

BStU

Archiv der Zentralstelle



MfS – OTS

Nr. 2503

E. 20. 0. 86 kkl.

Vertrauliche Verschlusssache
GR 4/21 - 556186/CVD
1. Ausfertigung 46 Blatt

BStU
000001

Studie zum Thema JO - 4.05
Themen-Nr. 5454

erarbeitet: Beckert
Bethge
Müller, H.
Naumann

U 61

J. V. Reccius
Reccius

U 6

Dr. Schlott
Dr. Schlott

Jena, den 16. Juni 1986
6.1.1. U 61/Be/Bg/HMi/Oz
76 214

Verteiler

Ag
U 61
GT 4
Archiv

Inhaltsverzeichnis

0.	Einleitende Bemerkungen zur Aufgabenstellung	2
1.	Grundaufbau des Erzeugnisses JO - 4.05	4
2.	Kriterien für die Auswahl des Modulationsverfahrens und Systemkonzept	4-5
3.	Aufbau des Senders	5
3.1.	Schaltungsbeschreibung und Parameter des Senders	5-7
3.2.	Probleme beim Einsatz der diskreten Lasendiode	8
3.3.	Aufwandsabschätzung bei Realisierung aller geforderten Parameter	8-9
4.	Aufbau des Empfängers	9
4.1.	Schaltungsbeschreibung und Parameter des Empfängers	9-10
5.	Vergleich verschiedener Übertragungssysteme und deren Systemkennwerte	10
5.1.	Videomodulation im Basisband	10-11
5.2.	Videomodulation mit PFM	12
5.3.	Basisbandmodulation bis 30 MHz	13
6.	Untersuchungen zu den Optikeinheiten für Sender und Empfänger	14
6.1.	Sendeoptik	14
6.1.1.	Voraussetzungen für die Untersuchungen zur Optikeinheit	14-16
6.1.2.	Zusammenhänge für die auf den Empfänger gelangende Strahlungsleistung	16-22
6.1.3.	Grundprinzipien von Sendeoptikeinheiten	22-24
6.1.4.	Diskussion möglicher Sendeoptikvarianten	24-28
6.2.	Empfangsoptik	28
6.2.1.	Voraussetzungen	28
6.2.2.	Abschätzung der Empfangsoptikparameter	28-30
6.2.3.	Schlußfolgerungen für die Empfangsoptik	30
7.	Überarbeitung des Zielfernrohres der JO - 4.02 für den Einsatz einer Okularverlängerung	31
8.	Konstruktives Prinzip JO - 4.05	31
9.	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	31-36
10.	Weitere Themenbearbeitung	36
11.	Literaturverzeichnis	37-38
<u>Anlagen</u>		
	Abbildungen 1 bis 8	39-46

0. Einleitende Bemerkungen zur Aufgabenstellung

Laut Aufgabenstellung (VVS 0052B 192/84) ist eine optoelektronische Übertragungseinrichtung im Übertragungsmedium A zu konzipieren, die innerhalb von vier Kanälen versch. Übertragungskapazitäten Informationstransfer gestaltet. Ausgehend vom Basiskanal mit einer Übertragungsbandbreite von 5 MHz sind weitere Kanäle mit Übertragungsbandbreiten von 100 kHz, 500 kHz und 30 MHz davon abzuleiten.

Den Schwerpunkt der Studie bildet die Informationstransfer von 5 MHz bzw. 30 MHz, da in Vorgängergeräten (VVS 002/J04.03) die weiteren Übertragungsbandbreiten schon realisiert sind. Im folgenden werden Schaltungsentwurfsvarianten für verschiedenen Übertragungsverfahren zur Realisierung der geforderten Parameter aufgezeigt und diskutiert. Als Strahlerquelle soll die HL-Laserdiode VQ 150, als Empfänger-Fotodiode die BPX 20 oder BPX 65 zur Anwendung kommen.

Weiterhin werden, ausgehend von der Strahlungsleistung des Senders und Empfindlichkeit des Empfängers, Berechnungen zur Optik der einzelnen Systemkomponenten unter dem Aspekt der in der Aufgabenstellung geforderten Reichweite sowie der Systemeigenschaften und Grenzen der Übertragungseinrichtung aufgezeigt.

1. Grundaufbau des Erzeugnisses JO - 4.05

Das Erzeugnis JO - 4.05 stellt eine optoelektronische Nachrichtenübertragungsstrecke mit folgenden Geräten auf Station 1 bzw. Gegenstation 2 in 2 km Entfernung dar. Auf Station 1 befindet sich ein Breitbandsender JO - 4.05/S, der moduliert sowie unmoduliert betreibbar ist, und ein Empfänger JO - 4.05/E. Ein Richtfernrohr (analog JO - 4.02, nur mit Fadenkreuz) mit Justierelementen, den Abmessungen von Sender JO - 4.05/S und Empfänger JO - 4.05/E angepaßt, soll als mechanische Justierbasis für die Aufnahme des Senders bzw. Empfängers dienen.

Auf der Gegenstation 2 befindet sich das Gerät JO - 4.06, was vom mechanisch-optischen Grundaufbau dem Gerät JO - 4.02 entspricht. Im folgenden werden die Hauptparameter der Geräte aufgezeigt:

- JO - 4.06
bestehend aus Sender: Modulationsbandbreite 16 kHz bzw. 500 kHz, Strahlertyp: VQ 120 C, evtl. abgelöst durch HLP 60 RGD von Hitachi
und Empfänger: 4 Empfangskanäle mit Bandbreiten von 16 kHz, 500 kHz, 5 MHz und 30 MHz
Empfangsdiode BPX 65 oder SP 120
- JO - 4.05/S
Breitbandsender mit einer gesamten Modulationsbandbreite von 30 Hz bis 30 MHz, Strahlertyp: evtl. VQ 150
- JO - 4.05/E
Empfänger aus einem Empfängerkanal mit der Bandbreite von 16 kHz
Empfänger evtl. BPX 65 oder SP 120
- Richtfernrohr
als mech. Justierbasis

BSU
000004

2. Kriterien für die Auswahl des Modulationsverfahrens und Systemkonzept

Die maximale Übertragungslänge einer Strecke im Übertragungsmedium Luft wird neben der Geometrie des Aufbaus bestimmt durch die Sendeleistung, Streckendämpfung und am Empfänger erforderliche Mindestleistung, welche vom Empfängerrauschen des Fotostromes der Fotodiode infolge von Fremdlichteinstrahlung, das nicht ausreichend optisch abgeschirmt werden kann oder wenn die Nutzstrahlung nur gering vom Signal moduliert ist, abhängig ist, im Gegensatz zur Lichtleiterübertragung, wo das Verstärkerrauschen einschließlich das Rauschen des Lastwiderstandes der Fotodiode dominiert.

In der atmosphärischen Übertragung treten Streckenverluste an Strahlungsleistung in Form von molekularer Absorption, (Dämpfungswerte zwischen 1 ... 2 dB/km), Partikelstreuung in Abhängigkeit vom Durchmesser der z. B. Wassertröpfchen und atmosphärischen Turbulenzen und Luftschichtungen auf. Dichte- und Brechzahländerungen der Luft verursachen Strahlverformung und Strahlauslenkung, die Kurzzeitschwankungen der in die Empfängerebene projizierten Strahlungsenergie bis hin in den tonfrequenten Bereich ($f \leq 2$ kHz) bewirken. Relativ stark schwankt die Dämpfung bei makroskopischen Änderungen von Temperatur und Luftfeuchte (z. B. bei Sonnenauf- und Sonnenuntergang). Bei einer direkten Modulation im Basisband (z. B. der Videomodulation) beeinträchtigen diese Störungen er-

heblich die Bildsynchronisation. Es wird ein Modulationsverfahren benötigt, das eine Demodulation stark verrauschter Signale ermöglicht und atmosphärische Störungen weitestgehend unterdrückt, auch wenn der Modulationsgewinn gegenüber der Basisbandmodulation nur gering ausfallen sollte. Der schaltungstechnische Aufwand erhöht sich, sollte jedoch aus Gründen der Störsicherheit Berücksichtigung finden. Schließt man die bisher bei $JO - 4.02/JO - 4.03$ verwendete Amplitudenmodulation aus Gründen der Störsicherheit und die Pulscodemodulation wegen des zu großen elektronischen Schaltungsaufwandes aus, so sind die Frequenzmodulation FM bzw. Pulsphasenmodulation PPM günstige Varianten. Die PPM benötigt gegenüber der FM eine größere hochfrequente Bandbreite. Die Entscheidung in Diskussion mit dem Ag fiel auf die FM. Die FM arbeitet um so störärmer, je größer die hochfrequente aufgewendete Bandbreite im Vergleich zur höchsten Nutzfrequenz ist, d. h. für einen großen Störabstand ist ein großer Frequenzhub bei einer hohen Trägerfrequenz erforderlich. Um die Trägerfrequenz zur Erreichung eines hohen Modulationsgewinns varrierbar unter Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit der Sendediode, auch im Hinblick der weiteren Themenbearbeitung, zu gestalten, muß ein Empfänger konzipiert werden, der für einen möglichst großen Frequenzbereich universell einsetzbar ist. Die Pulsfrequenzmodulation PFM bietet hierfür eine Alternativlösung. In den positiv gerichteten Nulldurchgängen der Frequenzmodulation werden Impulse gleicher Länge erzeugt. Die PFM hat gegenüber der PPM im Basisband keine höheren Harmonischen der Signalfrequenz. Die Demodulation kann unabhängig von der Trägerfrequenz f_0 mit einem Tiefpaß erfolgen. Um die hochfrequente Empfängerbandbreite möglichst gering zu halten, wird das im Empfänger dedektierte frequenzmodulierte Signal nach einer Begrenzer-Verstärkung in ein pulsfrequenzmoduliertes Signal umgewandelt. Bei Einsatz einer LED als Strahlerquelle ist die Erzeugung der PFM im Sendetrakt vorteilhaft, da dadurch ein Gewinn an Strahlungsleistung der LED erzielbar ist. Bei einer HL-Dauerstrich-Laserdiode ist durch diese Methode ein Gewinn an Strahlungsleistung nicht möglich. Im folgenden wird auf die Schaltungsbeschreibung von Sender und Empfänger näher eingegangen.

3. Aufbau des Senders

Die Sendeelektronik hat die Aufgabe, die eingesetzte Strahlungsquelle mit Strom zu versorgen, um Strahlungsleistung zu erzeugen. Falls nötig für die Informationsübertragung, muß der Strom und damit die Strahlungsleistung in geeigneter Weise modulierbar sein. Auf Grund der temperaturabhängigen Strahlungsleistung der Laserdiode und der Gefahr der thermischen Zerstörung ist weiterhin eine Regelschaltung zur Leistungsstabilisierung und Strombegrenzung erforderlich. Daraus ergibt sich ein Blockschaltbild gemäß Abb. 1.

3.1. Schaltungsbeschreibung und Parameter des Senders

Die in der Aufgabenstellung genannten Kennwerte und Forderungen sind von seiten der Senderelektronik prinzipiell erfüllbar, d. h., es war mit den zur Verfügung stehenden Bauelementen möglich, die Betriebsarten Amplitudenmodulation der Laserstrahlung und Frequenzmodulation eines Trägers, der wiederum die Laserstrahlung

amplitudenmoduliert, zu realisieren. Es wurden keine NSW-Bauelemente eingesetzt, lediglich zwei Halbleiter sind sowjetischer Herkunft (IC K531 GG1P als VCO und Transistor KT 6108 als Modulator); alle anderen Bauelemente stammen aus DDR-Produktion.

Im Versuchsaufbau konnten folgende technische Daten erreicht werden:

Stromversorgung

$U_s = 10 \dots 12 \dots 15 \text{ V}$
 $I_s \approx 300 \text{ mA}$
 Laserstrom: 150 mA
 VCO: 90 mA
 2 Relais: 20 + 30 mA
 Schutzschaltungen: 10 mA

BStU

000006

Strahlungsleistung

Frequenzmodulation
 3 ... 3,5 mW_{ss}
 Amplitudenmodulation
 2,5 ... 3 mW Gleichanteil + 3 ... 2mW_{ss} Signal

Modulationsbandbreite

Frequenzmodulation
 a) Träger 12,5 Mc ± Hub 4,5 Mc
 b) Träger 17,5 Mc ± Hub 6 Mc
 Amplitudenmodulation
 3-dB-Abfall bei Frequenzen $\approx 30 \text{ Hz}$ und $> 30 \text{ Mc}$

Zur Interpretation dieser Daten:

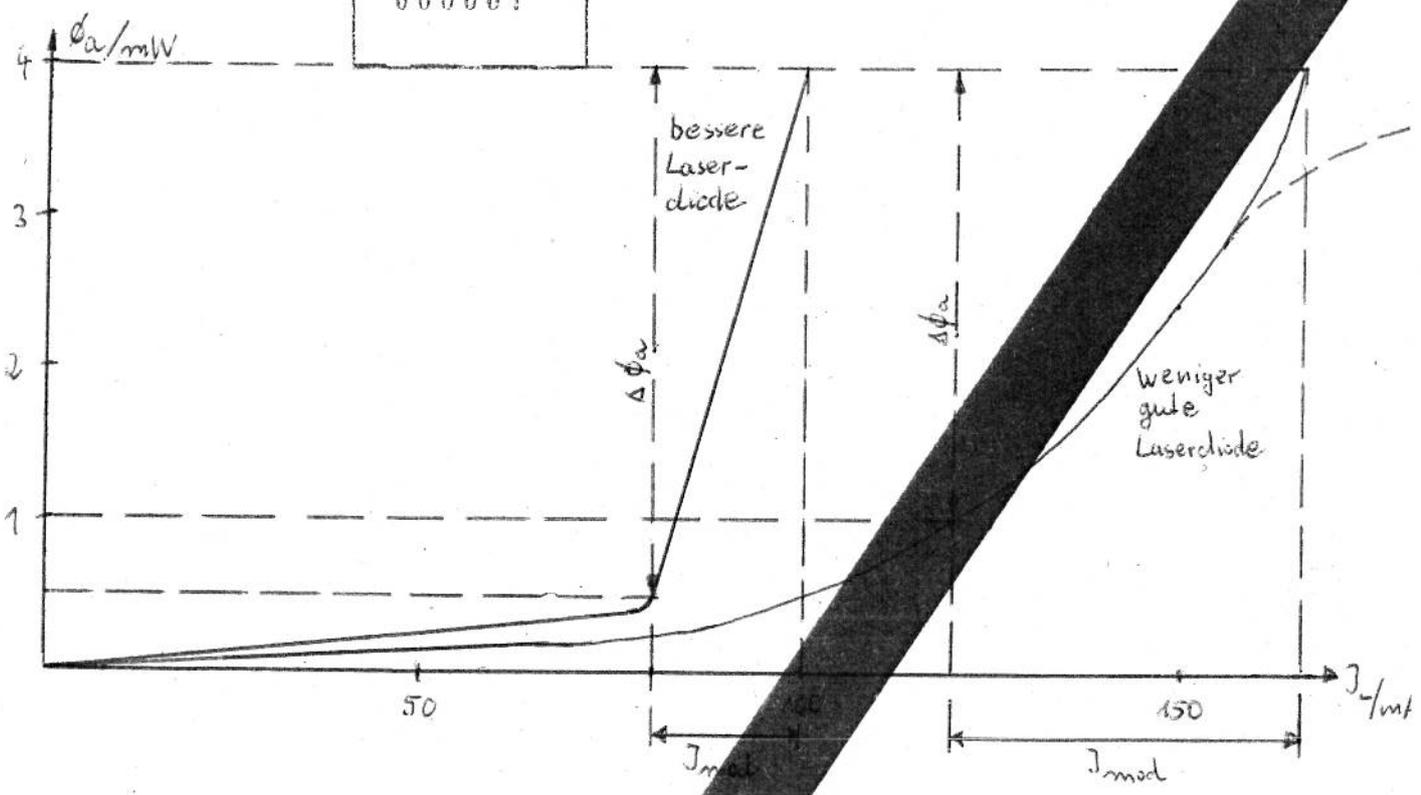
Der Speisestrom beträgt im Versuchsaufbau etwa 300 mA. Diese teilen sich auf in 150 mA Laserstrom, 90 mA Speisestrom für den VCO bei Frequenzmodulation, 50 mA für die beiden Relais, die die Umschaltung zwischen Amplituden- und Frequenzmodulation realisieren sowie 10 mA Speisestrom für die Schutz-, Regel- und Aussteuerelektronik der Laserdiode.

Bei hohen Laserströmen (um 150 mA) konnte aufgrund der Schaltungstechnik im Versuchsmuster nur eine untere Betriebsspannung von 11 V statt 10 V erreicht werden.

Die verwendeten Laserdioden haben eine vom Hersteller als Maximum angegebene Strahlungsleistung von 4 mW. Dieser Wert soll nicht, auch nicht kurzfristig im Sinne einer Pulsmodulation, überschritten werden. Der erreichbare Signalhub der Strahlungsleistung hängt von der verwendeten Laserdiode ab. Weniger gute Laserdioden weisen einen relativ hohen Schwellstrom (bis zu 150 mA), einen nur schwach ausgeprägten Kennlinienknick und einen nichtlinearen Zusammenhang zwischen Strahlungsleistung und Laserstrom im Laserbereich auf. Bessere Laserdioden besitzen einen kleinen Schwellstrom (Stand der Technik: 80 mA), einen schärferen Kennlinienknick und einen praktisch linearen Zusammenhang zwischen Strahlungsleistung ϕ_a und Laserstrom I_1 (Abb. 2). Das Auftreten des gestrichelt gezeichneten Kennlinienteils deutet auf starke Alterung und/oder Überlastung hin. Solche Exemplare sind kaum zu verwenden.

BSIU
000007

VVS GR 4/21 - 556/86/LVO/-7-



Aus technischen Gründen kann der durch den Modulationstransistor gesteuerte Modulationsstrom nicht beliebig groß werden, so daß eine minimale Strahlungsleistung von 0,5 ... 1 mW nicht unterschritten werden kann. Daraus folgt für die Frequenzmodulation ein maximaler Signalhub von $\Delta\phi_a = 4 \text{ mW} - 0,5 \text{ mW} = 3,5 \text{ mW}_{ss}$ (gute Laserdiode) bzw. $\Delta\phi_a = 4 \text{ mW} - 1 \text{ mW} = 3 \text{ mW}_{ss}$ (schlechtere Laserdiode). Bei Analogmodulation geht die Kennlinienkrümmung in den Klirrfaktor ein. Gute Exemplare lassen sicher $\Delta\phi_a = 4 \text{ mW} - 1 \text{ mW} = 3 \text{ mW}_{ss}$ bei Klirrfaktoren $< 10\%$ zu, schlechtere Exemplare können bei $\Delta\phi_a = 4 \text{ mW} - 2 \text{ mW} = 2 \text{ mW}_{ss}$ schon Klirrfaktoren $> 10\%$ erreichen. Zusätzlich kommt noch der Klirrfaktor des senderseitigen Amplitudenbegrenzers hinzu. Daraus folgt, daß die Frequenzmodulation (genauer: die Digitalmodulation allgemein) für Laserdioden besser geeignet ist, weil sie erstens überhaupt einen höheren Signalhub $\Delta\phi_a$ zuläßt und zweitens der Klirrfaktor durch Kennlinienkrümmung keine Rolle spielt.

Die Modulationsbandbreite des Senders hängt in erster Linie von der Modulatorschaltung ab, denn die Laserdiode selbst ist auf Grund ihrer äußerst geringen Anstiegszeit bis zu mehreren Hundert Megahertz durchmodulierbar. Der verwendete Modulator erlaubt im Versuchsaufbau eine Amplitudenmodulation mit den Grenzfrequenzen (3-dB-Abfall) $f_u \approx 30 \text{ Hz}$ und $f_c \approx 30 \text{ Mc}$. Damit sind alle Kanäle, die die AM benutzen, erfaßt (Sprachkanal, 500-Kc-Kanal, 30-Mc-Kanal). In der Betriebsart Frequenzmodulation ist versuchs halber eine Trägerfrequenzumschaltung vorgesehen. Es kann wahlweise zwischen 12,5 Mc Träger $\pm 4,5 \text{ Mc}$ Hub und 17,5 Mc Träger $\pm 6 \text{ Mc}$ Hub umgeschaltet werden. Der angegebene maximale Hub ergibt sich aus der Kennlinie $f_{vco}(U_{St})$. Um Verzerrungen im demodulierten Signal zu vermeiden, soll der lineare Bereich der Kennlinie $f_{vco}(U_{St})$ nicht verlassen werden.

3.2. Probleme beim Einsatz der diskreten Laserdiode

Die Laserdiode ist ein teures und Überlastungsempfindliches Bauelement, das deshalb geschützt werden muß. Dieser Schutz besteht in einem zweischleifigen Regelkreis, wobei der eine Regelkreis die Strahlungsleistung der Laserdiode unabhängig von der Temperatur konstant hält und der andere den maximalen Laserstrom begrenzt, um bei höheren Temperaturen ein thermisches Überfahren der Laserdiode zu verhindern. Es ist nachteilig, daß bei Erreichen des eingestellten Grenzstromes die Strahlungsleistung mit steigender Temperatur abfällt. Es muß in diesem Fall mit höherem Klirrfaktor und geringerer Strahlungsleistung gerechnet werden (abhängig von der Form der Kennlinie).

Es wurde bei zwei Laserdioden festgestellt, daß deren Fotostrom bei konstanter Strahlungsleistung mit der Zeit (Wochen) sinkt bzw. auch wieder steigt. Dieser Effekt ist unerwünscht und gefährlich. Bei sinkendem Fotostrom ist eine Überlastung und Zerstörung der Laserdiode zu befürchten, da deren Arbeitspunkt in Richtung größerer Strahlungsleistung verschoben wird, und bei steigendem Fotostrom ist eine fallende Strahlungsleistung und ein höherer Klirrfaktor zu erwarten. Die Ursache dieses Effektes liegt vermutlich in der Änderung der relativen Lage des Fotodiodenchips zum Laserchip. Der Wandlerfaktor des Fotodiodenchips (das der SP 102) Fotostrom zu Bestrahlungsleistung ist auch bei mehrfacher Überlastung als konstant erkannt worden (100 h mit 10-fachem zulässigen Fotostrom betrieben).

Desweiteren wurde bei einer Laserdiode folgendes festgestellt: Obwohl alle statischen Werte (Laserstrom, Laserleistung, Fotostrom, Kennlinienform) in Ordnung waren, wurden bei Strahlungsleistungen $\phi_a > 1$ mW wilde Schwingungen im Frequenzbereich einiger Hundert Megahertz festgestellt. Da solche Exemplare für eine Modulation ungeeignet sind, folgt daraus eine notwendige Vorprüfung aller Laserdioden mit einem schnellen Oszillografen.

Eine Kennlinienveränderung der Laserdiode auf Grund der Alterung kann in diesem Gerät nicht berücksichtigt werden. Aus Patentschriften ist ersichtlich, daß im NSW Geräte existieren, die mittels ständiger Kontrolle der Kennlinienform den Arbeitspunkt und den Modulationsstrom der Laserdiode auf ihre optimalen Werte regeln. Dazu ist ein mehrfacher elektronischer Aufwand nötig, der die Größe des Senders völlig sprengen würde.

Über Zuverlässigkeit bzw. Ausfallrate der Einzellaserdioden können noch keine Angaben gemacht werden.

Noch nicht geklärt ist die Frage, bis zu welcher maximalen Umgebungstemperatur die Strahlungsleistung von $\phi_a = 4$ mW ausgenutzt werden darf. Ohne diese Angabe kann der maximal zulässige Laserstrom nicht berechnet und eingestellt werden.

3.3. Aufwandsabschätzung bei Realisierung aller geforderten Parameter

Der schaltungstechnische Aufwand zur Realisierung aller geforderten Parameter und der notwendigen Sicherheitsschaltungen ist erheblich. Das liegt erstens an der notwendigen Steuer- und Schutzschaltung für den Arbeitspunkt der Laserdiode und zweitens an der gemischt analog-digitalen Modulation. Weiterhin sind noch verschiedene Anpaßstufen erforderlich, die die Signalquelle an die Eingangsstufe anpassen (im Stromlaufplan des Senders nicht darge-

stellt). Beim serienmäßigen Aufbau solcher Geräte muß jede Laserdiode geprüft werden (siehe Punkt 3.2.); es müssen zwei 1Ω -Widerstände auf $\approx 0,1\%$ ausgemessen und deren Wert auf der Leiterplatte vermerkt werden oder besser auf $1 \Omega \pm 0,1\%$ abgeglichen werden, und weiterhin müssen Einstellregler ausgesucht werden, die ihren Widerstand von einem Endpunkt zum Schleifer über der Zeit konstant halten. (Es wurde festgestellt, daß einige Exemplare ihre Werte sporadisch ändern. Das führt zu einer unerwünschten Amplitudenmodulation des Laserstromes). Im endgültigen Gerät sind wenigstens neun Einstellregler abzugleichen (je zwei für Digital-, Analogmodulation, Gleichlichtbetrieb, Modulationshub und einer für den AM-Modulationsgrad). Vorzusehen ist ferner eine Modulationsanzeige für den AM-Betrieb. In der späteren Produktion muß unbedingt ein Prüfmittel zur Messung der Strahlungsleistung (Gleich- und Wechselanteil) vorhanden sein. Es macht sich nachteilig bemerkbar, daß praktisch alle einzustellenden Größen von den Daten der Laserdiode abhängen, d. h., diese Größen müssen nach einer Rechenvorschrift aus dem Kennlinienblatt der Laserdiode berechnet werden (Fehlerquelle!).

Es läßt sich abschätzen, daß die Elektronik des Senders viel größer werden wird als die Optik. Abgesehen von der Stromversorgung wird das Sendergehäuse (Elektronik und Optik) etwa die Abmessungen $200 \times 120 \times 70$ (mm)³ aufweisen; evtl. müssen Bauelemente angeordnet werden, zweiseitig kaschierte Leiterplatten verwendet werden, zwei Leiterplatten übereinander angeordnet werden o. ä.

Beim Laboraufbau des Prüfsenders wurde eine Einlaufzeit von etwa $\frac{1}{4}$ h festgestellt. Dabei sank die Strahlungsleistung vom Anfangswert um etwa 18 % ab. Die Erscheinung wird in der Temperaturüberhöhung innerhalb des Sendergehäuses vermutet.

4. Aufbau des Empfängers

4.1. Schaltungsbeschreibung und Parameter des Empfängers

Der Empfänger enthält entsprechend dem Blockschaltbild Abb. 3 die Fotodiode mit Impedanzwandler, den Vorverstärker, Begrenzerverstärker, die Impulsformerstufe zur Umwandlung der FM in PFM und den Endverstärker. Zur Erzielung einer großen hochfrequenten Empfängerbandbreite und einer hohen Empfindlichkeit werden die unerwünschten Eingangskapazitäten des Impedanzwandlers weitestgehend kompensiert und nachfolgend der Frequenzgang der Stufe passiv korrigiert. Die Beschreibung der Eingangsschaltung sowie deren Parameter werden im Abschnitt 5. erläutert. Der nachfolgende Vorverstärker soll eine Spannungsverstärkung von rund 50 aufweisen. Am Eingang des dreistufigen Begrenzerverstärkers (Abb. 5) reicht schon ein Pegel von 20 mV aus, um aus dem dedektierten Eingangssignal wieder eine Rechteckfrequenzmodulation zu regenerieren. Zur besseren Flankensteilheit sollte der Typ K 500 LP 216 zur Anwendung kommen, jedoch reicht der langsamere Typ für Trägerfrequenzen unterhalb 30 MHz aus. Die Umwandlung von FM in PFM erfolgt mit Hilfe des doppelten OR/NOR-Gatters K 500 LM 109 und muß mit einer hohen Flankensteilheit

$t_r \leq 2,5$ ns eingangsseitig gesteuert werden. Die Umwandlung erfolgt auf der Basis, daß bei jedem positiv gerichteten Nulldurchgang (LOW-High-Flanke) Rechteck-FM-Impulse gleicher Länge der Dauer $D = 10$ ns erzeugt werden. D entspricht dabei der Laufzeit durch die Verzögerungsleitung (75-Ohm - BNC - Kabel von 2 m Länge). Bei höheren Trägerfrequenzen muß D verkleinert werden (Kürzen der Verzögerungsleitung). Die Verzögerungszeit ist temperaturunabhängig. Die gezeigte einfache Methode zur Umwandlung von FM in PFM erfolgt unsymmetrisch zum positiv gerichteten Nulldurchgang, die einen Phasenfehler, der bei einer Modulationsfrequenz f_m von 5 MHz jedoch gering ausfällt ($\Delta f = f_m \cdot D/2 = 2,5\%$) entsprechend zweier Gatterlaufzeiten und somit vernachlässigt werden kann, verursacht.

Das Verhältnis mittlere Trägerfrequenzperiode zur Impulsdauer (-breite) trägt zum Modulationsgewinn gegenüber der Basisbandmodulation bei. Im System wurde ein Verhältnis von 58 ns zu 10 ns ≈ 6 gewählt.

Galvanisch gekoppelt schließt sich an der Impulsformerstufe der Demodulator-Tiefpaß an. Sein Abschlußwiderstand Z_0 ist auf 50 Ω bemessen und die Grenzfrequenz beträgt 6 MHz (-3 dB). Es handelt sich um ein 9-poliges LC-Filter, seine Dämpfung beträgt ca 60 dB bei Trägermittelfrequenz $f_c = 17$ MHz. Als Induktivitäten sind Standardfilter aus dem VEB Hochfrequenzwerkstätten Meuselwitz Typen 3825 und 3705 vorgesehen. Proportional der Verzögerungszeit D liegt das Basisband mit einem Pegel von ca. 50 mV am nachfolgenden kapazitivgekoppelten Endverstärker an, der das Signal auf Normalpegel verstärkt, und der Impedanzwandler paßt das Signal auf Fernsehnormimpedanz 75 Ohm an. Der max. Ausgangspegel bleibt unabhängig von der Amplitude des dedektierten Eingangssignals konstant und erfordert damit keinen Einstellregler zur Anpassung an den Videoeingang.

Die Stromaufnahme des Gesamtsystems beträgt rund 200 mA. Die Betriebsspannung muß im Bereich (10 ... 15)V liegen. Die gesamte Elektronik ist in das Empfängergehäuse der JO - 4.02 integrierbar in Form von Einzelleiterplatten für Sender und Empfänger.

5. Vergleich verschiedener Übertragungssysteme und deren Systemkennwerte

5.1. Videomodulation im Basisband

Zwei Empfängervarianten zeigt Abb. 4.

In Variante I werden unerwünschte Eingangskapazitäten kompensiert, in dem der Ausgang des Impedanzwandlers über den Koppelkondensator $C = 0,1 \mu$ mit der Kathode der Fotodiode verbunden ist.

Die Sperrspannung der Fotodiode wird über $R = 1 \text{ k}$ zugeführt und muß, um die parasitäre Kapazität C_d der Fotodiode klein zu halten, $\geq 20 \text{ V}$ betragen. Die Spannungsverstärkung beträgt $+ 1$. Damit wird idealisiert bei Signalstromänderung innerhalb der FD die Spannung zwischen den Anschlüssen der FD Kathode und Anode konstant gehalten. Die Umladeprozesse der C_d werden praktisch nur gering gehalten, so daß die Kapazität unwirksam wird. Da die resultierende Eingangskapazität damit verringert wird, kann der Arbeitswiderstand R der FD vergrößert werden, und damit steigt der eingangseitige Störabstand. Am Eingang wird ein Feldeffekttransistor FET verwendet, um das Rauschen klein zu halten. Daran schließt sich eine Treiberstufe für die Kompensationsspannung an, die ebenfalls die Gate-Drain-Kapazität weitestgehend kompensiert. Die Leiterbahnabschnitte unmittelbar am Verstärkereingang werden mit der Kompensationsspannung geschirmt geführt. Die Anschlußwege der FD zur Leiterplatte müssen kurz gehalten werden ($\leq 10 \text{ mm}$). Das bedeutet, anders als in den Vorgängergeräten muß die Leiterplatte mit in den Justierblock aufgenommen werden. Die weitere Verstärkung erfolgt mit dem integrierten breitbandigen Operationsverstärker TDA 1078. In der weiteren Themenbearbeitung muß dieser für den Laboraufbau eingesetzte OV entsprechend nach Festlegung eines Modulationsprinzips ersetzt werden, entweder als diskreter Analogverstärker oder bei FM als Begrenzerverstärker (z. B. A 225).

Folgende Parameter werden erreicht:

Ohne Kompensation ist für eine Gesamtbandbreite von 5 MHz der maximale zulässige Widerstand $R = 4,7 \text{ k}\Omega$. Mit der Kompensationsspannung kann der Widerstand R für die gleiche Bandbreite auf $22 \text{ k}\Omega$ erhöht werden, eine Störabstandverbesserung um 10 dB . Die minimal mittlere Eingangslichtleistung für ein Signal-Rausch-Abstand von 40 dB beträgt bei Einsatz der BPX 65 $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ W}$, für SP 120 $1 \cdot 10^{-6} \text{ W}$. Die auf eine Bandbreite von einem Hertz und auf das optische Eingangssignal bezogene Rauschleistung beträgt somit bei BPX 65 $2,7 \cdot 10^{-12} \text{ W/Hz}$, SP 120 $4,5 \cdot 10^{-12} \text{ W/Hz}$. Die Variante II vergrößert die Bandbreite durch die Bootstrap-Wirkung des Transistors KT 363 B, der die Spannungsverstärkung zwischen Gate und Source des FET auf $+ 1$ aufstockt und somit die Gate-Drain-Kapazität als auch die Diodenkapazität C_d wirksam vermindert. Die Ergebnisse dieser Schaltung sind etwas schlechter im Vergleich zur Variante I.

Die Störsicherheit beider Varianten ist gering. Im Versuch konnte festgestellt werden, daß 10% Störanteil im Frequenzbereich von $(30 \dots 100) \text{ Hz}$ additiv dem BAS-Signal überlagert ausreichte, den Synchronisierzustand im Bildaufbau erheblich zu stören.

5.2. Videomodulation mit PFM

- Neben den Gründen, die im Abschnitt 2. aufgeführt wurden, dieses Modulationsprinzip anzuwenden, gilt es im folgenden, einen Vergleich zur Basisbandmodulation aufzuzeigen. Das Verfahren benötigt im Vergleich zur Basisbandmodulation eine höhere Empfängerbandbreite in Abhängigkeit vom Frequenzhub. (Es wurde die Empfangsschaltung Variante 1 gewählt.) Es werden alle Seitenbandamplituden übertragen, die $\geq 10\%$ der unmodulierten Trägeramplitude betragen, d. h. die Bandbreite beträgt

$$B = 2 (f_m + \Delta f) \quad \begin{array}{l} f_m - \text{Modulationsfrequenz} \\ \Delta f - \text{Frequenzhub} \end{array}$$

Die Festlegung der Trägermittelfrequenz f_0 und des Frequenzhubes richtet sich nach der Linearität des Sendermodulators (K 531 GG 1 P), die hin zu höheren Frequenzen starke Abweichungen aufweist, die wiederum bei Aussteuerung in diesem Bereich erhebliche Grauwertabweichungen im Empfänger bedeuten würden.

Bei Bestimmung des maximalen Frequenzhubes muß davon ausgegangen werden, daß bei einer mittleren Frequenz $f_0 = 17$ MHz (Aussteuerbereich (13 ... 21) MHz) der Phasenhub für die größte Signalfrequenz maximal $\Delta \varphi = 0,8$ betragen darf, damit das dritte untere Seitenband des Trägers, das im Durchlaßbereich des Demodulationstiefpasses liegt (für eine max. Signalfrequenz von 5 MHz bei $f_0 - 3 f_m = 2$ MHz), klein ist (etwa 1 % der Trägeramplitude). Für den Frequenzhub gilt:

$$\Delta f \leq \Delta \varphi \cdot f_m$$

Um eine Demodulation mit geringer Fehlerwahrscheinlichkeit des Auftretens von Störimpulsen zu garantieren, muß am Eingang des Begrenzerverstärkers ein Signal-Rausch-Abstand von mindestens 12:1 (Signalspitzenwert zur Wurzel aus dem quadratischen Mittelwert) bezogen auf das Empfänger-dunkelrauschen anliegen.

Systemkennwerte der Übertragungseinrichtung:

- mittlere Impulsfolgefrequenz f_0 : 17 MHz ($\tau = 58$ ns)
- Frequenzhub: 4 MHz
- Impulsdauer: 10 ns
- Empfängerbandbreite: 18 MHz
- minimale Impulseingangslichtleistung bei S/R-Abstand von 12:1 : $0,35 \cdot 10^{-6}$ W

Der Modulationsgewinn gegenüber der Basisbandmodulation liegt bei 1,5. Am Ausgang des Empfängerversuchsaufbaues konnte ein Signal-Rausch-Abstand bei einer Bandbreite von 5 MHz von 50 gemessen werden, bedingt durch einen Restträgeranteil.

5.3. Basisbandmodulation bis 30 MHz

Der Arbeitswiderstand R der Fotodiode (Schaltungsvariante I Abb. 4) muß auf 1 kOhm vermindert werden. Die minimale mittlere Eingangslichtleistung bei einem Signal-Rausch-Abstand von 40 dB beträgt $20 \cdot 10^{-6}$ W.

Auf Grund der hohen Modulationsbandbreite sinkt erheblich die Empfängerempfindlichkeit.

Die geforderte Reichweite laut Aufgabenstellung ist nicht realisierbar, wenn dieser 30 MHz-Kanal die Grundlage aller weiteren Kanäle bildet. Die Reichweite ist unter den geforderten Parametern auf 500 m zu beschränken.

6. Untersuchungen zu den Optikeinheiten für Sender und Empfänger (JO - 4.05/S und JO - 4.05/E)

STU

00014

6.1. Sendeoptik für Gerät JO - 4.05/S

Die Untersuchungen galten vorrangig diesem optischen System, denn zur Erfüllung der Forderungen der Aufgabenstellung (möglichst geringe Geräteabmessungen, dabei Reichweite $s = 2$ km für Breitbandübertragung) Einsatz eines anderen Sendeelementes als bei den Lasergeräten: anzustreben VQ 150, vgl. auch Pkt. 1.1.) stellt die Optimierung eines solchen Systems in Abhängigkeit vom eingesetzten Sender eine entscheidende Aufgabe.

6.1.1. Voraussetzungen für die Untersuchungen

- Einzusetzender Sender

Neben der angestrebten VQ 150 aus DDR-Produktion sollte, soweit im Rahmen des folgenden A-Schemas möglich, die Einsatzmöglichkeit der japanischen Lumineszenzdiode HLP 60 RGD (Firma Hitachi) geprüft werden, die vom Ag als Ablösevariante für den Sender JO - 4.06 vorgesehen ist.

Zusammenstellung der VQ 150 Parameter, die für die Optik-konzeption von Bedeutung sind

- Eine bestätigte, offizielle TGL existiert bisher nicht, damit gibt es noch keine gesicherten Daten.
- Beginn der Serienproduktion des kompletten Moduls VQ 150: vorgesehen: 1987
- Preis für Modul-Muster: ca. 29.800,-- M, für Serie ca. 12.000,-- M pro Stück
- Verkäufte Diode ist nicht im Produktionsprogramm des WFB; liegt als Anforderung des K-CZ seit 1984 an WFB dem MEE vor. Maßnahmen zur verstärkten Durchsetzung waren bisher erfolglos.

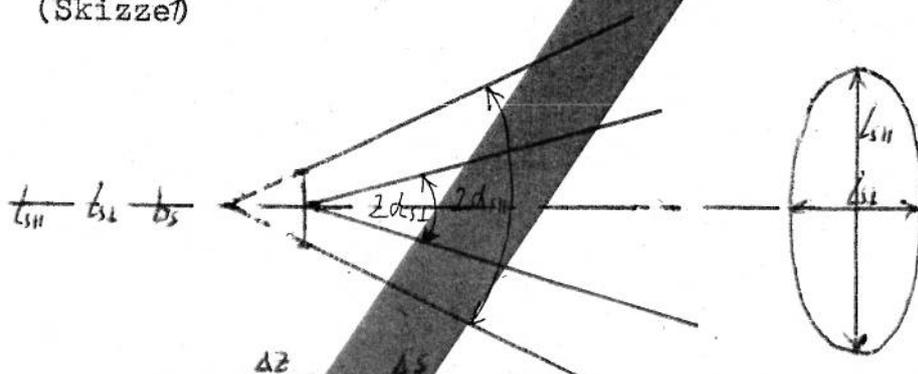
Eigentliche optische Daten (nach bisherigen Hersteller-informationen):

- Strahlerkante: Länge $b_s \approx 5 \mu\text{m}$, Breite $\approx 0,2 \mu\text{m}$
- Abstrahlung des Lasers ohne Faser:
 - (1) angestrebt wird für die Serie:
 - lateral und vertikal: Halbwertswinkel $2 \alpha_s \approx 35^\circ$ wobei: -lateral größere Inhomogenitäten der Strahlungsverteilung über Strahlquerschnitt auftreten können (insbesondere: Minimum etwa in der Achse)
 - vertikal: näherungsweise Gauß-Verteilung
 - (2) Nach Herstelleraussage zur Zeit realisiert:
 - lateral $35^\circ \lesssim 2 \alpha_{sl} \lesssim 50^\circ$
 - vertikal $30^\circ \lesssim 2 \alpha_{sl} \lesssim 40^\circ$

8510
000015

Im Modul werden nur die mit $2 d_{s\parallel} \approx 2 d_{s\perp} \approx 35^\circ$ eingesetzt.

- (3) Nach eigenen Messungen an einem älteren Muster:
vertikal: $2 d_{s\perp} \geq 60^\circ$, $2 d_{s\parallel} \approx 50^\circ$
- (4) Abweichungen der Strahlungskeulenachse von einer geometrischen, durch Gehäuse und Chiplage bestimmten Achse, müssen einkalkuliert und evtl. für die Justierung berücksichtigt werden.
(im gemessenen Fall: ca. 10° Abweichung zur Achse senkrecht zum Fenster)
- (5) scheinbare Ausgangspunkte der Strahlungskeule lateral und vertikal versetzt (Skizze 1)
 $2,7 \mu\text{m} \lesssim \Delta z \lesssim 4,7 \mu\text{m}$
- (6) Strahlquerschnitt mehr oder weniger elliptisch (Skizze)



Skizze 1: Halbwertswinkel; Strahlquerschnitt im Abstand Δs (Strahlerkante in Zeichenebene; laterale Schnittebene durch die Strahlungskeule in die Zeichenebene gedreht)

- (7) Strahlungsleistung : derzeitig 4 mW maximal bei 25°C
- (8) Wellenlängenbereich $(840 \pm 20) \text{ nm}$
Bandbreite $< 4 \text{ nm}$
- (9) Strahlerkantenlage im Gehäuse (Laborprod. des KCZ auf Basis Laserchip auf Zwischenträger, geliefert durch ZOS):
- Mittenlage auf $\pm 0,5 \text{ mm}$ genau
- Abstand von der Gehäusevorderfläche $\lesssim 4 \text{ mm}$, Justierung in Achsenrichtung vorzusehen
- (10) Komplettes Modul: - Faser:
Kerndurchmesser: $50 \mu\text{m}$
Manteldurchmesser: $125 \mu\text{m}$
Apertur: 0,2
Faserendenlänge: $(450 \pm 50) \text{ mm}$
- derzeitig vorgesehene garantierte Ausgangsleistung:
 $\bar{I}_{ss} = 1,5 \text{ mW}$ (Spitze-Spitze)

HLP 60 RGD - Parameter

Aus Firmeninformationsschrift /6.4./ bekannt:

- garantierte Ausgangsleistung: 30 mW

- Wellenlänge (typisch): 880 nm
- Größe der strahlenden Fläche: Durchmesser vermutlich $\approx 0,5$ mm
(Angaben dazu fehlen in der Firmenschrift /6.4.1/)
- Abstrahlungswinkel: rotationssymmetrisch,
Halbwertswinkel $2 \alpha_i \approx 120^\circ$
(Lambert-Strahlungsverteilung)
- Forderungen aus der Aufgabenstellung

Strahlwinkel (Senderdivergenz): $2 \sigma \approx 0,1^\circ$

Reichweite:

$s \geq 2$ km, zu bestimmen für
Kanal 3 (30 Hz bis 5 MHz)
und $\frac{s}{\lambda} = 100$ bei einer Norm-
sichtweite von 6 km und Ein-
satz der JO - 4.02 als
Empfangsstation

Baugröße:

möglichst gering halten,
d. h. möglichst kleine
Brennweite und Durchmesser
anstreben

6.1.2. Zusammenhänge für die auf den Empfänger gelangende Strahlungsleistung

Zur Abschätzung ist folgender allgemeiner Zusammenhang geeignet:

$$\Phi_E \approx \tau_o \tau_c \epsilon \bar{\Phi}_s \frac{A_E}{A_s} \quad (6.1)$$

mit: Φ_E : auf die Empfängerfläche gelangende Strahlungsleistung,

$\bar{\Phi}_{E_s}$: Spitze-Spitze-Wert, für Frequenzmodulation (FM) zu berücksichtigen

$\bar{\Phi}_E$: Effektivwert, bei Basisbandmodulation (BBM) zu berücksichtigen

Φ_s : in Abhängigkeit von Strahlertyp und Modulationsart ausnutzbare gesamte Senderleistung

$\bar{\Phi}_{s_s}$: Spitze-Spitze-Wert der bei FM ausnutzbaren Senderleistung

$\bar{\Phi}_s$: Effektivwert der bei BBM ausnutzbaren Senderleistung

A_E : wirksame Eintrittspupillenfläche der Empfangsoptik

A_s' : Fläche der mit dem optischen System erzeugten Bildes der Strahlungsquelle in der Entfernung s , wobei für eine lineare Ausdehnung (z. B. Durchmesser) gilt:

$$d_s' = \frac{s}{f_s} d_s \quad \text{mit}$$

f_s : Sendeoptikbrennweite

s : Entfernung

d_s : entsprechende Ausdehnung des Senderchips

- ξ : Transmissionsfaktor, bedingt durch die atmosphärische Dämpfung
- τ_v : Faktor zur Kennzeichnung der Optikverluste von Sende- und Empfangsoptik (im wesentlichen Reflexionsverluste an den Flächen):

$$\tau_v = \prod_{i=1}^n \tau_{0i} \quad \text{mit } n: \text{ Gesamtzahl der}$$

Flächen von Sende- und Empfangsoptik; $\tau_{0i} \approx 2\%$ bei entspiegelten Flächen)

- τ_L : Verlustfaktor, der erfaßt, welcher Anteil der ausgesandten Strahlungsleistung von der Sendeoptik erfaßt und kollimiert zum Empfänger gestrahlt wird, τ_L : abhängig von Optiköffnung und Strahlungsverteilung ("Strahlungskeulenform")

Der Zusammenhang (6.1.) läßt sich unter folgenden Voraussetzungen aus dem photometrischen Grundgesetz ableiten (vgl. z. B. 6.5.):

- Sende- und Empfangsoptikachsen stimmen überein mit der Verbindungslinie zwischen den Mittelpunkten der Austritts- bzw. Eintrittspupille,
- s so groß, daß das Entfernungsgesetz gilt ($s \geq 10 d_{so}$, d_{so} = Durchmesser der Sendeoptikaustrittspupille)
- Strahlstärke $\frac{d\Phi}{d\Omega} = \text{const.}$ im durch die optische Abbildung bestimmten Raumwinkel,
- homogene Ausleuchtung der Fläche A_s'
- ein Faktor τ_L für die Empfangsoptik muß nicht berücksichtigt werden (für nicht zu große Empfangsoptiköffnungen bei den verwendeten Empfangsmoden gerechtfertigt)

Im wesentlichen sind die Voraussetzungen erfüllt. Unsicherheiten in der Abschätzung von Φ_E nach (6.1.) liegen in der Abschätzung von τ_L (insbesondere wegen des Einflusses der Strahlungskeulenform) sowie in der Ausleuchtung von A_s' .

Hier sind Inhomogenitäten in Abhängigkeit vom Strahlerchip und vom Abbildungsprinzip möglich.

Für die Abschätzung sinnvoller Optikparameter ist die Größe

$\bar{\Phi}_E$ wesentlich. Dabei bedeuten:

$\bar{\Phi}_{E,s}$: Mindestleistung ($\bar{\Phi}_{E,s}$ bzw. $\bar{\Phi}_E$), die auf die Empfängerfläche gelangen muß, um das geforderte Signal-Rauschverhältnis mit genügender Sicherheit zu erfüllen.

$\bar{\Phi}_S$: ausnutzbare Senderleistung ($\bar{\Phi}_S$ bzw. $\bar{\Phi}_S$ entsprechend Erläuterungen zu (6.1.))

BSIU
 000018

Die ausnutzbare Senderleistung hängt stark von der Modulationsart ab (vgl. auch Pkt. 3.1.). Experimentell bestätigte Werte für verschiedene Sendertypen sind:

Für VQ 150: für FM: $\bar{\Phi}_{s,ss} \approx 0,8 \bar{\Phi}_{s,ss \text{ max}}$

für AM: $\bar{\Phi}_{s,ss} \approx 0,5 \bar{\Phi}_{s,ss \text{ max}}$ (Klirrfaktor $< 10\%$)

$$\bar{\Phi}_{s,ss \text{ max}} = \begin{cases} 4 \text{ mW} & \text{VQ 150 ohne Faser} \\ 1,5 \text{ mW} & \text{VQ 150 Modul mit Faser} \end{cases}$$

Für HLP 60 RGD: Die in der Firmenschrift (6.4.) angegebene Leistung

$$\bar{\Phi}_s = 30 \text{ mW ist } 12 \bar{\Phi}_{s,ss \text{ max}}$$

Damit wird die ausnutzbare Senderleistung:

Für FM: $\bar{\Phi}_{s,ss} \approx 0,8 \bar{\Phi}_{s,ss \text{ max}}$

Für AM: $\bar{\Phi}_{s,ss} \approx 0,6 \bar{\Phi}_{s,ss \text{ max}}$

Die erforderlichen Mindestempfangsleistungen hängen im wesentlichen von der Empfindlichkeit des eingesetzten Empfängsdiodyntyps ab. (Ein evtl. zu erwartender Modulationsgewinn für FM wurde nicht für die Abschätzungen berücksichtigt.) Die experimentell bestätigten Werte sind:

Für FM: $\bar{\Phi}_{s,ss \text{ min}} = 1 \mu\text{W}$ für SP 120/SP 102

$\bar{\Phi}_{s,ss \text{ min}} = 0,5 \mu\text{W}$ für BPX 65

Für AM: $E_{s \text{ min}} = 1 \mu\text{W}$ für SP 120/SP 102

$E_{s \text{ min}} = 0,5 \mu\text{W}$ für BPX 65

nachstehender Tabelle ergeben daraus die Verhältnisse $\frac{\bar{\Phi}_{E \text{ min}}}{\bar{\Phi}_s}$.

BStU
 000019

Sender	Modulationsart	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{min}}}{\bar{\Phi}_s}$ allgemein	$\bar{\Phi}_{SS_{max}}$ [mW]	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{min}}}{\bar{\Phi}_s}$ für Empfänger	
				SP 120/SP 102	BPX 65
VQ 150 ohne Faser	AM	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{min}}}{\bar{\Phi}_s}$ $\frac{0,5 \bar{\Phi}_{SS_{max}}}{\bar{\Phi}_s}$	4,0	$7.071 \cdot 10^{-4}$	$3.536 \cdot 10^{-4}$
	FM	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{s_{min}}}}{\bar{\Phi}_s}$ $0,3 \bar{\Phi}_{SS_{max}}$	4,0	$3.125 \cdot 10^{-4}$	$1.562 \cdot 10^{-4}$
VQ 150 mit Faser	AM	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{min}}}{\bar{\Phi}_s}$ $\frac{0,5 \bar{\Phi}_{SS_{max}}}{\bar{\Phi}_s}$	1,5	$1.886 \cdot 10^{-3}$	$9.428 \cdot 10^{-4}$
	FM	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{s_{min}}}}{\bar{\Phi}_s}$ $0,8 \bar{\Phi}_{SS_{max}}$	1,5	$8.333 \cdot 10^{-4}$	$4.167 \cdot 10^{-4}$
HLP 60 RGD	AM	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{min}}}{\bar{\Phi}_s}$ $\frac{0,6 \bar{\Phi}_{SS_{max}}}{\bar{\Phi}_s}$	60	$3.928 \cdot 10^{-5}$	$1.964 \cdot 10^{-5}$
	FM	$\frac{\bar{\Phi}_{E_{s_{min}}}}{\bar{\Phi}_s}$ $0,8 \bar{\Phi}_{SS_{max}}$	60	$2.083 \cdot 10^{-5}$	$1.042 \cdot 10^{-5}$

Abschätzung der Verlustfaktoren

- atmosphärische Dämpfung

Der Faktor ϵ , der diese Dämpfung beschreibt, die im wesentlichen durch molekulare Absorption und Streuung an Luftmolekülen und Aerosolen hervorgerufen wird, kann durch

$$\epsilon = \frac{\bar{\Phi}(s)}{\bar{\Phi}(s=0)} = e^{-zs} \quad (6.2.)$$

mit $\bar{\Phi}(s)$ = Strahlungsleistung nach Durchlaufen der Strecke s in der Atmosphäre

$\bar{\Phi}(s=0)$ = Strahlungsleistung des Senders

z = Extinktionskoeffizient

bestimmen werden (6.1.).

In der Aufgabenstellung soll die Reichweite $S = 2$ km für eine Normsichtweite $S_N = 6$ km erzielt werden. Für eine Normsichtweite S_N nach Koschmieder kann der Extinktionskoeffizient abgeschätzt werden: Für den sichtbaren Wellenlängenbereich gilt:

$$S_N = \frac{1}{z} \ln \frac{1}{0,02} = \frac{3,912}{z} \quad (6.3.)$$

Für $\lambda \approx 900 \text{ nm}$ gilt nach (6.1.1):

$$S_N = \frac{2,738}{\lambda}$$

ESTU
000020

Aus der Beziehung (6.4.) wird gemäß Aufgabensatz der Verlustfaktor ξ bestimmt:

$$\xi \approx 0,4.$$

- Faktor τ_L

Allgemein gilt für die vom optischen System des Senders erfaßte Strahlungsleistung (ohne Berücksichtigung der eigentlichen Transmission):

$$\bar{I}_L = \int_{\Omega} \frac{d\bar{E}_s}{d\Omega} d\Omega \quad (6.5.)$$

$$\text{mit } d\Omega = d\vartheta d\varphi \sin\vartheta$$

ϑ, φ : Winkel in zwei zueinander senkrechten Ebenen zur Beschreibung der Abstrahlung

Für rotationssymmetrische Strahlungsverteilungen kann τ_L für eine Schnittebene, die die optische Achse enthält, bestimmt werden:

$$\tau_L = \frac{\int_0^{\alpha} \frac{d\bar{E}}{d\vartheta} d\vartheta}{\int_0^{\alpha_0} \frac{d\bar{E}}{d\vartheta} d\vartheta} \quad (6.6.)$$

wobei: α : Öffnungswinkel der Optik,
für den der Zusammenhang

$$\tan \alpha = \frac{d_{os}}{2f_s} = \frac{1}{2K} \quad (6.7.)$$

mit d_{os} : Austrittspupillendurchmesser der Sendeoptik

f_s : Brennweite der Sendeoptik

α_0 : Winkel, für den Strahlungsleistung noch > 0 gilt.

Die nachstehende Tabelle enthält die abgeschätzten Werte für VQ 150 ohne Faser und HLP 60 RGD.

2α	K	τ_L für	
		VQ 150 ohne Faser	HLP 60 RGD
20°	2,8	20,36	≈ 0,17
30°	1,87	20,5	≈ 0,26
40°	1,37	20,66	≈ 0,31
50°	1,07	20,76	≈ 0,34
60°	0,87	20,84	≈ 0,35

BSTU
000021

Dabei wurden folgende Voraussetzungen gemacht:

VQ 150: Abstrahlung näherungsweise nach Gaußverteilung mit einem mittleren Halbwertswinkel $2\alpha = 50^\circ$ für alle Strahlungskeulen *schnittebenen?*

$$\frac{dE}{d\Omega} = f(\vartheta) = f_{\max} e^{-a\vartheta^2}$$

mit $a = \frac{1}{\lambda_0^2} \ln \frac{2}{\lambda_0}$
 $\lambda_0 = \infty$

HLP 60 RGD: Nach Angaben in der Dokumentation (6.4.): Lambert-Strahler, d.h.:

$$\frac{dE}{d\Omega} = f(\vartheta) = f_{\max} \cos^2 \vartheta$$

$\lambda_0 = \frac{\pi}{2}$

Abschätzung der Mindestgröße des ausgeleuchteten Bereiches

Nach (6.1.) ist die Fläche A_s' des ausgeleuchteten Bereiches möglichst klein zu halten, um eine hohe Empfangsleistung zu erhalten.

Nach Aufgabenstellung ist $d_s' \approx 3,5 \text{ m}$ ($2\alpha \approx 0,1^\circ$) gefordert. Eine Mindestgröße von 2 bis $\frac{3}{2} \text{ m}$ ergibt sich aus folgenden Anforderungen an das Gerät:

- (1) Der Einfluss von üblichen Turbulenzen auf die Funktion soll $\approx 10\%$ bleiben; Abschätzung ihrer Einwirkung:

Nach (6.1) sind über kurze Zeilen (ms-Bereich) Strahl-
 ausbreitungen von ca. 0,02 mrad in Bodennähe üblich.
 Über längere Zeiten (einige Minuten bis 1 h): Größere
 Abweichungen von ca. 0,5 mrad für einige km Reichweite
 möglich.

die Bedingungen der JO - 4.05 bezogen:

mit Auswanderungen von 0,5 bis 1 m sollte gerechnet werden.

Ausrichten von Sender und Empfänger mit Zielfernrohr.
 Um die Anforderungen an die Justiergenauigkeit von
 Sender- und Zielfernrohrachse nicht zu hoch zu treiben,
 soll eine sinnvolle Divergenz zwischen den Achsen möglich
 sein:

bei technologischen Lösungen der Vorgängergeräte:
 $\pm 1'$ erreichbar. Daraus ergibt sich eine zu fordernde
 Mindestdivergenz des Senders von:

0,6 mrad, sinnvoll: 0,75 mrad (1,5 m Durchmesser in
 2 km Entfernung)

Aus den beiden Aspekten kann eine Minestaudehnung des
 ausgeleuchteten Bereiches von 2,5 bis 3 m abgeschätzt werden
 (zu beachten: bei anderer Flächenform: kleinste lineare
 Ausdehnung, z. B. kleine doppelte Halbachse einer Ellipse)

6.1.3. Grundprinzipien möglicher Sendeoptikeinheiten

- Für die Abbildung einer strahlenden Senderfläche gilt
 der allgemeine Zusammenhang aus der geometrischen Optik:

$$\frac{d_s}{f_s} = \frac{d_s'}{s} = 25 \quad (6.8.)$$

mit: d_s : Durchmesser (bzw. andere lineare Ausdehnung)
 der strahlenden Senderfläche

f_s : Sendeoptikbrennweite

s : Entfernung

d_s' : abgebildeter Durchmesser der Senderfläche

Nach (6.8.) wird die Brennweite eines einsetzbaren
 Systems festgelegt, wenn bei durch den Sender vorge-
 gebener Größe d_s eine Ausdehnung d_s' des ausgeleuchteten
 Bereiches in der Entfernung s gefordert wird.

- Der Öffnungswinkel des optischen Systems bestimmt den
 Anteil der von Sender erfaßten Strahlungsleistung. Es
 gilt der Zusammenhang:

$$\tan \alpha = \frac{d_{\text{aus}}}{2f_s} = \frac{1}{2K} \quad (6.7.)$$

mit d_{aus} : Austrittspupillendurchmesser der Sendeoptik
 (\approx freier Durchmesser)

Folgende Grundprinzipien des optischen Systems, angepaßt an
 den eingesetzten Sender, sind möglich:

50 mit Faser

Abbildung des leuchtenden Ausgangsquerschnitts der
 Faser: $d_s = 50 \mu\text{m}$

Wegen konstanter Apatur $A = \sin \alpha = 0,2$ ist $Z_2 = 1$
 erreichbar für $2\alpha \approx 23^\circ$, wegen vertretbarem
 Justieraufwand sinnvoll: $2\alpha \approx 30^\circ$.

Nach (6.8.) und (6.7.) ergeben sich die Parameter f_s ,
 d_{aus} , wenn ein sinnvoller Wert d_s' gefordert wird, der
 Minestaudehnung und Leistungsbilanz berücksichtigt.

VQ 150 ohne Faser

- Zum Zwecke guter Leistungsausnutzung ist eine kreisförmige Bildfläche A_S' anzustreben (vgl. Zusammenhang (6.1.), A_E = wirksamer Kreisring der JO - 4.02 - Eintrittsfläche).

Realisierungsmöglichkeiten sind:

- a) Abbildung des Zerstreuungskreises des Objektivs, der durch Beugung und Abbildungsfehler verursacht wird (Durchmesser des Zerstreuungskreises muß in dem Fall die Größe der Strahlerkante, vgl. 6.1.1., überschreiten, darf aber wegen Leistungsbilanz nach (6.1.) nicht zu groß werden).
Bestimmung der Optikparameter nach (6.7.) und (6.8.), wobei d_S = Durchmesser des Zerstreuungskreises, abhängig von α .

- b) Anamorphotisches System

Die Berücksichtigung der Strahlerparameter führt zu folgenden Schlußfolgerungen:

- Die Umformung des Bildes der etwa rechteckförmigen (durch Beugung und Abbildungsfehler breiter erscheinenden) Strahlerkante in ein quadratisches ist nicht realisierbar, wenn die Mindestausdehnung des Bildes von ca. 3 m erreicht werden soll.
- Möglich ist die Abbildung des elliptischen Strahlquerschnittes einer Schnittebene im Abstand Δs vor der Strahlerkante (Skizze 1) und seine Umformung in einen kreisförmigen mit Hilfe eines Prismas oder Prismenpaares, dessen Anwendung durch die Firma Melles Griot bekannt ist [3].

Nach Skizze 1 ergeben sich die Zusammenhänge:

$$l_{S\perp} = 2 \Delta s \tan \alpha_{S\perp}$$

$$l_{S\parallel} = 2 \Delta s \tan \alpha_{S\parallel} + b_S$$

Bestimmung von $l_{S\perp}$ aus (6.8.) ist sinnvoll:

$$l_{S\perp} = f_S \frac{d_S'}{s}$$

wobei d_S' = doppelte kleine Halbachse der abgebildeten Ellipse, die zu einem Kreis mit dem Radius d_S' umgeformt werden soll.

Die folgende Tabelle zeigt Beispielswerte für $d_s' = 3,5$ mm (Forderung der Aufgabenstellung) und zwei verschiedene Halbwertswinkel d_s . In der letzten Spalte ist der Leistungsgewinn aufgeführt, der zu erwarten ist, wenn unter sonst gleichen Bedingungen eine kreisförmige Fläche A_s' erzeugt wird.

f [mm]	d_s' [mm]	d_s [mm]	$2d_{sL}$	$2d_{sH}$	l_{sL}	l_{sH}	$\frac{\bar{P}_{\text{Kreis}}}{\bar{P}_{\text{Ellipse}}}$ $\frac{l_{sL}^2}{l_{sH}^2}$
10	3,5	$1,75 \cdot 10^{-2}$	35°	35°	d_s	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$\approx 1,28$
10	3,5	$1,75 \cdot 10^{-2}$	35°	50°	d_s	$2,59 \cdot 10^{-2}$	$\approx 1,47$

HLP 60 RGD

Die Grundparameter ergeben sich nach (6.7.) und (6.8.), wobei: $d_s \approx 0,5$ mm (bisher angenommener Wert);

Im Zusammenhang mit der Leistungsbilanz muß ein sinnvoller Wert für d_s' gefordert werden. Wegen der großen Ausdehnung d_s sind wesentlich größere Brennweiten und Durchmesser notwendig als beim Einsatz der anderen Sender. Als optisches System ist ein Teleobjektiv möglich, ein Spiegelsystem zur Verringerung der Baulänge ist sinnvoll.

6.1.4. Diskussion möglicher Sendeoptikvarianten

Die Abschätzung konkreter Parameter für die verschiedenen, dem jeweiligen Sender angepaßten Varianten erfolgt nach folgenden Kriterien:

- (1) Die Mindestleistung auf der Empfängerseite (Pkt. 6.1.2.) muß gewährleistet sein. Dabei sind die Unsicherheiten der Leistungsabschätzung nach (6.1.), insbesondere:
Einfluß von Nebenlicht, Homogenität der Ausleuchtung des Bereiches A_s' , zu berücksichtigen.
Sinnvolles Herangehen: 2 - 4-fache Mindestleistung zu fordern;
- (2) Einfluß der Verlustfaktoren, die durch die Sendeoptikparameter bestimmt werden, insbesondere \bar{z}_2 nach Zusammenhang (6.7.) bei Beachtung der Strahlercharakteristik (Pkt. 6.1.2.), woraus sich
 $k = \frac{f}{d}$ ergibt.
- (3) Sinnvolle Größe des ausgeleuchteten Bereiches, durch die nach (6.8.) die Brennweite f_s der Sendeoptik bestimmt wird.

Diese Zusammenhänge werden in den grafischen Darstellungen der Anlagen 6 bis 8 erfaßt. Entsprechend (6.1.) sind die Werte $\frac{\bar{z}_2}{l_1}$ für verschiedene Durchmesser d_s' , der als

kreisförmig angenommenen, ausgeleuchteten Fläche A_s' und für verschiedene Optiköffnungswinkel dargestellt. Jeweils als Parallelen zur Ordinate ist das unter Pkt. 6.1.2. aufgeführte Mindestverhältnis $\frac{\bar{z}_2}{l_1} \cdot \frac{l_{sL}}{l_{sH}}$ für die Modulations-

arten AM und FM und die verschiedenen, in Betracht gezogenen Empfängerdiolen dargestellt.

ESTU
000025

Im Einzelnen enthält:

Anlage 6: $\frac{1}{\tau_0} \frac{\Phi_E}{\Phi_s}$ für Einsatz eines optischen Systems mit VQ 150 ohne Faser, unabhängig davon, ob der Zerstreungskreis abgebildet wird, oder der Strahlquerschnitt mit Anamorphot, $d_s' =$ in jedem Falle der Durchmesser der erzeugten kreisförmigen Fläche

Anlage 7: $\frac{1}{\tau_0} \frac{\Phi_E}{\Phi_s}$ VQ 150 mit Faser und angepaßtem System, $\tau_1 = 1$ (für $2\alpha \approx 23^\circ$) $d_s = 0,05$ mm, d_s' : Durchmesser des Bildes der Faser-austrittsfläche

Anlage 8: $\frac{1}{\tau_0} \frac{\Phi_E}{\Phi_s}$ für HLP 60 RGD mit angepaßtem optischen System
 $d_s = 0,5$ mm angenommen
 d_s' : Durchmesser des Chipbildes

Aus den Darstellungen von Abbildung 6 bis 8 wurden folgende Systemparameter abgeschätzt:

VQ 150 mit Faser

$f_s \approx 30$ mm, $2\alpha_s \approx 30^\circ$
 $d_{so} \approx 16$ mm

Erfüllung der Aufgabenstellung:

- nur mit Einsatz BPX 65 und FM: $d_s' \approx 3,5$ m,
Sicherheit dabei

$$1,2 \frac{\Phi_{Emin}}{\Phi_{Emax}}$$

mit $f_s \approx 35$ mm, $2\alpha_s \approx 30^\circ$
 $d_{so} \approx 19$ mm

$$1,6 \frac{\Phi_{Emin}}{\Phi_{Emax}} \text{ erreichbar.}$$

VQ 150 ohne Faser

- bis 07/86 werden die speziellen Daten eines einsetzbaren Anamorphoten gerechnet

- für ein System, das den Zerstreungskreis abbildet, wurde ein Prinzipaufbau mit folgenden Daten erstellt:

$d_s = 15$ μ m
 $f_s \approx 10$ mm, $2\alpha_s = 46^\circ$
 $d_{os} \approx 8,5$ mm
 $d_s' \approx 3$ m

dabei größtmögliche Leistungsreserve: ≈ 3
bei Einsatz BPX 65 und FM

$$\frac{\Phi_{Emin}}{\Phi_{Emax}}$$

000026

System mit HLP 60 RGD

Hier können größere Divergenzen zugelassen werden, aber auf Grund der Abschätzungsunsicherheiten ist eine sichere Variante anzustreben.

a) Teleobjektiv: $\frac{\bar{P}_E}{P_s} \approx 4 \frac{\bar{P}_{Emin}}{P_{s,max}}$ für folgende Parameter

$f_s \approx 200 \text{ mm}, \quad 2 \alpha_s \approx 20^\circ \quad (\tau_s \approx 0,17)$
 $d_{os} \approx 71 \text{ mm}$
 $d_s' \approx 5 \text{ m}$

b) Klappspiegelobjektiv von JO - 4.03 als Vergleich

$f_s = 200 \text{ mm}, \quad 2 \alpha_s \approx 16^\circ \quad (\text{aber } \tau_s \approx 0,1 \text{ wegen Spiegelbohrung})$
 $d_{os} \approx 62 \text{ mm} \quad (\text{großer Spiegel-durchmesser})$
 $d_s' = 5 \text{ m}$

damit erreichbar $\approx 2 \frac{\bar{P}_{Emin}}{P_{s,max}}$

c) Variante nach JO - 4.03-Prinzip für etwas größere Leistungsreserven, die anzustreben wäre:

$f_s = 250 \text{ mm}, \quad 2 \alpha_s \approx 20^\circ \quad (\tau_s \approx 0,12 \text{ wegen Spiegelbohrung})$
 $d_{os} \approx 90 \text{ mm}$
 $d_s' \approx 4 \text{ m}$

$\frac{\bar{P}_E}{P_s} \approx 4 \frac{\bar{P}_{Emin}}{P_{s,max}}$

Der Verlustfaktor τ_L für b) und c) wurde unter Berücksichtigung der Strahlungsverteilung analog der Behandlung unter Pkt. 6.1.2. abgeschätzt:

$\tau_L \approx \frac{\int_0^{\alpha_s} \sin^2 \theta d\theta - \int_0^{\alpha_s} \cos^2 \theta d\theta}{\int_0^{\alpha_s} \cos^2 \theta d\theta} = \tau_{Ld1} - \tau_{Ld2}$

mit

$\tau_{Ld1} = \frac{d_{s1}}{2f_s}$

d_{s1} : Spiegelbohrungsdurchmesser (\approx Durchmesser des Fangspiegels)

$\tau_{Ld2} = \frac{d_{s2}}{2f_s}$

$d_{s2} = d_{os}$: Außendurchmesser des großen Ringspiegels

Da die Untersuchungen zum Einsatz der HLP 60 RGD ursprünglich nicht für die Studie vorgesehen waren, noch keine Optikrechnung dazu eingesteuert.

Wenn ein solches System für die weitere Themenbearbeitung vorgesehen wird, sind unbedingt genaue Angaben über die HLP 60 RGD erforderlich, insbesondere:
Empfängerflächengröße und -lage.
Zudem ist Zeit (ca. 1 Monat) für die Optikrechnung zwecks Optimierung eines Systems einzuplanen.

Zusammenfassender Vergleich der Varianten

- (1) Das einfachste optische System mit geringstem Justieraufwand und minimaler Baugröße in Verbindung mit der VQ 150 ohne Faser möglich.
Mit dem System, das den Zerstreuungskreis abbildet, sind nach den vorliegenden Voraussetzungen alle Parameter der Aufgabenstellung erfüllbar, wenn FM angewendet und die BPX 65 als Empfänger eingesetzt wird.

Probleme: - komplizierte elektronische Ansteuereinheit
- eingeschränkter Temperaturbereich
- keine garantierten Parameter vom Hersteller bisher/Verkopplung ungeklärt

Einsatz eines Anamorphoten: evt. gewisser Leistungszuwachs:

- Baugröße: erhöht durch Prismen gegenüber einfachem System
- wesentlich höherer Justieraufwand

- (2) VQ 150 mit Faser (Modul):

- ebenfalls einfaches System
- Anforderungen der Aufgabenstellung sind erfüllbar, wobei etwa nur 1/3 der Empfangsleistung vom System (1) mit VQ 150 ohne Faser erreichbar ist
- Hauptproblem: Musterbereitstellung auch über LVO kurzfristig nicht möglich, wäre aber bis 7/86 erforderlich, um den Themenablauf damit zu sichern
- Vorteile gegenüber Einsatz VQ 150 ohne Faser:
 - . komplettes Bauelement mit garantierten Parametern
 - . Temperaturbereich - 5°C bis + 65°C
 - . einfachere Ansteuerelektronik
- Justieraufwand: vergleichbar mit einfachem System (1)

- (3) HLP 60 RGD mit Teleobjektiv oder Spiegelsystem analog JO - 4.03

- Anforderungen der Aufgabenstellung sind mit den größten Leistungsreserven im Vergleich zu den anderen Systemen erfüllbar
- Nachteil: wesentlich größere Abmessungen
- Probleme: - genaue Daten zur HLP 60 RGD fehlen
- Musterbereitstellung müsste bis 7/86 erfolgen, um eine Themenbearbeitung in Verbindung mit diesem Sender zu ermöglichen

6.2. Empfangsoptik JO - 4.05/E6.2.1. Voraussetzungen

Geforderte Parameter nach Aufgabenstellung:

- Empfangswinkel: $2\vartheta \approx 0,2^\circ$
- Durchmesser der Eintrittspupille aus der Forderung zu bestimmen, daß

$$\frac{f}{R} \approx 10 \text{ erzielt wird bei Einsatz}$$

JO - 4.02 als Sender (VQ 120 als Sendediode) in 2 km Entfernung bei Normsichtweite 6 km und Schmalbandbetrieb (BB)

Notwendige Leistung, die auf die Empfängerfläche gelangen muß, um die Forderungen der Aufgabenstellung zu erfüllen:

experimentell gestützter Wert, der eine hinreichende Sicherheit gegenüber dem Einfluß von Nebenlicht berücksichtigt:

$$\bar{P}_E \approx 10 \text{ nW}$$

Einzusetzende Empfangsdioden:

Der Einsatz von DDR-Bauelementen ist anzustreben: SP 102 und SP 120 sind gleichermaßen geeignet für den Einsatzzweck im Hinblick auf spektrale Empfindlichkeit und Anstiegs- und Abfallzeiten

6.2.2. Abschätzung der Empfangsoptikparameter

Brennweite: Aus der Forderung der Aufgabenstellung ergibt sich

$$f_E = \frac{d_0}{2\vartheta} \quad (6.9.)$$

(analog zu (6.8.) mit f_E und statt d_0 's' d_0 als Durchmesser des Objektfeldes der Empfangsoptik)

mit d_0 : Durchmesser der wirksamen Empfangsdiodenfläche

f_E : Brennweite der Empfangsoptik

SP 120: $d_D = 0,2 \text{ mm}$

SP 102: $d_D = 0,707 \text{ mm}$ (Diagonale der quadratischen Fläche $0,5 \times 0,5 \text{ mm}^2$)

Für die auf die Empfängerfläche gelangende Leistung gilt Zusammenhang (6.1):

$$\bar{P}_E = \tau_L \tau_0 \varepsilon \frac{A_E}{A_s} \bar{P}_s \quad (6.1.)$$

wobei in diesem Falle bedeuten:

BSIU
000029

- \bar{P}_s : Vom in JO - 4.02 eingesetzten Sender nutzbare Leistung: $\bar{P}_s \approx 1,4$ mW für BB bei Einsatz der V
- A_s' : Bild der Senderfläche: $A_s' = \frac{\pi}{4} d_s'^2 = \frac{\pi}{4} d_s^2$
mit $d_s \approx 1$ mm
- ϵ : Verlustfaktor durch atmosphärische Dämpfung $\epsilon \approx 0,4$ für die Abschätzungen entsprechend Aufgabenstellung (vgl. Abschnitt 6.1.2. des Berichtes)
- τ_L : Durch die Öffnung der JO - 4.02-Optik bestimmter Verlustfaktor
- τ_o : Verlustfaktor durch Reflexion an Optikflächen
- A_E : Wirksame Empfangsoptikfläche (Austrittspupillenfläche);
 $A_E = \frac{\pi}{4} d_E^2$

Wenn die Öffnung der Empfangsoptik nicht zu groß gewählt wird, ist der Empfindlichkeitsverlust für die einfallenden Randstrahlen vernachlässigbar und wird deshalb bei der Abschätzung nicht extra berücksichtigt.

Abschätzung von τ_L (JO - 4.02-Optik, VQ 120 als Sender):

Die Strahlungskeule der VQ 120 (bisher eingesetzt in JO - 402 als Sender) wird für die Abschätzungen als rotationssymmetrisch und in einer Schnittebene, die die Strahlungsachse enthält, als Gaußverteilung angenommen. Analog der Betrachtung in Abschnitt 6.1.2. wird deshalb für eine Schnittebene abgeschätzt:

-Verteilung: $\varphi = \varphi_{max} e^{-2v^2}$, Halbwertswinkel $2v_H$: max. 30° ,
damit Bestimmung von τ_L

Welcher Anteil der vom Sender abgestrahlten Leistung von dem optischen System JO - 4.02 erfaßt wird, bestimmt der Ringspiegel: - Gesamtkegel mit Öffnungswinkel

$$2 \alpha_a \approx 2 \arctan \frac{d_a}{2f}$$

- durch die Bohrung bedingter Kegel, der verloren geht:

Öffnungswinkel: $2 \alpha_i \approx 2 \arctan \frac{d_i}{f}$

mit d_a : wirksamer Außendurchmesser } des Spiegels
 d_i : wirksamer Innendurchmesser }

Damit wird analog (6.6.) in Abschnitt 6.1.2.

$$\tau_L = \frac{\int_0^{\alpha_i} e^{-2v^2} v dv - \int_0^{\alpha_a} e^{-2v^2} v dv}{\int_0^{\alpha_a} e^{-2v^2} v dv}$$

Aus den Daten JO - 4.02 ergibt sich:

$$d_a \approx \alpha_H \approx 15^\circ$$

$$d_i \approx 4^\circ$$

STU
0030

Damit wird

$$z_c \approx 51 \%$$

In folgender Tabelle sind die Parameter Brennweite f_E , berechnet nach (6.8), und Durchmesser der Eintrittspupille, berechnet aus (1), nach:

$$d_E = \frac{s}{f_s} d_s \sqrt{\frac{1}{z_c^2} \frac{\bar{\Phi}_E}{\bar{\Phi}_s}} \quad (6.10.)$$

mit $f_s = 305,2 \text{ mm}$, $z_c \approx 0,5$, $z_0 \approx 0,9$, $\bar{\Phi}_s = 10 \text{ nW}$, $\bar{\Phi}_E = 2 \text{ mW}$ für die Dioden SP 102 und SP 120 aufgeführt.

Diode	Brennweite f_E [mm]	d_E [mm]	$2\alpha_E$	$K = \frac{1}{2 \sin \alpha_E}$
SP 102	≈ 202	≈ 42	$\approx 12^\circ$	$\approx 3,4$
SP 120	≈ 57	≈ 42	$\approx 40,4^\circ$	$\approx 1,4$

6.2.3. Schlußfolgerungen für Empfangsoptik

Die Ergebnisse der Abschätzungen zeigen, daß mit der SP 120 die Parameter der Aufgabenstellung bei den geringsten Abmessungen des optischen Systems realisiert werden können.

Eine günstige Variante ist:

$$d_E \approx 42 \text{ mm}$$

$$f_E \approx 70 \text{ mm}$$

dafür wird: $K \approx 1,7$ ($2\alpha_E \approx 28^\circ$)

$$z_c \approx 0,16^\circ$$

7. Überarbeitung des Zielfernrohres der JO - 4.02 für den Einsatz einer Okularverlängerung

Es ist konstruktiv möglich, das Zielfernrohr so umzugestalten, daß die vorhandene JO - 4.03-Okularverlängerung mit geringen Abänderungen einsetzbar ist. Die wichtigste Änderung betrifft dabei das Anlagemaß an der Schnittstelle zwischen Zielfernrohr und Okular. Weiterhin ist die Abdichtung zwischen Zielfernrohr und Gehäuserückwand so umzugestalten, daß das Okular gegen die Okularverlängerung gewechselt werden kann, ohne das Gehäuse abnehmen zu müssen. Diese Änderungen bedingen eine Verschiebung des gesamten Zielfernrohres um einige Millimeter nach hinten und die Änderung mehrerer mechanische Teile von Zielfernrohr und Okular.

An der Okularverlängerung der JO - 4.03 sind ebenfalls die Anlagemaße zu ändern und das etwas knapp bemessene Prisma einschließlich der Halterung geringfügig zu vergrößern. Das Prisma im Zielfernrohr, mit dem es in letzter Zeit häufig Qualitätsprobleme gab, muß hinsichtlich der zulässigen Fertigungstoleranzen überarbeitet werden.

Die überarbeitete Okularverlängerung ist nur für den Einsatz am Gerät JO - 4.05 möglich.

Für das Gerät JO - 4.03 ist die zum Lieferumfang gehörende Okularverlängerung zu verwenden.

8. Konstruktives Prinzip JO - 4.05

Der gewünschte Aufbau, bei dem Richtuntersatz mit Zielfernrohr die Trägerbasis für Sender oder Empfänger oder beide bildet, ist konstruktiv realisierbar. Allerdings wird die mechanische Kopplungsstelle zwischen Richtuntersatz und Sender recht problematisch, da hier höchste Genauigkeitsforderungen hinsichtlich der Achsparallelität zu realisieren sind.

Deshalb schlagen wir vor, Richtuntersatz mit Zielfernrohr und Sender als festverbundene Einheit und Basis für den Empfänger zu konzipieren und für den selbständigen Betrieb des Empfängers den Richtuntersatz mit Zielfernrohr als einzelne Einheit anzubieten. In den Richtuntersatz der JO - 4.05 sollte ein Zielfernrohr eingebaut werden, welches im Innenaufbau dem der JO - 4.02 entspricht und den äußeren Gegebenheiten der JO - 4.05 angepaßt ist.

9. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

In der folgenden tabellarischen Übersicht sind zusammengefaßt die Hauptkenngrößen des opto-elektronischen Systems JO - 4.05/S bei Anwendung verschiedener Strahlertypen aufgeführt. Wie in den Ausführungen dargelegt und in tabellarischer Form zusammengefaßt, ist die Amplitudenmodulation hinsichtlich ihrer Störsicherheit, des möglichen

ausnutzbaren Modulationshubs innerhalb der Strom-Stroms-
leitungs-Kennlinie der Sendediode, der Abhängigkeit
der Linearität dieser Kennlinie der Frequenzmodulation
eindeutig unterlegen.

Den größten schaltungstechnischen Umfang beansprucht die
Kombination beider Modulationsarten AM + FM für einzelnen
Übertragungskanäle. Der Schaltungsumfang bestimmt maßgeblich
bei Anwendung der Lasereinzeldiode oder des Lasermoduls die
Gehäuseabmessungen des Gerätes JO - 4.05/S.

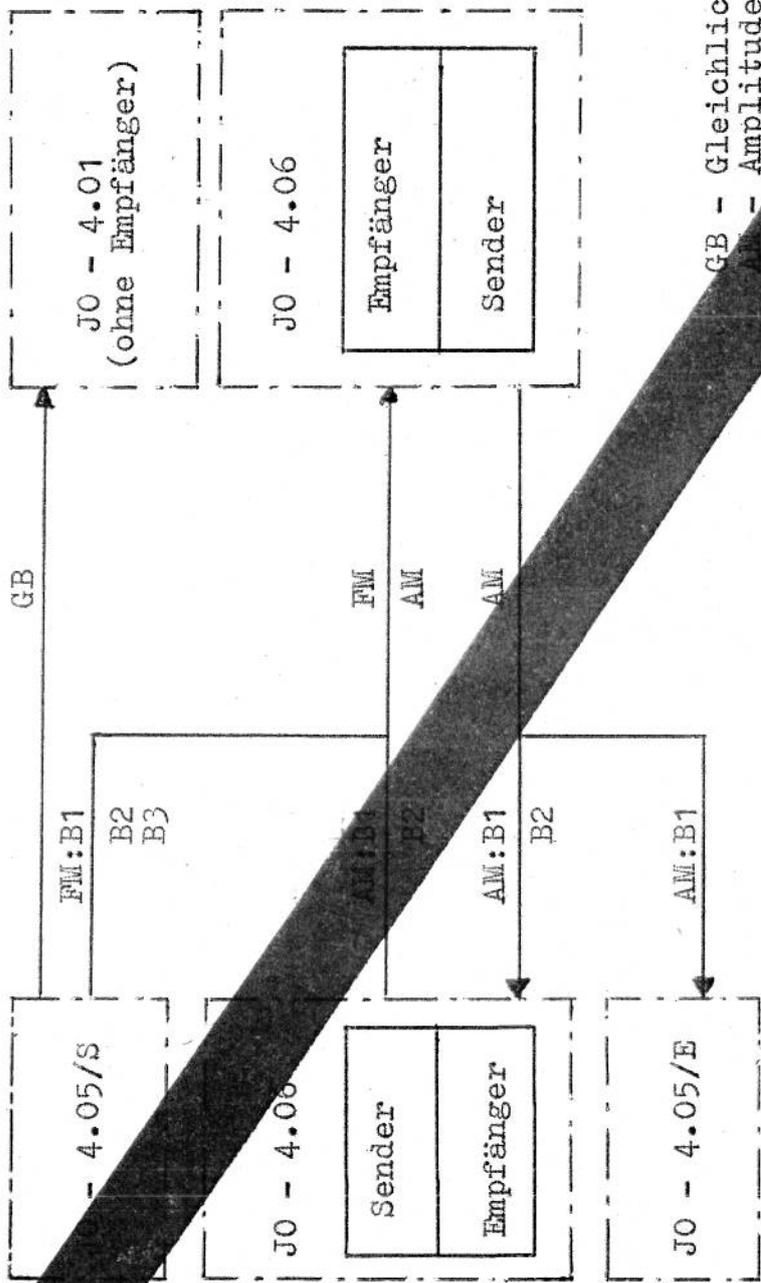
Bei Anwendung der LED HPL 60 RGD sind die Abmessungen für
die Optik gegenüber denen für den Schaltungsumfang dominierend.
Werden alle Übertragungskanäle innerhalb der JO - 4.05-Geräte-
Konfiguration (JO - 4.05/S gegen JO - 4.02) nur frequenz-
moduliert übertragen, so sind die Geräteabmessungen
JO - 4.05/S auf (120 x 50 x 50) nur bei Anwendung der Einzellaser-
diode oder des Lasermoduls VQ 150 realisierbar.

Der Nachteil bei Anwendung einer reinen FM besteht darin, daß
der Sender JO - 4.05/S mit Vorgängersystemen, wie JO - 4,
JO - 4.02 und JO - 4.03 nicht zusammenarbeiten kann.

Folgende Geräteaufteilungen sind funktionell möglich:

BSU

000032



GB - Gleichlichtbetrieb
 AM - Amplitudenmodulation
 FM - Frequenzmodulation
 B1 - Bandbreite 16 kHz
 B2 - Bandbreite 500 kHz
 B3 - Bandbreite 5 MHz

BStU
 000033

Tabellarische Übersicht von technischen Parametern zu Grundvarianten des Senders JO - 4.05/S

Strahlertyp	Gehäuseabmessung		Betriebsspannung in V	Stromaufnahme in mA	Betriebs-temperatur in °C	Modulationshub in mW		Optikwerte		Lebensdauer in h	Einsatzbemerkungen	
	L x B x H in mm	A x B x H in mm				AM	FM	vorl. theor. Absch.	f mm		Ø mm	Vorteile
1	2	3	10...12...15	300	50°C... 30°C	7	8	9	10	11	12	13
Einzel-laserdiode VQ 150	200 x 120 x 70	120 x 50 x 50	10...12...15	300	50°C... 30°C	2...3	3...3,5	10...20	10...15	kein Hersteller, damit keine Aussagen und Garantien	-höhere Strahlungsleistung gegenüber dem Lasermodul ermöglicht Leistungsreserven im Übertragungssystem -kleinstmögliche Gehäuseabmessungen -zu erwartender geringerer Preis	-kein herstellereitig technol. abgeschl. Bauelement, die Verkappung des Laserchips ist offen -für bestimmte techn. Daten müssen mit Hersteller garantierte Werte vereinbart werden (Strahlungsleistung, Strahlwinkel) -Betrieb im erweiterten Temp. bereich > 30°C -schränkt Lebensdauer ein (bisher noch keine Herst.angaben) -Zuverlässigkeit unklar -kein Hersteller
Laser-Modul VQ 150	200 x 120 x 70	120 x 50 x 50	10...12...15	500	- 50°C... + 65°C	0,75...1,12	1,12...1,3	30	20	50 000 (TMIN)	-es steht ein elektr. BE mit stellerseitig garantierten techn. Daten zur Verfügung -Vereinfachung der Steuer- u. Sicherheitselektronik bedeutet eine Reduzierung des Endabgleichaufwands der Sendestufe	-Erhöhung der Stromaufnahme f. die Temp. des Schaltungs- Wahlbereichs für den DC-für den V auf 2 V -geringer Leistung zum Einzellaser (garantierte Leistung von 1,5

ESIU
000034

EStU
 000035

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
LED HLP 60 RGD		bei Anwendung eines Klapp- spiegel Systems 50 x 120 x 120	bei Anwendung eines Klapp- spiegel Systems 50x120x120	10...12...15	- 20°C ... + 40°C	30	50	250	80		Herstellerangabe unbekannt	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der Lebensdauer durch Betriebs- temp-regelung - der optische Abstrahl- winkel bleibt von Exemplar zu Exemplar konstant - garantierte Zuver- lässigkeitsaussagen 	<ul style="list-style-type: none"> - Verfügbarkeit trotz LVO derzeitig nicht gegeben
												<ul style="list-style-type: none"> - geringster schaltungs- technischer Aufwand für die Steuer Elektronik - relativ unempfindlich gegenüber Störspannung- en - geringer Abgleichauf- wand - niedriger Betriebs- spannungsbereich $\geq 5V$ - relativ geringe Temp- stabilität - abschwächte Leistung Strahlleistung bis 30 mW 	<ul style="list-style-type: none"> - Auf Grund der größeren Sendefläche ist auch mit grö- serer Strahldiver- genz die erforder- liche Empfänger- lichtleistung nur mit großen Brenn- weiten des opti- schen Systems zu realisieren - großer Strahlwinkel (Halbwert $2\alpha_s = 120^\circ$), deshalb schlecht an Optik anpassbar - Verfügbarkeit: NSW-Import

Für das Gerät JO - 4.06 sind zwei Betriebsspannungsversorgungen in Abhängigkeit von der Modulationsart vorzusehen, für AM-Betrieb JO - 4.06 ↔ JO - 4.06 (4,5...10V) für FM-Betrieb JO - 4.06 ↔ JO - 4.05/S (10...15V)

BStU
000036

Für die Schaltungselektronik JO - 4.05/S und JO - 4.06/S/B werden keine Bauelemente aus dem NSW eingesetzt.

Mit dem Einsatz der NSW-Fotodiode BPX 65 kann gegenüber der SP 120 ein Empfindlichkeitsgewinn des Empfängers JO - 4.06 erreicht werden (Abschnitt 5.1.) Insofern eine anwenderseitige Prüfung auf Einsetzbarkeit von BPX 65 oder vergleichbarer Empfängerdioden in den Seriengeräten JO - 4.06 als vorteilhaft erscheint.

Nach Abschnitt 5.3. sind die geforderten Parameter für den 30-MHz-Kanal nur durch Reduzierung der Kanalbreite auf 500 m realisierbar. Es sollte deshalb auf der Herstellerseite geprüft werden, ob ein Verzicht auf diesen breitbandigen Kanal im Rahmen dieser Entwicklung vertretbar ist.

10. Weiter Themenbearbeitung

Wesentliche Voraussetzungen für die weitere Themenbearbeitung sind: Festlegung einer Modulationsart für die Geräte JO - 4.05/S und JO - 4.06 durch den Ag sowie seine Entscheidung für den Einsatz eines Strahlertyps.

Um den weiteren Themenablauf zu ermöglichen, muß bei Entscheidung für den Einsatz des HL-Lasermoduls VQ 150 oder der LED HLP 60 RGD die kurzfristige Beschaffung (7/86) geklärt werden. Das HL-Lasermodul ist trotz LVO kurzfristig nicht beschaffbar (Bestellung im Rahmen des Bedarfsprogrammes 87). Der Preis des Moduls bei Produktionseinführung beträgt 12.000 M. (derzeitig 28 TM).

Voraussetzung der Verfügbarkeit ist die derzeitig noch nicht erfolgte Überleitung der VQ 150.

Bei Entscheidung für die LED HLP 60 RGD ist die Kenntnis folgender technischer Daten noch notwendig:

- Chipgröße und -lage mit herstellereitig garantierten Toleranzen
- Angabe zur Lebensdauer/Zuverlässigkeit
- dynamische Belastbarkeit - Spitzendurchlaßstrom I_{FM} in Abhängigkeit vom Tastverhältnis τ
- Temperaturabhängigkeit der Strahlungsleistung

Für den Einsatz der LED HLP 60 RGD ist die Optik neu zu rechnen und in die Entwicklung einzuordnen.

Die Verfügbarkeit des NSW-Bauelements muß durch den Ag abgesichert werden.

BSTU

000037

11. Literaturverzeichniszu Abschnitt 2

/2.1./ Elsner, R.

Nachrichtentheorie 2. Teil
Teubner Studienbücher,
Elektrotechnik Stuttgart 1976

/2.2./ Unger, H.-G.

optische Nachrichtentechnik
Elitera Verlag Berlin 1976zu Abschnitt 3

/3.1./

Optoelektronischer Wandler mit
Peltierkühlung, Funktechnik 38
(1983) H. 12, S. 505 f.

/3.2./

Optischer Sender mit Halbleiter-
Laser für hohe Bitraten;
Elektronik 31 (1982) H. 22, S. 89-9

/3.3./

Nachrichtenübertragung mit Licht;
Sonderdruck aus Siemens telcomre-
port 5, Beiheft April 1983, S. 77-
101

/3.4./

Hitachi Infrared Emitting Diodes;
Hitachi-Halbleiter-Katalogzu Abschnitt 4 und 5

/4.1./

/2.1./

/4.2./

/2.2./

/4.3./

Breitbandige, rauscharme Fotodioden-
Schaltungen; Elektronik (1976) H. 1
S. 53 f.

/4.4./

rauscharme Lichtempfängerschaltungen;
Nachrichtentechnik-Elektronik (1985)
H. 11

/4.5./

Ein analoges/digitales Lichtleiter-
Übertragungssystem; ntz 31 (1978)
H. 2, S. 114-116

/4.6./

Monolithische Demodulatoren und
Mischer; Funktechnik 27 (1972)
H. 8, S. 273-275zu Abschnitt 6

/6.1./ Kube

Dissertation 1971: Ein Beitrag zur
optischen Nachrichtenübertragung in
der Atmosphäre mit GaAs-Strahlungs-
quellen

/6.2./ Gibson

Influence of the atmosphere on
optical systems; Optica Acta (1970)
vol 17, N° 5, 317 ff.

/6.3./

Laser Diodes, Firmenschrift von
Melles Griot

/6.4./

Hitachi Infrared Emitting Diodes

/6.5./

Helbig

Grundlagen der Lichtmeßtechnik,
Leipzig 1977

BSU

000038

Blockschaltbild Senderelektronik 70+05

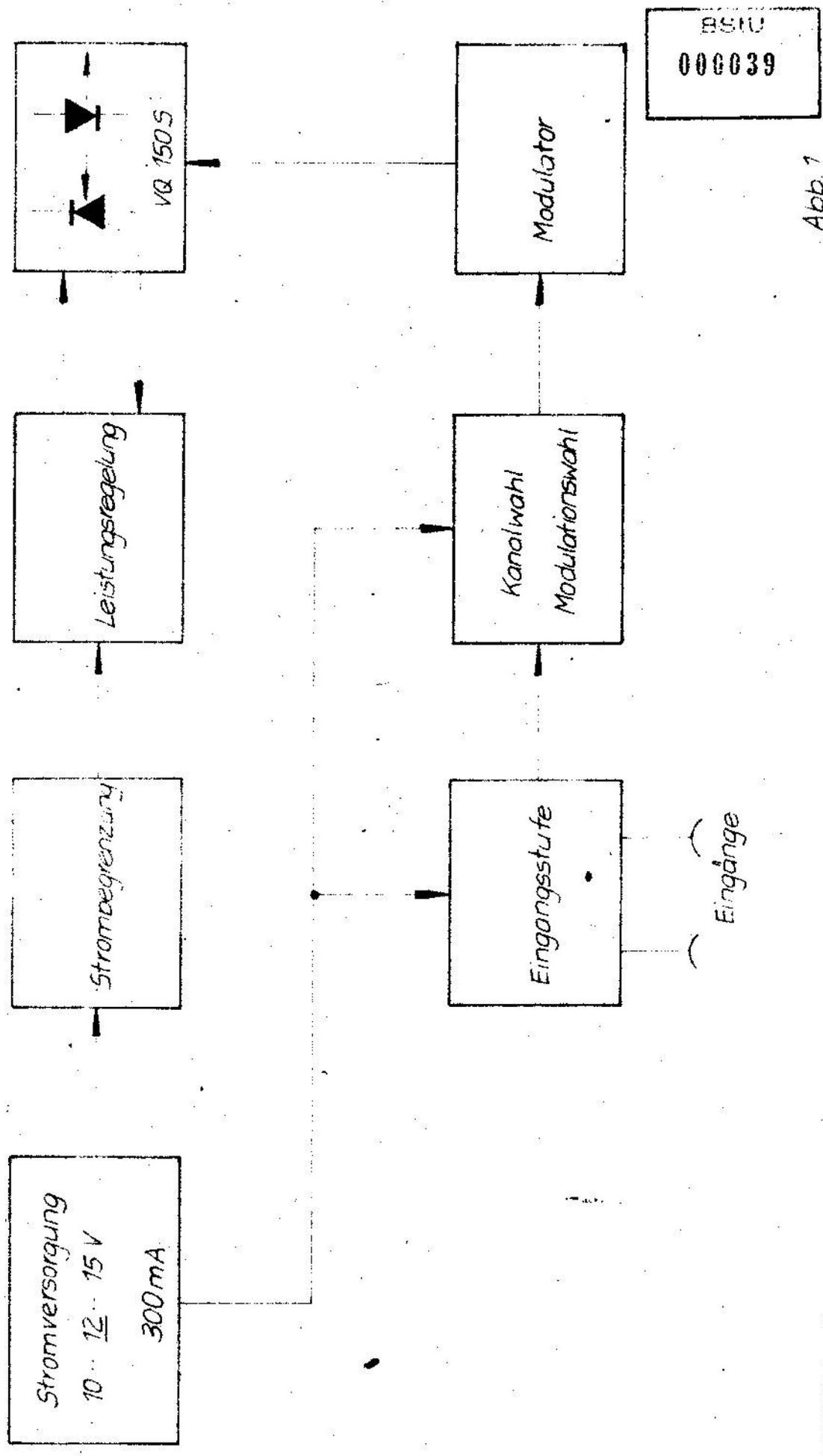
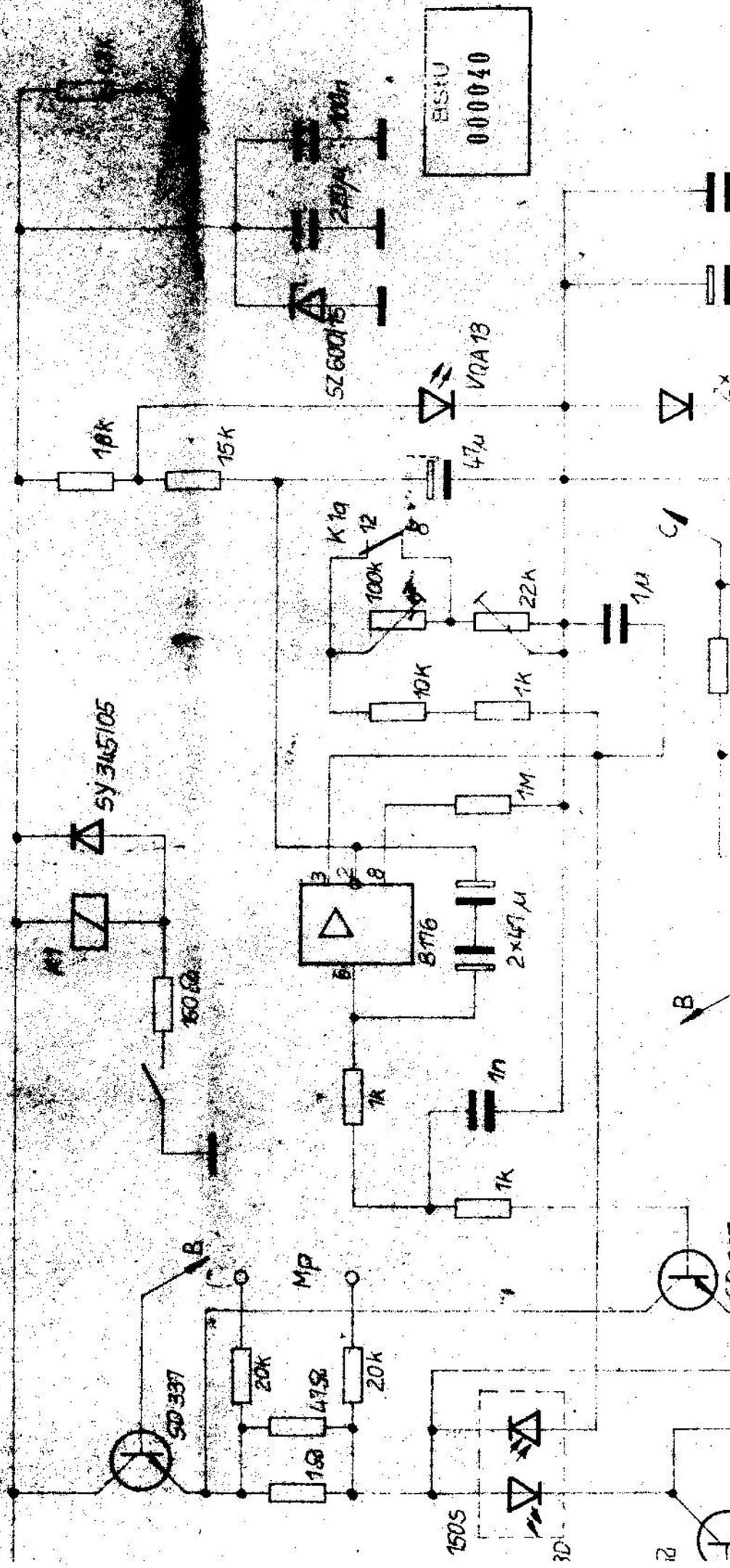


Abb. 1



501515105

500040

SZ60015

VQA13

8716

5D337

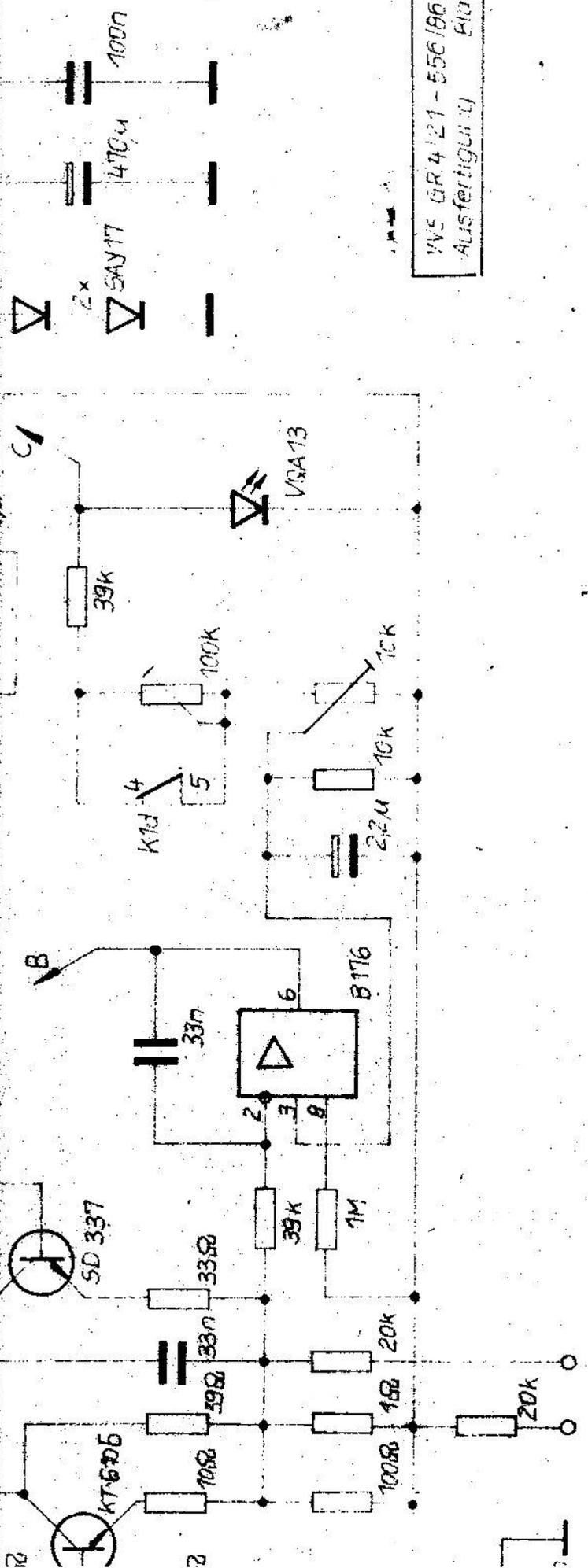
1505

30V

MP

500V

20



VNS GR 4/21-556/86/LV0
Ausfertigung Blatt 40

Abb. 2

Heißweg/Werkstoff		zul. Abw. für Maße ohne Toleranzung.		Spezial-technol.
Berechnung		Maßstab	Bl.-Anz. Bl.-Nr.	
Prüfsender J04 05		Masse		
Zeichnungs-Nr.		KONSTRUKTION		
Ers. für		Ers. durch		
AZ	Mittelführung	Datum	Name	
1986				
Bearb.	21.5	Kropp / Jffland		
Konstr.				
Technol.				
E-Stand.				
Stand.				



Konstr.-Gr.
S. 8 V

Die Nutzung dieser Urformate ist nur im Rahmen von vertraglich erworbenen Rechten zulässig.

H G F E

1

2

3

4

Analog-
eingang



2 x 5A5Y12



K1B



22μ

15K

3K

K 531 FT 1T

47μ

1K

47K

100K

33n

52X2150

22μ

15K

3K

5

4

47μ

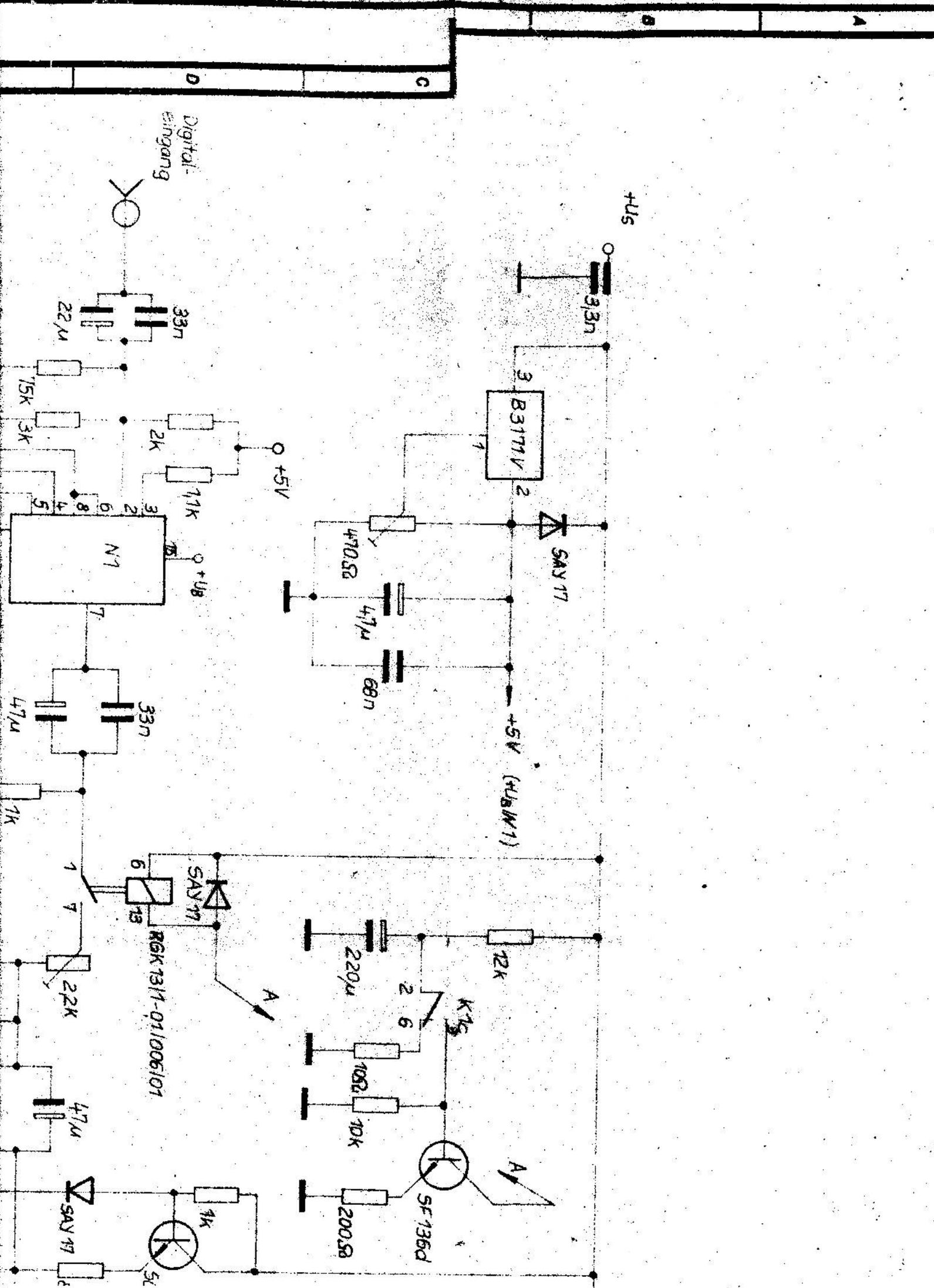
1K

47K

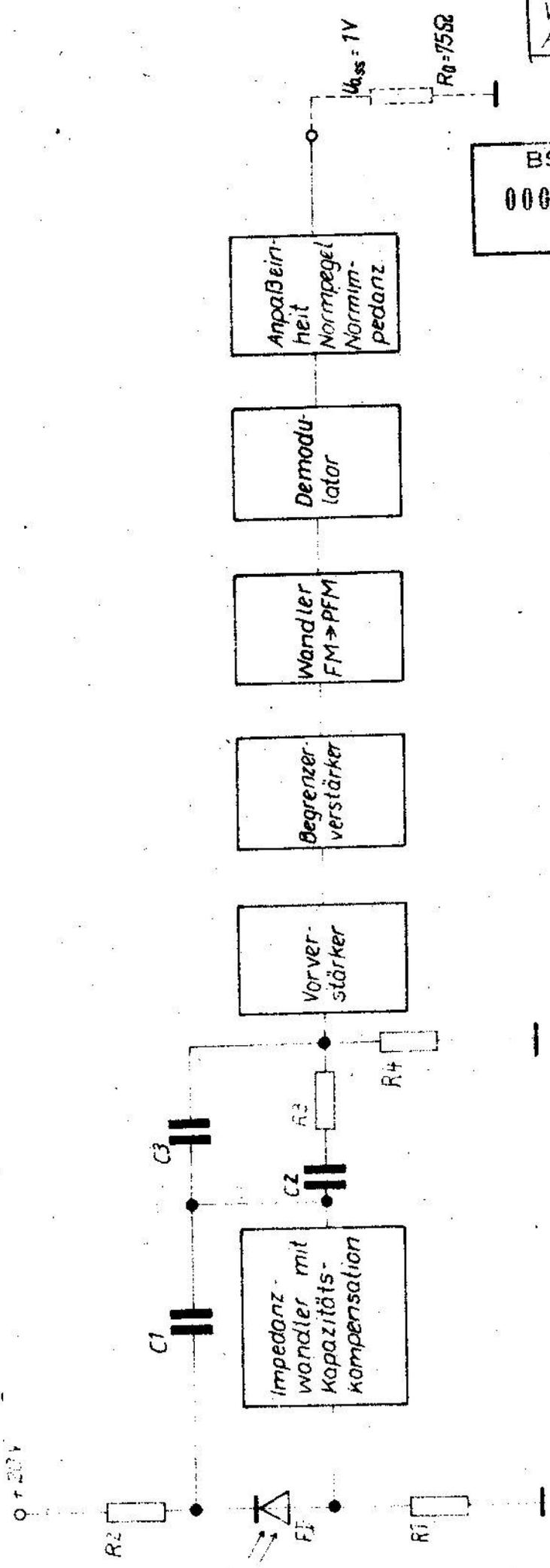
100K

33n

52X2150

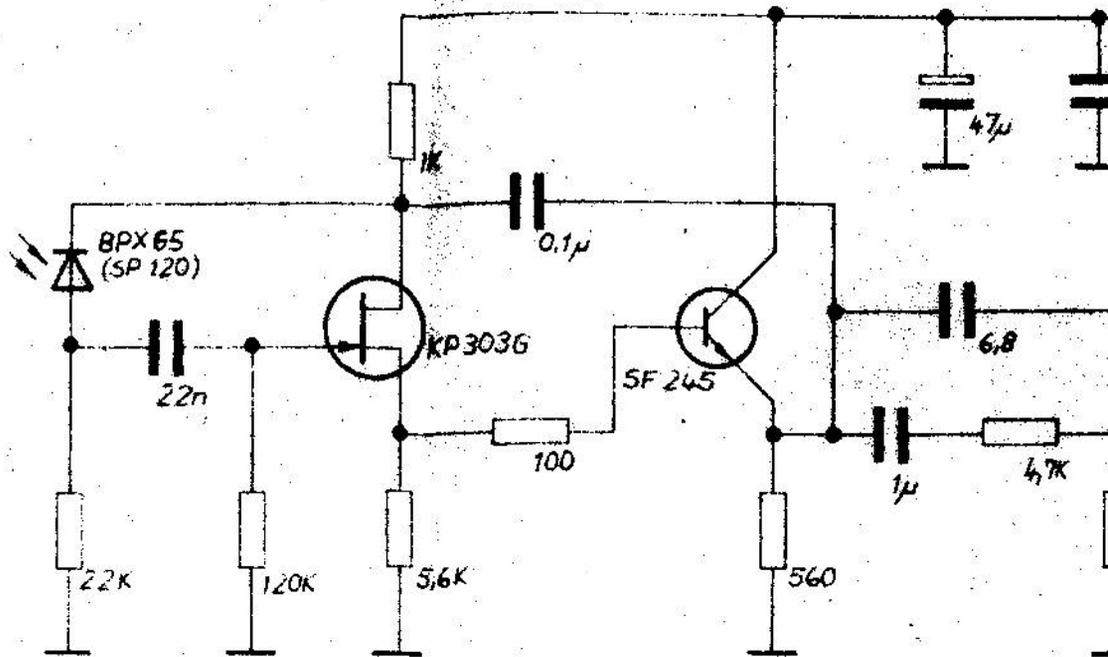


BStU
 000041

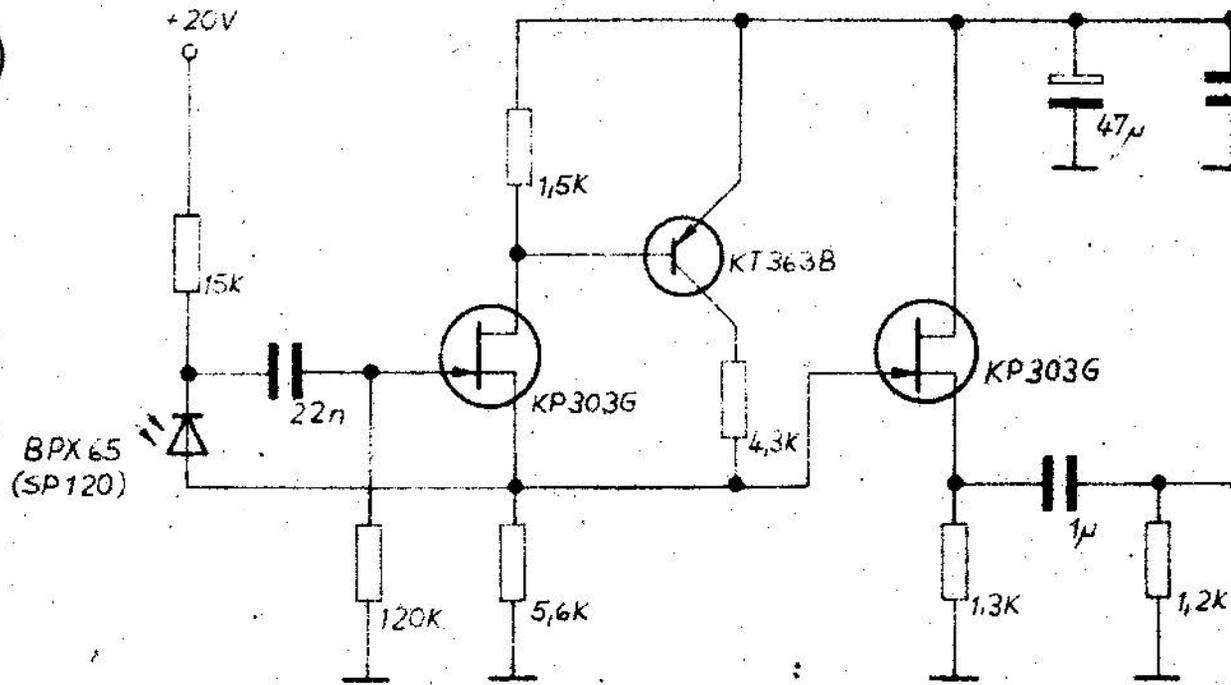


Blockschaltbild - Empfänger

I

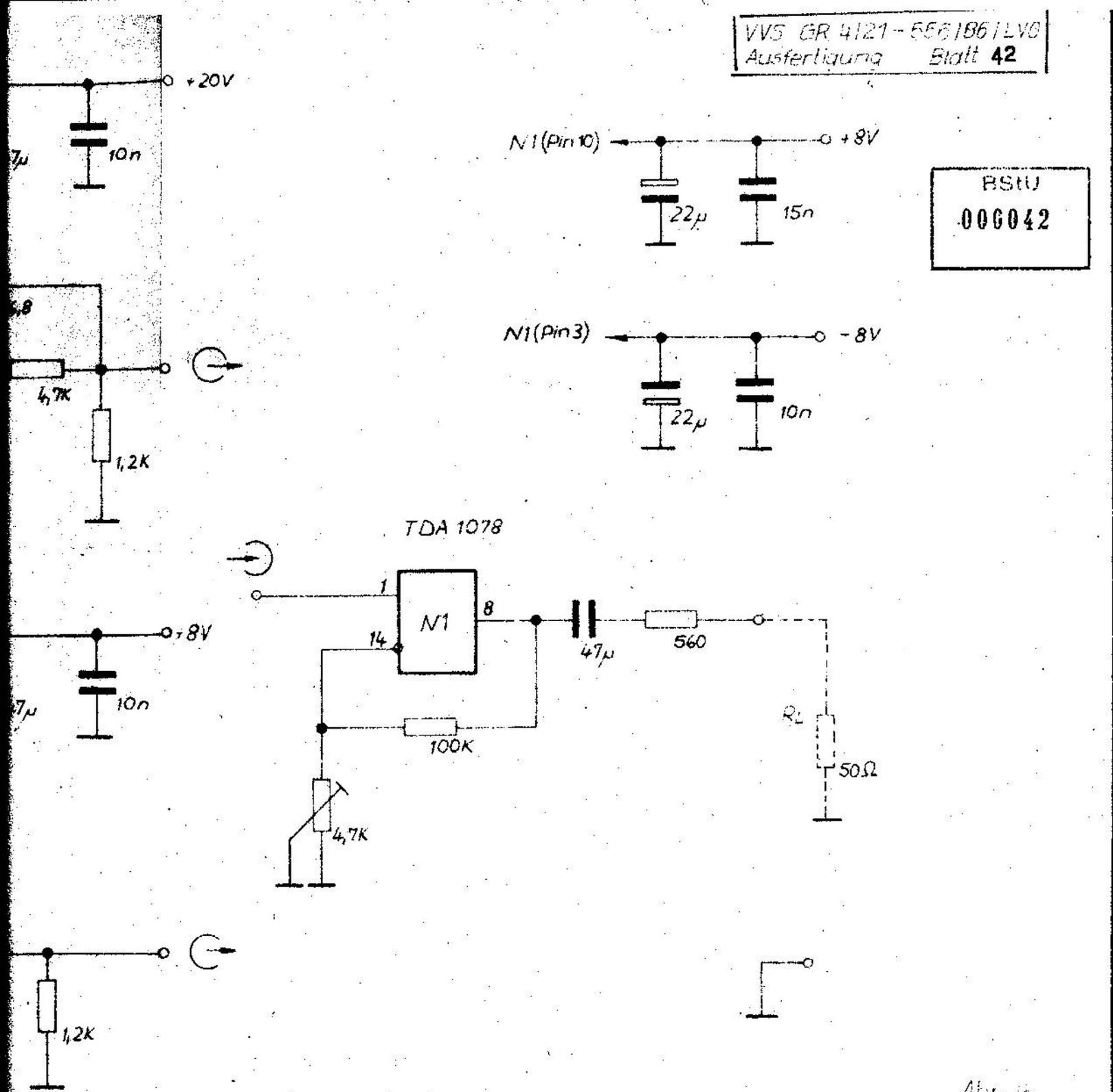


II



oder andere Nutzung dieses Konstruktionsdokumentes sind ohne Genehmigung nicht gestattet. Zuwiderhandlung zieht strafrechtliche Folgen nach sich.

BStU
000042



Abt. 4

				Halbzeug/Werkstoff		zul. Abw. für Maße ohne Toleranzang.		Spezial-technol.	
				Benennung		Maßstab		Bl. Anz. Bl. Nr.	
				Empfängerschaltungsvarianten		Masse			
AZ	Mitteilung	Datum	Name	Zeichnungs-Nr.					
Bearb.	Datum	Name							
Konstr.									
Technol.									
E-Stand.				Ers. für		Ers. durch			
Stand.									



Konstr.-Gr.

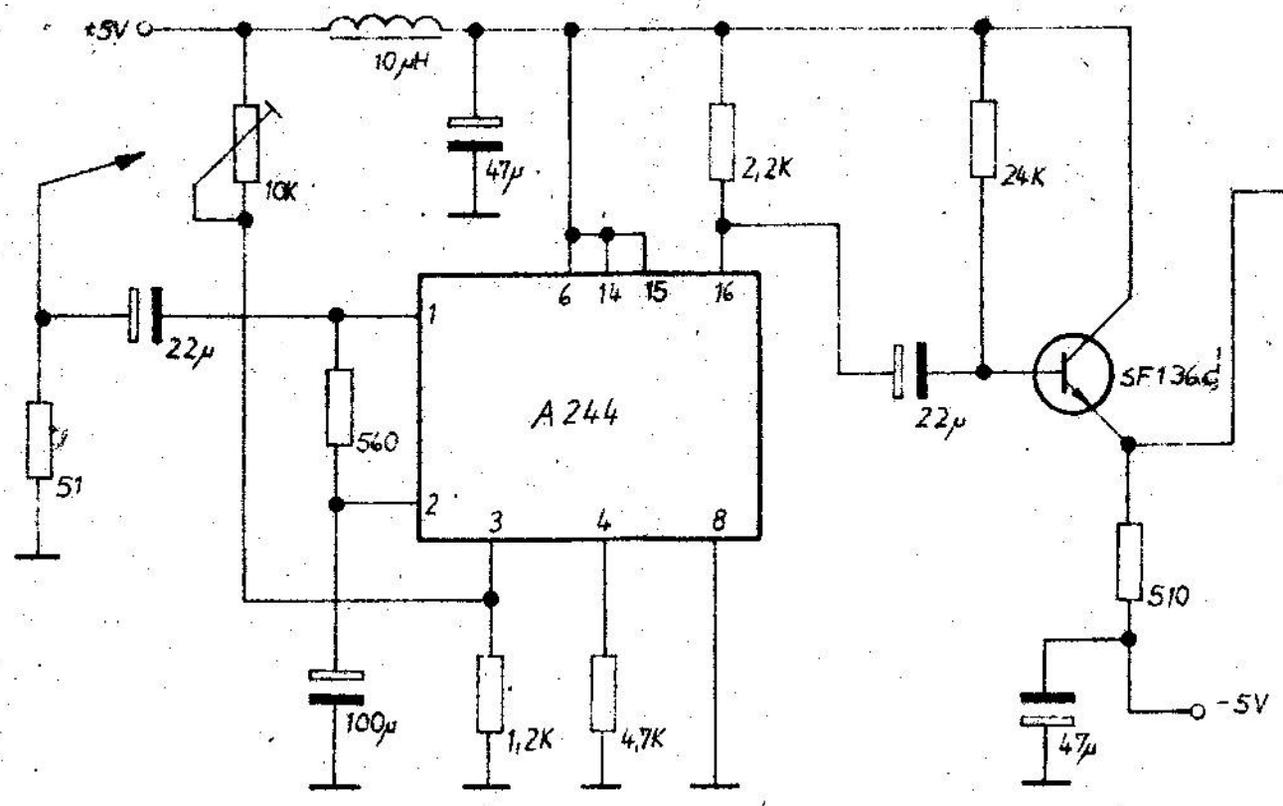
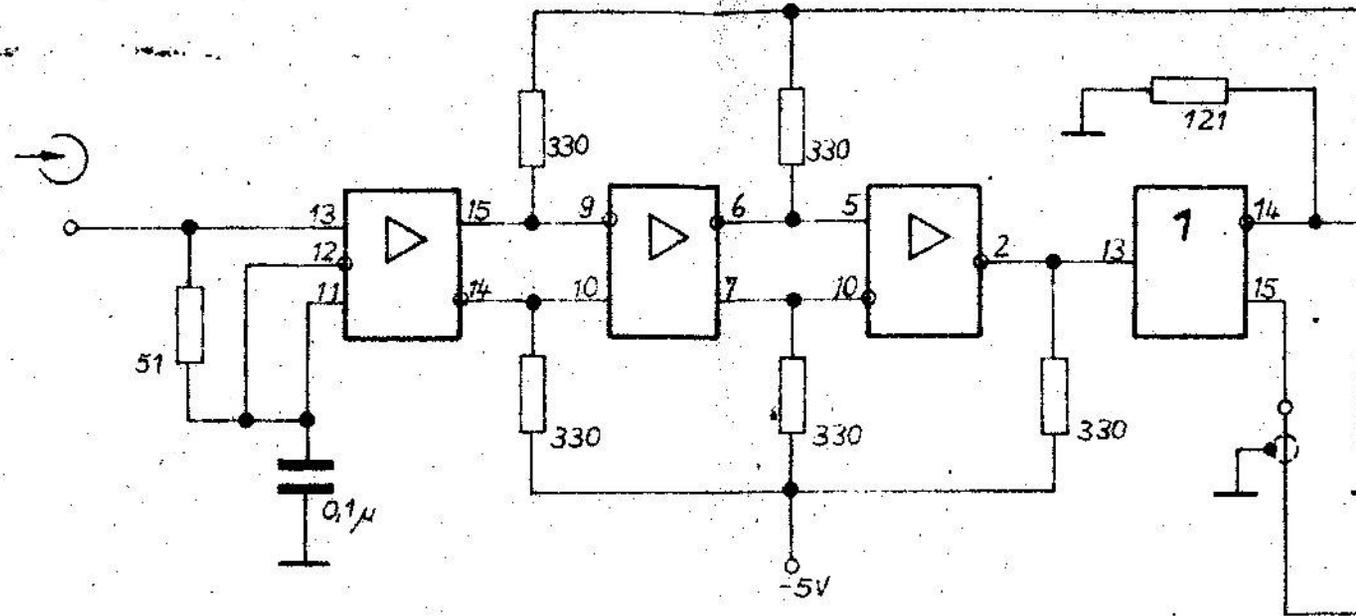
A

B

C

D

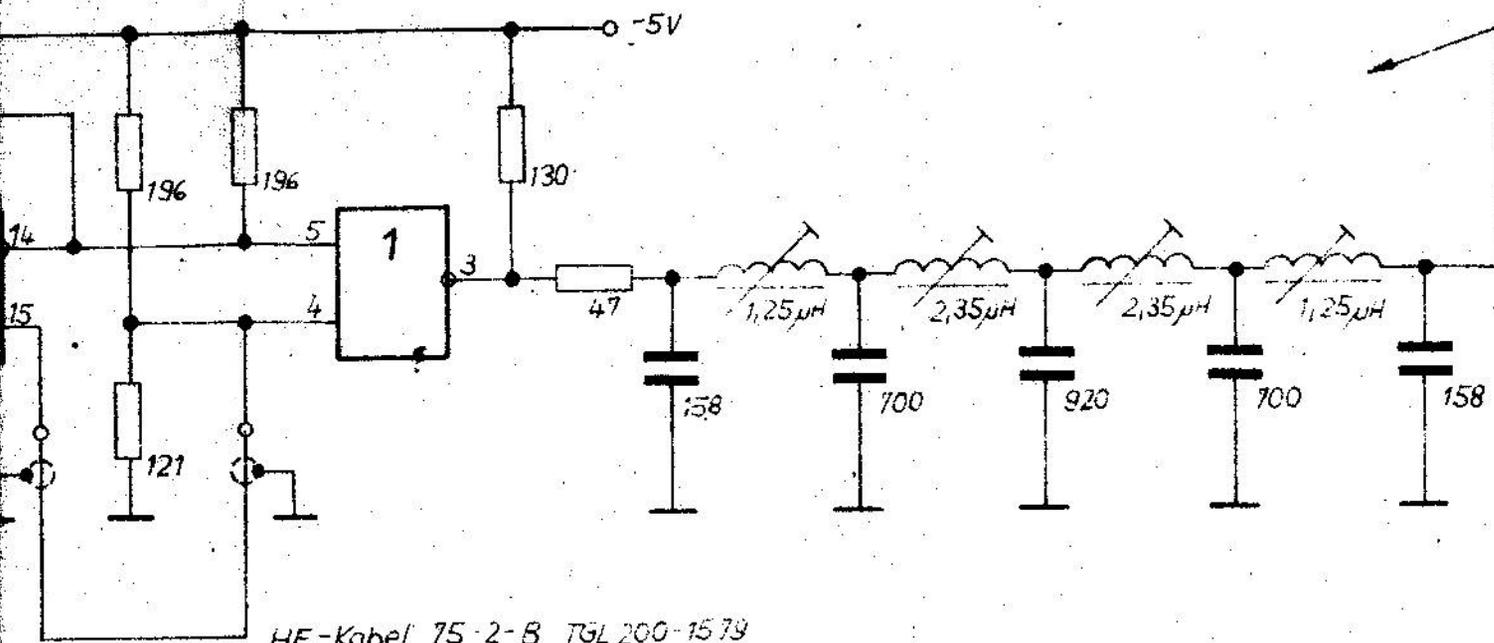
KP500 LP216
(196)



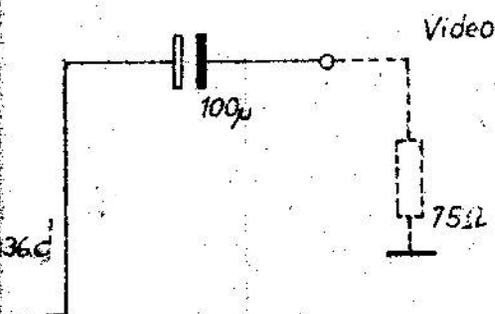
Verleiher, Weitergabe an Dritte, Belohnung
 oder andere Nutzung dieses Kunstwerks
 ohne Genehmigung nicht gestattet. Zuwiderhandlung stellt
 strafrechtliche Folgen nach sich.

BSIU
000043

KP500 LM109



HF-Kabel 75-2-B TGL 200-1579
(2m lg) - Verzögerungsleitung



ALD.5

				Halbzeug/Werkstoff	zul. Abw. für Maße ohne Toleranzang.		Spezialtechnol.
				Benennung	Maßstab		Bl. Anz. Bl.
				Demodulator		Masse	
ÄZ	Mitteilung	Datum	Name	Zeichnungs-Nr.			
1986	Datum		Name				
Bearb.	21.5		Kropp				
Konstr.							
Technol.							
E-Steud.				Ers. für	Ers. durch		
Stand.							
						Konstr.-Gr.	
				SON			

5

6

7

8

BStU
000044

— $2\alpha = 20^\circ$
 - - - $2\alpha = 40^\circ$
 - · - $2\alpha = 50^\circ$

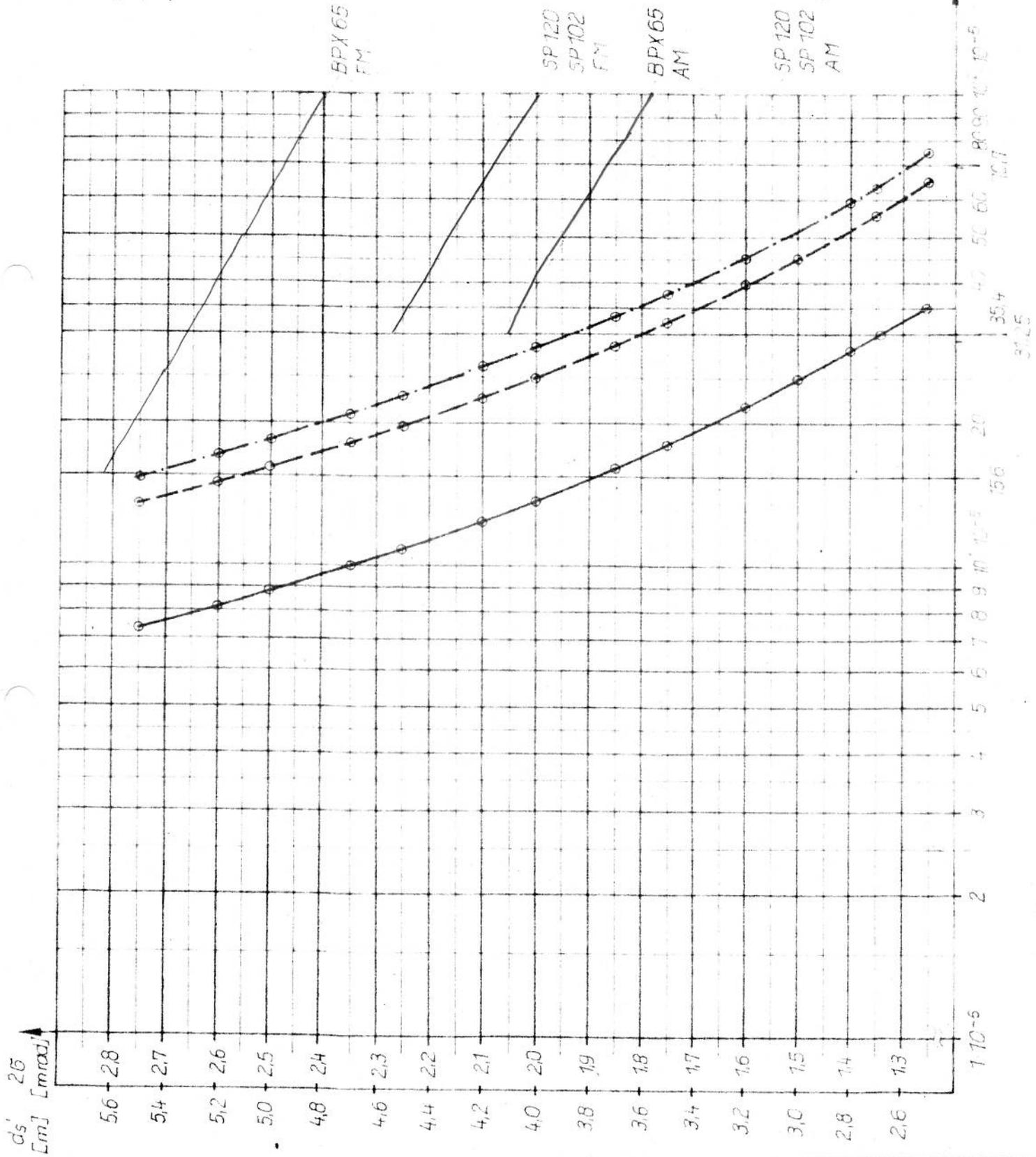


Abb. 6 : VG 150 ohne Faser kreisförmig
homogen ausgeleuchteter Bereich

BSU
000045

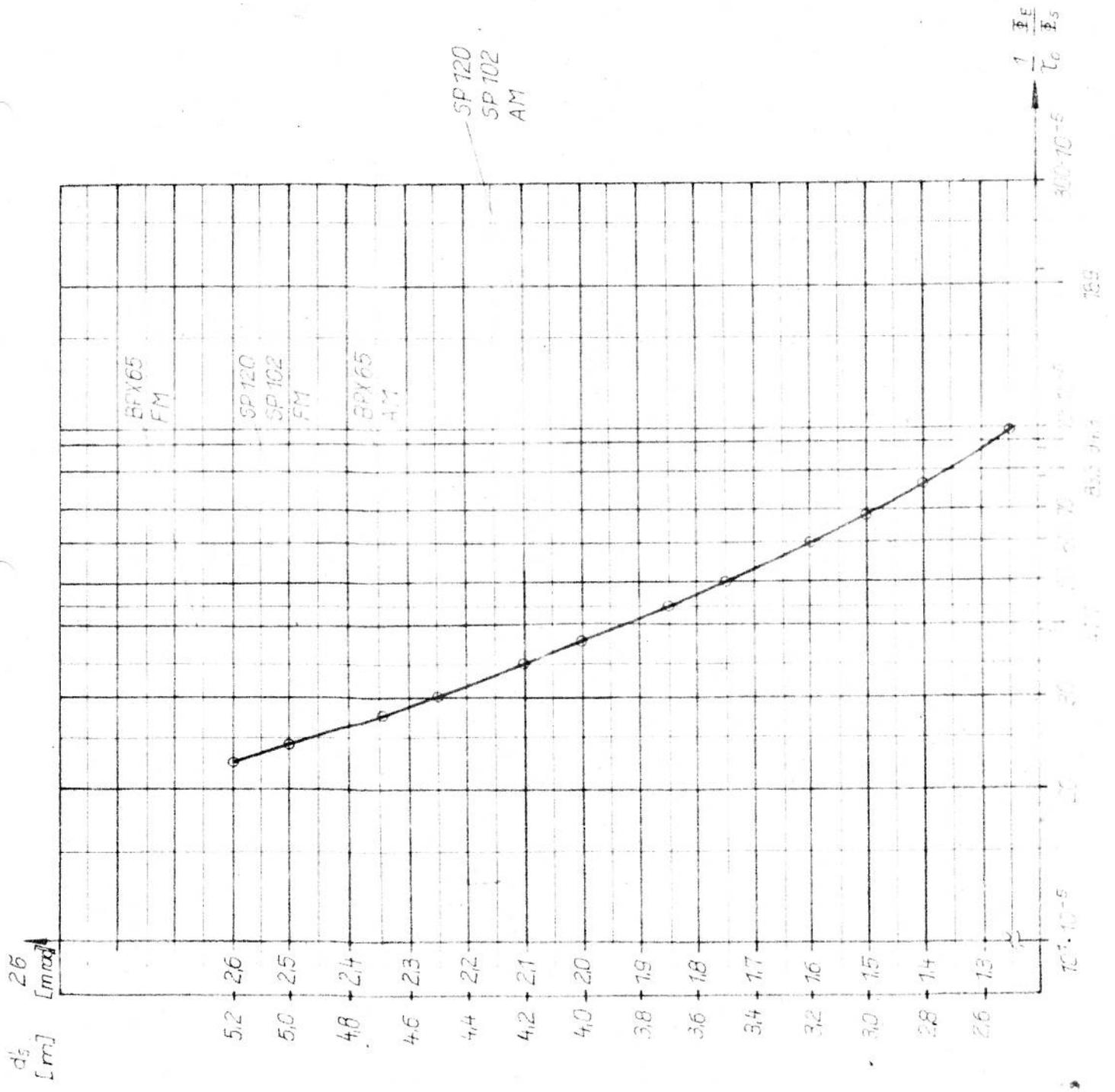


Abb. 7: VQ 150 - Modul
 $\tau_L = 1; 2\alpha_s \geq 23^\circ$

BSU
000046

- ① — $2\alpha = 20^\circ$
- ② — System 10-4.03 ($\epsilon_1 \approx 0,09$)
- — $2\alpha = 30^\circ$
- - - $2\alpha = 40^\circ$

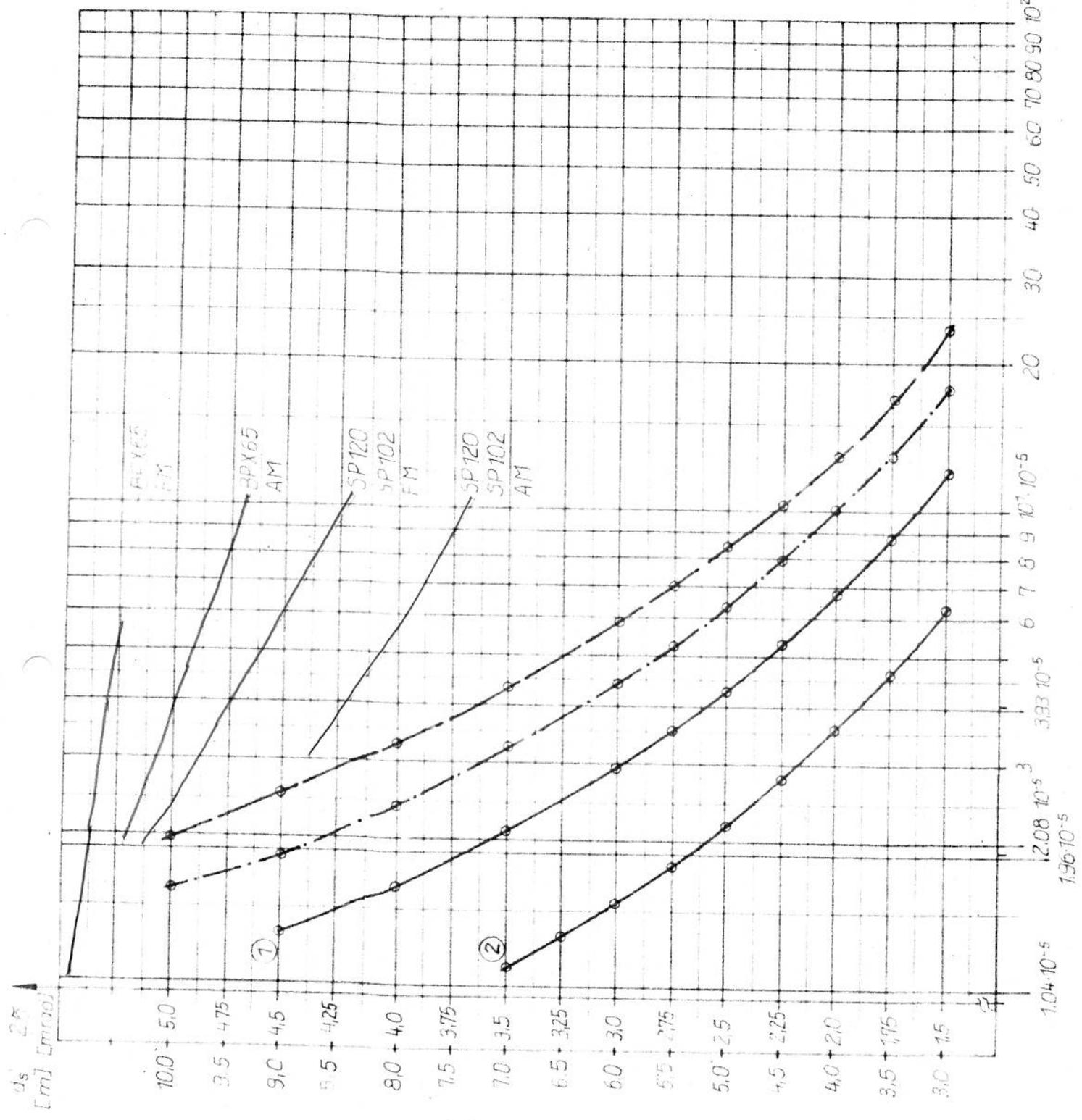


Abb. 8 - HLP 60 RGD