eines Mikrotelephons (500 Gramm) aus 30 mm Höhe auf die Gabelkontaktschlitze fallen. Die Aufschlagfrequenz betrug 60 Schläge/min. Der Versuch wurde nach 50 000 Schlägen abgebrochen.

Die *Figur 21* zeigt die Versuchseinrichtung. Bei der Apparatur handelt es sich um unsere Stöpselmaschine, mit der sonst die Stecker geprüft werden. Leicht umgebaut, konnte sie auch für diese Prüfung benützt werden.

Die *Figur 22* rechts gibt Auskunft über die Versuchsergebnisse. Sie sind wiederum in Bewertungsnoten ausgedrückt. In einem einzigen Fall konnten wir auf einer Seite des Gehäuses einen Sprung beobachten (Nr. 1: Phenoplast). Bei den übrigen war die Anschlagstelle des Ersatzmikrotelephons glänzend (also noch unversehrt) bis matt. Die weichen Kunststoffe Nr. 7 und 8 (Celluloseester) und Nr. 10 (Polycarbonat) wiesen zudem Druckstellen, also Deformationen auf. Am widerstandsfähigsten gegen die Mikrotelephonaufschläge erwies sich Acrylglas D_1 (Nr. 4).

Holzwürfel und Stahlsand

Indem der Telephonierende das Mikrotelephon ergreift oder die Nummernscheibe betätigt, kann es vorkommen, dass er mit den Kanten der Fingernägel die Gehäuseoberfläche kratzend berührt. Auch stösst er vielleicht mit Bleistiften, Linealen oder andern Gegenständen aus Holz oder Metall gegen die Station. Vielleicht streicht er sogar mit den Fingern, an denen harte Staubkörner haften, über den Kunststoff. Um den Einfluss all dieser undefinierbaren Einwirkungen einigermassen abschätzen zu können, liessen wir in einem ersten Versuch Hartholzwürfel mit einer Kantenlänge von 1 cm, in einem zweiten Stahlsand, wie er zum Sandstrahlen benützt wird, auf die Versuchsgehäuse fallen. Die Versuchseinrichtung, eine rotierende Trommel, ist in *Figur 23* gezeigt. Das Gehäuse wurde an einem Stativ befestigt und so in die Trommel geschoben, dass die Holzwürfel beziehungsweise der Stahlsand über eine möglichst grosse Weglänge auf den Prüfling fielen. Der komplizierten Form wegen wurden nicht alle Flächen des Gehäuses gleichmässig beansprucht. Für die Beurteilung zogen wir selbstverständlich nur die exponierten Seiten heran. Der Holzwürfelversuch dauerte jeweils 34 Stunden, derjenige mit Stahlsand dagegen nur eine Stunde. Die Beurteilung der Versuche geht aus Figur 22 links und Mitte hervor. Die Duroplaste (Nr. 1 und 2) und die

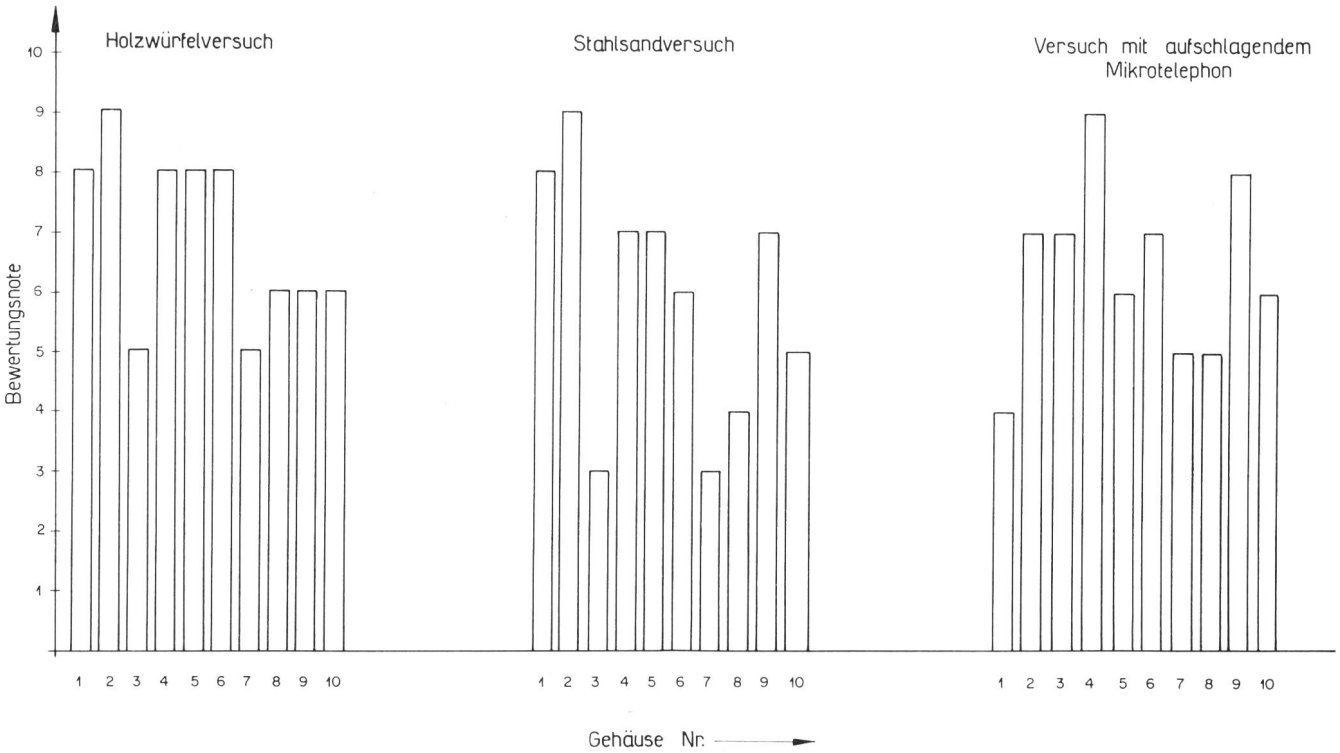

Fig. 22. Auswertung der Versuche mit Holzwürfeln (links), mit Stahlsand (Mitte) und mit aufschlagendem Mikrotelephon (rechts)

Acrylgläser (Nr. 4–6) sind beim Holzwürfelversuch eindeutig im Vorteil gegenüber den weicheren Materialien. Bei der Berieselung mit Stahlsand gesellt sich zu dieser Gruppe noch das Polyamid (Nr. 9). Im allgemeinen greifen die Stahlkörner die Thermoplastoberflächen trotz der kürzeren Versuchsdauer etwas mehr an als die Holzwürfel.

Veränderung des Aussehens durch Bewitterung

An diese Stelle gehört auch die Beurteilung der während sechs Monaten im Freien in Bern und auf dem Jungfraujoch bewitterten Gehäuse. Die klimatischen Verhältnisse während der Exposition wurden bereits weiter oben in der Tabelle 1 bekanntgegeben. Unsere Bewertung umfasste lediglich das Aussehen und den Zustand der Gehäuseoberfläche. Der Befund ist für jeden Kunststoff in der *Tabelle 5* eingetragen, ebenso die dazugehörige Note. Zeichnerisch sind die Bewertungsnoten in der *Figur 24* dargestellt. Die bewitterten Stationsgehäuse wurden wiederum von vier Personen, wie üblich unabhängig voneinander, bewertet. Das Mittel, aufgerundet auf die nächste ganze Zahl, wurde dann in die Tabelle 5 gesetzt. In der Figur 24 fällt deutlich auf, dass die Bewitterung in Bern (Säule a) die Kunststoffoberflächen schärfer angriff als diejenige auf dem Jungfraujoch (Säule b). Die Acrylgläser (Nr. 4–6) und der Melaminoplast (Nr. 2) stehen eindeutig an der Spitze, besonders beim Versuch a, was ins Gewicht fällt. Die Phenoplastoberfläche (Nr. 1) litt trotz der Härte des Materials bedenklich. Dieser Effekt steht jedoch nicht im Widerspruch zur praktischen Erfahrung. Die schlechteste Note mussten wir dem Celluloseacetat (Nr. 7) zusprechen, weil dessen Oberfläche zum Teil aufgesprungen und dadurch völlig unansehnlich geworden war. Leider fehlt das Polycarbonat in dieser Versuchsreihe, weil wir kein solches Stationsgehäuse zur Verfügung hatten. Da aber fast zur gleichen Zeit andere Bewit-

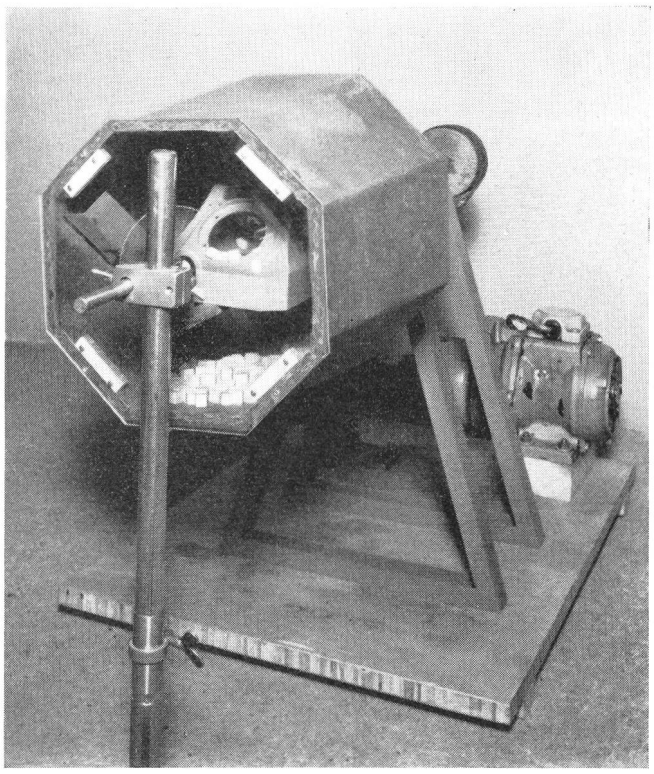

Fig. 23. Rotierende Trommel für die Versuche mit Holzwürfeln und Stahlsand. Trommeldurchmesser: ca. 30 cm, Drehzahl: 12 U/Min

Beurteilung der Oberfläche von Kunststoffen nach sechsmonatiger Bewitterung in Bern und auf dem Jungfraujoch

Tabelle 5

Gehäuse		Nach Bewitterung in Bern		Nach Bewitterung auf dem Jungfraujoch	
Nr.	Material	Oberflächenzustand	Bewertungsnote	Oberflächenzustand	Bewertungsnote
1	Phenoplast	stark matt, stark fleckig	2	stark matt und fleckig	3
2	Melaminoplast	glänzend, leicht fleckig	7	glänzend, ganz leicht fleckig	9
3	Polystyrol	stark matt, stark verfärbt	2	stark matt, leicht fleckig	4
4	Acrylglas D1	glänzend, ganz leicht fleckig	8	glänzend	10
5	Acrylglas D2	glänzend, ganz leicht fleckig	8	glänzend	10
6	Acrylglas P	glänzend, fleckig	7	glänzend, ganz leicht fleckig	9
7	Celluloseacetat	stark matt, verfärbt, Oberfläche z.T. aufgesprungen	1	stark matt, fleckig	3
8	Cellulosepropionat	matt, fleckig, verfärbt	4	glänzend, leicht verfärbt	8
9	Polyamid	stark matt, stark verfärbt	2	leicht matt, verfärbt, fleckig	5

10 ist die beste, 1 die schlechteste Note

terungsversuche in Bern liefen, bei denen Polycarbonat-Formstücke mit dabei waren, besteht doch die Möglichkeit, bei der Schlussbewertung auch diesen Werkstoff einzuordnen.

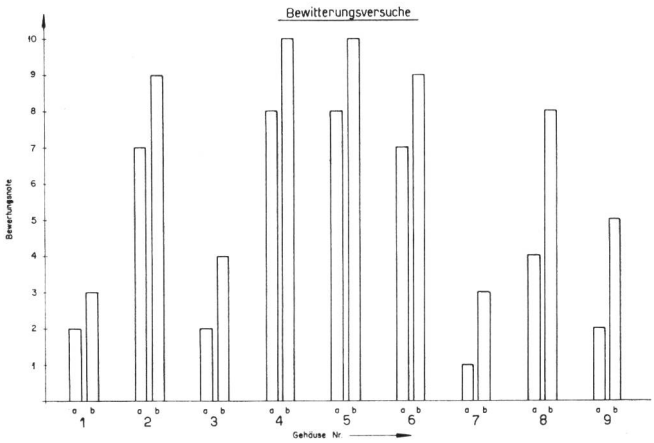

Fig. 24. Beurteilung der bewitterten Gehäuseoberflächen. a) in Bern, b) auf Jungfraujoch (Legende siehe Fig. 5)

Ähnliche Ergebnisse erhielten wir auch bei einer Wechselbeanspruchung. Auf einer runden Scheibe wurden 10 Gehäuse befestigt. Die Scheibe drehte sich in 2½ Stunden einmal um ihre horizontale Achse. Auf etwa einem Drittel des Weges waren die Gehäuse der Strahlung von drei Infrarotlampen ausgesetzt, wodurch die Temperatur im Innern des Werkstoffes auf 50–55°C und an der Oberfläche auf 60–70°C stieg. Das nächste Drittel des Weges führte durch ein Wasserbad von etwa 25°C und das letzte Drittel durch Luft von 20–25°C. Diese Beanspruchung dauerte jeweils von Montagmorgen bis Freitagabend während sechs Monaten. *Figur 25* zeigt die Anordnung. Auf eine Tabelle mit den Ergebnissen kann verzichtet werden, da gegenüber der Tabelle 5 keine neuen Erkenntnisse gewonnen wurden.

Fleckensicherheit

Eine besonders wichtige Forderung, die man an Telephonstationsgehäuse stellen muss, ist die Unempfindlichkeit gegen Chemikalien. Eine fleckig gewordene Station ärgert jeden Telephonabonnenten, gleichgültig ob er an der hässlichen Verfärbung selber schuld ist oder nicht. Er drängt auf vorzeitige Auswechslung des Apparates, was zu Unannehmlichkeiten führen kann. Für die PTT-Verwaltung ist es nämlich nicht wirtschaftlich, Gehäuse, die lediglich fleckig geworden, sonst aber noch funktionstüchtig sind, durch neue zu ersetzen. Welche Stoffe bringt denn der Abonnent meist unbewusst, und sicher unabsichtlich, auf die Kunststoffoberfläche? Je nach dem Ort, wo die Station aufgestellt ist, sind es verschiedene Fleckenbildner. Zu Hause können es etwa Spuren von Handcrème, Seifen, Fetten, Fruchtsäften sein, im Boudoir Lippenstiftfarbe, kosmetische Produkte, im Bureau Tinte, Farbstifte, in der Werkstatt Schmierfette, Öle oder gar Säuren und Laugen. Ein Kunststoffgehäuse sollte all diesen und noch weiteren Chemikalien widerstehen. Wie verhalten sich wohl unsere Werkstoffe? Dies war die Frage, die uns zu folgenden Versuchen drängte:

Wir brachten eine Reihe von Stoffen, von denen wir annahmen, sie könnten als Fleckenbildner in der Praxis in Frage kommen, auf die Oberfläche des zu

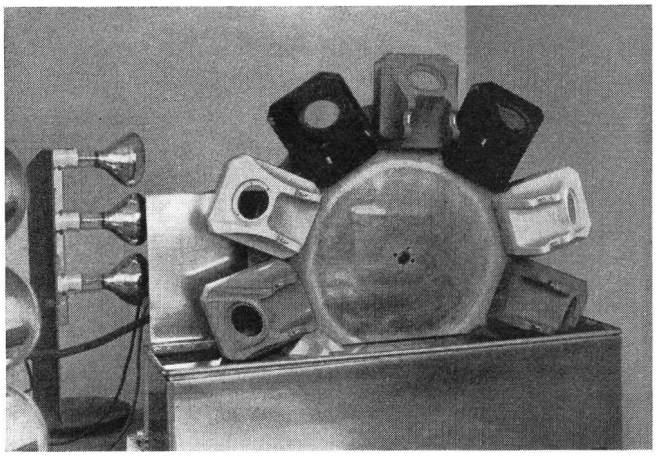

Fig. 25. Einrichtung für die Prüfung durch Wechselbeanspruchung

Tabelle 6 **Angriff von chemischen Reagenzien und brennenden Zigaretten auf verschiedene Kunststoffe**

Nr.	Material	Hand-crème	Kugel-lagerfett	Lippen-stift	Fettstift		Farbstift		Seife	Tinte	Apfel-saft	Zi-tronen-saft	Ma-schinen-öl	H_2SO_4 2 n	Na OH 2 n	Zi-garetten-einbrand
					rot	blau	rot	blau								
1	Phenoplast	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x fleckig	x matt	—
2	Melaminoplast	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x fleckig	—	—
3	Polystyrol	—	—	x	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	xx
4	Acrylglas D1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	xx
5	Acrylglas D2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	xx
6	Acrylglas P	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	xx
7	Celluloseacetat	—	—	x	x	x	x	—	—	—	—	—	—	x fleckig	—	x
8	Cellulose-propionat	—	—	x	xx	x	x	x	—	—	—	—	—	—	—	xx
9	Polyamid	—	—	xxx	—	—	x	—	—	x	—	—	—	x	—	x
10	Polycarbonat	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	x

— = kein Angriff x = schwacher Angriff xx = mittlerer Angriff xxx = starker Angriff

prüfenden Kunststoffes und liessen sie dort während 7 Tagen einwirken. Dann reinigten wir den Prüfling mit einem Lappen und beurteilten die Wirkungen der Agentien.

Aber noch einer anderen Gefahr sind die Telephonstationen ausgesetzt. Raucher achten nämlich, wenn sie sich am Telephon in ein interessantes Gespräch eingelassen haben, nicht besonders auf die Bewegungen ihrer freien Hand. Indem sie mit dieser ihre lebhaften Äusserungen bekräftigen, stossen sie gelegentlich gegen das Stationsgehäuse, und die zwischen die Finger geklemmte brennende Zigarette drückt mit der Glut gegen den Kunststoff. Ein Versuch sollte die Grösse dieser Gefahr abklären. Wir pressten eine brennende Zigarette mit leichtem Druck auf den Kunststoff und liessen die glühende Stelle während 10 Sekunden auf die Plastikoberfläche einwirken.

Die Ergebnisse der oben beschriebenen Versuche finden sich in der *Tabelle 6* zusammengestellt. Die Acrylgläser (Nr. 4–6) und das Polycarbonat (Nr. 10) widerstanden sämtlichen chemischen Angriffen. Am empfindlichsten erwiesen sich die Celluloseester (Nr. 7 und 8) sowie das Polyamid (Nr. 9). Von den untersuchten Agentien dagegen scheinen der Lippenstift, der fünf, und die verdünnte Schwefelsäure, die vier Kunststoffe zu verfärben vermochte, am gefährlichsten zu sein.

In der Tabelle 6 sind die Versuche mit künstlichem Handschweiss (nach *Otto Mecheels*, Verlag Springer, Berlin 1940) nicht angeführt, weil kein einziger Kunststoff gegen ihn empfindlich war.

Gegen die Zigarettenglut waren lediglich die Duroplaste (Nr. 1 und 2) gefeit. Es liegt in der Natur der Thermoplaste, dass sie in der Wärme erweichen und sich verformen. Immerhin blieben die Einbrandstellen örtlich beschränkt und hatten im schlimmsten Falle einen der Glutkugel entsprechenden Durchmesser. Sonstige Verformungen traten nicht auf, so dass das Gehäuse funktionsfähig blieb. Wir sind uns bewusst, dass die Einwirkungsdauer von 10 Sekunden in der Praxis nicht vorkommt, denn die Zigarette wird sofort zurückgezogen, wenn ein Widerstand spürbar wird. Die Glut dürfte in der Regel weniger als eine Sekunde lang den Kunststoff berühren. Demnach wird der Schaden noch geringer sein als in unserer Versuchsreihe.

Aufladung und Verstaubung

Die Schweizer Hausfrauen sind für ihre Reinlichkeit bekannt. Sie führen den Staublappen gewissenhaft bis in die hinterste Ecke ihrer Wohnung und übergehen auch den Telephonapparat nicht. Indem sie den Wollappen über gewisse Kunststoffe führen, laden sich diese elektrostatisch auf, so dass der Staub erst recht angezogen wird. Erneute Reinigung mit dem Staublappen verschlimmert die Lage nur noch mehr. Wir untersuchten dieses Problem in der folgenden Weise:

Proben unserer Versuchskunststoffe wurden unter gleichen äusseren Bedingungen (22°C und 35% rel. Feuchtigkeit) elektrostatisch aufgeladen. Dies geschah, indem der Experimentator zehnmal mit einem Wollappen, diesen leicht aufdrückend, über die Oberfläche des Prüflings strich. Mit einem extrem hochohmigen Voltmeter (Eingangswiderstand 10^{12} Ω) bestimmten wir indirekt die Grösse der Ladung auf dem Kunststoff, indem wir die durch sie induzierte Spannung auf einer 8 cm entfernten Elektrode massen. Zudem verfolgten wir die Verringerung dieser Spannung mit der Zeit, was einen Hinweis für die Entladungsgeschwindigkeit des Prüflings gab. Aus *Figur 26* ersieht man, dass die induzierte Spannung, also ein Mass für die elektrostatische Aufladung, bei den Thermoplasten mit Ausnahme von Nr. 9 (Polyamid) sehr hohe Werte von über 800 Volt annimmt, während die Duroplaste bei der gleichen Behandlung kaum 5 Volt erzeugen. Um alle Werte auf ein Kurvenblatt zu bringen, mussten wir den logarithmischen Massstab wählen. Da wir es bei den Thermoplasten (Aus-

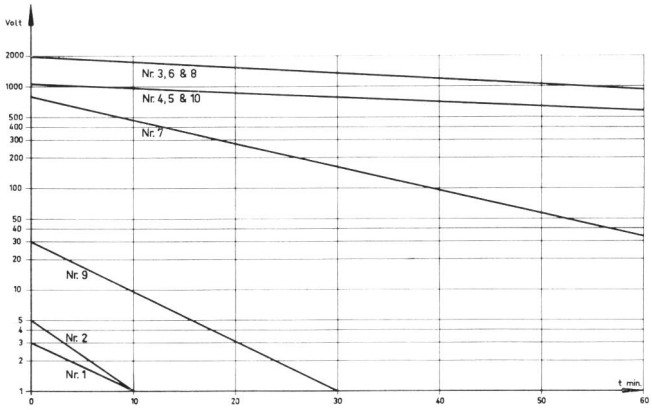

Fig. 26. Entladungskurven von elektrostatisch aufgeladenen Kunststoffen

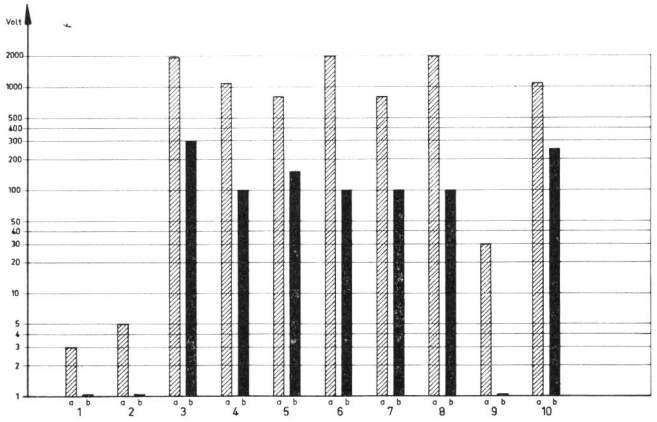

Fig. 27. Elektrostatischer Aufladungsversuch. a) mit Wollappen, b) mit Antistatic-Tuch

nahme Nr. 9) mit sehr guten elektrischen Isolierstoffen zu tun haben, sind ihre Entladungsgeschwindigkeiten klein, was in Figur 26 dadurch zum Ausdruck kommt, dass die Anfangsspannung im Verlauf von 60 Minuten nur langsam absinkt. Am raschesten fällt sie noch beim Celluloseacetat (Nr. 7) ab, weil es etwas hygroskopisch ist. Das Polyamid, das viel Wasser aufnehmen kann, ist bedeutend leitender, so dass es sich nicht stark auflädt und die Ladung auch wieder rasch verliert. Am günstigsten verhalten sich von diesem Gesichtspunkte aus die Duroplaste (Nr. 1 und 2), bei denen die kleine Ladung schon nach 10 Minuten wieder vollständig verschwindet.

Im Handel sind Tücher erhältlich, die die elektrostatische Aufladung von Thermoplasten zwar nicht verhüten, aber sie doch reduzieren. In der *Figur 27* ist die aufladende Wirkung eines Wollappens auf die Versuchskunststoffe mit der schwächeren eines Antistatiktuches verglichen. Die Aufladung wurde wieder nach der oben angegebenen Vorschrift erzeugt. Die schraffierten Säulen geben die induzierte Spannung beim Wollappen-, die schwarzen beim Antistatiktuchversuch wieder. Man sieht, dass die schwarzen Säulen wesentlich kleiner sind. Bei der Beurteilung des Grössenunterschiedes der Säulen dürfen wir nicht übersehen, dass die Spannungen im logarithmischen Massstab aufgetragen sind.

Mit einem praktischen Versuch wollten wir abklären, ob die Grösse der elektrostatischen Aufladung der Thermoplaste tatsächlich ihre Verstaubung so massgebend fördere. Wir luden unsere Kunststoffgehäuse in der bekannten Weise mit einem Wollappen auf und stellten die so behandelten Prüflinge in einen staubigen Raum, in dem leere Postsäcke ausgeklopft wurden. Die Befunde sind in der *Tabelle 7* festgehalten. Nach zwei Stunden Exposition waren die sich stark aufladenden Thermoplaste (Ausnahme Nr. 9) deutlich staubiger als die Duroplaste und das Polyamid. Auch unterschied sich der abgelagerte Staub, der bei den Duroplasten grobkörnig, bei den Thermoplasten dagegen mehrheitlich feinkörnig war. Es scheint, dass der feinkörnige Staub durch elektrische Anziehung auf das Gehäuse gelangte, da ohne diesen Effekt die sehr kleinen Teilchen in der Schwebe geblieben wären. Nach vier Stunden war aber der Unterschied ausgeglichen. Alle Prüflinge wiesen den gleichen Verstaubungsgrad auf. Der Staub bestand zur Hauptsache aus gröberen Teilchen, die durch Sedimentation auf den Kunststoff gelangten.

Die elektrostatische Aufladung spielte somit nur in den ersten zwei Stunden für die Verstaubung eine Rolle, also in solchen Fällen im Betrieb, wo nur wenig und sehr feiner Staub vorhanden ist.

Tabelle 7 **Staubablagerung auf Telephongehäusen aus verschiedenen Kunststoffen in staubigem Raum**

Gehäuse		Verstaubungsgrad					
		nach 2 h			nach 4 h		
Nr.	Material	wenig	mittel	stark	wenig	mittel	stark
1	Phenoplast	+					+
2	Melaminoplast	+					+
3	Polystyrol		+				+
4	Acrylglas D1		+				+
5	Acrylglas D2		+				+
6	Acrylglas P		+				+
7	Celluloseacetat		+				+
8	Celluloseproponat		+				+
9	Polyamid	+					+
10	Polycarbonat		+				+

Lichtechtheit

Der gebräuchlichen schwarzen Telephonstation wirft man immer wieder vor, sie werde bei intensiver Lichteinwirkung im Laufe der Jahre fleckig, bleiche an den durch direkte Sonnenbestrahlung getroffenen Stellen aus, sie sei also nicht lichtecht. Auf ein ästhetisch empfindendes Auge wirke dies umso unangenehmer, als die Gehäuse, vorzugsweise auf der belichteten Seite, nicht nur heller würden, sondern sich auch unangenehm gelbstichig verfärbten. Es wurde deshalb öfters die begründete Forderung laut, der Kunststoff eines Telephonapparates müsse lichtecht sein.

Wir benützten die im Atlas-Weatherometer während 300 Stunden gealterten und die in Bern während sechs Monaten mit 1287 Sonnenstunden bewitterten Prüfstäbe zur Beurteilung der Lichtechtheit. Wir verglichen sie mit entsprechenden neuen Stäben und drückten das Ergebnis in Bewertungsnoten aus. Für die Prüfung unter der Quarzlampe deckten wir die Prüflinge zur Hälfte mit einer Stanniolfolie ab, so dass wir den Unterschied zwischen belichteter und unbelichteter Oberfläche am gleichen Versuchsstück beobachten und abschätzen konnten. Die erteilten Bewertungsnoten sind in *Figur 28* zusammengestellt.

Die Verfärbung einer Plastikoberfläche kann in doppelter Weise geschehen, indem entweder der Kunststoff selbst oder der zugesetzte Farbstoff unter dem Einfluss des Lichtes die Farbe verändert. Um absolut vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, müsste man jeden Kunststoff mit der gleichen Farbe einfärben. Leider war uns dies nicht möglich, weil wir jede Masse bereits spritz- beziehungsweise pressfertig angeliefert bekamen. Unsere Lichtechtheitsprüfungen geben aber trotzdem wertvolle Hinweise, die sich übrigens auch mit unserer, teilweise an ungefärbten Werkstoffen gesammelten Erfahrung weitgehend decken.

Die Figur 28 zeigt, dass sich die Ergebnisse aus dem Atlas-Weatherometer- und dem Bewitterungsversuch in Bern ähnlich sind. Die beiden Acrylgläser D_1 und D_2 (Nr. 4 und 5) führen in diesem Rennen eindeutig. Sie blieben während beider Versuche absolut lichtecht. Bei allen andern Prüflingen waren Farbunterschiede zwischen den belichteten und den vor Licht geschützten Oberflächen in verschiedenen Graden festzustellen.

Es ist allgemein bekannt und auch durch unsere vielfältigen Erfahrungen bestätigt, dass Lichtechtheitsprüfungen mit der Quarzlampe Prüfresultate geben, die stark von den Ergebnissen am Tageslicht abweichen können. Es ist dies vor allem dem grossen Unterschied im Gehalt an kurzwelliger ultravioletter Strahlung zuzuschreiben, die photochemische Reaktionen auslöst, die dem sichtbaren Licht aus energetischen Gründen nicht möglich sind. Überdies liegen die Absorptionsmaxima für die einen Kunststoffe gerade bei den kurzen Wellenlängen der UV-Strahlung (z.B. bei Polystyrol), während andere dort wenig absorbieren. Wenn wir den Versuch unter der Quarzlampe trotzdem durchführten, so geschah es zu Vergleichszwecken. Auffallend ist, dass der Phenoplast (Nr. 1) hier am beständigsten bleibt, während er doch bei den andern Prüfungen stark litt. Offenbar zeigt er in diesem Gebiet geringere Strahlenabsorption, oder er

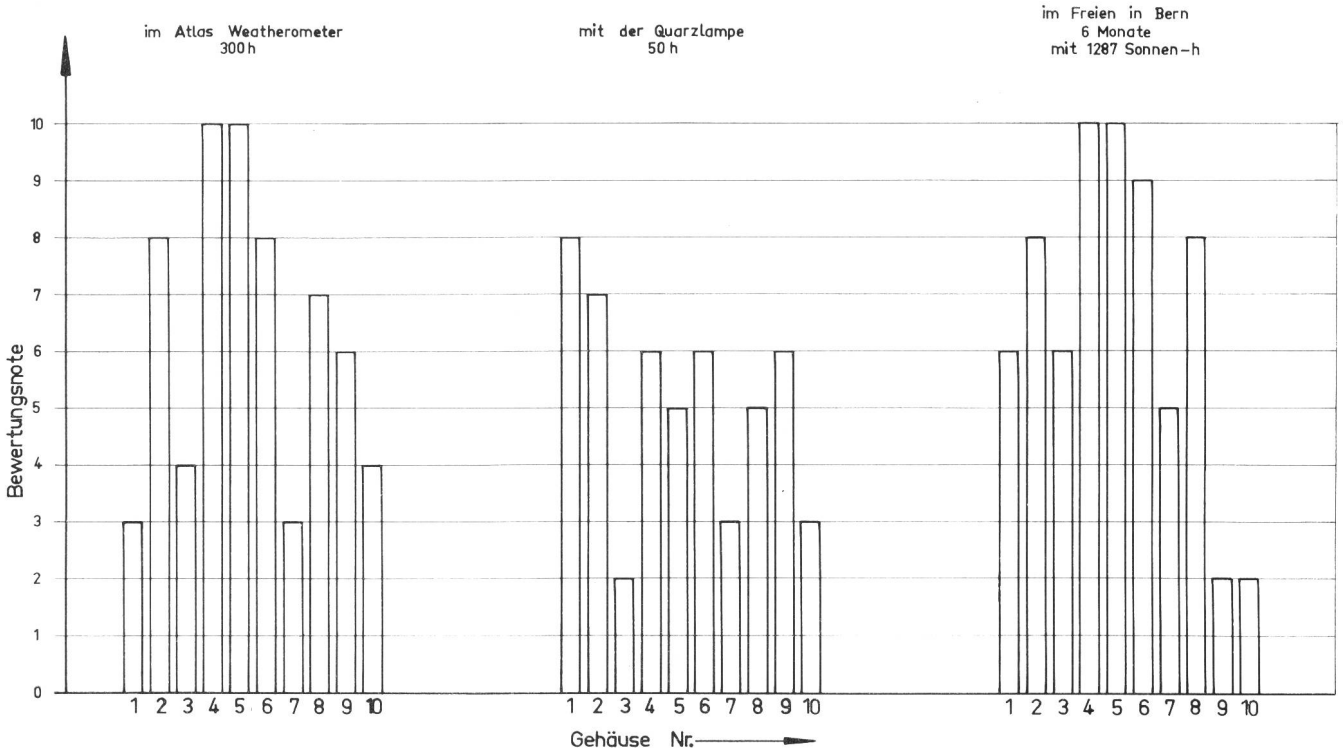

Fig. 28. Beurteilung der Lichtechtheit. Links: im Atlas-Weatherometer belichtet; Mitte: unter der Quarzlampe belichtet; rechts: im Freien in Bern bewittert

wird durch die Farbstoffe abgeschirmt. Die Kunststoffe Nr. 2–8 waren unter der Quarzlampe weniger lichtecht als im künstlichen Licht des Atlasgerätes und bei der Bewitterung. Bei den beiden restlichen Materialien ist die erhaltene «Quarzlampennote» entweder gleich der «Atlasnote» und grösser als die «Bewitterungsnote» (Nr. 9, Polyamid) oder sie liegt zwischen den beiden andern Noten (Nr. 10, Polycarbonat). Es überrascht, dass sich das Polycarbonat bei allen drei Prüfungen ungünstig verhielt, das heisst sich stark verfärbte. Es muss noch darauf hingewiesen werden, dass die Acrylgläser D_1 und P (Nr. 4 und 6) zusammen mit dem Polyamid (Nr. 9) auch im Quarzlicht zu den widerstandsfähigsten Thermoplasten gehören.

7. Auswertung

Es galt nun, die vielfältigen Versuchsdaten auszuwerten, sie sinnvoll so zu verarbeiten, dass aus dem Schlussergebnis eine Rangliste der geprüften Kunststoffe im Sinne abnehmender Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck hervorgehe, und man mit einiger Sicherheit die richtige Wahl treffen könne. Diese Aufgabe erwies sich bald als eine harte Knacknuss, denn erwartungsgemäss vereinigte kein Kunststoff alle erwünschten Eigenschaften in höchster Gütestufe auf sich. Seine Konkurrenten verhielten sich in manchen Beziehungen vorteilhafter, in andern dagegen ungünstiger, so dass wir auf die Suche nach dem günstigsten Kompromiss gehen mussten.

Es war von vorneherein klar, dass von den zahlreichen Versuchsdaten nicht alle gleich gewichtig zählten. Hier trat uns sogleich eine zweite Schwierigkeit entgegen, denn das «Gewicht» liess sich nicht nach einem objektiven Maßstabe zuteilen. Wir mussten somit den Einfluss eines jeden Bewertungsfaktors abwägen und ihn in ein sinnvolles Verhältnis zu den übrigen setzen. Indem wir die einzelnen Versuchsergebnisse im Hinblick auf deren Bedeutung für unsern Betrieb beurteilten, behielten wir aber auch die Forderungen des Herstellers und des Verarbeiters im Auge. Um Fehlschlüsse zu vermeiden und einigermassen sicher zu gehen, zogen wir für die Aufstellung des Bewertungsschemas je einen Vertreter eines Press- und Spritzwerkes und des nachrichtentechnischen Apparatebaues zu.

Wir gingen so vor, dass wir jeder zu beurteilenden Grösse eine Punktzahl zuwiesen, deren Maximum um so höher lag, je gewichtiger wir die geprüfte Eigenschaft einschätzten. Die am wenigsten gewichtigen Eigenschaften erhielten so im Maximum nur 5, die gewichtigsten aber im Maximum 30 Punkte. Sodann mussten wir feststellen, welchem Messwert ein Punkt, welchem zwei, drei usw. und welchem schliesslich die maximale Punktzahl zuzusprechen sei. Es wäre falsch, demjenigen Kunststoff, der bei einer bestimmten Prüfung den besten Wert erzielte, das Maximum zu geben und die übrigen im Verhältnis ihres ungünstigeren Wertes mit einer entsprechend geringeren Note zu kennzeichnen. Die maximale Punktzahl richteten wir in erster Linie nach den Erfordernissen des Betriebes. Es ist nämlich durchaus denkbar, dass die höchste Punktzahl schon für kleine Messwerte erteilt wird, und einige Kunststoffe ein viel günstigeres Resultat erreichen. Dies würde bedeuten, dass sie bezüglich der untersuchten Eigenschaft weitaus genügen, ja fast zu gut sind. Auch das Umgekehrte kann eintreten. Es ist möglich, dass keinem einzigen Kunststoff für eine gewisse Eigenschaft das Maximum zugesprochen werden kann, das heisst kein einziger voll zu befriedigen vermag.

Wir müssen noch auf eine Besonderheit hinweisen: Es war nämlich nicht immer zweckmässig, den Verteiler linear festzulegen. Dort, wo sich schon kleine Änderungen stark auswirkten, wählten wir die Skala eng, dort wo es nicht mehr so sehr auf die Grösse des gemessenen Wertes ankam, dagegen weiter. Die Bewertungsskala für den Elastizitätsmodul (siehe weiter unten) mag als Beispiel dafür gelten.

Sämtliche gewonnenen Versuchsresultate wurden in die Bewertung einbezogen. Wir teilten sie in die gleichen Gruppen ein wie oben, deren erste die mechanischen Festigkeiten des neuwertigen Materials umfasst. Die zweite enthält die Versuchsdaten, die die Masshaltigkeit betreffen, in der dritten sind die Gehäuseeigenschaften, die im Hinblick auf die Betriebsbeanspruchungen untersucht wurden, zusammengestellt, und die letzte bezieht sich auf die Alterungsneigung der Kunststoffe.

Wir teilen die nach reiflicher Überlegung festgelegten Bewertungsskalen mit und begründen sie kurz.

7.1. Gruppe I: Mechanische Eigenschaften der neuwertigen Kunststoffe

Zerreissfestigkeit

Die Zerreissfestigkeit spielt für unsern Zweck nicht mehr eine so bedeutende Rolle, wenn sie einen Minimalwert von 3 kg/mm² erreicht hat. Wir bewerteten sie deshalb mit maximal 5 Punkten. Die Skala heisst:

< 3 kg/mm²	1 Punkt
3–4 kg/mm²	2 Punkte
4–5 kg/mm²	3 Punkte
5–6 kg/mm²	4 Punkte
> 6 kg/mm²	5 Punkte

Mit diesem Maßstab beurteilten wir die in der Figur 5 dargestellten Mittelwerte der gepressten und einseitig gespritzten Prüfstäbe. Die jedem Kunststoff zugeteilten Punkte sind in der *Tabelle 8* bei der *Ziffer 1* aufgeführt.

Dehnung

Der elastischen Dehnung muss man mehr Gewicht zugestehen als der Zerreissfestigkeit, da die Telephonstationsgehäuse doch gewissen Spannungen und Drükken von aussen her ausgesetzt werden können. Es wäre erwünscht, wenn sie sich unter solchen Einflüssen lediglich reversibel deformierten. Eine plastische Deformation würde bleibende Schäden erzeugen. Der plastische Anteil der Dehnung ist somit

Tabelle 8 **Bewertung der untersuchten Kunststoffe auf Grund ihrer Eigenschaften**

Gruppe	Nr.	Eigenschaften	Maximale Punktzahl	Bewertungspunkte									
				Phenoplast	Melaminoplast	Polystyrol	Acrylglas D 1	Acrylglas D 2	Acrylglas P	Celluloseacetat	Cellulosepropionat	Polyamid	Polycarbonat
I Mechanische Eigenschaften der Kunststoffe	1	Zerreissfestigkeit	5	2	4	1	5	5	4	2	2	4	5
	2	Dehnung	10	1	1	2	9	10	7	10	10	10	10
	3	Biegefestigkeit	5	5	5	2	5	4	5	2	2	2	4
	4	Schlagbiegefestigkeit	10	1	3	7	3	3	3	10	10	10	10
	5	Elastizitätsmodul	5	4	5	3	3	3	3	2	1	1	3
	6	Ritzhärte	10	8	10	1	6	6	7	2	4	1	1
II Masshaltigkeit der Gehäuse	7	Feuchtigkeitsbeständigkeit	20	16	16	20	16	16	16	4	8	4	20
	8	Wärmebeständigkeit	30	26	14	0	30	0	28	24	30	26	30
	9	Formschwundschwankung	10	1	4	6	10	10	6	6	6*	4	8*
	10	Nachschwund	10	7	4	5	9	9	9	7	8	6*	5
III Gehäuseeigenschaften im Hinblick auf den Betrieb	11	Fallprobe im Rollfass	10	3	2	8	5	3	2	8	7	9	9
	12	Mikrotelaufschläge	10	4	7	7	9	6	7	5	5	8	6
	13	Holzwürfel und Stahlsand	10	8	9	4	8	8	7	4	5	7	6
	14	Fleckensicherheit	20	14	14	14	17	17	17	4	0	1	19
	15	Aufladung und Verstaubung	10	10	10	1	3	3	1	5	1	8	3
	16	Lichtechtheit	20	12	16	9	18	18	16	8	14	8	6
	17	Farbgebungsmöglichkeit	5	1	4	2	5	5	5	2	2	4	4
IV Einfluss der Alterung	18	Veränderung der mech. Eigenschaften	30	27	24	3	27	24	21	12	12	9	9
	19	Veränderung der Abmessungen	10	8	7	10	7	6	8	1	4	5	8*
	20	Veränderung des Aussehens	20	5	16	6	18	18	16	4	12	7	6
		Punktetotal	260	163	175	111	213	174	188	122	143	134	172
* geschätzt		Rang		6.	3.	10.	1.	4.	2.	9.	7.	8.	5.

für uns nicht von Interesse, so dass wir nur den elastischen in die Bewertung einbezogen. Wiederum beurteilten wir nur die gepressten und einseitig eingespritzten Prüfstäbe. Zur Diskussion standen die in Figur 5 bekanntgegebenen Mittelwerte.

Der elastischen Dehnung glaubten wir 10 Punkte als Höchstwert zuschreiben und diese, wie folgt, auf die nachstehende Skala verteilen zu können:

< 2%	1 Punkt
2–2,5%	3 Punkte
2,5–3 %	5 Punkte
3–4 %	7 Punkte
4–5 %	9 Punkte
> 5%	10 Punkte

Unter *Ziffer 2* in der *Tabelle 8* sind die nach diesem Maßstab gefundenen Noten für die elastische Dehnung der geprüften Kunststoffe eingetragen.

Biegefestigkeit

Die Bedeutung der Biegefestigkeit entspricht für unsern Anwendungszweck jener der Zerreissfestigkeit. Es genügt hier ebenfalls ein Maximalwert von 5 Punkten. Beurteilt wurden lediglich die in der Figur 10 aufgeführten Biegefestigkeiten bei der Elastizitätsgrenze. Die plastische Deformation liessen wir auch hier unberücksichtigt, da bleibende Verformungen des Gehäuses verhütet werden müssen. Als Maßstab diente uns folgende Skala:

< 4 kg/mm²	1 Punkt
4– 6 kg/mm²	2 Punkte
6– 8 kg/mm²	3 Punkte
8–10 kg/mm²	4 Punkte
> 10 kg/mm²	5 Punkte

Die damit gefundenen Bewertungspunkte sind der *Tabelle 8, Ziffer 3* zu entnehmen.

Schlagbiegefestigkeit

Eine wichtige Grösse ist die Schlagbiegefestigkeit. Sie deutet an, in welchem Masse ein Werkstoff spröde oder zähe ist. Liegt ihr Wert tief, so bricht der Kunststoff leicht bei schlagartiger Beanspruchung, ist er dagegen gross, so schwindet zwar diese Gefahr, aber dafür ist die Oberfläche des weichen Materials nicht widerstandsfähig. Sie wird durch einen harten Schlag

eingedrückt, d.h. es entsteht so etwas wie eine negative Beule, und sie verliert an der getroffenen Stelle den Glanz. Weder zu tiefe noch zu hohe Werte der Schlagbiegefestigkeit oder, was das gleiche bedeutet, weder zu spröde noch zu weiche, zähe Kunststoffe sind in unserem Falle für die Praxis am günstigsten. Als besonders wichtig muss erwähnt werden, dass die Schlagbiegefestigkeit während des Betriebs nicht abnehmen darf. Doch dies wird weiter unten berücksichtigt, da hier nur die Werte des neuen Materials herangezogen werden. Aus diesem Grunde betrachteten wir das Maximum für die erwähnte wichtige Eigenschaft mit 10 Punkten als genügend hoch festgesetzt. Ausgehend vom ermittelten Zentralwert (siehe Fig. 11) einigten wir uns auf folgende Skala:

< 1 kg/mm²	1 Punkt
1– 2 kg/mm²	3 Punkte
2– 3 kg/mm²	5 Punkte
3– 5 kg/mm²	7 Punkte
5–10 kg/mm²	9 Punkte
> 10 kg/mm²	10 Punkte

Die entsprechenden Bewertungsnoten sind unter *Ziffer 4* in der *Tabelle 8* zusammengestellt.

Elastizitätsmodul

Mit Rücksicht darauf, dass die elastischen Eigenschaften indirekt schon bei der Dehnung und der Biegefestigkeit, wo wir nur die elastischen Verformungen betrachteten, bewertet wurden, setzten wir für den Elastizitätsmodul lediglich 5 Punkte im Maximum aus. Die Skala lautet:

< 200 kg/mm²	1 Punkt
200– 300 kg/mm²	2 Punkte
300– 600 kg/mm²	3 Punkte
600–1000 kg/mm²	4 Punkte
> 1000 kg/mm²	5 Punkte

Auf Grund der Figur 12 ergaben sich die Noten der *Ziffer 5* in der *Tabelle 8*.

Ritzhärte

Für den praktischen Betrieb einer Telephonstation kommt es sehr darauf an, ob sich die Oberfläche des Gehäuses leicht oder schwer anritzen lässt. Durch Kratzen unansehnlich gewordene Kunststoffe verursachen Umtriebe zwischen Abonnent und PTT-Dienststellen, die schon der Konstrukteur durch richtige Werkstoffwahl tunlichst zu verringern hat. Wir wollten diesen Umständen Rechnung tragen, indem wir das Maximum für die Ritzhärte auf 10 Punkte heraufsetzten. Mit Hilfe folgender Skala:

< 500 g	1 Punkt
500– 700 g	2 Punkte
700– 900 g	4 Punkte
900–1200 g	6 Punkte
1200–1500 g	8 Punkte
> 1500 g	10 Punkte

bestimmten wir nach der Figur 13 die unter *Ziffer 6* in die *Tabelle 8* geschriebenen Punktzahlen.

7.2. Gruppe II: Masshaltigkeit der Gehäuse

Feuchtigkeitsbeständigkeit

Die Telephonstationsgehäuse sind im Betrieb schwankender Luftfeuchtigkeit ausgesetzt. Abgesehen von den täglichen Schwankungen kann sie zur Winterszeit in der geheizten Stube auf 20% absinken und an schwülen Sommertagen auf über 80% relative Feuchtigkeit ansteigen. Bei der gedrängten Konstruktion der modernen Apparate und den kleinen Toleranzen dürfen die vorgeschriebenen Masse nicht überschritten werden. Das Kunststoffgehäuse muss trotz dem Feuchtigkeitseinfluss möglichst masshaltig bleiben und darf auch durch Austrocknung nicht kleiner werden. Wir unterstrichen die Bedeutung der Masshaltigkeit bezüglich des Einflusses von Feuchte und Trockenheit durch 20 Punkte für das Maximum. Die Bewertungsskala heisst:

$\leq {}^{1}/_{10}$ mm Abweichung vom Ausgangsmass durch Luft von 100% relativer Feuchtigkeit 20 Punkte; für jeden weiteren $^{1}/_{20}$ mm Abweichung gibt es je 2 Punkte Abzug.

Bewertet wurden lediglich die wichtigeren Masse I und II und die Massverlängerung durch 100% relative Luftfeuchtigkeit. Massgebend war von beiden Werten nur die grössere Abweichung oder, wenn sie gleich waren, lediglich eine von beiden.

Anhand der Figur 15 berechneten wir die Bewertungsnoten der *Tabelle 8, Ziffer 7*.

Wärmebeständigkeit

Der Masshaltigkeit eines Telephonstationsgehäuses in der Wärme massen wir besondere Bedeutung bei. Es geschah nicht allein deshalb, weil wir an besonnten Gehäuseoberflächen bis gegen 70°C messen konnten, sondern weil die Gefahr, dass sich die Form durch Kaltfluss verändere, um so kleiner ist, je wärmebeständigeres Material verwendet wird. 30 Punkte als Maximum erachteten wir für diese Eigenschaft als durchaus angemessen.

Für die Bewertung zogen wir die Änderung der Masse I und II der Figur 16 heran. Überschritt die Abweichung von der Ausgangslänge

bei 50°C	± 0,2 mm
bei 60°C	± 0,3 mm
bei 70°C	± 0,4 mm

nicht, so teilten wir dem geprüften Gehäuse noch das Maximum, 30 Punkte, zu. Für jeden weiteren $^{1}/_{10}$ mm je Messtemperatur gab es 2 Punkte Abzug. In jedem Temperaturbereich wurde nur *ein* Wert beurteilt, nämlich der schlechteste. Die Anzahl der $^{1}/_{10}$ mm Abweichung vom Toleranzmass für jede Temperatur wurde summiert und daraus wurden die Abzugspunkte berechnet. Die *Ziffer 8* der *Tabelle 8* enthält das Ergebnis.

Formschwundschwankung

Die Formschwundschwankung liegt besonders dem Hersteller von Formstücken aus Kunststoff am Herzen. Ist sie klein, was einem kleinen Streubereich des

Formschwundes gleichkommt, so kann er innerhalb enger Toleranzen arbeiten und Formstücke grosser Genauigkeit abliefern. Wir teilten der Formschwundschwankung maximal 10 Punkte zu.

Bewertet wurde die Höhe des weissen Bezirks im oberen Teil der Säulen in der Fig. 18 links und die dasselbe ausdrückende Differenz der Grenzwerte in der Kolonne «gemessener Bereich» der Tabelle 2. Die dazugehörige Skala lautet:

Formschwundschwankung	< 0,05%	10	Punkte
	0,05–0,10%	8	»
	0,10–0,15%	6	»
	0,15–0,20%	4	»
	0,20–0,25%	2	»
	0,25–0,30%	1	Punkt

Die Auswertung findet man in der *Tabelle 8, Ziffer 9.*

Nachschwund

Während die vorhergehende Grösse den Hersteller besonders interessiert, zieht der Nachschwund von Kunststoffen die Aufmerksamkeit des Verbrauchers auf sich. Besitzt ein Material eine ausgesprochene Neigung zum Nachschwund, so entstehen im Formstück mit der Zeit innere Spannungen, die zur Ursache von gefürchteten Rissen werden können. Erlittene Schäden solcher Art bestimmten uns, dem Nachschwund einiges Gewicht beizulegen. Wenn wir der Maximalnote für diese Eigenschaft dennoch lediglich 10 Punkte gaben, so geschah es deshalb, weil es nicht möglich war, den Nachschwund an einer so grossen Zahl von Gehäusen zu messen, dass wir mit statistischen Methoden rechnen konnten. Teilweise waren wir sogar gezwungen, uns auf Literaturangaben zu stützen. Wir teilten den Werten der Fig. 18 rechts beziehungsweise der Tabelle 3 gemäss folgender Skala:

Nachschwund	< 0,02%	10	Punkte
	0,02–0,04%	9	»
	0,04–0,06%	8	»
	0,06–0,08%	7	»
	0,08–0,10%	6	»
	0,10–0,15%	5	»
	0,15–0,20%	4	»
	0,20–0,25%	3	»
	0,25–0,30%	2	»
	> 0,30%	1	Punkt

die unter *Ziffer 10* in der *Tabelle 8* zusammengestellten Punktzahlen zu.

7.3. Gruppe III: Gehäuseeigenschaften im Hinblick auf den Betrieb

Fallprobe im Rollfass

Die Fallprüfung steht in so engem Zusammenhang mit dem Betrieb, dass sie füglich mit 10 Punkten für das Maximum veranschlagt werden darf. Wir zogen die beiden Versuchsergebnisse a (leeres) und b (volles Gehäuse) der Figur 20 und der Tabelle 4 in der Weise zusammen, dass wir die dort jedem Kunststoff zugeteilten Punkte zusammenzählten und die Summe halbierten. Die Formel lautete: $\frac{a+b}{2}$ = Punktzahl für die *Tabelle 8, Ziffer 11.* Nicht ganzzahlige Mittelwerte wurden aufgerundet.

Mikrotelephonaufschläge

Da jedes Telephonstationsgehäuse in der Praxis eine Unzahl von Mikrotelschlägen auszuhalten hat, setzten wir für die Beurteilung der Versuchsergebnisse 10 Punkte als Maximalwert ein und konnten somit die Bewertungsnoten der Figur 22 rechts unverändert für die *Tabelle 8, Ziffer 12,* verwenden.

Holzwürfel und Stahlsand

Auffallende Holzwürfel und Stahlsandkörner nehmen der Gehäuse-Oberfläche den Glanz und rauhen sie auf. Die erhaltenen Versuchsergebnisse deuten an, ob ein Kunststoffgehäuse rasch unansehnlich werde oder nicht. Wir zählten die Bewertungsnoten beider Versuche (Figur 22 links und Mitte) wiederum zusammen und teilten die Summe durch 2, da wir das Maximum für die *Ziffer 13* in der *Tabelle 8* nicht höher als 10 ansetzen wollten. Nicht ganzzahlige Mittelwerte wurden aufgerundet.

Fleckensicherheit

Grosses Gewicht massen wir der Fleckensicherheit mit einem Maximalwert von 20 Punkten bei. Die Gefahr, dass Fleckenbildner auf die Gehäuseoberfläche gelangen und diese verfärben, ist so gross, dass der hohe Wert gerechtfertigt erscheint. Gegen hässliche Flecken oder ungleichmässige Verfärbungen der Station reagiert der Abonnent nämlich besonders empfindlich. Ein fleckiges Gehäuse wird ihn schneller zur Reklamation reizen als ein durch mechanische Einwirkung leicht verkratztes. Die Punktzahl für die *Ziffer 14* der *Tabelle 8* wurde so bestimmt, dass wir für jedes x in der Tabelle 6 (ausgenommen letzte Kolonne) 3 Punkte vom Maximalwert abzogen. Vom Endresultat wurden für den Zigaretteneinbrand zusätzlich 1 Punkt bei x, drei Punkte bei xx abgestrichen.

Aufladung und Verstaubung

Gewisse Thermoplaste, die sich zugleich als gute elektrische Isolierstoffe auszeichnen, laden sich leicht elektrostatisch auf, wenn man sie mit einem Lappen reinigt. In diesem Zustand ziehen sie den in der Luft schwebenden Staub, dessen Teilchen meist ebenfalls eine Ladung tragen, beschleunigt an. Für die Praxis muss dieser Umstand berücksichtigt werden, da er den Hausfrauen zu schaffen macht. Als besten Wert nahmen wir 10 Punkte an und schätzten die jedem Kunststoff zukommenden Punkte anhand des Anfangswertes und des Kurvenverlaufes in der Figur 26 ab. Das Ergebnis ist unter *Ziffer 15* in die *Tabelle 8* eingetragen.

Lichtechtheit

Von einem Kunststoff, der sich als Baustoff für eine Telephonstation eignen soll, muss man unbedingt verlangen, dass er sich am Licht nicht verfärbe, dass er

lichtecht sei. Diese Eigenschaft erschien uns so wichtig, dass wir sie mit 20 Punkten als Maximum bewerteten.

Von den durchgeführten Versuchen schien uns die Bewitterung in Bern am wichtigsten; wir zählten sie doppelt, doch wollten wir auch die beiden anderen berücksichtigen. So entstand anhand der *Figur 28* folgende Formel:

$$\frac{\textit{Atlas-Note} + \textit{Quarzlampen-Note} + 2 \times \textit{Bern-Note}}{2}$$

= Punktzahl für *Ziffer 16, Tabelle 8.*

Nicht ganzzahlige Mittelwerte wurden aufgerundet.

Farbgebungsmöglichkeit

Für die Press- und Spritzwerke spielt die Farbgebungsmöglichkeit eine gewisse Rolle. Wir berücksichtigten sie deshalb auch im Rahmen dieser Untersuchungen, teilten ihr jedoch lediglich einen Maximumswert von 5 Punkten zu. Bei der Beurteilung der Kunststoffe liessen wir uns von folgenden Richtlinien leiten:

Der Kunststoff lässt sich in allen Farben transparent färben 5 Punkte
Der Kunststoff lässt sich in allen Farben nur opak färben 4 Punkte
Der Kunststoff lässt sich in allen Farben ausser blau färben 2 Punkte
Der Kunststoff lässt sich nur schwarz oder braun färben 1 Punkt

Die Ergebnisse findet man unter *Ziffer 17* der *Tabelle 8.* Die mit 2 Punkten bewerteten Thermoplaste kann man nicht mit einem hellen Blau einfärben, weil sie erfahrungsgemäss zur Gelbstichigkeit neigen und deshalb mit der blauen Farbe zusammenwirkend grünlich erscheinen.

7.4. Gruppe IV: Einfluss der Alterung

Die PTT-Verwaltung erwartet von einer Telephonstation, dass sie zehn und mehr Jahre im Betrieb bleibe und einwandfrei funktioniere. Während dieser Zeit soll sie möglichst keines Unterhaltes bedürfen. Auch wäre es wünschenswert, wenn kein Bestandteil sich rascher abnützte als die übrigen, so dass kostspielige Auswechslungsarbeiten mit langen Anmarschwegen der Monteure unterblieben. Aus diesen Forderungen geht hervor, dass die Alterungsneigung für die Beurteilung eines Kunststoffes im Vordergrund steht und ihr somit auch ein grosses Gewicht zukommt.

Wir betrachten sie im folgenden von drei Gesichtspunkten aus. Zunächst beurteilen wir die Veränderung der mechanischen Eigenschaften, dann die Veränderung der Abmessungen und schliesslich die Veränderung des Aussehens.

Veränderung der Festigkeitseigenschaften

Wurden in der Gruppe I die mechanischen Festigkeitseigenschaften der neuwertigen Kunststoffe bewertet, so wird hier deren Veränderung mit der Zeit, also ihre Alterung, begutachtet. Wir strebten an, sämtliche hierher gehörenden Alterungseigenschaften in einer einzigen Zahl zusammenzufassen. Zudem sollte diese Güteziffer auch den Einfluss der drei verschiedenen Alterungsmethoden enthalten. Wir kamen nur zum Ziele, indem wir ein etwas kompliziertes Verfahren heranzogen. Betrachten wir es am Beispiele der Zerreissfestigkeit: Wir addierten die Mittelwerte der gealterten und bewitterten Prüfstäbe (s. Fig. 5, Säulen b, c und d) und dividierten die Summe durch drei: $\frac{b+c+d}{3}$. Die erhaltene Zahl wurde mit der zu 100% angenommenen Zerreissfestigkeit des neuwertigen Materials (Säule a in Fig. 5) verglichen, indem ihr prozentualer Anteil gegen den Neuwert errechnet wurde.

Gleich gingen wir bei der Bruchdehnung, der Biegefestigkeit und Schlagbiegefestigkeit an Hand der gefundenen Messwerte in den entsprechenden Figuren bzw. Tabellen vor. Die gefundenen Prozentzahlen wurden addiert, wobei wir die Schlagbiegefestigkeit, der grösseren Bedeutung wegen, doppelt zählten. Wir bezogen hier die plastische Dehnung mit ein, weil sie besonders alterungsabhängig ist.

Lag der Alterungswert für eine Eigenschaft über 100%, was bedeuten würde, dass das Material gegenüber dem neuwertigen Zustande besser geworden wäre, so rechneten wir ihn jedoch nur zu 100%, nahmen also das Material als unverändert an. Aus der Summe der gefundenen Prozentzahlen, die Schlagbiegefestigkeit, wie erwähnt, doppelt gerechnet, bildeten wir den Mittelwert. Dieser mittleren Alterungszahl eines jeden Kunststoffes teilten wir bei einem festgelegten Maximum von 30 Punkten die folgender Skala entsprechenden Punkte zu:

Alterungszahl:	100%	30 Punkte
	95%	27 Punkte
	90%	24 Punkte
	85%	21 Punkte
	80%	18 Punkte
	75%	15 Punkte
	70%	12 Punkte
	65%	9 Punkte
	60%	6 Punkte
	55%	3 Punkte

Die Ergebnisse der leider etwas umständlichen Auswertung findet man in der *Tabelle 8* unter *Ziffer 18.*

Veränderung der Abmessungen der Gehäuse

Der Einfluss der Alterung auf die Abmessungen wurde an denjenigen Gehäusen gemessen, die in Bern und auf dem Jungfraujoch der Witterung ausgesetzt waren. Wir setzten das Maximum auf 10 Punkte fest, weil die gemessenen Formänderungen verhältnismässig klein waren. Um Zufälligkeiten auszuschalten, beurteilten wir, wie schon früher, lediglich die wichtigen Masse I und II, indem wir von jedem Gehäuse die Massänderungen in mm (ausgenommen Mass III) zusammenzählten. Die aus beiden Bewitterungsver-

suchen addierten Massänderungen (Figur 17, Säulen a und b auf den ersten beiden Zeilen) bewerteten wir nach folgender Skala:

Summe der Änderungen	< 0,1 mm	10 Punkte
	< 0,2 mm	9 »
	< 0,3 mm	8 »
	< 0,5 mm	7 »
	< 0,7 mm	6 »
	< 0,9 mm	5 »
	< 1,2 mm	4 »
	< 1,5 mm	3 »
	< 1,8 mm	2 »
	< 1,8 mm	1 Punkt

Die damit berechneten Bewertungspunkte für jeden Kunststoff entnehme man der *Tabelle 8, Ziffer 19*. Da ein Polycarbonatgehäuse fehlte, wurde seine Bewertungsnote an Hand der Werte dieses Werkstoffes unter den Ziffern 7, 8 und 10 der *Tabelle 8* geschätzt.

Veränderung des Aussehens

Für die Veränderung des Aussehens einer Gehäuseoberfläche als Folge von Alterungs- und Bewitterungseinflüssen setzten wir als Maximalnote 20 Punkte ein. An Hand der Figur 24 und der Tabelle 5 errechneten wir die Punktzahl für die Schlussbewertung, indem wir die dort angeführten Bewertungsnoten für die Bewitterung in Bern und auf dem Jungfraujoch (Säulen a und b in der Figur 24) zusammenzählten und unter *Ziffer 20* in die *Tabelle 8* eintrugen.

Der Wert für Polycarbonat wurde an den bewitterten Prüfstäben geschätzt.

8. Schlussfolgerungen

Wir fassten die Versuchsergebnisse in der *Tabelle 8* in Form von Güteziffern zusammen. Jede untersuchte Eigenschaft wurde mit einer maximalen Punktzahl bewertet. Ihre Höhe richtete sich nach dem Gewicht, das wir den einzelnen Kriterien beimassen. Entspräche ein Kunststoff in allen Teilen den notwendigen Forderungen oder überträfe er sie sogar, so bekäme er für jede geprüfte Eigenschaft die maximale Punktzahl zugesprochen, was bei den 20 bewerteten Grössen total 260 Punkte ausmachen würde (siehe *Tabelle 8*, vierte Kolonne).

Das Acrylglas D_1 kommt dieser Zahl mit 213 Punkten am nächsten, das Polystyrol ist ihr mit nur 111 Punkten am weitesten entfernt.

Die Acrylgläser eignen sich als Werkstoff für das Telephonstationsgehäuse trotz ihrer verhältnismässig geringen, jedoch alterungsbeständigen Schlagbiegefestigkeit am besten. Sie belegen in der *Tabelle 8* den ersten, zweiten und vierten Rang. Das Acrylglas D_2 ist weicher und deshalb weniger wärmefest als das Acrylglas D_1. Dieser beiden Eigenschaften wegen fiel es mit 174 Punkten auf den vierten Platz zurück.

Die übrigen Thermoplaste liegen weit zurück und eignen sich somit für den vorgesehenen Verwendungszweck weniger als die Acrylgläser. Die höchste Punktzahl errang von ihnen das Polycarbonat, dem wir bei einigen Prüfungen die maximale Bewertungsnote geben konnten. Bei andern dagegen verhielt es sich wider Erwarten nicht befriedigend, so vor allem bei der Alterung.

Die Duroplaste nehmen die Mitte zwischen diesen beiden Gruppen ein. Der Melaminoplast erreichte sogar den dritten Rang. Wäre dieser Werkstoff weniger spröde und rissanfällig, so genügten seine übrigen, bereits in der Einleitung erwähnten vorzüglichen Eigenschaften vollauf.

Wir sind uns bewusst, dass jedem Bewertungssystem etwas Willkürliches anhaftet. Das unsrige wurde ganz auf den vorgesehenen Verwendungszweck der Kunststoffe ausgerichtet. Das Gewicht, das wir den einzelnen Gruppen in der *Tabelle 8* zuteilten, schien uns angemessen. Den mechanischen Eigenschaften des neuwertigen Materials (Gruppe I) ist mit total 45 Punkten genügend Rechnung getragen. Dass die Alterungsneigung (Gruppe IV) mit total 60 Punkten schwerer wiegt, liegt in der geforderten langen Lebensdauer der Gehäuse begründet. In die gleiche Richtung zielen auch die 70 Punkte, die wir der Gruppe II, Masshaltigkeit der Gehäuse, im Maximum zuerkannten. Besonders hoch bewerteten wir die Wärmebeständigkeit, weil sie als indirekter Hinweis für die Neigung zum Kaltfluss angesehen werden darf.

Die Gruppe III scheint mit total 85 Punkten etwas zu stark in den Vordergrund zu treten. Doch enthält sie am meisten, nämlich sieben, Kriterien, die, wie die Erfahrung zeigt, im Betrieb eine wichtige Rolle spielen.

Wir sind überzeugt, unser Bewertungssystem so dem vorgesehenen Verwendungszweck angepasst zu haben, dass wir mit seiner Hilfe das Verhalten der Kunststoffe im Betrieb mit einiger Gewissheit voraussagen können. Wir fühlen uns zu dieser Annahme umso berechtigter, als unabhängig von dieser Untersuchung etwa seit einem Jahr ein Betriebsversuch mit Telephonstationsgehäusen aus Polystyrol, Acrylglas und Celluloseacetat läuft, der bis jetzt zu den gleichen Ergebnissen führte, wie wir sie im Rahmen unserer Versuchsreihen erhielten.