

Der Tiefraumvideospeicher R3m für das Phobosprojekt ein Ergebnis der digitalen Dichtspeicherentwicklung aus der DDR

Dissertation (B) zur Erlangung des akademischen Grades doctor scientiae technicarum (Dr. sc. techn.)
vorgelegt dem Forschungsbereich Mathematik/Informatik der Akademie der Wissenschaften der DDR
von Dr.rer.nat. Hans-Günter Weide geb. am 4.01.1941 in Chemnitz

Gutachter: Prof. Dr. habil. Horst Völz. Prof. Dr.sc.techn. Ralf Joachim. Prof. Dr.sc.techn. Hans-Jörg Werrmann
Berlin, den 2.2.1989

2

Der Tiefraumvideospeicher R3m für das Phobosprojekt - ein Ergebnis der digitalen Dichtspeicherentwicklung aus der DDR

1.	Einleitung	3
2.	Entwicklungsbedingungen der hochdichten digitalen Magnetbandspeicherung in der DDR und Beispiele von Geräteentwicklungen	5
3.	Projektanforderungen für einen hochdichten digitalen Tiefraumspeicher der Phobosmission	12
3.1.	Wissenschaftliche Aufgabenstellung des Experiments	12
3.2.	Wissenschaftlich-technische Randbedingungen des Tiefraumeinsatzes	14
4.	Systemlösung des Tiefraumvideospeichers R3m.....	18
4.1.	Grundprinzip der Arbeitsweise	18
4.2.	Anschlußschnittstelle des R3m	27
4.2.1.	Funktionssteuerung	27
4.2.2.	Betriebsdatentelemetrie des R3m.....	27
4.3.	Hauptbaugruppen des R3m	40
4.3.1.	R3m- Sendust- Langlebensdauer magnetkopf	42
4.3.2.	R3m- Magnetband	51
4.3.3.	Systemelektronik des R3m.....	57
4.3.4.	R3m- Mechanik	66
4.4.	Zuverlässigkeit und R3m- Prüfkompex	81
5.	Erste Ergebnisse.....	92
6.	Zusammenfassung.....	93
7.	Literaturzusammenstellung	95
8.	Anlagen.....	98

3

Der Tiefraumvideospeicher R3m für das Phobosprojekt - ein Ergebnis der digitalen Dichtspeicherentwicklung aus der DDR

1. Einleitung

Ab Mitte der fünfziger Jahre verzeichneten die digitalen Magnetbandspeicher als periphere Geräte der Rechentechnik, gemeinsam mit deren gewaltiger Entwicklung in Qualität und Quantität, weltweite Produktionserfolge /VöL72/.

Für den problemlosen Einsatz der Digitalspeicher wurde eine strenge Standardisierung der Anschlußschnittstellen und des Datenformates notwendig und durchgesetzt. Als Hauptgeräteklassen wurden zuerst die 1/2"-Geräte, nach den Bandbreiten genannt, mit 9 Spuren und Speicherdichten von 32 bit/mm, 64 bit/mm, 128 bit/mm und zuletzt mit 256 bit/mm sowie mit Geschwindigkeiten von 90 cm/s bis 6 m/s entwickelt und standardisiert.

Mit dem Erscheinen der Prozeß- und Kleinrechner wurden auch Geräte mit geringeren Bandbreiten eingeführt und standardisiert; so z. B. die 1/8"-Digitalkassettengeräte mit 32 bit/mm und 2 Spuren nach Standard ISO 32 und die 1/4"-Kassettengeräte mit 64 bit/mm und 4 Spuren nach Standard "ECMA 46" /WIN76;EUR76/.

Da die Geräte durch diese strenge Standardisierung unabhängig vom Hersteller in den verschiedensten Rechnerkonfigurationen eingesetzt werden konnten, führte das in Verbindung mit dem steigenden Bedarf nach peripherer Speicherkapazität bis in die heutige Zeit zu den beeindruckenden Produktionszahlen von Magnetbandspeichergeräten mit einer Verdoppelung der Produktion in jeweils 3 Jahren /VöL84/.

Steigende Anforderungen nach Speicherkapazität und Zugriffszeit förderten die Entwicklung großvolumiger und schneller (6 m/s) Speichereinheiten, die auf Grund des geringen "bit"-Speicherpreises und der guten Archivierungsfähigkeit der austauschbaren Datenträger, trotz der rasanten Entwicklung der rotierenden Speicher (Festplattenspeicher und Floppy-Disk), ab Mitte der 70er Jahre bis heute nicht an Bedeutung verloren haben /VöL85/.

4

Durch die besonderen Anforderung der in den 60er/70er Jahren beginnenden Prozeßautomatisierung, der Anfänge der digitalen Bildverarbeitung und nicht zuletzt die Forderungen der Weltraumforschung mussten auch Lösungen außerhalb des gegebenen Standards gefunden werden, die insbesondere eine höhere Flächenspeicherdichte realisieren sollten.

Mit der Einführung der Gruppencode-Magnetbandspeicher (GCR-Speicher) durch IBM, Mitte der 60er Jahre mit 256 bit/mm (320 FW/mm) Speicherdichte, wurde der Begriff "Hochdichte digitale Magnetbandspeicher" (HDDR-High density digital recording) eingeführt, der heute für alle Geräte mit Speicherdichten von ≥ 256 bit/mm bzw. FW/mm angewendet wird. Bei diesen Geräten zeigte sich jedoch schnell, daß bei der wesentlich erhöhten Speicherdichte in den Blocklücken bis zu 50 % der Datenkapazität des Bandes "verschenkt" wurden.

Die mit dem Standard geforderten schnellen Start/Stop-Vorgänge bei Bandgeschwindigkeiten von 1 m/s bis 6 m/s führten außerdem zu großen technischen Aufwand. Für den Dandantrieb mußten überdimensionierte Motoren eingesetzt

werden, als Bandzugspuffer waren Vakuumschächte unumgänglich. Der damit verbundene Aufwand erhöhte den Preis und schloß kleine Baugrößen für Magnetbandspeicher aus.

Dieser technische Widerspruch wurde durch die Entwicklung und Einführung von Bandspeichergeräten mit kontinuierlichem Lauf, ohne schnellen Start/Stop gelöst. Speicher dieser neuen Generation wurden vorwiegend an kleineren Rechnern bzw. in der zweiten Peripherie eingesetzt. Durch die quasi kontinuierliche Übergabe von relativ großen Datenmassiven konnte die hohe Anzahl von Blocklücken vermieden werden. In der Literatur wurden diese Arbeitsweise als "Streaming-mode" und Geräte dieses Typs als "Streamer" bezeichnet /KEL83/.

Infolge dieser Entwicklung entstand Anfang der 80er Jahre ein großes Produktionsortiment von relativ kleinen Streamer-Geräten mit Datenkapazitäten von 10 - 150 MByte pro Kassette. Sie wurden zur Datensicherung und Archivierung im Zusammenwirken mit Festplattenspeicher eingesetzt. Für sie hat sich der Begriff "back-up"-Speicher durchgesetzt /ADL77/

Mit der Entwicklung der Weltraumforschung wurde es notwendig, auch an Bord von Satelliten größere Menge von Daten zu speichern. Hier wurden Speicher mit extremen raum- und

5

energiesparendem Aufbau benötigt, die über eine längere Zeit wartungsfrei und automatisch steuerbar arbeiteten. Trotz umfangreicher Bemühungen, diese Speicheraufgabe ohne mechanisch bewegte Teile zu lösen, z.B. durch Ferrit- oder Bubble-Speicher /RAB72; HOF76/, setzte sich auch hier der Magnetbandspeicher als eine technisch realisierbare Variante durch.

So wurden Magnetbandspeicher verschiedener Baugröße, Datenkapazität und Datenrate entwickelt, die Aufgaben der Datensammlung bis zur Bildspeicherung realisierten. Da diese Forderungen nicht mehr im Rahmen der bestehenden Standards bzw. Gerätelösungen zu erfüllen waren, initiierte die Weltraumforschung ganz wesentlich die Entwicklung neuer Generationen hochdichter Magnetbandspeicher, die heute auch als Boden-Zwischenspeicher und "back-up"-Speicher ihren industriellen Einsatz erfahren haben /GIT86;WEIVO/.

Durch die Beteiligung der Akademie der Wissenschaften der DDR am Interkosmosprogramm und durch die Übernahme von Entwicklungsaufgaben zur Digitalmagnetbandspeichertechnik, war der Anstoß zur Entwicklung der digitalen Dichtspeichertechnik bis zu einsatzfähigen Gerätesystemen auch in der DDR gegeben.

Im der vorliegenden Arbeit sollen neben dem wissenschaftlich-technischen Hintergrund der digitalen Dichtspeichertechnik vor allem die Entwicklungsergebnisse im Rahmen der Interkosmos-Zusammenarbeit mit der UdSSR behandelt werden.

6

2. Entwicklungsbedingungen der hochdichten digitalen Magnetbandspeichertechnik in der DDR und Beispiele von Geräteentwicklungen

In der DDR war bereits Anfang der 60er Jahre auf dem Gebiet der Magnetbandspeichertechnik mit dem Schwerpunkt Audiotechnik eine beachtliche Produktionsbreite vorhanden /VÖL72a/. Dabei traten besonders das Funkwerk Köpenick und das Meßgerätewerk Zwönitz als Gerätehersteller hervor. In letzterem wurde der erste DDR-Halbzoll-Magnetbandspeicher für den Rechner R 300 entwickelt. In der Filmfabrik Wolfen war die Produktion von Magnetbändern, die bereits Anfang der 30iger Jahre begonnen hatte, wieder aufgenommen worden.

Nachdem auch im VEB Carl-Zeiß-Jena die Entwicklung und Produktion von ESER-Magnetbandgeräten realisiert worden war, wurde in Erkenntnis der zukünftigen Bedeutung der magnetischen Aufzeichnungsmaterialien der Neubau einer Magnetbandfabrik in Dessau beschlossen und Anfang der 70er Jahre verwirklicht.

Auf dem Gebiet der Magnetköpfe hatte sich der VEB Magnetkopfwerk "Goldpfeil" etabliert, der vorwiegend Audiomagnetköpfe produzierte. Da in diesem Betrieb die Entwicklungs- und Produktionskapazität für das immer breiter werdende Sortiment von benötigten Magnetköpfen nicht ausreichte, wurde im VEB Carl-Zeiß-Jena die Entwicklung und Produktion der ESER-Halbzoll-Vielspurköpfe (9 Spuren) übernommen. Im Zentralamt für Rundfunk und Fernsehtechnik, Berlin (RFZ) wurde eine Magnetkopffentwicklungs- und Fertigungskapazität für Studiomagnetköpfe der Audio- und Videotechnik geschaffen.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu erwähnen, daß in der Akademie der Wissenschaften eine Arbeitsgruppe "Magnetische Signalspeicher" entstanden war, in der bereits ab Mitte der 60er Jahre Grundlagenthemen der Magnetbandspeichertechnik bearbeitet wurden. So entstanden 1967/68 in vertraglicher Bindung mit dem Magnetbandhersteller ORWO und in enger Zusammenarbeit mit dem Institut Manfred von Ardenne sowie dem Institut für Magnetische Werkstoffe, Jena die ersten Muster des hochkoerzitiven, im Vakuum aufgedampften Metalldünnenschichtmagnetbandes /MÜN76/.

Im Rahmen der DDR-Beteiligung im Interkosmosprogramm wurde 1970 vom Leitinstitut für Kosmosforschung, dem damaligen Institut für Elektronik, die Aufgaben zur Entwicklung eines Kleinstdigitalmagnetbandspeichers an das Zentralinstitut für

7

Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) vergeben. Im ZKI waren die Speicherarbeiten der o.g. Arbeitsgruppe fortgesetzt worden. Die Arbeiten zur Konzeption und Entwicklung dieses Speichers, die von der Erfahrungsträgerschaft der Gruppe "Magnetische Signalspeicher" des ZKI und den Elektronikspezialisten des Leitinstituts getragen wurden, führten zum Beginn der digitalen Dichtspeichertechnik in der DDR.

Der im Ergebnis dieser Arbeiten entstandene Kleinstdigitalmagnetbandspeicher R1 stellte in seiner Größenklasse 1976, der Zeit seines ersten erfolgreichen Satelliteneinsatzes, ein Gerät mit internationalen Spitzenparametern dar /KEM80;WEI76/. In Tabelle 1 ist ein Parametervergleich der damaligen existierenden Satellitenmagnetbandspeicher

wiedergegeben. Das hohe technologische Niveau des R1 weist sich neben den Einsatzparametern, wie Größe, Gewicht, Leistungsbedarf, Datenrate und Vibrationsfestigkeit insbesondere durch die für damalige Verhältnisse relativ hohe Speicherdichte aus. Sie wurde u.a. durch die weltweit erstmalige Anwendung des Metalldünnschichtmagnetbandes in einer Geräteentwicklung für anspruchsvolle Einsatzbedingungen möglich. Mit dieser erfolgreichen Entwicklung wurde gleichzeitig die Eignung des metallischen Dünnschichtmagnetbandes, die damals noch sehr umstritten war, für die praktische Dichtspeichertechnik nachgewiesen /MÜN81;WEI82/. In der **Abb. 1** ist der Kleinstdigitalmagnetbandspeicher R1 mit und ohne Einsatzhülle wiedergegeben. (Bild 1)



Durch den eingangs erwähnten relativ breiten Entwicklungsstand der DDR-Industrie konnten für den Aufbau des R1-Speichers viele wichtige Baugruppen aus der industriellen Fertigung eingesetzt werden. So wurde der Vollspurmagnetkopf in Spaltweite und Windungszahl von einem Standardmuster des VEB Goldpfeil abgewandelt. Zusätzlich mußte jedoch ein neuer Epoxydharzkleber für höhere Temperaturfestigkeit der Kopfklebungen gefunden werden. Das brachte die ersten positiven Auswirkungen für die Konsumgüteraudiomagnetköpfe, die ebenfalls mit diesen neuen Klebern gefertigt wurden und daraufhin auch Temperaturen bis 45 grd C gefahrlos überstanden. Neben vielen mechanischen Bauteilen konnten auch Polyurethan und Spezialgummiwerkstoffe aus der industriellen Fertigung bzw. aus der Industrieforschung der AdW eingesetzt und erfolgreich getestet werden. Zur Erreichung der hohen Speicherdichte von 230 FW/mm, die zuvor noch von keinem DDR-Gerät realisiert worden war, mußten jedoch grundlegende Untersuchungen zu den Hauptspeicherbaugruppen Band/Kopf-Kanal, Magnetkopf, Magnetband und Laufwerk durchgeführt werden.

8

So entstand während der Entwicklung des R1 auf der Grundlage der Erfahrungsträgerschaft des ehemaligen Kollektivs "Magnetische Signalspeicher", der interdisziplinären Zusammenarbeit innerhalb der AdW, sowie mit der Industrie, im ZKI ein wissenschaftlich-technisch/ technologisch orientiertes Kollektiv, das sich auf die Weiterentwicklung der digitalen Dichtspeichertechnik in der AdW und der DDR konzentrierte.

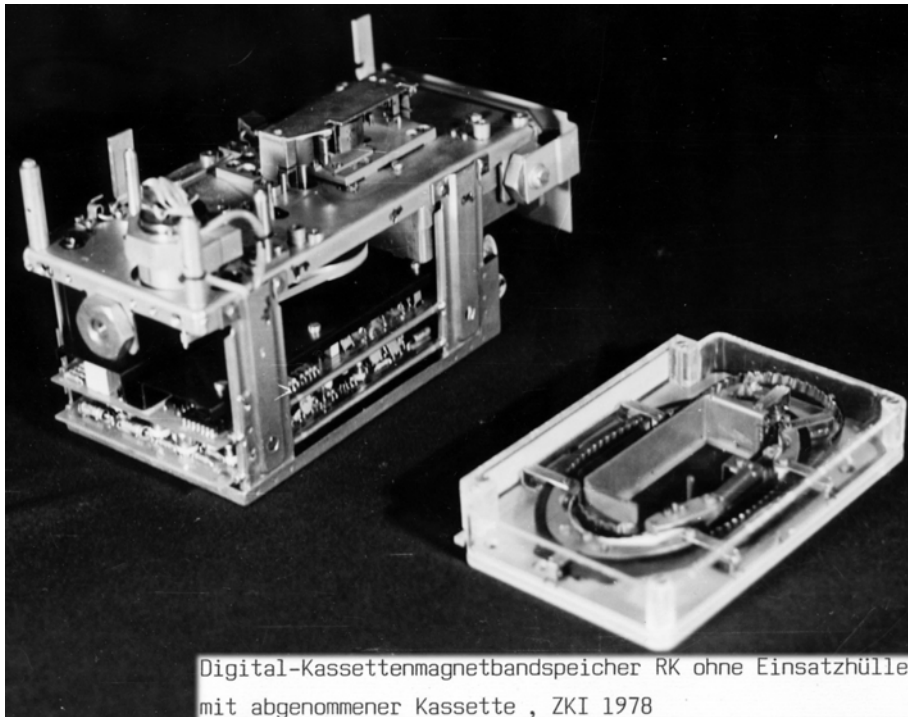
Damit waren die Voraussetzungen gegeben, daß das bis dahin in der DDR vorwiegend technisch-ingenieurmäßig bearbeitete Gebiet der magnetomotorischen Speicher auch durch eine wissenschaftliche Forschungskapazität in der AdW der DDR ergänzt wurde.

Durch Arbeiten zur Wiedergabeelektronik, zum Band/ Kopf-Kanal, zum Magnetkopf und zum Laufwerk konnte bereits 1978 das Prinzipmuster eines weiterentwickelten Speichers mit einem Endloswickel in Wechselkassette vorgestellt und patentiert werden /NEU78/. Dieser Speicher, als RK bezeichnet, wurde ebenfalls für den Satelliteneinsatz vorgesehen und entsprechend aufgerüstet. In **Abb. 2** ist der Digital-Kassettenpeicher RK ohne Einsatzhülle mit abgenommener Kassette wiedergegeben. Grundsatzarbeiten von A. Säckl und H. Voigt ermöglichten eine Erhöhung der Speicherdichte in diesem Gerätesystem auf 512 FW/mm. In **Tabelle 2** sind die Hauptparameter dieses Systems aufgelistet. Auch hier zeigte sich, daß der RK Speicher dem damaligen Spitzenniveau dieser Geräteklasse entsprach /KEM80/.

Tabelle 2: Hauptparameter des RK-Speichers

Speicherkapazität	10 ⁸ bit (12,5 MByte)
Speicherdichte	512 FW/mm
Wiedergabe Datenrate	100 kbit/s
Transponierung A/W	1:1, 1:2, 1:8
Wiedergabegeschwindigkeit	9,5 cm/s
Magnetband	CrO ₂ -Videoband
-Länge	100m
-Breite	6,25 mm
Spuranzahl	4
Leistungsverbrauch	4 W
Masse	4,5 kg

Volumen.....	3 l
Temperaturbereich	-5 .. +45 °C
Vibrationsfestigkeit	0 .. 3 kHz, 0 ... 11g
Modulation	biphase
Fehlerrate	10^{-6}



Digital-Kassettenmagnetbandspeicher RK ohne Einsatzhülle
mit abgenommener Kassette , ZKI 1978

9

Für den bisher in der DDR erreichten wissenschaftlichen Stand auf dem Gebiet der digitalen Dichtspeichertechnik ist die seit 1978 regelmäßig durchgeführte "Konferenz Magnetische Signalspeicher", die im 3-jährigen Rhythmus vom ZKI in Zusammenarbeit mit der MBF-Dessau organisiert und inhaltlich getragen wird, ein beredtes Zeugnis. Seit 1981 stellt diese internationale Tagung mit etwa 200 Teilnehmern aus der DDR und dem sozialistischen Ausland eine stabile Wissensvermittlung zwischen Wissenschaft und Produktion dar.

Im Jahr 1979 machte sich in der internationalen Zusammenarbeit mit der UdSSR zum Thema "Fernerkundung der Erde" die Entwicklung eines digitalen Bildspeichers der Größenordnung ab 10^9 bit Speicherkapazität mit Datenraten zwischen 4 und 16 Mbit/s notwendig, da gegenüber den amerikanischen Spitzenentwicklungen, die auf Embargo standen, im SW keine Gerätelösungen vorlagen.

Die Aufnahme einer solchen Zielstellung war auf Grund der für diese Technik absolut fehlenden industriellen und ausrüstungsmäßigen Voraussetzungen in der AdW äußerst riskant. Für die Grundsatzentscheidung zur Aufnahme des Themas machte sich das Zusammenarbeitsangebot des sowjetischen Partners im Rahmen des Regierungsabkommens zur Fernerkundung der Erde und die prognostischen Ableitungen über die zukünftige Bedeutung der digitalen Dichtspeichertechnik im ZKI positiv geltend. Die Entwicklungsarbeiten zu den Speichern der neuen Größenklasse von 10^9 bit Datenkapazität wurden dann in Zusammenarbeit mit dem sowjetischen Partner Gosnizipr durchgeführt. Sie beinhalteten neben den praktischen Fragen des Ausbaus der Entwicklungskapazität, insbesondere zur Magnetkopfentwicklung, Elektronik und Konstruktion auch die Erweiterung der theoretischen Grundlagen zur Hochdichtspeicherung. So mußten zur Realisierung dieses Projektes Speicherdichten bis zu 1000 FW/mm beherrscht werden. Das machte neben den Untersuchungen zur Gestaltung und Optimierung des Aufzeichnungs- und Wiedergabevorganges auch die Einbeziehung neuer Magnetkopfmaterialien nebst ihrer technologischen Beherrschung notwendig. Die Eigenschaften der verfügbaren Bindemittelmagnetbänder und des Metalldünnschichtmagnetbandes mußten auf ihr Einsatzverhalten bei sehr hohen Speicherdichten überprüft, erprobt und optimiert werden /SÄC81/.

Die in Verbindung mit den geforderten hohen Datenraten notwendig gewordene quarsynchrone Aufzeichnung und Wiedergabe stellte an die Mechanik, Regelung und Systemelektronik gegenüber den früheren Lösungen qualitativ völlig neue Ansprüche. Die Bearbeitung der Grundlagenaufgaben in den Jahren 1979 bis 1981 brachte die Bestätigung, daß die vorliegenden Aufgaben mit der inzwischen im ZKI entwickelten Sendusttechnologie für Vielspurnagnetköpfe /BLÜ84/, mit durch mathematische Modellierung optimierten Bandlaufprinzipien und weiterentwickelten Laufwerksbaugruppen /GLö82/, mit einem gemeinsam mit dem Hersteller verbesserten CrO_2 -Magnetband aus der MBF-Dessau und durch den Einsatz neuer, auf den Speicherkanal optimierter elektronischer Signalverarbeitungsmethoden gelöst werden konnten.

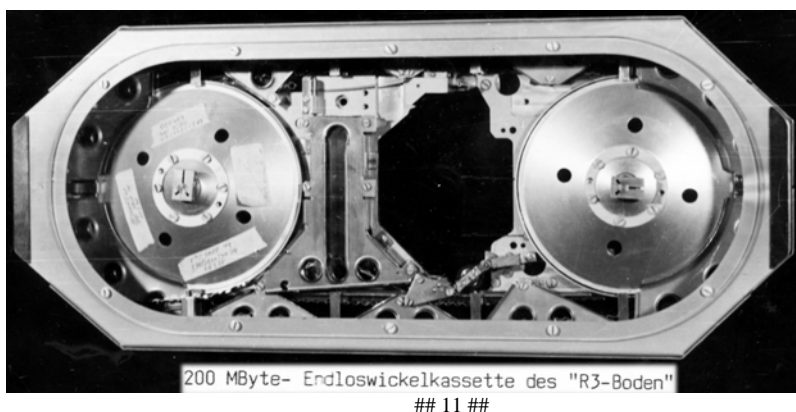
10

Die Schaffung der Gerätelösung in den Jahren 1982 bis 1984, die zu einem 200 MByte Kassettenpeicher in einem 19 Zoll-Robotron-Rechnereinschub führte, bestätigten im praktischen Anwendungsfall die erarbeiteten Ergebnisse. Die Hauptparameter dieses "R3-Boden" genannten Speichers sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Hauptparameter des R3-Boden-Digitalkassettenspeichers mit Endloskassette

Speicherkapazität/Kassette	200 MByte (1,6 Gbit)
Speicherdichte	86 bit/mm
Datenrate max.	8 Mbit/s
Transponierung W/A	1:2
Bandgeschwindigkeit max.	120 cm/s
Magnetband	CrO ₂ -Videoband
- Länge	220 m
- Breite	6,25 mm
Magnetkopf	Sendust
Spaltweite	0,6 µm
Modulation	4/5 Gruppencode
Fehlerkorrektur/Fehlerrate	ja/ 10 ⁻⁶
Abmessungen	19"-Einschub
Temperaturbereich	0 ... 45°C

Der "R3- Boden" ist als Frontlader eines 19"- Robotron-Geräteeinschubs konstruiert. Seine Vorderansicht ist in **Abb. 3** zu sehen. Die Kassette wird beim laden senkrecht von vorn auf die Laufwerkfläche aufgedrückt und durch seitliches Verschieben eingerastet. Die 200 MByte- Kassette selbst ist in **Abb. 4** wiedergegeben. Der "R3-Boden" ist vollständig ferngesteuert, sodaß am Gerätevorderteil keine Bedienungselemente außer dem Netzschalter untergebracht sind. In Mitte des oberen Panels ist eine Bandpositionsanzeige geordnet, die den tatsächlichen Meterstand des Bandes vom Bandanfang an gerechnet zeigt. Der Meterstand wird bei Aufzeichnung mit aufgeschrieben. Rechts von der Längenanzeige ist ein Umlaufzähler angebracht, mit dem die Bandumläufe in der Kassette registriert werden. (Bild 3, 4)

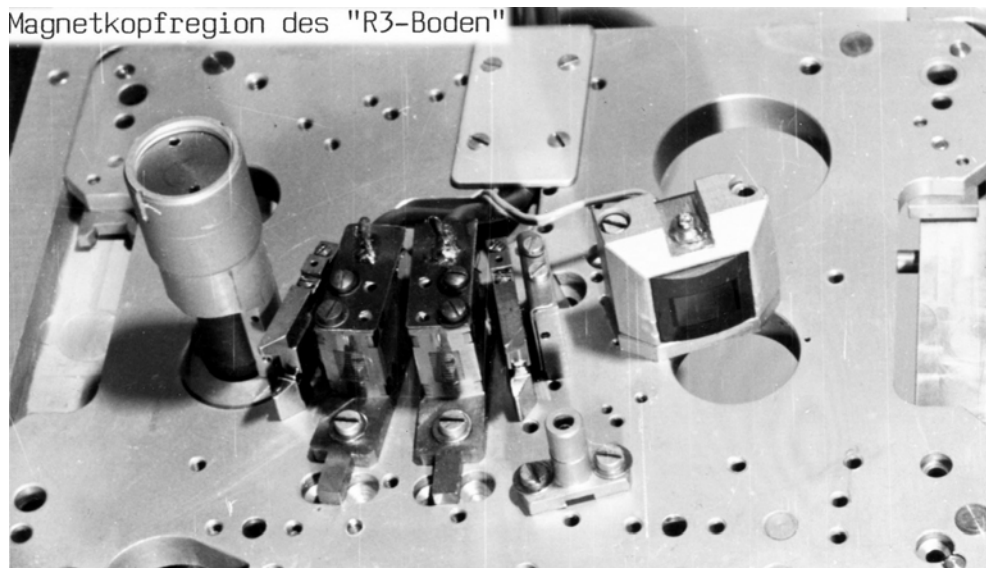


In **Abb. 5** ist das für Servicehandlungen geöffnete Vorderteil des "R3-Boden" ohne Kassette gezeigt, das einen Blick auf den extrem einfachen Ein-Motor-Antrieb gestattet.

In **Abb. 6** ist die Magnetkopfregion des Speichers aufgenommen, wo in Mitte des Bildes gut die beiden 2-Spur Sendustköpfe zwischen den Bandführungen zu sehen sind. Rechts von ihnen befindet sich der Löschkopf und links der Capstan.

In **Abb. 7** ist das Blockschaltbild des "R3-Boden" wiedergegeben. Am Eingang liegen die seriell ankommenden Daten und der Takt an. Nach einer Serien/Parallelwandlung werden sie im Fehlerkorrekturblock mit entsprechender Redundanz versehen und anschließend in den Gruppencode 4/5 gewandelt. Im Hauptpuffer wird die speicherinterne Datenstruktur in den Spurparallelen Datenstrom eingeblendet und zum Aufzeichnungsverstärker weitergeleitet.

Bei Wiedergabe wird spurweise der Datenstrom demoduliert und jeweils ein Spurtakt gewonnen, mit dem in den Hauptpuffer eingelesen wird. Im Hauptpuffer wird nach Synchronisation der einzelnen Spuren mit Hilfe der internen Datenstruktur der Nutzdatenstrom mit einem gemeinsamen mittleren Takt ausgelesen. Nach Dekodierung aus dem Gruppenkode und anschließender Fehlerkorrektur steht der Nutzdatenstrom zum Auslesen mit Quarztakt bereit. über einer Füllstandssteuerung des Hauptpuffers wird die Motorgeschwindigkeit beim Lesen so geregelt, daß zu jeder Zeit genügend Daten im Hauptpuffer enthalten sind, um mit der festen Lesefrequenz ausgelesen zu werden. Über den zentralen Steuerblock wird schließlich die Geräteansteuerung durch den Nutzer umgesetzt. Der "R3- Boden" wurde in Laborgerätemustern erfolgreich im ZKI und bei den sowjetischen Partnern erprobt. Obwohl diese Gerätelösung der internationalen Spitzenklasse entsprach und von der UdSSR und Spezialnutzern aus der DDR entsprechender Bedarf angemeldet wurde, konnte keine Überführung in die einschlägige DDR-Industrie erreicht werden. (Bild 5, 6)



So wurden die nicht unerheblichen Ergebnisse /WEI84/ als Ausgangspunkt zur Entwicklung eines hochkapazitiven Videotiefraumspeichers für das Interkosmosprogramm sowie zur Lösung vertraglicher Forschungsaufgaben für Industriepartner eingesetzt /BLÜ84/.

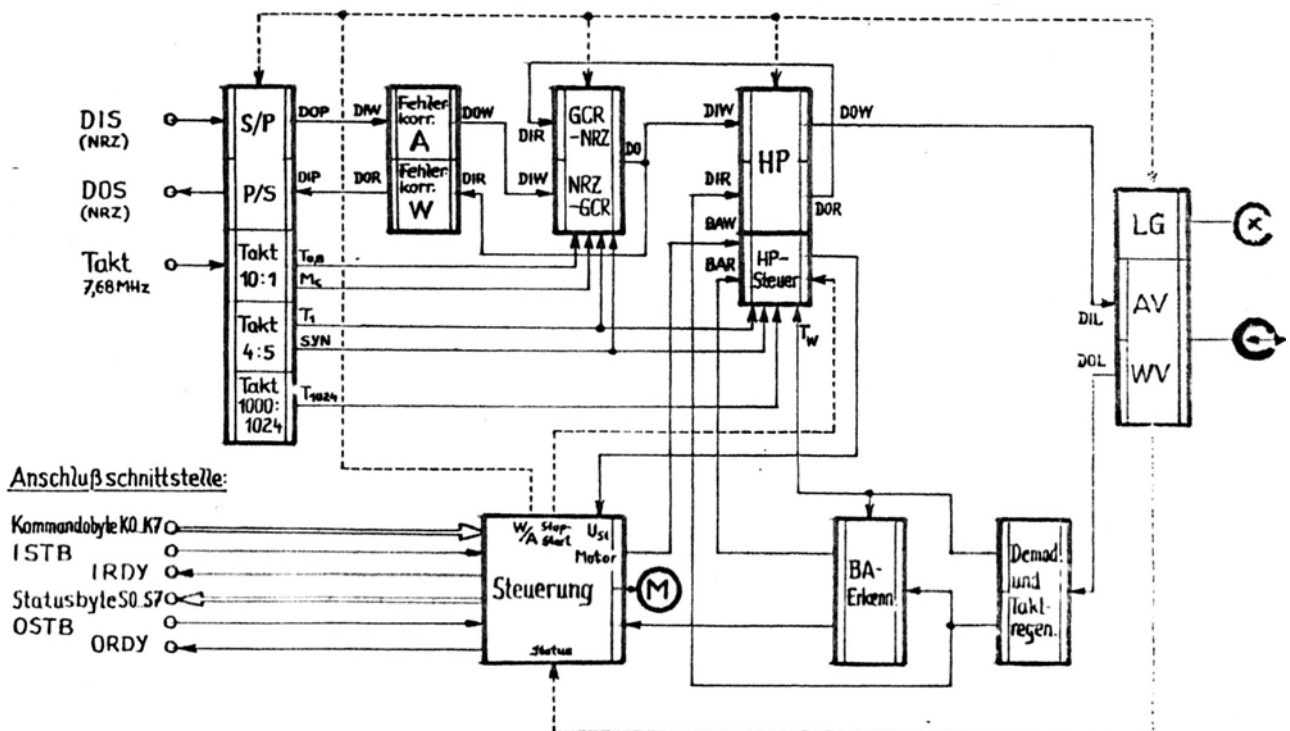
12

3. Projektanforderungen an einen hochdichten digitalen Tiefraumvideospicher in der Phobosmission

3.1 Wissenschaftliche Aufgabenstellung Experiments

Anfang der achtziger Jahre wurden in Moskau unter Leitung des Instituts für Kosmosforschung der AN der UdSSR (IKI) im Rahmen des Interkosmosprogramms erste Gespräche über Magnetband-Speichervarianten für zukünftige Tiefraummissionen zum Mars und seinen Satelliten geführt. Die Mitte und Ende der siebziger Jahre gestarteten amerikanischen Tiefraumsonden Mariner-9 und Viking-1 und 2 hatten bereits erste Videoaufnahmen von Mars und seinen Satelliten mit einer maximalen Auflösung von 5 - 10 m erbracht. Mit diesen TV-Aufnahmen konnten die Gestalt der Monde näher untersucht und größere Gebietsformationen wie Krater und Gräben kartiert werden. Es zeigte sich, daß die Oberfläche mit einer Regolithschicht bedeckt ist und starke Unterschiede im Reflexionsvermögen der Oberfläche, insbeson-

dere im Zusammenhang mit der Oberflächenstruktur auftraten. Durch die begrenzte Auflösung und fehlende Messungen der spektralen Abhängigkeit des Reflexionsvermögens blieben gerade bei der optischen Inspektion noch viele Fragen offen. (Bild 7)



Blockschaltbild „R3“

Messungen der Bahnablenkung der Sonden durch die Monde gestalteten die Abschätzung ihrer Masse. Die aus Gestalt und Masse abgeleitete Dichte von 2 g/cm^3 war wesentlich niedriger als die des Mars mit $3,93 \text{ g/cm}^3$ oder die des Erdmondes mit $3,35 \text{ g/cm}^3$. In Verbindung mit der ebenfalls durchgeführten Oberflächenphotometrie, die ein auffallend geringes Reflexionsvermögen von nur 6 % ergab, die charakteristisch für einen besonderen Meteoritentyp, den kohlenstoffhaltigen Chondriten ist, wurde die Vermutung aufgestellt, daß es sich bei den Marsmonden um eingefangene Asteroiden aus dem Asteroidengürtel zwischen Mars- und Jupiterbahn handeln könnte (VEV80;DUX81;VEV81). Wenn diese Vermutung zuträfe, würde die detaillierte Untersuchung des Phobos wichtige Informationen über die Frühphase unseres Sonnensystems bringen.

Damit war eine interessante Grobaufgabenstellung für die weitere Tiefraumforschung zum Mars gegeben. Grundsätzlich mußten also die Beobachtungs- und Analysemethoden wesentlich verfeinert werden, um die nach den ersten Inspektionen offen gebliebenen Fragen zu klären.

Aus diesem Grunde wurde bei der Planung der neuen Mission auf ein hochauflösendes-TV-System mit Spektralphotometer größte Aufmerksamkeit gelegt.

13

Innerhalb der angestrebten komplexen Untersuchungen des Phobos, die aktive Experimente zur Laser- und Ionenmassenspektroskopie, der Gamma- und Neutronenspektroskopie und Radaroberflächen- und -tiefenanalysen beinhalten, wurde dem optischen hochauflösenden TV-Experiment mit Spektrometer 40 % des wissenschaftlichen Wertes der Gesamtmission zugewilligt.

Für die neuen Untersuchungen sollten allerdings Auflösungswerte von 1 - 10 cm erreicht werden. Weiterhin wurde ein Umfang von etwa 1000 Bildern in verschiedenen spektralen Bereichen mit 60 % Überlappung angestrebt, die über eine größere Trasse aufgenommen und somit neben der optischen Diagnose auch eine Referenz für die anderen Experimente liefern sollten /SAG86/.

Insgesamt wurden folgende wissenschaftliche Hauptziele für das TV-Experiment "Fregatt" aufgestellt /AVAQ6/:

1. Marsbeobachtung:

Untersuchung der Gebirgsverteilung auf der Oberfläche, der Wolkenbildung und Lufttrübungen, des Staubbetrages und seiner Verteilung in der Atmosphäre. Photometrische und geometrische Kalibrierung der TV-Apparatur.

2. Navigationsabschnitt:

Präzisierung der Daten über die Bahnen von Phobos und Deimos, über ihre Rotationsperiode, ihre Winkelbeschleunigungen und ihre freien und erzwungenen Librationen. Navigation. Präzisierung der Daten über die Gestalt und Form von Phobos. Detaillierte Aufnahmen von der Annäherungsregion.

3. Untersuchungen des Phobos:

Untersuchungen der Gestalt von Struktureinheiten von Kratern und Gräben. Studien der Regolithcharakteristik. Studien der Verteilung des Kraterauswurfes. Studien der Gebirgsverteilung auf der Phobosoberfläche. Studien der Inhomogenitäten von Oberfläche und Tiefe des Phobos. Analyse der mechanischen Eigenschaften des Oberflächenmaterials.

Analyse der Mechanismen, die verantwortlich für die Bildung der Oberflächencharakteristika sind. Topographische, geologische und morphologische Kartierung des Phobos. Prüfung der Hypothese über die Herkunft des Phobos. Vergleichende Planetenstudien. Bildreferenz zur Datenauswertung von anderen Experimenten. Zur Verwirklichung dieser Aufgaben wurden Aufnahmeserien vom Phobos bei Annäherung und Abflug vorgesehen um die Wirkungen der Veränderung des Gesichtswinkels mit zu erfassen.

14

Gleichem Ziel dienen auch Panoramaaufnahmen aus 50 m Höhe, die durch Drehen des Satelliten um die senkrecht zur Oberfläche stehende Achse erreicht werden. Bei diesen Aufnahmen wird der innen als Spiegel ausgebildete Objektivdeckel in einen Winkel von ca. 73 grd geschwenkt, um die Panoramansicht in die senkrecht zur Phobosoberfläche gerichteten Objektive einzuspiegeln. Ein 15 bis 20 minütiger Überflug des Phobos in 50m Höhe soll die benötigte hohe Auflösung der direkten TV-Aufnahmen der Oberfläche ohne Spiegel und ihre detaillierte aktive und passive Untersuchung durch die parallelen Experimente ermöglichen.

Diese gleichzeitig durchgeführten Untersuchungen erlauben durch das Bildmaterial und der darin eingespeicherten Zeitbasis eine genaue Zuordnung der Analyseergebnisse zu den Oberflächenstrukturen und ihren örtlichen Besonderheiten.

3.2 Wissenschaftlich-technische Randbedingungen des Tiefraumeinsatzes

Auf Grund der relativ großen Entfernung des Zielgebietes von der Sonne und zur Erde ergibt sich trotz der beachtlichen Nutzmasse des Satelliten für die Mission ein Energieproblem. Es führt dazu, daß während der Aktionsphasen der Sonden keine Datenübertragung zur Erde erfolgen kann. Alle Daten müssen an Bord zwischengespeichert werden. Weiterhin beträgt die Senderate des Satelliten ebenfalls aus Energiegründen nur 4096 oder 8192 bit/s. Auf diese Datenrate müssen also alle zwischengespeicherten Daten für die Übertragung unabhängig von ihrer Quellengeschwindigkeit transponiert werden.

Zu Beginn der Projektplanung Anfang der achtziger Jahre wurde klar, daß man für die Zwischenspeicherung einer größeren Anzahl von Bildern eines hochauflösenden TV-Systems einen Tiefraumspeicher mit einer Mindestkapazität von etwa 100 MByte und einer Aufzeichnungsgeschwindigkeit von etwa 1 Mbit/s benötigen würde. Da im ZKI zur gleichen Zeit Entwicklungen für einen Bodenspeicher ähnlicher Größenordnung liefen (s.a. Kap. 2) und Erfahrungen in der Entwicklung von Bordspeichern vorlagen, wurde das ZKI im Rahmen Interkosmos in die Projektplanung mit einbezogen. Bei diesen Planungen wurde von der Leitung des IKI der AN der UdSSR im Hinblick auf Erweiterungsfähigkeit der Speicherkapazität für die Entwicklung eines großen Tiefraumspeichers gegenüber einer Anwendung mehrerer kleiner Speicher plädiert.

15

In den Jahren 1982/83 wurde für das Projekt "Fregatt" auf oben genannter Grundlage die Grundkonzeption ausgearbeitet und die Arbeitsteilung vereinbart. So übernahm die UdSSR die Entwicklung der 3-kanaligen TV-Kamera, des Spektrometers und der Aufnahmematrizen. Von der VRB wurde die Entwicklung der elektronischen Ansteuerung des Optikkblockes und des Magnetbandspeichers, der Schaltnetzteile für beide Geräte sowie die Bilddatenstrukturierung übernommen. Die AdW der DDR bekam die Aufgabe, den hochkapazitiven Tiefraumvideospeicher einschließlich Prüftechnik zu entwickeln. Die Projektleitung für das Experiment "Fregatt" wurde bis 1986 von der VRB und von 1987 von der UdSSR wahrgenommen.

Die erste "Technische Aufgabenstellung" Projekt "Fregatt" wurde im Frühjahr 1982 ausgearbeitet und bestätigt. In den Jahren 1984 und 1986 erfolgten wesentliche Präzisierungen der Aufgabenstellung, die umfangreiche Änderungen für den Magnetbandspeicher und die Kontroll- und Prüfapparatur (KIA) zur Folge hatten. Insgesamt wurde an der technischen Aufgabenstellung im Sinne einer gleitenden Projektierung ständig gearbeitet, sodaß die letzte Fassung im November 1987 von den Partnern unterschrieben wurde.

Insgesamt ergab sich für das Experiment "Fregatt" ein Bordkomplex von 6 Blöcken, der in **Abb. 8** dargestellt ist. Für die einzelnen Geräte des Komplexes sind folgende Abmessungen und Gewichte gegeben:

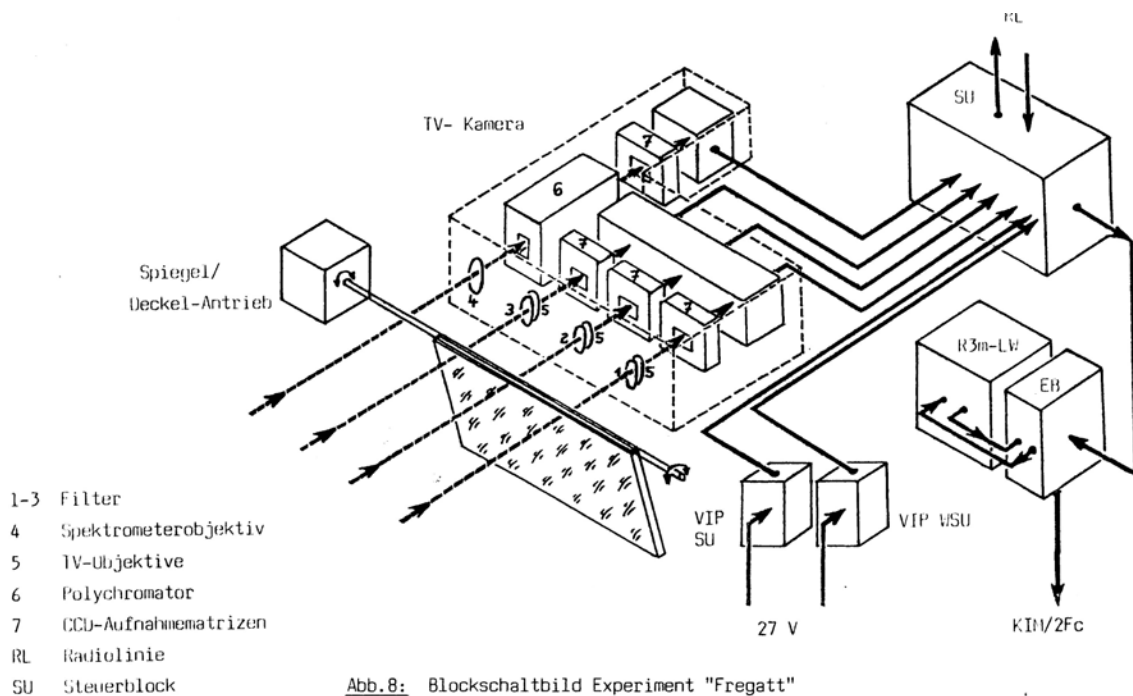
1. TV-Kamera..... 544x267x460 mm³..... 15,25 kg
2. Steuergerät..... 384x250x230 mm³..... 10,9 kg
3. Laufwerk R3m..... 250x230x594 mm³..... 16.2 kg
4. Elektr. R3m 243x244x194 mm³..... 5,7 kg
5. Sek. Stromquelle STG..... 140x134x202 mm³..... 3,1 kg
6. Sek. Stromquelle R3m..... 140x134x202 mm³..... 3.4 kg

Dabei ergibt sich für den Komplex eine Gesamtmasse ohne Kabel von 54,55 kg mit einem geplanten Leistungsverbrauch von 133 Watt.

16

Tabelle 4. Parameter der TV- Kanäle im Experiment "Fregatt"

	Objektive		
	Weitwinkel		Tele
Brennweite (mm)	18,5	18,5	100
Rel. Apertur	1:2,5	1:2,5	1:5
Spektr. Empf. µm	0,40 – 0,58	0,78 – 1,1	0,42 – 1,06
Abb. Fläche (m ²) bei Höhe von 50 m	25,1*18,7	25,1*18,7	4,6*3,5
Auflösung (cm ²) bei Höhe von 50 m	4,9*6,5	4,9 *6,3	0,91*1,20
Anzahl der Pixel	505*288	505*288	505*288



Die TV-Kamera **Abb. 9** wurde entsprechend der wissenschaftlichen Aufgabenstellung mit 3 Objektiven mit unterschiedlichen Brennweiten bzw. spektralen Empfindlichkeiten ausgestattet. Die Aufnahmen erfolgten mit CCD-Matrizen. In Tabelle 4 sind die Parameter der TV-Kanäle aufgeführt.

Für die TV-Kanäle sind in **Abb. 10** die Filtercharakteristiken für die spektralen Empfindlichkeiten wiedergegeben. Das Spektrometer wurde mit einem Objektiv von 19,2 mm Brennweite ausgestattet. Damit werden aus 50 m Höhe Flächen von 18,2 m Breite mit jeweils 0,3 Grad in 36 Spektralkanälen abgebildet, die eine Bandbreite von 0,02 µm besitzen.

Vom Steuergerät werden die gleichzeitig belichteten Matrizen nacheinander ausgelesen und die Daten zu 3 Videobildern mit Synchron- und Housekeepingteilen am Bild- und Zeilenanfang zusammengestellt. In den Housekeepingteil werden neben Nummern, Bordzeit u.a. auch die Ergebnisse der Spektrometernaufnahmen mit eingeschrieben. Die so erzeugten Videodaten werden zur Zwischenspeicherung quasi online an den Magnetbandspeicher R3m weitergegeben. Aus der präzisierten Überfluggeschwindigkeit des Satelliten, der Überdeckungsforderung und der Pixelanzahl der realen Aufnahmematrizen ergab sich für die Zwischenspeicherung eine endgültige Datenrate von 2.08 Mbit/s. Um unter diesen Bedingungen die geforderten 1000 Bilder aufzeichnen zu können, mußte eine Speicherkapazität von 200 MByte von dem Magnetbandspeicher realisiert werden.

Für die Wiedergabe mußte beachtet werden, daß für die Übertragung zur Erde wegen des begrenzten Sichtfensters einer Empfangsstation nur jeweils maximal 2 Stunden/Tag zur Verfügung stehen. In diesen Zeitabschnitten sollten vollständige Bildgruppen übertragen werden können. Diese Aufgabe war wegen der notwendigen Mehrspuraufzeichnung in dem hochkapazitiven Magnetbandspeicher R3m nicht einfach zu realisieren. Aus diesem Grunde wurde zur kurzfristigen Einzelbildwiedergabe in der Navigationsphase an das Experiment "Fregatt" zusätzlich ein kleinerer Bordmagnetbandspeicher "Morion" aus dem Dienstsysteem des Satelliten angeschlossen, der wahlweise Experimentdaten oder bis zu 6 Videobilder parallel zum R3m -Speicher für Navigations- und Eichaufgaben zwischenspeichern und relativ einfach als Einzelbilder wiedergeben konnte.

17

Damit ergaben sich für den Tiefraumvideospicher R3m in der "Technischen Aufgabenstellung" die folgenden charakteristischen Parameter, die in Tabelle 5 wiedergegeben sind.

Tabelle 5: Charakteristische Parameter des R3m

Speicherkapazität	200 MByte (1,6 Gbit)
Datenrate bei Aufzeichnung	2,08 Mbit/s
Datenrate bei Wiedergabe	4096 oder 8192 bit/s
Masse Gesamtgerät	21,9 kg
Leistungsverbrauch	33 W
Arbeitstemperaturbereich	0...+45 grd C
Lagertemperaturbereich	-20...+50 grd C
Vibrationsfestigkeit	0...11 g bei 0 ..3 kHz
Lebensdauer (wartungsfrei)	> 3 Jahre
Fehlerrate	</= 10 ⁻⁴

Wiedergabe von 6 bzw. 12 auswählbaren vollständigen Videobildgruppen (3 Kanäle) innerhalb von 2 Stunden.

Vom Experiment "Fregatt" sollten nun, ausgerüstet mit oben genannten Parametern, vom Marsmond Phobos in den einzelnen Etappen entsprechend Abbildung 10 folgende Anzahl von Bildgruppen aufgenommen werden, die aus 3

Videobildern in den angegebenen unterschiedlichen Spektralbereichen und Auflösungen und einem Spektrogramm bestehen:

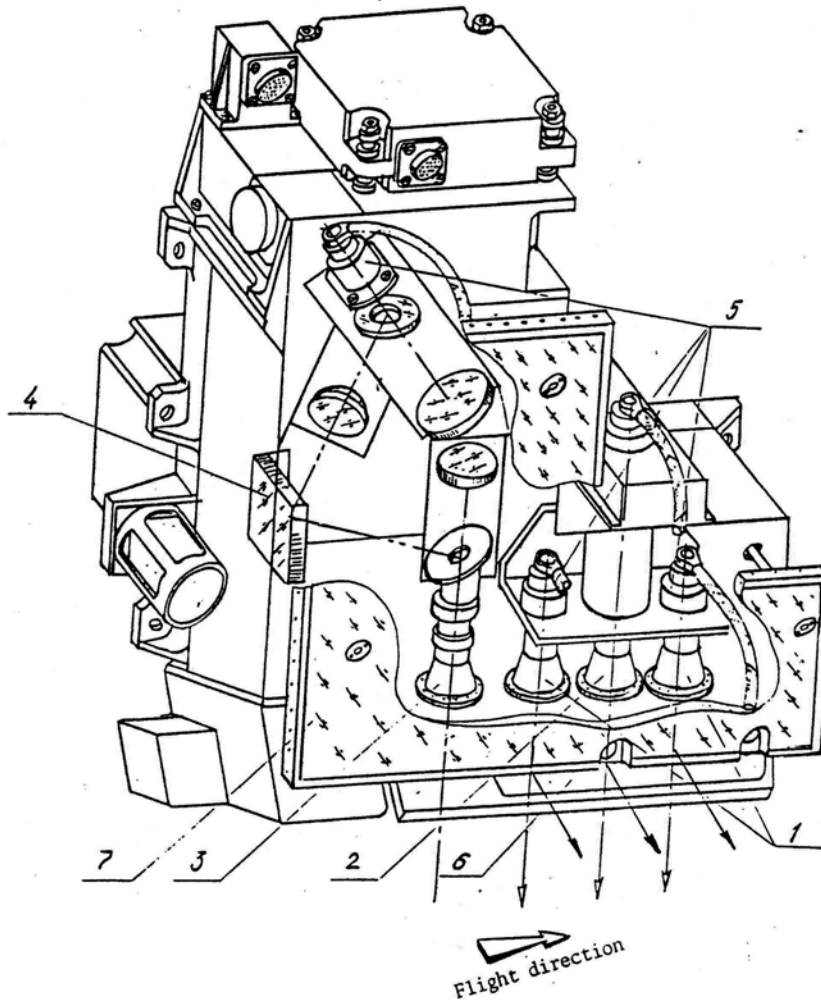


Abb. 9 : Schematischer Aufbau der TV- Kamera
 1- Weitwinkelobjektive; 2- Teleobjektive ;
 3- Spektrometerlinse; 4- Beugungsgitter;
 5- CCD-Matrizen; 6- Spiegeleckel; 7- Radiator

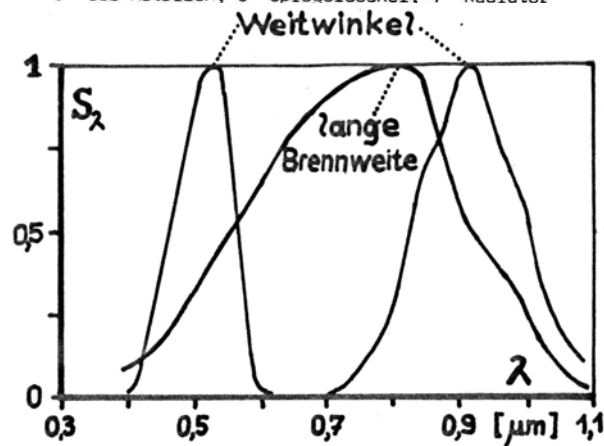
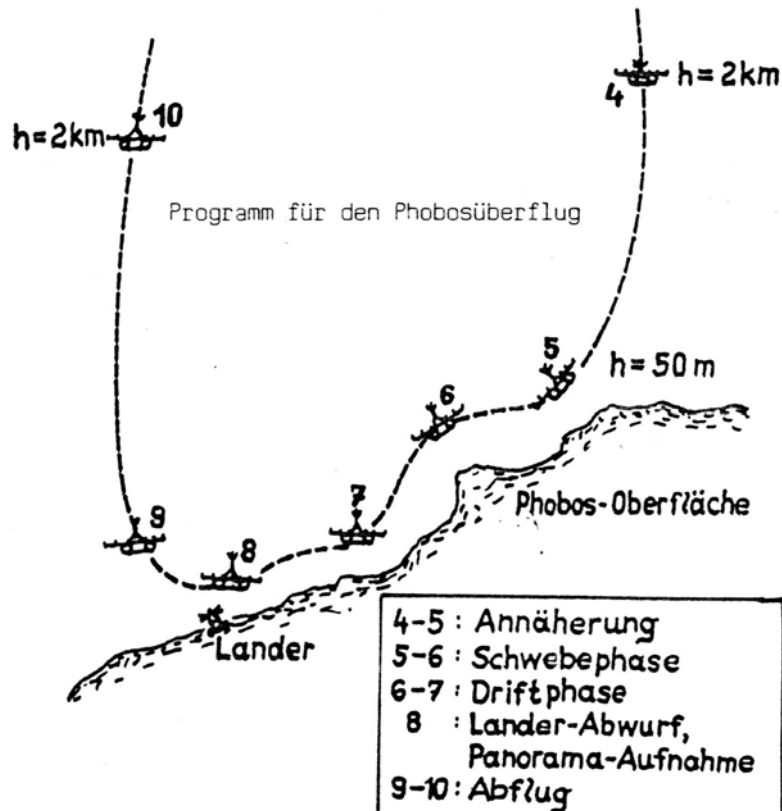


Abb. 10: Spektrale Empfindlichkeit der TV- Kanäle
 im Experiment "Fregatt"

Etappe	Nr. in Abb. 10	Anzahl der Bildgruppen
Annäherung	4-5	36
Schwebephase	5-6	60
Driftphase	6-7	120
Panoramaaufnahme	8	120
Abflug	9-10	30
Gesamt		366

Bei der Experimentplanung wurden auch die amerikanischen Spezialisten B. Murray, B. Smith und J. Head in die Diskussion mit einbezogen. (Bild 11)



4. Systemlösung des Tiefraumvideospeichers

4.1. Grundprinzip der Arbeitsweise

Für den Entwurf der Systemlösung R3m war neben den bereits genannten Hauptaufgabenstellungen aus Kapitel 3.2 vor allem der eng begrenzte Zeitfont zu beachten. Da anfangs ein Starttermin von 1986 angestrebt wurde, sollten bereits 1984 komplette Geräte zur Verfügung stehen. So konnten unabhängig von möglichen Variantenvergleichen nur bereits vorhandene gerätetechnische Lösungen auf Basis des Endloswickelprinzips eingesetzt werden. Obwohl sich Endloswickelkonstruktionen bei früheren kleineren Bordspeichern bezüglich Funktion, Lebensdauer, Raum- und Energiebedarf bewährt hatten, stellten sie doch durch die hohe geforderte Transponierungsrate von 1:500 und die Bedingung nach Wiedergabe vollständiger Bilder ohne Möglichkeit des Bandrücksetzens eine technische Hürde dar. Weiterhin mußte beachtet werden, daß bei Verwendung von gleichen Magnetköpfen bei einer gegebenen Speicherdichte für Aufzeichnung und Wiedergabe (Kombinationsköpfe) die Induktivität der Köpfe der Wiedergabe- und Aufzeichnungsfrequenzen angepaßt werden mußte. Für eine hohe Wiedergabespannung sollte die Induktivität der Köpfe möglichst hoch gewählt werden. Andererseits mußte für die Aufzeichnung hoher Frequenzen mit begrenzten Spannungsressourcen für das jeweils benutzte Magnetband der optimale Anstieg des Aufzeichnungsfeldes durch den Magnetkopf erreicht werden, der unter den angegebenen Bedingungen letztlich durch die Induktivität der Köpfe begrenzt wird.

Damit kamen bei den für die Gesamtspeicherkapazität benötigten Speicherdichten um 635 bit/mm als minimale Wiedergabegeschwindigkeiten des Magnetbandes bei Einspurauslesung etwa 30-40 cm/s in Frage, um noch ein genügend hohes Wiedergabesignal zu erhalten. Um unter diesen Bedingungen eine Datenrate von 4 bzw. 8 kbit/s zu erhalten, konnte nur im Start/Stop-Betrieb gelesen werden und die Daten in einem Halbleiterzwischenpeicher abgepuffert werden. Bei der notwendigen mehrspurigen Aufzeichnung der Bilder konnte jedoch die einspurige Start/Stop-Wiedergabe nicht ohne weiteres die Bedingung erfüllen, daß innerhalb von 2 Stunden vollständige Bilder ohne Unterbrechung des Datenstromes übertragen werden sollten. Da beim Endloswickel kein Rücksetzen möglich ist, konnte erst nach vollständigem Durchlauf der zu lesenden Spur auf das Anfangsbild in der folgenden Spur zugegriffen werden.

Zur Lösung dieses Problems machte K. H. Schmelowsky den grundlegenden Vorschlag, das Band nicht im einfachen Start/Stop-Betrieb sondern innerhalb einer Spur nur "stroboskopisch" zu lesen und so schneller den Wickel bis zum neuen Anfang mit der Möglichkeit des Spurwechsels zu durchlaufen.

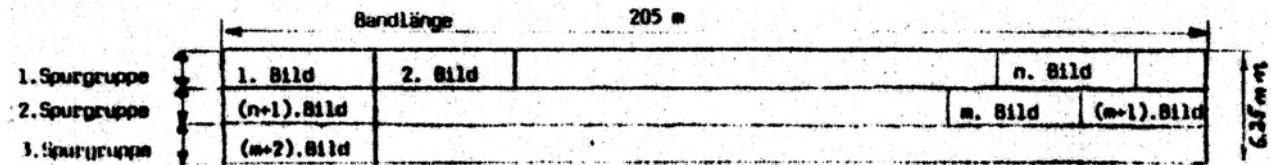
19

Auf der Basis dieses Vorschlages schuf W. Pöbel unter Berücksichtigung der mechanischen, magnetischen und elektronischen Randbedingungen der Gerätevariante die Sytemkonzeption für den Tiefraumspeicher R3m.

Insgesamt standen 16 Spuren auf dem 6,25 mm breiten Magnetband zur Verfügung. Eine Spur wurde als Pilotspur zur Taktgewinnung für die Motorregelung reserviert. Die verbleibenden 15 Spuren wurden in 3 Spurgruppen von je 5 Spuren zusammengefaßt. Die Aufzeichnung der Bilder erfolgte nun jeweils parallel in 5 Spuren, mit einer Aufzeichnungsfrequenz vor ca. 400 KHz pro Spur. Die Spurgruppe, auf der die Aufzeichnung erfolgen soll, ist durch Befehl frei wählbar. Da das Band im Endloswickel nach dem Beschreiben einer Spurgruppe automatisch wieder am Anfang steht, ist

eine kontinuierliche Aufzeichnung aller Spurgruppen hintereinander ohne Rückspulen möglich. Auf dem vollständig beschriebenen Band stehen dann die Bilder entsprechend **Abb. 12** in den Spuren. Ein Bild enthält nach dem Aufbau der Videokamera 3 Spektralauszüge, die wie vollständige Videobilder mit Bild- und Zeilenanfangsgruppen versehen sind. In diese sind, wie bereits erwähnt, auch die Hausekeepingdaten des Gesamtsystems "Fregatt" mit den Spektrometerwerten eingeschachtelt.

Abb.12: R3m-Bildverteilung auf dem Magnetband



Entsprechend der Größe der Aufnahmematrix, einer A/D-Wandlungsgenauigkeit von 8 bit und dem Umfang der Dienstinformationen wurden für ein Farbauszugsbild 290 Zeilen mit 530 Byte Länge angesetzt. Jedes Spektralbild wurde durch eine Nullte und eine 289. Zeile eingerahmt, die insbesondere die Bildnummer, die Dienstinformationen und die Spektrometerergebnisse enthalten.

In den **Abb. 13** und **14** ist das mit der bulgarischen Seite entwickelte vollständige Bild- und Zeilenformat für einen Spektralauszug dargestellt, daß den Bedingungen für hohe Fehlersicherheit im Wiedergabeprozess des R3m angepaßt ist.

Dabei besitzen die einzelnen Gruppencodebytes mit 10 bit Länge folgenden Inhalt:

CCx, x=1 bis 5 5-fach wiederholtes Synchronwort,

K1xK2x, x= 1 bis 5..... Bildnummer, bestehend aus 2 Bytes, die in der angegebenen Weise wiederholt werden,

Z1xZ2x, x=1 bis 5 Zeilennummer.

Pxy, x=1 bis 5, y=1 bis 16... Pseudorandomteil,

DI + SPM..... Dienstinformationen und Spektrometerergebnisse in 5x85 Bytes in der Nullten und 289. Zeile ,

Bildinformationen..... entsprechend den Zeilen der Matrix in 505 Bytes.

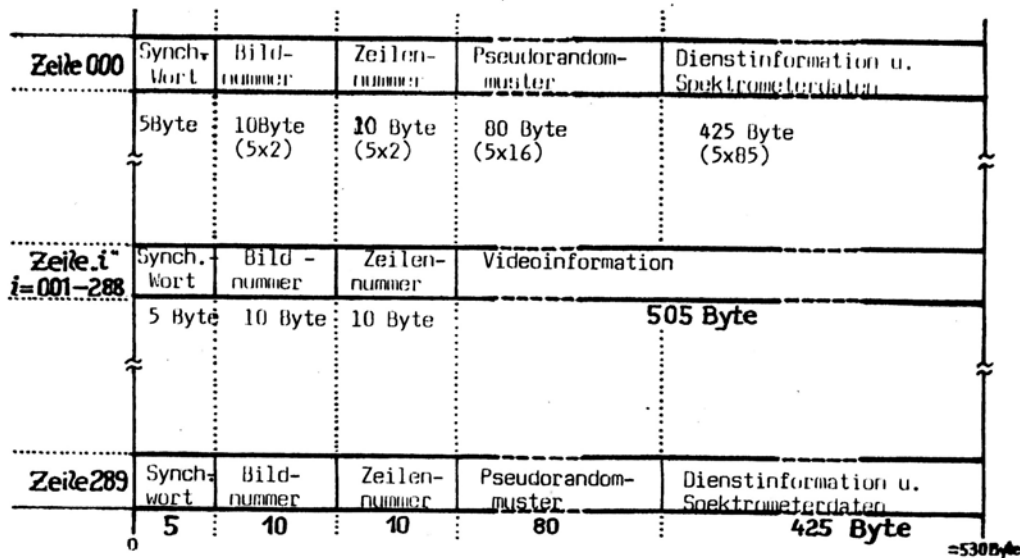


Abb.13: Bildformat des Spektralauszuges im Videobild des Experiments "Fregatt"

20

Das Gesamtbild, das aus drei Spektralbildern besteht, hat damit einen Datenumfang von 3,6888 Mbit.

Da die Aufzeichnung im R3m byteweise parallel in 5 Spuren erfolgt, wurde durch die jeweils 5-fache Wiederholung der Synchronworte und Bildnummern in jeder Zeile und aller Bytes in der Nullten und 289. Zeile erreicht, daß auf dem Magnetband in jeder einzelnen Spur die vollständige Dienstbeschreibung eines Bildes vorhanden ist. Auf der ersten Spur des Magnetbandes steht dann hintereinander das erste Byte des ankommenden Datenstromes, das 6. Byte (1+5), das 11. Byte (1+5+5) usw.

Während für die fünffach wiederholten Bytes auf jeder Spur mit dem folgendem Byte die richtige inhaltliche Reihenfolge entsteht, wird für die nicht wiederholten Bilddaten immer nur das 1+(n*5) Byte (Pixel) aufgeschrieben. Beim Lesen einer Zeile erhält man dadurch einen Auszug aus dem Originalbild, der nur Pixel wiedergibt, die in senkrechten Streifen untereinander stehen. Der Abstand der Streifen beträgt 5 Byte (Pixel).

In Verbindung mit dem vorgestellten Originalbildformat wurde im R3m zur Datensicherung gegen Synchronfehler und zur Realisierung des "stroboskopischen" Lesens eine zusätzliche Bildstrukturierung vorgenommen. Diese Strukturierung berücksichtigt das Originaldatenformat, arbeitet aber vollkommen unabhängig von ihm. Dieser Grundsatz hat sich

bei der Systementwicklung bewährt, da er fehlerhaftes Arbeiten eines Gerätes im Experiment sofort erkennen und schnell analysieren läßt.

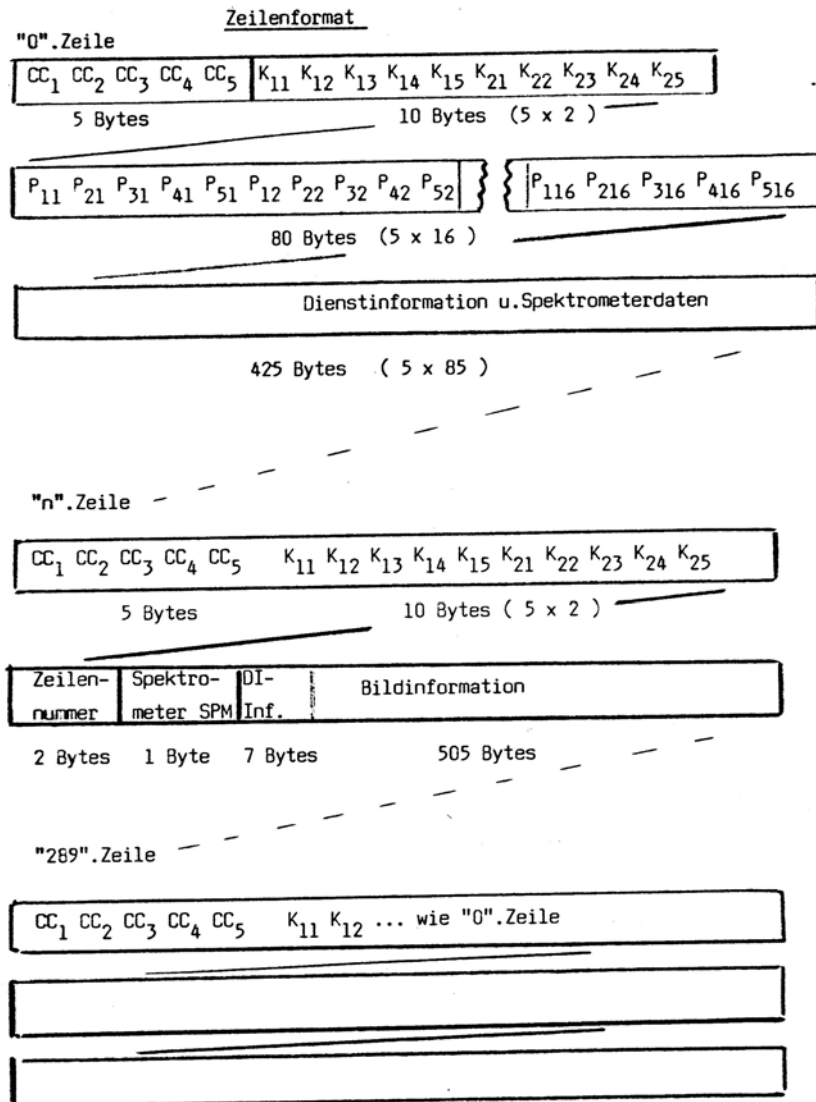


Abb.14: Zeilenformat des Videobildes im Experiment "Fregatt"

In **Abb. 15** ist die R3m-Bildstruktur und das R3m-Dateiformat wiedergegeben. Wie bereits erwähnt, werden die ankommenden, Daten byteweise auf fünf Spuren aufgeteilt. Dabei wird jeder Spektralauszug in 10 Dateien zerlegt, sodaß ein Gesamtbild in 30 Dateien abgespeichert wird. In jeder Spur stehen dann 6 Dateien eines Bildes hintereinander, von denen jeweils die 1. und 2. Datei zum ersten Spektralauszug, die 3. und 4. Datei zum 2. und die 4. und 5. Datei zum 3. Spektralauszug gehören. Die Dateien werden pro Gesamtbild in der Spur von 1 bis 6 durchnummeriert und sind durch die Spurnummer zu unterscheiden.

21

Jede einzelne Datei besteht aus einer Dateikennzeichnung von 160 bit Länge und aus 290 Blöcken. Die Blöcke besitzen eine Blockkennzeichnung von 30 bit Länge und einen Dateninhalt. von 530 bit. Da Datei- und Blockkennzeichnung jeweils Synchronmarken enthalten, besteht hier die Möglichkeit nach Drop-out und Synchronfehlern wieder neu zu synchronisieren und eine Fehlerfortpflanzung zu begrenzen.

Die für die Bildrestauration äußerst wichtige Dateikennzeichnung wurde mit 160 bit Länge und drei Synchronmarken gegen Band- und Übertragungsfehler geschützt. Die notwendige Länge ergab sich aus experimentellen Ergebnissen von A. Mühlport zur Drop-out-Statistik des verwendeten Bandes.

Im Einzelnen enthält die Dateikennzeichnung drei unterschiedliche Dateimarken zur Synchronisation bei Wiedergabe, dreimal die Bildnummer, fünfmal die Dateinummer und zweimal die Spurnummer. Das vollständige Dateikennzeichen ist in Tabelle 6 aufgelistet.

Durch die jeweilige Wiederholung der für die Dateiidentifikation notwendigen Parameter nach jeder der drei Synchronmarken im Dateikennzeichen, wird die benötigte Sicherheit gegen Dropout- Fehler erreicht.

Die Blockkennzeichnung wurde ebenfalls aus einer Blockmarke, die sich von den Dateimarken unterscheidet und die als Synchronisationshilfe bei Wiedergabe wirkt, aus einer Blocknummer, die innerhalb einer Datei gezählt wird, und aus digitalisierten Housekeepingdaten über den Speicherzustand während der Aufzeichnung aufgebaut.

Die Housekeepingdaten werden im Multiplexbetrieb in die jeweils letzten 5 bits einer Blockkennzeichnung geschrieben. Das vollständige Blockkennzeichen ist in Tabelle 7 wiedergegeben.

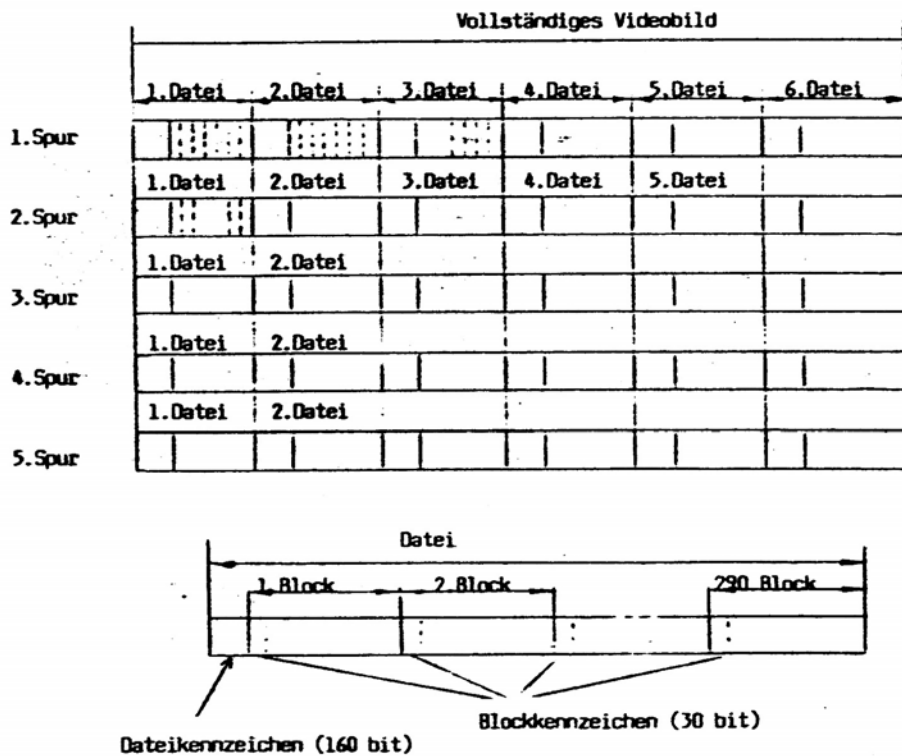


Abb.15: R3m Bild- und Dateiformat

Die Praxis der Erprobung der Geräte bis zum Start und die ersten Wiedergaben aus dem Weltraum haben die Richtigkeit dieser Redundanzbildung bei der speicherinternen Datenstrukturierung bestätigt. Zum Erreichen der notwendigen hohen Speicherdichte wurde als Aufzeichnungskodierung ein umgeordneter 4/5 Gruppencode, Tabelle 8 (s. Anlage 1) angewendet, für den bereits im Labor Erfahrungen für Speicherdichten bis 860 bit/mm vorlagen. Die Umordnung des 4/5 Gruppenkodes wurde zu dem Zweck vorgenommen, daß ein Paritätsbit im NRZ-Kode auch im Gruppencode erhalten wird. Im Verlauf der Experimentpräzisierung fiel jedoch das geplante Paritätsbit zugunsten einer höheren Intensitätsauflösung in den Aufnahmen weg.

Tabelle 6: Dateikennzeichen des R3m

Bitnummer	Wert	Funktionsbedeutung	85-94	0/1	Bildnummer
0 - 18	1	1. Dateimarke	95	1	
19	0	(im Gruppencode	96-100	0/1	Dateinummer im Bild
20	1	verbotenes Zeichen)	101-105	1	
21-30	0/1	Bildnummer	106	0	
31	1		107-111	1	
32-36	0/1	Dateinummer im Bild	112	0	
37-41	1		113-115	1	
42	0		116-120	0/1	Spurnummer
43-47	1		121	1	
48	0		122-126	0/1	Dateinummer
49-51	1		127	0	
52-56	0/1	Spurnummer	128-139	1	3. Dateimarke
57	1		140	0	
58-62	0/1	Dateinummer im Bild	141-142	1	
63	0		143-152	0/1	Bildnummer
64-81	1	2. Dateimarke	153	1	
82-83	0		154-158	0/1	Dateinummer
84	1		159	1	

Aus den früheren Ergebnissen war aber auch bekannt, daß die zur Verfügung stehenden Magnetbänder aus der MBF-Dessau für diese Speicherdichten eine drop-out-rate besaßen, die eine Fehlerkorrektur zum Erreichen einer Fehlerrate von 10^{-6} notwendig machte. Im vorliegenden Fall sollte paralleles Spurlesen angewendet werden, um den einschließlich des Energiebedarfs für die hohe Datentransponierung zu minimieren. Da für diese Konzeption Wiedergabekanal benötigt wurde, schloß das den Einbau effektiven Fehlerkorrekturverfahrens aus.

Tabelle 7: Blockkenzeichen des R3m

Bitnummer Wert Funktionsbedeutung

0/10 1 Blockmarke

11 0 (Im Gruppenkode verbotene Zeichen)

12-13 1

14 0/1 0 = Blocknr. 256 bis 289

15-24 0/1 8 niederwertigen bits der Blocknummer

25-29 0/1 Digitale Gerätedaten; dazu gelten die niederwertigen bits der Blocknummer gleichzeitig als Multiplexzuordnung

So wurde in der Konzeption bei einer geforderten Datenfehlerrate von nur 10^{-4} ein Kompromiss geschlossen. Die Speicherdichte wurde auf 635 bit/mm festgelegt und die Redundanz der internen Datenstrukturierung, wie oben beschrieben, relativ hoch angesetzt.

Weiterhin wurde vorgesehen, daß für die Übertragung zur Erde direkt die aus dem Wiedergabeprozess regenerierten Daten ohne Demodulation aus dem Gruppenkode und mit der internen Datenstruktur gesendet werden. Das ermöglichte eine weitere Aufwandsreduzierung an Bord und erlaubt am Boden mit Hilfe der Rechentechnik eine effektive Datenaufbereitung. Zusammen mit der rechentechnischen Bildauswertung konnte dann auch die Anwendung aufwendiger Fehlerkorrekturmethode mit ins Auge gefaßt werden.

Durch die Anwendung des Gruppenkodes und der internen Datenstrukturierung steigt die Datenrate für die Aufzeichnung auf das Band. Der zu speichernde Datenumfang wächst um den Faktor 1,32 und die Bildgröße verändert sich von 3,69 Mbit auf 4.88 Mbit.

Es wurden aus diesem Grunde in der Gerätekonzeption eine Aufzeichnungsgeschwindigkeit von 86 cm/s sowie eine Bandlänge von 206 m angesetzt. Das ergab bei der Speicherdichte von 635 bit/mm und 15 Spuren etwa 2 Gbit Speicherkapazität.

Da jedoch zwischen den Bildern Aufzeichnungslücken bestehen, die unter anderem auch von der Belichtungszeit der Aufnahmematrizen abhängen, und Start/Stop-Lücken bei Gruppenaufnahmen mit Unterbrechungen auftreten, kann die theoretisch mögliche Anzahl von 400 gespeicherten Vollbildern nur bis 366 Bilder ausgelastet werden. Es ergab sich daher für den Speicher im Mittel eine Nutzdatenkapazität von etwa 200 MByte.

Für die Übertragung zur Erde war neben der quarzstabilen Sendefrequenz auch ein von der SU-Seite quasi "standardisiertes" Synchronwort von 32 bit Länge mit weiteren 32 bit zur Experiment- und Gerätekenzeichnung gefordert, das nach jeden 960 Datenbits eingeschoben werden mußte. Diese Aufgabe wurde ebenfalls mit Hilfe des Wechselpufferbetriebs gelöst, der in Verbindung mit dem "stroboskopischen" Lesen vom Band eine kontinuierliche Wiedergabe aus dem gefüllten Puffer mit einer quarzstabilen Sendefrequenz erlaubte. Bei dem Auslesen des Puffers wurden die für ein Speichergerät konstanten Synchronworte, von 64 bit Länge in den Datenstrom eingeblendet.

Die kontinuierliche Bildwiedergabe von vollständigen Bildern wurde nun mit Hilfe des Wechselpuffers nach der Methode des "stroboskopischen" Lesens wie folgt gelöst.

Bei 2 Stunden Übertragungszeit können bei 4 kbit/s Datenrate etwa 29,5 Mbit übertragen werden, das entspricht 6 vollständigen Bildern mit je 4,88 Mbit pro Bild. Bei 8 kbit/s entspricht das 12 vollständigen Bildern.

Der Wechselpuffer wurde mit 16 kbit RAM-Bausteinen aufgebaut. Je 10 Bausteine bildeten eine Pufferhälfte. Damit faßte eine Pufferhälfte genau eine Datei von 162 560 bit mit einer Reserve von 1280 bit. Diese Restbits wurden für ein während der Wiedergabe generiertes Dateiendekennzeichen genutzt, in das neben einem kurzen Synchronwort die Housekeepingdaten des Speicherzustandes bei der Wiedergabe eingetragen und in die Sendedaten mit eingespeist werden.

Für den Wiedergabeprozess ist nun wichtig, daß bei den vorgegebenen Parametern auf einer Spurgruppe von Bandanfang bis Bandende maximal 120 Bilder aufgezeichnet werden können. Wenn davon 6 vollständige Bilder ausgewählt werden sollen, die für das "stroboskopische" Lesen etwa gleichen Abstand haben sollen, kann nur jedes 20. Bild gelesen werden. ## 25 ##

Beginnt das Lesen mit der ersten Spur, wird vom ersten Bild, das zwischen Bild 1 und 19 ausgewählt werden kann, jeweils die erste, dritte und fünfte Datei gelesen. Der Lesevorgang erfolgt nun so, daß der Speicher mit Lesegeschwindigkeit von 40 cm/s die erste Datei mit der über Kommando ausgewählten Bildnummer sucht und ab Dateikennzeichen, in dem die Bildnummer drei Mal enthalten ist, die gesamte Datei in den ersten Puffer schreibt. Dann stoppt das Band und setzt den Lesevorgang mit der dritten Datei des Bildes fort, wenn der zweite Puffer Aufnahmebereitschaft signalisiert.

Die Mechanik des Gerätes ist mit der Größe einer Datei so abgestimmt, daß mit Sicherheit der Start/Stop-Prozess innerhalb einer Dateilänge auf dem Band erfolgt. In der Zwischenzeit wird bereits der erste Puffer mit Sendefrequenz ausgelesen. Es werden dafür etwa 40 s benötigt. Nach dem Lesen der fünften Datei eines Bildes geht der Speicher automatisch in Suchgeschwindigkeit von 120 cm/s über und fährt 19 Bilder weiter auf dem Band nach vorn und wartet im Gebiet der dritten Datei dieses Bildes. Bei der nächsten Pufferanforderung fährt der Speicher wieder mit Lesegeschwindigkeit bis zum folgenden neuen Bild, und liest dann das 20. Bild, das auf das erste Bild folgt, in der beschriebenen Art wieder in den Puffer ein.

Die Suchgeschwindigkeit mußte so hoch gewählt werden, damit der Bandabstand von 20 Bildern, in dem noch Bildabstands- und Start/Stop-Lücken enthalten sein können, innerhalb der zur Verfügung stehenden 40 s mit Sicherheit überbrückt werden konnte.

Erreicht der Speicher nach dem Lesen der 5. Datei des 8. Bildes das Bandende, das sich durch einen Lichtschrankenimpuls anzeigt, wird die gleiche Spur noch einmal in derselben Weise durchlaufen, nur daß statt der ungeraden Dateien jetzt die geradzahigen gelesen werden. Am Ende des zweiten Durchlaufes beginnt die Prozedur von Neuem, jedoch mit der nachfolgenden Spur. Im Normalfall werden so nacheinander alle 5 Spuren gelesen und damit 6 vollständige Bilder für die Übertragung bereitgestellt.

Für, den Fall, daß mit 8 kbit/s Datenrate gearbeitet wird, ist die Auslesezeit eines Puffers nur noch 20 s lang. Daher wird dann jedes 10. Bild gelesen, sodaß innerhalb von zwei Stunden 12 Bilder übertragen werden können.

Setzt man das geschilderte Verfahren nun mit allen ersten Bildern von 1 bis 19 fort, kann das Band vollständig ausgelesen werden. ## 26 ##

Während für die Aufzeichnung nur die jeweilige Spurgruppe durch Kommando auswählbar tat, kann für die Wiedergabe grundsätzlich jede Spur einzeln angesprochen werden. Das ermöglicht auch das wiederholte Lesen nur einer Spur im Bedarfsfall.

Da der beschriebene Standardleseprozess relativ kompliziert ist und von der vollständigen Funktionsfähigkeit aller Baugruppen abhängt, wurde zur Reserve noch ein Havarieregime geschaffen, das unabhängig von der internen Datenstruktur arbeitet.

Dieses Regime beruht darauf, daß von jeder beliebigen Bandstelle an gelesen werden kann. Es werden dann beide Puffer voll geschrieben und das Band bleibt stehen, bis die Puffer wieder Aufnahmebereitschaft melden. Da auch hier die Start/Stop-Lücken kleiner als eine Datei sind, sind in jeder Pufferfüllung mindestens 2 Dateikennzeichen enthalten, die eine Zuordnung der Dateien erlauben. Sind die Kennzeichen gestört, so muß bei der Bildrestauration mit der originalen Fernsehbildstruktur, die ebenfalls alle Bildparameter enthält, gearbeitet werden.

27

4.2. Anschlußschnittstelle des R3m

4.2.1. Funktionssteuerung

Für die Gestaltung der Anschlußschnittstelle wurde ein Spezialinterface geschaffen, das unter dem Gesichtspunkt einer hohen Zuverlässigkeit eine Minimierung der Kabelverbindungen, des Leistungsbedarfs und des Elektronikaufwandes im Speicher insgesamt zuließ.

In **Abb. 16** ist das resultierende Schema der elektrischen Verbindungen des Experiments "Fregatt" wiedergegeben. Daraus geht hervor, daß der R3m nur mit zwei 50-poligen Steckverbindungen zum bulgarischen Steuergerät SU und mit vier geschirmten Einfachleitungen zur Radiolinie RTK verbunden ist. Bei der Konzeption wurde berücksichtigt, daß in einem 50-adrigen Kabel die "unempfindlichen" Verbindungen, wie Stromversorgung und Telemetrie geführt und im anderen die Befehlssignale, Daten und Takt eingeordnet wurden.

Deshalb wurde die Stromversorgung des R3m aus dem bulgarischen Schaltnetzteil VIP WSU zur Sticker- und Kabelminimierung über das Steuergerät SU geschleift. Die Schaltnetzteile VIP WSU und VIP SU werden vom Steuergerät SU kommandiert und sind aus Sicherheitsgründen jeweils doppelt ausgeführt. Die Umschaltung auf Reserve erfolgt ebenfalls durch das Steuergerät SU.

Das Schaltnetzteil VIP WSU stellt aus der Bordspannung (27 V +/-3 V) für den R3m die in Tabelle 9 aufgelisteten Spannungen und Ströme zur Verfügung.

Tabelle 9 : Spannungs- und Stromversorgung des R3m

Spannung (V)	Bereitschaftsregime Strom (A)	Arbeitsregime Strom (A)
+ 5 +/-0,25	0,7... 0,8	0,7 ... 0,8
+ 5 +/-0,25		8,0 ... 10,00
+ 12 +/-0,5		1,0...1,5
- 12 +/-0,5		1,0 ... 1,5

Da entsprechend der Experimentplanung sowohl Gruppen Bildern, z.B. in der Annäherungsphase an den Phobos, größeren Zwischenpausen, als auch kontinuierliche Bildfolgen mit geringstem Abstand, z.B. in der Driftphase über dem Phobos, aufgenommen werden sollten, wurden für Aufnahme und Pause zur Minimierung der Leistungsaufnahme getrennte Regime eingeführt. Eine vollständige Abschaltung des Speichers in den Aufnahmepausen einer Serie ohne zwischenzeitliche Wiedergabe ist deshalb nicht möglich, da innerhalb des Speichers, wie bereits beschrieben, die Bilder nummeriert werden und dafür der aktuelle Zählerstand und das befohlene Regime für die Fortsetzung der Aufzeichnung "gemerkt" werden müssen.

So wurde ein Bereitschaftsregime mit 5 Watt Leistungsbedarf installiert, das automatisch bei der Spannungszuschaltung eingeschaltet wird und während der Aufzeichnungspausen die Speicherinhalte sichert. Für alle Arbeitsregime des Speichers, wo die volle Leistung bis etwa 33 Watt benötigt wird, mußte das zweite Arbeits-Leistungsregime zugeschaltet werden.

Da zum Zeitpunkt der Bauelementefestlegung für die Entwicklung des R3m kein freigegebener Mikroprozessor für Tiefraumeinsatz zur Verfügung stand, wurden für die Befehlssteuerung des Speichers die Grundfunktionen des R3m benutzt. Sie wurden in einen Befehlssatz untersetzt, der durch sinnvolle Kombination die gewünschten Arbeitsregimes im Speicher erzeugen konnte.

In **Abb. 17** ist die Struktur des Interfaces zwischen R3m und dem Steuergerät SU wiedergegeben.

Wie bereits beim „R3- Boden“ bewährt, wurden alle im R3m benötigten Takte aus dem Eingangstakt vom Steuergerät bzw. vom Bordtakt abgeleitet, um Synchronschwierigkeiten zu vermeiden. Der hochfrequente Takt, der daher während der gesamten Einschaltzeit des Speichers benötigt wurde, und die Videodaten wurden in geschirmten Leitungen zum Gerät geführt.

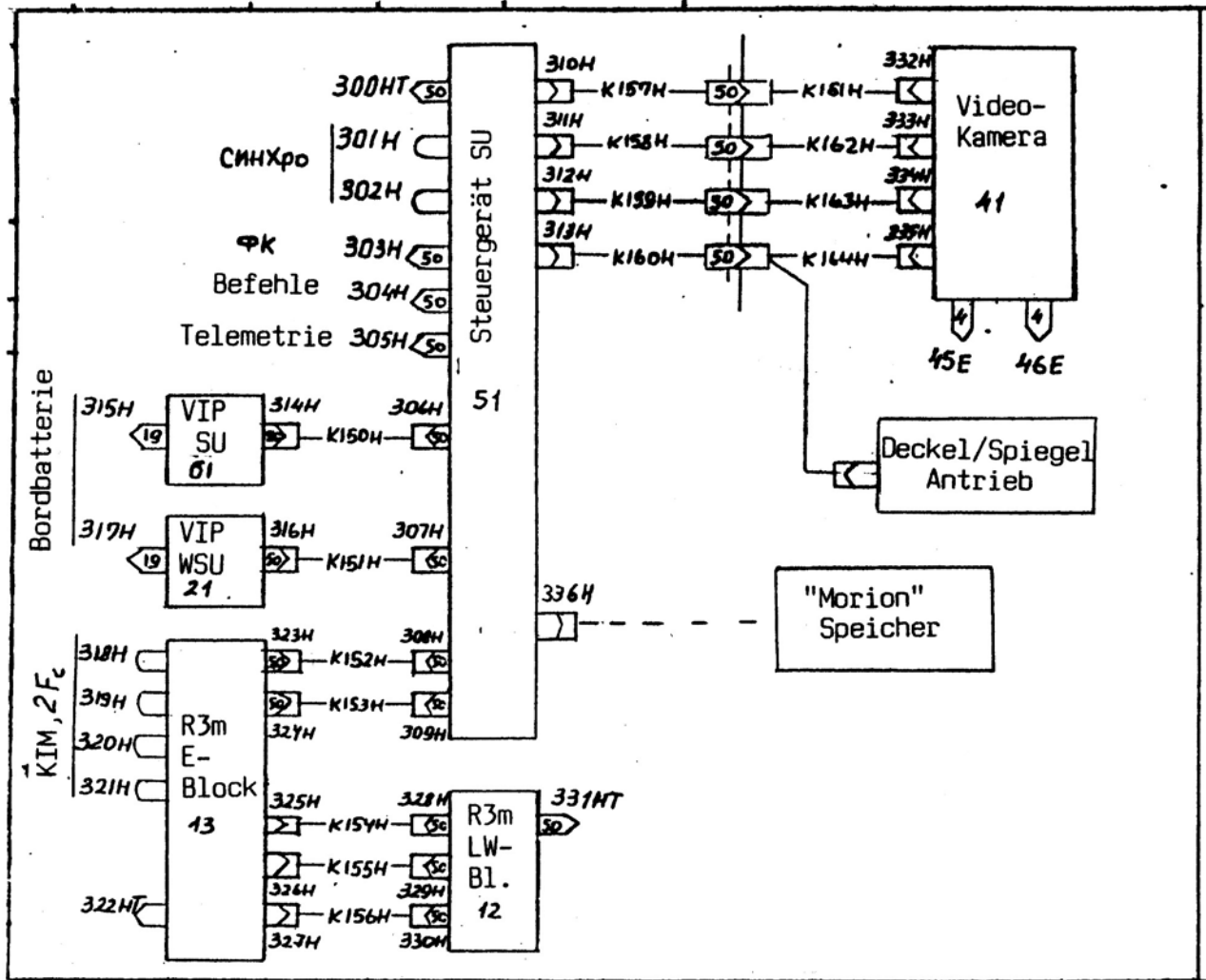


Abb.16: Schema der elektrischen Verbindungen im Experiment "Fregatt"

Um Leitungen einzusparen, wurden alle Befehle und Parameter in einem 8-bit Bus mit drei unterschiedlichen Steuerworten übertragen. Die Steuerworte wurden mit zugeordneten Strob-Signalen vom Speicher übernommen.

In den Steuerworten waren nach Rangfolge die Grundfunktionen, Bedingungen und Parameter für den Aufruf der einzelnen Arbeitsregime untergebracht.

In einem vom Speicher gesendeten ständig anliegenden Statuswort wurde der augenblickliche Arbeitsregime-Zustand angezeigt und damit quasi der Empfang der Steuerworte quittiert. Somit konnte vom Steuergerät immer kontrolliert werden, ob die gegebenen Befehle vollständig und richtig erkannt wurden oder wiederholt werden mußten. Bei Änderung des Status wurde auf einer zusätzlichen Leitung vom Speicher der Befehl 108 "Achtung Speicher" ausgegeben, um das Steuergerät zu einer Analyse des Status zu veranlassen.

29

Um die direkte Anpassung der Aufzeichnung an die Videobildstruktur des Steuergerätes zu erreichen, waren für den Speicher noch 3 zusätzliche Signale notwendig. Der Befehl 008 "Motorstart" sollte vom Nutzer dann gegeben werden, wenn ein Bild zur Aufzeichnung bereitsteht. Erst mit diesem Befehl wird im Speicher der Antriebsmotor angeschaltet. Zu langer vorheriger Motorlauf ohne Bildübertragung verbraucht Magnetband und reduziert die Nettospeicherkapazität des R3m.

Im Statuswort wird bei Erreichen der Aufzeichnungsgeschwindigkeit des Magnetbandes die Bereitschaft zur Aufzeichnung gemeldet.

Mit dem Befehl 009/1 "Bildanfang" werden die Daten auf der Dateneingangsleitung als Nutzdaten zur Aufzeichnung freigegeben. Der Befehl 009/1 wird als Bytetakt gesendet, dessen erste Flanke den Bildanfang angibt und der die Bytesynchronisation zwischen den Geräten unterstützt. Mit dem Befehl 009/2 Bildende wird "unabhängig" von der Anzahl

der übertragenen Datenbits das Ende eines Bildes angezeigt. Er bewirkt im Speicher den Abschluß der letzten Datei und die Bereitstellung der nächsten Bildnummer durch den Elektronikblock R3m für die folgende Bildaufzeichnung. Der Befehlsinhalt der Steuerworte 1-3 ist in Tabelle 10 (s. Anl. 2) wiedergegeben.

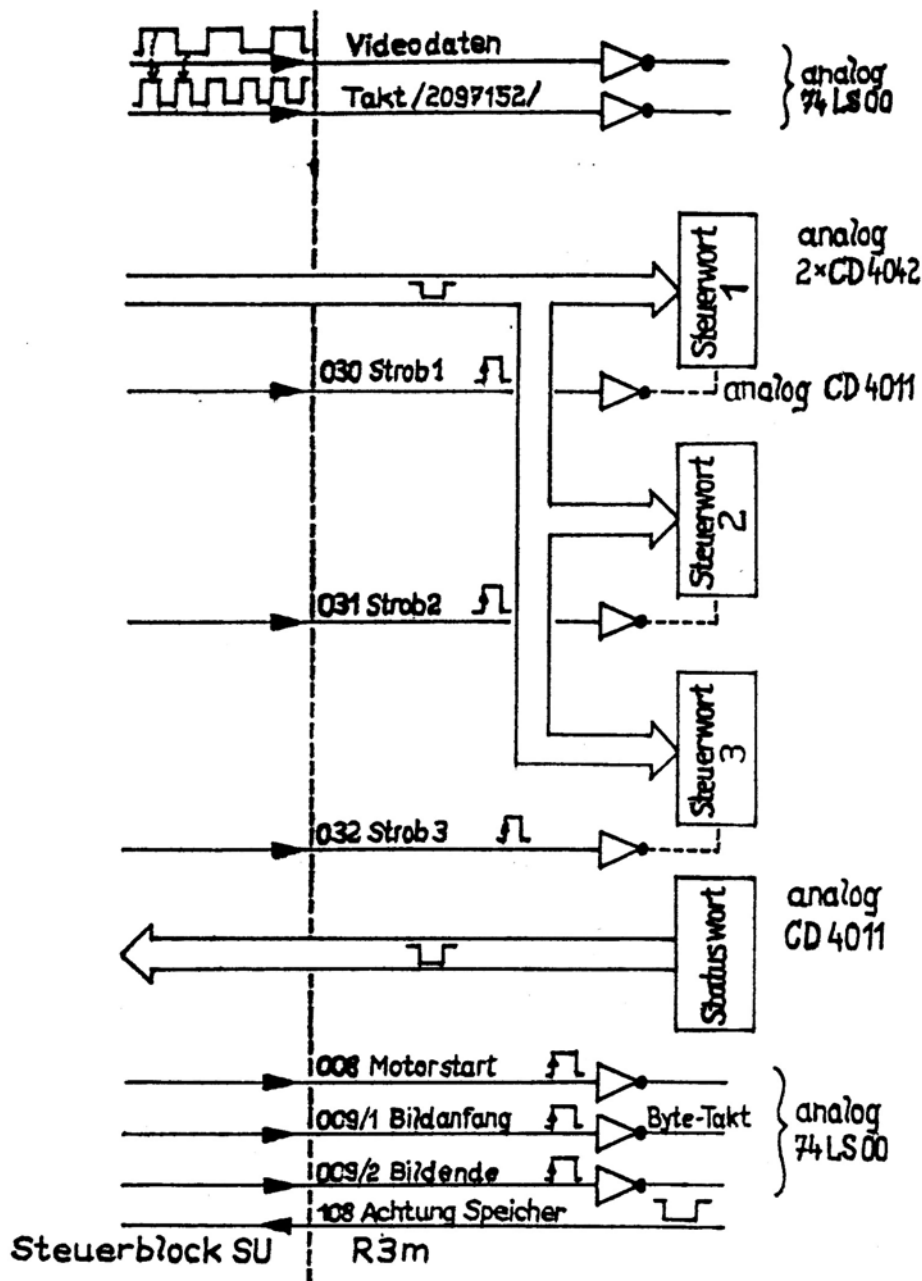


Abb.17: Struktur des Interfaces zwischen R3m und Steuergerät SU

Die in Tabelle 10 mit * gekennzeichneten Kommandos 004 und 006 (Ein- und Ausschalten der Speisespannung), des ersten Steuerwortes, die das Zuschalten von bereits eingeschwungenen und stabilen Spannungen von den Schaltnetzteilen realisieren sollten, konnten leider nicht genutzt werden. Sie wurden durch bloßes Einschalten der Schaltnetzteile ersetzt, da diese entsprechend späteren Forderungen der bulgarischen Entwickler sofort nach dem Zuschalten mit mindestens 50 % Last belegt werden mußten. Diese Änderung erforderte im Speicher den Einbau wirksamer "Resets", die bei jedem Einschaltvorgang nach der Beruhigung der anfangs stark schwingenden Versorgungsspannungen für definierte Ausgangszustände der Speicherelektronik zu sorgen hatten.

Die Befehls Worte waren grundsätzlich in der Reihenfolge ihrer Nummerierung zu geben. Mit dem ersten Steuerwort konnten die Grundfunktionen des Magnetbandspeichers, wie Arretieren und Entarretieren, Löschen, Aufzeichnen Wiedergabe befohlen werden.

Grundfunktionen Arretieren und Entarretieren sind nur Startphase vorgesehen, um die Vibrationsbelastung überstehen. Bei allen späteren Manövern der Sonde braucht und soll der Bandwickel nicht mehr arretiert die geringen Stöße und Vibrationen von Kurskorrekturen u.a. Einflüssen dem Bandwickel nichts schaden. Außerdem soll ein mögliches Verkleben der Bandwicklungen vermieden werden.

Die Arretierungseinrichtung mußte jedoch trotz des nur einmaligen echten Gebrauchs in einer aufwendigeren wiederholbaren Funktion ausgeführt werden, da in der Testphase auch diese Funktionen mehrfach überprüft wurden. Arretieren und Entarretieren können bei jeder beliebigen Bandstellung befohlen werden und benötigen daher keine weiteren Präzisierungen. Bei Löschen, Aufzeichnung und Wiedergabe wird jedoch die Stellung „Dandanfang“ sinnvollerweise vorausgesetzt.

Da jedoch sowohl die Aufzeichnung als auch die Wiedergabe an beliebiger Stelle des Bandes beendet werden können, ist die Funktion "Umspulen" eingeführt worden. Sie bewirkt einen schnellen, rein mechanischen Bandumlauf mit 120 cm/s bis zum "Bandanfang", der beim Endloswickel mit dem "Bandende" identisch ist. Die Funktion "Umspulen" wird durch Setzen des Aufzeichnungsbits Nr. 2 im ersten Steuerwort und durch die bits Nr. 6 und 7 des zweiten Steuerworts, die beide auf 0 gesetzt werden, befohlen.

Während des Regimes "Umspulen" werden im Zustandswort, das der Speicher ausgibt, die Bits Nr. 2 und 7 auf 1 gesetzt. Das Regime endet mit dem Lichtschrankenimpuls, der durch ein Lochsystem am Bandende ausgelöst wird. Im Zustandswort werden dann die Bits Nr. 2 und 7 wieder auf 0 und Bit Nr. 1, "Bandende", auf 1 gesetzt.

Da beim Anschalten des Speichers nach Arbeitspausen nicht mehr bekannt sein muß, bei welcher Bandstellung abgeschaltet wurde, aber andererseits nicht jedes Einschalten mit einem "Umspulen" beginnen sollte, um die Bandumläufe nicht unnötig zu erhöhen, wurde die Zustandsanzeige "Bandende" über ein Endlagenrelais geschaltet. Damit kann der Bandlagenzustand, der vor dem Ausschalten vorhanden war, auch nach dem Neueinschalten wieder richtig angezeigt werden.

Das Regimes "Löschen" wird entsprechend Tabelle 10 analog befohlen. Das "Löschen" erfolgt mit Wiedergabegeschwindigkeit von 40 cm/s, wird von Bandanfang bis Bandende durchgeführt und löscht das Band auf voller Breite. Dabei wird auch die Pilotspur, die mit einer konstanten Frequenz zur Bandgeschwindigkeitsermittlung bei Wiedergabe beschrieben ist, mit gelöscht. Aus diesem Grund wird während des Löschdurchlaufes die Pilotspur sofort wieder eingeschrieben. Da der Löschkopf in der Endloskassette wie in normalen Kassettengeräten vor den A/W-Köpfen angeordnet ist, kann ohne technische Schwierigkeiten das Löschen und Pilotspurschreiben bei der gleichmäßigen Löschgeschwindigkeit des Bandes parallel erfolgen.

Für die Aufzeichnung muß neben dem Aufzeichnungsbit Nr. 2 im ersten Steuerwort die Spurgruppe, auf die aufgezeichnet werden soll, durch entsprechendes Setzen der Aufzeichnungsbedingungsbits Nr. 6 und 7 des zweiten Steuerworts, ausgewählt werden. Sind diese beiden Steuerworte an den Speicher übergeben worden, erfolgt die Aufzeichnung der Videobilder nach der in **Abb. 18** dargestellten zeitlichen Reihenfolge der zusätzlichen Steuersignale.

Die ordnungsgemäße Übernahme der Aufzeichnungsbefehle 007 und 011/012 wird vom Speicher durch Setzen des Aufzeichnungsbits 103 im Zustandswort quittiert.

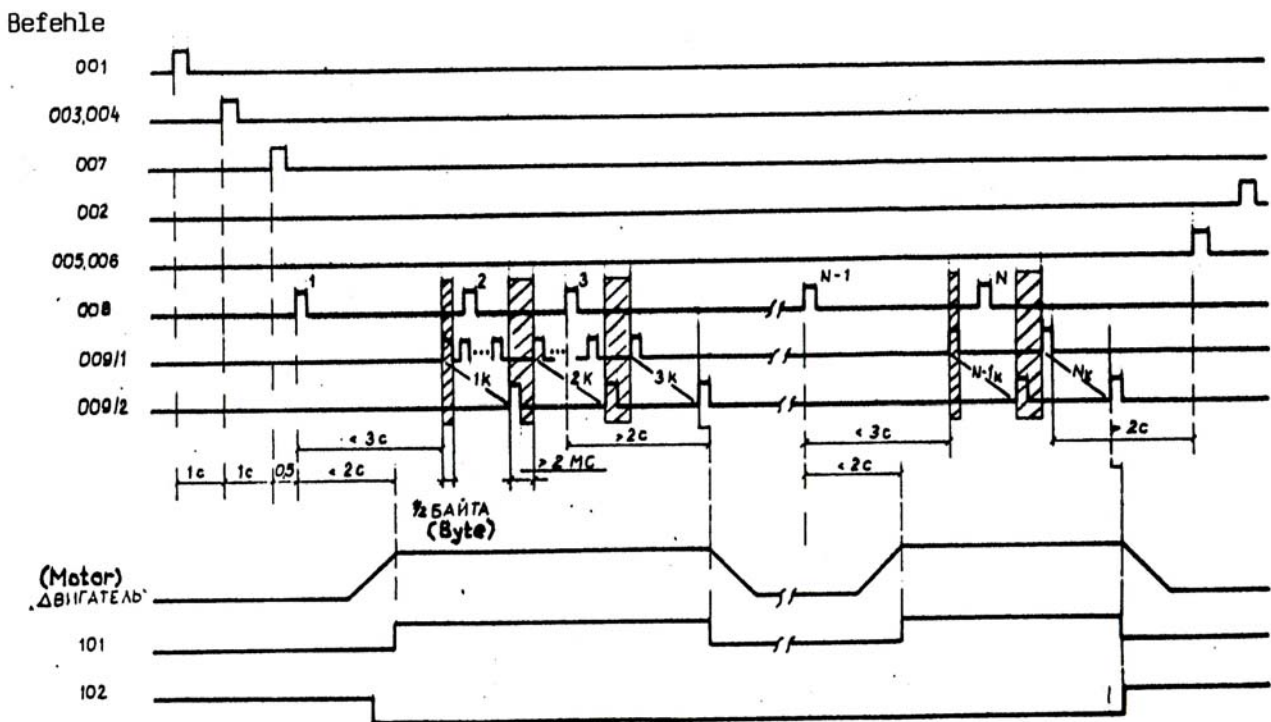


Abb.18: Signalspiel bei Aufzeichnung im R3m

Mit dem Senden des Motorstartbefehls 008 vom Steuergerät wird der Antriebsmotor gestartet und das Band auf die Aufzeichnungsgeschwindigkeit beschleunigt. Durch das Anfahren des Bandes wird der Bandendebereich verlassen, was

durch das Signal 102 im Zustandswort angezeigt wird. Hat der Motor und das Band nach maximal 2 Sekunden die Sollgeschwindigkeit erreicht, kann aufgezeichnet werden. Dazu wird das Signal 101, Aufzeichnungsbereitschaft, im Zustandswort gesetzt. Die Aufzeichnungsbereitschaft bleibt solange erhalten, bis der Motor bei Start/Stop-Aufzeichnung wieder angehalten wird oder das Aufzeichnungsregime insgesamt abgeschaltet wird.

Nach dem Anzeigen des Signals 101 im Zustandswort können die ersten Bilddaten mit entsprechendem Takt zum Speicher übertragen werden. Dabei soll zeitgleich mit dem ersten Datenbit das Signal 009/1, Bildanfang, als Bytetakt bis Bildende gesendet werden. Mit dem letzten Datenbit eines Bildes wird das Signal 009/2, Bildende, erwartet.

Ist vorgesehen, mehr als ein Bild aufzuzeichnen, muß im vorangehenden Bild der Motorstartbefehl 008 wiederholt werden. Wird dies nicht getan, schaltet der Speicher den Motor 2 s nach dem letzten Motorstartbefehl ab, um unnötigen Bandlauf ohne Bildaufzeichnung zu verhindern. Soll nach einer Pause die Aufzeichnung fortgesetzt werden, ist das beschriebene Signalspiel, beginnend mit Motorstart 008, zu wiederholen.

32

Mit dem Signal Bandende (102) im Zustandswort wird der befohlene Aufzeichnungsstatus vom Speicher automatisch zurückgenommen. Die Aufzeichnung kann nun durch Wiederholung der Steuerworte 1 und 2 mit Angabe einer neuen Spurgruppe fortgesetzt werden, oder für die Wiedergabe neu befohlen werden.

Wie bereits beschrieben, ist es zur Energieeinsparung möglich, in den Aufzeichnungspausen innerhalb einer Spurgruppe oder am Bandende das stromintensivere Arbeitsregime abzuschalten und nur das Bereitschaftsregime zur Sicherung des Aufzeichnungszustandes und der Bildnummerierung aufrecht zu erhalten. Bei Fortsetzung der Aufzeichnung muß dann zuerst das Arbeitsregime wieder eingeschaltet werden. Innerhalb einer Spurgruppe kann dann ohne Wiederholung der Steuerworte 1 und 2 sofort mit Motorstart (008) die Fortsetzung der Aufzeichnung eingeleitet werden.

In **Abb. 19** ist als Beispiel das Befehlsdiagramm des Aufzeichnungszyklus "Mars-Perizentrum" aus dem Phobosprogramm mit vorhergehendem Bandlöschen, -wiedergeben. Zur Erhöhung der Sicherheit wurde das erste Steuerwort mit zwei hintereinander folgenden Strobosignalen übertragen.

Vor der Beschreibung der Wiedergaberegime soll vorerst noch auf das Ausgangsinterface zum Sender "RTK" der Sonde kurz eingegangen werden. Es ist in **Abb. 20** als Funktionsschema wiedergegeben. Aus Zuverlässigkeitsgründen werden in zwei voneinander unabhängigen Kanälen, die galvanisch vom elektrischen Kreis des Speichers getrennt sind, Daten und zweifache Taktfrequenz parallel zum Sender übertragen. Da im Sender keine weitere "Bearbeitung" des Datenstromes erfolgt, müssen die Daten mit quartzstabiler Taktfrequenz ($\pm 5 \cdot 10^{-5}$) vom Speicher übergeben werden. Bei Beginn der Übertragung müssen vom Speicher 3 min. nur 2F-Takt und Synchronworte der Radiolinie zur Synchronisation der Funkstrecke gesendet werden.

Das Zusammenspiel zwischen Speicher und Sender wird vom bulgarischen Steuergerät SU organisiert. Der Gerätetakt wird über das Steuergerät SU vom Bordtakt abgeleitet.

Für die Wiedergabe, die ja durch stroboskopisches Lesen v0 jeweils nur einer Spur erfolgt, stehen 4 Programme zur Verfügung. Hier sollen nur die drei wichtigsten, die Standardwiedergabe, die verkürzte Wiedergabe und die Havariewiedergabe, kurz beschrieben werden.

33

Bei der Standardwiedergabe wird der volle Übertragungszeitraum einer Verbindung von knapp 2,5 Stunden zum Senden von 6 vollständigen Bildern zur Erde genutzt. Dabei werden, beginnend mit der jeweils ersten Spur einer Spurgruppe, nacheinander alle Spuren dieser Gruppe stroboskopisch gelesen. Die Nummer des ersten zu lesenden Bildes muß im Befehlssatz mit übergeben werden.

Da für den Beginn der Wiedergabe der Stand des Speichers im Bandendebereich gefordert ist, wird zuerst anhand des Zustandswortes die Bandlage überprüft. Steht das Band aus vorhergehenden Aktionen nicht am Bandende/anfang, wird das durch das Regime "Umspulen" erreicht.

In **Abb. 21** ist das Originalbefehlsdiagramm der Standardwiedergabe im Phobosprojekt dargestellt.

Mit dem Einschalten der Arbeitsbereitschaftsspannung wird aus dem Bordtakt abgeleitet der 2 MHz-Takt aus dem Steuergerät für die gesamte Wiedergabezeit geliefert. Durch die Anbindung des Steuertaktes an den Bordtakt ist automatisch die Synchronität zum Takt des Bordsenders gewährleistet.

Zuerst werden dann wieder die Steuerworte mit den gewünschten Parametern und Bedingungen in der Reihenfolge ihrer Nummerierung mit den entsprechenden Strobosignalen gesendet. Die richtige Übernahme und die Vollständigkeit der Befehle werden im Zustandswort durch die Signale 107 und 106 bestätigt.

Danach wird mit dem einmaligen Senden des Motorstartbefehls 008 die Wiedergabe begonnen, die dann ohne Beeinflussungsmöglichkeit von außen automatisch bis zum Ende abläuft. Das

heißt, daß die fünf Spuren der gewählten Spurgruppe je zweimal durchlaufen werden und jedes 20. Bild dabei gelesen wird. Die Standardwiedergabe ist nach etwa 130 min beendet.

Weil die Zeit einer Standardwiedergabe relativ lang ist, und zur Funktionsüberprüfung oft nur ausgewählte Bilder oder Spuren benötigt werden, wurde die verkürzte Wiedergabe eingeführt. Mit ihr wird nur eine frei auswählbare Spur zweimal durchlaufen. Mit der entsprechenden Angabe der Nummer des ersten wiederzugebenden Bildes kann praktisch jedes aufgezeichnete Bild gefunden und gelesen werden. Die verkürzte Wiedergabe benötigt etwa 25 min und gibt 6 Bilder mit einem Fünftel der Auflösung eines Videobildes wieder.

##34 ##

Die Steuerung der Programme erfolgt durch Zählen der Bandenddurchläufe. Dabei ist das Standardprogramm mit dem Erreichen des 10. Bandendes und die verkürzte Wiedergabe mit dem 2. Bandende abgelaufen. Mit dem Erhalten der letzten Bandendemarke wird von der internen Speichersteuerung der Motor abgeschaltet. Dann wird gewartet bis das

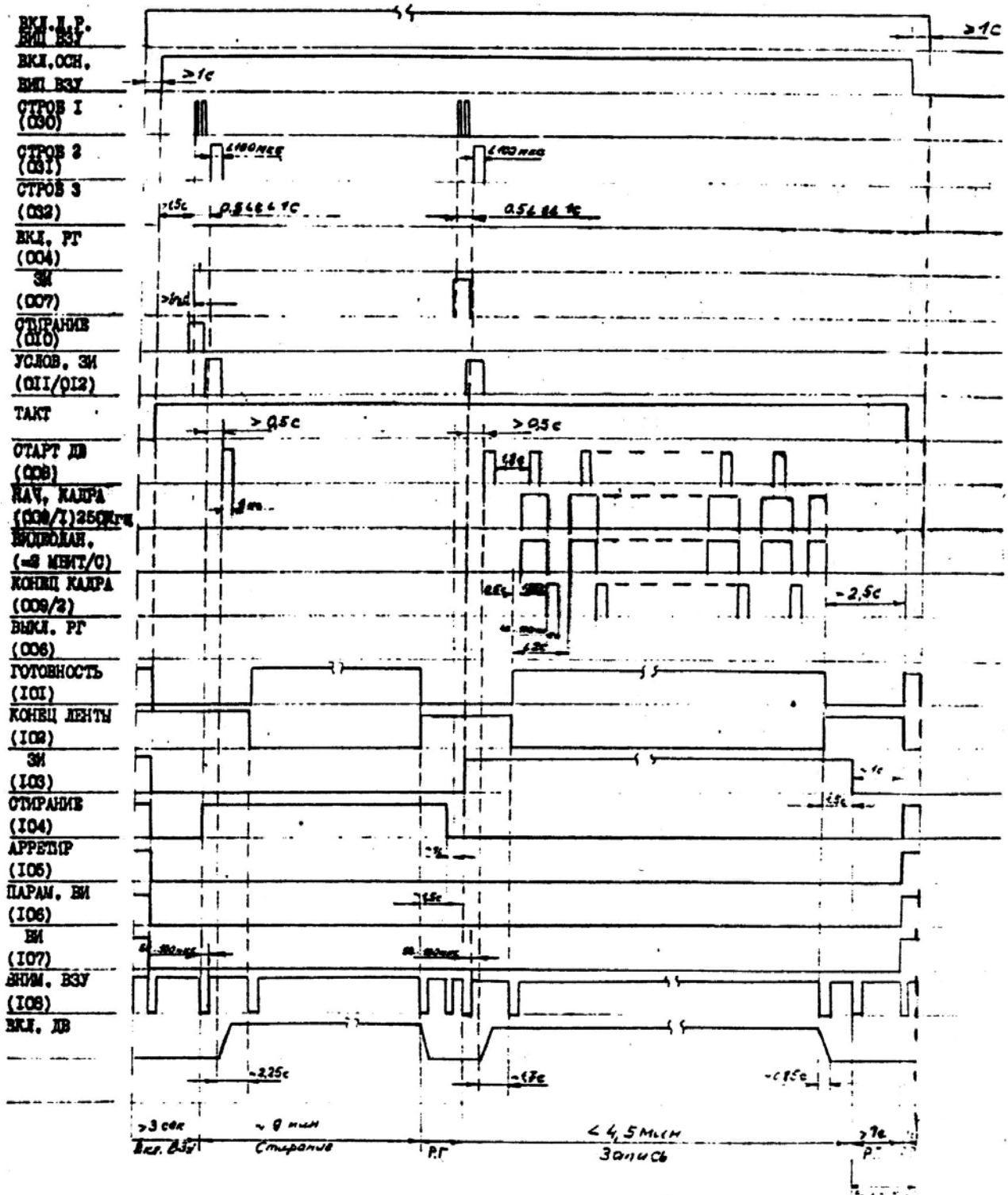


Abb.19: Befehlsdiagramm der Aufzeichnung "Mars-Perizentrum"

letzte bit aus dem Wechselpuffer des Speichers zum Sender übertragen wurde. Ist das erfolgt, wird das Wiedergaberegime insgesamt selbständig abgeschaltet und der Befehlseingang des Speichers, der während der Wiedergabe blockiert war, steht für neue Befehle wieder zur Verfügung.

Das dritte Wiedergaberegime, die Havariewiedergabe, kann von jeder beliebigen Bandstellung aus gestartet werden. Da es, wie bereits beschrieben, unabhängig von den Bildnummern nur die beiden Pufferspeicherhälften voll schreibt, anschließend das Band stoppt und wartet, bis der Puffer zum Sender mit der gewählten Geschwindigkeit ausgelesen ist und dann erneut ein kurzes Stück zum Füllen der Puffer liest, ist für das Funktionieren der Havariewiedergabe die interne Datenstruktur des R3m ohne Bedeutung.

Mit dem Motorstartbefehl 008 wird die Havariewiedergabe gestartet. Sie kann durch Abschalten der Spannung des Arbeitsregimes bei Motorstillstand beendet werden.

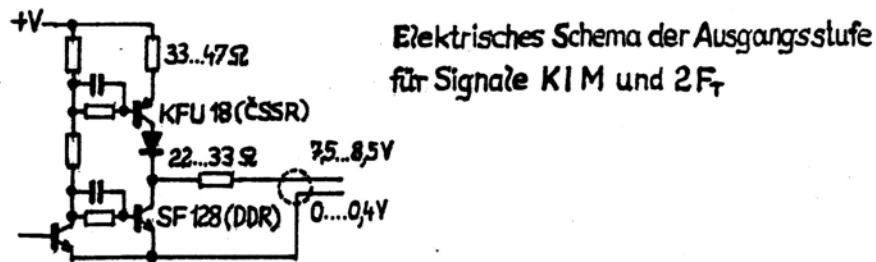
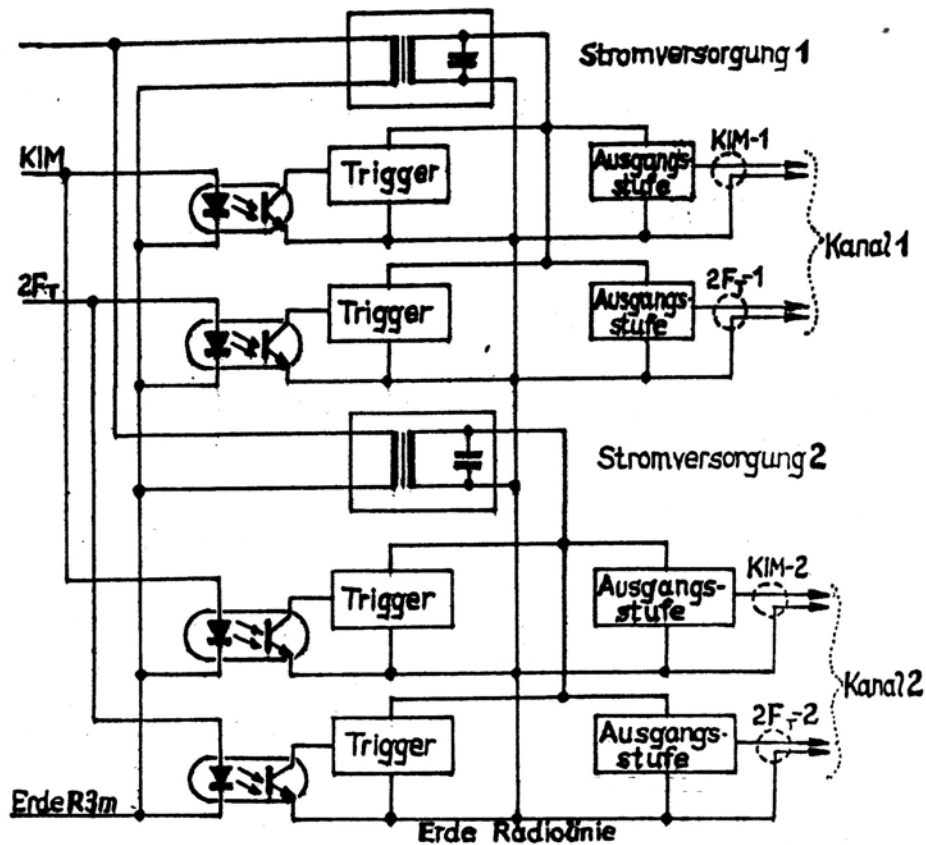


Abb.20: Ausgangsinterface R3m zum Sender RTK

35

4.2.2. Betriebsdatentelemetrie des R3m

Für die Fehlersuche bei der Entwicklung, bei den Systemzusammenschaltungen, den abschließenden Funktionstests und zur zuverlässigen Steuerung der Gerätesysteme während des Einsatzes ist eine sinnvoll gestaltete Betriebsdatentelemetrie von eminenter Bedeutung. Da in der Sonde für alle Bordgeräte Telemetrikkanäle zur Verfügung gestellt werden müssen, ist die verfügbare Zahl bei jeder Mission begrenzt, sodaß es eine nichttriviale Aufgabe ist, die für das jeweilige Gerät relevanten Betriebsparameter auszuwählen. Durch die vorangegangenen Bordspeicherentwicklungen lagen im ZKI einschlägige Erfahrungen vor.

Von der Phobos-Projektleitung wurden zur Betriebsdatenüberwachung des R3m ein analoger und acht digitale Telemetrikkanäle zur Verfügung gestellt, die galvanisch getrennt über das Steuergerät SU an den Bordrechnerkomplex anzuschließen waren. Sie werden vom Bordrechner alle 0,5 s abgefragt. Diese Telemetrie ist damit der gesamten Bordtelemetrie zugeordnet und nicht von der Funktionsfähigkeit des Speichers abhängig.

Im Gegensatz dazu wird die zusätzlich im R3m geschaffene schnelle Housekeepingtelemetrie, wie bereits beschrieben, in den Datenstrom eingebaut. Sie erlaubt eine zeitlich genauere Analyse des Speicherzustandes mit höherer Auflösung, ist jedoch an die Wiedergabefunktion des Speichers gebunden.

Aus der Funktionsanalyse des Speichers R3m und aus den Erfahrungen früherer Bordeinsätze von Endloswickelsystemen wurden die zu telemetrierenden Parameter erfaßt und Möglichkeiten zu ihrer Messung geschaffen.

Insbesondere sollten die Versorgungsspannungen, die Befehls- und Funktionszustände des Speichers, die Magnetkopf-temperatur, die Anzahl der absolvierten Bandumläufe und die Motorgeschwindigkeit registriert werden.

Dabei wurde festgelegt, die Motorgeschwindigkeit indirekt über den Motorstrom zu messen, der neben der Abschätzung der aktuellen Geschwindigkeiten auch Aussagen über den Zustand des Endloswickels und der Antriebsmechanik zuläßt. Aus diesem Grunde wurde auch der analoge Telemetrikkanal zusätzlich für die Motorstromübertragung reserviert.

ПРОГРАММА "СТАНДАРТИНОГО ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ" (ВМ)

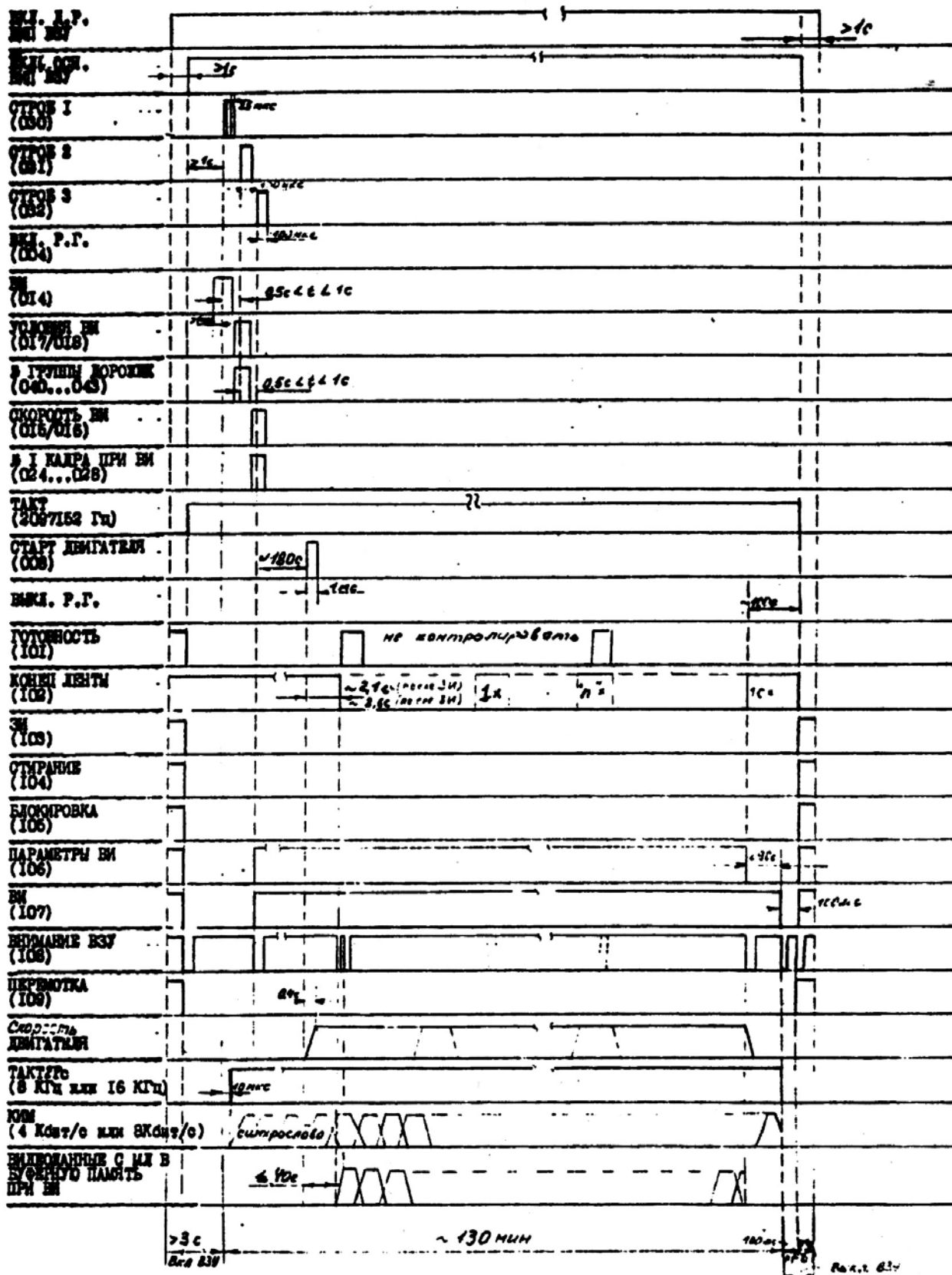


Abb.21: Befehlsdiagramm "Standardwiedergabe" im R3m

In Tabelle 11 sind die Inhalte der R3m-Betriebsdatentelemetrie aufgeführt.

Tabelle 11 : R3m - Betriebsdatentelemetrie

Signalbezeichnung	Signalwert	Bedeutung des Signals
BLOCK	0	Speicher entarretiert
	1	Speicherarretiert
KTEM	1	Temperatur des Magnetkopfes ≥ 50 grad C
	0	Temperatur des Magnetkopfes normal
S5PS	1	+5 V Bereitschaftsspannung war mindestens kurzzeitig unterhalb der Toleranzgrenze
	0	+5 V Bereitschaftsspannung in der Toleranz
S12P	1	+12 V außerhalb der Toleranz
	0	+12 V innerhalb der Toleranz
S12N	1	-12 V außerhalb der Toleranz
	0	-12 V innerhalb der Toleranz
S5P	1	+5 V Arbeitsregimespannung war mindestens außerhalb der Toleranz
	0	+5 V Arbeitsregimespannung innerhalb der Toleranz
BAEND	0	Band steht nicht im Bandendebereich
	1	Band steht im Bandendebereich

Die Signalkombinationen für die Arbeitsregime des Speichers, für die Umlaufzählung und die Motor/Bandgeschwindigkeit sind in Tabelle 12 (s. Anl. 3) enthalten.

Die Signale werden nun in 4 Auslesephasen an die 8 digitalen Telemetriekanäle übergeben. Die Kodierung ist in der in Tabelle 13 aufgezeigt.

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß die besonders wichtige +5 V-Bereitschaftsspannung in jeder Auslesephase enthalten ist und damit alle 0,5 s kontrolliert werden kann. Die Kontrollschaltung ist außerdem so ausgeführt, daß auch kurzzeitige Ausfälle dieser Spannung bis zum Bandendesignal in der Telemetrie gespeichert werden. Damit kann sichergestellt werden, daß Bildnummerierungsfehler bei der Aufzeichnung z.B. Neuanfang der Zählung mit Bild 1 mitten im Band, die in der Regel durch kurzzeitigen Spannungsausfall erzeugt werden, auf diese Ursache überprüft werden können.

Tabelle 13 : Kodierung der Telemetriekanäle R3m

Kanal	Phase 0	Phase 1	Phase 2	Phase 3
K1	BLOCK	KMD1	P1	BAEND
K2	KTEM	KMD2	P2	LOE
K3	S5P	ULZB		
K4	S12P	ULZC	T1	
K5	S12N	ULZD	T2	
K6	S5PS	S5PS	S5PS	S5PS
K7	0	1	0	1
K8	0	0	1	1

Da die Übertragungsmöglichkeiten der offiziellen Diensttelemetrie relativ eng begrenzt waren, wurden in der schnellen Housekeepingtelemetrie wichtige Zustandsparameter, von denen auch einige über die Diensttelemetrie abgegriffen werden, in höherer meßtechnischer und zeitlicher Auflösung bei Aufzeichnung und Wiedergabe erfaßt. Dazu wurde, wie bereits erwähnt, in den Blockkennzeichen die bei der Aufzeichnung gebildet werden, Speicherplatz reserviert. Die Telemetriewerte von der Aufzeichnung werden so mit dem Blockkennzeichen das Band geschrieben und stehen bei der Wiedergabe für die detaillierte Auswertung zur Verfügung.

Bei der Wiedergabe werden die Telemetriedaten in die Dateiendemarke eingebettet, die nach Einlesen einer vollständigen Datei in den Ausgangspuffer des Speichers in die Verbleibenden freien Speicherplätze des Puffers an die Datei angehängen und mit den Dateidaten zum Sender übertragen wird.

Mit dieser Lösung wird gewährleistet, daß im gesendeten Datenstrom, der als einzige Informationsquelle außerhalb der offiziellen Diensttelemetrie zur Verfügung steht, die Betriebszustände des Speichers in hoher Qualität bewertet werden können.

Die Telemetriewerte selbst werden von den aufbereiteten Meßdaten über einen analogen Meßwert-Multiplexer gewonnen, der von einem Adresszähler gesteuert wird, und einem A/D-Wandler zugeführt. Der A/D-Wandler setzt das Eingangssignal in eine dreistellige Dgzialzahl in BCD-Code um, von der die beiden höchstwertigen Stellen genutzt werden. Da die Aufbereitung der Meßwerte zyklisch asynchron zur Einbindung in den Bilddatenstrom erfolgt, werden die Meßdaten in einem RAM zwischengespeichert. Insgesamt werden 8 Parameter zyklisch erfaßt, dann A/D-gewandelt und in das RAM geschrieben. Dort stehen sie zur asynchronen Abfrage bereit.

In Tabelle 14 sind die Meßwerte, Auflösungen und Toleranzen der schnellen Housekeepingtelemetrie des R3m aufgeführt.

Tabelle 14: Inhalte der schnellen Housekeepingtelemetrie R3m

Nr.	Name	Meßwert	Auflösung/Toleranz
1	S12P	+12; Betriebs-Spannung	± 200 mV
2	S12N	-12V Betriebs-"	± 200 mV
3	S5P	+ 5V Betriebs-"	± 100 mV
4	S5PS	+ 5V Bereitschafts- "	± 100 mV
5	IM	Motorstrom	± 10 mA
6	TK	Kopftemperatur	± 2 grd
7	TB	Temp. Elektronikblock	± 2 grd
8	ULZ	Umlaufzähler Bandwickel	± 100 Umläufe

Wie aus der Tabelle 14 ersichtlich, lassen sich die angegebenen Parameter mit höheren Genauigkeiten messen und übertragen, als es in der offiziellen Diensttelemetrie möglich war. Die relativ hohe Toleranz bei der Umlaufzählung, die auf den elektromechanischen Zähler zurückzuführen ist, ergibt bei den Abschätzungen der Lebensdauer in der Größenordnung von 6000 Umläufen keine Nachteile. Wird bei 3500 Umläufen die Zählergrenze überschritten, setzt sich der Zähler automatisch auf Null und beginnt die Zählung von vorn.

Diese Telemetriedaten, die jeweils als 8-bit Worte vorliegen, werden in den im Speicher benutzten 4/5 Gruppenkode gewandelt und dann als Halbbytworte (zu 5-bit) zyklisch in den Datenstrom eingefügt.'

Bei der Aufzeichnung eines Bildes wird etwa alle 5 ms ein vollständiger Satz Meßwerte in die Blockkennzeichen eingeschrieben, was eine hohe zeitliche Auflösung der Messungen ermöglicht. Da in den Aufzeichnungspausen bei diesem Prinzip jedoch keine Registrierung erfolgen kann, ist auch bei der schnellen Housekeepingtelemetrie für die wichtige +5 V Bereitschaftsspannung bei kurzzeitigem Ausfall eine Speicherung des Ereignisses vorgesehen, die erst mit dem Bandendesignal gelöscht wird.

39

Die Zuordnung der Telemetriewerte im Blockkennzeichen ist in Tabelle 15 (s. Anl. 3) wiedergegeben.

Bei der Wiedergabe, die ja grundsätzlich zu einem anderen Zeitpunkt als die Aufzeichnung stattfindet, werden die in gleicher Weise erzeugten Housekeepingdaten in die Dateiendmarke geschrieben. Die Struktur der Dateiendmarke ist in Tabelle 16 (s. Anl. 3) wiedergegeben.

Der erste vollständige Satz der Meßwerte wird in den 160 bit-Raum der Marke geschrieben. Danach werden die Wichtigen vier Spannungswerte noch einmal als Wiederholung eingetragen. Anschließend wird eine 1 gesetzt, um eine größere Folge von Nullen zu verhindern. Die letzten 1024 bits der Dateiendmarke waren für Diensttelemetriedaten des bulgarischen Steuergerätes während der Wiedergabe vorgesehen. Sie wurden, später jedoch nicht genutzt.

Bei der Wiedergabe werden die Telemetriewerte aus der Dateiendmarke etwa alle 3 min erhalten. Dieser Abstand ist für die online- Kontrolle der Erwärmung der Geräte, insbesondere des Magnetkopfes, ausreichend.

40

4.3. Hauptbaugruppen des R3m

Für die technische Realisierung des Tiefraumvideospeichers R3m wurde das erprobte Konzept eines Endloswickel-Magnetbandgerätes mit hoher Speicherdichte, wie es als Labormuster des "R3- Boden" vorlag, zugrunde gelegt.

Mit der bereits vorgestellten neuentwickelten Systemlösung, die von den Partnern akzeptiert und in die Gesamtkonzeption des Experiments "Fregat" integriert wurde, konnte die technische Aufgabenstellung des Projektes unter Verwendung des Endloswickelprinzips erfüllt werden.

Vor den Entwicklern stand nun die Aufgabe, die im Labor im Vorlauf erarbeiteten Prinziplösungen für die Geräterealisierung den Anforderungen eines tiefraumtauglichem Bordspeichers unter Berücksichtigung der sowjetischen "Technischen Anforderungen an eine wissenschaftliche Apparatur, die im kosmischen Apparat des Projektes /F/ installiert wird" anzupassen.

Schwerpunkte der Geräteentwicklung waren neben der Realisierung der hohen Flächenspeicherdichte insbesondere die Absicherung der Lebensdauer und Zuverlässigkeit, der Temperatur und Vibrationsfestigkeit, der Minimierung des Raum-, Gewichts- und Energiebedarfs und die Gestaltung eindeutiger Schnittstellen im Experiment und die Bereitstellung der entsprechenden Prüftechnik.

Bereits in der Anfangsphase der Entwicklung wurde festgelegt, daß der Speicher R3m zur Anpassung an die Platzverhältnisse im Hermokontainer der Sonde in zwei Gehäusen untergebracht werden soll. Der Speicher wurde deshalb in einen Laufwerksblock und einen Elektronikblock unterteilt, deren Abmessungen und Massen bereits in Kap. 3.2 angegeben wurden.

Während die Eckparameter für den Raum-, Gewichts- und Energiebedarf bereits in einer sehr frühen Phase konstruktiv festgelegt beziehungsweise abgeschätzt werden mußten, verlangten die Fragen der Temperatur und Vibrationsfestigkeit und insbesondere der Lebensdauer und Zuverlässigkeit einen wesentlich höheren Aufwand zu ihrer Lösung. Im Kapitel 4.4. soll darauf noch einmal gesondert eingegangen werden.

Grundsätzlich mußten jedoch alle Hauptbaugruppen des R3m zuerst als Einzelteil oder in Einfachbaugruppen die Randbedingungen der technischen Aufgabenstellung erfüllen.

41

Aus der Forderung nach 3 Jahren Lebensdauer innerhalb der Phobosmission, ergaben sich als charakteristische Leistungsparameter ca. 3000 Banddurchläufe und 25 000` Start/Stop- Zyklen für das Antriebssystem. Später stellte sich heraus, daß durch erheblichen Gesamtsystemprüfungsaufwand die doppelten Werte benötigt wurden.

Der Temperaturbereich von 0 bis 45 grad C erscheint nicht besonders kritisch, er erfordert aber bereits wesentliche konstruktive Vorkehrungen, um zu verhindern, daß z.B. im Elektronikblock nicht 70 grad C und am Magnetkopf nicht 50 grad C bei längerer Arbeitszeit der Geräte im erwärmten Hermokontainer überschritten werden. Da in der Schwereelosigkeit auch im gasgefüllten Hermokontainer keine Wärmekonvektion entsteht, kann die Wärmeabgabe nur über Kontaktleitung zur Bodenplatte oder Strahlung erreicht werden. Minimierter eigener Leistungsverbrauch und damit eingeschränkte Wärmeerzeugung wirkten hier entsprechend positiv auf Zuverlässigkeit und Lebensdauer. Für die Berücksichtigung der Vibrationsfestigkeit mußten neben der Grundfestigkeit der Rahmenkonstruktion vor allem die Befestigungsmöglichkeiten der Baugruppen, Einzelteile und Bauelemente auf die erhöhte Belastung ausgelegt und das Auftreten von Eigenresonanzen verhindert werden. Letztlich war es unumgänglich, bei der Baugruppenentwicklung grundsätzlich alle Ausfälle zu analysieren und gefundene Schwachstellen zu beseitigen, um im Gesamtspeicher die benötigte Zuverlässigkeit zu erreichen.

42

4.3.1. R3m- Sendust/Langlebensdauer magnetkopf

Im ZKI wurden seit 1979 Grundlagenarbeiten zu digitalen Mehrspur magnetköpfen für hochkoerzitive Aufzeichnungsmaterialien durchgeführt. Für die Magnetkopfmaterialauswahl und -bereitstellung erwies sich das Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstoffe der AdW der DDR (ZFW) auf Grund seiner langjährigen einschlägigen Erfahrungen auf diesem Gebiet als wertvoller Partner.

International wurden wegen der außerordentlich komplexen Anforderungen an die Magnetkopfmaterialien bis in die heutige Zeit enorme wissenschaftlich- technische Aufwendungen unternommen, um für die relativ kleine Auswahl von geeigneten Magnetkopfmaterialien die optimalen Herstellungsbedingungen und Parameterverbesserungen zu erhalten. In der Tab. 17 sind die entscheidenden Einsatzparameter für die gebräuchlichsten Magnetkopfmaterialien aus der Literatur und dem WW aufgeführt /MÜL 84/.

Aus Tab. 17 geht hervor, daß für die geforderte hohe Lebensdauer nur die Materialien Ferrit, Sendust und Amorphe Metalle auf Grund ihrer hohen Vickers-Härte von über 500 in Frage kommen. Von diesen Materialien bleiben für die Aufzeichnung von hochkoerzitiven Magnetbändern jedoch nur Sendust und Amorphe Metalle mit einer Sättigungsmagnetisierung von über 0,8 T übrig. Da von diesen Materialien das ZFW-Sendust bereits 1979 in einer Spitzenqualität vom WW bereitgestellt werden konnte, wurden die weiteren Arbeiten zur Magnetkopfentwicklung auf dieses Material konzentriert. Die Magnetkopfentwicklung R3m wurde unter Themenleitung von A. Blüschke durchgeführt.

Auch nach Vergleichen von Sendustmaterialproben aus der UdSSR, der CSSR und aus dem ZFW, bestätigte sich, daß das Material aus dem WW die besten Eigenschaften zum Aufbau anspruchsvoller Vielspurköpfe besaß.

In enger Zusammenarbeit mit dem Entwicklungsinstitut wurden Anschließend spezielle Eigenschaften, wie Bearbeitbarkeit, Materialkorngröße und Sprödigkeit aus den Erfahrungen mit der Herstellungstechnologie im ZFW und der Verarbeitungstechnologie im ZKI optimiert. Im Ergebnis lag ein Material und eine Verarbeitungstechnologie für Sendust vor, die gestattete Vielspur magnetköpfe mit Weltspitzenniveau zu bauen.

Aus der theoretischen Systemberechnung mußten für Speicherdichten von über 600 bit/mm Spaltweiten von 0,6 µm realisiert werden. Für die aus dem Systementwurf hervorgehenden Aufzeichnungs- und Wiedergabegeschwindigkeiten, bzw. den daraus abgeleiteten Signalfrequenzen mußte die Frequenzcharakteristik der Köpfe angepaßt werden.

43

Das bedeutete, daß für den Kernaufbau kein kompaktes Sendust verwendet werden konnte. Die Kerne mußten wie in den klassischen Köpfen aus "Einzelblechen" aufgebaut werden, um die Wirbelstromverluste im Kern zu reduzieren. Dieser Kernaufbau wird Lamellieren des Kerns genannt.

In Vorversuchen wurde die notwendige Lamellenbreite im Kern für Sendust ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tab. 18 ausgewiesen.

Tabelle 18: Effektive Permeabilität von Sendustkernen Abhängigkeit von der Frequenz

Lamellenbreite	Frequenz			
	500 kHz	2 MHz	4 MHz	10 MHz
100 µm	500			
50 µm	1000	200	100	
30 µm		400	300	200
15 µm		1000	800	400

Aus diesen Ergebnissen, die im ZKI gemessen und zum Teil der Literatur entnommen wurden /Yas 80/ und weiteren experimentellen Kopfmessungen ergab sich, daß der Kern aus Sendustlamellen von 100 µm Breite aufgebaut werden mußte. Das ergab für eine Kernspurbreite von 200 µm unter Berücksichtigung einer Klebefuge Lamellenstärken von 95 - 97 µm.

Zur Demonstration des Ergebnisses ist in **Abb. 22** eine repräsentative Frequenzcharakteristik des ZKI-Vielspur-Sendust magnetkopfes mit Metalldünnschicht magnetband (Y399-7) und ORWO-Videomagnetband (ORWO 641) wiedergegeben.

Um die aus der Systemkonzeption geforderten 16 Spuren auf 6,25 mm breitem Band unterzubringen, wurde die Anordnung von zwei Magnetköpfen gewählt, die jeweils 8 Spuren mit doppeltem Abstand besitzen. Diese Köpfe werden prinzipiell gleichartig gefertigt, aber im Laufwerk in unterschiedlichen Höhen montiert. Wenn der Höhenunterschied bei der Montage genau dem halben Abstand der Spuren in den Magnetköpfen entspricht, passen bei symmetrischer Bandlage zu beiden Köpfen die Spuren eines Kopfes kammförmig zwischen die Spuren des Nachbarkopfes auf das

Band. So wird in jedem Kopf die Baufreiheit für das Spulensystem und die Abschirmung der ein und auf dem Band die geforderte Spurdichte erreicht.

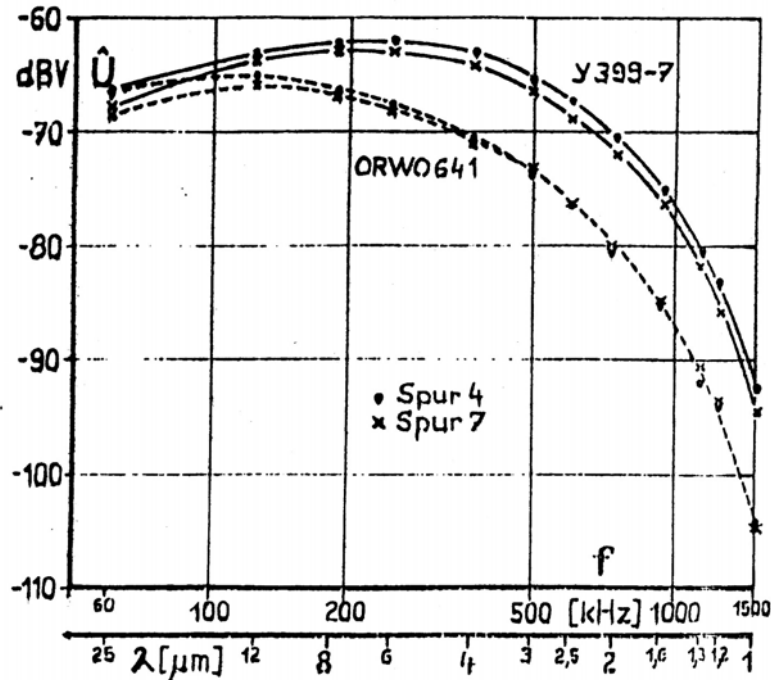


Abb.22: Frequenzcharakteristik des ZKI-8-Spurmagnetkopfes

44

Bei der Systemkonzeption wurde darauf geachtet, daß die zu fordernden Kopfparameter noch die Verwendung von Kombinationsköpfen, also gleiche Köpfe für Aufzeichnung und Wiedergabe, zuließen. Andererseits mußte von der Kopfentwicklung die Ausführung einer Mittelanzapfung der Magnetkopfspulen mit der daraus resultierenden Verdopplung der Anschlüsse auf der kleinen Rückfläche des Magnetkopfes gelöst werden. Durch die Mittelanzapfung ließ sich für die Wiedergabe die volle signalerhöhende Induktivität beider Halbspulen nutzen, während bei der Aufzeichnung nur eine Halbspule angesteuert wurde, um bei gegebener Aufzeichnungsspannung die notwendige Feldanstiegszeit des Magnetkopfes für die hohen Aufzeichnungsfrequenzen zu erreichen.

Durch die Verwendung von nur zwei Kombinationsmagnetköpfen konnten bei der Konstruktion der Bandführung im Kopfbereich des Speichers gute Bandführungsbedingungen mit nur einem Capstan (Einfachcapstananordnung) realisiert werden.

Bei der Kopfkonstruktion durfte daraufhin die Kopfbreite von 10 mm nicht überschritten werden, um den Kopfabstand im Speicher möglichst klein zu halten und den für den Einfachcapstanantrieb zur Verfügung stehenden Raum für eine gute Bandführung zu nutzen.

Insgesamt ist der Aufbau der Vielspurköpfe von extrem hohen Anforderungen an die mechanische Fertigungsgenauigkeit und Oberflächenbearbeitung gekennzeichnet.

Für den 8-Spurkopf wurde deshalb eine spezielle Fertigungstechnologie in Halbschalenbauweise entwickelt, die hier nur in ihren Grundzügen beschrieben werden soll. Ausgangspunkt ist die Sendustlamellenfertigung mit Lamellenstärken von 95 μm, die mit einer Klebefuge von etwa 10 μm zwischen den beiden Lamellen die geforderte Spurbreite von 200 μm ergeben. Um die Gleichmäßigkeit der am Spalt gegenüberliegenden Lamellen und Spuren zu erreichen, werden zuerst beide Spurhälften gemeinsam mit den zu Spurbreite verklebten Lamellen elektroerosiv in die gewünschte Form gebracht. Auf die so vorbereiteten noch verbundenen Spurhälften werden die Spulenwicklungen auf beide Hälften aufgebracht und Fensterbleche zum Schutz der Wicklungen aufgeklebt. Die Wicklung wird aus 30 μm dicken Kupferlackdraht hergestellt. In einem weiteren Arbeitsschritt werden die Spursegmente zum sogenannten Kopfblock gestapelt. Dabei werden zwischen die Spursegmente Abschirmbleche aus der Kombination Mu-Metall/Kupfer/Mu-Metall zwischengeklebt und mit der Blechdicke der geforderte Abstand zwischen den Spuren unter Berücksichtigung der Klebefugen auf +/- 1 μm abgeglichen. Diese Toleranz über 8 Spuren gerechnet ergibt einen maximalen Spurversatzfehler von kleiner als 10 % der Spurbreite, der für reale Systeme akzeptiert werden kann. Der fertig geklebte Kopfblock wird anschließend in die ebenfalls aus einem Stück, quasi spiegelbildlich gefertigte "Doppelhalbschale" eingeklebt. Erst danach wird der Verbund an der vorgesehenen Trennlinie elektroerosiv geteilt

45

Mit dieser Technologie erhält man exakt in den Kernlamellendicken übereinstimmende Halbschalen und damit keinen Scherungsverlust der Spuren in einem Kopf. Außerdem wird durch die doppelte Größe der in den Vorbereitungsschritten zu bearbeitenden Einzelteile die Arbeit erleichtert und rationeller gestaltet.

In den beiden fast identischen Kopfhälften wird dann die hintere Spaltkante aller 8 Spuren sauber auf eine Ebene gebracht, die dann Ausgangspunkt für die Bestimmung des wichtigen Parameters Spalttiefe ist. Anschließend werden

die beiden Innenflächen der Kopfhälften geläppt, wobei neben einer mittleren Oberflächenrauigkeit von etwa 0,06 µm auf extrem gute Parallelität der Flächen geachtet werden muß.

Auf die so vorbereiteten Innenflächen wird im Vakuumprozeß jeweils die halbe Schichtdicke des vorgesehenen Spaltabstandsmaterials aufgesputtert. Unter strengen Staubschutz-Maßnahmen werden dann die Kopfhälften symmetrisch aneinandergesetzt und verbunden. Die Verbindung wurde anfangs durch das platzsparende Kleben später durch das temperaturstabilere aber mehr Volumen benötigendere Verschrauben ersetzt. Bei verschraubten Köpfen besteht grundsätzlich die Möglichkeit des mehrfachen Öffnens der Halbschalen. Das bringt ebenfalls für Entwicklung und Reparatur von Köpfen Vorteile.

Sind die beiden Kopfhälften fest und genau miteinander verbunden, wird der Kopfradius angeschliffen und die Spalttiefe eingestellt. Durch die beschriebene Methode der Bearbeitung der hinteren Spaltkante konnte allein durch die Kopfspiegelbearbeitung für alle Spuren eine gleiche Spalttiefe erreicht werden. Aus Lebensdauer- und Wirkungsgraduntersuchungen wurde eine Spalttiefe von 40 µm als optimal ausgewählt.

Abschließend wird die Grundfläche der Köpfe durch Schleifen und Läppen auf das Sollabstandsmaß zur untersten Spur gebracht. Dabei mußte beachtet werden, daß ein zusammengehöriges Kopfpaar für einen Speicher genau um einen halben Spurbestand unterschiedliches Maß von der Grundfläche zur ersten Spur besitzen mußte, um die geplante kammförmige Aufzeichnung auf dem Band zu erreichen.

46

Durch genaue Fertigung und Vermessung konnten in der Praxis die Köpfe ohne weitere mechanische Zwischenprüfung auf der Grundplatte montiert werden. Durch Sichtbarmachung der Aufzeichnung nach der Methode von K. Willaschek /WIL 83/ wurde nur abschließend die mittige Lage der Spurguppen auf dem Band überprüft.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sollen noch einige Problemlösungen bei der Entwicklung des R3m-8/16-Spur-Magnetkopf angesprochen werden.

Der Kopfradius wurde in aufwendigen Versuchen zwischen Lebensdauer und Höhe des Wiedergabesignals auf 5 mm optimiert. Es zeigte sich, daß zu seiner Herstellung die herkömmlichen Methoden nicht ausreichten. Da der Magnetkopf in sogenannter Stapeltechnologie hergestellt wurde, in der die einzelnen Spurkerne mit Wicklungen, Abstands- und Abschirmblechen übereinander gelegt und verklebt werden, war im Arbeitsgang Kopfspiegelanschliff nicht nur die Oberflächenqualität und die Spalttiefe einzustellen, es mußte auch noch die symmetrische Lage des höchsten Punktes des Kopfspiegels zu den Spalten der einzelnen Spuren in der Längsachse des Kopfes getroffen werden. Zur Lösung dieser Aufgabe wurde eine spezielle aufwendige Schleif- und Läppvorrichtung entwickelt, mit der die Aufgabe mit Bezug auf die hintere Spaltkante des Kopfes in ausreichender Qualität erfüllt werden konnte.

Für die optimale Gestaltung der engen Spaltweite und ihrer Stabilität während des Einsatzes mußte ebenfalls nicht unerheblicher Aufwand betrieben werden. Die bis dahin bekannte und übliche Methode des Aufdampfens oder Aufsputters im Vakuum von dünnen Zwischenschichten aus unmagnetischen Materialien, vor allem Siliziumoxide und -dioxide, brachte bei Beherrschung des komplizierten Temperaturregimes eine gute Reproduzierbarkeit der Spaltweiten. Im Lebensdauertest zeigte es sich jedoch; daß die Spalteinlage zunehmend ausgewaschen wurde, bzw. ausbröckelte und die Sendustspaltkanten an den dann freistehenden Stellen verrundeten. H. Witzmann führte aus diesem Grund die Sputterung von Chromspalteinlagen ein, die nach der Optimierung mit der Kopferstellungstechnologie eine ausreichend Steigerung der Lebensdauer erbrachte. Bei Videoköpfen aus Ferrit, die für das Rundfunktechnische Zentralamt der Deutschen Post mit Chromspalteinlagen versehen wurden, konnte auf Grund der größeren Zahl der Köpfe eine statistisch abgesicherte Lebensdauerverlängerung um das anderthalbfache mit ZKI-Chromspalteinlagen nachgewiesen werden.

47

Probleme bereitete anfangs auch die Messung der "wirksamen" Spaltweite, die ja im Submikrometerbereich liegen sollte und möglicherweise von der optisch bzw. elektronenoptisch gemessenen Spaltweite durchaus abweichen konnte. Dieses Problem konnte durch die bekannte Nullstellenmessung des frequenzabhängigen Wiedergabesignals gelöst werden. Hierbei mußte jedoch mit dem im ZKI entwickelten Metalldünnschichtmagnetband gearbeitet werden, da nur damit die benötigte Auflösung erreicht werden konnte. In **Abb. 23** ist das Ergebnis der Spaltweitenbestimmung an einem ZKI- 8-Spurkopf wiedergegeben. Das Resultat zeigte gute Übereinstimmung mit der geometrischen Spaltweitenmessung.

Erhebliche Probleme bereitete die Absicherung des Arbeits- und Lagertemperaturbereichs der Magnetköpfe von -20 grd C bis +50 grd C bezüglich der einzusetzenden Kleber. Bei den anderen Materialien zur Kopferstellung, einschließlich für Sendust, gab es bis 200 grd C keinerlei Schwierigkeiten.

Durch den technologisch bedingten Arbeitsablauf beim Aufbau der Köpfe kann nur beim ersten Klebevorgang des Zusammenfügens der Lamellen zum Spurkern heiß aushärtender Kleber verwendet werden. Hier werden für die Härtung etwa 180 grd C eingestellt, sodaß diese Klebung etwa bis 120 grd C thermisch stabil bleibt. Für die zweite Klebung zum Zusammenfügen der Kerne und Abschirmbleche zum Kopfblock kann daher für die Härtung nur noch bis etwa 100 grd C erhitzt werden, um die erste Klebung nicht zu gefährden. Damit kommen für die zweite Klebung nur quasi kalthärtende Kleber in Frage, die aber bereits ab 45 grd C erweichen, und in diesem Temperaturbereich für die Klebung keine mechanische Stabilität mehr aufweisen. Insbesondere treten durch die thermische Ausdehnung des Klebers, die größer als die der geklebten Materialien ist, erhebliche mechanische Spannungen zwischen den geklebten Teilen auf, die zu Lageverschiebungen oder zu störenden verbleibenden Spannungen in den magnetisch aktiven Materialien des Kopfes führen.

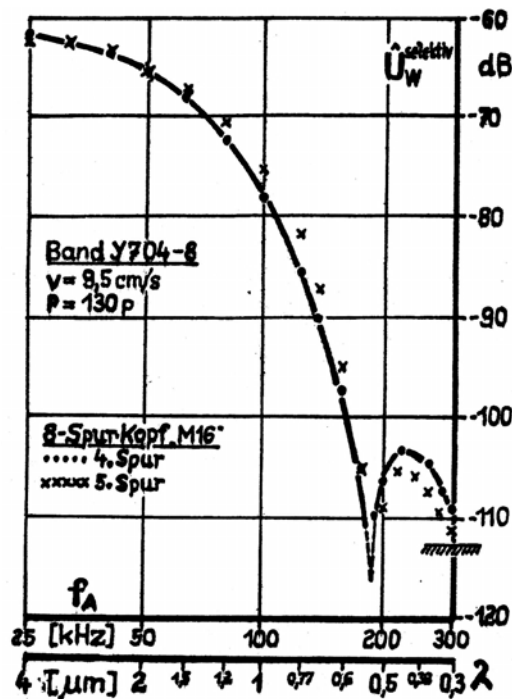


Abb.23: Spaltweitenbestimmung über die Nullstellenmethode

Unterhalb des Erweichungspunktes, der bei etwa 60 % der Aushärtetemperatur liegt, härten diese Kleber zwar wieder aus, aber die im erweichten Zustand aufgetretene Lageverschiebungen bzw. Spannungen der geklebten Teile heben sich nicht wieder auf.

Durch Erarbeitung einer optimierten Klebetechnologie und Ersetzen der Klebetechnik durch Verschraubung beim Zusammenfügen der beiden Kopfhälften im letzten Schritt der Montage, konnte die Temperaturfestigkeit der 8-Spurköpfe auf etwa 55 grad C gesteigert werden. Bei einer Arbeitstemperatur von +45 grad C, bei der die Eigenerwärmung des Kopfes und des Gerätes mit berücksichtigt werden muß, ist diese Temperaturgrenze ein äußerst kritischer Parameter, der besondere Sicherheitsmaßnahmen in der weiteren Geräteentwicklung erforderte.

48

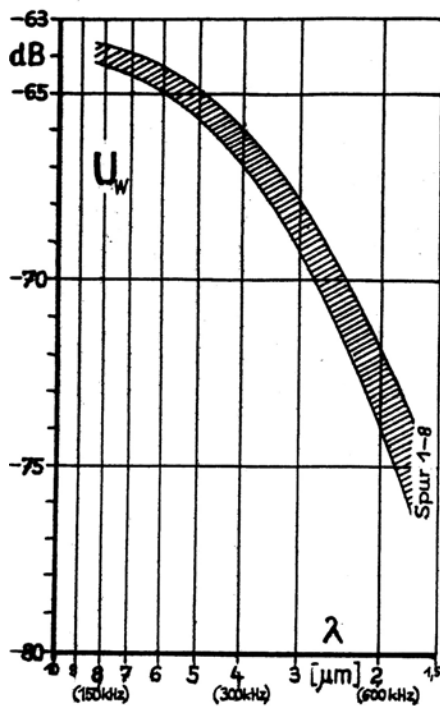
Aus der Anforderung der Vibrationsfestigkeit wurden aus früheren Erfahrungen für die relativ kleinen Massen und Abmessungen der Köpfe keine Probleme erwartet. Es zeigte sich jedoch, daß die Kabelanschlüsse an der Rückseite der Köpfe, die durch die Mittelanzapfung pro Spur 4 Anschlüsse aufwiesen, also 32 pro Kopf, zu stark belastet wurden. Von F. Kampf wurde daraufhin in die Kopfkonstruktion eine spezielle Zugentlastung für die Anschlußstifte der Kabel eingearbeitet, die sich in der weiteren Erprobung bewährte.

Weiterhin zeigten die Köpfe, die ja aus zwei verschraubten Halbschalen aufgebaut waren, beim Anschrauben auf die geschliffene Kopfgrundplatte des Speichers nach der Vibrationsbelastung mechanische Verspannungen, die sich in Signaldämpfungen bemerkbar machten. Dieser Effekt konnte durch eine spezielle Befestigung der Köpfe auf der Grundplatte beseitigt werden. Dazu wurde auf der Grundplatte jeweils nur eine Halbschale eines Kopfes fest angeschraubt, während für die andere Halbschale durch Freischliff die Berührung mit der Grundplatte ausgeschlossen wurde. Dimensionierungsberechnungen der einseitigen Verschraubung ergaben mehr als 300 % Sicherheit für die kleinen Kopfmassen. Experimentell wurde die Sicherheit dieser Lösung voll bestätigt, nachdem 7 Kopfpaaire mehrfach den Vibrationsprüfungen ohne negativen Befund standgehalten hatten.

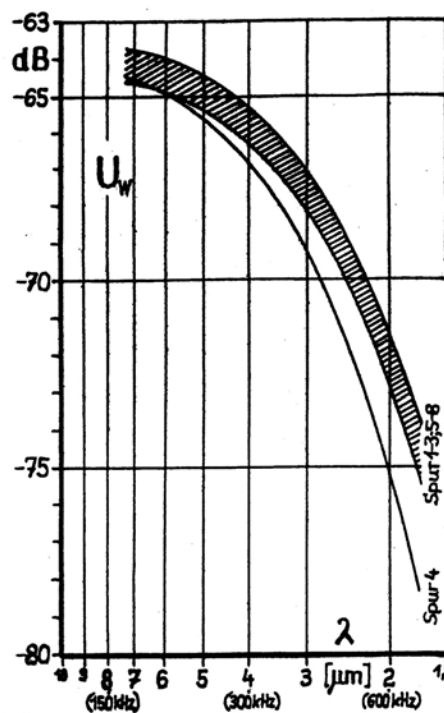
Für Vielspurköpfe, die in der angegebenen Art in Gerätelösungen eingesetzt werden sollen, ist neben dem absoluten Signal/Rauschverhältnis vor allem die Gleichmäßigkeit der einzelnen Spuren wichtig. Unterschiede der Pegel in den einzelnen Spuren bedeutet sofort Dynamikverlust des Wiedergabesystems, da alle Spuren eines Kopfes innerhalb des R3m-Konzeptes nur mit einem Verstärker gelesen werden und dieser nur auf einen mittleren Pegel eingestellt werden kann.

Zum Erreichen der geforderten Gleichmäßigkeit mußte eine ausgefeilte Technologie mit vielen Prüfzwischenschritten und hoher Qualitätsdisziplin aufgebaut werden. So wurden ständig parallel zur Fertigung beim Partner, dem Rundfunktechnischen Zentralamt der Deutschen Post, RFZ Berlin, der nach ZKI-Unterlagen und Technologie arbeitete, im ZKI-Labor 25 % der Köpfe zusätzlich aufgebaut, um rechtzeitig Technologie bzw. Materialabweichungen festzustellen und zu korrigieren. Kopfspiegelendbearbeitung und Endprüfung wurden ausschließlich im ZKI realisiert. Als Beispiel für die erreichte Gleichmäßigkeit der Köpfe ist in **Abb. 24** a und b die Frequenzcharakteristik eines im R3m eingesetzten 8-Spurkopfpaares' für alle Spuren wiedergegeben. Dabei wurde die Spur 4 des Kopfes "M 212", die sich stärker von den anderen Spuren des Kopfes unterscheidet als Pilotspur eingesetzt, an die geringere Ansprüche gestellt werden.

49



Kopf I: M211"
 $I_A^{opt} = 4,5 \text{ mA}$
 SLW IV
 $v = 1,2 \text{ m/s}$
 $P = 50 \text{ p}$
 Band „51642“



Kopf II: M212"
 $I_A^{opt} = 4 \text{ mA}$
 SLW IV
 $v = 1,2 \text{ m/s}$
 $P = 50 \text{ p}$
 Band „51642“

Abb. 24: Frequenzcharakteristiken eines R3m- Magnetkopfpaares

Für Vielspurköpfe ist die Übersprechdämpfung zwischen den Spuren ein wesentlicher Parameter für das Signal/Rauschverhalten der Spuren. Durch die guten Abschirmmaßnahmen und den relativ großen Abstand der Spuren, die durch die Verwendung zweier Köpfe realisiert werden konnte, wurde im Einzelkopf eine ausreichend gute Übersprechdämpfung von $>40 \text{ dB}$ stabil gemessen. Beim Lesen eines voll mit zwei Köpfen beschriebenen Bandes, wo in jeder Spur ein anderer Dateninhalt stand, wurde überraschend nur noch eine Übersprechdämpfung von etwa 30 dB festgestellt, die den Kopfeinsatz für den Speicher gefährdete. Die Erhöhung des Übersprechens wurde nach eingehenden Untersuchungen darauf zurückgeführt, daß die Mu-Metall-Abschirmbleche, die nach der Halbschalentechnologie ebenfalls mit einem Spalt versehen waren, auch ohne Spulenwindungen wie ein Magnetkopf arbeiteten und die zwischen den richtigen Spuren des Kopfes verlaufende Aufzeichnung vom Nachbarkopf "wiedergaben". Das magnetische Streufeld dieser "Wiedergabe" wurde in die benachbarten richtigen Kerne eingekoppelt und war im Signal zu erkennen. Um dieses "Mitlesen" der Abschirmbleche zu verhindern, wurden in die fertigen Köpfe parallel zur Bandlaufrichtung kleine Nuten in das Gebiet der Abschirmbleche eingebracht. Diese ergaben einen wirksamen Abstand zwischen Band und den Abschirmblechen, die, als "Kopf" gewirkt hatten, sodaß kein Einsprechen mehr erfolgte, aber die Abschirmwirkung voll erhalten blieb. Diese Nuten bewirkten weiterhin eine bessere Dandanlage am Kopfspiegel, da die Auflagefläche für das Band kleiner wurde und bei höheren Geschwindigkeiten auftretende Luftpolster durch die Nuten abgeführt werden konnte. Ein daraufhin zu vermutender höherer Verschleiß des Kopfspiegels konnte in den auf den geforderten Lebensdauerumfang ausgelegten Abriebsversuchen nicht festgestellt werden.

Nach Abschluß der wesentlichsten Entwicklungsaufgaben wurde der Gesamtlebensdauer test für die Köpfe unter einsatznahen Bedingungen durchgeführt.

Die Ergebnisse dieses Tests und die anderen Erprobungen im Rahmen der Zulassung für Interkosmosgeräte erbrachten den Nachweis, daß für die Aufgabe geeignete Magnetköpfe und eine stabile Sendusttechnologie zu ihrer reproduzierbaren Fertigung vorlagen

50

Zur Weiterentwicklung der Sendusttechnologie und zum Nachweis ihrer Leistungsfähigkeit wurden im Auftrag von Industriepartnern auch weitere Magnetkopftypen entwickelt. In Abb. 25 sind Muster der Magnetköpfe, die mit Sendusttechnologie aus dem ZKI aufgebaut wurden, wiedergegeben. Ganz links ist ein metallbandtauglicher Senduststereokopf, der im ZKI hergestellt wurde und ganz rechts ein Kopf vom gleichen Typ, der bereits im VEB Magnetkopfwerk "Goldpfeil" gefertigt wurde, zu sehen. Beide Kopfserien erreichten Parameter, wie sie von internationalen Spitzenköpfen gebracht werden.

An der zweiten Stelle von links ist ein 96 tpi Floppydiskkopf mit Tunnellöschsystem wiedergegeben, der in der Lage ist, sowohl Standardfloppys als auch zukünftige höherkoerzitive CrO_2 -Floppys mit gesteigerter Speicherdichte zu lesen /8LÜ 84/.

An vierter Stelle von links ist ein Mikrovideokopf für ein 2" Videofloppsystem abgebildet, der sich durch besonders guten Frequenzverlauf im Megahertzgebiet für hochkoerzitive Speichermedien auszeichnete.

Weiterhin ist ein 8-Spurkopf, wie er im R3m eingesetzt wurde, mit Kabelbaum abgebildet.

51

Abb.25: Magnetkopfmuster aus der ZKI-Sendusttechnologie



4.3.2. R3m-Magnetband

Die Auswahl und Vorbereitung eines geeigneten Magnetbandes für einen hochdichten Massendatenspeicher mit extremen Anforderungen an Lebensdauer und Wartungsfreiheit läßt sich prinzipiell nicht nur anhand der speichertechnischen Parameter und weiteren Prospektangaben des Herstellers vornehmen. Aus den Arbeiten mit dem R3-Bodenspeicher der ZKI lagen jedoch schon Erfahrungen mit dem ORWO-641 Videomagnetband mit Rückschicht für den Einsatz in der Endloswickelkassette für 1/4" Bandbreite und 250 m Bandlänge vor. Von C. Mädiger, H. Voigt, K. Willaschek und H. Völz waren die Signalstatistik und das Drop-out-Verhalten analysiert worden /MÄD 84/.

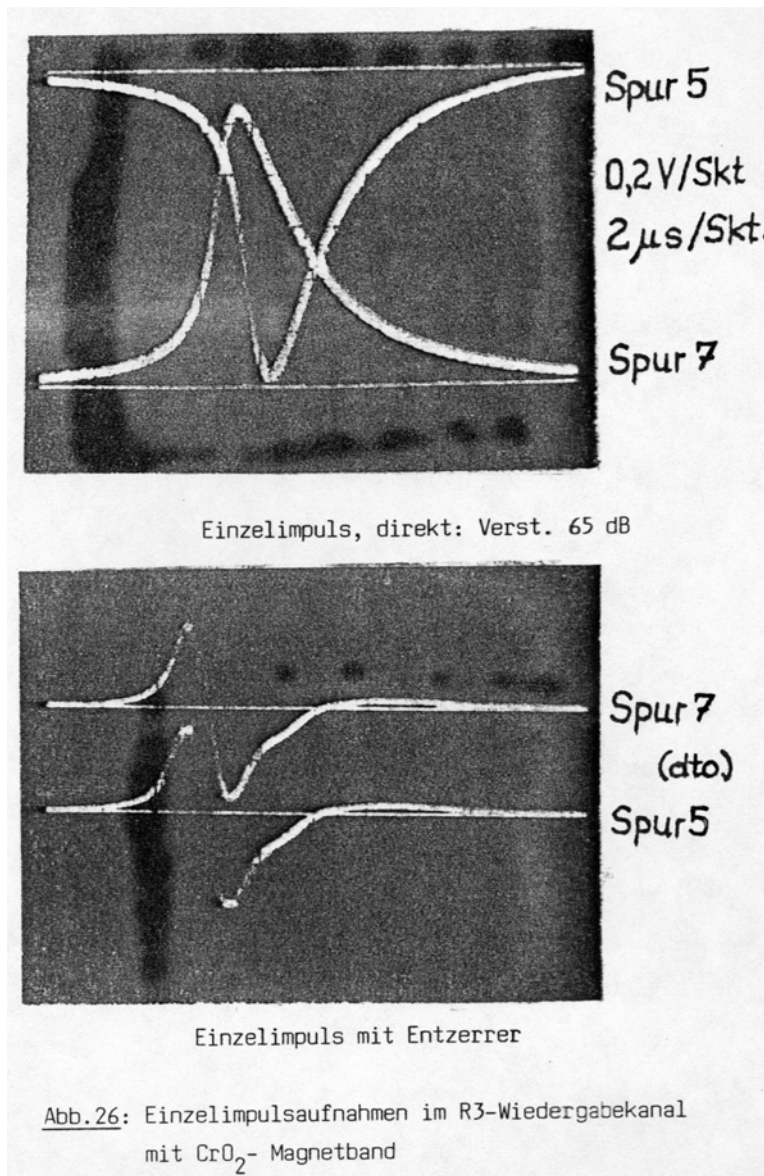
A. Säckl und H. Voigt wiesen 1981 anhand einer Analyse des Aufzeichnungs/Wiedergabekanals des R3-Boden-Speichers nach, daß unter Verwendung der Sendust-Vielspurköpfe und eines nach Drop-outverhalten ausgesuchten CrO₂-Magnetbandes von ORWO bei 200 µm breiten Spuren Speicherdichten bis 860 bit/mm mit Fehlerraten ohne Korrekturmaßnahmen von 10⁻⁴ möglich sind. Aus der Unsymmetrie des Einzelimpulses im A/W-Kanal mit CrO₂-Band und Sendustvielspurkopf bei Sollspeicherdichte, **Abb. 26**, wurde die Notwendigkeit des Einsatzes eines Phasenentzerrers im Wiedergabesignal abgeleitet und von H. Voigt experimentell verwirklicht und erprobt. Damit war eine prinzipielle Voraussetzung für die speichertechnische Eignung des Bandes nachgewiesen.

A. Säckl, unter dessen Themenleitung die Arbeiten zum R3m-Magnetband durchgeführt wurden, untersuchte ebenfalls 1981 im gleichen A/W-Kanal die Wellenlängenabhängigkeit des Wiedergabesignals mit dem Band ORWO-641 im Vergleich zu einem Metaldünnschichtmagnetband des ZKI (s. Abb. 22). Es zeigte sich, daß beide Bänder in dem für den R3m vorgesehenen Speicherdichtebereich von etwa 3 µm Wellenlänge ein ausreichend sicheres Signal/Rauschverhältnis liefern. Obwohl das Metaldünnschichtband Y 399-7 einen wesentlich besseren Signal/Rauschabstand aufwies, wurde für den Einsatz wegen der ungeklärten Produktionsbedingungen für das Dünnschichtband das CrO₂-Videobandes von ORWO ausgewählt, das sich bereits seit längerer Zeit in der Serienproduktion befand.

Außerdem stellte der Bandhersteller, der VEB Magnetbandfabrik (MBF) Dessau, für den Kosmoseinsatz eine Sondercharge Videomagnetband mit hochkoerzitivem-CrO₂ zur Verfügung, das gegenüber dem Typ 641 eine verbesserte Frequenzcharakteristik aufwies /STO 84/.

52

Nach der Entscheidung für das CrO₂-Band wurden die weiteren Eignungsuntersuchungen auf dieses Band konzentriert.



Als magnetische Kennwerte wurden die Koerzitivfeldstärke (H_c) und der Sättigungsfluß (8_s) aus der aufgenommenen Hystereseschleife bei einer Feldstärke von 1000 A/cm ermittelt. Es ergab sich:

$$H_c = 550 \pm 30 \text{ A/cm}$$

$$B_s = 250 \pm 15 \text{ mH (? T ?)}$$

Bei den Erprobungen der Endloswickelkassetten mit dem ORWO641 Videomagnetband mit Rückschicht hatte sich herausgestellt, daß der Hersteller unterschiedliche Rückschichten für verschiedene Anwendungsgebiete einsetzte, die stark wechselnde Laufeigenschaften im Endloswickel aufwiesen. Für die ordnungsgemäße Funktion des Endloswickels in der Kassette war eine Rückschicht gefordert, die eine gute elektrische Leitfähigkeit besaß, um während des Laufes elektrostatische Aufladungen des Bandes zu verhindern. Weiterhin sollte sie zwar eine gewisse Rauigkeit aufweisen, um die Wickeleigenschaften zu verbessern, aber während der Lebensdauer keine Abriebsprodukte in Staubform abgeben. Nach Diskussion mit dem Hersteller stellte sich heraus, daß diese Forderungen allen Anwendern für ORWO-Bänder mit Rückschicht gemein waren, es bisher jedoch an einem geeigneten kurzen Testverfahren gefehlt hatte. Mit Hilfe des Lauftests in der Endlos-Wickelkassette des ZKI wurde nun in enger Zusammenarbeit mit dem Hersteller die Rückschichtrezeptur optimiert und auch für die Sondercharge angewendet. Mit diesem Ergebnis war der geforderte gute Lauf des Bandes in der Endloskassette von seiten der Rückschicht gegeben.

Da im R3m-Speicher aus den bereits dargelegten Gründen keine Fehlerkorrekturmöglichkeit vorgesehen werden konnte, war für die Absicherung der geforderten Fehlerrate des Gerätes die Frage nach der Drop-outanzahl und ihrer Verteilung auf den Videobändern, insbesondere am Ende der Nutzungsdauer, von großer Wichtigkeit. Aus diesem Grunde wurden, wie bereits erwähnt, von A. Mühlpfort Untersuchungen zur Störstellenverteilung in 220 m langen CrO₂-Bändern durchgeführt, die bereits in der Endloswickelkassette des R3m-Vormusters die Nutzungsdauer nachgewiesen hatten.

In der nach der Methode von K. Willaschek (WIL83; WIL88) sichtbar gemachten magnetischen Aufzeichnung wurden die Drop-outs, die sich in den **Abb. 27a - d** als schwarze Stellen ohne Aufzeichnung erweisen, in 4 Größenklassen eingeteilt:

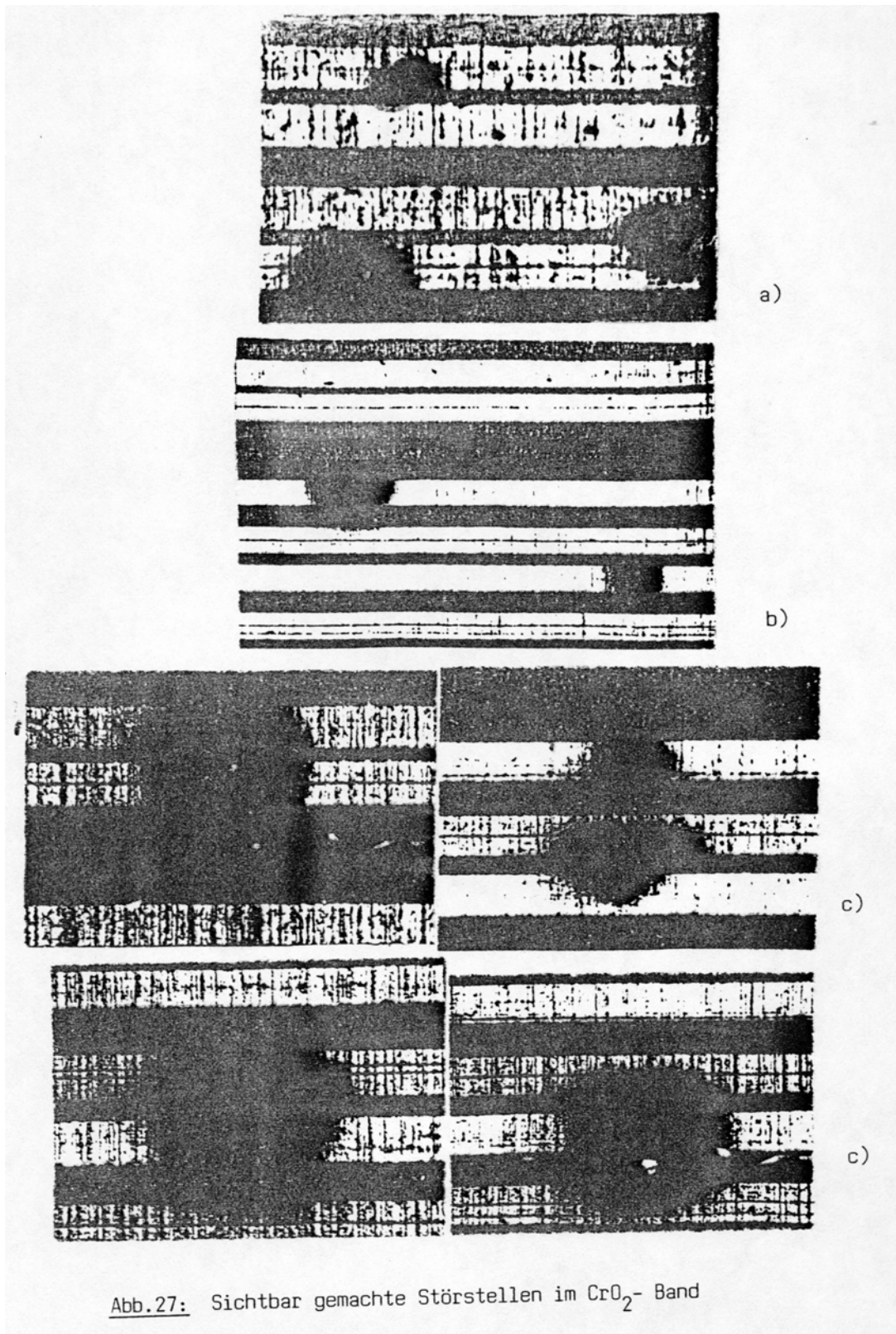


Abb.27: Sichtbar gemachte Störstellen im CrO_2 - Band

53

1. Störstellen, die bis zur halben Spurbreite wirken (Durchmesser $< 100 \mu\text{m}$), Abb. 27a;
2. Störstellen, die größer als 1. bis zur vollen Spurbreite wirken (Durchmesser $< 200 \mu\text{m}$), Abb. 27b;
3. Störstellen, die größer als 2. sind und bis zur Überdeckung von 2 vollen Spuren wirken (Durchmesser $< 460 \mu\text{m}$), Abb. 27c und
4. Störstellen, die größer als 3. sind, Abb. 27d.

Es zeigte sich, daß die überwiegende Anzahl der Störstellen kreisförmig ausgeprägt waren, und nach Untersuchungen von K. Willaschek durch kleine Erhebungen (Fremdkörper) im Zentrum der Störstelle charakterisiert sind. Durch diese Erhebung wird das Band vom Kopfspiegel abgehoben und erhält in diesem Bereich keine Aufzeichnung. Da der gleiche Effekt auch bei Metaldünnschichtmagnetband festgestellt werden konnte, wurden die Fehler den Oberflächenstörungen

der Trägerfolie zugeordnet. Damit war die Möglichkeit gegeben, fehlerarme Bänder aus guten Folienbahnstücken auszuwählen.

In den **Abb. 28** und **29** sind die Ergebnisse der Störstellenanalyse von 2 Bändern einer Bandcharge dargestellt. Es zeigt sich, daß die Störstellen der Gruppe 2, also bis 200 µm Durchmesser, den Hauptanteil darstellen. Störstellen der Gruppe 4, also >460 µm traten nur zu 0,11 % der Gesamtanzahl auf und wurden nicht mit eingezeichnet. Die beiden auf der Herstellungsbahn benachbarten Bänder Nr. 4 und Nr. 3 einer Charge besaßen eine deutlich unterschiedliche Gesamtfehleranzahl. Entsprechend der Ursacheerklärung zeigte sich auch eine gewisse Abhängigkeit der Fehleranzahl vom Bandzug, der aus der geometrischen Anordnung der Köpfe beim zweiten Kopf höher ist als beim ersten. Bei der Aufzeichnung war Spur 9, die Pilotspur und wurde nicht ausgewertet. Die von Spur 1 bis Spur 13 zunehmende Fehleranzahl läßt sich durch Schrägstellung der Bandführungen zur Kopfebene erklären, die zu diesem Zeitpunkt noch nicht optimal einjustiert waren.

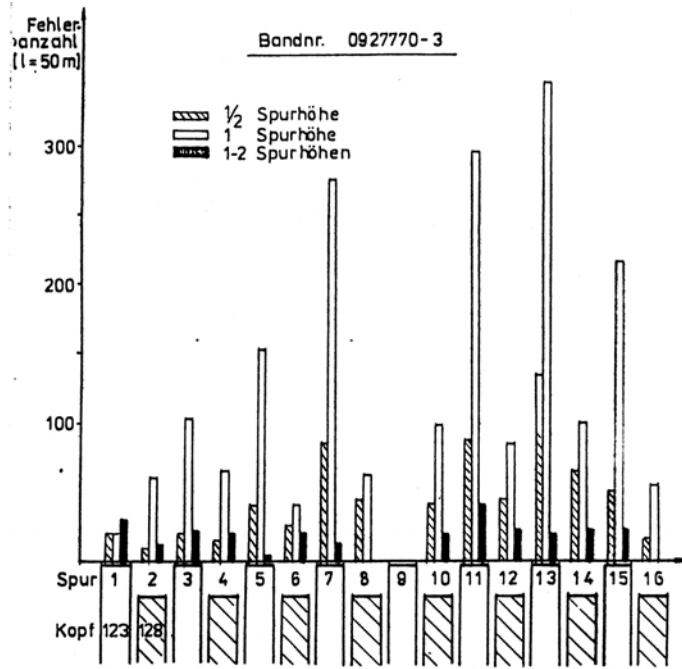


Abb.28: Verteilung der Störstellengröße im CrO₂-Band Nr.-3

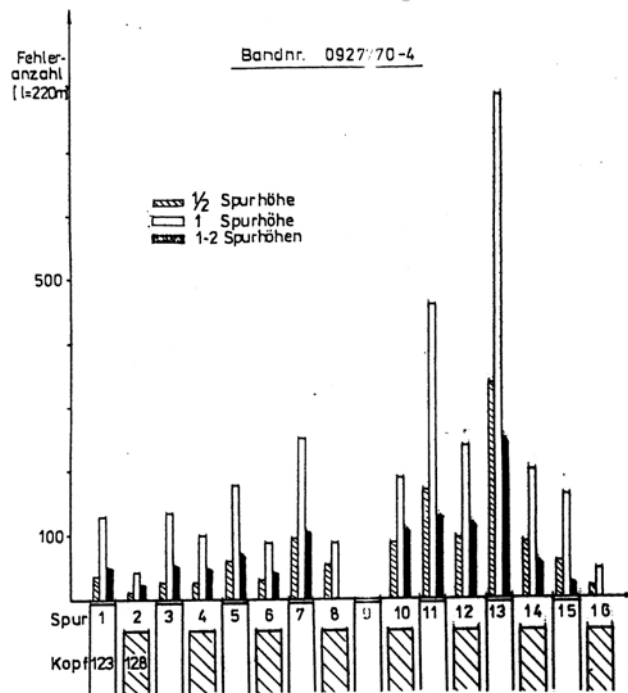


Abb.29: Verteilung der Störstellengröße im CrO₂-Band Nr.-4

Die unter diesen Bedingungen ermittelte Gesamtfehlerrate berechnete sich zu $3,8 \cdot 10^{-4}$ und lag damit in der gleichen Größenordnung wie neue Bänder dieses Typs. Die Methode des Aussuchens fehlerarmer Neubänder konnte somit bestätigt werden.

Für den Einsatz des Bandes im R3m-Endloswickel mußte für die durch hohe Vibrationsbelastung gekennzeichnete Startphase eine Arretierung des Bandwickels konstruktiv verwirklicht werden

54

Bei dem Endloswickel bot sich an, die Bandwindungen an einer geeigneten Stelle des Wickels mit einem Andruckelement gegen einen gestellfesten Anschlag zu drücken und so zu arretieren. Die Andruckfläche wurde zu etwa 1 cm^2 festgelegt. Aus Vibrationsuntersuchungen wurde eine Andruckkraft von mindestens 200 p ermittelt. Temperaturtests des arretierten Wickels über die Zeit zeigten aber, daß bereits ab 30 grd C und nach ca. 12 Stunden ein Verkleben der Bandwicklungen stattfand, die nach Entarretierung nicht durch den Bandantrieb selbstständig wieder gelöst werden konnte. Als Ursache für die Klebeneigung wurden ungesättigte Polymerketten des Polyurethanbindemittelsystems erkannt. In Zusammenarbeit mit dem Hersteller wurden aus diesem Grunde Versuche zur chemischen Nachhärtung der fertigen Bänder unternommen. Nach Optimierung dieser Nachhärtung wurden Schichten erhalten, die Arretierungen bis zu mehr als 30 Tagen bei 40 grd C ohne Klebeeffekt standhielten. Diese Nachhärtung wurde daraufhin für alle R3m-Bänder eingeführt.

In der weiteren Entwicklungsphase des Gesamtgerätes untersuchte W. Neumann eingehend das Klimaverhalten des CrO_2 -Bandes im Endloswickel. Ausgangspunkt waren Unregelmäßigkeiten im Laufverhalten von verschiedenen CrO_2 -Bandchargen, die sich zeitweise und scheinbar unsystematisch einstellten. Sie zeigten sich von folgender Art:

- a) kurze Bandzugstöße
- b) schleichende vorübergehende Bandzugerhöhungen
- c) schleichende Bandzugerhöhung bis zum Blockieren
- d) schlagartiges Blockieren.

Diese Laufunstabilitäten sind mit Wickelaufspaltungen und Schlaufenbildungen hinter dem Capstan verbunden. Sie stören die Sicherheit der Informationsübertragung und reduzieren die Betriebssicherheit des Gerätes in derart unzulässigem Maße, daß die Ursache für das Verhalten gefunden und ausgeschlossen werden mußte.

W. Neumann wählte zum Test zwei Bänder von als geeignet ermittelten Bandchargen aus, Davon war ein Muster chemisch nachgehärtet, das andere Muster wurde original verwendet. Beide Bänder hatten die als optimal ermittelte Rückbeschichtung. Diese Bandproben wurden in der nach Ergebnissen vom W. Neumann, H. Völz und R. Glöß geometrisch optimierten R3m-Kassette (s.a. Kap. 4.3.4) mit Originalantrieb ohne Gehäuse in einem Klimaschrank einem komplexen Temperatur/Feuchtigkeitstest unterzogen. Zur Bewertung der Laufeigenschaften wurde in der Kassette vor den Magnetköpfen ein ebenfalls von W. Neumann entwickelter induktiver Bandzugfühler installiert, mit dessen Hilfe der Bandzug kontinuierlich während des gesamten Testes registriert werden konnte. Zusätzlich wurde über eine Spiegelanordnung die Beobachtung der Schlaufenbildung ermöglicht, die als Abheben des Bandes vom Leitblech in der Mitte des Bandpuffers in Millimetern gemessen wurde. Dabei wurden Werte über 2 mm als instabiler Bandlauf gewertet. In **Abb. 30** ist das Schema der Prüfschaltung für die Bandzugsmessung angegeben. Durch das zusätzliche Registrieren der Bandendemarke (BE), ließen sich jeweils vollständige Bandumläufe verifizieren.

55

In **Abb. 31** bis **33** sind Bandzugsregistraturen wiedergegeben, die Beispiele für die Bewertungsklassen des Bandlaufes darstellen.

In Tabelle 19 sind die eingeführten Bewertungsklassen des Bandlaufs im Endloswickel definiert.

Im Ergebnis des Testes wurde die wichtige Erkenntnis gewonnen, daß das Laufverhalten des Videobandes aus der MBF im Endloswickel, der sehr empfindlich auf Oberflächenveränderungen des Bandmaterials reagiert, in überraschend krasser Weise von der Luftfeuchtigkeit abhängt. Aus **Abb. 34** ist die gefundene Abhängigkeit der Qualität des Bandlaufes vom Klimabereich dargestellt.

Tabelle 19: Bewertungsklassen des Bandlaufs im Endloswickel

	Klasse	Bewertung	Verhalten	Bild
stabil	I	geeignet	konstanter Bandzugsmittelwert mit gleichbleibenden überlagerten Schwankungen	Abb. 31
	II	problematisch	schleichende vorübergehend Bandzugszunahme bzw. kurze Spitzen	Abb. 32
unstabil	III	ungeeignet	Blockierung	Abb. 33

Dabei wurde auf der rechten Seite der mit den Chargennummern der Bänder bezeichneten Geraden der "zulässige" Klimabereich gefunden, in dem nur Bandlaufqualitäten der Klasse I auftraten. Die Ergebnisse des nachgehärteten und ungehärteten Bandes unterscheiden sich nur im Rahmen der Meßgenauigkeit der Luftfeuchtigkeit.

56

Als gravierenstes Ergebnis mußte festgestellt werden, daß die CrO_2 -Bänder bereits im Laborbetrieb für reproduzierbar guten Lauf im Endloswickel eine Luftfeuchtigkeit von weniger als 35 % erforderten. Diese Tatsache bestätigte sich bei den Erprobungsphasen des Speichers mit offenem Gerät öfters erschwerend.

Bei der konstruktiven Ausführung des Laufwerkblockes wurde die spezielle Anforderung durch Einbau einer effektiven Lufttrocknungseinrichtung, auf die im Kapitel 4.3.4. näher eingegangen werden soll, Rechnung getragen.

Mit dieser Einrichtung wurde erreicht, daß über den Einsatzzeitraum des Speichers im geschlossenen Laufwerkblock die Luftfeuchtigkeit unter 10 % gehalten werden konnte. Die Prüfergebnisse, einschließlich Lebensdauertests, haben die Wirksamkeit der getroffenen Maßnahmen voll bestätigt.

##57 ##

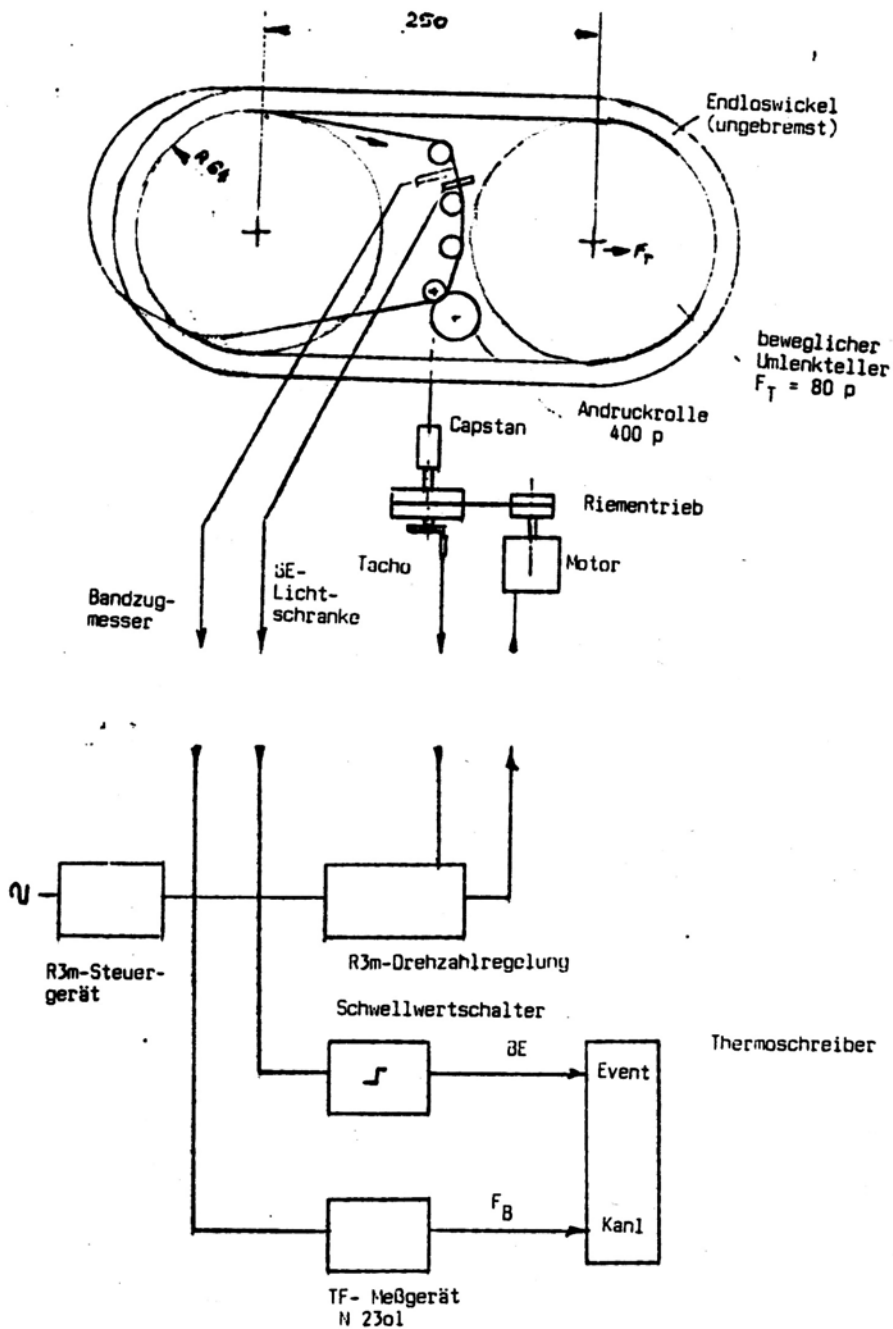


Abb.30: Schema der Prüfschaltung für die Bandzugmessung im Endloswickel

4.3.3 Systemelektronik des R3m

Der R3m mußte, wie bereits beschrieben, aus Gründen d besseren Nutzung des halbzyylinderförmigen Raumes im Hermetikontainer der Sonde in zwei Geräteblöcke, den Elektronikblock und den Laufwerksblock, unterteilt werden. Bei der Entwicklung der Systemelektronik, die unter der Themenleitung von W. Pöbel stand, wurde darauf geachtet, daß beide Blöcke weitgehend selbständig arbeiten und einzeln in Betrieb genommen werden konnten.

Im Elektronikblock wurde deshalb das vollständige Interface zum Steuergerät SU und zum Bordsender, die Befehlsaufbereitung mit Statusworterzeugung, die zentrale Steuerung' des R3m, die Erzeugung der Kennzeichen und Synchronworte für die interne Datenstrukturierung bei Aufzeichnung, die Aufbereitung der Daten für die offizielle Diensttelemetrie und der Ausgangsweschelpuffer für die quarzstabile Übergabe der Videodaten an den Sender untergebracht.

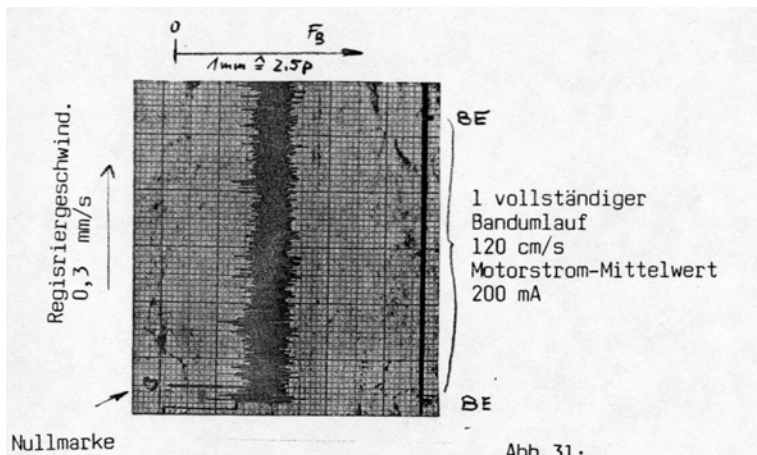


Abb. 31:

Beispiel "stabiler Bandzug"
Klasse I

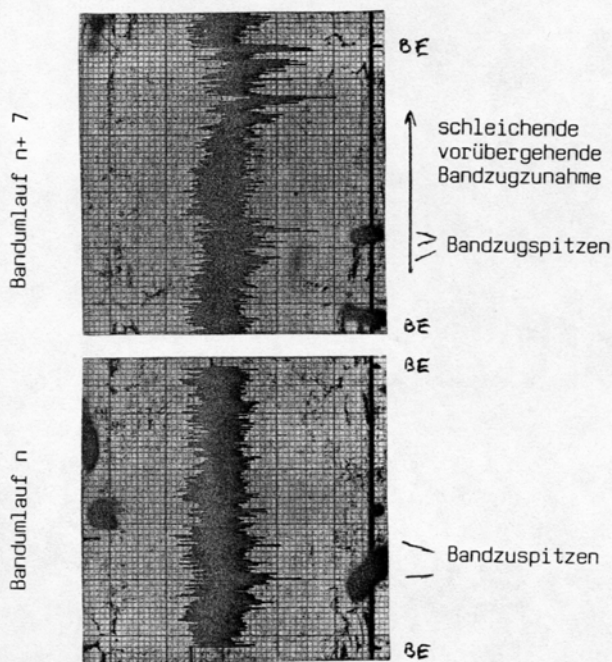


Abb. 32:

Beispiele "unstabiler Bandzug"
Klasse II

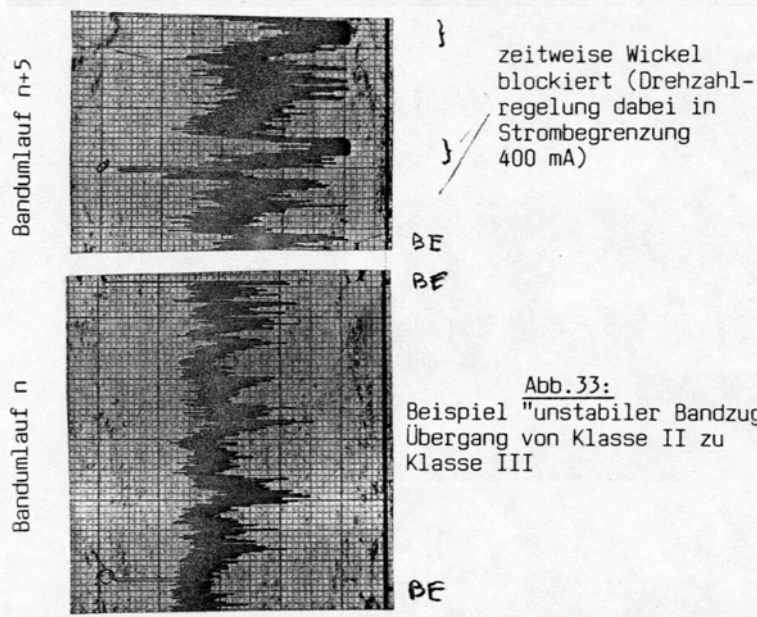


Abb. 33:

Beispiel "unstabiler Bandzug"
Übergang von Klasse II zu Klasse III

Im Laufwerkblock ist der eigentliche Magnetbandspeicher, bestehend aus Laufwerk, Kassette und Funktionsmechanik, sowie die zugehörige Aufzeichnungs- und Wiedergabeelektronik mit Steuerungs- und Regelungsteil, Kennzeichenerkennung, Datenaufbereitung für die schnelle Housekeepingtelemetrie und die spezifische Zusatzelektronik für Magnetbandspeicherfunktionen installiert.

Das Blockschaltbild des Elektronikblockes ist in **Abb. 35** wiedergegeben. In diesem Block befinden sich 12 Leiterkarten, von denen 11 im Format $95 \times 170 \text{ mm}^2$ als Steckkarten ausgeführt sind. Die Platte SEN, die das Interface des Speichers zum Sender entsprechend **Abb. 20** verwirklicht, ist aus Gründen der Störunterdrückung oberhalb des Plattensteckraumes in einem abgeschlossenen Raumteil als Sondergröße fest eingebaut. In **Abb. 36** ist der Blick auf den geöffneten Oberteil des Elektronikblockes mit der Sonderplatte SEN als zweikanalige Senderendstufe wiedergegeben.

Das Interface zum Steuergerät „Fregatt“ SU ist auf der Platte INT zusammengefaßt. Auf dieser Platte werden alle ankommenden Steuer- und Datensignale durch Schmitt-Trigger und Eingangsspannungsteiler aufbereitet und die vom Speicher zu sendenden Signale verstärkt. Diese Platte erwies sich nach den ersten Systemzusammenschaltungen als unbedingt notwendig, um den Störpegel bei der Signalübertragung zu kompensieren.

58

Die ankommenden Befehle werden in der Steckeinheit BES dekodiert und für das jeweilige Regime gespeichert. Die dekodierten Befehle werden, wie bereits beschrieben, nach dem ersten Motorstartbefehl 008 gegen überschreiben gesichert. Erst mit dem Signal „Bandende“ wird die Schreibsperre wieder aufgehoben. Für die verschiedenen Wiedergaberegimes kann durch einen Zähler die Anzahl der benötigten Bandendesignale bis zum schalten des befohlenen Regimes ausgewählt werden. In Abhängigkeit vom befohlenen Regime werden von der Platte BES dem Laufwerk direkt die Spurauswahlparameter, die Takte und Daten übermittelt. Die Akzeptanz der Befehle und ihre Vollständigkeit, die dem Steuergeräte SU durch das Statuswort mitgeteilt werden, generiert die Schaltung der Platte ZSE. Auf dieser Steckeinheit werden ebenfalls die aktuellen Bildnummern, die für die Dateimarken bei der Aufzeichnung oder für die Suche des Bildes bei Wiedergabe benötigt werden, gespeichert. Im Aufzeichnungsregime wird die aktuelle Bildnummer bei Abschalten der Spannung des Arbeitsregimes durch Laden in ein Register, das von der Bereitschaftsspannung gespeist wird, für die Fortsetzung der Aufzeichnung gerettet.

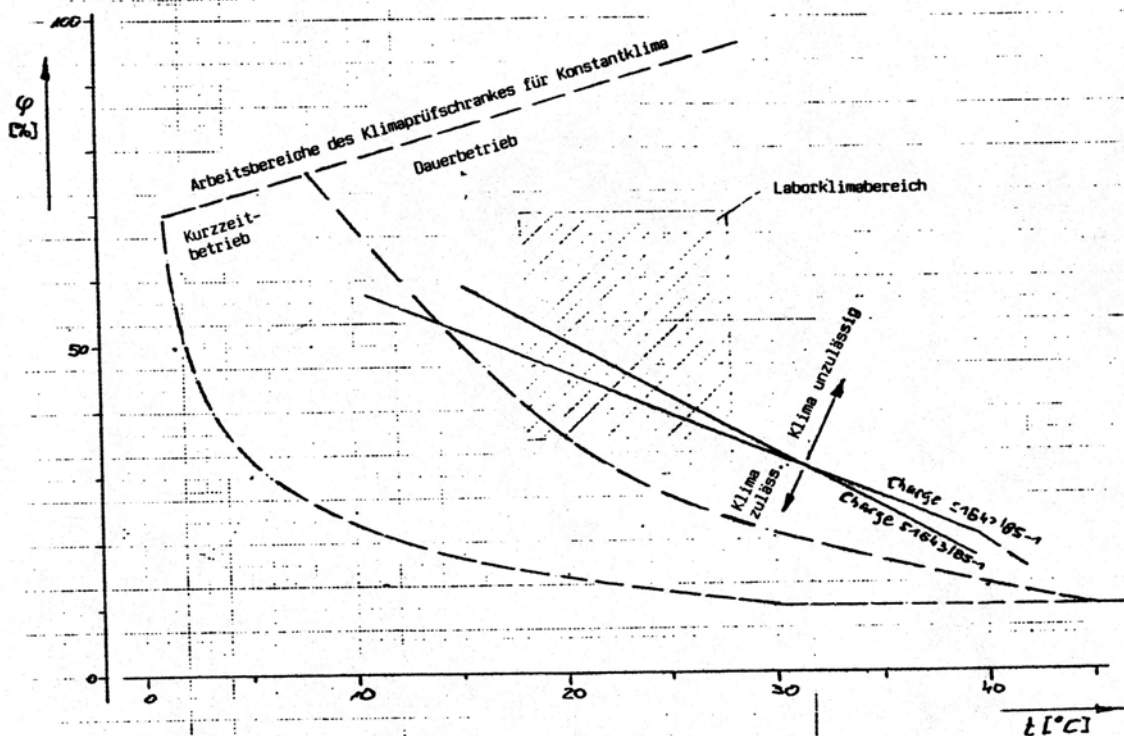


Abb.34: Abhängigkeit der Qualität des Bandlaufes im Endloswickel vom Klimabereich

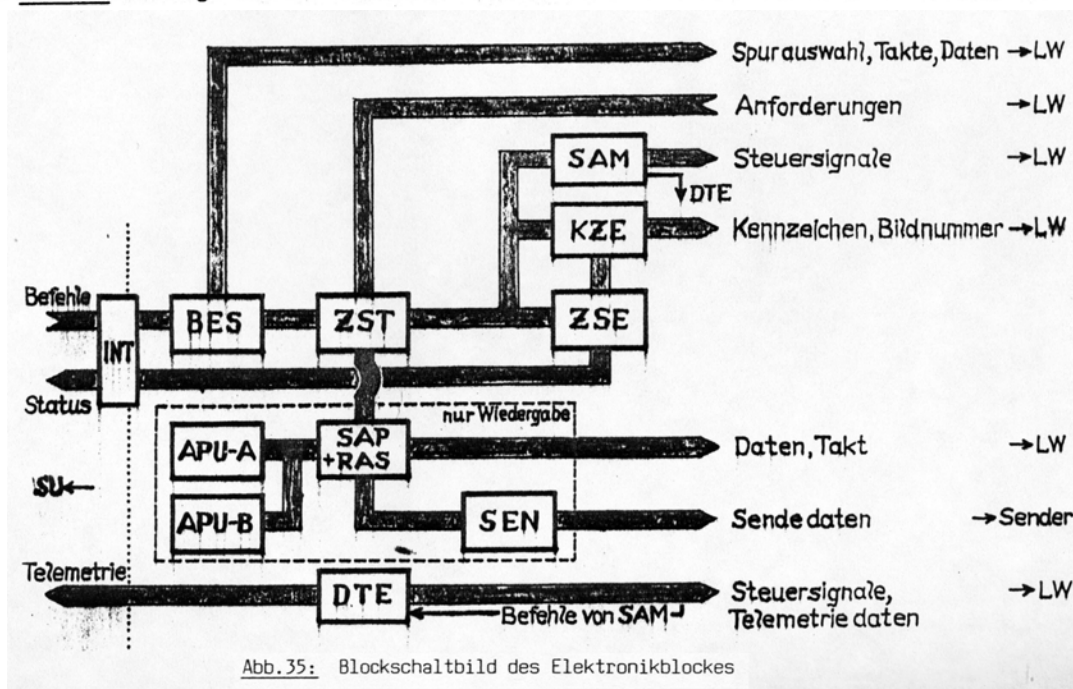


Abb.35: Blockschaltbild des Elektronikblockes

Die platte KZE dient der Erzeugung der Datei- und Blockkennzeichen für die Aufzeichnung der Übergabe der Bildnummern zur Suche bei Wiedergabe.

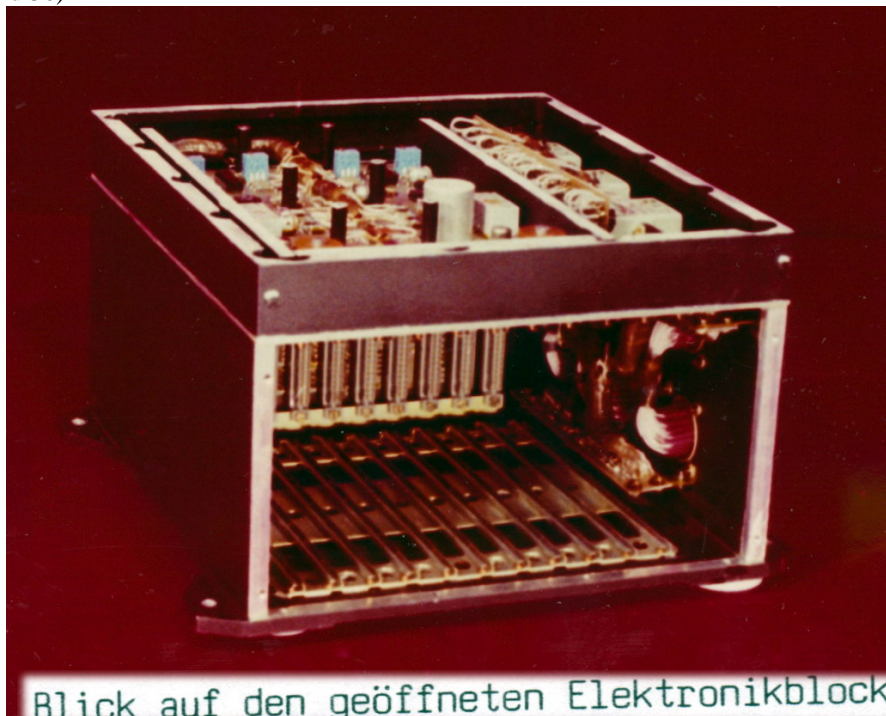
Wie bereits beschrieben, haben die Datei- und Blockkennzeichen konstante und variable Anteile. Letztere sind den jeweiligen aktuellen Bedingungen rechtzeitig vor der Übertragung zur Aufzeichnung anzupassen und werden in speziellen Registern mikroprogrammgesteuert geladen.

Es ergeben sich folgende Register:

- Register der Bildnummer,
- Register der Dateinummer,
- Register der Spurnummer,
- Register der Blotknummer,
- Register der Gerätedaten für die Housekeepingtelemetrie.

Die variablen Anteile müssen vor der Übertragung noch in den 4/5 Gruppencode gewandelt und mit Hilfe eines Multiplexers mit den konstanten Anteilen der Kennzeichen verbunden werden.

Die zentrale Steuerung des Zusammenwirkens der Platten des Elektronikblockes untereinander und mit dem Laufwerk wird von den Steckeinheiten ZST und SAM verwirklicht. Die Anforderungen des Laufwerkblockes nach Kennzeichen und Bildnummern werden über die Platte ZST eingespeist. Die Steuersignale für das Laufwerk stellt die Platte SAM zur Verfügung. (Bild 36)



##59 ##

Von dieser Platte erhält auch die Aufbereitungselektronik für die Daten der Diensttelemetrie, die von der Platte DTE realisiert; wird die Parameter über den Befehlszustand des Speichers. Den Platten ZST und SAM obliegt auch die Relaissteuerung für das Zu- und Abschalten der Spannungen für den Aufzeichnungs- bzw. Wiedergabeteil des Speichers. Diese Maßnahme wurde zur Verminderung des Leistungsverbrauches eingeführt.

Bei Wiedergabe, die von den Platten BES, ZST und SAM gesteuert wird, kommen vom Laufwerk auf Anforderung vorm. Wechsellpuffer APU-A, APU-B und der Puffersteuerung. SAP/RAS die Daten von den ausgewählten Bildern mit zugehörigem unberuhigten Magnetbandspeichertakt und werden in den jeweils freien Puffer eingelesen. Der gefüllte Puffer wird unabhängig vom Schreibzyklus des anderen Puffers, mit quarzstabilem Takt zur Platte SEN und von da, galvanisch getrennt, zum Sender ausgelesen.

Im Laufwerkblock (LW), dessen Länge und Breite im wesentlichen von den Maßen der Endloskassette bestimmt wurde, konnte durch Erweiterung der Gerätehöhe Platz, zur Unterbringung der Leiterplatten geschaffen werden. Um den Laufwerkblock: ebenfalls eigenständig prüfen zu können, mußten 19 Leiterplatten untergebracht werden, von denen 3 als Sonderleiterkarten gestellfest verschraubt sind. Die anderen sind, wie im Elektronikblock, als Steckkarten im Format 95×170 mm² ausgeführt. Auf die Rolle einer Reihe kleinerer Sonderleiterkarten, die mechanische und speichertechnische Funktionen unterstützen, soll hier nicht eingegangen werden.

Auch im Laufwerkblock, dessen Blockschaltbild in **Abb. 37** wiedergegeben ist, wird entsprechend dem befohlenem Regime die Stromversorgung des Aufzeichnungs- bzw. des Wiedergabetraktes mit Kennzeichenerkennung zu- bzw. abgeschaltet, um den Energieverbrauch zu senken. Die Zuschaltung erfolgt unmittelbar mit der Befehlsübergabe vom Elektronikblock an den LW-Steuerblock.

Bei der Aufzeichnung muß die Spurgruppenauswahl mit an den LW-Steuerblock übermittelt werden, der dann die entsprechenden Spuren über die Multiplexeranordnung auf der Platte MAZ aktiviert. Mit dem ersten Motorstartbefehl 008 wird vom LW-Steuerblock das erste Datei- und Blockkennzeichen vom Elektronikblock angefordert und ebenfalls auf der Platte MAZ zwischengespeichert.

60

Die Videodaten mit Takt- und das Bildanfangssignal (Bytetakt) werden an die Platte SPW geführt. Dort werden die Daten byteweise auf 5 verschiedene, unterschiedlich lange Schieberegister geschrieben, die den 5 Spuren einer Aufzeichnungsspurgruppe zugeordnet sind. Bei diesem Prozeß werden die Daten gleichzeitig von NRZ in den 4/5 Gruppenkode gewandelt. Ist das letzte Schieberegister mit einem vollständigen Gruppenkode-Byte (10 bit) gefüllt, wird in Bytebreite der Inhalt aller 5 Schieberegister synchron und parallel in einen weiteren Zwischenspeicher übernommen, während der kontinuierlich einlaufende Bilddatenstrom weiter byteweise auf die ersten Schieberegister geschrieben wird. Der zweite Zwischenspeicher befindet sich auf der Platte DAZ. Dieser Datenzwischenspeicher hat die Aufgabe denn kontinuierlich einlaufenden Datenstrom so zu verzögern, daß die Einfügung, der Datei- und Blockmarken in den Datenstrom möglich wird. Dazu existiert für jede Spur eine Speicherkapazität von 1024 bit.

Das Einlesen in den Zwischenspeicher, erfolgt mit einer Frequenz $F(\text{Takt})/4$, die sich durch die Aufteilung auf 5 Spuren $f(\text{Takt})/5$ und die Gruppenkodewandlung 4/5 ergibt. Das Auslesen muß jedoch mit einer höheren Frequenz erfolgen, um

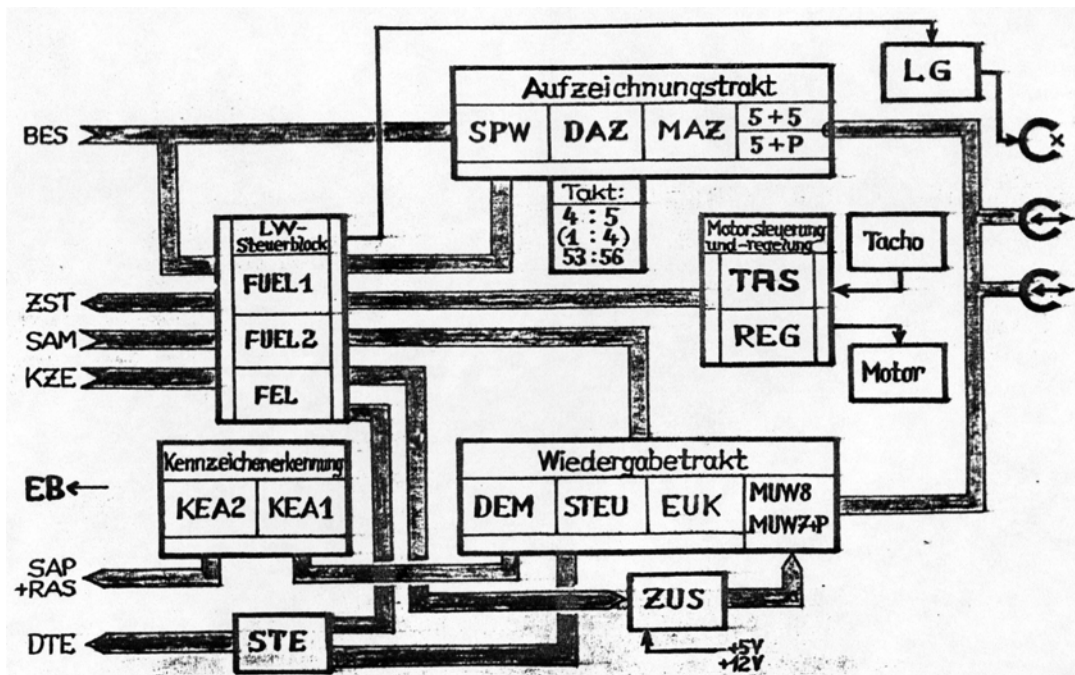


Abb.37: Blockschaltbild des Laufwerkblockes R3m

das Einsetzen der Datei- und Blockkennzeichen in den Datenstrom zu ermöglichen, ohne daß der Puffer überläuft. Für das Verhältnis Auslesetak/Einlesetak werden nur die Blockkennzeichen berücksichtigt, da die Dateikennzeichen mit 160 bit Länge nur 6 Mal in einem Bild pro Spur auftreten und den Puffer nicht überfüllen. Das Verhältnis Blockkennzeichen + Daten zu Daten pro Block beträgt 560:530. Deshalb wird ein Taktverhältnis zwischen Ein- und Auslesen von 53:56 gewählt.

Die Taktaufbereitung erfolgt in Ableitung vom Datentakt aus dem Steuergerät SU, der über den Elektronikblock zum Laufwerk gelangt, ebenfalls auf der Platte DAZ.

Mit dem auf der Platte SPW aus dem Bildanfangssignal (erste Flanke des Bytetaktes) gebildeten Befehl „BA“ wird auf das erste Datei- und Blockkennzeichen, das bereits auf der Platte MAZ zwischengespeichert war, für die Aufzeichnung zugegriffen. Sind die Kennzeichen parallel für jede Spur auf das Band aufgeschrieben, wird von der Multiplexer-Steuerung der Platte MAZ auf die Übernahme der Daten aus dem Zwischenspeicher der Platte DAZ umgeschaltet. Das wiederholt sich alle 530 Datenbits. Nach der Aufzeichnung von 290 Blöcken, wird die nächste Dateimarke abgerufen.

Alle Daten und Kennzeichen werden auf die Aufzeichnungsverstärker Platte 5+5 und 5+P weitergegeben. Diese Platte besitzt für jede Spurgruppe 5 Aufzeichnungsverstärker und einmal den Aufzeichnungsverstärker für die Pilotspur, die bei jedem Bandlöschen neu eingeschrieben wird. Vor dem Aufzeichnungsverstärker werden die Daten in NRZI für eine symmetrische Aufzeichnung moduliert.

61

Die Bandgeschwindigkeit wird von einer Motorphasenregelung, Platte REG, kontrolliert, die von einem Tachometer am Capstan die Istfrequenz mit einer von der Platte TAS gelieferten Sollfrequenz, einschließlich Phase vergleicht.

Die Sollfrequenzauswahl für die einzelnen Motor/Bandgeschwindigkeiten, wird der Platte TAS durch den LW-Steuerblock in Abhängigkeit von, dem gewählten Arbeitsregime übermittelt. Auf der Platte TAS erfolgt die Taktaufbereitung sowie die An- und Abfahrsteuerung für den Bandantrieb. Bei Wiedergabe erfolgt die Auswahl der Geschwindigkeit auf der Platte TAS in Zusammenarbeit mit den Platten der Kennzeichenerkennung KEA1/KEA2.

Bei der Wiedergabe werden entsprechend dem Systemkonzept, die Spuren nur einzeln nacheinander ausgelesen. Dafür würde grundsätzlich nur ein Wiedergabekanal ausreichen. Um die Zuverlässigkeit des Speichers zu erhöhen, wurden jedoch zwei Wiedergabekanäle installiert. Da kein zusätzlicher Befehls- bzw. Schaltungsaufwand für eine Umschaltmöglichkeit der Kanäle entstehen sollte, wurden sie jeweils einem 8-Spurkopf fest zugeordnet und automatisch mit der Spurauswahl über die zugehörigen Wiedergabeverstärker zugeschaltet.

Die Wiedergabeverstärker, die durch Diodenkombinationen eine aus acht bzw. eine aus 7 Spuren über jeweils einen Analogmultiplexer zugeschaltet werden können, befinden sich auf den Platten, MUW 8 und MUW 7P. Letztere enthält zusätzlich einen Wiedergabeverstärker für die Pilotspur. Beide Platten sind gestellfest in unmittelbarer Nähe der Magnetköpfe unter der Bandkassette mit dem Laufwerksträger verschraubt und mit einem Abdeckblech gegen Störstrahlung geschützt. Von der ebenfalls gestellfest angeschraubten Platte ZUS erhalten die Verstärker eine stark gesiebte und stabilisierte Versorgungsspannung von +5 V und +12 V, um, Motor- und Schaltimpulse der Elektronik von den hochempfindlichen Verstärkern fernzuhalten. Auf der Platte ZUS ist ebenfalls die Ansteuerung der Spurauswahl für die Multiplexer auf den Platten MUW 8 und MUW 7P untergebracht, die vom LW-Steuerblock befohlen werden.

Die verstärkten Wiedergabesignale werden von der jeweilig ausgewählten Platte MUW an die Steckereinheit EUK: weitergegeben. Nach einer weiteren Verstärkung werden sie dem auf der Platte befindlichen Entzerrer zugeführt. Dieser ist

als Transversalfilter ausgebildet. Nach einer Bandbegrenzung wird das Signal komperiert. Vom Komperator wird das erhaltene Digitalsignal zum Demodulator auf der Platte DEM weitergegeben.

62

Da für die Wiedergabe sowohl, die Standardgeschwindigkeit „lesen“ mit 40 cm/s als auch der Geschwindigkeitsumfang von 40 cm/s bis 120 cm/s als „Suchlauf“ vorkommt, treten im Wiedergabesignal stark, unterschiedliche -Amplituden- und Frequenzbereiche auf. Um trotzdem eine kontinuierliche Auswertung der Signale zu ermöglichen, ist die Verstärkung des zweiten Verstärkers regelbar gestaltet. Ebenso ist der Tiefpass im Transversalfilter des Entzerrers durch Spannungssteuerung den anliegenden Frequenzen nachregelbar. Die Steuerspannung für Verstärker- und Tiefpass wird in Abhängigkeit von der aktuellen Bandgeschwindigkeit aus der Pilotspur auf der Platte STEU gewonnen. Sollte die Pilotspur wegen Banddefekten kurzzeitige Aussetzer aufweisen, wird für die Erzeugung der Steuerspannung auf den Tachometertaktes umgeschaltet und dieser ausgewertet.

Im Demodulator auf der Steckeinheit DEM wird das Signal von der NRZI-Modulation auf die NRZ- Modulation zurückgeführt. Dabei bleibt jedoch die Gruppenkode-Kodierung erhalten.

Der Demodulator erzeugt entsprechend den 4/5 Gruppenkodebedingungen drei Abfrageimpulse im Zeitverhältnis 1:2:3, um die im Signal enthaltenen Bitkombinationen zu erkennen. Da dieses Zeitverhältnis in seinen Absolutwerten nur für eine Wiedergabefrequenz genau zutrifft, muß auch die Abtastzeit unter Beibehaltung des Zeitverhältnisses der Bandgeschwindigkeit nachgesteuert werden. Diese Nachsteuerspannungen erhält der Demodulator ebenfalls von der Platte STEU.

Auf den Platten EUK und DEM sind alle Baugruppen des Wiedergabetraktes doppelt ausgeführt und jeweils einem Magnetkopf zugeordnet, sodaß damit zwei vollständige und voneinander unabhängige Wiedergabekanäle existieren. Um entsprechend der Standardwiedergabe die gewünschten Bilder zu ermitteln, werden die demodulierten Daten einschließlich Takt der Kennzeichenerkennung auf den Platten KEA1 und KEA 2 zugeführt.

Die Aufgabe der Kennzeichenerkennung ist es, aus dem vom Demodulator gelieferten Datenstrom die vom Elektronikblock, Platte KZE, für die Bildsuche bereitgestellten Bild- und Dateinummern im Datenstrom zu finden, die dazugehörigen Bilddaten dateiweise an den Puffer APU im Elektronikblock zu übergeben und den Ablauf des Wiedergaberegimes im Laufwerk zu steuern.

63##

Dazu wird als erstes beim Start der Standard- oder verkürzten Wiedergabe nach Einschalten der Versorgungsspannung vom Elektronikblock eine Bildnummer angefordert und dem Laufwerk der Startbefehl für Lesegeschwindigkeit gegeben.

Vom Elektronikblock wird die um 1 verminderte Nummer des ersten zu übertragenden Bildes geliefert.

Nach Start des Bandes und Passieren der Lichtschranke werden die aufgezeichneten Daten bei einer Bandgeschwindigkeit von 40 cm/s mit etwa 250 kbit/s zur Platte KEA geliefert. Vor die Datenauswertung ist eine sogenannte Drop-out Kompensation vorgelagert. Tritt innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zu den Daten keine Taktflanke auf, wird auf ein Dropout geschlossen, und eigene Taktimpulse werden eingefügt. Die Frequenz dieses Taktes liegt dicht unterhalb der nominellen Datenrate. Gleichzeitig werden die Daten auf Low-Potential gehalten, sodaß es bei der späteren Auswertung einfach möglich ist, Drop-outs an der Vielzahl von Nullen im Datenstrom zu erkennen, da im Normalfall im 4/5-Gruppenkode nicht mehr als 2 Nullen hintereinander vorkommen dürfen. Außerdem bleibt die Länge einer Datei dadurch weitgehend erhalten, was für die Erkennung der nachfolgenden Datei wichtig ist.

Der so vorbearbeitete Datenstrom gelangt nun zur eigentlichen Kennzeichenerkennung. Beim Erkennen einer Dateisynchronmarke innerhalb eines Dateikennzeichens, wird der Bild- bzw. Dateinummernvergleich freigegeben. Dabei wird die vorher auf Anforderung übergebene Bild- bzw. Dateinummer mit den Nummern im Dateikennzeichen verglichen. Die Bildnummer ist bekanntlich 3 mal und die Dateinummer 5 mal im Kennzeichen enthalten. Eine Bildnummer gilt als gefunden, wenn in den Kennzeichen zweier aufeinander folgender Dateien des gleichen Bildes die Bildnummer 3 mal gefunden wurde.

Eine Datei gilt als gefunden, wenn innerhalb eines Kenzeichens 2 Nummern übereinstimmen. Diese Festlegung wurde experimentell erarbeitet und hat sich hin den folgenden Tests bewährt.

Ist nun das gewünschte Bild (n-1) gefunden, wird das Band angehalten und auf die Freimeldung einer Pufferhälfte von APU gewartet. Liegt diese vor, beim Beginn der Wiedergabe ist das automatisch erfüllt, wird das Band mit Lesegeschwindigkeit (40 cm/s) wieder gestartet (beim ersten Bild hält das Band quasi gar nicht an) und es wird nach der folgenden, der für die Übertragung gewünschten Bildnummer gesucht. Dabei läuft der Datenstrom in ein 160 bit langes Schieberegister ein, das den Datenstrom verzögert. Die Verzögerung erfolgt in Abhängigkeit von der gefundenen Dateimarke, die ja unterscheidbar gestaltet wurden, mit Hilfe eines Zeitpunktzählers so, daß bei der Datenfreigabe zum Puffer genau das erste bit des gewünschten Dateikennzeichens am Eingang des Freigabemultiplexers liegt. Damit kann dann die gesamte Datei einschließlich ihres Kennzeichens vollständig an den Puffer übertragen werden. Mit dem Signal „Puffer voll“, das von den Platten SAP/RAS kommt, wird die Übertragung, die mit Lesegeschwindigkeit von 250 kbit/s erfolgt, abgeschlossen.

64

Vom Multiplexer wird daraufhin der Ausgang zum Puffer verriegelt, und der Motor wird gestoppt. Das Band steht nun innerhalb der zweiten Datei, die im ersten Lesezyklus nicht beachtet wird. Mit der Leermeldung der zweiten Pufferhälfte wird in der gleichen Weise die dritte Datei des gefundenen Bildes eingelesen. Ist auch die fünfte Datei dieses Bildes übertragen worden, wird vom Elektronikblock die neue Bildnummer angefordert, die jetzt (n-1+20) bei 4 kbit/s Datenrate zum Sender beträgt. Nach Erhalt dieser neuen Bildnummer, wird das Band auf Suchgeschwindigkeit von 120 cm/s

beschleunigt und auf den Daten das Dateikennzeichen mit der neuen Bildnummer gesucht. Ist das Bild gefunden, wird der Motor abgeschaltet. Das Band steht jetzt in einer Datei des Bildes, das dem eigentlich gewünschten voraus geht. Mit dem Befehl „Puffer leer“ wird dann in normaler Wiedergabegeschwindigkeit in das gewünschte Bild gefahren. Die Dateien werden dann wieder, wie bereits beschrieben weiter übertragen.

Dieser Vorgang endet mit der Bandendemarke. Danach wird eine neue Bildnummer angefordert und die Spur zum zweiten Mal gelesen.

Da dieses sogenannte Standardlesen auf die volle Punktionsfähigkeit vieler Baugruppen angewiesen ist, wurde die einfachere aber langwierigere Havariewiedergabe zusätzlich eingeführt. Bei dieser wird auch keine Drop-out-Kompensation vorgenommen. Im Gegensatz zum Standardregime, in dem die Datenübertragung durch Erkennung der komplexen Dateimarke (160 bit) gesteuert wird, genügt im Havarierregime das Erkennen des Zeilensynchronwortes des Videobildes, das eine Länge von 10 bit (4/5 Gruppenkode) besitzt und sehr häufig im Datenstrom zu finden ist.

Das Lese/Stop-Spiel des Laufwerkes wird im Havarierregime dann nur noch durch den Puffer über die Befehle "Puffer leer" und "Puffer voll" gesteuert. Das Regime endet mit der Bandendemarke oder durch Spannungsabschalten bei Motorstillstand. Auf der Platte STE wird in Zusammenarbeit mit der Platte DTE im Elektronikblock die speicherinterne schnelle Housekeepingtelemetrie aufbereitet und auf Abfrage für die Block- oder Dateieindeckenzeichen zur Verfügung gestellt.

65

Zur autonomen Kontrolle der richtigen Funktion aller Platten gibt es sowohl am Elektronikblock als auch am Laufwerkblock je einen 50-poligen Technologischen Stecker. An diesen Stecker sind spezielle Parameter und Signale aus den jeweiligen Blöcken herangeführt, die auch während der Funktion, des Speichers im Verbund mit dem Steuergerät SU die Funktionskontrolle der wichtigsten Baueinheiten erlauben.

Im „Technologischen Stecker“ des Elektronikblockes sind im Prinzip alle Ausgangsdaten des Speichers gedoppelt worden. So konnten die demodulierten Wiedergabesignale aus dem Laufwerk, die Wiedergabesignale zum Sender, das Zustandswort des Speichers, die Daten der Diensttelemetrie, Bandendesignal, Motorstrom und die Versorgungsspannungen abgegriffen werden. Dieser Stecker war anfangs für den Verbund mit der technologischen Steckerserie des Satelliten außerhalb des Hermokontainers vorgesehen. Diese Möglichkeit wurde später gestrichen, sodaß der Stecker vorrangig für die autonomen Erprobungen, des Speichers selbst und im Verbund „Fregatt“ benützt wurde.

Beim Laufwerkblock ist der "Technologische Stecker" von Anfang an so belegt worden, daß ein Betreiben des Laufwerkes zu Prüf- und Testzwecken besonders in der Aufrüstungsphase auch ohne Elektronikblock möglich wurde. So konnten über diesen Stecker alle Funktionen der Spurauswahl und der Puffersteuerung bei Wiedergabe eingegeben werden. Mit Hilfe eines einzuspeisenden Fremdtaktes konnten damit Aufzeichnungen mit beliebigen Datenmustern auf jede Spur einzeln vorgenommen werden, um die Spurparameter zu analysieren und den Elektronikabgleich der Aufzeichnungs- und Wiedergabetakte in Abhängigkeit von den einzelnen Spurergebnissen durchzuführen. Dazu wurden für die Wiedergabe auch Zwischenergebnisse, wie analoges Wiedergabesignal vor und nach dem Entzerrer, Steuerungsspannung für Entzerrer und Demodulator komperiertes und demoduliertes Wiedergabesignal sowie der Wiedergabetakt herausgeführt. Von der Kennzeichenerkennung wurde das Signal „Dateinummer gefunden“ sowie „Dateinummerfehler“ angezeigt. Für die Mechanik des Laufwerkes wurden Parameter, wie Tachometerfrequenz, Pilotspurfrequenz, Bandende, Arretierung, Kontrolle „Löschen“, Motorstrom und Umlaufzählerausgang angeschlossen.

Diese Gestaltung des Technologischen Steckers war die Grundlage einer für Flugmusterqualität erforderlichen Prüf- und Aufrüstungstechnologie, ohne die der sehr komplexe Speicheraufbau kaum ohne wesentliche Eingriffe in das -Gerät hätte vorgenommen werden können.

66##

4.3.4. R3m- Mechanik

Für den Einsatz des R3m-Speichers in der Phobosmission wurden in den „Anforderungen in die wissenschaftlichen Geräte des Phobosprojektes“ von der SU auf Grund der Verwendung der leistungsstarken Trägerrakete „Proton“ und eines neuentwickelten Satellitentypes besondere Bedingungen vorgegeben. Die für die mechanische Konzeption und die Gerätekonstruktion wichtigsten Parameter sollen hier kurz besprochen werden.

Die Parameter der mechanischen Betriebsbelastungen, die im wesentlichen aus den Bedingungen während der Startphase der Rakete abgeleitet werden, sind in Tabelle 18 (s. Anl. 4) enthalten. Während die statischen Überbelastungen mit maximal 4 g, die auf einer Zentrifuge geprüft werden, keine besonderen Maßnahmen erfordern, sind die Parameter der Stoßbelastung mit 40 g in 9 Stößen und die Zufallsvibrationen von 0 bis 2 kHz mit 0 bis 11 g über 3×20 min in den mechanischen Lösungen nicht mehr zu vernachlässigen. Auch das Festigkeitskriterium für die Apparatur, das eine Resonanzfrequenz von mehr als 40 Hz forderte, mußte für den Einsatz von Amortisatoren besonders berücksichtigt werden.

Für, die Geräte im Hermokontainer, wo die Installation des Videospeichers R3m und des sowjetischen Datenspeichers „Morion“ vorgesehen war, ist der Arbeitstemperaturbereich von 0 ... 45 grd C festgelegt worden. Dabei war ausdrücklich die Erhöhung der Umgebungstemperatur im Hermokontainer in der letzten halben Stunde einer Seance auf 45 grd C zugelassen.

Im Hermokontainer selbst wird eine Gasfüllung folgender Zusammensetzung benutzt:

Stickstoff (N) 94 ... 98 %
Sauerstoff (O)..... 2 ... 6 %
Helium (He)..... 0,001 %

Als Gasdruck in der Arbeitsphase werden 0,8-1,2 kp/cm² angegeben. Bei der Dichtheitsprüfung des Hermokontainers mit allen Geräten wird für 30 Stunden mit 2,2 kp/cm² Innendruck gearbeitet. Die Druckänderungsgeschwindigkeit beträgt bei allen Maßnahmen weniger als 0,01 kps/cm².

Der Konstruktion des Hermokontainers war in Form eines Zylinders ausgeführt, in dessen Mitte sich die Gerätemontageplatte befand. Sie war in Längsrichtung des Zylinders befestigt, sodaß für den Aufbau der Geräte jeweils ein Raum in Form eines Halbzylinders zur Verfügung stand.

67

Durch diese speziellen Einsatzbedingungen und den aus der Experimentkonzeption abgeleiteten Randbedingungen waren für die Konzeption und Konstruktion des mechanischen Aufbaus des Videospeichers, die unter Themenleitung von W. Neumann durchgeführt wurde, bereits sehr enge Grenzen gesetzt.

Aus den beschriebenen Raumgründen im Hermokontainer war von Anfang an die Unterbringung der Baugruppen des Speichers in zwei getrennten Gehäusen vorgesehen, da die Bauhöhe der Geräte durch die Halbzylinderform begrenzt wurde. Aus Gründen der Gewichtseinsparung war auch für den Laufwerkblock kein hermetisches Gehäuse realisierbar, das optimal für Staub- und Feuchtigkeitsschutz gesorgt hätte: Für die Abdichtung konnte nur eine Konstruktion mit dünnen Außenwänden eingesetzt werden, die durch Druckausgleichsmaßnahmen die erheblichen Druckunterschiede im Hermokontainer überstand.

Während für den Elektronikblock auf eine vibrationsfeste und bereits bewährte nicht hermetische Konstruktion aus dem Institut für Kosmosforschung zurückgegriffen werden konnte, mußte der größere Laufwerkblock grundsätzlich neu konzipiert und konstruiert werden.

Unter Verwendung der Erfahrungen aus, Vorgängergeräten wurde die Endloskassette des R3-Boden, in der bis 220 m Bandlänge unterzubringen waren, als Grundbaugruppe angesetzt. Grundsätzlich sollte die Konstruktion in Baugruppen erfolgen, die auf einem vibrationsfesten Rahmen angeordnet werden konnten. Der Konstruktionsentwurf dieses Rahmengestells wurde iterativ mit Statikberechnungen der Anschlußkräfte, mit Festigkeitsnachweis und Materialauswahl, ähnlich dem Vorgehen im Flugzeugbau gekoppelt. Diese aufwendigen Berechnungen wurden von W. Zimmermann vorgenommen.

Als Voraussetzungen dafür wurden folgende Belastungsfälle vorgegeben:

L (x, y, z) = 5g Last. in allen Variationen und Richtungen

L (x) = +/-10 g Last in Längsrichtung des Gerätes (Startrichtung)

L (z) = +/- 10 g Massenkräfte zum Fußpunkt des Gerätes.

Diese Vorgaben entsprachen zwar den maximalen Vibrationsbelastungswerten bei 1 - 2 kHz, wurden aber aus Sicherheitsgründen und zum Erreichen einer hohen Resonanzfrequenz des Aufbaus auch für den Statikfall zugrunde gelegt. Die Festigkeitsforderungen für den Materialeinsatz wurden mit einem Sicherheitsfaktor von 5 ... 10 angesetzt.

68

Als Ergebnis entstand eine sehr biegesteife Konstruktion, die eine Resonanz von ca. 180 Hz bei festem Anschrauben des Gerätes aufwies. Beim Einsatz von Amortisatoren wurden die Resonanzfrequenzen (RF) mit.

RF (x) = 63 Hz

RF (y) = 42 Hz

RF (z) = 65 Hz

gemessen und erfüllten somit die Einsatzbedingungen.

In **Abb. 38**, einem Original aus der R3m Dokumentation, ist die Konstruktion des Laufwerkes schematisch dargestellt. Der Laufwerkblock besteht aus zwei stabilen Flanschplatten, Nr. 1 und 2, die durch zwei geschweißte T-Träger, Nr. 6, durch je 3 Schraubverbindungen zusammengehalten werden. Am den Flanschplatten sind die Befestigungsfüße des Gerätes, Nr. 3 und 4, mit den Amortisatoren, Nr. 27, befestigt. An der vorderen Flanschplatte befinden sich die Gerätestecker, Nr. 25. In die hintere Flanschplatte ist aus dünnem Aluminiumblech die Gerätehülle fest eingeklebt. Am gegenüberliegenden Steckerflansch wird die Hülle nur durch ein Silikonummiformstück abgedichtet. Beim Öffnen des Gerätes wird die hintere Flanschplatte abgeschraubt und mit der Hülle, die sich von der vorderen Flanschplatte einfach trennt, abgezogen.

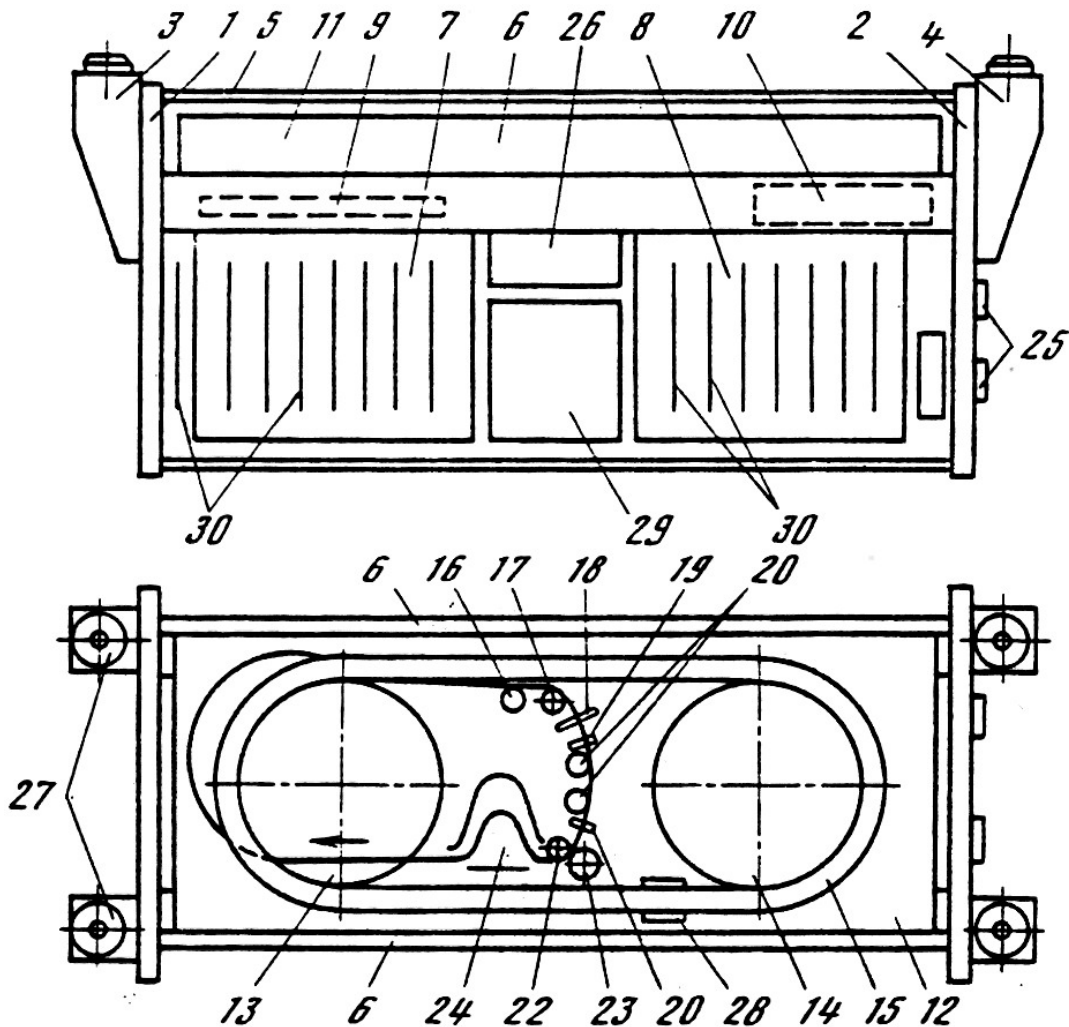
In der Mitte zwischen den T-Trägern ist der Antriebsblock, Nr. 26, befestigt, der den Motor, den Capstan, Nr. 22, die Magnetköpfe, Nr. 21, die Bandführungen, Nr. 19 / 20 und die Lichtschranke, Nr. 18 trägt. Die letzteren Bauelemente ragen in den mittleren Ausschnitt der Endloskassette, Nr. 11, die sowohl mit dem Antriebsblock als auch mit den T-Trägern nach dem Einsetzen fest verschraubt wird.

Die Endloskassette enthält zwei Umlenkteller, Nr. 13 und 14, von denen der rechte Umlenkteller, Nr. 14, beweglich zum Spannen des Wickels ausgeführt ist. Weiterhin enthält die Kassette den Bandwickel, Nr. 15, die Bandarretierung Nr. 29, den Löschmagnetkopf, Nr. 16, die Umlenkrolle Nr. 17, die Andruckrolle, Nr. 23, und den Bandzugspuffer, Nr. 24. Diese Elemente sind auf der Kassettengrundplatte, Nr. 12, angeordnet.

Unterhalb der T-Träger sind die Elektronikbehälter für die Steckkarten, Nr. 7 und 8, untergebracht. Diese Steckplätze sind für 16 Platten der Größe 95×170 mm² ausgelegt. An den T-Trägern bzw. an den Elektronikbehältern fest angeschraubt sind die Platten ZUS-P und MUW 8 und MUW 7P, Nr. 9. Im vorderen Teil des Laufwerkes ist unter der Kassette der Antrieb für die Bandarretierung, Nr. 10, untergebracht, der mit der Andruckrollenmechanik gekoppelt ist.

69

In dem Freiraum zwischen den Elektronikbehältern unter dem Antriebsblock ist der sich im Zuge der Entwicklung als notwendig erwiesene Feuchtigkeitsadsorber, Nr. 29 auf dessen Funktion später noch eingegangen werden soll, eingebaut worden.



Der endgültige mechanische Aufbau der beiden Geräteteile des R3m ist nun den folgenden Abbildungen zu entnehmen. Der geöffnete Elektronikblock R3m ist in **Abb. 39** zu sehen. Die vordere Seitenwand ist als Steckerplatte ausgebildet, die neben dem „Technologischen Stecker“ (mit schwarzem Steckerschutz) fünf 50-polige Stecker, davon zwei zum Steuergerät SU und drei zum Laufwerkblock, sowie vier HF-Stecker zur Radiolinie der Sonde enthält. Im Elektronikblock sind 11 Steckleiterkarten (95×170 mm²) und die Interfacekarte SEN zum Sender als Sondergröße untergebracht. Letztere befindet sich innerhalb des abgesetzten oberen- Gehäuseteils und ist gut in **Abb. 36** zu erkennen. In diesem Gehäuseteil sind auch die Relais zur Spannungszu- und -abschaltung für die einzelnen Arbeitsregime eingebaut worden. Die Steckkarten sind zur besseren Wärmeabführung in metallischen Leitschienen geführt, die in **Abb. 36** ebenfalls gut zu erkennen sind.

Im Verlauf der Systemerprobung „Fregatt“, stellte sich heraus, daß zur gleichmäßigen Belastung der Bordbatterie durch des ungepufferte Schaltnetzteil VIP WSU die Motorstromschwankungen des Speichers mit Hilfe eines Lastreglers als Zusatzgerät ausgeglichen werden mußten. Dieser Lastregler SPD wurde vom IKI, Moskau konstruiert und nachträglich auf den Elektronikblock montiert und ist in **Abb. 39** als silberfarbiger Aufbau zu erkennen.

In **Abb. 40** ist das Öffnen des Laufwerkes R 3m demonstriert, das nach der bereits beim R1-Speicher bewährten Methode durch Abziehen der Hülle mit dem hinteren Flansch nach Lösen der Schraubverbindungen vorgenommen wird. Diese Lösung erlaubt eine hermetische Abdichtung des Speichers mit minimalem Materialeinsatz und sehr dünnen Blechstärken von 0,8 mm in der Hülle, was sich auf die Massebilanz des Speichers positiv auswirkt. Allerdings ist, diese Konstruktion nicht druckfest. Es mußte daher eine definierte Öffnung zum Druckausgleich vorgesehen werden, die mit dem Feuchtigkeitsadsorber gekoppelt wurde.

70

In **Abb. 41** ist schließlich das geöffnete Laufwerk R3m ohne hinteren Flansch und Hülle des Erwärmungsschutzes der Magnetköpfe in den Fußbereich des Laufwerkes gelegt. Während im schwerelosen Fall durch die Wärmeabführung über die T-Träger zu den Seitenflanschen und den Füßen zur relativ wärme stabilen Grundplatte des Hermokontainers für günstige Bedingungen im Kopfbereich gesorgt wird, gelangt bei der Erderprobung im Klimaschrank die durch die Elektronik erwärmte Luft zuerst in den oberen Geräteteil, sodaß sich die Kopfregion erst relativ spät erwärmt.

In **Abb. 42** ist der geöffnete Laufwerkblock von der Seite des abgenommenen hinteren Flansches fotografiert! Es sind deutlich die T-Träger mit den Befestigungsstellen für den Flansch zu sehen. Die Befestigung ist so ausgeführt, daß keine elektrische Verbindung zwischen Gehäuse/Flansch und dem inneren metallischen Aufbau des Speichers besteht. Als Isolierung werden dünne Polyesterfolien benutzt.

Aus diesem Blickwinkel sind auch die Platten MUW 8 und MUW 7P für die Wiedergabeverstärker unter der Kassette und die Platte .ZUS-P für die Spannungsaufbereitung zu sehen, die parallel zum Flansch an den Elektronikbehälter angeschraubt wurde. (Bild 39 +40)



Geöffneter Elektronikblock mit SPD

Halbgeöffneter Laufwerkblock des R3m



Bei der Auswahl des Endloswickelprinzips für die im ZKI entwickelten Bordspeicher und damit auch für den R3m, wurden einerseits die bekannten konstruktiven Vorteile dieses Prinzips für den kompakten und robusten Aufbau von Magnetbandspeichern genutzt /ATH 66; RAG84/, und zusätzlich die eigenen Erfahrungen und Grundlagenergebnisse zu diesem Konstruktionsprinzip aus Experimenten, Praxisersätzen und mathematischen Modellierungen eingebracht. Das Grundprinzip des Endloswickels ist **Abb. 43** zu entnehmen. Der Bandvorrat ist um einen nicht zu kleinen, gestellfesten kreisförmigen oder ovalen Umfang gelegt, wobei die Windungszahlen der Bandlänge entsprechen. Der Endloswickel wird gegen seinen Aufwickelsinn durch Herausziehen seiner innersten Windung am gestellfesten Punkt B bewegt. Das Auskoppeln der innersten Windung wird über eine Umlenkrolle realisiert. Der einzige Antrieb des Endloswickels, ein Capstan mit Andruckrolle, befindet sich im Inneren des Wickels in der Wickelebene in Laufrichtung des Bandes. Magnetköpfe und Bandführungen sind zwischen Umlenkrolle und Capstan angeordnet, wo sich der Bereich höchsten Bandzuges befindet. Nach dem Capstan wird das Band quasi bandzugsfrei mittels einer Überführungsstrecke in die zweite Ebene geführt und über den Bandwickel hinweg wieder als äußerste Windung in den Vorratswickel geleitet.

71

Der erforderliche Bandzug am Magnetkopf wird durch die Dimensionierung der geometrischen und werkstofftechnischen Parameter des gesamten Endloswickels erreicht. Er arbeitet für bestimmte Wickelgeometrien, Magnetband- und Betriebsparameter stabil. Bild 41, 42)

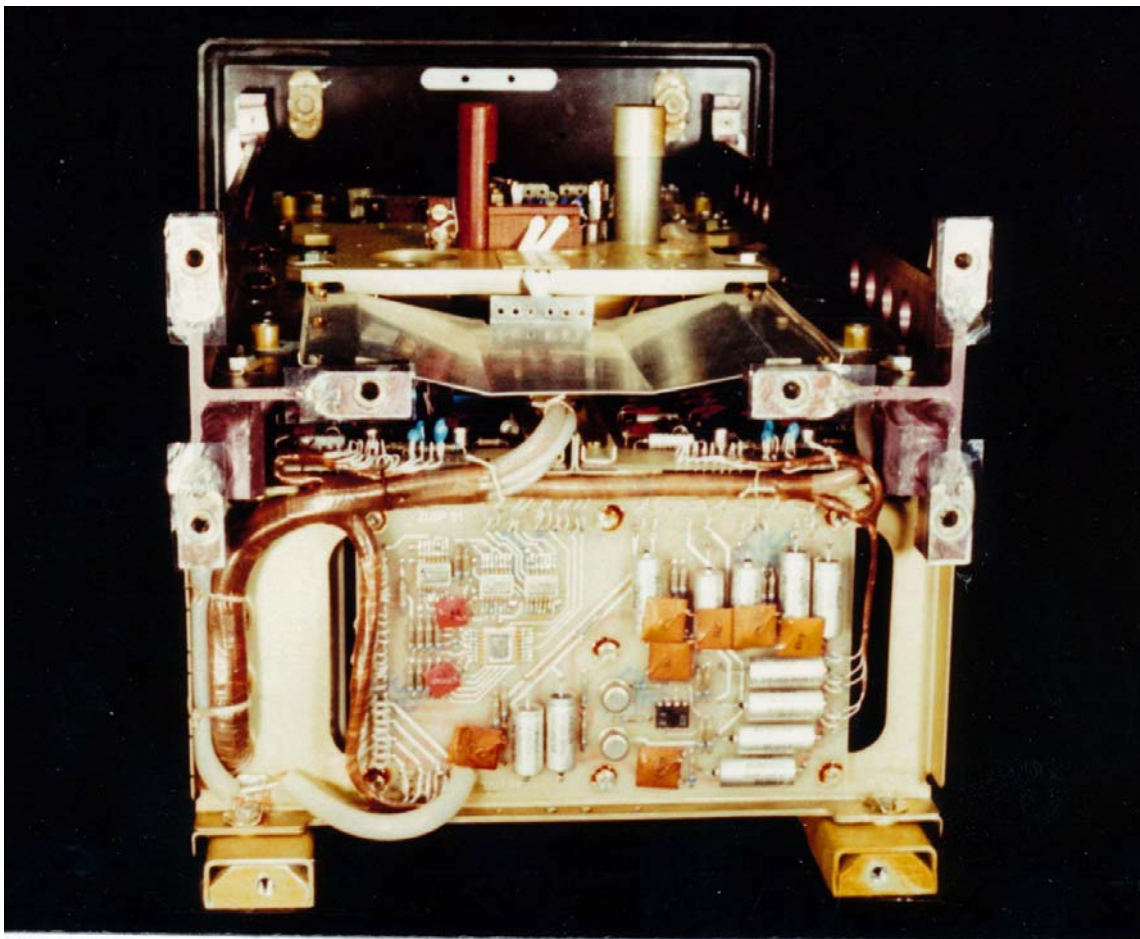


Abb.42: Geöffneter LW-Block, Ansicht von der Seite des abgenommenen hinteren Flansches

Das Endloswickelprinzip benötigt nur einen Antriebsmotor, der auf Grund der geringen Zahl bewegter Teile in dieser Konstruktion auch nur einen minimalen Leistungsverbrauch aufweist. Durch die Tatsache, daß nur eine Antriebsrichtung des Randes möglich ist, und kein Rückspulen des Bandes nach vollem Umlauf notwendig und möglich wird, da das Band bereits wieder am Anfang steht, hat der Endloswickel besondere Vorteile bei raum- und energiesparenden

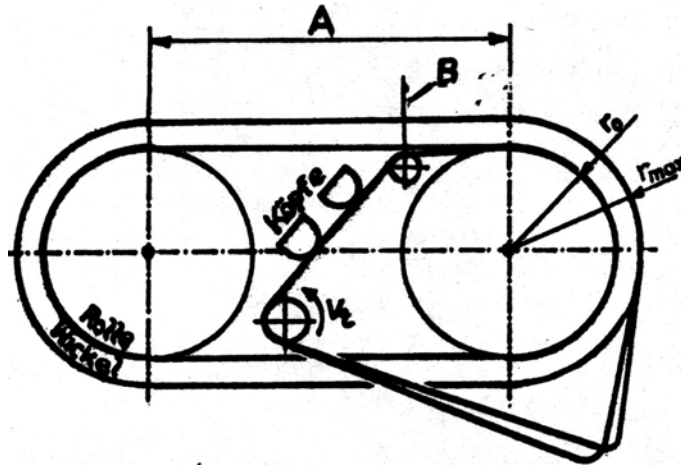


Abb.43: Prinzipschema des Endloswickels

Konstruktionen, wie sie im Flugwesen oder in der Raumfahrt gefordert werden. Andererseits galt das Endloswickelprinzip als störepfindlicher als Spulenkonstruktionen und durch die aus der Relativbewegung der Windungen untereinander entstehenden Abriebsprodukte als ungeeignet für hohe Speicherdichten. Endloswickel wurden daher in der Regel nur für Bandlängen bis 100 m und für Speicherdichten bis 40 bit/mm eingesetzt /ATH66/.

Durch Einsatz des im ZKI entwickelten zweiseitig bedampften Metalldünnschichtmagnetbandes gelang es jedoch 1976 erstmals, Speicherdichten über 100 bit/mm in Endloswickelanordnungen für den Bordeinsatz mit hoher Lebensdauer zu realisieren /KEM 80/.

Diesen Ergebnissen schlossen sich Grundlagenuntersuchungen zu den Eigenschaften, Anforderungen und Abhängigkeiten verschiedener Parameter auf Funktion und Stabilität des Endloswickels an. Parallel zu einer ausführlichen experimentellen Analyse von W. Neumann, wies H. Völz aus mathematischen Modellierungsansätzen auf die elliptische Wickelform als optimale Konstruktionsform hin.

Für idealisierte kreisförmige Endloswickel waren Arbeiten von Denisov /DEN 70/ und Sawazaki /SAW 79/ bekannt geworden, die Bandzugs- und Lagendruckverhältnisse mathematisch beschrieben, aber für Probleme größerer Bandlängen und beliebiger Gestellgeometrien nicht ausreichten.

Anfang der 80-iger Jahre, konnten durch R. Glöß /GLö 82/ mit einer erweiterten mathematischen Modellierung von Endloswickeln, verschiedener Gestellgeometrie die konstruktiven Erfordernisse für Endloswickel größerer Bandlängen abgeleitet werden.

72

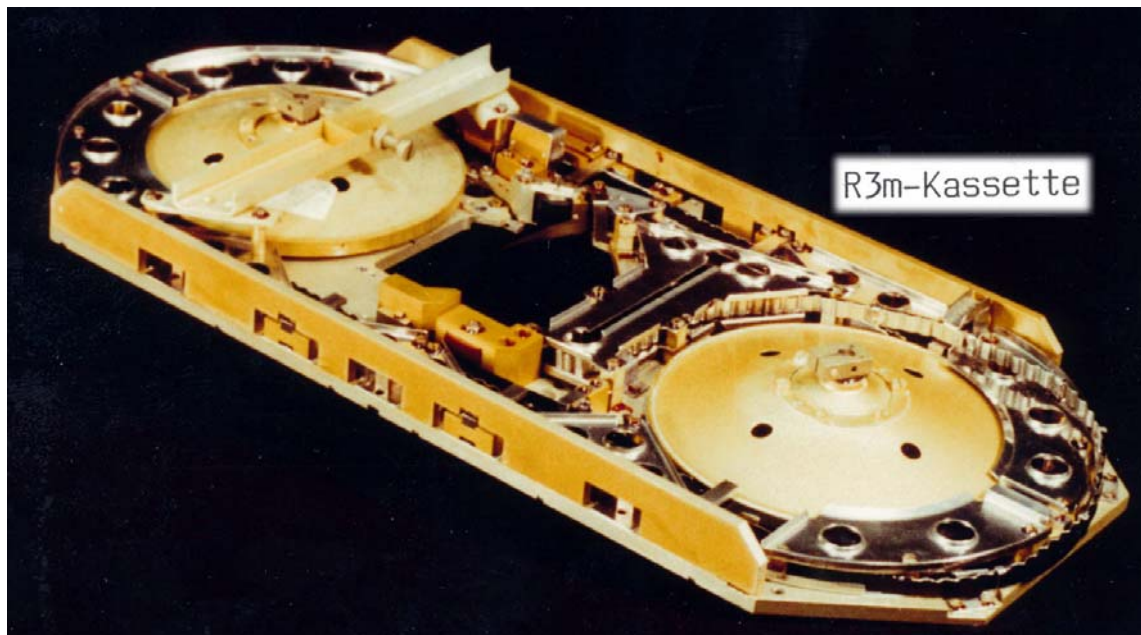
So wurde z.B. gefunden, daß der Bandzug vom Wert in der Überführungsstrecke in den äußeren Windungen exponentiell je nach Größe des Reibkoeffizienten des Bandes abfällt und innerhalb des Wickels einen weitgehend konstanten sehr kleinen bandschonenden Wert erreicht. Erst durch die Lagenpressung aller Windungen und die Reibung des Bandes gegenüber der Gestellgeometrie steigt der Bandzug in der innersten Windung auf den Wert des Ausgangsbandzuges an. Dabei ist die Lagenpressung umso stärker, je kleiner der Reibkoeffizient des Bandes ist. Dieser Fakt stellte die alte Hypothese nach Forderung einer „Gleitschicht“ für den Endloswickel als falsch dar. Es mußte vielmehr eine Rückschicht für das Band gefunden werden, die eine elektrostatische Aufladung und damit ein Zusammenkleben verhinderte und einen möglichst hohen Reibkoeffizienten besaß. Damit kamen für den Endloswickel die abriebsarmen Rückschichten in Betracht, wie sie auch zur Verbesserung des Wickelverhaltens des Bandes in Spulen verwendet wurden. Da als Bandzug ein möglichst kleiner, aber konstanter, Wert von etwa 0,4 – 0,6 N angestrebt wurde und dieser im Wesentlichen von der Reibung der innersten Windung abhing, war der Einsatz von gut gelagerten Tellern, die passiv durch das Band mit angetrieben wurden, eine optimale Lösung. Andererseits wurde auch in dieser Modellierung der elliptische ungestörte Wickel als optimal außerhalb der Kreisform bestätigt.

In Umsetzung dieser Ergebnisse wurden bei der R3m-Kassettenkonstruktion Leitbleche eingesetzt, die den Bandwickel aus den Tellern kommend in eine nahezu elliptische Form zwangen. Bei Störungen der elliptischen Form wurden im Modell negative Werte der Lagenpressung erhalten, die zu einem Aufspalten des Wickels und zu unruhigem Lauf bis zur Blockierung führen können. Dieses Ergebnis wurde experimentell bestätigt. Es zeigte sich jedoch, daß dieses Verhalten durch die Eigensteifigkeit des Bandes eingeschränkt wird. Für die Realisierung des R3m ergab sich, daß eine Eigensteifigkeit des Bandes benötigt wird, wie sie ab 18 µm Folienstärke vorliegt. Dünnere Bänder konnten nicht stabil in der vorliegenden Geometrie eingesetzt werden.

Als besonders kritisch stellte sich auch die Stelle heraus, an der das Band aus der Überführungsstrecke in den äußersten Wickel wieder eingespeist wurde, was gegenüber früheren Erfahrungen mit kurzen Bandlängen unbekannt war. Die Einkopplung mußte an Stellen des maximalen Lagendruckes erfolgen, um ebenfalls Aufspaltungen zu vermeiden. Aus dem Modell ergab sich die Mitte des elliptischen Bandwickels als geeignetste Stelle. Das wurde in der Konstruktion berücksichtigt.

73

Die aus den Modellierungen gewonnenen optimierten Gestellgeometrien und mechanischen Bandparameter, verbunden mit neuartigen Lösungen zur Bandführung, zur Kassette und Antrieb von W. Neumann, B. Reinhold und H.-G. Weide /NEU PATa., NEU PATb/ gestatteten letztlich die zuverlässige Konstruktion von robusten Endloskassettenlaufwerken einschließlich der R3m-Endloskassette für die hochdichte Videadatenspeicherung im Tiefraumeinsatz. In **Abb. 44** ist die resultierende Konstruktion der R3m-Kassette wiedergegeben. (Bild 44)



An der Kassette sind die besonderen Leit- und Führungsbleche charakteristisch, die zusätzlich zu den für jeden Endloswickel notwendigen Bauelementen, wie Umlenksteller, Umlenkrolle, Überführungsbahn usw. vorhanden sind. Die parallel zur Wickelebene liegenden Leitbleche dienen der Begrenzung des Wickels in seiner Höhenlage. Sie sind ober- und unterhalb des Bandwickels symmetrisch vorhanden und sind in einem Abstand voneinander montiert, der etwa 1 mm größer als die Bandbreite ist. Je nach Lage des Gerätes liegt der Wickel damit auf dem oberen oder unteren Leitblech auf. Im schwerelosen Betrieb während des Fluges bewegt sich der Wickel zwischen den Leitblechen. Bei den Vibrationsbelastungen begrenzen diese Leitbleche das Auswandern des Wickels, ohne Krafteinwirkung auf das Band zu verursachen. Zusammen mit der bereits erwähnten geringen Lagenpressung des Bandes im Endloswickel, ergibt diese Konstruktion gegenüber einer Spulenanordnung eine äußerst geringe Bandbeanspruchung während des Betriebes und im Ruhezustand.

Die Führungsbleche der Kassette sind senkrecht zur Kassettengrundplatte parallel zu den Bandwindungen angebracht. Sie sind so gestaltet, daß sie am Auslauf aus dem kreisförmigen Umlenkstellerbereich den Wickel in eine elliptisch; geschwungene Bahn zwischen den Umlenkstellern zu zwingen. Mit dieser Anordnung konnten entsprechend den Modellierungsergebnissen, störende Aufspaltungen des Wickels und Staustellen des Bandes beim Auslauf aus den Umlenkstellerbereichen bei Bandlängen bis zu 250 m vermieden werden.

Die sinusförmig gekröpfte Ausbildung der Führungsbleche wurde von W. Arndt eingeführt, um die Reibung zwischen dem Band und den Führungsblechen wirksam zu verringern /ARN 79/. Nach dem Durchlaufen des Capstanbereiches ist für das Band, das nun in die zweite Ebene geführt wird, ein sogenannter Bandzugspuffer eingebaut. Bei Endloswickeln großer Länge, entsteht beim Start des Bandes hinter dem Capstan kurzzeitig eine Bandschleife. Durch das Anziehen der innersten Bandwindung beim Start muß erst der gesamte Wickel über die Reibungskräfte zwischen den Windungen beschleunigt werden, um das Band aus der Überführungsstrecke wieder auf den äußeren Umfang des Wickels zu ziehen. Bei optimierten Reibungskoeffizienten der Bandoberfläche bleibt bei begrenzter Beschleunigung des Anlaufes die Bandschleife in vertretbaren Grenzen. Sie muß aber gegen Verklemmen oder Verhaken gesichert werden, was durch einen Bandzugspuffer gewährleistet wird.

74

Der Bandzugspuffer stellt somit für das Band einen Ausbreitungsraum zur Verfügung, in dem sich eine entstehende Bandschleife geordnet entfalten und wieder auseinanderziehen kann, ohne darr ein Verklemmen oder Verhaken eintreten kann.

Außerhalb des Start/Stop-Vorganges ist eine eventuelle Schlaufenbildung ein sehr empfindliches Maß für die Laufeigenschaften des Bandes im Endloswickel.

Bei Endloswickeln mit Längen um 200 m ist die Bandlängenänderung im Temperatur und Feuchtebereich nicht mehr in einem starren Umfangssystem bei gleichbleibendem Bandzug auszugleichen. Aus diesem Grund wurde ein Umlenksteller in Längsrichtung der Kassette beweglich gestaltet, um den Umfang des Wickels der jeweiligen Bandlänge anzugleichen und einen konstanten Bandzug im Temperatur- und Feuchtebereich zu erhalten.

Diese Einrichtung erleichterte auch wesentlich das Einspulen des Bandes in den Endloswickel, da kleinere Längenunterschiede beim Verbinden des Bandes durch den beweglichen Teller ausgeglichen werden konnten. Das auf der

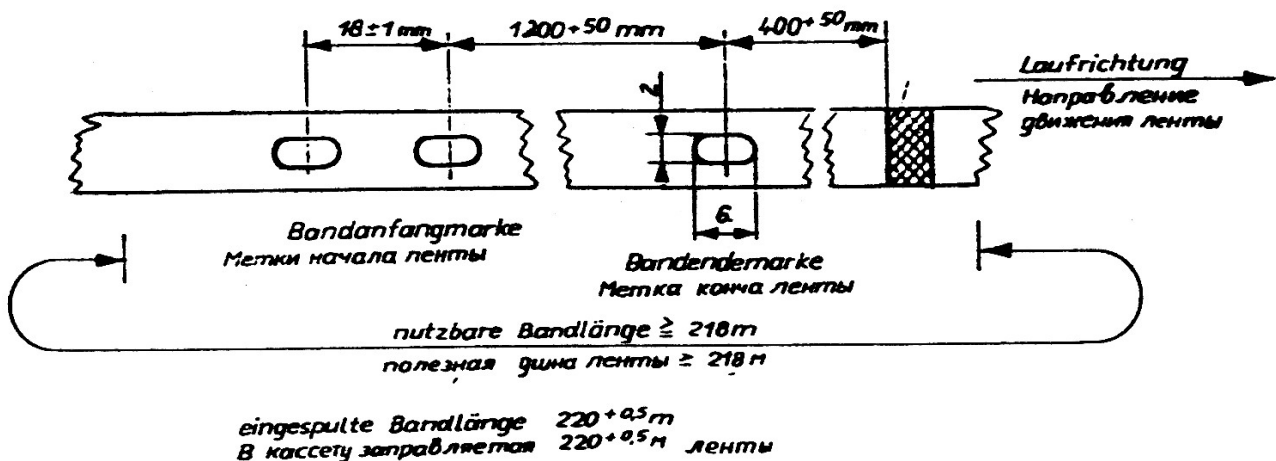
Kassette quer über den beweglichen Teller liegende U-Profilblech dient der Begrenzung der Tellerfederung nach innen. Die Begrenzung wird unter Normalbedingungen entsprechend der tatsächlichen Bandlänge im Wickel eingestellt. Für jeden Endloswickel ist die Verbindungsstelle der beiden Bandenden ein technologisches Problem. Die Verbindungsstelle muß über die gesamte Lebensdauer zuverlässig halten und soll möglichst keine Störungen in Bandlauf des Wickels durch Verdickung oder zusätzliche Reibstellen liefern. Bei der R3m-Kassette wurde nach langjährigen Untersuchungen und Erfahrungen zugunsten einer hohen Zuverlässigkeit auf die Verwendung einer metallischen Klammerverbindung entschieden, die beidseitig mit Klebeband überklebt und damit gesichert wird. Leider führt diese außerordentlich zuverlässige Verbindung zu einer etwas steifen und dickeren Verbindungsstelle als bei anderen Verfahren. Durch die in der Kassette realisierten großen Umlenkradien wirkte sich die Verdickung jedoch nur auf den letzten Metern des Bandeswickels als bandzugstörend aus. Dieses Verhalten wurde in Kauf genommen und bei der Festlegung des "Bandendebereichs" berücksichtigt.

75

In **Abb. 45**, einem Originalbild aus der Speicherbeschreibung, ist die Gestaltung des "Bandendebereichs" in der R3m-Kassette wiedergegeben. Die Bandverbindungsstelle ist in das letzte "nutzbare" Bandstück des Wickels gelegt. Damit hat die Verbindungsstelle bereits den Capstanbereich verlassen, bevor die eigentliche Bandendemarke in Form eines Langloches im Band den Bandstop am Bandende mit Hilfe einer Lichtschranke initiiert. Der Wickel kommt in dem Bereich von 1200 mm zwischen Bandende- und Bandanfangsmarke zum Stehen. Der Abstand ist so gewählt, daß auch bei höchster Geschwindigkeit des Bandes (120 cm/s) sowohl Stop als auch Start bis zur Sollgeschwindigkeit in diesem Bandbereich erfolgen kann. Durch die beiden hintereinander liegenden Langlöcher für den Bandanfang, kann unabhängig von der Vorgeschichte der richtige "Bandanfang" von der Befehlselektronik identifiziert werden. Die Länge der Langlöcher wurde entsprechend der bei höchster Bandgeschwindigkeit benötigten Ansprechzeit der Lichtschranke eingestellt.

Abb. 45: Bandendebereich R3m

*Bandverbindung
Место соединения ленты*



Zum besseren Verständnis der Funktionen des Antriebsblockes R3m und des Arretierungsmechanismus ist das kinematische Schema des Speichers in **Abb. 46** wiedergegeben.

Wie bereits beschrieben, wird der Endloswickel /1/ um die beiden Umlenksteller /2/ und /3/ geführt. Die innerste Wicklung /7/ wird am festen Umlenksteller /2/ aus dem Wickel gezogen, führt am Löschkopf /8/ vorbei und wird durch die Umlenkrolle /9/ in den Kopfraum gelenkt. Dort durchläuft das Band die Lichtschranke /10/ und die federnd ausgeführten Bandführungen /11/ und /12/, die eine reproduzierbare Bandlaufhöhe an den Magnetköpfen /13/ und /14/ garantieren. Über das System Capstan /15/ Andruckrolle /19/ wird schließlich das Band und der Wickel angetrieben.

76

Um eine hohe Stabilität und guten Rundlauf zu gewährleisten, wurde der Capstan selbst in vorgespannten Kugellagern mit größtmöglichem Abstand gelagert. Dazu wurde ein Lager oberhalb der Bandantriebsregion angebracht. In **Abb. 47** ist dieser Teil mit Lager und Vorspannfeder, deren Spannung eingestellt werden kann, oberhalb der Capstanantriebsrolle zu sehen. Die Capstanantriebsrolle /15/ wurde zum Erzielen eines geringen Schlupfverhaltens bei kleinen Andruckkräften mit einem Spezial-Raufilzgummi belegt. Dieser bereits bei früheren Einsätzen bewährte Spezialgummi garantiert als geschliffener Hartgummi einen sehr guten Rundlauf. Durch in den Gummi eingebrachte Baumwollfasern, aus der geschliffenen Oberfläche mikroskopisch herausragen, wird die gute Kraftvermittlung zum Rand und zur Andruckrolle bewirkt. Die Andruckrolle ist mit Weichgummi belegt und etwa 1,5 fach breiter als das Band ausgelegt. Damit wird bekanntlich die Antriebskraft von der Capstanantriebsrolle ober- und unterhalb des Bandes auf die Andruckrolle übertragen, die ihrerseits dann auch an der Rückseite des Bandes aktiv mit antreibt. Die Andruckrolle wird über eine Kipphebelkonstruktion mit der Feder /20a/ an die Capstanrolle angeedrückt. Die Andruckfeder /20a/ selbst wird über ein weiteres Kipphebelsystem /34/ und /35/ durch einen Elektromagneten /33/ freigegeben, der mit Einschalten der Arbeitsspannung anzieht. Beim Anziehen des Magneten wird die Kraft der Feder /32a/ überwunden, die so ausgelegt ist, daß im stromlosen Zustand, des Gerätes über den Angriffshebel /20/ die Andruckrolle gegen die Kraft

der Andrucksfeder abgehoben wird. Damit ist unter allen Umständen gewährleistet, daß in den Ruhezeiten des Gerätes die Andruckrolle nicht am Capstan anliegt und so die gefürchteten Unrundheiten durch Eindellungen des Gummis vermieden werden.

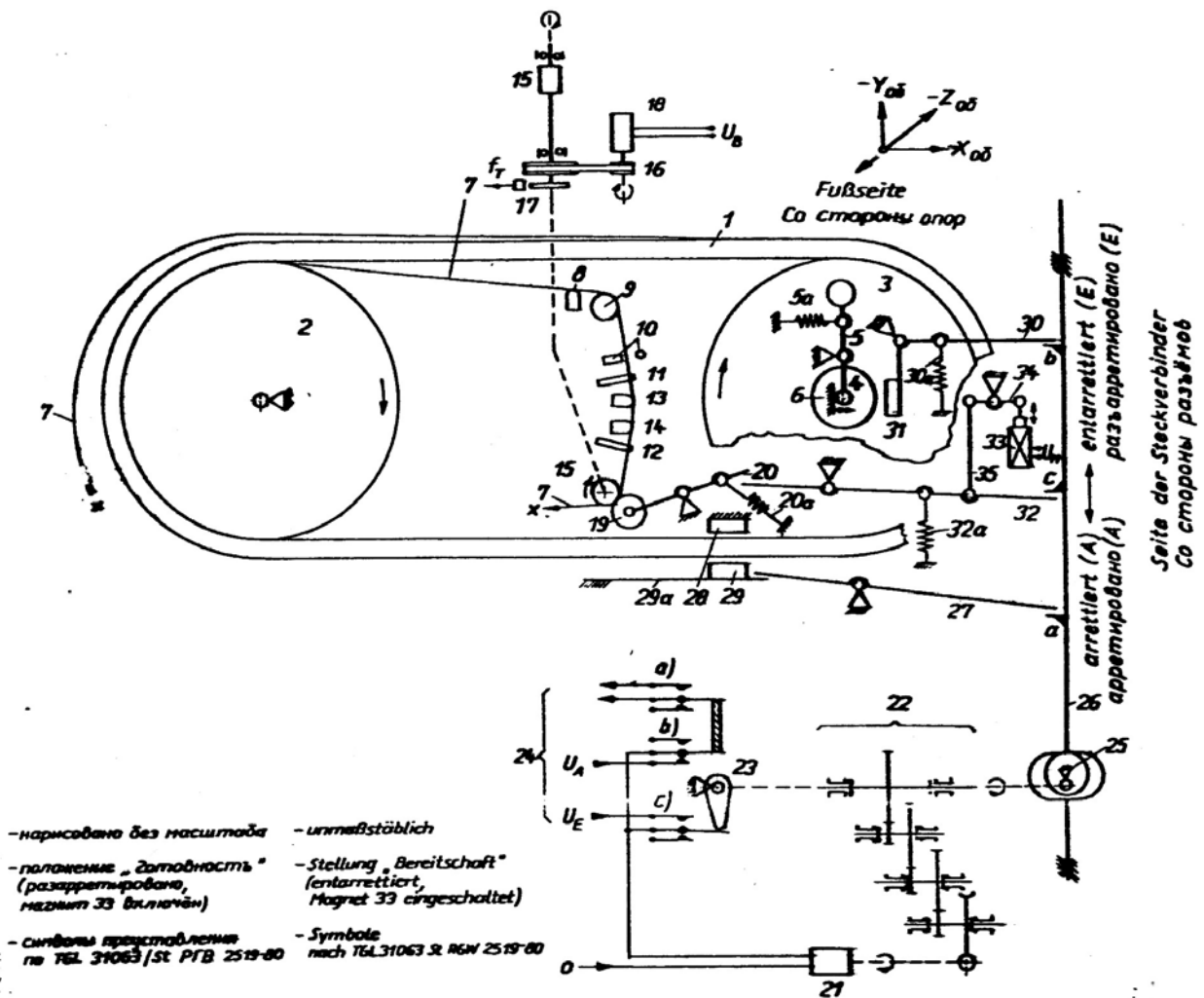
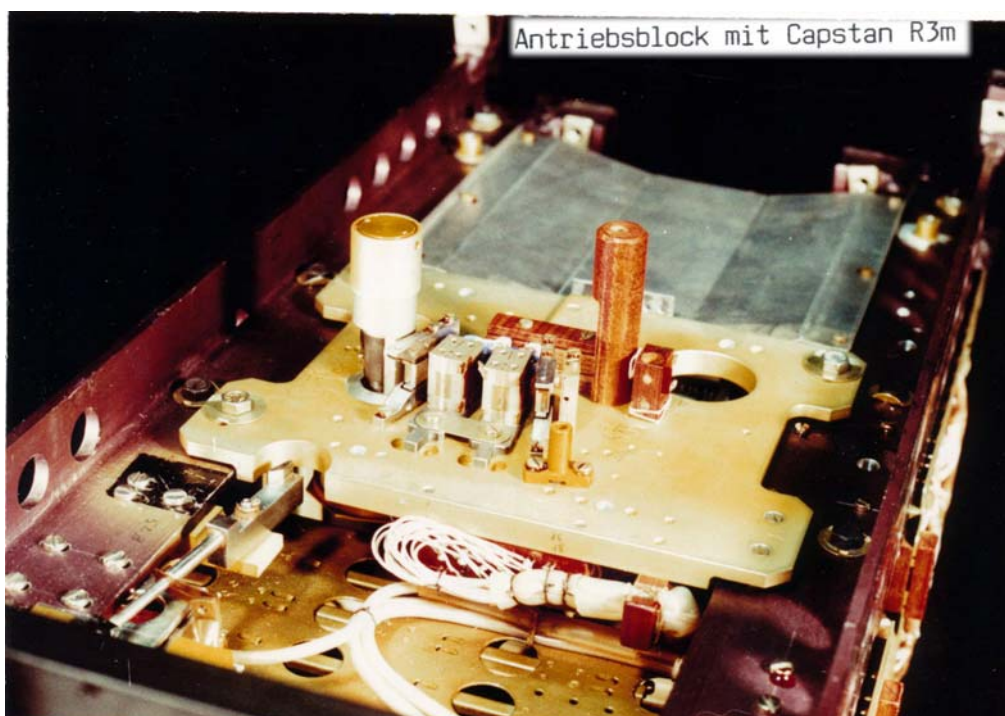


Abb.46: Kinematisches Schema des LW-R3m



Durch diese Lösung wird auch die Andruckrolle im Arbeitszustand stets mit einer gut einstellbaren und damit reproduzierbaren Andruckkraft der Feder /20a/ belegt und ist von den statistisch geringfügig unterschiedlichen Anzugslagen eines Andruckmagneten unabhängig.

Der Capstan ist mit dem Motor /18/ durch einen Riementrieb /16/ verbunden, der ein Übertragungsverhältnis von 1,29:1 besitzt. Der Riemen ist ein Flachriemen aus Polyurethan mit Polyesterfasereinlage, der im ZKI für Langlebensdauereinsätze entwickelt und bereits mehrfach eingesetzt wurde. Der Polyurethan-Flachriemen wurde im Gegensatz zu üblichen Antriebspesen nur mit einer Elastizität von etwa 1 % ausgestattet. Diese geringe Elastizität ermöglicht ein gutes Durchgreifen des geregelten Motors auf den Capstan, ohne niederfrequente mechanische Resonanzen befürchten zu müssen. Andererseits ist die Elastizität so groß, daß die eingestellte Riemenspannung ohne Nachspannvorrichtung über die Lebensdauer eingehalten wird. Von besonderem Vorteil ist die große Temperaturbeständigkeit der Parameter dieses Flachriemens, die von -20 grd C bis +50 grd C ausgetestet wurde. Dabei ist der in diesem Temperaturbereich ermittelte quasikonstante Schlupf dem gleichmäßig guten mechanischen Verhalten des Polyurethans an der Riemenoberfläche zuzuschreiben.

Unterhalb des Antriebsteilers des Capstans befindet sich ein von R. Glöß /GLö 83/ entwickelter Präzisionstachometer /17/, der in Spritzgußtechnologie hergestellt wird. Mit 180 Inkrementen pro Umdrehung können damit alle im R3m vorkommenden Geschwindigkeiten mit genügender Genauigkeit geregelt werden.

77

Als Antriebsmotor wurde nach intensiven Vergleichstests ein eisenloser Gleichstrommotor mit Metallbürstenkollektor vom Typ Escap 28 LP 21-222 ausgewählt, der vom Hersteller die geforderte Lebensdauergarantie besaß und für den Antrieb die notwendigen Gleichlaufeigenschaften in allen Geschwindigkeitsbereichen aufwies.

Für die Arretierung des Endloswickels, die zur Bandsicherung bei der Vibrationsbelastung dient, wurde eine Konstruktion geschaffen, die eine zuverlässige Funktion bis zu 1500 maliger Wiederholung des Arretierungszustandes garantierte. Sie besteht aus einem Antriebsteil, einem Exzentergestänge und aus mehreren Kipphebelsystemen.

Aus dem Kinematischen Schema, Abb. 46 ist die Arbeitsweise zu entnehmen. Ein Motor /21/ vom Typ DPM 20-Hi-08 aus sowjetischer Produktion treibt über ein Miniaturuntersetzungsgetriebe /22/ die Exzenter /25/ und /23/ an. Mit dem Exzenter /23/, wird über Mikroschalter der Motorlauf, und die Zustandsangabe - arretiert/entarretiert - geschaltet. Über den Exzenter /25/ wird ein Schiebegestänge /26/ bewegt. In **Abb. 48** ist der Arretierungsantrieb mit dem Schiebegestänge im Speicher bei abgenommener Kassette zu sehen. Sie sind unterhalb der Kassette parallel zum vorderen Flansch montiert. (Bild 48)

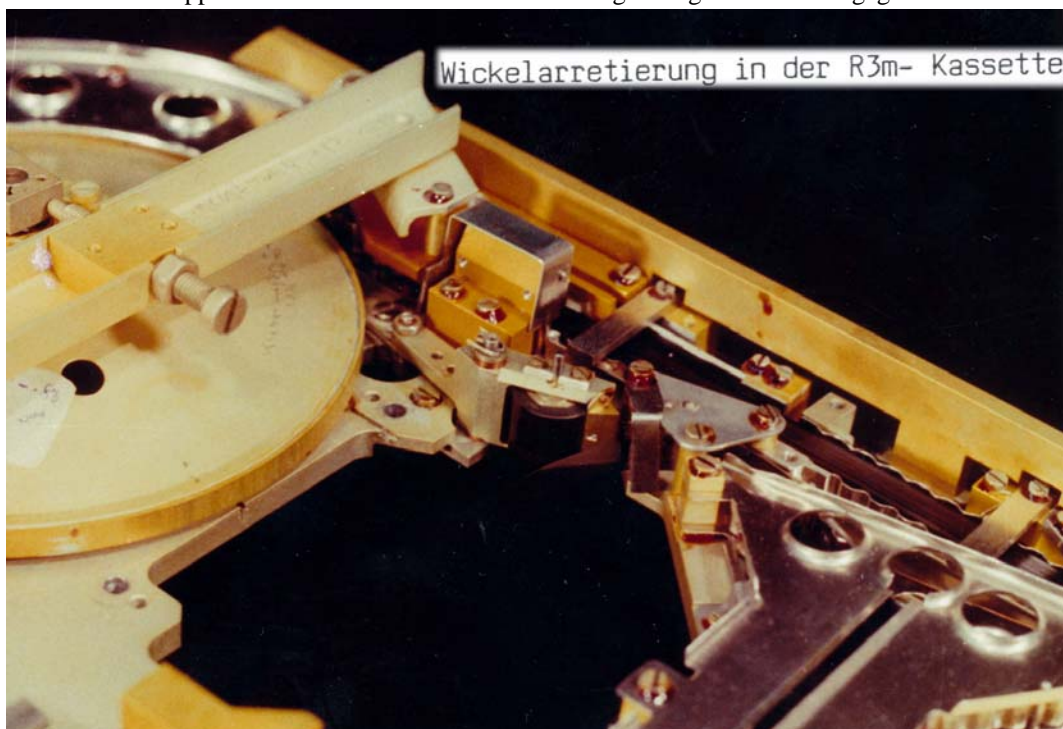


Das Schiebegestänge realisiert drei Funktionen:

1. Beim Arretieren wird der Kipphebel /27/ durch die Gestängenase /a/ freigegeben. Damit kann das Silikongummiformstück /29/ durch die vorgespannte Feder /29a/ den Bandwickel gegen das gestellfeste Silikongummiformstück /28/ drücken und so den Bandwickel; arretieren.

In **Abb. 49** ist dieses Detail aus der R3m-Kassette wiedergegeben. Um eventuelle Kleberscheinungen zwischen den äußersten Bandlagen und den Silikongummiformstücken zu vermeiden, sind letztere mit Längsnuten versehen, in denen Metalldrähte gespannt sind. Beim öffnen der Arretierung zieht sich der Silikongummi von der Bandoberfläche zurück, während die gestellfesten Metalldrähte die eventuell am Gummi haftenden äußersten Bandwindungen abheben.

2. Durch die Schiebegestängnase /c/ wird das Kipphebelsystem/32/, das für das Andrücken und Abheben der Andruckrolle zuständig ist, zwangsweise so geführt, daß die Andruckrolle unabhängig von der Stellung des Andruckrollen-Zugmagneten /33/ abgehoben ist. Durch Rückkopplung der Ansteuerung des Zugmagneten mit der Arretierungssteuerung /24/ wird vor jedem Arretieren der Magnet /33/ zwangsläufig abgeschaltet. Das Abheben der Andruckrolle bei der Vibrationsbelastung hat sich als vorteilhaft erwiesen. Da sich Motor und Capstan durch kleine Unwuchten beim Schütteln stark drehen können, auch gegen die normale Drehrichtung des Wickels, sind bei abgehobener Andruckrolle keine Schwierigkeiten mit dem Band zu für das Magnetband zu befürchten. Auch muß der Antrieb nicht zusätzlich arretiert werden, um bei arretiertem Band und drehendem Capstan keine Reibstellen der Bandoberfläche zu erhalten.
3. Mit der Schiebegestängnase /b/ wird das Kipphebelsystem 130/ freigegeben. Dieses drückt durch die vorgespannte Feder /30a/ einen Bremsklotz /31/ an den Bremsteller /4/ des beweglichen Umlenkellers /3/. Der Umlenkeller wird damit sowohl gegen, Drehung gesichert, als auch gegen den gestellfesten Anschlag /6/gedrückt, der sich oberhalb des Tellers auf der Kassette befindet. Durch diese Maßnahme wird vermieden, daß der auf dem Kipphebelsystem /5/ montierte Umlenkeller, dem über die Feder /5a/ der Bandzug des Wickels eingestellt wird, bei der Vibrationsbelastung in Eigen- bzw. Resonanzschwingungen kommt. Die Masse des beweglichen Tellers auf dem Kipphebelsystem /5/ ist durch ein Ausgleichsgewicht am Ende des Kipphebels kompensiert worden, um Lageunabhängigkeit und damit auch volle Funktion in der Schwerelosigkeit für die Federkraft /5a/ zu erreichen. In **Abb. 50.** ist dieser Kipphebel unter der Kassette mit dem Ausgleichsgewicht wiedergegeben.



78

Die Entarretierung erfolgt nun durch Einschalten des Motors /21/, der den Exzenter /25/ um weitere 180 grd dreht, und alle beschriebenen Funktionen umkehrt.

Durch die Eigenhemmung des Untersetzungsgetriebes, verbunden mit der Ausnutzung des Exzenters und dem bei der Arretierung vorgespannten Schiebergestänges, blieb die Arretierung auch bei erheblichen Überbelastungen bei den Vibrationsprüfungen stets im arretierten Zustand bestehen und ließ sich danach ohne Schwierigkeiten lösen.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß mit der vorliegenden. Konstruktion des Antriebsblockes, der Kassette und der Arretierungseinrichtung eine Mechanik geschaffen wurde, die gegenüber dem Gesamtvolumen des 200-MByte-Speichers nur etwa 1/5 des Raumes benötigt. Durch die extrem geringe Anzahl von drehenden Teilen, die in **Abb. 51** anhand des Antriebsblockes demonstriert werden soll., ist sowohl der Leistungsbedarf als auch die Zuverlässigkeit der Mechanik des Speichers optimal gestaltet und im internationalen Vergleich Spitzenniveau erreicht worden.

79

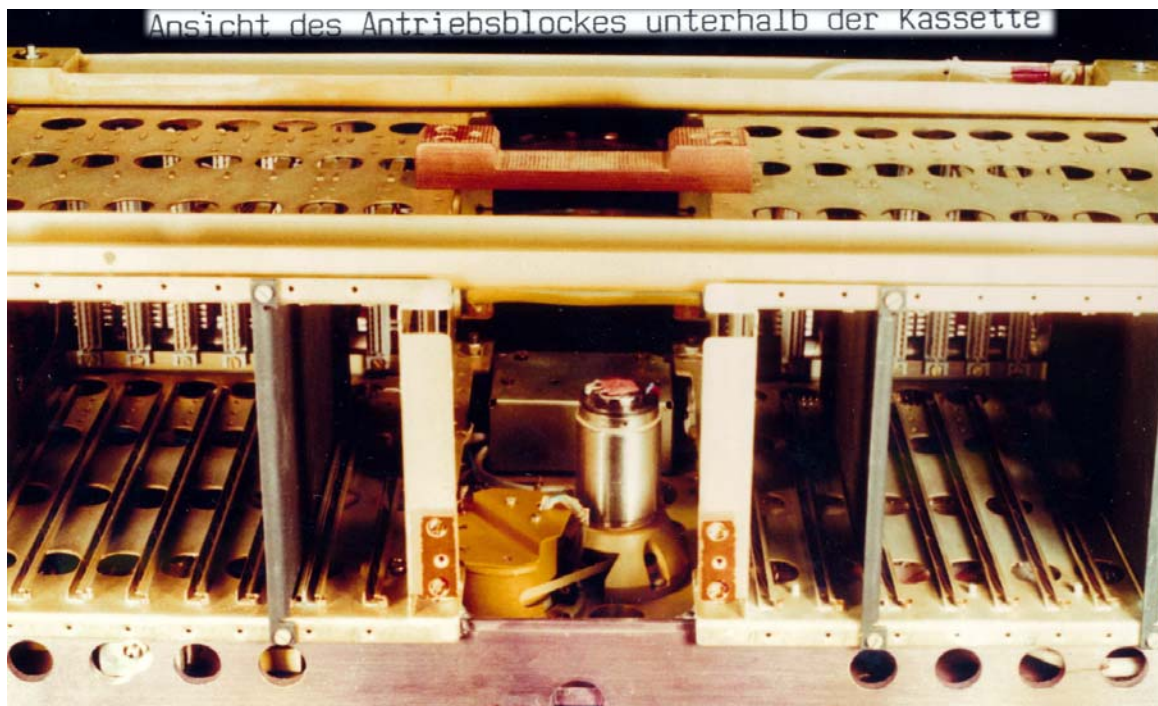
In **Abb. 51** ist zu erkennen, daß im Gegensatz zu den beiden Elektroneinschubbehältern rechts und links im mittleren Teil des Gerätes, wo sich die Teile des Antriebsblockes befinden, bis zu den abschließenden U-Profilen noch ungenutzter Raum zur Verfügung steht. Als sich aus den Einsatzuntersuchungen des Magnetbandes die Notwendigkeit für die Schaffung eines Trockenklimas im Laufwerk ergab, wurde dieser bis dahin freie Raum zur Unterbringung des inneren Adsorbers (/29/ in **Abb. 37**) benutzt.

Die Konzeption sah vor, daß grundsätzlich alle Luft, die durch Druckveränderungen in der Umgebung oder im Laufwerk zum Druckausgleich in das vorgetrocknete Gerät einströmte, von Feuchtigkeit und Staub befreit werden mußte. Für den Druckausgleich wurden deshalb definierte Bedingungen, geschaffen. Die hermetisch abgedichtete Hülle des Laufwerkes wurde dazu am vorderen Flansch mit einer Einlaßöffnung versehen. Diese erhielt innen und außen einen

Rohransatz, der im inneren des Gerätes mittels Schlauch mit dem Adsorber verbunden wurde. An Ausgang des inneren Adsorbers ist eine verschließbare Öffnung zum Geräteinneren vorhanden. Mit dieser Anordnung ist jeder Gasaustausch vom Inneren des Gerätes nach Außen und umgekehrt grundsätzlich nur über den Adsorber möglich. (Bild 50)



Der Adsorber besteht aus drei parallel nebeneinander liegenden Rohren, die so miteinander verbunden sind, daß durchströmendes Gas die volle Länge aller Rohre durchfließt. Die Rohre des Adsorbers sind mit dem außerordentlich effektiven Feuchtigkeitsadsorptionsmedium "Zeosorb" aus dem ZI für Physikalische Chemie der AdW der DDR gefüllt. Die Aufnahmekapazität des Adsorbers ist so bemessen, daß der Gasaustausch durch Erwärmung und Abkühlung des Laufwerkes, bei Flugzeugtransport oder bei Luftdruckschwankungen über den Zeitraum von mehr als 3 Jahren so abgesichert ist, daß nur absolut trockenes Gas in das Geräteinnere gelangt. (Bild 51)



Um bei der mehr als 1 jährigen Vorbereitungszeit und bei dem dabei wiederholt notwendigen öffnen des Gerätes den inneren Adsorber zu schonen, ist zusätzlich ein wesentlich leistungsstärkerer äußerer Adsorber entwickelt worden, der durch Verbinden mit dem Eintrittsrohr am vorderen Flansch dem inneren Adsorber vorgeschaltet wird. Der äußere Adsorber wird während der Erprobungszeit des Gerätes so an die Flanschplatten angeschraubt, daß die Adsorberrohre

parallel zur Längsrichtung oberhalb des Laufwerkes liegen. Damit ist durch eine kurze Schlauchverbindung eine einfache Kopplung mit dem Lufteintrittsrohr des Laufwerkes herzustellen. Der Ausgang des äußeren Adsorbers ist mit einem etwa 3 m langen offenen Schlauch versehen. Dieser garantiert, daß die bei Erwärmung des Gerätes auf 45 grd C ausgedrückte trockene Luft noch in diesem Schlauch verbleibt und bei Abkühlung des Gerätes und Rückfluß der Luft nicht zusätzlich zur Selbstdiffusion den Adsorber mit Feuchtigkeit belastet.

80

Mit diesen Maßnahmen konnte die Lebensdauer des äußeren Adsorbers unter Normalbedingungen auf 5 Jahre berechnet werden.

Zum Vortrocknen des geschlossenen Laufwerkes ist in der hinteren Flanschplatte eine weitere verschließbare Öffnung vorgesehen, von der mittels Schlauch über eine Pumpe der Eingang des äußeren Adsorbers angeschlossen wird. Durch Umpumpen der Innenluft des Laufwerkes durch den verbundenen Adsorberkreislauf wird etwa innerhalb einer halben Stunde im Gerät die erforderliche Lufttrockenheit von $<+10$ grd C Taupunkttemperatur erreicht.

Der äußere Adsorber ist in **Abb. 52** als roter Aufsatz zu erkennen. Drei mit "Zeosorb" gefüllte Rohre liegen parallel oberhalb des Laufwerkes. Ihre Verbindungsstellen sind gleichzeitig zu Tragegriffen für das Laufwerk ausgebildet worden.



81

4.4. Zuverlässigkeits- und Lebensdauersicherung des R3m einschließlich Prüfkomplex

Ein Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten zum R3m war die Zuverlässigkeits- und Lebensdauersicherung des Gerätes. Als besonders erschwerend erwies sich zu dieser Problematik, daß einerseits für die verwendeten elektronischen Bauelemente kaum Zuverlässigkeitskennwerte verfügbar waren und andererseits in der Mechanik vorwiegend Spezialteile mit geringer Stückzahl zum Einsatz kamen. Damit konnte eine rechnerische Abschätzung der Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Gerätes oder von Baugruppen nicht nach bekannter Weise durchgeführt werden. Eine Ausnahme bildete der Antriebsmotor von dem die Zuverlässigkeitsberechnungen anhand der Herstellerangaben vorgenommen werden konnten. Auf Grund dieser speziellen Bedingungen wurde für die Entwicklung und Fertigung des R3m ein Maßnahmekatalog erarbeitet, der in Auswertung der bisher vorliegenden eigenen Interkosmoserfahrungen, sowie Hinweisen und Mitteilungen anderer Fachkollegen einen zuverlässigen mechanischen und elektronischen Entwurf sowie eine flugmuster-taugliche Fertigungsqualität sichern sollte.

Wesentliche Maßnahmen aus dem Katalog waren:

- Es wurden grundsätzlich Bauelemente oder Materialien mit bekannt gewordener geringer Zuverlässigkeit und Lebensdauer eingesetzt
- Alle Bauelemente und Baugruppen wurden unter Grenzbedingungen geprüft und Dauertests unterzogen.
- Es wurde ein ausführlicher Zeichnungssatz mit verbindlichen Vorschriften für Fertigung, Justage und Prüfablauf erstellt.
- Die Gerätemontage in der Partnereinrichtung Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau wurde intensiv von den Entwicklern betreut und auftretende Fragen kurzfristig vor Ort geklärt.
- Für die Endmontage wurden Durchlaufprotokolle für die Baugruppen geschaffen, auf denen alle wichtigen, Arbeitsschritte, Prüfungen und der Einbau durch Unterschrift des Ausführenden als qualitätsgerecht bestätigt wurden.

- Fertig montierte und geprüfte Baugruppen wurden in Plastiktüten staubdicht eingeschweißt und so zwischenlagert.
- Für die Leiterplattenfertigung wurden besondere Lager, geprüfter Bauelemente geschaffen, Bestückungs- und Inbetriebnahmelisten mit persönlicher Quittung über die Qualitätsgarantie eingeführt und Durchlaufprotokolle für jede Leiterplatte angelegt.

82##

- Für die Leiterplattenbestückung und für das Verkleben in der Partneereinrichtung Dienstleistungseinrichtung der AdW / Gerätefertigung wurde in jeder Zwischenstufe eine gemeinsame Qualitätskontrolle durchgeführt.
- Es wurden grundsätzlich keine "unsicheren" Technologien zugelassen.
- Es erfolgte auf alle erkennbaren Schwachstellen, Abweichungen oder Fehlfunktionen in allen Entwicklungs- und Aufbauphasen eine konsequente Reaktion durch zusätzliche Entwicklungsmaßnahmen.
- Es wurde ein Antihavariekonzept gegen Fehlsteuerung des Gerätes "von außen" geschaffen, das mit fortschreitenden Erkenntnissen verbessert wurde.
- Durch Schaffung einer thermostabilen Spezialverpackung wurde ein sorgfältiger Schutz des Gerätes bei Transport und Lagerung gewährleistet.
- Die Qualitätskontrollunterlagen wurden von den zuständigen Themenleitern und vom Projektleiter kontinuierlich kontrolliert und bei Notwendigkeit präzisiert.

Eine wesentliche Aufgabe bei der Zuverlässigkeits- und Lebensdauersicherung war die Einhaltung bestimmter Temperaturgrenzen für die Geräte. Am empfindlichsten war der Magnetkopf, für den bekanntlich 50 grd C nicht überschritten werden durften. Für das CrO₂- Magnetband war als obere Grenze 60 grd C gegeben und für den Elektronikblock sollten aus Gründen der Lebensdauer der eingesetzten elektronischen Bauelemente 70 grd C nicht überschritten werden.

Um diese Forderungen unter den bekannten Bedingungen des Hermokontainers einzuhalten, wurden intensive Wärme-konditionierungsuntersuchungen von F. Lura und B. Lehmann in der Thermo-Barokammer des Instituts für Kosmosforschung der AdW durchgeführt. Dazu wurde das Wärmemuster des Speichers, das in seinem Aufbau dem zukünftigen R3m entsprach und in dem die Leiterplatten durch Wärmequellen aus Äquivalenzwiderständen nachgebildet waren, bei Unterdruck in den einzelnen Arbeitsregimen mit verschiedenen Außentemperaturen untersucht. Durch den Unterdruck konnten die Bedingungen der Schwerelosigkeit imitiert werden, in denen der Wärmeaustausch nur über Strahlung oder Wärmeleitung erfolgen kann.

Die Ergebnisse dieser Tests führten zu wesentlichen konstruktiven Änderungen bzw. Neugestaltungen der Geräte. So wurden die Kassette und damit auch die Magnetköpfe quasi kopfunter zwischen den Befestigungsfüßen des Laufwerkes installiert. Die Laufwerksfüße bildeten zur Montageplatte des Hermokontainers eine gute Wärmebrücke. Für diese Montageplatte war im Gegensatz zur Umgebungsluft eine Maximaltemperatur von 40 grd C garantiert worden.

83

Zusätzlich wurden die leistungsintensivsten Elektronikleiterplatten direkt gegenüber den Flanschplatten angeordnet, die ebenfalls für eine gute Wärmeableitung sorgten. Um einen größeren Wärmestau im Bereich der Elektronikkörbe im Laufwerk zu vermeiden, wurden alle Leiterplatten in metallischen Gleitschienen mit Metallfederdruck gelagert. Über diese konnte der Wärmestrom zu den Flanschplatten geführt werden. Die Wärmeabführung wurde zusätzlich durch Verwendung von Wärmeleitpaste an den metallischen Verbindungsstellen verbessert!

Der metallische Federdruck führte außerdem zur Dämpfung der Eigenresonanzen der Leiterplatten bei der Vibrationsbelastung.

In diesen Tests konnte mit hoher Sicherheit nachgewiesen werden, daß durch die getroffenen Maßnahmen bei den gegebenen Umgebungsbedingungen im Hermokontainer für die Magnetkopfregion innerhalb des Laufwerkes R3m 48 grd C nicht überschritten wurden.

Im Elektronikblock, der anfangs mit Plastesschienen für den Leiterkarteneinschub ausgerüstet war, ergab sich, daß zur Verhinderung von Wärmestaus ebenfalls metallische Gleitschienen mit Metallfeder und Wärmeleitpaste an den metallischen Verbindungsstellen als Wärmebrücken eingesetzt werden mußten. Nach Realisierung dieser Maßnahmen wurden im Elektronikblock 65 grd C in allen Arbeitsregimen nicht mehr überschritten.

Zur Kontrolle der Ergebnisse aus den geschilderten Maßnahmen und zum Nachweis der erreichten Lebensdauer des Speichers insgesamt, wurde aus der endgültigen Flugmusterkleinserie von 6 Geräten ein Muster vorgezogen und als sogenanntes Lebensdauermuster (KDI- Muster) aufgebaut und erprobt. Voraussetzung für dieses Experiment war, daß das KDI-Muster vom Entwicklungsstand her identisch mit den Flugmustern war und die Prüfergebnisse als repräsentativ für die Kleinserie gelten konnten. Mit diesem KDI- Muster wurde ein mit der sowjetischen Projektleitung abgestimmter Einsatztest durchgeführt, der die Lebensdauerparameter um 25 % überschreiten und alle Vibrationstypprüfungen und Klimabelastungen enthalten mußte.

Aus dem Entwicklungsverlauf des Gerätesystems "Fregatt" ergab sich, daß das KDI-Muster zusätzlich als Etalon zur Anschlußerprobung des Steuerblockes SU in Bulgarien und Moskau genommen werden mußte. Damit wurden von diesem Muster etwa 12 000 Banddurchläufe mit ca. 75 000 Start/Stop-Zyklen ohne Havarie realisiert. Der Transportweg des verpackten Gerätes konnte mit 15 000 Flugkilometern abgerechnet und damit der geforderte Nachweis für die Transportfähigkeit mit Düsenmaschinen erbracht werden.

84

Mit diesen Lebensdauerergebnissen des KDI-Musters, die in wesentlichen Teilen auch vom "Technologischen Muster" des Speichers nachvollzogen und bestätigt wurden, konnte nach Abschluß der Gesamterprobung "Fregatt" die Lebensdauergarantie für den Speicher auf 6 000 Banddurchläufe erhöht werden. Diese Maßnahme wurde notwendig, um die

Startfreigabe für das Experiment "Fregatt" zu erhalten, nachdem bereits in der Erprobungsphase mehr als 2 000 Banddurchläufe mit den Speichern absolviert worden waren.

Um das Problem, des schonenden und zügigen "Einfahrens" der Leiterkarten für die Flugmuster ohne spezielle Prüfvorrichtungen zu lösen, deren Entwicklung und Bau für die Kleinserie nicht möglich war, wurde ebenfalls das KDI-Muster mit eingesetzt. Dazu wurden die neuen, autonom vorgeprüften Leiterkarten im funktionierenden KDI-Muster einzeln eingesetzt und die Funktionsfähigkeit hergestellt. Im Flugmuster selbst wurde erst der KDI-Steckkartensatz eingebaut, um die Geräteverdrahtung und die fest eingebauten Platten zu überprüfen. Anschließend wurden die einzelnen KDI-Karten durch die im KDI-Muster eingefahrenen Flugmusterkarten sukzessive ersetzt und immer die Funktionsfähigkeit des Laufwerkes überprüft und hergestellt.

Die Methode war bei dem sehr komplexen Speicheraufbau sehr zeitsparend und garantierte, eine minimale Beschädigungsmöglichkeit der Flugmusterkarten in der Erprobungsphase.

Ein wesentlicher Bestandteil zur Sicherung der Arbeitsfähigkeit, der Zuverlässigkeit und Lebensdauer des Speichers ist die Entwicklung einer Kontroll- und Prüfapparatur (KIA). Mit der KIA müssen alle Befehls- und Arbeitsregime des Speichers ohne das eigentliche Steuergerät SU imitiert und überprüft werden können. Zusätzlich sollte auch eine Fehleranalyse des wiedergegebenen Datenstroms möglich gemacht werden, um die Fehlerrate des R3m nachweisen zu können.

Da die Stromversorgung des R3m durch das bulgarische Schaltnetzteil VIP WSU erfolgte und dessen Störpegel das Fehlerverhalten des Speichers beeinflussen konnte, mußte auch dieses Gerät mit in die Prüfkonzeption einbezogen werden.

Als Grundidee zur Prüfung wurde das Aufzeichnen eines generierten Pseudorandommusters von 215 Byte, das regelmäßig wiederholt wurde und damit in allen bits bekannt war, zugrunde gelegt. Bei der Wiedergabe konnte das bekannte künstliche Muster relativ leicht auf Fehler untersucht werden.

85

Als Hauptproblem der Prüfung erwies sich die Tatsache, daß bei einer Datenkapazität von 200 MByte des Speichers und bei einer Wiedergabegeschwindigkeit von 4 bzw. 8 Kbit/s allein für eine Wiedergabe des vollständigen Speicherinhalts 111 bzw. 55 Stunden benötigt wurden. Dieses Problem konnte nur durch ein Programm abgestufter Teilprüfungen gelöst werden.

Weiterhin zeigte sich, daß bereits bei der Prüfung und Testung des Gesamtsystems "Fregatt" eine Restauration des vollständigen Videobildes aus den einzeln gelesenen Spuren des Speichers notwendig war, um Steuer-, Belichtungs-, Abbildungs- und Speicherfehler im Komplex kurzfristig beurteilen zu können. Da sich die Partner außerstande erklärten, die von ihnen übernommene Aufgabe der Bilddatenauswertung des Experiments "Fregatt" vom Zeitpunkt nach dem Start auf die Entwicklungsphase der Teilgeräte vorzuziehen, wurde diese Aufgabe zusätzlich vom ZKI übernommen. Die Prüfphilosophie des ersten Stufenprogramms für den R3m-Speicher wurde in Zusammenarbeit mit K. H. Schmelowsky aus dem Institut für Kosmosforschung erarbeitet. Unter seiner Leitung wurde auch das erste Prüfgerät, KIA 1, von B. Weise aus dem gleichen Institut geschaffen.

Das Stufenprogramm der Speicherprüfung bestand nun darin, daß mit KIA 1 alle Befehlszustände des Speichers entsprechend der Befehlsschnittstelle zum Steuergerät SU einschließlich einer generierten Musteraufzeichnung zu verwirklichen waren, um die Funktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit überprüfen zu können. Gleichzeitig diente die KIA 1 als Interfacereferenz zwischen R3m und Steuergerät SU.

Von den wiedergegebenen Daten sollten vorerst nur die für die Bildrekonstruktion besonders wichtigen Daten, wie Bildnummer, Dateinummer, Spurnummer und Blocknummer erkannt und die Anzahl der falschen bzw. nicht erkannten Nummern angezeigt werden. Das richtige Finden der Bild-, Spur- und besonders der Dateinummer, die ja 5 fach in jedem Dateikennzeichen enthalten ist, garantiert bekanntlich den Start/Stop-Lesemechanismus für die Wiedergabe und beeinflußt immerhin einen Datenumfang 180 000 bit. Damit erhielt sie bei der Prüfung die erste Priorität. Das richtige Finden der Blocknummer, zeigte an, daß bei eventuellen Synchronfehlern eine Neusynchronisation möglich war. Mit der Blockmarke konnten Synchronfehler in ihrer Auswirkung im Mittel auf die Hälfte der Blocklänge von 530 bit reduziert werden. Die Bitfehlerprüfung sollte schließlich getrennt über die bereits beschriebenen Möglichkeiten des "Technologischen Steckers" des Laufwerkes erfolgen, über dessen Anschlüsse war das Aufzeichnen und nachträgliche Lesen eines beliebigen Musters auf jede der 15 Spuren des Speichers vorgesehen und konnte mit kleinen Laborinbetriebnahmegegeräten realisiert werden

86

Die nachträgliche Forderung der Nachrichtentechniker des Phobosexperiments nach Einbau eines zusätzlichen Standardsynchronwortes von 64 bit Länge nach jeweils 960 Datenbit in den Wiedergabedatenstrom des R3m-Speichers, überstieg die Leistungsfähigkeit der bis dahin vorbereiteten Lösungen zur Datenaufbereitung nach der beschriebenen Stufenlösung.

Das war ein weiterer Grund, kurzfristig eine komplexere Datenprüfvariante aufzubauen, die auch gleich in der Lage sein sollte, die Aufgabe der Bildrestauration mit zu übernehmen. Diese komplexe Aufgabe war jedoch nur durch ein Rechnersystem mit Bildverarbeitungsmöglichkeiten zu lösen.

Für den Gesamtprüfumfang wurden insgesamt 5. Geräte dieses Typs an den verschiedenen Prüfstellen des Systems "Fregatt" bis zum Start benötigt. Es mußte daher für dieses Gerätesystem der Aufwand minimiert und die Transportfähigkeit gesichert werden.

Da in der DDR zu diesem Zeitpunkt kein kommerzielles Gerät für diese Aufgabe zur Verfügung stand, wurde unter Themenleitung von D. Hallmann unter Anwendung der ZKI-Erfahrungen zur digitalen Bildverarbeitung, ein spezielles Bildverarbeitungssystem auf Basis des Robotronrechners PC 1715 als "KIA-WSU" konzipiert und aufgebaut. Das Gerätesystem stützte sich auf das im ZKI entwickelte und gefertigte Graphiksteuerteil GST, das einen internen Bildspeicher von 768x512 Pixel mit 8 bit Tiefe/Pixel besitzt.

Durch die positiven Erprobungsergebnisse und die nachgewiesene Eignung wurde die KIA WSU auch zum Prüfen der Navigationsbilder benutzt, die vom Bordspeicher "Morion" aufgezeichnet werden. Weiterhin wurde dieses System für die Quick-look-Datenauswertung am Datenempfangsort Ewpatorija vorgesehen.

In **Abb. 53** ist das Blockschaumbild des R3m-Kontroll- und -Prüfgerätes, KIA WSU, dargestellt.

Die neue KIA WSU bestand aus zwei, nach Einsatzfällen getrennten Varianten. Der reine bildverarbeitende Teil, als KIA WSU 2 bezeichnet, setzte sich aus dem PC 1715 mit Drucker K 6313, einem umgerüsteten Farbfernseher Colortron 4000/2 als Farbmonitor und dem Graphiksteuerteil GST zusammen.

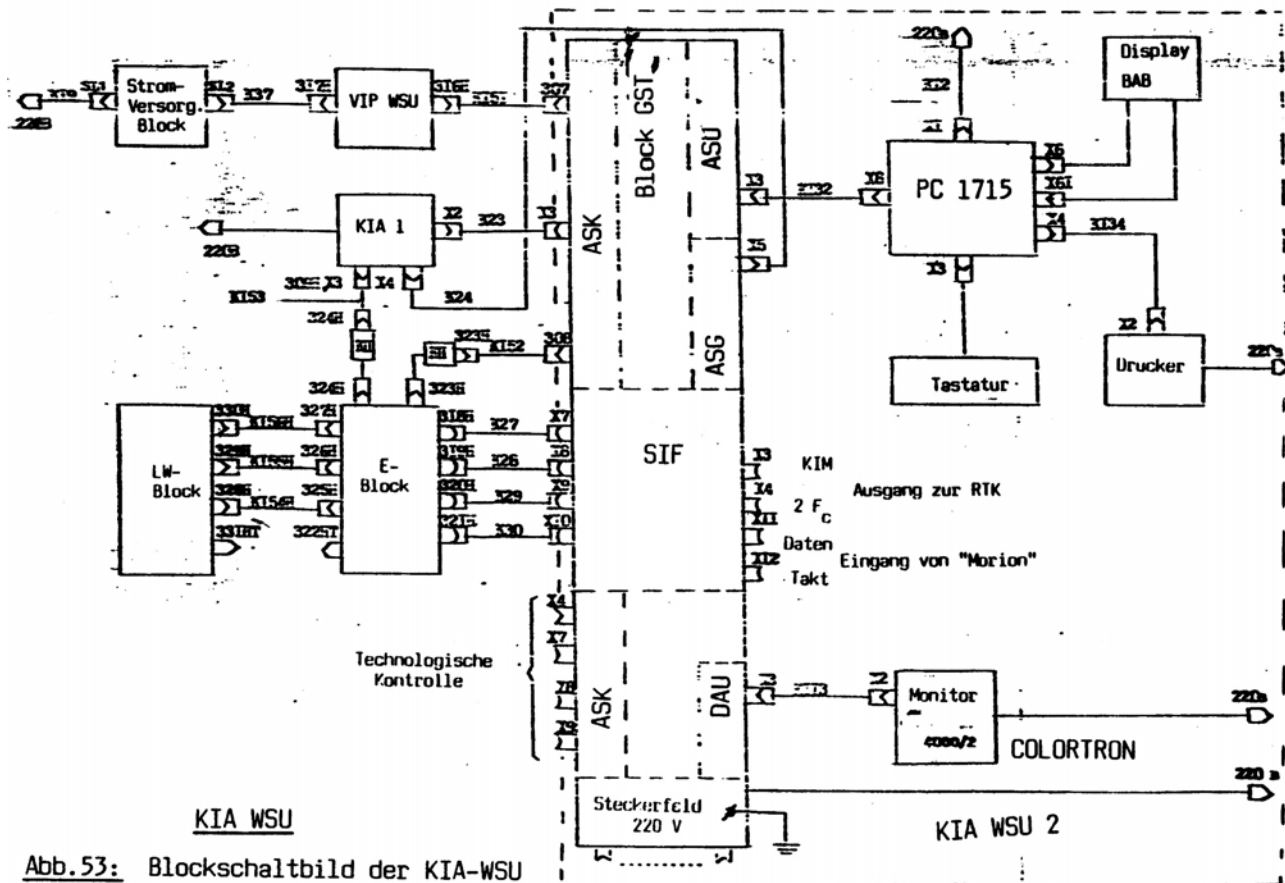


Abb.53: Blockschaumbild der KIA-WSU

87

Diese Variante wurde in der Komplexprüfung des Systems "Fregatt" bei der Zusammenschaltung in Moskau und bei der Endprüfung in Baikonur eingesetzt. Sie stellt auch die Quicklook-Variante für den Datenempfang in Ewpatorija dar. Für die Verbindung des Personalcomputers mit der Graphik-Steereinheit GST wurde eine Kopplungsplatte KOP entwickelt, mit der die Anpassung des PC171-Systembusses an den K1520-Systembus der Graphiksteereinheit realisiert wurde. Sie ist innerhalb des PC 1715 an dem für eine Zusatzplatte vorgesehenem Platz installiert worden.

Die Graphiksteuerung selbst wurde durch 5 Einschübe ergänzt, die für die Gewährleistung der Prüfanschlüsse und -aufgaben des Komplexes benötigt wurden. Der Einschub ASU, über den die Verbindung zur Platte KOP verlief, enthielt zusätzlich die Interface-Uhr, die für alle Aufgaben der Programmsteuerung benötigt wird. Die Systemzeit wird auf einem zusätzlichen Display am GST-Block angezeigt. Der Einschub DAU gehört ebenso wie ASG zur Grundausstattung des GST-Blockes. Der Einschub DAU realisiert die Monitorausgabe. Vom Einschub ASG wird die Verbindung zwischen dem K1520-Systembus und dem Controller der Graphikeinheit hergestellt.

Auf dem Einschub SIF, dessen Funktion später beschrieben werden soll, waren die Daten- und Takteingänge vom Datenempfänger der Radiolinie (oder dessen Imitator) und vom Datenein- und -ausgang des Bordspeichers "Morion" mit galvanischer Trennung zum Stromkreis der KIA installiert.

Mit dieser Ausbauvariante, KIA 2, wurden alle Systemprüfungen, für "Fregatt" nach Einbau in den Satelliten vorgenommen, wo die Datenverbindung nur über den Sender/Empfängerkomplex, wie beim, realen Datenempfang in Ewpatorija, möglich war.

Für die eigentliche autonome Speicherprüfung wurde die voll ausgerüstete Variante benötigt. Dafür war die bereits existierende KIA 1 zum Ansteuern des Speichers über das Kabel X 23, parallel zur vorhandenen Handeingabe der Befehle, an den Rechner zur programmierbaren Steuerung angeschlossen worden.

Wie bereits erwähnt, mußte auch das bulgarische Schaltnetzteil VIP WSU für die Stromversorgung des R3m mit eingebunden werden. Dazu war noch ein "Imitator" der Bordspannung mit (27 +4/-3)V notwendig, der durch ein regelbares Gleichspannungsnetzteil vom Typ 3217 realisiert wurde.

88

Das Interface zum Ansteuern der KIA 1 und der VIP WSU wurde vom Einschub ASK im GST-Block verwirklicht. Über diesen Einschub wurde auch die Versorgungsspannung von der VIP WSU zum Speicher geschleift und die Übernahme der Telemetriewerte vom Speicher zum KIA-Komplex über das Kabel K 152 ermöglicht. Der in den Telemetriewerten enthaltene Analogkanal zur Übertragung des Motorstromes wurde im GST-Block direkt durch ein Analoginstrument angezeigt.

Von der KIA 1 werden während der Aufzeichnung Nummern der abgeschlossenen Bilder ausgegeben. Sie werden über das Kabel K 24 zum Einschub ASG geführt, wo sie zum Abgriff durch den Rechner zur Verfügung stehen.

Der Speicher R3m, dessen beide Blöcke durch die Kabel K 156, K 155 und K 154 verbunden sind, erhält seine Befehle und Steuerungsinformationen über das Kabel K 153 von KIA 1. Spannungsversorgung und Telemetriewerteübermittlung laufen über das Kabel K 152 zum ASK-Einschub. Die doppelt ausgeführten Ausgänge für Daten und Takt (2Fc) des Wiedergabesignals werden parallel über die Kabel K 27, K 28, K 29 und K 30 an den Einschub SIF geführt. Da diese Signale bekanntlich bereits im Elektronikblock des R3m galvanisch getrennt wurden, sind diese SIF-Eingänge im Gegensatz zu den Eingängen von der Radiolinie bzw. von "Morion", direkt ausgeführt und erlauben eine Dateneingabegeschwindigkeit bis zu 250 Kbit/s. Im Einschub SIF kann durch Programmierung das jeweils gewünschte Signalaardaten/Takt zur Weiterverarbeitung durchgeschaltet werden. Der ausgewählte Eingang ist ohne zusätzliche Verarbeitungsschritte noch einmal parallel zum Einschub ASK geführt, wo er zur technologischen Kontrolle des Eingangssignals genutzt werden kann. Diese Ausgänge können auch zum Registrieren des in die KIA einlaufenden Datenstromes auf einen Digitalmagnetbandspeicher mit 4 bzw. 8 kHz Datenrate aufgezeichnet werden.

Auf der Rückseite des GST-Blockes ist schließlich ein Steckerfeld (220 V) angebracht, über das alle Komponenten des KIA-Komplexes einschließlich eventuell notwendiger Prüfgeräte gespeist werden.

Für die Zusammenschaltung aller Kontroll- und Prüfgeräte bei der komplexen Satellitentestung ist am GST-Block ein zentraler Masseanschluß vorgesehen.

Zur Arbeit mit diesem KIA-Komplex wurde ein spezielles Software-Paket geschaffen, das über Menutechnik alle Arten der Aufzeichnungs- und Wiedergabekommandierung des Speichers durch automatische Ansteuerung der KIA 1 ermöglicht. Dieser Teil, der auch die Kommandierung des Schaltnetzteils VIP WSU enthielt, wurde als "KIA 1" bezeichnet und von F. Ristau entwickelt.

##89 ##

Für die online-Auswertung des Datenstroms nach der ordnungsgemäßen internen Datenstruktur und die Restauration eines ausgewählten Farbauszuges aus einer Wiedergabeseance stand das Programm „KIA 2“ mit einem Umfang von etwa 32 KByte zur Verfügung, das von L. Paul geschaffen wurde und das den Hauptteil der software-Arbeiten repräsentierte. Weiterhin wurden verschiedene kleinere Programme zum direkten Einschreiben des Datenstromes in den Graphikspeicher mit Sichtbarmachung des Musters auf dem Farbmonitor mit Geschwindigkeiten bis 250 kHz, sowie für die Analyse der in den Graphikspeicher eingelesenen Daten nach Datei- und Blockkennzeichen und der bit-Länge von Kennzeichen und Blöcken von den software-Autoren geschaffen.

Mit diesem Instrumentarium war eine vollständig Speicherprüfung in allen Entwicklungsetappen des R3m und des Experiments "Fregatt" möglich.

Von besonderer Nützlichkeit erwies sich die Möglichkeit, den Datenstrom mit 250 Kbit/s in den Graphikspeicher einzulesen und nachträglich bitweise im offline-Betrieb auswerten zu können. Mit dieser Methode konnte der mit Normalgeschwindigkeit von 40 cm/s im Laufwerk gelesene Datenstrom direkt ohne Zwischenspeicherung auf den Wechselpuffer des Elektronikblockes vom "Technologischen Stecker" des Laufwerkes in die KIA eingelesen werden. Nur auf diese indirekte Weise war es möglich, den Aufzeichnungstrakt des Rom, insbesondere die interne Datenstrukturierung ohne Spezialmeßgeräte zu überprüfen. Durch die Länge der Dateien und Blöcke, die auch die Standardspeicherlängen von Logikanalysatoren übersteigen, ist die online-Prüfung des Aufzeichnungsdatenstromes auf die Richtigkeit der internen Datenstrukturierung bei Datenraten von etwa 550 Kbit/s mit Standardmeßgeräten direkt nicht möglich.

Durch die regelmäßige Wiederholung des Aufzeichnungsmusters aus der KIA 1 konnte auch in diesem Fall bei entsprechender Zeilenlänge der Monitordarstellung des Datenstromes ein Bildmuster erzeugt werden, dessen gut erkennbare "Störungen" auf Fehler hinwiesen, die nachträglich analysiert werden konnten.

Bei der online-Auswertung des Datenstromes mit Bildrestauration zeigte sich, daß durch das Auftreten von Synchronfehlern im Datenstrom, in der Regel durch zusätzliche bits am Ende von Dateien oder Blöcken nach Drop-out-Fehlern erzeugt, die Gruppenkodedemodulation gestört wurde. Bei der begrenzten Rechnerleistung des PC 1715 war für die online-Analyse unbedingt hardware-Unterstützung für die Nutzung der ständigen Neusynchronisationsmöglichkeit des Datenstromes bei jeder Blockmarke und für das Ausblenden des zusätzlichen 64 bit-Synchronwortes der Radiolinie notwendig.

90

Aus diesem Grund in dem Einschub SIF neben der bereits erwähnten galvanischen Trennung der Eingänge von Empfänger der Radiolinie und von "Morion", der Auswahl der jeweils benutzten Eingänge mit der Möglichkeit der Takthalbierung und Phasendrehung der Daten, die durch die Eigenschaften des Empfängers notwendig wurde, eine Erkennungs- und Filtereinheit auf Schieberegisterbasis eingebaut. Dabei wird der eingehende Datenstrom auf das Auftreten des 32 bit-Synchronanteils des Radioliniensynchronwortes geprüft. Beim Erkennen werden dann die 64 bit des

gesamten Synchronwortes aus dem Datenstrom ausgeblendet und müssen bei der Softwareanalyse nicht mehr beachtet werden.

Über ein zweites Schieberegister wird der Datenstrom auf die Synchronmarken der Datei- und Blockkennzeichen überwacht, die sich bekanntlich in Länge und Struktur unterscheiden. Mit jeder erkannten Blockmarke und bei den durch Programmierung auswählbaren Kombinationen der Dateimarke wird über eine SIO zusätzlich zum Datenstrom ein Synchronisationsimpuls für die weitere Datenauswertung geliefert. Bei der Erprobung hat sich herausgestellt, daß für die Erkennung eine Beschränkung auf die 2. Dateimarke bei bitfehlerarmer Wiedergabe und Datenübertragung ein Optimum für die Synchronisation darstellte.

Durch diese Synchronisationshilfe konnte die software-Lösung voll auf die Analyse der Datei- und Blockkennzeichen sowie auf den Bildaufbau konzentriert werden. Mit der Überwachung der Blocklängen wurde im Ergebnis bei einem auftretenden Synchronfehler in der Regel bereits der folgende Block wieder richtig erkannt.

Bei der Wiedergabe wurden auf dem Display die Analyseergebnisse der internen Datenstruktur und die Nummern der nicht erkannten Blöcke entsprechend Tabelle 20 wiedergegeben.

Dabei wird die Dateinummer (File) a entsprechend ihrer Anzahl im Dateikennzeichen bei Fehlerfreiheit 5 mal aufgeschrieben. Die Bildnummer b kann 3 mal erkannt werden und die Spurnummer c 2 mal.

Die Richtigkeit der 3 Synchronmarken im Dateikennzeichen wird mit R angezeigt. Bei Fehler wird W ausgegeben.

91

Die nichterkannten Blöcke werden in Listenform als Missing blocks after: xxx ausgedruckt.

Tabelle 20: Displayausgabe bei der Datenstromanalyse

File	Picture	Syn	Track
a	b	R(W)	c
a	b	R(W)	c
a	b	R(W)	
a			
a			

Mit dieser Ergebnisanalyse läßt sich sehr schnell ein guter Überblick über die Wiedergabequalität und Funktionssicherheit des Speichers erlangen.

Parallel zu dieser Analyse wird auf dem Farbmonitor ein Farbauszug eines wählbaren Bildes, das im Wiedergabezyklus enthalten ist aufgebaut.

Unterhalb des Bildes werden die Daten aus der schnellen Speichertelemetrie, die in den Blockkennzeichen bzw. in den Dateiendekennzeichen enthalten sind, in einem festen Raster wiedergegeben und ermöglichen die Verfolgung der Betriebsdaten des Speichers, insbesondere die Erwärmung des Gerätes.

Letzteres ist sehr wertvoll für die Quicklook-Datenauswertung am Empfangsort, wo die Temperaturentwicklung im Laufwerk des R3m bei der 2 Stunden beanspruchenden Standardwiedergabe genau verfolgt werden und bei erkennbarer Überhitzung entsprechende Maßnahmen rechtzeitig eingeleitet werden können.

In **Abb. 54** ist die KIA-WSU im Einsatz m Klimatest des R3m gezeigt. Neben den einzelnen beschriebenen Geräteteilen sind auf dem Farbmonitor das Testbild und die Telemetrieleiste und auf dem Display die Kennzeichenanalyse zu erkennen.

Mit den Kontroll- und Prüfkomenplexen KIA-WSU wurden alle Tests und Erprobungen der R3m- Speicher und des Lebensdauerumsters durchgeführt. Die mit diesem Gerätekomplex geschaffenen Prüfmöglichkeiten erlaubten nicht zuletzt die erfolgreiche Entwicklung und die qualitäts- und termingerechte Bereitstellung des Tiefraumspeichers R3m für das Phobosprojekt.

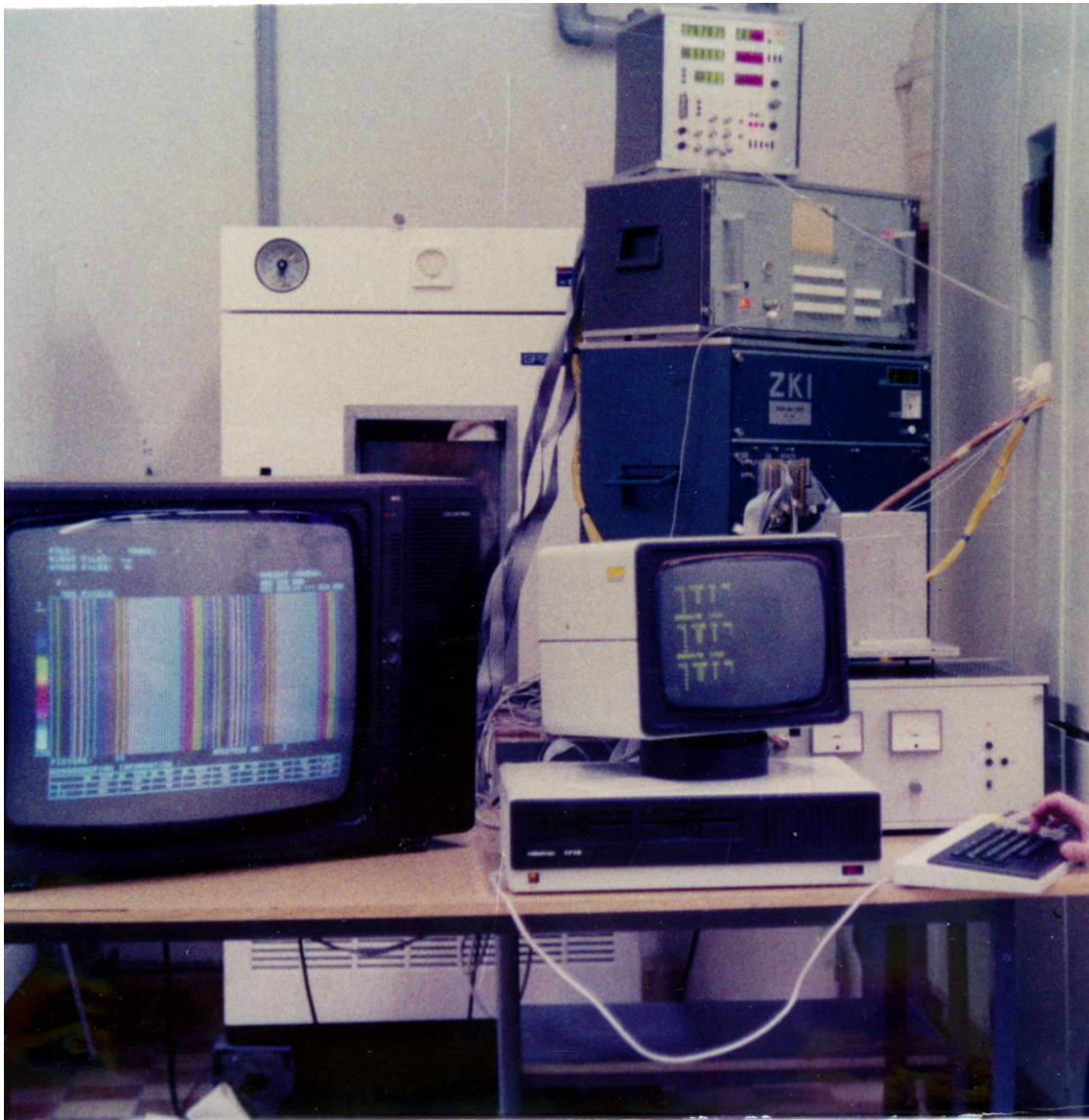
92

Erste Ergebnisse

Bei der abschließenden Systemerprobung des Experimente "Fregatt" im Mai 1988 am Startplatz in Baikonur wurde von der internationalen Abnahmekommission die volle Funktionsfähigkeit und Startbereitschafe von "Fregatt" im Satellitenverbund geprüft und bestätigt. Anschließend wurden vor der Konservierung der Sonden die R3m- Speicher arretiert und so auf den Start vorbereitet.

Bereits wenige Stunden nach dem Start am 7.7.1988 und am 12.7.1988 wurden die Sonden in Betrieb genommen. Zu den ersten Aktivitäten gehörte die Entarretierung der R3m-Speicher mit anschließendem Umspulen. Die von diesen Aktionen erhaltenen Telemetrieübertragungen bestätigten die richtige Ausführung der Befehle. Damit war der Beweis erbracht, daß die Maßnahmen zur Sicherung des Bandwickels gegen Schlaufenbildung und Verkleben richtig und ausreichend gewesen waren. Bedenken waren durch die wesentlich frühere Arretierung der Speicher bei sommerlichen Temperaturen in Baikonur gekommen, da die vereinbarte maximale Arretierungszeit von 30 Tagen bis zum Start fast um den Faktor 2 überschritten wurde.

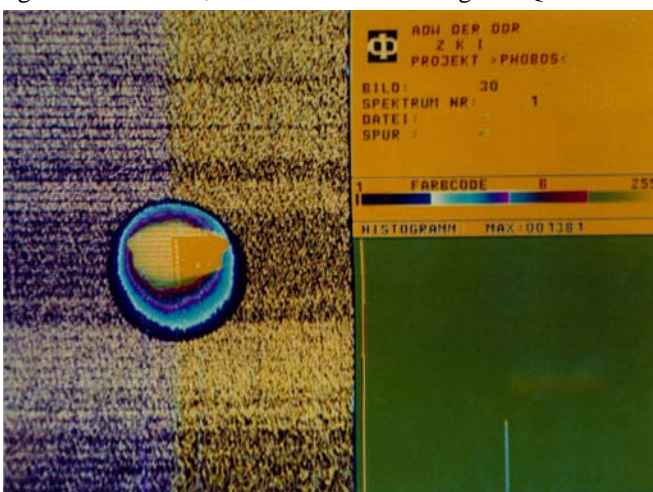
Am 4. und 5. August 1988 wurde in beiden Sonden das Experiment "Fregatt" zu Kalibrierungsaufnahmen mit der eingebauten geeichten Vergleichslampe eingeschaltet. Dabei wurden von der Lampe, die über den Spiegelverschluß der Videoobjektive gingspiegelt wurde, in allen 3 Kanälen Aufnahmen gemacht und im R3m-Speicher aufgezeichnet. Die Wiedergaben von beiden Sonden Phobos 1 und 2 wurden in Ewpatorija neben der offiziellen Registratur von der KIA WSU im Quicklook-Verfahren ausgewertet. Zusätzlich wurden die Aufnahmen über den technologischen Kontrollstecker der KIA auf einem Spezialtonbandgerät des ZKI registriert. Die mit Hilfe der KIA WSU restaurierten Bilder der Kalibrierungslampe sind in den **Abb. 55** und **56** wiedergegeben. Die Bilder sind nicht bildverarbeitungsgemäß überarbeitet, sodaß aus den wenigen Störungen die insgesamt gute Qualität der Aufnahmen zu erkennen ist.



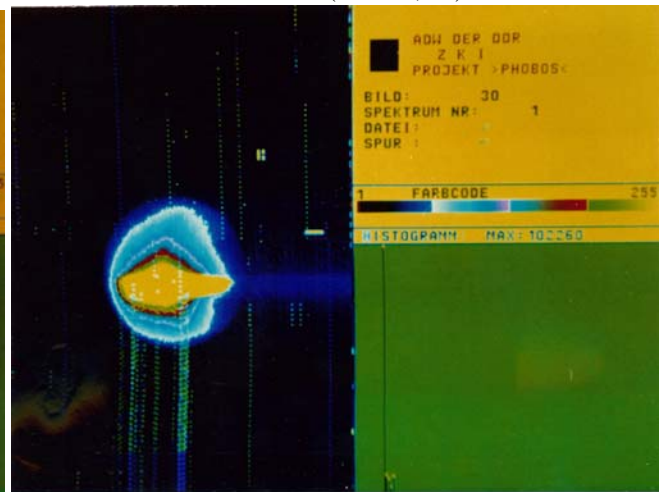
KIA-WSU im Einsatz beim Klimatest R3m

Aus diesen Übertragungen, die insgesamt in einwandfreier Qualität erhalten wurden, ging die volle Funktionsfähigkeit des Experiments "Fregatt" einschließlich der Videotiefraumspeicher R3m in beiden Sonden hervor.

Die Telemetriedaten aus der Diensttelemetrie sowie aus der schnellen Speichertelemetrie bestätigten die ordnungsgemäße Funktion, die bereits anhand der guten Qualität der Aufnahmen zu erkennen war. (Bild 55, 56)



Videaufnahme von der Kalibrierung vom 4.5.8.88 auf der Flugtrasse zum Mars, Sonde Phobos 1
93



Videaufnahmen von der Kalibrierung am 4.-5.8.88 auf der Flugtrasse zum Mars, Sonde Phobos 2

Daß der wissenschaftlich-technische Anspruch der gestellte Aufgaben, genau wie das trotz bester Vorbereitung verbleibende Risiko dieses Unternehmens extrem hoch ist, zeigt der frühzeitige Verlust der einwandfrei funktionierenden Sonde Phobos 1 im September 1988.

Da in der Sonde Phobos 2 alle Experimente von Phobos 1 gedoppelt vorliegen, besteht trotz des nun weiter erhöhten Risikos die Hoffnung, die gestellten Aufgaben im weitestgehenden Umfang zu erfüllen.

6. Zusammenfassung

In der Akademie der Wissenschaften der DDR wurden ab Mitte der 60iger Jahre Grundlagenarbeiten zur magnetischen Speichertechnik durchgeführt. Im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse wurden diese Arbeiten fortgeführt und auf Themen der digitalen Dichtspeichertechnik konzentriert, Im Rahmen der Interkosmoszusammenarbeit und in Regierungsabkommen mit der UdSSR konnten Grundlagenergebnisse durch Einsatz in Speicherentwicklungen mit Spitzenparametern für die Kosmosforschung demonstriert und erhärtet werden.

Ein wesentliches Ergebnis der Grundlagenarbeit war das gemeinsam mit dem Institut M. v. Ardenne und dem Institut für magnetische Werkstoffe Jena entwickelte im Vakuum aufgedampfte Metalldünnschichtmagnetband.

Mit der Verwendung dieser hochkoerzitiven Metalldünnschichtmagnetbänder in einem kleinen und robusten Bord-speicher für Interkosmos, konnten in 16 Starts ab 1976 mit diesen Speichern Spitzenparameter in Speicherdichte, Kapazität und minimalem Raum- und Energiebedarf gegenüber dem Weltstand nachgewiesen. Gleichzeitig wurde der weltweite Ersteininsatz des Metalldünnschichtmagnetbandes hoher Koerzitivität unter harten Bedingungen vollzogen.

Erweiterungen der Forschungsarbeiten zu neuen Laufwerklösungen, zu digitalen Mehrspurmagnetköpfen und ihren Fertigungstechnologien mit hochlegierten Sondermaterialien für hochkoerzitive Magnetbänder mit Speicherdichten um 1000 bit/mm und schmalen Spuren, sowie zu modernen elektronischen Signalverarbeitungsverfahren, erlaubten ab Ende der 70iger Jahre die Entwicklung hochdichter digitaler Massendatenspeicher für Bord- und Bodeneinsätze mit Leistungsparametern von Weltpitzenniveau.

94

Diese Arbeiten waren auch Voraussetzung für die Entwicklungsaufnahme eines hochkapazitiven Tiefraumvideo-speichers für das Phobosprojekt im Rahmen der Interkosmoszusammenarbeit. Für diesen Speicher waren Parameter gefordert, wie sie bisher weltweit für Tiefraumeinsätze noch nicht verwirklicht wurden.

Der Tiefraumspeicher wurde Bestandteil des Videokomplexes im Experiment "Fregatt", das in Zusammenarbeit mit Partnern in der UdSSR und der VRB entwickelt wurde.

Der Videokomplex ist in der Lage, Bildfolgen bis zu 1000 Aufnahmen in hoher Auflösung von den Untersuchungsobjekten Mars und Phobos aufzunehmen, zwischenspeichern und zu übertragen.

Bei der Charakterisierung des Experiments "Fregatt" spielt der Videotiefraumspeicher R3m mit einer Speicherkapazität von 200 MByte, einer Aufzeichnungsdatenrate von 2 Mbit/s und Wiedergabedatenraten von 4 oder 8 kbit/s mit Quarzstabilität eine entscheidende Rolle.

Bisher sind von amerikanischer Seite für die technologisch schwer zu beherrschenden Tiefraummissionen nur Speicher mit maximal 17,5 MByte verwirklicht worden, sodaß mit dem R3m eine neue Größenordnung der Tiefraumspeicher in die Tiefraumforschung eingeführt wurde.

Die Entwicklung des Tiefraum-VideoSpeichers R3m zusammen mit der Kontroll- und Prüfapparatur KIA WSU, in die langjährige Erfahrungen und Grundlagenergebnisse der digitalen Dichtspeichertechnik aus dem ZKI eingeflossen sind, führte zu einer nachgewiesenen robusten und funktionsfähigen Gerätelösung mit internationalen Spitzenparametern.

Bei der Fertigung, Testung und Erprobung des Gerätes, an den Partner aus der AdW, insbesondere ZWG, IKF, ZFW und DLE/G und aus anderen Einrichtungen Magnetbandfabrik Dessau, RFZ der Deutschen Post und Kombinat Robotron beteiligt waren, wurden hohe Qualität und Zuverlässigkeit erreicht. Sie konnte in den Vorbereitungstests für die Startbereitschaft und durch die volle Funktionsfähigkeit des Speichers nach dem Start und auf der Flugtrasse nachgewiesen werden.

Von der Entwicklung dieses Gerätekomplexes gingen ebenfalls Impulse für Nachnutzungsmöglichkeiten speichertechnischer Ergebnisse in der Industrie aus.

95##

7. Literaturzusammenstellung

Eine Vielzahl von Ergebnissen, die in internen Laborberichten, Protokollen und Ausarbeitungen enthalten sind, konnten in die Zusammenstellung nicht aufgenommen werden.

Adlerstein, S.: Focus on Cassette and cartridge recorders, Electronic Design 25(1977)H. 12, S. 66 -74

Albee, A. L.; Smith, B. Internatonaler Rat zum Phobosprojekt, Juli 1988, Moskau, persönliche Mitteilung

Antonuccio, A.: Tape backup systems, Mass storage (1986) H. 5. S. 227 - 232

Arndt, W.: Unbewegliche Gleitführung für Bänder mit glatter Oberfläche, Patentschrift 146 217, WP G113/215 661, 20.9.79

Athey, S.: Magnetic Tape Recording, NASA-SP-5038 (1966) H. 1

Avanesov, S. A.; Zhukov, B. S.; Ziman, J. L.; Muravjev, V. M.; Tarnopolskii, V. I.; Fedotov, V. P.; Mishev, D. N.; Krumov, A.; Petkov, D.; Tzenbv, B.; Weide, H.-G.; Danz, M.; Kempe, V.; Pöbel, W.; Rebel, B.; Hallmann, D.; Zapfe, H.: TV experiment of Phobos mission: Scientific objectives, methodology and instrumentation, Proc. of the int. Workshop, PHOBOS, Moskow, Nov. 1986, S. 345 - 352

- Blüschke, A.; Kampf, F.; Kauffeldt, C.; Meinharth, H.-J.; Säckl, A.: Untersuchungen an Versuchsmustern eines Floppy-Disk-Magnetkopfes aus Sendust. 6. Konferenz Magnetische Signalspeicher, Greifswald, 7. - 11.5.1984, S. 209 - 223
- Denisov, B. P.: Elementy teorii kol'zevych lentoprotjaznych mechanismov, Voprosy magnitnoj zapiselektriceskich signalov (1970) S. 192 - 201
- Duxbury, T. C.: Polutschenii i sobraschenii, Fobosa i Deimosa s kosmitscheskich apparatov, Sputnikio Marsa, Verlag Mir, 1981, S.44 - 51
- European Computer Manufacturers Association: Standard ECMA46 for Data interchange on 6.30 mm Magnetic Tape Cartridge. (63 bpm, Phase Encoded), Geneva, March 1976
- Gittlitz, M. W.: Zifrowaja magnitnaja Zapis, Itogi nauki tehniki, Radiotekhnika, Tom 35, Moskwa, 1986, S. 84 - 85
- Glöß, R.: Mathematische Modellierung von Endloswickelanordnungen verschiedener Gestellgeometrie. Feingerätetechnik 31(1982) H.7, S. 293 - 296
- Glöß, R.; Bochert, M.: Optoelektronischer Impulsgeber zur Drehzahlerfassung, Feingerätetechnik. 32 (1983) H. 10, S. 452 - 454
- Hoffmann, NASA-Report 1976
- Kelly, K.: Streaming-tape drives emulate start/stop machines, mini-micro systems (1983) H. 5, S. 261 - 264
- Kempe, V.; Neumann, W.; Siakkou, M.; Weide, H.-G.: Digitaler Satelliten-Magnetbandspeicher, Bild und Ton 33(1980) H. 1, S. 5 - 8
- Mädiger, C.; Voigt, H.; Willaschek, K.; Völz, H.: Analysis of signal statistics and drop-out behaviour of magnetic tapes, IEEE- Trans. MAG, Sept. 1984, Pt. 2, Nr. 5, S. 765 - 767
- Müller, M.; Heßke R.-R.: Einsatzempfehlungen zu Kernwerkstoffen. 6. Konferenz Magnetische Signalspeicher, Greifswald, 7. - 11.5.1984
- Münster, E.: Untersuchung der magnetischen Anisotropie schräg aufgedampfter Metallschicht-Magnetbänder, 5. Konferenz Magnetische Signalspeicher, Erfurt, 4. - 9.5.1981, ZKI-Informationen 4/1981. S. 38 - 51
- Münster, E.; Richter-Mendau, J.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen schrägaufgedampfter dünner $\text{Co}_{70}\text{Fe}_{30}$ Schichten, Exp. techn. d. Physik 24 (1976) S. 51 - 58
- Neumann; W.; Reinhold, B.: Anordnung zur Radial-, Quer- und Gleitführung von Endloswickel. Wirtschaftspatent WP 119 491
- Neumann, W.; Weide, H.-G.: Anordnung zur Führung des Endloswickels eines Magnetbandgerätes. WP G 11 B/202 936, WP G 11 B/208 908, WP G 11 B/209 768
- Rabl, H.: Ferritkern-Speicherblöcke für Raumfahrtanwendungen. Der Elektroniker (1972) H. 1, S. 7 - 8
- Ragulskis, K. M.; Waranauskas, P.A.; Ljalin, W. E.; Bentkus; R. J., Andruschkjajawitschus, A. I.: Dinamika prezissionnich lentoprotjaschnich mechanismow. Verlag Mokslas, 1984
- Säckl, A.; Siakkou, M.: Untersuchungen zur optimalen Anisotropierichtung in magnetischen Aufzeichnungsmaterialien, 5. Konferenz Magnetische Signalspeicher, Erfurt, 4. - 9.5.1981, ZKI-Informationen 4/1981, S. 52 - 65
- Sagdeev, R.; Balebanov, V. M.; Zakharov, A. V.: PHOBOS project: Planetary studies, Proceedings of the int. Workshop, Moscow, Nov. 1986, S. 7 - 46
- Sawazaki, N.; Tsukamoto, H.; Imamura, M.; Fujiwara, T.: Endless tape fixed-head VTR, IEE Transaction on Magnetic (1979) H. 11, S. 1564 - 1568
- Stopperka, K.: Über die zukünftige Entwicklung der magnetomotorischen Speichermedien, 6. Konferenz Magnetische Signalspeicher, Greifswald, 7. - 11.5.1984
- Ververka, J.: Powerchnosti Fobosa 1 Deimosa, - Sputniki Marsa, Verlag Mir, 1981, S. 52 - 59
- Ververka, J.; Burns, J. A.: The moons of Mars, Ann. Rev. Earth. Planet. Sci. 1980, Vol. 8, S. 527 - 558
- Völz, H.: Entwicklung der Magnetspeichertechnik in: Grundlagen der Magnetischen Signalspeicher, Bd. III, Akademie-Verlag Berlin 1972, S. 96 ff.
- Völz, H.: Eröffnung der Rundtisch-Diskussion, 6. Konferenz Magnetische Signalspeicher, Greifswald. 7. - 11.5.1984, S. 350 - 360.
- Völz, H.: Grundlagen der Magnetischen Signalspeicherung, Bd. I - V; Akademie-Verlag Berlin, 1972
- Weide, H.-G.: Digital Dichtspeichertechnik am Beispiel der ZKI-Geräte, 6. Konferenz Magnetische Signalspeicher, Greiswald, 7. - 11.5. 1984, S. 308 - 314
- Weide, H.-G.: Neuer digitaler Magnetbandspeichel für Interkosmos, Kurzbeitrag auf der nationalen Konferenz "Datenspeicher" in Tbillissi, 13. - 15.9.1976
- Weide, H.-G.: Zur Einsatzkonzeption von Metalldünnschichtband für die Massendatenspeicherung mit Endloswickelsystemen, J. Signal AM 10(1982) H. 6, S. 445 - 447
- Weide, H.-G.: Hochedichte Magnetbendspeichereinheiten. Beitrag zur Monografie "Digitale Verarbeitung kosmischer multispektraler Videodaten" GOSNIZIPR, Moskau in Vorbereitung.
- Willaschek, K.: Visualisierung von magnetischen Aufzeichnungen, Bild und Ton 36 (1983), H. 11, S. 325 - 328
- Willaschek, K.: Visualisierung von magnetischen Bereichen in der Magnetspeichertechnik, 37 RFE (1988), H. 8, S. 525 - 527
- Yasuda, I; Yoshisato, Y.; Kawai, Y.; Koyama, K.; Yazaki, T.: Newly developed Sendust video head for high coercitiv tape, IEEE Trans. on Magnetics 16(1980) H. 5, S. 870 - 872

Anlage 1

4/5 Gruppenkodevarianten im R3m

Datenbit NRZ	Kanalbit 4/5-GCR	Kanalbit ungeordnet 4/5 Gr.-Kode R3m	Dezimalzahl
0000	11001	11001	0
0001	11011	11001	1
0010	10010	10011	2
0011	10011	10010	3
0100	11101	10101	4
0101	10101	11101	5
0110	10110	10111	6
0111	10111	10110	7
1000	11010	11010	8
1001	01001	01001	9
1010	01010	01010	10
1011	01011	01011	11
1100	11110	11110	12
1101	01101	01101	13
1110	01110	01110	14
1111	01111	01111	15

99

Anlage 2

Tabelle 10. Befehlsinhalt der Steuerworte R 3m

Steuerwort 1

Bit-Nr.	Befehls-Nr.	Bedeutung
0	004*	Speisespannung "Einschalten"
1	006*	Speisespannung "Ausschalten"
2	007	"Aufzeichnung"
3	010	"Löschen"
4	014	"Wiedergabe"
5	020	"Einschalten Arretierung"
6	021	"Ausschalten Arretierung"
7	xx	frei

Steuerwort 2

Bit-Nr.	Befehl!-Nr.	Bedeutung
0	040)	Spurgruppen--Nr. bei Standard-
1	041)	Wiederg. bzw. Spur-Nr. bei,
2.	042)	Havarie- oder verkürzter
3	043)	Wiedergabe
4	017)	Wiedergabe-
5	018)	bedingungen
6	011)	Aufzeichnungs-
7	012)	bedingungen

Mit folgenden Bedeutungen der Befehlbit

Befehls-Nr.

017	018	
0	0	Standardwiedergabe
1	0	ZKI--Testprogramm
0	1	Havariewiedergabe
1	1	verkürzte Wiedergabe

* Diese Befehle sind nicht benutzt worden.

100

Befehls-Nr.

011	012	
1	0	1. Spurgruppe
0	1	2. Spurgruppe
1	1	3. Spurgruppe
0	0	Löschen/Umspulen

Befehls-Nr.	Spur-Nr.	Spurgruppen-Nr.
040	bei	bei bei
041	Havarie-	verk. Standard
042	Wiederg.	Wiederg. Wiederg.
043		

0001	1.	Spur	1. - Spurgruppe
0010	2.	Spur	2. - Spurgruppe
0011	3.	Spur	3. - Spurgruppe
0100	4.	Spur	ohne Bedeutung
0101	5.	Spur	ohne Bedeutung
0110	6.	Spur	ohne Bedeutung
0111	7.	Spur	ohne Bedeutung
1000	8.	Spur	ohne Bedeutung
1001	9.	Spur	ohne Bedeutung
1010	10.	Spur	ohne Bedeutung
1011	11.	Spur	ohne Bedeutung
1100	12.	Spur	ohne Bedeutung
1101	13.	Spur	ohne Bedeutung
1110	14.	Spur	ohne Bedeutung
1111	15.	Spur	ohne Bedeutung
0000	ohne Bedeutung		

Steuerwort 3

Bit-Nr.	Befehls-Nr.	Bedeutung
0	024)	
1	025)	
2	026)	Nr. des 1. Bildes
3	027)	bei Wiedergabe
4	028)	
5	015)	Übertragungsgeschw.
6	016	4 bzw. 8 kbit/s
7	019	Reserve/nicht genutzt

101

Mit folgender Bedeutung der Befehlsbits:

Befehls-Nr.	Nummer des 1. wiederzugeb. Bildes
024	
025	Bild
026	
027	
028	

00001	1
00010	2
00011	3
...	...
10100	20

Befehls-Nr.	Übertragungsgeschwindigkeit
015	016
1	0)
0	0) 4 kbit/s
1	1)
0	1) 8 kbit/s

Das Statuswort, das vom Speicher an das Steuergerät geliefert wird, setzt sich wie folgt zusammen.

Statuswort

Bit-Nr.	Signal-Nr.	Bedeutung
0	101	Aufzeichnungsbereitschaft
1	102	Bandende
2	103	Aufzeichnung
3	104	Löschen
4	105	Arretiert
5	106	Wiedergabeparameter vollst.
6	107	Wiedergabe
7	109	Umspulen

102

Anlage 3

Tabelle 12: Signalkombinationen der R3m-Betriebsdatentelemetrie

Arbeitsregime des Speichers:

Signalkombinationen

LOE KMD2 KMD1 Arbeitsregime

1	1	1	Umspulen
1	1	0	Aufzeichnung
1	0	1	Wiedergabe
0	1	1	Löschen
1	1	0	Bereitschaft

Umlaufzähler

Signalkombination

ULZD	ULZC	ULZB	Bedeutung
1	1	1	<500 Bandumläufe
1	1	0	>500 Bandumläufe
1	0	1	>1000 Bandumläufe
1	0	0	>1500 Bandumläufe
0	1	1	>2000 Bandumläufe
0	1	0	>2500 Bandumläufe
0	0	1	>3000 Bandumläufe
0	0	0	>3500 Bandumläufe

Motor/Bandgeschwindigkeit:

Signalkombinationen

T1/F1	T2/P2	Bedeutung
1	1	Motor/Band steht
0	1	Suchlauf (120 cm/s)
0	0	Aufzeichnung (86 cm/s)
1	0	Wiedergabe (40 cm/s)

103

Tabelle 15. Zuordnung der Telemetriewerte im Blockkennzeichen

Werte der bits 20 -24 (24. niederw. bit)

Parameter	Halb-byte	bit- Nr.	Meßwert	Meßbereich
		24 1110111001010101		
		23 1011001110111011		
		22 0000111100001111		
		21 1100010011111111		
		20 1111111111000100		
S12P	hoch niedr.	* *	2 V 0,2 V	+12 +/-0,2 V
S12N	hoch niedr.	* *	2 V 0,2 V	+12 +/-0,2 V
S5P	hoch niedr.	* *	1 V 0,1 V	+5 +/- 0,1V
S5PS	hoch niedr.	* *	1 V 0,1 V	+5 +/- 0,1V
IM	hoch niedr.	* *	0,1 A 0,01 A	<0,5 A <0,2A
TK	hoch niedr.	* *	10 grd. 1 grd.	0 – 50 grd.
TB	hoch niedr.	* *	10 grd. 1 grd.	0 -70 grd
ULZ	hoch niedr.	* *	350 35	<3500 Umläufe

Tabelle 16. Struktur der Dateiendemarke

Gesamt	Marke	Housekeeping	Housekeeping	Rest	
1280	= 15	+ 160	+ 80	+1	+1024 bit
	Einsen	Adr.Nr. und	Adr.Nr.und	Eins	1/0 Folge
		16 Halbbytes	8 Halbbytes		
		von 8 Meß-	der 4 ersten		
		werten	Meßwerte		
			(Wdhlg)		

104

Aufteilung der 160 und 80 bit für die Telemetriewerte:

```

-----
1 1 0 1 1 hochw.Halbbyte 1 1 0 0 1 niederw. Halbbyte    -S12P
  0
1 0 0 1 1 hochw.Halbbyte 1 0 0 1 0 niederw. Halbbyte    -S12N
  2                3
0 1 1 1 0 hochw. Halbbyte 0 1 1 1 1 niederw. Halbbyte    -Band-
  14                15                läufe
  .                *
  
```

105

Anlage 4

Einsatzbedingungen für wissenschaftliche Geräte des Phobosprojektes

1. Betriebsbelastungen.

1.1. Statische Überbelastungen

- in Längsrichtung $n_x = 4,0 \text{ g}$
- seitlich $n_s = 1,5 \text{ g}$

(n_s kann in jede beliebige seitliche Richtung wirken;

x = Startrichtung)

Alle statischen Überbelastungen wirken gemeinsam über 15 min.

1.2. Dynamische Überbelastung

Betriebsart	Wirkungsrichtung	Frequenz Hz	max. Amplitude g	Zeitdauer der max. Überbelastung s	Anzahl der Überbelastungen
1	x	10 ... 30	7	0,2	6
2	y, z	4 ... 10	3	1	2
3	x, y, z	500 ... 2000	40	0,01	3

Die Betriebsart 3 konnte durch Stoß-Belastung mit 40 g und einer Impulsdauer von 0,5...2 ms von jeweils 3 Stößen in jede der 3 senkrecht zueinander stehenden Achsen ersetzt werden.

1.3. Festigkeitskriterium

Die Apparatur durfte keine Resonanzfrequenz unter 40 Hz aufweisen.

1.4. Stationäre Vibrationsbelastung

Unter der Bedingung, daß die Gerätekonstruktion keine Resonanzfrequenzen unter 40 Hz besitzt, waren für die Zufallsvibrationen im Frequenzbereich von 20 bis 2000 Hz folgende Vibrationsbeschleunigungen vorgegeben.

Betriebsart	Einwirkungs-dauer (s)	Frequenzbereich (Hz)					
		20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
Spektraldichte der Vibrationsbeschleunigungen (g^2/Hz)							
1	120	0,02	0,02	0,02-0,05	0,05	0,05-0,025	0,025-0,013
2	480	0,02	0,02	0,02	0,02-0,008	0,008-0,004	0,004-0,002
3	200	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004-0,002

Die Bedingungen der Zufallsvibrationen, konnten auch mit kontinuierlichem Durchfahren der nachfolgend angegebenen harmonischen Vibrationen simuliert werden.

Betriebsart	Einwirkungs-dauer (s)	Frequenzbereich (Hz)					
		20-50	50-100	100-200	200-500	500-1000	1000-2000
Amplitude der Vibrationsbelastung (g)							
1	120	1,0-1,7	1,7-2,5	2,5-6	6-10	10	10
2	480	1,0-1,7	1,7-2,5	2,5-4	4,0	4,0	4,0
3	1200	0,5-0,8	0,8-1,3	1,2-1,7	1,7-3,0	3,0-3,4	4,0

107

Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1 KIeindigitalmagnetbandspeicher R1 für Bordeinsatz mit und ohne Einsatzhülle, ZKI 1976
- Abb. 2 Digitalkassetten-Magnetbandspeicher RK ohne Einsatzhülle mit abgenommener Kassetten ZKI 1978
- Abb. 3 "R3- Boden" im 19"- Einschub, ZKI 1982
- Abb. 4 200 MByte- Endloswickelkassette des "R3- Boden"
- Abb. 5 Antriebsblock des "R3-Boden" bei geöffnetem Vorderteil ohne Kassette
- Abb. 6 Magnetkopffregion des "R3- Boden"
- Abb. 7 Blockschaltbild „R3- Boden"
- Abb. 8 Blockschaltbild Experiment "Fregatt"
- Abb. 9 Schematischer Aufbau der TV- Kamera "Fregatt"

Abb. 10 Spektrale Empfindlichkeit der-TV- Kanäle
 Abb. 11 Programm für den Phobosüberflug
 Abb. 12 Bildverteilung bei der R3m-Aufzeichnung auf dem Magnetband
 Abb. 13 Bildformat des Spektralauszeuges im Videobild des Experiments "Fregatt"
 Abb. 14 Zeilenformat des Videobildes im R3m,
 Abb. 15 R3m Bildstruktur und Dateiformat
 Abb. 16 Schema der elektrischen Verbindungen im Experiment "Fregatt"
 Abb. 17 Struktur des Interfaces zwischen R3m und Steuergerät SU
 Abb. 18 Signalspiel bei Aufzeichnung im R3m
 Abb. 19 Befehlsdiagramm der Aufzeichnung "Mars-Perizentrum"
 Abb. 20 Ausgangsinterface zum Sender RTK
 Abb. 21 Befehlsdiagramm "Standardwiedergabe" im R3m
 Abb. 22 Frequenzcharakteristik des ZKI-8-Spur-Magnetkopfes
 Abb. 23 Spaltweitenbestimmung über die Nullstellenmethode
 Abb. 24 Frequenzcharakteristiken eines R3m-Magnetkopfpaares
 Abb. 25 ab Magnetkopfmuster aus der ZKI- Sendusttechnologie
 Abb. 26 Einzelimpulsaufnahmen im R3-Wiedergabekanal mit CrO₂-Magnetband
 Abb. 27 Sichtbar gemachte Störstellen im CrO₂-Magnetband
 Abb. 28 Größenverteilung der Störstellen im CrO₂-Band Nr. 3
 Abb. 29 Größenverteilung der Störstellen im CrO₂-Band Nr. 4
 Abb. 30 Schema der Prüfschaltung für die Bandzugmessung im Endloswickel
 Abb. 31 Bandzugsregistratur entspr. Tabelle 19
 Abb. 32 Bandzugsregistratur entspr. Tabelle 19
 Abb. 33 Bandzugsregistratur entspr. Tabelle 19
 Abb. 34 Abhängigkeit der Qualität des Bandlaufes im Endloswickel vom Klimabereich
 Abb. 35 Blockschaltbild des Elektronikblockes
 Abb. 36 Blick auf den geöffneten Elektronikblock
 Abb. 37 Blockschaltbild des Laufwerkblockes
 Abb. 38 Schema der Laufwerkskonstruktion
 Abb. 39 Geöffneter Elektronikblock: mit SPD
 Abb. 40 Halbgeöffneter Laufwerksblock des R3m
 Abb. 41 Geöffneter Laufwerksblock des R3m
 Abb. 42 Geöffneter Laufwerksblock, Ansicht von der Seite des abgenommenen hinteren Flansches
 Abb. 43 Endloswickelprinzip
 Abb. 44 R3m-Kassette
 Abb. 45 Bandendebereich des R3m
 Abb. 46 Kinematisches, Schema des R3m
 Abb. 47 Antriebsblock mit Capstan R3m
 Abb. 48 Arretierungsantrieb des R3m
 Abb. 49 Wickelarretierung in der Kassette des R3m
 Abb. 50 Kompensationsgewicht für die Tellermasse am Kipphebelende an der Unterseite der Kassette R3m
 Abb. 51 Ansicht des Antriebsblockes unterhalb der Kassette
 Abb. 52 R3m bei der Klimaprüfung
 Abb. 53 Blockschema der KIA-WSU
 Abb. 54 KIA-WSU im Einsatz beim Klimatest R3m
 Abb. 55 Videoaufnahme der Kalibrierung vom 4.-5.8.88 auf der Trasse zum Mars, Sonde Phobos 1
 Abb. 56 Videoaufnahme der Kalibrierung vom 4.-5.8.88 auf der Trasse zum Mars, Sonde Phobos 2

109

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1 Parametervergleich der 10 bit- Weltraumspeicher, Stand 1978
 Tab. 2 Hauptparameter des Digitalkassettenspeichers RK
 Tab. 3 Hauptparameter des "R3- Boden" Digitalkassettenspeichers mit Endloskassette
 Tab. 4 Parameter der TV- Kanäle im Experiment "Fregatt"
 Tab. 5 Charakteristische Parameter des R3m
 Tab. 6 Dateikennzeichen im R3m
 Tab. 7 Blockkennzeichen im R3m
 Tab. 8 4/5 Gruppenkode im R3m (s. Anl. 1)
 Tab. 9 Spannungs- und Stromversorgung des R3m
 Tab. 10 Befehlsinhalt der Steuerworte R3m (s. Anl. 2)
 Tab. 11 R3m-Betriebsdatentelemetrie
 Tab. 12 Signalkombination der R3m- Betriebsdatentelemetrie (s. Anl. 3)
 Tab. 13 Kodierung der Telemetriedkanäle
 Tab. 14 Inhalte der schnellen Housekeepingtelemetrie R3m

Tab. 15 Zuordnung der Telemetriewerte im Blockkennzeichen (s. Anl .3)
Tab. 16 Struktur dem Dateiendemarke (s. Anl. 3)
Tab. 17 Charakteristika der gebräuchlichen Magnetkopfwerkstoffe
Tab. 18 Effektive Permeabilität von Sendustkernen in Abhängigkeit von der Frequenz
Tab. 19 Bewertungsklassen des Bandlaufes im Endloswickel
Tab. 20 Displayausgabe für die Datenstromanalyse

Thesen

Der Tiefraumvideospeicher R3m für das Phobosprojekt - ein Ergebnis der digitalen Dichtspeicherentwicklung aus der DDR

Dissertation B (B

zur Erlangung des akademischen Grades doctor scientiae technicarum (Dr. sc. techn.

vorgelegt dem

Forschungsbereich Mathematik/Informatik der Akademie der Wissenschaften der DDR

von

Dr. rer. nat. Hans-Günter Weide, geb. am 4.01.1941 in Chemnitz

Gutachter:

Prof. Dr. habil Horst Völz

Prof. Dr. sc. techn. Ralf Joachim

Prof Dr. sc. techn. Hans-Jörg Werrmann

Berlin. Den 2.2.1989

##2 ##

- Der Tiefraumvideospeicher R3m für das Phobosprojekt - ein Ergebnis der digitalen Dichtspeicherentwicklung aus der DDR
- Mit der Entwicklung der Rechentechnik vollzog sich ab Mitte der 50iger Jahre auch die sprunghafte Entwicklung der digitalen Magnetspeichertechnik.
- Während in den Anfangsjahren die großvolumigen Magnebandspeichergeräte mit 1/2" Bandbreiten als erste Peripherie in der Rechentechnik im Vordergrund standen, wurden sie ab Mitte der 60iger Jahre durch magnetomotorische Fest- und Wechselp Plattenspeicher und bei Kleinrechnern von Floppydisk von diesem Platz in die zweite Peripherie verdrängt.
- Mit der Einführung der Gruppenkode-Magnebandspeicher von IBM mit 256 bit/mm Speicherdichte, wurde Mitte der 60iger Jahre der Begriff "Hochdichte digitale Magnebandspeicher" (High density digital recording - HDDR) für Speicher mit Speicherdichten von ≥ 256 bit/mm bzw. Flußwechsel/mm (FW/mm) eingeführt.
- Die in der Rechentechnik stark standardisierten Gerätelösungen der 1/2" und 1/4"-Technik wurden durch die Forderung nach Miniaturisierung, durch die Einführung der "Streamer-Technik" in der zweiten Peripherie zur Erhöhung der Speicherdichte und zu Lösungen außerhalb des Standards gezwungen. Diese sogenannte Backup-Speichertechnik und insbesondere die Kosmosspeichertechnik förderten die Entwicklungen zu kompakten hochdichten Bandspeichergeräten.
- Mit der Entwicklung der digitalen Bildverarbeitung wurden für den Boden- als auch für den Satelliteneinsatz schnelle Massendatenspeicher mit Kapazitäten im Gigabit-Bereich benötigt und ab Ende der 70iger Jahre international entwickelt.
- In der DDR waren auf dem Gebiet der 1/2"-Magnetbandtechnik durch die Magnetbandfabrik Dessau, dem Magnetkopfwerk "Goldpfeil" Hartmannsdorf und dem Magnetbandgerätehersteller VEB Carl-Zeiß-Jena günstige Entwicklungsbedingungen für die Weiterentwicklung der Magnetbandspeichertechnik gegeben.
- In der AdW wurden ab Mitte der 60iger Jahre mit vertraglicher Bindung zum Industriepartner ORWO Grundlagenarbeiten zu neuartigen metallischen Dünnschichtmagnetbändern, die im Vakuum aufgedampft wurden, aufgenommen. Bereits zu diesem Zeitpunkt wurde zu diesem Thema eine Gemeinschaftsarbeit zwischen dem Institut M. v. Ardenne (IvA) und dem Institut für Magnetische Werkstoffe, Jena (heute PTI Jenä) aufgenommen.
- Auf der Basis der Grundlagenergebnisse aus diesem Thema, der Erkenntnisse auf dem Gebiet der Signalverarbeitung aus dem Institut für Elektronik der AdW (heute IKF) und mit industriellen Erfahrungen wurde ein Kleindigitalmagnetbandspeicher (R1) mit Metaldünnschichtmagnetband entwickelt, der in seiner Größenklasse Weltspitzenparameter aufwies. Von diesem Speicher konnten 16 Geräte, beginnend mit 1976 im Kosmos eingesetzt werden. Sie wiesen die Eignung des weltweit, erstmals anwendungstechnisch genutzten Metaldünnschichtbandes für hohe Speicherdichten und ausreichende Lebensdauer nach.
- Durch Weiterentwicklung der Grundlagen zu neuen Laufwerkslösungen, zu Vielspurnagnetköpfen und ihren Fertigungstechnologien für hohe Speicherdichten und schmale Spuren, konnten in den Jahren 1978 und 1982 neue digitale Dichtspeicher mit Wechselkassette vorgestellt werden.
- Die bis 1982 vorliegenden Ergebnisse an Dichtspeicherentwicklungen im ZKI waren die Grundlage für das Angebot der sowjetischen Seite, einen hochkapazitiven digitalen Massenspeicher für die Videobildspeicherung in der Phobosmission zu entwickeln.

- Die technischen Anforderungen an den Tiefraumspeicher für das Videoexperiment "Fregatt" in der Phobosmission verlangten grundlegend neuartige Lösungen, da die Aufgabe eine bisher weltweit noch nicht realisierte Größenordnung von Speicherkapazität unter Tiefraumbedingungen erforderte.
- Eine von allen Partnern akzeptierte Lösungskonzeption für die Aufgabe, eine Datengeschwindigkeitstransformation von 1:500 bei einer Aufzeichnungsgeschwindigkeit von 2 Mbit/s zu realisieren, innerhalb von ca. 2 h nur vollständige Bilder zu übertragen und eine Datenkapazität von 200 MByte, die etwa 1000 Videobildern entspricht, mit geringstem Raum- und Energiebedarf bereitzustellen, konnte durch Anwendung des in den Vorgängerentwicklungen bewährten Endloswickelprinzips in Verbindung mit einem Vorschlag von K. H. Schmelowsky zum stroboskopischen Auslesen, ausgearbeitet und realisiert werden.
- Gemeinsam mit den Partnern, den Instituten für Kosmosforschung der Akademien für Wissenschaften der UdSSR und der VRB, wurde der Speicher in das Experiment "Fregatt" integriert, die Interfaces ausgearbeitet und die Funktionsabläufe für die Forschungsaufgabe festgelegt und erprobt. Mit der Gesamtgerätelösung des Videoexperiments, dessen wissenschaftlich-technischer Schwerpunkt der Tiefraumspeicher ist, werden nach Angaben der sowjetischen Projektleitung 40% des wissenschaftlichen Anteils aller Experimente der Phobosmission erbracht.
- Die realisierte Gerätelösung R3m erfüllt die Anforderungen der "Technischen Aufgabenstellung" für das Experiment "Fregatt" vollständig und konnte alle kosmospezifischen Prüfungen und Tests erfolgreich absolvieren. Anhand des Lebensdauermodells (KDI-Modell) und des "Technologischen Modells" wurde die wartungsfreie Funktionssicherheit über mehr als die doppelte anfangs geforderte Lebensdauer nachgewiesen und garantiert.
- Zur Erfüllung der hohen technischen Ansprüche des R3m mußten für die Hauptbaugruppen Vielspurnmagnetkopf, Magnetband, Systemelektronik und insbesondere für die Mechanik beachtliche wissenschaftliche Vorleistungen erbracht werden. Erschwerend wirkte sich dabei aus, daß international über Technologien und Lösungen zur Dichtspeichertechnik kaum oder nichts veröffentlicht wird und im RGW-Bereich keine einschlägigen Industriepartner existieren.
- Für die Entwicklung des Langlebensdauer magnetkopfes mit 8 Spuren und 200 µm Spurbreite wurde ein hochlegierter Spezialwerkstoff "Sendust" aus dem Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstoffforschung der AdW (ZFW) eingesetzt und mit dem Partner hinsichtlich der Anforderungen der Verarbeitungstechnologie optimiert. Der Aufbau der Köpfe erfolgte mit dem Rundfunktechnischen Zentralamt der Deutschen Post (RFZ, Berlin). Die Herstellungstechnologie des Sendustköpfe, ihre Prüfung, Ausmessung und der Lebensdauertest wurden im ZKI durchgeführt. Durch Parallelfertigung der Köpfe im ZKI und Anwendung der Technologie auch auf andere Kopftypen wurde die Zuverlässigkeit erhöht und bis Spitzenniveau die Leistung demonstriert.
- Mit dem von der Magnetbandfabrik Dessau als Sondercharge zur Verfügung gestellte Videomagnetband wurden anhand der vorliegenden Erfahrungen der Speicherkanal für Speicherdichten bis 800 bit/mm untersucht und mit Hilfe spezieller Signalentzerrermethoden für die angestrebte Datensicherheit realisiert. Durch umfassende und neuartige Einsatztests konnten sowohl eine für den Endloswickel Einsatz und für die hohe Speicherdichte optimierte Rückschicht für das Band gefunden, als auch die Klimabedingungen für einen problemlosen Lebensdauereinsatz für das Bindemittelband bestimmt werden.
- In der Systemelektronik des R3m wurde eine zuverlässige und reproduzierbare Lösung für die digitale Dichtspeicherung mit Speicherdichten vom 630 bit/mm und schmalen Spuren auf hochkoerzitivem CrO₂-Magnetband mit Sendustmagnetköpfen geschaffen, die unter den gegebenen Einsatzbedingungen besonders hoch zu werten ist. Mit der gesamten elektronischen Systemkonzeption wurden die Vorteile des Endloswickelprinzips mit der wissenschaftlichen Aufgabenstellung in Übereinstimmung gebracht und die Entwicklung eines Spitzengerätes für die Tiefraumspeicherung ermöglicht.
- Die mechanischen Lösungen des Laufwerkes resultieren aus langjährigen wissenschaftlichen Erfahrungen, Vorarbeiten, Teillösungen und Grundlagenarbeiten zur Optimierung des Endloswickels, der Bandführung im Magnetkopfbereich und des Lager- und Antriebsproblems. Mit der resultierenden Entwicklung konnte eine Mechaniklösung erbracht werden, die von ihren Parametern Weltspitzenstand verkörpert. Durch konsequenten Baugruppenaufbau des Gesamtgerätes konnten die Fragen der Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit auch unter den Bedingungen einer Kleinserie gelöst werden. Der Mechanikteil des R3m mit dem Magnetband als Speichermedium benötigt vom Gesamtvolumen des Speichers nur etwa 1/5 des Raumes.
- Die Zuverlässigkeits- und Lebensdauersicherung des R3m wurde neben der wissenschaftlichen Vorbereitung und Ausführung des Projektes durch einen streng gehandhabten Maßnahmenkatalog unterstützt. Dieser sah u.a. eine enge Zusammenarbeit mit den Fertigungsbereichen des R3m im ZKI, dem Zentrum für wissenschaftlichen Gerätebau und der Dienstleistungseinrichtung der AdW, Bereich Gerätebau vor. Durch intensive Zusammenarbeit mit den Labors für Prüfung und Testung der Kosmostauglichkeit im Institut für Kosmosforschung der AdW konnten wesentliche Erkenntnisse für die Konstruktion und die Arbeitsfähigkeit des Speichers unter den geforderten Randbedingungen erlangt werden. Ihre Berücksichtigung bei der Speicherentwicklung führte zum Bestehen aller Einsatztests beim Partner einschließlich der Startvorbereitung.
- Zum Nachweis der Funktionsfähigkeit des R3m und zur Bildrestaurierung aus dem vom Speicher gesendeten Datenstrom, wurde eine Kontroll- und Prüfapparatur (KIA) als kleines Bildverarbeitungssystem auf Basis des

PC 1715 und der Graphiksteuerung des ZKI entwickelt und eingesetzt. Die Leistungsfähigkeit dieser Apparatur führte neben der Hauptaufgabe auch zum Einsatz als Quicklook-System in Ewpatorija beim Originaldatenempfang.

- Die ersten Ergebnisse nach der Inbetriebnahme der Sonde nach dem Start, wo der Speicher entarretiert und "umgespult" wurde, sowie bei den ersten Kalibrierungsaufnahmen auf der Flugtrasse zum Mars, zeigten die volle Funktionsfähigkeit der R3m-Geräte in beiden Sonden. Damit ist der Nachweis gebracht, daß mit diesen Speichern R3m, die mit ihrem Einsatz eine neu Größenordnung der Tiefraumspeicher eröffnen, eine Entwicklung erfolgreich abgeschlossen werden konnte.
- Die Entwicklungsergebnisse zum Aufbau des R3m werden in der DDR trotz fehlendem Industriepartner für Bandspeichergeräte in anderen Zweigen der Volkswirtschaft auf dem Gebiet der Magnetomotorischen Speicher genutzt.

Danksagung

Für die stete förderliche Unterstützung bei der Ausarbeitung, der internationalen Einbindung und bei der Realisierung des Projekts R3m im Rahmen der Phobosmission und nicht zuletzt für die Möglichkeit, diese Arbeit in konzentriertem Zeitraum fertig stellen zu können, bin ich dem Institutsdirektor des ZKI, Prof. Dr. sc. V. Kempe und seinem Stellvertreter, Prof. Dr. sc. B. Rebel zu großen Dank verpflichtet.

Meinem langjährigen Bereichsleiter, Prof. Dr. habil. H. Völz, unter dessen Leitung die magnetomotorische Speicherung im ZKI eingeführt und ausgebaut wurde, möchte ich für die stets kameradschaftliche Zusammenarbeit und die wertvollen Hinweise und Unterstützungen bei der Durchführung der Arbeit herzlich danken.

Insbesondere möchte ich dem R3m-Kollektiv mit seinen Themenleitern W. Pöbel, W. Neumann, D. Hallmann, A. Säckl und A. Blüschke für ihre schöpferische und engagierte Arbeit Dank sagen, ohne die die Lösung der anspruchsvollen Aufgaben nicht möglich gewesen wäre. Auf ihre wissenschaftlichen Beiträge, die in zahlreichen institutsinternen Dokumenten und Berichten niedergelegt sind, ist in der Arbeit ohne Literaturzitat mit Nennung des Autors hingewiesen worden.

Für die Herstellung der Farbaufnahmen bin ich Kolln. Hermoneit aus dem IKF zu Dank verpflichtet.

Erklärung

Ich erkläre hiermit, daß ich die vorliegende Arbeit selbstständig ausgeführt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Diese Arbeit wurde keiner anderen Institution eingereicht.

Berlin, d. 27.2.1989

(Unterschrift)

Dr. rer. nat. Hans-G. Weide