



Typ	Seite	Typ	Seite	Typ	Seite
FE 1004	305	PM 2220 B	107	XP 2230	231
FE 1012	307	PM 2232	111	XP 2230 B	231
FE 1014	309	PM 2232 B	111	XP 2230 B/H	239
FE 1020	311	PM 2233 B	117	XP 2230/H	239
FE 1114	313	PM 2312	121		
FE 2019	315	PM 2312 B	121	56 AVP +)	249
FE 2021	317	PM 2402	127	56 CVP	255
		PM 2402 B	127	56 DVP +)	263
PM 1910	31			56 TUVF	269
PM 1912	37	XP 1002	135	60 DVP	277
PM 1918	41	XP 1011 +)	141	60 DVP/H	277
PM 1920	47	XP 1116	147	150 CVP	285
PM 1980	53	XP 1117	153		
PM 1982	59	XP 2000	159	56 127	319
PM 2012 B	63	XP 2000 UB	159	56 128	319
PM 2013 B	71	XP 2008	167	56 129	319
PM 2017 B	77	XP 2020	176	56 130	319
PM 2018 B	81	XP 2020 Q	187	56 131	319
PM 2060 B	87	XP 2030	199	56 132	319
PM 2060 FLB	87	XP 2030 UB	199	56 133	319
PM 2202	95	XP 2040	207	56 134	319
PM 2202 B	95	XP 2040 Q	207	56 134-S	319
PM 2202 FLB	95	XP 2041	215	56 135	319
PM 2212	103	XP 2041 Q	215	56 137	321
PM 2212 B	103	XP 2050	223	56 138-01	319

+) nicht für Neuentwicklungen

Typ	Foto- katoden- typ	Foto- katoden- material	spektraler Empfindlich- keitsbereich $\lambda_{skmax}/100$	Maximum der spektr. Emp- findlichkeit λ_{skmax}	Empfind- lichkeit bei λ_{skmax}	Quanten- ausbeute bei λ_{skmax}		Dyno- den- zahl	Gesamtspeisespannung		Anoden- dunkelstrom I_0	Bemerkungen	Seite
									U_B	für s_a bzw. V_i			
Fotokatodendurchmesser : min. 14 mm													
PM 1910	A (S 11)	Sb-Cs	300...650 nm	420 ± 30 nm	60 mA/W	17 %		10	1400 V	60 kA/W	2 (\leq 20) nA	gewölbte Fotokatode	31
PM 1912	D	Sb-K-Cs	275...670 nm	400 ± 30 nm	70 mA/W	21,5 %		12	1600 V	3·10 ⁷	2 (\leq 20) nA	gewölbte Fotokatode	37
PM 1918	U (S 13)	Sb-Cs	150...650 nm	400 ± 30 nm	60 mA/W	17 %		10	1400 V	60 kA/W	2 (\leq 20) nA	Quarzglasfenster	41
PM 1920	A (S 11)	Sb-Cs	275...670 nm	420 ± 30 nm	60 mA/W	17 %		6	700 V	0,2 kA/W	0,5 (\leq 5) nA	gewölbte Fotokatode	47
XP 1116	C (S 1)	Ag-O-Cs	300...1075 nm	800 ± 100 nm	1,6 mA/W	-		10	1650 V	10 A/lm	5 (\leq 10) µA	stoß- u. vibrationsfest	147
XP 1117	T (S 20)	Sb-Na-K-Cs	275...880 nm	420 ± 30 nm	50 mA/W	15 %		9	1520 V	30 A/lm	10 (\leq 100) nA	stoß- u. vibrationsfest	153
Fotokatodendurchmesser : min. 23 mm													
PM 1980	A (S 11)	Sb-Cs	275...670 nm	420 ± 30 nm	70 mA/W	20 %		10	1400 V	60 kA/W	2 (\leq 20) nA	gewölbte Fotokatode	53
PM 1982	D	Sb-K-Cs	275...670 nm	400 ± 30 nm	80 mA/W	25 %		11	1450 V	250 kA/W	2,5 (\leq 15) nA	gewölbte Fotokatode	59
Fotokatodendurchmesser : min. 32 mm													
PM 2012 B	D	Sb-K-Cs	275...670 nm	400 ± 30 nm	77 mA/W	24 %		10	1350 V	60 kA/W	1 (\leq 20) nA		63
PM 2013 B	T (S 20)	Sb-Na-K-Cs	275...840 nm	420 ± 30 nm	80 mA/W	23 %		10	1250 V	60 A/lm	2 (\leq 50) nA		71
PM 2017 B	S 20 R	Sb-Na-K-Cs	260...950 nm	550 ± 50 nm	35 mA/W	8 %		10	1300 V	60 A/lm	3 nA	erweiterte Rotempfindlichk.	77
PM 2018 B	U (S 13)	Sb-Cs*	140...670 nm	400 ± 30 nm	75 mA/W	21 %		10	1350 V	60 kA/W	5 (\leq 50) nA	Quarzglasfenster	81
PM 2060 B	Super A	Sb-Cs	290...675 nm	420 ± 30 nm	70 mA/W	20 %		10	1180 V	60 A/lm	5 (\leq 50) nA	kurze Bauform	87
PM 2060 FLB													
XP 1011	Super A	Sb-Cs	275...670 nm	420 ± 30 nm	80 mA/W	23 %		10	1500 V	60 A/lm	15 (\leq 50) nA	nicht für Neuentwicklungen	141
XP 2008	Super A	Sb-Cs	275...670 nm	420 ± 30 nm	70 mA/W	20 %		10	1180 V	60 A/lm	5 (\leq 50) nA		167
150 CVP	C (S 1)	Ag-O-Cs	300...1075 nm	800 ± 100 nm	2,3 mA/W	-		10	1600 V	10 A/lm	2 (\leq 10) µA	infrarotempfindlich	285
Fotokatodendurchmesser : min. 44 mm													
PM 2202	D	Sb-K-Cs	300...660 nm	400 ± 30 nm	75 mA/W	21 %		10	1400 V	60 kA/W	3 (\leq 30) nA	kurze Bauform	95
PM 2202 B													
PM 2202 FLB													
PM 2212	D	Sb-K-Cs	300...660 nm	400 ± 30 nm	75 mA/W	21 %		12	1900 V	3·10 ⁷	15 (\leq 50) nA	plan-paralleles Fenster	103
PM 2212 B													
PM 2220 B	A (S 11)	Sb-Cs	275...700 nm	420 ± 30 nm	70 mA/W	20 %		10	1300 V	60 kA/W	5 (\leq 50) nA	Nachfolge für 53 AVP	107
PM 2232	D	Sb-K-Cs	300...660 nm	400 ± 30 nm	80 mA/W	25 %		12	1900 V	3·10 ⁷	10 (\leq 40) nA	gewölbte Fotokatode	111
PM 2232 B													
PM 2233 B	T (S 20)	Sb-Na-K-Cs	275...860 nm	420 ± 30 nm	65 mA/W	19 %		12	2050 V	3·10 ⁷	60 nA		117
XP 1002	T (S 20)	Sb-Na-K-Cs	275...860 nm	420 ± 30 nm	65 mA/W	19 %		10	1460 V	60 A/lm	3 (\leq 50) nA	nicht für Neuentwicklungen	135

Typ	Foto- katoden- typ	Foto- katoden- material	spektraler Empfindlich- keitsbereich $\lambda_{skmax}/100$	Maximum der spektr. Emp- findlichkeit λ_{skmax}	Empfind- lichkeit bei λ_{skmax}	Quanten- ausbeute bei λ_{skmax}	Dyno- den- zahl	Gesamtspeisespannung		Anoden- dunkelstrom	Bemerkungen	Seite
								U_B	für I_a bzw. V_i			
Fotokatodendurchmesser : min. 44 mm (Fortsetzung)												
XP 2000 XP 2000 UB	D	Sb-K-Cs	300...650 nm	400 ± 30 nm	85 mA/W	26 %	10	1250 V	12 kA/W	0,5 (≤ 5) nA	Jalousiedynoden	159
XP 2020	D	Sb-K-Cs	270...670 nm	400 ± 30 nm	85 mA/W	26 %	12	2200 V	3·10 ⁷	7 (≤ 100) nA	schnell	176
XP 2020 Q	D	Sb-K-Cs	150...670 nm	400 ± 30 nm	80 mA/W	25 %	12	2200 V	3·10 ⁷	7 (≤ 100) nA	Quarzglasfenster, schnell	187
XP 2230 XP 2230 B	D	Sb-K-Cs	250...650 nm	400 ± 30 nm	90 mA/W	28 %	12	2300 V	3·10 ⁷	7 (≤ 25) nA	lichtdichte Umhüllung } rauscharm, schnell	231
XP 2230/H XP 2230 B/H	D	Sb-K-Cs	250...650 nm	400 ± 30 nm	90 mA/W	28 %	12	2300 V	3·10 ⁷	7 (≤ 25) nA		239
56 AVP	A (S 11)	Sb-Cs	275...670 nm	420 ± 30 nm	60 mA/W	17 %	14	1800 V	3·10 ⁷	20 (≤ 1500) nA	nicht für Neuentwicklungen	249
56 CVP	C (S 1)	Ag-O-Cs	300...1075 nm	800 ± 100 nm	2,3 mA/W	-	10	1800 V	10 A/lm	4 (≤ 20) µA	infrarotempf., schnell	255
56 DVP	D	Sb-K-Cs	275...670 nm	400 ± 30 nm	80 mA/W	25 %	14	1900 V	3·10 ⁷	6 (≤ 60) nA	nicht für Neuentwicklungen	263
56 TVVP	TU	Sb-Na-K-Cs	160...860 nm	420 ± 30 nm	65 mA/W	19 %	14	2050 V	3·10 ⁷	60 (≤ 1500) nA	Quarzglasfenster	269
Fotokatodendurchmesser : min. 61 mm												
PM 2402 PM 2402 B	D	Sb-K-Cs	300...650 nm	400 ± 30 nm	90 mA/W	28 %	10	1250 V	12 kA/W	0,5 (≤ 5) nA	Jalousiedynoden	127
Fotokatodendurchmesser : min. 68 mm												
PM 2312 PM 2312 B	D	Sb-K-Cs	270...660 nm	400 ± 30 nm	85 mA/W	26 %	12	2000 V	3·10 ⁷	25 (≤ 250) nA		121
XP 2030 XP 2030 UB	D	Sb-K-Cs	300...630 nm	400 ± 30 nm	105 mA/W	32 %	10	1250 V	12 kA/W	0,5 (≤ 5) nA	Jalousiedynoden	199
Fotokatodendurchmesser : min. 110 mm												
XP 2040 XP 2040 Q	A (S 11) UV-empf.	Sb-Cs	200...630 nm	420 ± 30 nm	70 mA/W	20 %	14	2000 V	3·10 ⁷	0,2 (≤ 4) µA	Acrylglas-Lichtleiter Quarzglas-Lichtleiter	207
XP 2041 XP 2041 Q	D UV-empf.	Sb-K-Cs	200...620 nm	400 ± 30 nm	85 mA/W	26 %	14	2200 V	3·10 ⁷	30 (≤ 600) nA	Acrylglas-Lichtleiter Quarzglas-Lichtleiter	215
XP 2050	D	Sb-K-Cs	275...650 nm	400 ± 30 nm	95 mA/W	29 %	10	1270 V	12 kA/W	0,5 (≤ 5) nA	Jalousiedynoden	223
Fotokatodendurchmesser : min. 200 mm												
60 DVP 60 DVP/H	D	Sb-K-Cs	275...670 nm	400 ± 30 nm	70 mA/W	21,5 %	12	3000 V	3·10 ⁷	6 (≤ 40) nA	ohne) Lichtleiter und mit) Montagezylinder	277

FORMELZEICHEN1. Formelzeichen der Elektroden und Elektrodenanschlüsse

K, k	.....	Katode, Fotokatode
G, g	.....	Gitter
D, d	.....	Ablenkelektrode, Ablenksteg
P, p	.....	Dynode, Sekundäremissionsselektrode
A, a	.....	Anode
M	.....	äußere Abschirmung
S	.....	innere Abschirmung
i.V.	.....	innere Verbindung (darf nicht beschaltet werden)

Bei Anwendung der Elektrodenzeichen als Indizes für Spannungen, Ströme und Leistungen kennzeichnen Großbuchstaben Größen vom Wert Null aus gemessen, Kleinbuchstaben Werte vom arithmetischen Mittelwert aus gemessen; dieser Wert wird häufig als Arbeitspunkt bezeichnet.

Bei Anwendung als Indizes für Widerstände und Kapazitäten usw. kennzeichnen Großbuchstaben Gleichwerte bzw. Großsignalwerte, Kleinbuchstaben kennzeichnen Wechselwerte bzw. Kleinsignalwerte.

Die Gitter und Dynoden werden von der Katode ausgehend numeriert, z.B. P_1 , P_2 .

Darüberhinaus können weitere Kurzzeichen, die die Funktion spezieller Elektroden charakterisieren, verwendet werden, z.B. FOC - Fokussierelektrode, ACC - Beschleunigungselektrode usw.

2. Formelzeichen für Spannungen, Ströme und Leistungen

Bezugspunkt für Elektroden Spannungen ist die Katode. Das Formelzeichen enthält im Index nur das Formelzeichen der betreffenden Elektrode.

Wird nicht die Spannung einer Elektrode gegen Katode (Elektroden Gleichspannung), sondern die Spannung gegen eine andere Elektrode angegeben, so erscheinen die Formelzeichen beider Elektroden im Index, getrennt durch einen Schrägstrich.

U_{APn}	.....	Spannung Anode gegen n.te Dynode
U_B	.....	Speisespannung, Gesamtspeisespannung bei Fotovervielfachern
U_b	.....	Stufenspannung bei Fotovervielfachern
U_G	.....	Gitterspannung
U_{Pn+1Pn}	.....	Spannung zwischen benachbarten Dynoden
I_A	.....	Anodenstrom
I_0	.....	Dunkelstrom



3. Formelzeichen für Widerstände und Kapazitäten

- R_A äußerer Widerstand in einer Anodenleitung
- R_G äußerer Widerstand in einer Gitterleitung
- R_K Widerstand in einer Katodenleitung
- c Röhrenkapazität
- C äußere Kapazität

Wird die Kapazität einer Elektrode gegen alle übrigen Elektroden und leitenden Teile eines Bauelementes angegeben, so erscheint nur das Formelzeichen dieser Elektrode im Index.

Bei Kapazitäten zwischen zwei oder mehreren Elektroden sind alle betreffenden Elektroden im Index vermerkt, z.B. c_{g1} , $c_{g2/kf}$ usw. Alle übrigen Elektroden und Schirme, die nicht mit einer der betreffenden Elektroden verbunden sind, sind hierbei an Masse zu legen.

4. Formelzeichen für thermische Größen

- ϑ_A Anodentemperatur
- ϑ_K Katodentemperatur
- ϑ_{kolb} Kolbentemperatur
- ϑ_S Lagerungstemperatur
- ϑ_U Umgebungstemperatur

5. Formelzeichen verschiedener Größen

- f Frequenz
- f_p Pulsfrequenz, Impulsfrequenz
- s Empfindlichkeit, allgemein
- s_a Anodenempfindlichkeit
- s_k Katodenempfindlichkeit
- t_p Impulsdauer
- V_i Stromverstärkung
- α Alpha-Strahlung
- β Beta-Strahlung
- γ Gamma-Strahlung
- η_c Überführungswirkungsgrad
- η_q Quantenausbeute
- $\eta_{s.p.}$ Meßwirkungsgrad für Einzelfotoelektronen
- λ Wellenlänge

ERLÄUTERUNGEN ZU DEN TECHNISCHEN DATEN VON FOTOVERVIELFACHERN

1. Aufbau eines Fotovervielfachers

Ein Fotovervielfacher ist eine Elektronenröhre mit einer Fotokatode, einem elektronenoptischen Eingangssystem (Beschleunigungs- und Fokussiersystem), einem Vervielfachersystem, in dem die Fotoelektronen durch Sekundärelektronenemission vervielfacht werden, und einer Anode.

Das Fenster eines Fotovervielfachers ist die für den Strahlungseintritt vorgesehene Fläche.

Die Fotokatode ist diejenige Fläche, aus der bei Bestrahlung Fotoelektronen (Katodenfotostrom) befreit werden; sie befindet sich entweder auf einem metallischen Träger (undurchlässige Fotokatode) oder auf der Innenseite des Fensters (halbdurchlässige Fotokatode).

Das elektronenoptische Eingangssystem ist der Teil, in dem die emittierten Fotoelektronen auf die 1. Dynode P_1 beschleunigt und fokussiert werden.

Das Vervielfachersystem ist der Teil, in dem durch Sekundärelektronenemission der Katodenfotostrom vervielfacht wird; es besteht aus einer Anzahl von Vervielfachungsstufen. Bei einer Vervielfachungsstufe befindet sich am Anfang eine elektronenemittierende Elektrode und am Ende eine positivere Sekundäremissionselektrode (Dynode) mit einer nachfolgenden Absaugelektrode.

Die Anode ist die letzte Absaugelektrode, von der das Ausgangssignal abgenommen wird.

2. Erläuterungen zu den benutzten Größen und Begriffen

Die in den Datenblättern angegebenen Werte und Kennlinien gelten für einen durchschnittlichen Typ des betreffenden Fotovervielfachers und geben unter bestimmten Betriebsbedingungen das Verhalten des Fotovervielfachers wieder. Jedem Fotovervielfacher wird eine Prüfkarte beigelegt, auf der die Prüfwerte dieses Exemplares angegeben sind.

Die in den Datenblättern angegebenen Grenzwerte sind absolute Grenzwerte. Sie dürfen unter keinen Umständen überschritten werden. Die Schaltung muß daher so ausgelegt werden, daß während der Lebensdauer des betrachteten Fotovervielfachers und des Gerätes unter den ungünstigsten Arbeitsbedingungen im Hinblick auf Schwankungen der Versorgungsspannungen, der Einstellung und Streuwerte der übrigen Bauelemente, der Belastung, des Signals, der Umgebungsbedingungen und der Fotovervielfacherdaten kein absoluter Grenzwert überschritten wird.

Die relative spektrale Empfindlichkeit ist der auf die in einem Intervall $\Delta\lambda$ vorhandene, spektrale Bestrahlungsstärke bezogene Fotostrom im Verhältnis zum Maximum der spektralen Empfindlichkeit, gemessen bei konstantem Fotostrom, gleichmäßiger Ausleuchtung des Fensters und senkrechtem Strahlungseinfall.

In VALVO-Typenprogramm werden hauptsächlich folgende Fotokatodenausführungen hinsichtlich ihrer spektralen Empfindlichkeit unterschieden:

- a) A-Typ (S 11) mit halbdurchlässiger Antimon-Caesium-Schicht (Sb-Cs) auf der Innenseite eines B 40-Hartglasfensters; das Maximum der spektralen Empfindlichkeit liegt im sichtbaren Bereich bei etwa 420 nm (blau).
- b) U-Typ (S 13) mit dem gleichen Schichtmaterial der A-Typen, aber aufgebracht auf der Innenseite eines Quarzglasfensters, dessen bessere Durchlässigkeit für ultraviolette Strahlung die Empfindlichkeit bis in den UV-Bereich erweitert; das Maximum liegt bei etwa 400 nm. Alle Kolben der Fotovervielfacher mit Quarzglasfenster sind so aufgebaut, daß sich an den Quarzglasfenster eine Zone von Übergangsringen anschließt, um einen abrupten Übergang des Ausdehnungskoeffizienten von Quarzglas und Glas zu vermeiden. Bei Kühlung dieser Fotovervielfacher empfiehlt es sich, das Quarzglasfenster und etwa die Hälfte der Übergangszone mit dem Kühlmittel in Kontakt zu bringen.
- c) C-Typ (S 1) mit einer halbdurchlässigen Schicht aus Caesium auf oxydiertem Silber (Ag-O-Cs) auf der Innenseite eines B 40-Hartglasfensters; die spektrale Empfindlichkeit liegt hauptsächlich im Rot- und nahen Infrarot-Bereich mit einem Maximum bei ca. 800 nm.
- d) T-Typ (S 20) mit einer halbdurchlässigen Trialkali-Schicht (Sb-Na-K-Cs) auf einem B 40-Hartglasfenster; diese Ausführung ist in einem weiten Wellenlängenbereich empfindlich, der sich von blau bis rot erstreckt mit einem Maximum bei 420 nm. Dieser Typ zeichnet sich durch eine hohe absolute spektrale Empfindlichkeit aus.
- e) TU-Typ mit der Schicht der T-Typen, aber entsprechend den U-Typen mit UV-durchlässigem Quarzglasfenster (vgl. auch U-Typ).
- f) D-Typ mit einer halbdurchlässigen Bialkali-Schicht (Sb-K-Cs) auf der Innenseite eines Glasfensters, mit einem spektralen Empfindlichkeitsmaximum bei 400 nm.
- g) DU-Typ mit dem gleichen Schichtmaterial des D-Typs, aber angebracht auf der Innenseite eines K 40-freien Quarzglasfensters für eine verbesserte Empfindlichkeit im UV-Bereich (vgl. auch U-Typ).

Die Katodenempfindlichkeit s_k wird ermittelt in $\mu A/lm$ bei einem bestimmten Lichtstrom der Normlichtart A oder in mA/W bei einer bestimmten Bestrahlungsstärke einer geeigneten Wellenlänge, gemessen bei einer bestimmten Spannung, die zwischen Katode und allen übrigen, zusammengeschalteten Elektroden angelegt ist.

Die Quantenausbeute η der Fotokatode ist das Verhältnis der emittierten Fotoelektronen zu den einfallenden Photonen.

Die Anodenempfindlichkeit s_a wird ermittelt in A/lm bei einem bestimmten Lichtstrom der Normlichtart A, einer bestimmten Gesamtspeisespannung U_B und Spannungsverteilung an den Vervielfachungsstufen.

Die Stromverstärkung V_i ist der Quotient aus Anodenfotostrom und Katodenfotostrom bei einer bestimmten Gesamtspeisespannung und Spannungsverteilung an den Vervielfachungsstufen.

Wegen der Höhe der Stromverstärkung ($V_i > 10^6$) ist es nicht möglich, bei der Ermittlung der Stromverstärkung oder Anodenempfindlichkeit beide Ströme unter den gleichen Bedingungen zu messen. Der Anodenstrom liegt normalerweise unter 1 mA, so daß der Katodenfotostrom nur einige Zehntel nA beträgt. Da aber im Normalfall der Katodenfotostrom, die Dynodenströme und der Anodenfotostrom der

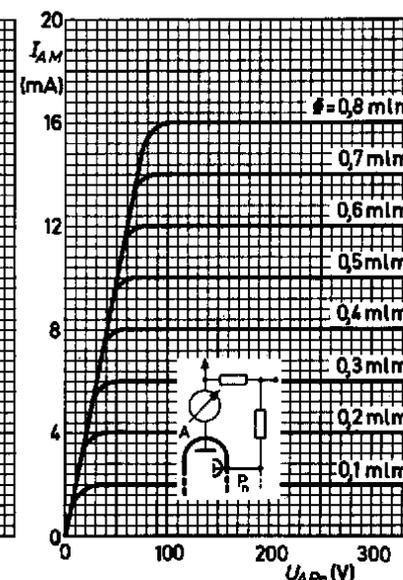
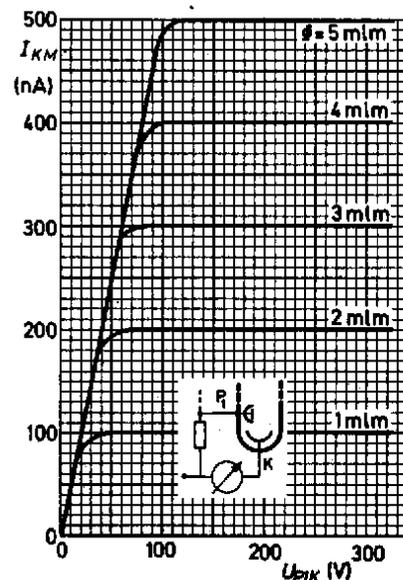
einfallenden Bestrahlungsstärke proportional sind, kann man diese Schwierigkeit durch folgende Methode umgehen: Zuerst wird der Fotovervielfacher als Diode geschaltet (Katode gegen alle übrigen Elektroden) und die Bestrahlungsstärke (vorzugsweise monochromatisch, da Neutralfilter nicht vollkommen wellenlängenunabhängig sind) so gewählt, daß ein Katodenfotostrom von ca. 0,1 μA fließt. Dieser Strom wird gemessen und dann reduziert man die auf die Fotokatode fallende Bestrahlungsstärke auf den Bruchteil a, z.B. mit Hilfe eines Neutralfilters bekannter Durchlässigkeit. Daraufhin wird mit einer bestimmten Gesamtspeisespannung und Spannungsverteilung der Anodenfotostrom gemessen. Die Stromverstärkung ergibt sich dann zu

$$V_i = \frac{I_A}{a \cdot I_K}$$

Ggfs. kann der Abschwächungsfaktor a auch mit Hilfe des Fotovervielfachers ermittelt werden, wenn er von der Meßanordnung her nicht bekannt ist; man bildet das Verhältnis der Ströme, die vor und nach der Abschwächung über eine Dynode fließen.

Bei Fotovervielfachern mit sehr hoher Stromverstärkung kann auch bei diesem Verfahren der Grenzwert des zulässigen Anodenstrommittelwertes noch überschritten werden; es ist deshalb ratsam, die Messung in mehreren Schritten durchzuführen, z.B. mißt man einmal zwischen Fotokatode und n-ter Dynode und nach nochmaliger Abschwächung zwischen n-ter Dynode und Anode.

Der Anodendunkelstrom I_0 ist der ohne Bestrahlung der Katode über den Anodenanschluß fließende Strom. Er wird ermittelt bei einer bestimmten Gesamtspeisespannung, Spannungsverteilung und Umgebungstemperatur für eine vorgegebene Anodenempfindlichkeit oder Stromverstärkung.



Der Proportionalitätsbereich ist die obere Bereichsgrenze des Anodenstromes, bei der dieser im Impulsbetrieb mit dem maximalen Anodenstrommittelwert der Bestrahlungsstärke proportional ist, wenn außerdem im Sättigungsgebiet der Kathoden-, Dynoden- und Anodenströme gearbeitet wird. Werden in den Datenblättern für Spitzenwerte und für arithmetische Mittelwerte unterschiedliche Grenzwerte angegeben, so ist die maximal zulässige Integrationszeit t_{int} zu beachten: Der innerhalb eines jeden Zeitintervalls von der Dauer t_{int} gebildete arithmetische Mittelwert des Stromes darf dann den maximal zulässigen Mittelwert nicht überschreiten. Zusätzlich muß dafür gesorgt sein, daß der Augenblickwert des Stromes den maximal zulässigen Spitzenwert nicht überschreitet. Innerhalb dieser beiden Bedingungen darf der Strom beliebige Kurvenform haben.

Die Form eines Anodenstromimpulses, hervorgerufen durch einen sehr kurzen Strahlungsimpuls, wird durch zeitliche Größen charakterisiert:

- Die Gesamtlaufzeit ist definiert als das Zeitintervall zwischen dem Eintreffen eines sehr kurzen Strahlungsimpulses auf der Kathode und dem Erreichen des Maximalwertes des Anodenstromimpulses.
- Die Laufzeitdifferenz gibt die Abhängigkeit der Gesamtlaufzeit von der Lage eines beleuchteten Punktes auf der Fotokathode wieder. Sie wird angegeben als die Differenz der Gesamtlaufzeiten von Impulsen, die von der Fotokathodenmitte bzw. dem Kathodenrande ausgehen.
- Die Anstiegszeit ist die Zeit, die der Anodenstromimpuls für den Anstieg von 10 % auf 90 % seines Maximalwertes benötigt bei kurzzeitiger Bestrahlung der gesamten Kathodenfläche.
- Die Impulshalbwertsbreite wird gemessen bei halbem Maximalwert des Anodenstromimpulses bei kurzzeitiger Bestrahlung der gesamten Kathodenfläche.

Die maximal zulässige Gesamtspeisespannung U_B ist diejenige Spannung, bei der in Spannungsverteilung A (lineare Spannungsverteilung über alle Vervielfachungsstufen) eine bestimmte maximale Stromverstärkung V_i erreicht wird, sofern diese Spannung kleiner als die in den Grenzdaten angegebene Gesamtspeisespannung ist.

Die in den Grenzdaten angegebene maximale Gesamtspeisespannung berücksichtigt lediglich die Isolationseigenschaften des betreffenden Fotovervielfachertyps. Da mit steigender Spannung sowohl die Stromverstärkung als auch die Ionisation des Restgases zunimmt, wird oberhalb einer bestimmten Spannung der Einfluß der Ionisation so groß, daß der Dunkelstrom gegen Unendlich strebt. Der Fotovervielfacher kann dadurch zerstört werden.

Bei den hochverstärkenden Fotovervielfachern ist deshalb in den Datenblättern statt der Anodenempfindlichkeit s_a eine Gesamtspeisespannung U_B für eine bestimmte Stromverstärkung angegeben. Beim Typ 56 AVP beträgt diese z.B. 10^8 , wobei maximal 10^9 zugelassen ist. Die maximal zulässige Gesamtspeisespannung $U_{B \max}$ ergibt sich danach aus

$$V_i = (k \cdot U_B)^n$$

und

$$10 \cdot V_i = (k \cdot U_{B \max})^n$$

mit einer Konstanten k und der Dynodenzahl n zu

$$U_{B \max} = 1,178 \cdot U_B$$

3. Betriebshinweise

Die Gesamtspeisespannung U_B muß gut stabilisiert sein. Die Stromverstärkung V_i eines Fotovervielfachers ist in folgender Weise von Änderungen der Gesamtspeisespannung abhängig:

$$\frac{\Delta V_i}{V_i} = n \cdot \frac{\Delta U_B}{U_B}$$

mit n = Anzahl der Dynoden,

d.h. die prozentuale Änderung der Stromverstärkung ist bei 10stufigen Fotovervielfachern etwa 10 mal der der Gesamtspeisespannung; um also die Stromverstärkung auf 1 % genau einzuhalten, muß die Gesamtspeisespannung auf 1 %/100 stabilisiert sein.

Die Gesamtspeisespannung liegt an einem Spannungsteiler, von dem die Elektrodenanspannungen abgegriffen werden. Sollen hierbei keine störenden Potentialverschiebungen auftreten, müssen die Dynodenströme klein im Verhältnis zum Querstrom I_B des Spannungsteilers sein. Es kann sich mitunter als zweckmäßig erweisen, mit zwei Spannungsquellen zu arbeiten, wovon eine mit hoher Spannung und geringer Leistung für die katodenseitigen Stufen und die andere mit niedriger Spannung und hoher Leistung für die anodenseitigen Stufen verwendet wird.

Bei Gleichlichtbetrieb kann als erste Näherung für die Abhängigkeit der Stromverstärkung von der Bestrahlung folgender Zusammenhang herangezogen werden:

$$\frac{\Delta V_i}{V_i} \approx \frac{I_K}{I_B} \left(\delta^n - \frac{\delta^{n+1}}{(n+1)(\delta-1)} \right) = \frac{I_A}{I_B} \left(1 - \frac{\delta}{(n+1)(\delta-1)} \right)$$

mit δ = Stufenvervielfachung,

d.h. die relative Änderung der Stromverstärkung ist ungefähr proportional dem Verhältnis von Anodenstrom zu Querstrom des Spannungsteilers; daraus folgt für eine Stabilität der Verstärkung von 1 %, daß dieses Verhältnis etwa 1 : 100 sein muß.

Bei Lichtimpulsbetrieb, wie z.B. Szintillations-Zählung, kann für eine Stabilität der Stromverstärkung von 1 % der Querstrom des Spannungsteilers kleiner als $100 \cdot I_A$ gewählt werden, wenn die letzten Spannungsteilerwiderstände einzeln mit Kondensatoren überbrückt werden. Die Kapazitäten sollten entsprechend folgendem Zusammenhang gewählt werden:

$$C_n \approx \delta \cdot C_{n-1}$$

$$C_{n-1} \approx \delta \cdot C_{n-2} \text{ usw.}$$

mit C_n = Kapazität parallel zum letzten Spannungsteilerwiderstand

C_{n-1}^n = Kapazität parallel zum vorletzten Spannungsteilerwiderstand.

Die genaue Berechnung eines stabilisierten, kapazitiven Spannungsteilers ist sehr aufwendig. Angenähert ist die relative Schwankung der Stromverstärkung

$$\frac{\Delta V_i}{V_i} = \frac{\tau \cdot I_{A \max}}{I_B} \cdot \frac{e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{t}{RC_n}}}{\tau - RC_n}$$

mit τ = Zeitkonstante des Szintillators,

RC_n = Zeitkonstante des letzten Spannungsteilergliedes

Daraus folgt, daß bei einem maximalen Anodenfotoström von 1 mA die Stabilität der Stromverstärkung $< 1\%$ ist, wenn außerdem $RC_n > 100 \cdot \tau$ und $I_B \leq 1$ mA gewählt werden.

Durch die Kondensatoren kann zwar der Querstrom des Spannungsteilers klein gehalten werden, es darf jedoch nicht übersehen werden, daß dann die Spannungsschwankungen an den kapazitiv entkoppelten Stufen zwar eine kleine Amplitude, aber eine große Zeitkonstante haben (für obiges Beispiel ca. $470 \cdot \tau$). Bei großen Zählgeschwindigkeiten, d.h. bei kleinem Abstand aufeinanderfolgender Impulse können sich diese Schwankungen überlagern und zu Amplitudenfehlern der Anodenstromimpulse führen. Mit $\tau = 1 \mu s$ in obigem Beispiel darf die Impulsfolgefrequenz deshalb einen Maximalwert von etwa 2200 Hz nicht überschreiten; andernfalls muß die Zeitkonstante reduziert und der Querstrom des Spannungsteilers erhöht werden.

Bei der Verbindung der Gesamtpeisespannung U_B mit Chassis herrschen zwei Schaltungsauslegungen vor:

- a) Der negative Pol der Gesamtpeisespannung ist mit Chassis verbunden. Die Fotokathode des Fotovervielfachers liegt ebenfalls auf Chassispotential. Seine Anode liegt gegenüber Chassis um die Gesamtpeisespannung hoch, bzw. gegen den Eingang einer Folgeschaltung auf Chassispotential. Bei Betrieb mit Strahlungsimpulsen (Szintillations-Detektor) sind Anode und Folgeschaltung durch einen hochspannungsfesten Kondensator, der der Übertragung der Ausgangsimpulse dient, galvanisch getrennt. Die Isolation des Kondensators muß besonders gut sein; ungenügende Isolation kann das Signal/Rausch-Verhältnis durch Mikroüberschläge im Dielektrikum ungünstig beeinflussen. Das gilt auch für die Abblock-Kondensatoren an den Dynoden und für den Siebkondensator in der Hochspannungszuleitung vom Netzteil, der eingestrente Störspannungen am Eingang des Sondengehäuses ableitet.
- b) Der positive Pol der Gesamtpeisespannungsquelle ist mit Chassis verbunden. Die Anode des Fotovervielfachers liegt ebenfalls auf Chassispotential. Sie kann vorteilhaft galvanisch mit dem Eingang der Folgeschaltung auf Chassispotential verbunden werden. Die Fotokathode des Fotovervielfachers liegt dann gegenüber Chassis auf hohem negativem Potential ($-U_B$). Das Chassis kann z.B. ein Abschirmzylinder gegen magnetische Störfelder oder ein Sondengehäuse bzw. Szintillatorgehäuse auf Chassispotential sein, der oder das in einem relativ geringen Abstand zur Außenfläche des Fotovervielfacher-Glaskolbens angeordnet ist, dessen Innenfläche die Fotokathodenschicht trägt. Oft wird der Glaskolben des Fotovervielfachers in der Nähe des Fensters durch eine zusätzliche Halterung oder durch den Szintillator in der gewünschten Lage zum Gehäuse zentriert und fixiert. Besitzt die Isolation zwischen Fotokathode und Sondengehäuse, Abschirmung oder Zentrierung einen geringeren Widerstandswert als $10^{15} \Omega$, so besteht die Gefahr daß der Isolationsstrom, der von der Fotokathode durch die Wand des Glaskolbens über die Halterung zum Chassis fließt, eine Reaktion in der Fotokathodenschicht hervorruft, die die Fotokathodeneigenschaften ungünstig beeinflusst und das Signal/Rausch-Verhältnis verschlechtert. Der schädliche Isolationsstrom durch die Wand des Glaskolbens kann unterbunden werden, entweder durch eine Metallfolie bzw. einen Aquadagbelag, der auf den Glaskolben aufzubringen und mit Fotokathode zu verbinden ist, oder durch den Abschirmzylinder, wenn er auf Fotokathodenpotential geschaltet und gegen das Sondengehäuse isoliert wird. In diesen Fällen liegt die Gesamtpeisespannung zwischen Sondengehäuse einerseits und Folie, Aquadagbelag oder Abschirmzylinder andererseits.

In der Nähe der Fotokathode sind scharfe Kanten oder Spitzen, die Hochspannungsüberschläge begünstigen, zu vermeiden, da Photonen, die von einem möglichen Spratzen und Sprühen herrühren, auf die Fotokathode gelangen und zusätzliches Rauschen verursachen können.

Fällt beim Einbau des Fotovervielfachers volles Tageslicht auf die Fotokathode, so kann der Anodendunkelstrom stark ansteigen; er kehrt während des Betriebes langsam auf seinen ursprünglichen Wert zurück.

Ein Fotovervielfacher soll bei angelegter Gesamtpeisespannung nicht einer hohen Umgebungsbeleuchtung ausgesetzt werden, da bei einem Lichtstrom von ca. 10^{-5} lm bereits der zulässige Anodenstrommittelwert überschritten wird.

Beim Anlegen der Gesamtpeisespannung nach längeren Betriebspausen kann es ca. 30 min dauern, bis sich der Anodendunkelstrom des Fotovervielfachers auf niedrige Werte stabilisiert.

Fotovervielfacher sollten stets im Dunkeln gelagert werden.

Spektrale Empfindlichkeitskurven

Auf den folgenden Seiten sind die absoluten spektralen Empfindlichkeitskurven von hinter Fenstern angeordneten halbdurchlässigen Fotovervielfacher-Fotokathoden in Abhängigkeit von der Wellenlänge der einfallenden Strahlung dargestellt. Die Darstellung soll zur grundsätzlichen Unterscheidung der einzelnen Fotokathodentypen dienen. Im Einzelfall können Abweichungen, insbesondere bei der Höhe des Maximums, auftreten. In den Datenblättern ist im allgemeinen für jeden Typ eine Kurvendarstellung der spektralen Empfindlichkeit enthalten.

Die Empfindlichkeitsangaben von Fotokathoden stehen in folgendem Zusammenhang:

$$\eta_q \text{ (in \%)} = \frac{s_k \text{ (in mA/W)} \cdot 124}{\lambda \text{ (in nm)}} \quad \text{bzw.} \quad s_k \text{ (in mA/W)} = \frac{\eta_q \text{ (in \%)} \cdot \lambda \text{ (in nm)}}{124}$$

oder

$$s_k \text{ (in mA/W)} = \frac{\text{Zählwirkungsgrad für Einzelfotoelektronen (in \%)} \cdot \lambda \text{ (in nm)}}{\text{Fotoelektronenübertragungswirkungsgrad (in \%)} \cdot 1,24}$$

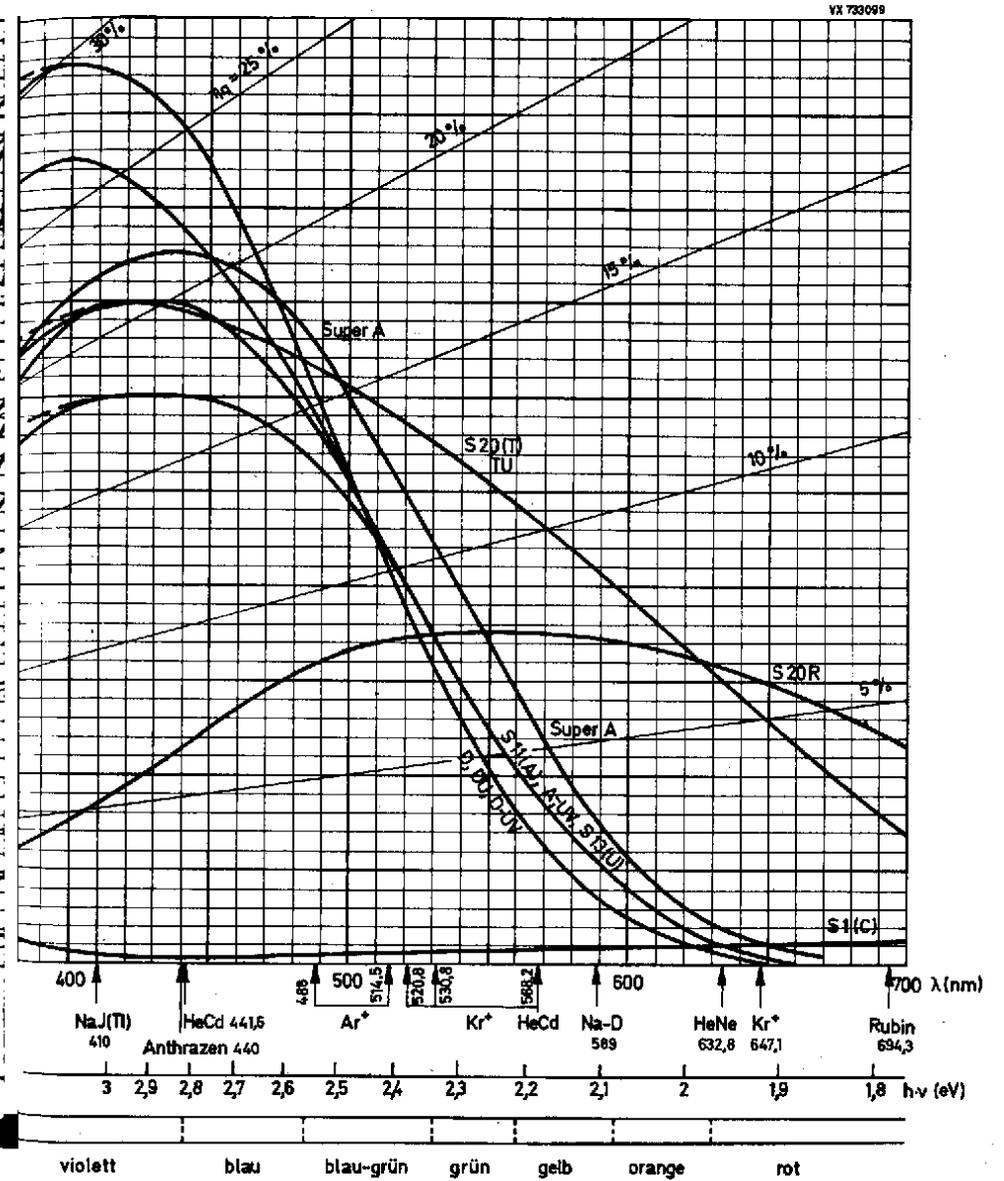
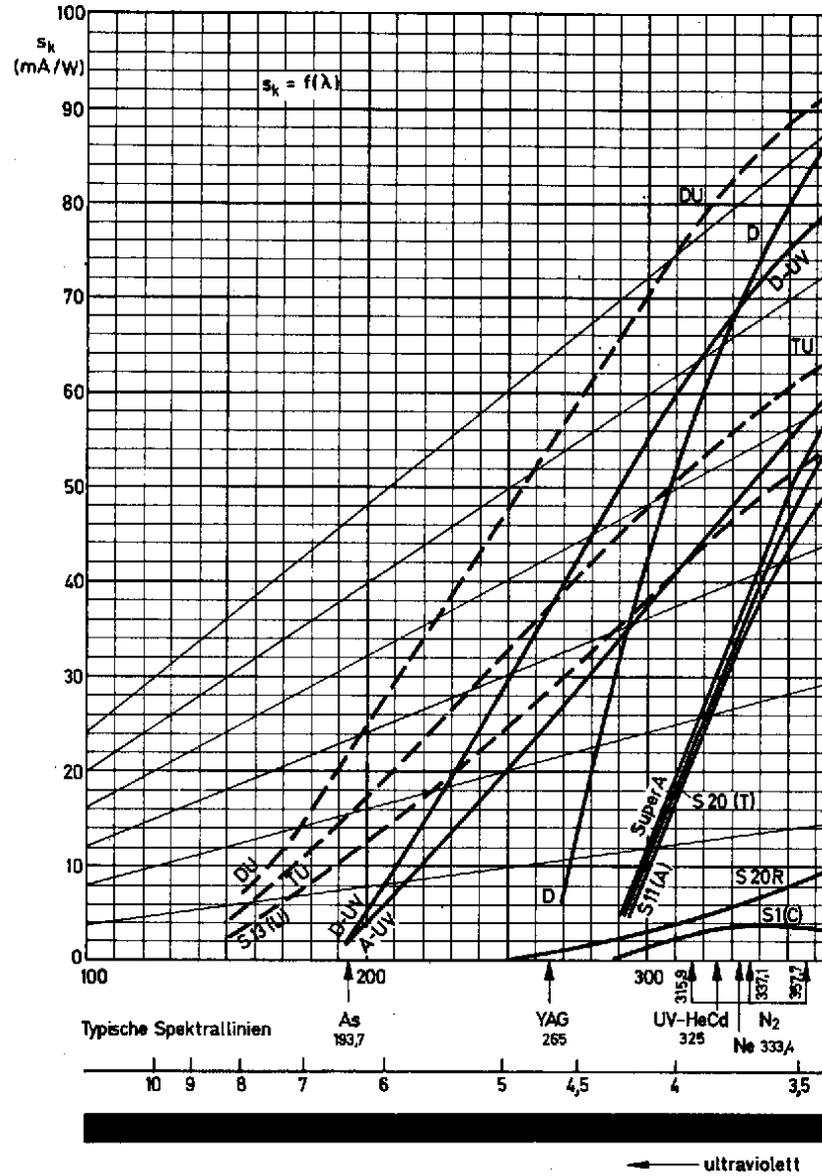
worin bedeuten

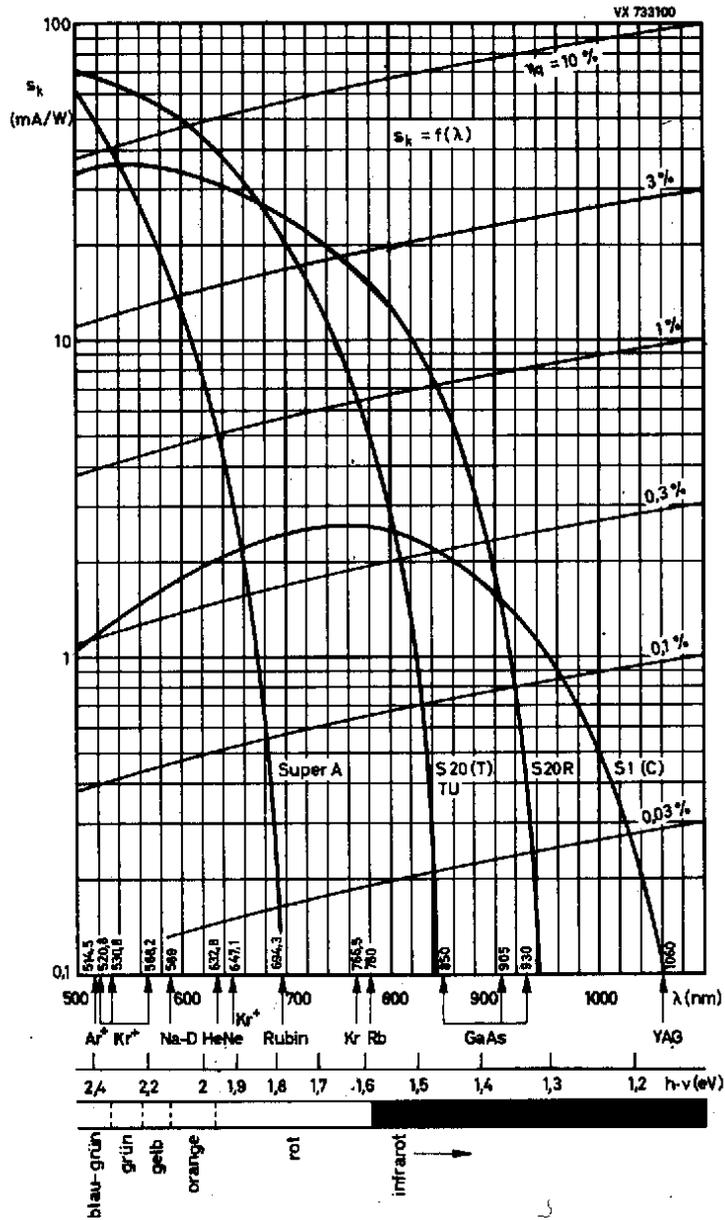
η_q = Quantenausbeute

s_k = Katodenempfindlichkeit

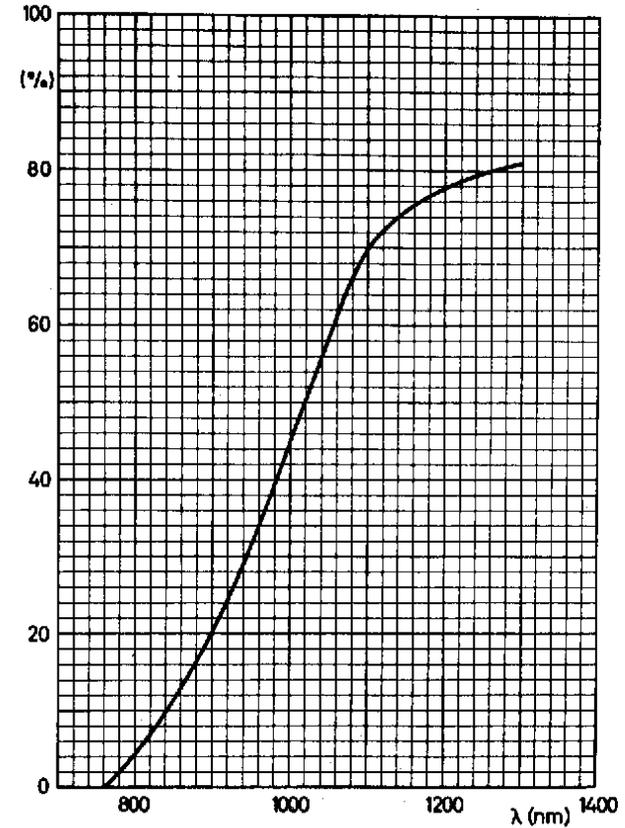
λ = Wellenlänge der einfallenden Strahlung.

Der Faktor 124 bzw. 1,24 ergibt sich aus der Umrechnung von nm in eV.





Spektrale Durchlässigkeit
des Infrarot-Filters Corning 2540 CS 94, Schmelze 1613, Dicke 2,61 mm





Anmerkungen zu einzelnen Angaben
in den Datenblättern von Fotovervielfachern

(Die Numerierung bezieht sich auf die entsprechenden Ziffern in den Datenblättern.)

- 1) Zur Verringerung des nachteiligen Einflusses von kleineren und mittleren magnetischen Feldern (z.B. erdmagnetisches Feld) auf die elektrischen Eigenschaften des Fotovervielfachers (Anodenfotostrom) sollte dieser mit einem Abschirmzylinder aus einem hochpermeablen Werkstoff umgeben werden.
Der Idealfall des unendlich langen Abschirmzylinders ist in der Praxis nicht gegeben. Das endliche Verhältnis von Länge zu Durchmesser der Abschirmung bedingt, daß das magnetische Störfeld in das Innere des Zylinders eingreifen kann.
Der Abschirmfaktor entlang der Längsachse des Abschirmzylinders erreicht seinen Maximalwert in der Zylindermitte. Wegen der endlichen Abmessungen des wirksamen Fotovervielfacherteils (Fotokatode, elektronenoptisches Eingangssystem, Vervielfachersystem und Anode) kann dieser maximale Abschirmfaktor für einen Fotovervielfacher jedoch nicht wirksam werden.
Der optimale Abschirmeffekt wird erzielt, wenn der Abschirmzylinder über die Außenfläche des Fotokatodenfensters hinausragt. Die Faustregel besagt, daß der Abschirmzylinder etwa um die Hälfte seines Durchmessers über die Außenfläche des Fotokatodenfensters hinausragen sollte.
- 2) Wird eine Schaltungsauslegung benutzt, bei der der positive Pol der Gesamtspeisespannungsquelle mit dem Chassis verbunden ist, und muß aus Isolationsgründen ein größerer Abstand zwischen der Außenfläche des Fotovervielfacher-Glaskolbens und der Innenfläche der Abschirmung eingehalten werden, so empfiehlt es sich, den Abschirmzylindertyp mit dem größeren Innendurchmesser zu wählen.
- 3) Der Fotovervielfacher darf nicht einer Helium-Sphäre ausgesetzt werden, da Helium durch das Borsilikat-Glas diffundiert.
- 4) Die Bialkali-Fotokatodenschicht besitzt einen relativ hohen Bahnwiderstand, der sich mit abnehmender Temperatur vergrößert.
Ein großer Fotokatoden-Spitzenstrom kann einen Spannungsabfall längs des Bahnwiderstandes hervorrufen, der die Feldverteilung im elektronenoptischen Eingangssystem und damit das Zeitverhalten des Fotovervielfachers ungünstig beeinflusst.
Es wird deshalb empfohlen, den Fotokatodenspitzenstrom bei $\vartheta_U = +25^\circ\text{C}$ auf 1 nA und bei $\vartheta_U = -30^\circ\text{C}$ auf 0,1 nA zu begrenzen.
- 5) gemessen mit Wolframfadenlampe (Farbtemperatur $2856 \pm 5\text{ K}$)
- 6) gemessen mit Wolframfadenlampe (Farbtemperatur $2856 \pm 5\text{ K}$) und Interferenzfilter (Halbwertsbreite 10 nm), durch Vergleich mit einem Thermoelement nach Schwartz

7) gemessen mit Wolframfadenlampe (Farbtemperatur 2856 ± 5 K) und Infrarot-Filter Corning 2540 CS 94, Schmelze 1613, Dicke 2,61 mm

$$8) \text{ Quantenausbeute } \eta_q (\%) = \frac{\text{Katodempfindlichk. } s_k (\text{mA/W}) \cdot 1,2396}{\text{Wellenlänge } \lambda (\text{nm})} \cdot 100 (\%)$$

9) gemessen bei $\phi_U = 25 \pm 5$ °C (bzw. 20 °C bei Fotovervielfachern mit Si-Fotokatode) nach einer längeren (im allgemeinen 15...30 min) Einlaufzeit in völliger Dunkelheit, in der der Fotovervielfacher u.U. von niedrigen Betriebsspannungswerten ausgehend stabilisiert wurde.

Der Fotovervielfacher sollte in Dunkelheit (mit Schutzkappe) gelagert werden.

Fällt bei Montage des Fotovervielfachers auch nur kurzzeitig ungedämpftes Tageslicht bzw. Strahlung von Fluoreszenzlampen in das Fenster des Fotovervielfachers, so kann bei anschließender Inbetriebnahme der Anodendunkelstrom anfänglich einen wesentlich höheren Wert als den im Datenblatt oder auf dem Meßprotokoll angegebenen annehmen.

Die durch den UV-Anteil in der Strahlung der genannten Quellen angeregte Phosphoreszenz im Fenstermaterial klingt im Verlauf von einigen Stunden ab, so daß sich der Anodendunkelstrom während des Betriebes des Fotovervielfachers langsam auf seinen ursprünglichen Wert verringert.

10) Bei der Verbindung der Gesamtpeisespannung U_p mit Chassis herrschen zwei Schaltungsauslegungen vor:

a) Der negative Pol der Gesamtpeisespannung ist mit Chassis verbunden. Die Fotokatode des Fotovervielfachers liegt ebenfalls auf Chassispotential. Seine Anode liegt gegenüber Chassis bzw. gegen den Eingang einer Folgeschaltung, der sich auf Chassispotential befindet, um die Gesamtpeisespannung hoch.

Bei Betrieb mit Strahlungsimpulsen (Szintillations-Detektor) sind Anode und Folgeschaltung durch einen hochspannungsfesten Kondensator, der der Übertragung der Ausgangsimpulse dient, galvanisch getrennt. Die Isolation des Kondensators muß besonders gut sein; ungenügende Isolation kann das Signal/Rausch-Verhältnis durch Mikroüberschläge im Dielektrikum ungünstig beeinflussen.

Das gilt auch für die Abblock-Kondensatoren an den Dynoden und für den Siebkondensator in der Hochspannungszuleitung vom Netzteil.

b) Der positive Pol der Gesamtpeisespannungsquelle ist mit Chassis verbunden. Die Anode des Fotovervielfachers liegt ebenfalls auf Chassispotential. Sie kann vorteilhaft galvanisch mit dem Eingang der Folgeschaltung, der sich auf Chassispotential befindet, verbunden werden. Die Fotokatode des Fotovervielfachers liegt dann gegenüber Chassis auf hohem negativem Potential ($-U_p$).

Das Chassis kann z.B. ein Abschirmzylinder gegen magnetische Störfelder oder ein Sondengehäuse bzw. Szintillatorgehäuse auf Chassispotential sein, der oder das in einem relativ geringen Abstand zur Außenfläche des Fotovervielfacher-Glaskolbens angeordnet ist. Oft wird der Glaskolben des Fotovervielfachers in der Nähe des Fensters durch eine zusätzliche Halterung oder durch den Szintillator in der gewünschten Lage zum Gehäuse zentriert und fixiert. Die Innenfläche des Glasfensters

und die Innenfläche des Glaszylinders des Fotovervielfacherkolbens sind mit der Fotokatodenschicht bedampft. Besitzt die Isolation zwischen Fotokatode und Chassis (Sondengehäuse, Abschirmung oder Zentrierung) einen geringeren Widerstandswert als $10^{15} \Omega$, so besteht die Gefahr, daß der sich ausbildende Isolationstrom, der von der Fotokatode durch die Wand des Glaskolbens über die Halterung zum Chassis fließt, Reaktionen in dem Glas und in der Fotokatodenschicht hervorruft, die die Fotokatodeneigenschaften ungünstig beeinflussen und das Signal/Rausch-Verhältnis verschlechtern. Dieser schädliche Isolationstrom durch die Wand des Glaskolbens kann unterbunden werden, entweder durch einen leitenden Belag (Metallfolie, Aquadagbelag) der auf den Glaskolben aufzubringen und mit Fotokatode zu verbinden ist, oder durch den Abschirmzylinder gegen magnetische Störfelder bzw. einen Al-Montagezylinder, wenn er auf Fotokatodenpotential geschaltet wird. Leitender Belag oder Abschirmzylinder bzw. Montagezylinder werden gegen Chassis (Sondengehäuse) isoliert. Die Gesamtpeisespannung liegt nun zwischen leitendem Belag oder Abschirmzylinder bzw. Montagezylinder einerseits und Chassis andererseits. Der Isolationstrom wird zwischen diesen Teilen fließen und keinen schädigenden Einfluß auf die Fotokatodenschicht nehmen können. Scharfe Kanten oder Spitzen an Chassisteilen in der Nähe des Fotokatodenfensters, die Hochspannungsüberschläge begünstigen, sind zu vermeiden, da Photonen, die von einem möglichen Spratzen und Sprühen herrühren, auf die Fotokatode gelangen und zusätzliches Rauschen verursachen können.

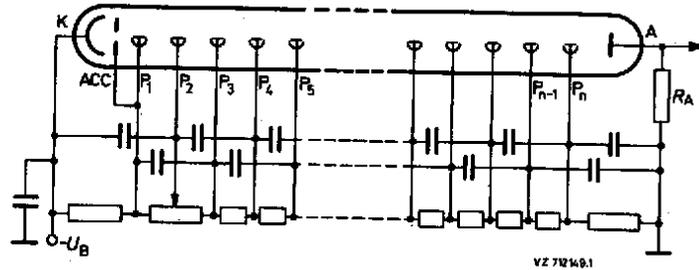
11) Bei der Ermittlung der Dunkelimpulsrate werden die Impulse gezählt, deren Amplitude zwischen den Äquivalenten von 1/10 und 10 Einzelfotoelektronen liegen, entsprechend den Diskriminatorschwellen $4,25 \cdot 10^{-13}$ bzw. $4,25 \cdot 10^{-11}$ As.

12) gemessen mit einer Diskriminatorschwelle von $4,25 \cdot 10^{-13}$ As

13) Zwischen der Stromverstärkung V_i des Fotovervielfachers und der angelegten Gesamtpeisespannung U_p besteht ein exponentieller Zusammenhang. Soll die Gesamtverstärkung auf besser 1 % konstant gehalten werden, so darf die Gesamtspannung um nicht mehr als 0,1 % schwanken. Praktisch ist die Verstärkung jedoch außerdem noch abhängig von der Zuführung der Teilspannungen an die einzelnen Dynoden. Geschieht dies in relativ einfachen Schaltungen über einen ohmschen Spannungsteiler, so muß dafür gesorgt werden, daß der Querstrom durch die Teilerwiderstände groß ist gegen den Anodenstrom des Fotovervielfachers. Für eine Konstanz der Gesamtverstärkung von besser 1 % wird ein 100facher Querstrom erforderlich.

Bei Impulsbetrieb kann der mittlere Anodenstrom des Fotovervielfachers sehr klein sein. Doch können Anodenstromspitzen einige 10 bis 100 mA betragen. Diese Ströme werden durch die letzte Dynode dem Spannungsteiler entnommen, und in geringerem Umfang von den vorhergehenden Dynoden. Bei einem zu geringen Querstrom durch den Spannungsteiler wird als Folge dieser hohen Stromspitzen ein Zusammenbruch der Spannung zwischen den letzten Dynoden und eine entsprechende Zunahme an den ersten eintreten. Das Ergebnis ist eine starke Schwankung des Verstärkungsfaktors und der Laufzeit.

Durch eine Parallelschaltung von induktionsarmen Kondensatoren zu den Spannungsteilerwiderständen mit kurzen Zuleitungen unmittelbar an den Fassungskontakten kann bei mittleren Impulsbelastungen ein Schwanken der Dynodenpotentiale und damit der Verstärkung sowie der Laufzeit hinreichend verringert werden. Für die Verarbeitung hoher Impulsraten mit hohen Amplituden



bzw. großer Dauer ist es wichtig, daß der Spannungsteiler im Bereich der letzten Dynoden genügend niederohmig ist. Einige Möglichkeiten, einen niederohmigen Spannungsteiler zu realisieren, sind:
 Z-Dioden-Schaltungen - Kaskadenschaltung von Netzgeräten - Hintereinanderschaltung von Differentialverstärkern mit Emitterfolgern niedriger Impedanz aus Leistungstransistoren mit hohen zulässigen Kollektorspannungen.

- 14) Bis zu den angegebenen Werten ist die Amplitude des Anodenstromimpulses mit einer Abweichung von max. 2 % linear proportional zur Intensität des Bestrahlungsimpulses gemessen mit Doppelstrahlungsimpulsen von 100 ns Dauer, 500 ns Abstand und einem Amplitudenverhältnis von 2 : 1.
- 15) bei Gesamtbestrahlung der Fotokatode mit sehr kurzen Strahlungsimpulsen (Halbwertsbreite < 1 ns) aus einer offenen Luftfunkenstrecke ($\lambda \approx 407 \text{ nm}$); Die Gesamtlaufzeit ändert sich mit $\sqrt{U_B}$.
- 16) bei punktförmiger Bestrahlung der Fotokatoden-Mitte und des -Randes in dem in Klammern angegebenen Abstand vom Mittelpunkt mit sehr kurzen Strahlungsimpulsen (Halbwertsbreite < 1 ns) aus einer offenen Luftfunkenstrecke ($\lambda \approx 407 \text{ nm}$)
- 17) Standardabweichung der Gesamtlaufzeit von Einzelfotoelektronen
- 18) oder ein niedrigerer Betriebsspannungswert, bei dem der Fotovervielfacher mit Spannungsverteilung A die angegebene maximale Stromverstärkung oder Anodenempfindlichkeit erreicht
- 19) Anodenstrommittelwert
- 20) Die Amplituden-Stabilität des Ausgangsimpulses ist anodenstromabhängig. Bei hohen Anforderungen an die Stabilität sollte der Anodenstrommittelwert auf $\frac{1}{10}$ des maximalen Mittelwertes begrenzt werden.
 Die Stabilität der Ausgangsimpuls-Amplitude wird an einem Vielkanalanalysator ermittelt und als mittlere prozentuale Kanallagenänderung der Fotolinie 662 keV in einem Impulshöhenspektrum der γ -Strahlung von ^{137}Cs angegeben.

Bei der Messung der Langzeitstabilität D der Impulsamplitude wird bei einer Zählrate von 10 000 Imp/s in der Fotolinie während 16 Stunden stündlich die Kanalzahl notiert. Die mittlere prozentuale Kanallagenänderung D ergibt sich aus

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{P} - P_i|}{n \cdot \bar{P}} \cdot 100 \%$$

worin bedeutet:

n = Anzahl der Messungen

\bar{P} = arithmetischer Mittelwert der Kanalzahl der Fotolinie

P_i = Kanalzahl der Fotolinie der i-ten Messung

Bei der Messung der Stabilität A der Impulsamplitude gegenüber Zählratenänderungen wird die Zählrate von 10 000 Imp/s in der Fotolinie auf 1000 Imp/s durch eine schnelle Abstandsänderung der radioaktiven Quelle herabgesetzt.

Während der ersten 40 Minuten nach der Zählratenänderung werden 4 Messungen im Abstand von je 10 min vorgenommen und die Kanallage der Fotolinie notiert. Die mittlere prozentuale Kanallagenänderung A ist

$$A = \frac{\sum_{i=1}^4 |\bar{P} - P_i|}{4 \cdot \bar{P}} \cdot 100 \%$$

Beide Messungen entsprechen der IEEE-Empfehlung ANSI-N42-9-1972.

- 21) Betriebsspannung zwischen benachbarten Dynoden
- 22) Bei der Bemessung des Arbeitswiderstandes und Festlegung des Betriebsspannungswertes U_{APn} ist der Spannungsabfall am Arbeitswiderstand (= Anodenstromimpuls-Spitzenstrom $I_A \times R_A \parallel R_2$) zu berücksichtigen ($U_{APn} \geq U_{APn \text{ min}} + \text{Spannungsabfall am Arbeitswiderstand}$).
 Fehlt in den Grenzdaten die Angabe zum minimalen Betriebsspannungswert, muß ein Wert oberhalb des Kennlinienknies für gesättigten Anodenstrom aus dem Diagramm $I_A = f(U_{APn})$ gewählt werden.
- 23) Um hochfrequentes Nachschwingen infolge der Zuleitungsinduktivitäten zu verringern, ist in die Zuleitung zu dieser Dynode ein Dämpfungswiderstand von $51 \Omega/0,5 \text{ W}$ innerhalb des Fotovervielfachersockels eingefügt.
 Bei den Fotovervielfachern der Typenfamilie 56 AVP gilt dies ab Seriennummer 31000.
- 24) Bei der Handhabung des Fotovervielfachers und bei Belastung der Fensterfläche ist wegen Implosionsgefahr Vorsicht geboten.
- 25) Fassungen, die für die Aufnahme von Fotovervielfachern mit Preßglasboden vorgesehen sind, müssen mit flexiblen Zuleitungen zu den Kontaktfedern versehen sein, um ein Ausweichen der Kontaktfedern beim Einsetzen des Fotovervielfachers zu ermöglichen.
 Ein Fotovervielfacher mit einem Sockel aus einem Preßglasboden mit eingeschmolzenen Metallstiften besitzt größere unvermeidbare Fertigungstoleranzen in der Lage der Stifte auf dem Teilkreisdurchmesser als ein Fotovervielfacher mit Kunststoffsockel.

Bei der Fassung mit starr verdrahtet oder direkt auf die Leiterbahnen einer Platine aufgelöteten Fassungskontakten ist die Beweglichkeit der Kontaktfedern stark eingeschränkt. Beim Einsetzen des Fotovervielfachers in diese Fassung besteht Gefahr durch Glasspannungssprünge am Fotovervielfachersockel, die den sofortigen Ausfall des Fotovervielfachers oder eine langsame Verschlechterung der Rauscheigenschaften durch Lufteinbruch zur Folge haben.

- 26) Um Glasspannungssprünge des Kolbens im Bereich des Kunststoffsockels zu vermeiden, sollte der Betrieb auf den angegebenen Temperaturbereich begrenzt werden. Für den Einsatz bei tieferen Temperaturen kann die Ausführung ohne Kunststoffsockel verwendet werden oder ist beim Hersteller rückzufragen.
- 27) Entwicklungsbezeichnung
- 28) auf die Fensterinnenseite aufgedampfte, streifenförmige Zuleitungen zur Verringerung des Einflusses des rel. hochohmigen Schichtwiderstandes der Bialkali-Fotokatode auf die Feldverteilung bei hohen Fotokathoden-Impulsspitzenströmen
- 29) Die Proportionalität zwischen Quantenenergie und Impulsamplitude wird zusätzlich mit dem Quecksilberisotop ^{203}Hg bei den Fotolinien 279 keV und 77 keV geprüft.
- 30) U_{ACCK} auf max. I_A einstellen
- 31) plan innerhalb 0,2 mm über den Durchmesser von 111 mm
- 32) Der Glassockel des Fotovervielfachers ist nicht lichtdicht. Es ist ggfs. darauf zu achten, daß hierdurch keine störenden Einflüsse auftreten.
- 33) Bei Ersatz eines Exemplares der Typenfamilie 56 AVP durch einen XP 2020 bzw. XP 2020 Q ergeben sich ohne Schaltungsänderung dieselben Eigenschaften. Für eine Nutzung der verbesserten Eigenschaften des Typs XP 2020 bzw. XP 2020 Q ist jedoch bei einem Ersatz die Beschaltung zu ändern. Die Stifte 15 und 16 sind innerhalb des Sockels miteinander verbunden.
- 34) Kurzzeitbetrieb
- 35) R_1 = Widerstand zur Strombegrenzung bei ungewollten (Kurz-) Schlüssen zwischen leitendem Belag M bzw. Montagezylinder und Chassis
- 36) Der Acrylglas-Lichtleiter begrenzt die UV-Durchlässigkeit des Fotovervielfacherfensters bei etwa 300 nm. Unter der Typenbezeichnung 56 137 ist ein Quarzglas-Lichtleiter für einen nachträglichen Austausch erhältlich, dessen UV-Transmissionsgrenze bei etwa 180 nm liegt. Bei Bestellung mit der Typenbezeichnung XP 2040 Q bzw. XP 2041 Q wird der Fotovervielfacher mit dem Quarzglas-Lichtleiter ausgerüstet.
- 37) Der stoßstellenfreien optischen Kopplung des Lichtleiters mit dem Fotovervielfacherfenster dient Silikonfett. Eine 100 g-Tube vom Typ SI 7 der Fa. Rhone Poulenc Industrie, Departement Silicones, 38 Rue Marboeuf, Paris 8, in Deutschland vertreten von der Fa. Rhone Poulenc Chemie, 6000 Frankfurt, Gutlentstr. 30, Telefon (0611) 26 96 1, gehört zum Lieferumfang.

- 38) Die Speisespannung für die einzelnen Dynoden kann durch ohmsche Spannungs- teilung aus der Gesamtpeisespannung U_B gewonnen werden.

Spannungsverteilung A ergibt die höchste Stromverärterkung, Spannungsverteilung B ergibt höhere Spitzenströme und einen größeren Proportionalitätsbereich. Spannungsverteilung B' ist besonders geeignet für gutes zeitliches Verhalten bei Impulsbetrieb.

Vielfach kann durch das Potential an einzelnen Dynoden die Größe des Ausgangssignals beeinflußt werden.

Für die Entkopplungskondensatoren werden folgende Werte empfohlen:

$$\begin{aligned} C_1 &= 100 \text{ q/} & U_b \\ C_2 &= 100 \text{ q/} & 3 U_b \\ C_3 &= 100 \text{ q/} & 9 U_b \\ & \vdots & \\ C_n &= 100 \text{ q/} & 3^{n-1} U_b \end{aligned}$$

mit q als Ladung des Anodenstromimpulses.

- 39) Da sich der Dunkelstrom bei einer Temperaturerhöhung um 7 K verdoppelt, muß die Anodenempfindlichkeit so begrenzt werden, daß der maximal zulässige Anodenstrommittelwert nicht überschritten wird.
- 40) Das Gitter G liegt vor der Anode A zwischen den Dynoden P_{11} und P_{12} . Seine Drähte verlaufen parallel zu denen der Anode (Schattenstellung). Es verhindert, daß Elektronen von der 11. Dynode direkt auf die Anode gelangen und vermindert Rückwirkungen von Elektronen auf die Anode auf deren Weg von der 11. zur 12. Dynode. Mit der Betriebsspannung am Gitter kann der Impulsspitzenstrom und das zeitliche Auflösungsvermögen beeinflußt werden.
- 41) Für optimale Auflösung von Spitzenamplituden wird empfohlen, die Spannung zwischen Katode und 1. Dynode mit einer Z-Diode auf etwa 200 V zu halten.



Typenübersicht

Typ	Bezeichnung	Seite
FE 1004	Fassung aus Formstoff mit 12 vergoldeten Kelchfederkontakten und Montageflansch	305
FE 1012	Duodekal-Fassung aus Formstoff mit versilberten Federkontakten und separatem Montagering	307
FE 1014	Diheptal-Fassung aus Formstoff mit versilberten Federkontakten und separatem Montagering	309
FE 1020	Bidekal-Fassung aus Formstoff mit versilberten Federkontakten und separatem Montagering	311
FE 1114	Fassung aus Formstoff mit 14 vergoldeten Kelchfederkontakten und Montageflansch	313
FE 2019	Fassung aus Formstoff mit 19 versilberten Federkontakten und separatem Montagering	315
FE 2021	Fassung aus Formstoff mit 21 versilberten Federkontakten und separatem Montagering	317
56 127		
56 128		
56 129		
56 130		
56 131		
56 132	Abschirmungen aus hochpermeablem Werkstoff mit 1 mm Wandstärke	319
56 133		
56 134		
56 134-S		
56 135		
56 138-01		
56 137	Lichtleiter aus Quarzglas	321