

ATV via Laserstrahl

4. Quartal 1997

von Wilfried Fritz, DG4ACC, M1224

Ziel der Entwicklung war es, eine möglichst einfache Schaltung zur störunempfindlichen Übertragung eines FBAS-Signales mittels eines Laserstrahles als Trägermedium unter Verwendung handelsüblicher Bauelemente herzustellen.

Die folgende Schaltung soll einen Weg zeigen, wie man mit verhältnismäßig einfachen Mitteln ein solches Vorhaben verwirklichen kann.

Zu Beginn stellte sich die Frage, auf welche Weise die Information, in diesem Falle das Videosignal, dem Laserstrahl aufgeprägt werden soll. Messungen der Intensität des

zu überlagern, also eine AM des Laserlichtes mit dem FM-Signal durchzuführen. Dieses Verfahren hat sich bereits bewährt und findet bei Infrarot-Kopfhörern rege Anwendung, wenn auch mit geringeren Bandbreiten und Reichweiten.

Durch diesen kleinen Umweg kommen die Vorteile der FM (Begrenzbarkeit, dadurch weitgehende Unterdrückung von störenden Amplitudenschwankungen sowie extreme Unempfindlichkeit gegenüber Störungen durch niederfrequente Wechsellichtquellen zur Geltung.

Soweit zur Theorie, nun zur Praxis

Da zu Beginn noch keine konkrete Vorstellung bestand, wie das Problem denn nun eigentlich anzugreifen sei, wurde zunächst viel experimentiert, verschiedene Konzepte ausprobiert und unterschiedliche Bauelemente getestet. Nach längerer Zeit kristallisierte sich folgende Schaltung heraus, die im Wesentlichen aus drei Funktionsblöcken besteht:

Der Sender

Das FBAS-Signal gelangt über den mit 75 Ohm abgeschlossenen Eingang an einen Videoverstärker, welcher den Signalpegel auf das erforderliche Maß anhebt.

Das verstärkte Signal wird einem freischwingendem Oszillator zugeführt. Die Trägerfrequenz liegt bei ca. 15 (!) MHz. Dem erfahrenen Funkamateuer wird eine solch niedrige Trägerfrequenz in Zusammenhang mit breitbandiger FM bereits das erste Stirnrunzeln hervorrufen, aber es funktioniert; schließlich wird bei VHS-Video recordern sogar ein 3,8 MHz-Träger zur FM mit dem ca. 3 MHz breiten Luminanzsignal verwendet.

Um einen ausreichenden Frequenzhub zu erzeugen, mußten Kapazitätsdioden mit einem großen Variationsbereich verwendet werden, daher fiel die



Wahl auf die Doppelkapazitätsdiode Typ BB212, welche ursprünglich für Abstimmzwecke im AM-Rundfunkbereich entwickelt wurde.

Dem Oszillator folgt eine Pufferstufe und im Anschluß daran die Verstärkerendstufe, die das FM-Signal auf den zur Modulation des Laserdiodenstromes erforderlichen Pegel verstärkt. Die Laserdiodenansteuerung erfolgt auf sehr einfache Weise: Da sich der Arbeitspunkt der Diode bei FM nicht unbedingt im linearen Kennlinienbereich befinden muß, wurde auf eine Leistungsregelung verzichtet und der Arbeitsstrom der Diode über einen Widerstand zugeführt.

Diesem Ruhestrom wird nun das FM-Signal überlagert, sodaß eine sehr einfache aber wirkungsvolle AM des Laserlichtes mit dem FM-Signal erfolgt.

Das so modulierte Laserlicht muß nun noch mit einer Sammellinse fokussiert werden, da Laserdioden im Gegensatz zu HeNe-Lasern kein annähernd paralleles Lichtbündel abstrahlen. Hierzu eignen sich Sammellinsen vorzugsweise aus Glas, Kunststofflinsen können unter Umständen durch unterschiedliche Dichteverhältnisse im Material und daraus resultierender starker Streustrahlung ungeeignet sein, im Zweifel muß die Eignung durch Experimente ermittelt werden.

Genau genommen ist die Fokussierung mit herkömmlichen Sammellinsen nicht die beste Lösung, es gibt speziell geschliffene Kollimatorlinsen, die die unterschiedlichen Abstrahlwinkel in der horizontalen und vertikalen Ebene so korrigieren, daß am Empfangsort ein sauberer Lichtpunkt abgebil-



am Empfangsort ankommenden Laserlichtes über eine Strecke von 500 m ergaben sehr schnell die Erkenntnis, daß die Helligkeit des Lasers im Verlauf der Übertragungsstrecke sehr starken, sprunghaften Schwankungen infolge der immer vorhandenen Luftturbulenzen (Schlieren) unterliegt.

Die Idee einer sehr einfach durchzuführenden AM des Lasers mit dem FBAS-Signal wurde daher sehr schnell verworfen, denn die auftretenden Helligkeitsschwankungen des Lasers wären unmittelbar als Pegelsprünge im FBAS-Signal wiederzufinden und somit im wiedergewonnenen Bild störend sichtbar gewesen. Eine direkte FM des Lasers ist mit vertretbarem Aufwand auf der Sender- und Empfängerseite nicht zu realisieren, was liegt also näher, als die Vorteile beider Modulationsarten zu verbinden? So entstand der Ansatz, mit dem FBAS-Signal zunächst einen hochfrequenten Träger frequenzmodulieren und dieses FM-Signal dem Arbeitsstrom einer Laserdiode

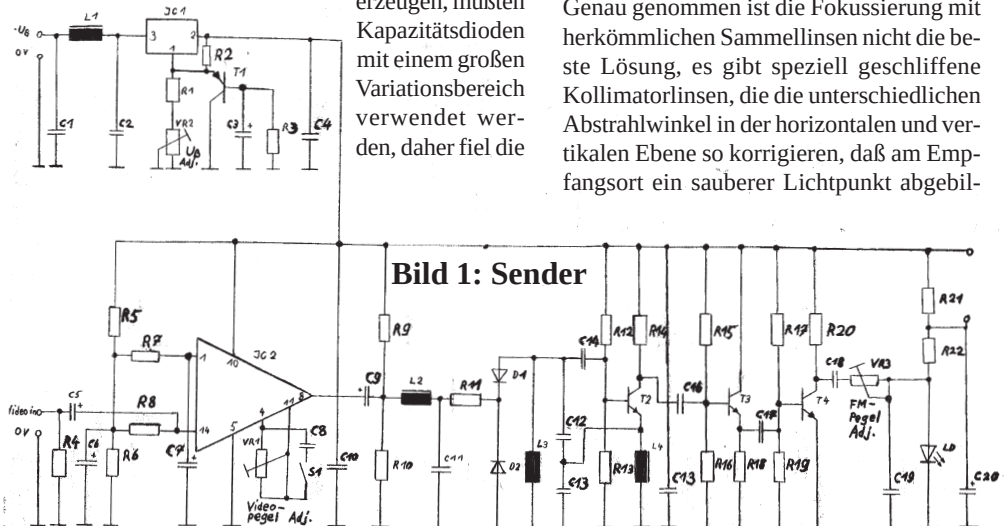


Bild 1: Sender

det wird. Praktische Versuche haben jedoch gezeigt, daß die durch die nicht ganz exakte Fokussierung entstehenden Verluste unerheblich sind.

Vielmehr sollte darauf geachtet werden, daß der Durchmesser der fokussierenden Linse nicht zu klein gewählt wird ($>4\text{cm}$), denn insbesondere bei Regen und Schneefall wird dann der Stahl durch hindurchfallende Tropfen bzw. Flocken nicht vollständig abgedeckt, sodaß Dropouts vermieden werden, es funktionieren zwar auch kleinere Linsen (Laserpointer), dann unter Umständen mit entsprechenden Nachteilen.

Der Vorverstärker

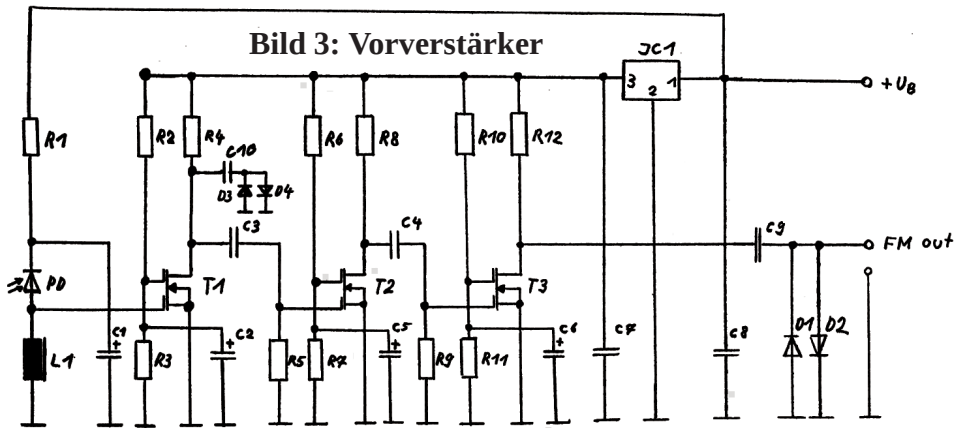
Das am Empfangsort eintreffende und mit im Verlauf der Übertragungsstrecke zugesetzten Amplitudensprüngen behaftete Laserlicht wird mit einer Sammellinse auf einen Brennpunkt gebündelt, in dem sich eine Fotodiode befindet.

Auch für den Durchmesser der Empfangslinse gilt die Aussage, daß der Durchmesser nicht zu klein gewählt werden sollte. Je größer der Durchmesser, desto größer ist die gesammelte Lichtmenge und umso höher ist die Reichweite. Durchmesser $>8\text{ cm}$ sind brauchbar.

Am Eingang des Vorverstärkers befindet sich eine Fotodiode Typ BPW34, welcher eine Induktivität parallel geschaltet ist. Diese bildet zusammen mit der Diodenkapazität und dem Verlustwiderstand der Diode einen Schwingkreis geringer Güte, der einerseits breitbandig genug ist, das Nutzsignal durchzulassen, andererseits eine ausreichende Selektion zur Unterdrückung eventuell vorhandener Wechsellichtquellen aufweist. Der Vorverstärker selbst ist breitbandig und besteht aus drei mit Dual-Gate-Mosfets bestückten Verstärkerstufen. Es ist notwendig, den Verstärker wie auch den Empfänger in separate Metallgehäuse einzubauen.

Der Empfänger

Der Empfänger besteht aus einem zweckentfremdeten FM-ZF-Verstärker-IC zur Begrenzung des FM-Signales, einem dreistufigen Transistorverstärker zur Verstärkung



auf den vom Demodulator benötigten Pegel, dem Demodulator, einem Tiefpaßfilter zur Entfernung der Trägerreste sowie einer Treiberstufe, damit an dem Ausgang ein Monitor mit 75 Ohm Abschlußwiderstand angeschlossen werden kann.

Die Demodulatorschaltung bereitete bei der Entwicklung einige Probleme, da es sich um ein breitbandiges Signal mit einer im Verhältnis dazu relativ niedrigen Trägerfrequenz handelt. Nachdem Versuche mit verschiedenen im FM-Rundfunkbereich üblichen Demodulationsverfahren nicht das gewünschte Ergebnis brachten, fiel die Wahl auf einen Zähldiskriminator, der die Anforderungen erfüllte. Sicherlich hätte man die Trägerfrequenz erhöhen können, beispielsweise auf die bewährten 70 MHz, jedoch war die Empfindlichkeit der BPW 34 in diesem Frequenzbereich inakzeptabel. Schnellere Dioden sind wesentlich teurer und haben eine wesentlich kleinere lichtempfindliche Fläche, was wiederum eine wesentlich genauere Fokussierung erfordert hätte. Alles in allem wären dadurch eine Vielzahl neuer Probleme aufgetaucht, so daß diese Idee sehr schnell wieder verworfen und die 15 MHz-Variante verwendet wurde.

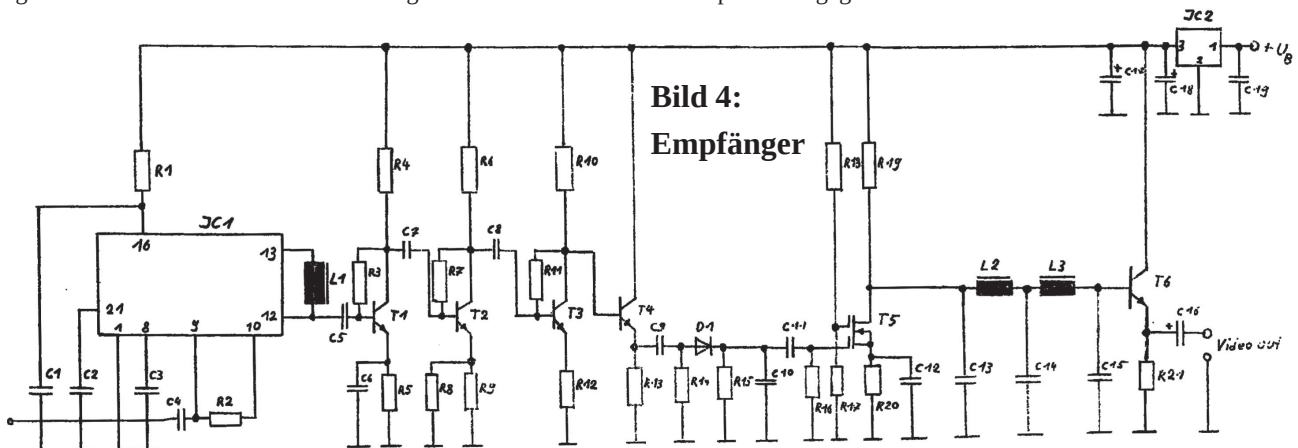
Zum Aufbau

Der Aufbau des Senders ist für den geübten Bastler relativ unkritisch. Die Trägerfrequenz sollte 14 MHz nicht unterschreiten und 17 MHz nicht überschreiten. Bei der Handhabung der Laserdiode sind jedoch einige Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Laserdioden sind sehr empfindlich gegen

statische Entladungen und Spannungsspitzen selbst im ns-Bereich. Der Kondensator C19, der parallel zur Laserdiode angeschlossen wird, muß vor der Montage unbedingt entladen werden. Spannungsspitzen müssen nicht unbedingt zur Zerstörung der Laserdiode führen, sie verkürzen aber in jedem Fall die Lebensdauer. Bevor die Laserdiode mit der restlichen Schaltung verbunden wird, muß der 1nF-Kondensator direkt an der Diode montiert werden. Die Länge der Verbindungsleitung zwischen Diode und Schaltung sollte so kurz wie möglich, höchstens 5 cm lang sein.

Um den Sender testen zu können ist es ratsam, die Laserdiode vorübergehend durch eine superhelle LED aus InGaAsP zu ersetzen. IR-LED's eignen sich aufgrund der zu geringen Grenzfrequenz in der Regel nicht. Dabei ist der maximale Vorwärtsstrom durch die Diode zu beachten. Notfalls muß für den Test dem Widerstand R 22 ein weiterer Widerstand, in der Schaltung mit R 21 bezeichnet, in Reihe geschaltet werden.

Das Trimpotentiometer am LM 317 sollte so eingestellt werden, daß durch die Diode ein Strom von x mA fließt. Der Strom x ist abhängig vom Laserdiodentyp und muß im Zweifel dem zugehörigen Datenblatt entnommen werden. Bei der Strommessung darf auf gar keinen Fall das Strommeßgerät wie sonst üblich in Reihe zur Laserdiode geschaltet werden (Gefahr der Beschädigung), sondern es ist günstiger, den Spannungsabfall am Vorwiderstand R 22 zu messen und daraus den Strom zu errechnen. Das



Stückliste: Empfänger, Sender, Vorverstärker

Empfänger:	C5:33p	T5:BF981	Laserdiode,kann ungefähr errechnet werden durch :R23=10V/If; If:Vorwärtsstrom durch die Laserdiode	C20:10µ	R9:100k
Widerstände:	C6:100p	T6:2N2219		Induktivitäten:	R10:100k
R1:100	C7:150p	Sender:		L1:UKW-Breitband- drossel,5-Lochkern	R11:33k
R2:330	C8:150p	Widerstände		L2:4,7µH	R12:1k
R3:10k	C9:1n	R1:820	VR1:10k	L3:Luftspule 14 Wdg.,10mm Innen- durchmesser	Kondensatoren:
R4:1,5k	C10:47p	R2:100	VR2:100	Halbleiter:	C1:10µ/Tantal
R5:51	C11:100n	R3:1M	VR3:100	D1:BB112 (oder 1X)	C2:1m
R6:1,5k	C12:330p	R4:75	Kondensatoren:	D2:BB112 (BB212)	C3:150p
R7:10k	C13:33p	R5:2,2k	C1:100n	LD:Laserdiode	C4:10pF
R8:2,2k	C14:47p	R6:2,2k	C2:100n	IC1:LM317	C5:1µ
R9:3,3k	C15:33p	R7:2,2k	C3:10m	IC2:NE592	C6:1µ
R10:1,5k	C16:100µ	R8:2,2k	C4:470n	T1:BC550	C7:100n
R11:10k	C17:100n	R9:10k	C5:100µ	T2:BF224	C8:100n
R12:100	C18:1000µ	R10:10k	C6:100µ	T3:BF224	C9:82p
R13:1,5k	C19:100n	R11:330	C7:100µ	T4:2N2219	C10:100n
R14:100k	Induktivitäten:	R12:68k	C8:68p	Vorverstärker:	Induktivitäten:
R15:10k	L1:UKW-Breitband- drossel,5-Lochkern	R13:22k	C9:100µ	Widerstände:	4,7µH
R16:100k	L2:10µH	R14:1k	C10:15n	R1:10k	Halbleiter:
R17:33k	L3:22µH	R15:15k	C11:100p	R2:100k	D1:BAT43
R18:100k	Halbleiter:	R16:15k	C12:82p	R3:33k	D2:BAT43
R19:1,5k	IC1:7812	R17:10k	C13:150p	R4:1k	D3:BAT43 *
R20:100	IC2:TDA4100	R18:470	C14:100p	R5:33k	D4:BAT43 *
R21:150/0,5W	T1:BF199	R19:330	C15:15n	R6:100k	PD:BPW34
Kondensatoren:	T2:BF199	R20:100	C16:150p	R7:33k	T1:BF981
C1:100n	T3:BF199	R21: siehe Text	C17:47n	R8:1k	T2:BF981
C2:100n	T4:BF199	R22:ca.180/1W, Wert abhängig vom Vorwärtsstrom der	C18:47n		T3:BF981
C3:22n			C19:1n		* nicht unbedingt erforderlich (Bild 2)
C4:82p					

Meßgerät sollte vor dem Einschalten des Senders angeklemt werden. Bei der Verwendung von Low-cost-IR-Laserdioden mögen diese Maßnahmen etwas übertrieben erscheinen, anders sieht es jedoch schon bei leistungsfähigeren Typen >20 mW aus, bei denen der Anschaffungspreis derzeit bei ca. 300-400 DM liegt. Etwas mechanischen Aufwand erfordert der Einbau der Laserdiode. Da diese sich erwärmt, muß sie in einen Kühlkörper eingebaut werden. Je nach Laserdiodentyp liegt entweder die Kathode oder die Anode am Gehäuse, so daß die Diode unter Umständen von Masse isoliert montiert werden muß. Einen Lösungsvorschlag beinhaltet folgende Zeichnung. (Bild 5)

Die Schrauben M3 müssen sehr vorsichtig angezogen werden, damit die Diode nicht mechanisch beschädigt wird. Wenn die Schaltung in Betrieb ist und die Laserdiode Licht abstrahlt, darf unter keinen Umständen direkt in den Strahl geblickt werden, da auch ohne Fokussierung das Licht sehr intensiv ist und dadurch irreparable Netzhautschäden auftreten können. Es ist besser, etwas vorsichtiger als eigentlich notwendig zu sein, denn der Mensch hat nur zwei Augen. Dies gilt insbesondere bei der Verwendung von Infrarot-Laserdioden, da deren Licht nicht oder nur sehr schwach wahrnehmbar ist und man eher geneigt ist, nochmals hinzuschauen, wenn man nur schwach etwas leuchten sieht. Die fatalen Folgen werden leider erst dann erkennbar, wenn es zu spät ist, also Vorsicht über alles!

Es ist möglich, vor die in Betrieb befindliche Laserdiode ein weißes Blatt Papier zu

halten, auch bei IR-Dioden bis 880 nm ist dann bei gedämpften Umgebungslicht ein leichtes Leuchten sichtbar. Es gibt mittlerweile recht preisgünstige sw-CCD-Kameramodule, die IR-empfindlich sind. Auch sw-CCD-Überwachungskameras sind bis auf wenige Ausnahmen mit IR-cut-Filter IR-tauglich, so daß ein Nachweis der IR-Strahlung möglich ist.

Auch der Aufbau des Vorverstärkers ist in der Regel problemlos, eventuell kann die Induktivität L1 abstimmbaar ausgeführt werden, sodaß eine optimale Empfindlichkeit eingestellt werden kann. Der Verstärker sollte in ein Metallgehäuse eingebaut werden. In das Gehäuse wird eine Öffnung gebohrt und ausgefeilt, in die die Diode eingeklebt wird. Es ist darauf zu achten, daß keiner der Pins das Gehäuse berührt. Die Verbindungsleitungen zwischen BPW 34 und Vorverstärker sowie zwischen Vorverstärker und Empfänger müssen geschirmt (z. B. RG 174) und sollten möglichst kurz sein, ideal <5 cm.

Der Empfänger ist aufgrund der hohen Gesamtverstärkung etwas kritisch in Bezug auf die Schwingneigung. Es ist empfehlenswert, die Schaltung möglichst „gedrängt“ aufzubauen, d. h. stehende Montage der Bauelemente soweit wie möglich. Einer der Versuchsaufbauten wurde auf einer Lochrasterplatte mit Lötpunktauflage realisiert und funktionierte problemlos, unter Umständen muß etwas experimentiert werden.

Auch der Empfänger muß in ein eigenes, geschlossenes Metallgehäuse eingebaut werden. Es ist von Vorteil, wenn der in ein Metallgehäuse eingebaute Vorverstärker direkt auf das Empfängergehäuse montiert wird

und die Verbindungsleitung zwischen Vorverstärker und Empfänger durch ein kleines Loch möglichst kurz hindurchgeführt wird.

Ist alles korrekt aufgebaut, kann der Empfänger in Verbindung mit dem Vorverstärker in Betrieb genommen werden. Dabei muß am Ausgang ein kräftiges Rauschen zu sehen sein (Schnee auf dem Monitor). Rauscht der Empfänger und ist an dem Sender mit angeschlossener LED oder Laserdiode ein FM-Signal mit der Trägerfrequenz von ca. 14-17 MHz meßbar (ca. 1,2 Vss), wird die Sendediode über eine Distanz von ca. 50 cm (bei einer Laserdiode zwischen 1m und 2 m) auf die BPW 34 ausgerichtet. Ist am Sender keine Videoquelle angeschlossen, muß das Rauschen verschwinden und der Bildschirm dunkel werden. Nun kann am Sender eine Videoquelle angeschlossen werden (Kamera, Generator, o. ä.). Am Trimmer VR1 wird der Pegel des Videosignales eingestellt. Idealerweise erscheint auf dem angeschlossenen Monitor ein scharfes, kontrastreiches Bild.

Troubleshooting

Sollte das Bild trotz einwandfreier Quelle unscharf sein, kann am Sender die Konturanhebung mit S1 eingeschaltet werden. Bringt dies nicht den gewünschten Erfolg, so kann unter Umständen durch Variation der L's und C's im Tiefpaß am Empfänger- ausgang eine Verbesserung erzielt werden. Weiterhin ist es möglich, dem Kondensator C12 am Source des Transistors T5 einen weiteren C gleicher Größenordnung parallel zu schalten. Reflexionen im Bild können von zu langen Verbindungsleitungen zwischen Sender und Laserdiode, fehlendem Parallel-

kondensator zur Laserdiode sowie zu langen Leitungen zwischen BPW 34 und Vorverstärker und/oder vom Vorverstärker zum Empfänger herrühren. In seltenen Fällen entstehen Reflexionen durch Instabilitäten im Empfänger (Schwingneigung) oder durch nicht optimale Dimensionierung des Tiefpaßfilters (bewährt haben sich Neosid-Festinduktivitäten). Eine weitere mögliche Ursache für ein schlechtes Bild kann durch Übersteuerung des Vorverstärkers bzw. des Empfängers hervorgerufen werden. Abhilfe schafft hier eine Reduktion des Signalpegels beispielsweise durch entsprechende Vergrößerung des Abstandes zwischen Sender und Empfänger.

Ist das Bild akzeptabel, kann die LED durch die Laserdiode ersetzt und der Ruhestrom wie im Abschnitt „Sender“ beschrieben eingestellt werden.

Tonübertragung

Die vorgestellte Schaltung ermöglicht noch keine Tonübertragung. Bei Bedarf kann ähnlich wie bei herkömmlichen FM-ATV ein Unterträger zugesetzt werden, dessen Frequenz nicht über 6,5 MHz und nicht unter 5,5 MHz liegen sollte. Gute Erfahrungen wurden mit 6,0 und 6,5 MHz gemacht. Die Einstellung des Unterträgerpegels ist etwas kritisch, da sich ein zu hoher Pegel durch Schlieren im Bild und ein zu geringer Pegel durch Tonrauschen insbesondere im Grenzbereich bemerkbar macht. Bei der Verwendung eventuell vorhandener BBA's mit hochohmigem Ausgang ist darauf zu achten, daß der 75 Ohm-Widerstand am Sendereingang entfernt oder besser eine Impedanzwandlerschaltung der BBA nachgeschaltet wird. Es ist möglich, daß es Probleme mit der eingebauten Preemphasis gibt. Im Zweifel muß auch hier etwas experimentiert werden.

Praktische Erfahrungen beim

Betrieb der Anlage (Bild 6)

Die Reichweite ist stark abhängig vom verwendeten Laserdiodentyp, dem Durchmesser der Empfangslinse, der Einstellung der Senderoptik sowie deren Güte und insbesondere von der Lichtdurchlässigkeit der durchleuchteten Atmosphäre.

Folgende Werte wurden im praktischen Versuch ermittelt.

Diese Angaben sind als Anhaltswerte zu be-

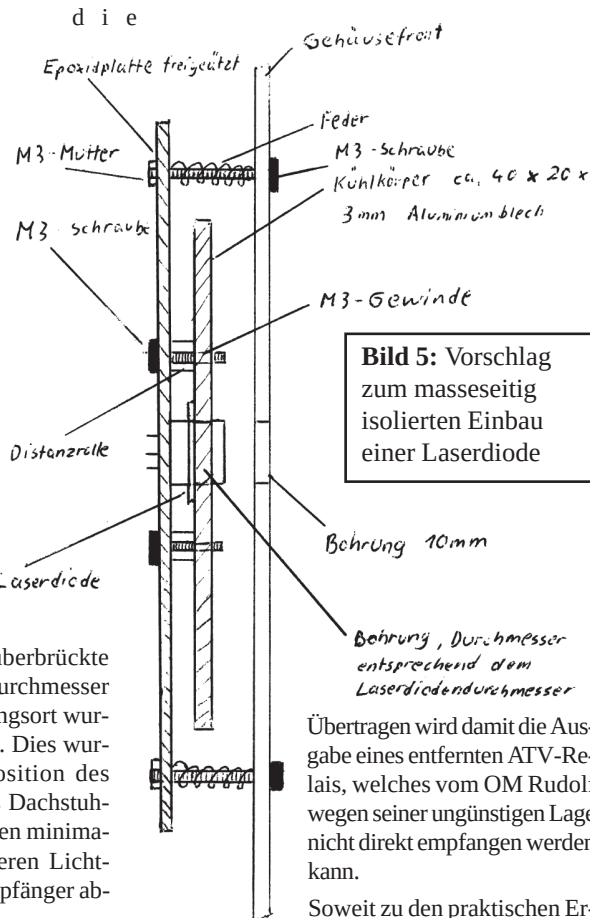
trachten, im Einzelfall können erhebliche Abweichungen auftreten. Die bereits eingangs erwähnten Luftturbulenzen waren bei den Übertragungsversuchen ständig vorhanden, sie wurden allerdings erst bei Distanzen > 5000 m sichtbar, da Signalamplitude für eine sichere Begrenzung nicht mehr ausreichte (30 mW Output). Bei einem Dauer-versuch von 1 1/2 Jahren wurde darüber hinaus festgestellt, daß stark erwärmte Objekte im Strahlengang den Laserstrahl durch starke Luftturbulenzen ablenken und somit zu zeitweisen Ausfällen führen können. In diesem konkreten Fall wurde eine Laserdiode mit ca. 2mW Output (Typ TOLD 920, Toshiba) und eine Kunststofflinse mit 0,5cm Durchmesser zur Fokussierung verwendet. Der Sender war mit einer Klemmhalterung an einem Dachziegel befestigt. Die überbrückte Distanz betrug 500 m, der Durchmesser des Lichtpunktes am Empfangsort wurde auf ca. 1,80 m eingestellt. Dies wurde notwendig, weil die Position des Punktes bei Erwärmung des Dachstuhles und der damit verbundenen minimalen Verschiebung bei kleineren Lichtpunktdurchmessern vom Empfänger abwanderte.

Der dadurch entstehende Signalverlust wurde empfangsseitig durch Verwendung einer 15 cm x 20 cm großen Rechtecklinse gemildert. Da der Strahlengang parallel zur Dachkante verlief, wurde das Signal bei starker Sonneneinstrahlung durch die unruhige Luft infolge der Erwärmung tagsüber stark gestört.

Dagegen wurde die Signalqualität selbst durch kräftigen Frost nicht verschlechtert, lediglich bei wolkenbruchartigen Niederschlägen fiel die Übertragung kurzfristig aus. Normaler Regen verschlechterte die Bildqualität geringfügig, führte aber nie zu einem kompletten Ausfall.

Derzeit läuft noch eine weitere Anwendung über eine Distanz von ca. 150 m mit einem

675 nm Diodenlaser zu OM Rudolf, DB70Z, dessen Empfänger sich auf dem Dachboden befindet, so daß der Laserstrahl zusätzlich noch ein verschmutztes Dachfenster passieren muß.



Übertragen wird damit die Ausgabe eines entfernten ATV-Relais, welches vom OM Rudolf wegen seiner ungünstigen Lage nicht direkt empfangen werden kann.

Soweit zu den praktischen Erfahrungen, die bei unterschiedlichen Wetterlagen über verschiedene Distanzen ermittelt wurden.

Abschließend sei noch bemerkt, daß es sich bei der hier vorgestellten Anlage um eine größtenteils im Experiment entstandene relativ einfache Schaltung handelt, die einen der vielen möglichen Wege aufzeigen soll, wie man via Laserstrahl ATV-Betrieb machen kann.

Möglicherweise ist eine deutliche Empfindlichkeitssteigerung durch Verwendung eines Sekundärelektronenvervielfachers anstelle der Photodiode zu erreichen. Dem experimentierfreudigen OM ist also noch eine Menge Spielraum gelassen.

Viel Spaß, Wilfried Fritz, DG4ACC

Laserausgangsleistung	Wellenlänge	Empfangslinsendurchmesser	Atmosphärenzustand	Reichweite	Bewertung (Bild 6)
ca. 2 mW	675 nm sichtbar	10 cm	klare Sicht	500 m	rauschfrei B5
ca. 2 mW	675 nm sichtbar	10 cm	Regen	400 m	min.Rauschen B4
ca. 2 mW	675 nm sichtbar	20 cm	Regen	500 m	rauschfrei B5
ca. 3 mW	780 nm nahes IR	10 cm	klare Sicht	1000 m	rauschfrei B5
ca. 3 mW	780 nm nahes IR	10 cm	Regen	1000 m	rauschfrei B5
ca. 3 mW	780 nm nahes IR	10 cm	Schneetreiben	2000 m	angerauscht B3
ca.30 mW	780 nm nahes IR	8 cm	klare Sicht	5000 m	min. Rauschen B4
ca.30 mW	780 nm nahes IR	10 cm	klare Sicht	5000 m	rauschfrei B5
ca.30 mW	780 nm nahes IR	10 cm	leichter Dunst	10000 m	verrauscht B2