Inbetriebnahme von zwei Exemplaren FABUS 1 nach vielen Jahren der Lagerung

Im Herbst 2016 begannen ehemalige Entwickler zwei Geräte des Typs „mobiler Fahrscheindrucker FABUS 1“, in Betrieb zu nehmen.

Bild 1: Die zwei Geräte, vorn rechts Gerät 1

Bild 2: Das Nadeldruckwerk mit Farbbandkassette und Papierantrieb, der Fahrschein wurde mit der Hand abgerissen

Gerät 1 war ursprünglich im Bereich des Kraftverkehrs Freital als Nummer 062 unterwegs, der letzte Fahrscheineintrag datierte vom 31.01.1997. Das war zu erkennen, weil beim Ausdruck eines Fahrscheins immer schon ein Teil des nächsten Fahrscheins (Datum, Kraftverkehrsbetrieb und laufende Nummer) gedruckt wird. Und dieser Teil war noch im Drucker.
Dieses Gerät hat war auf einem Dachboden gelagert. Also zum Zeitpunkt der Wiederinbetriebnahme war das Gerät rund 19 Jahre und 9 Monate nicht in Betrieb. Die Umgebungstemperaturbedingungen zur Lagerung dem Dachboden werden wohl einen Bereich von -20 bis +40 Grad Celsius betragen haben.

Bild 3: Gerät 1, der letzte erste Teil des Fahrscheins vom Kraftverkehr Freital

Gerät 2 wurde am 14.08.1990 in der Produktion das letzte Mal benutzt und anschließend vom technischen Leiter des Produzenten, dem Verkehrskombinates Gera, eingelagert. 2016 wurde das Gerät den ehemaligen Entwicklern zur Verfügung gestellt. Dieses Gerät war also 26 Jahre und 2 Monate nicht in Betrieb.

Bild 4: Gerät 2, der letzte 1. Teil des Probedrucks

Die Inbetriebnahme setzte die Bereitstellung einer 24V Gleichspannung, der Bordspannung eines Autobusses vorau. In Ermangelung eines stufenlos regelbaren 24 V Gleichspannungs- Netzteiles wurden beide Fahrscheindrucker einfach angeschlossen und eingeschaltet.

Von dieser Aktion gibt es 3 Videos.

„Gerät 1 Inbetriebnahme.mp4“
„Gerät 2 Deckelabnehmen.mp4“
„Gerät 2 Inbetriebnahme.mp4“

Bild 5: Gerät1 läuft an

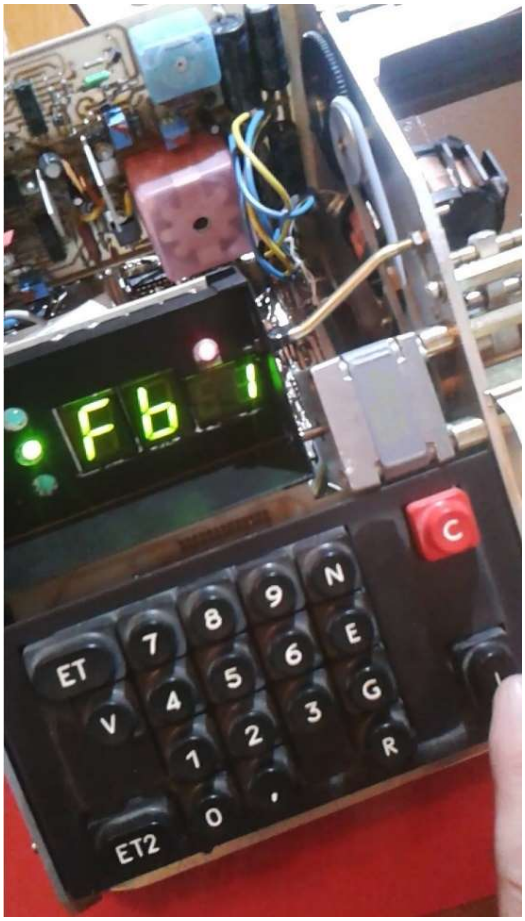


Bild 6: Gerät 2 läuft an

Bei Gerät 2 war der Schlüssel für das Einschalten über den Schlüsselschalter nicht mehr vorhanden. Deswegen musste dieser durch Eingriff in das Innenleben des Druckers überbrückt werden. Daher die Abnahme des verplombten Deckels.

Nach der durchaus positiv verlaufenden Aktion, die Geräte liefen also an, aber brachten den Fahrschein nur fragmentarisch heraus, bzw. Gerät 2 druckte kurz, fiel aus dem Programm und startete selbständig neu, wurden beide Geräte getrennt untersucht und in Betrieb genommen.

Folgende Erkenntnisse wurden gewonnen:

Wiederherstellung der Funktionsfähigkeit von Gerät 1:

Fehlerbild Gerät 1: kein vollständiger Druck, es kommt nur ein kurzes Stück des Fahrscheines heraus.

Maßnahmen:

Die Hauptsicherung F2 war mit Grünspan überzogen und hatte einen Übergangswiderstand von 400 Ohm. Die Farbbandkassette war eingetrocknet und die 9 Nadeln des Druckers schwergängig, bzw. total festgeklebt.

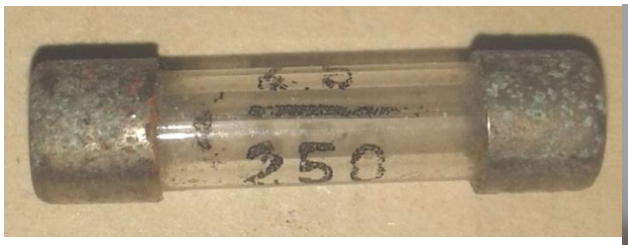


Bild 7; Grünspan am Sicherungshalter und an der Sicherung

Bild 8: Neue Sicherung und Sicherungshalter

Bild 9: Nadeldruckkopf mit festgeklebten Nadeln

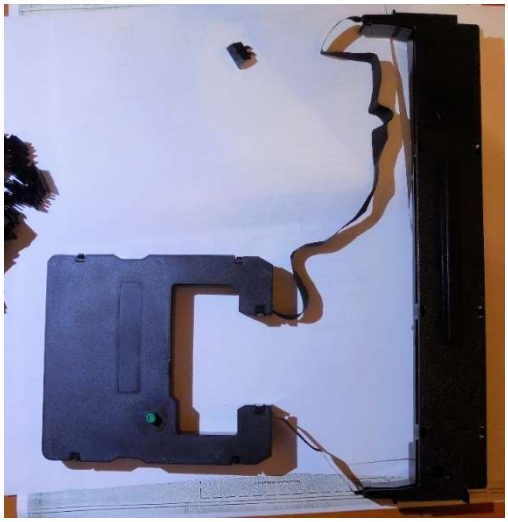


Bild 10: Neues Farbband einsetzen

Nach Ersatz des Sicherungshalters mit einer neuen Sicherung, das (mühselige) Einspulen eines heute erhältlichen Farbbandes aus einer Kassette mit anderen Außenabmessungen und einer gründlichen Reinigung des Druckkopfes mit Isopropanol, druckt der FABUS 1 wieder wie früher.

Für Demozwecke wurde die Software des FABUS 1 so modifiziert, dass die frühere Grenze für das Fahrscheindatum (31.12.99) aufgehoben wurde und man auch Fahrscheine mit heutigem Datum drucken könnte. Die Jahreszahl ist allerdings weiterhin zweistellig.

Dazu das Video „Gerät 1 druckt.mp4“

Interessant in diesem Zusammenhang, dass die verwendete Lithium-Herzschrittmacherbatterie des ehem. VEB Fahrzeugelektrik Pirna (FER) den statischen 1 KByte CMOS RAM zuverlässig mit Spannung versorgt hat und die Daten noch erhalten waren. Also Druckparameter und Betriebsdaten.
Der Stützstrom beträgt bei diesem Gerät 0,3 uA. In der Produktion wurde der Stützstrom und die Batteriespannung gemessen, ferner das Datum vermerkt. Diese Daten wurden per Notiz auf der Batterie befestigt. Zirka 30 Jahre nach der Produktion konnte noch die volle Spannung gemessen werden!

Mit der heute, im Gegensatz zum Datenblatt von vor 1989, veranschlagten Selbstentladung von 0,1 % pro Jahr, das bedeutet ca. 0,28 uA Strom und dem gemessenen Stützstrom von 0,3 uA ergibt sich rechnerisch noch eine weitere gesicherte Speicherzeit der Daten von mehr als 90 Jahren.

Es soll noch erwähnt werden, dass im normalen Einsatz, also während des Betriebes auf dem Bus nur die Selbstentladung eine Rolle spielt.

In der Produktion wurde später aus Kostengründen statt der LiS 2300 die auch von FER gefertigte CR2032 verwendet. Gerät 2 war mit so einer Batterie ausgestattet.

Bild 11: Technische DatenStützbatterien, Herzschrittmacherbatterie LiS2300 und CR2032

Lithium Battery LiS 2300
for Cardiac Pace-Makers

Lithiumbatterie LiS 2300
Kenn-Nr. 9631.1

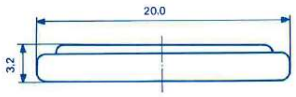
Lithium Battery LiS 2300
Code no. 9631.1

Technische Kennwerte:
Technical Data:

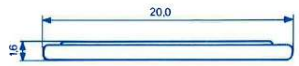
Nennspannung	Rated voltage	2,8 V	2.8 V
Nennkapazität	Rating	2,5 Ah	2.5 Ah
Nennstromstärke	Rated amperage	– 20 µA	– 20 µA
Betriebsdauer	Operating period	≧ 10 Jahre	≧ 10 years
Betriebstemperatur	Operating temperature	36–42 °C	36–42 °C
Selbstentladung	Self-discharge	≦ 6 % in 10 Jahren	≦ 6 % in ten years
Energiedichte	Energy density	0,80 Wh · cm⁻³ 0,23 Wh/g	0.80 Wh · cm⁻³ 0.23 Wh/g
Leckrate	Leakage rate	≦ 1,3 · 10⁻⁹ Pa · m³ · s⁻¹	≦ 1.3 · 10⁻⁹ Pa · m³ · s⁻¹

Lithiumbatterien
Lithium Batteries

Lithiumbatterie CR 2032
Lithium Battery CR 2032
Kenn-Nr. Code No. 9632.1



Lithiumbatterie CR 2016
Lithium Battery CR 2016
Kenn-Nr. Code No. 9632.2



Technische Kennwerte: Technical Data:		Lithiumbatterie CR 2032 Lithium Battery CR 2032	Lithiumbatterie CR 2016 Lithium Battery CR 2016
Nennspannung:	Rated Voltage:	3 V	3 V
Nennkapazität: (15 kΩ, 20 °C, 2,0 V Endspannung)	Rated Capacity: (15 kohms, 20 °C, 2.0 V final voltage)	170 m Ah	55 m Ah
Arbeitstemperaturbereich:	Working Temperature Range:	– 20 °C . . . 45 °C	– 20 °C . . . 45 °C
Masse:	Weight:	3 g	2 g
Abmessungen:	Dimensions:	Ø 20 mm Dicke 3,2 mm thickness 3.2 mm	Ø 20 mm Dicke 1,6 mm thickness 1.6 mm

Bild 12: Gerät 1
die LiS2300 mit der gleichen Spannung wie zur Produktionszeit (wahrscheinlich 11.04.1987)

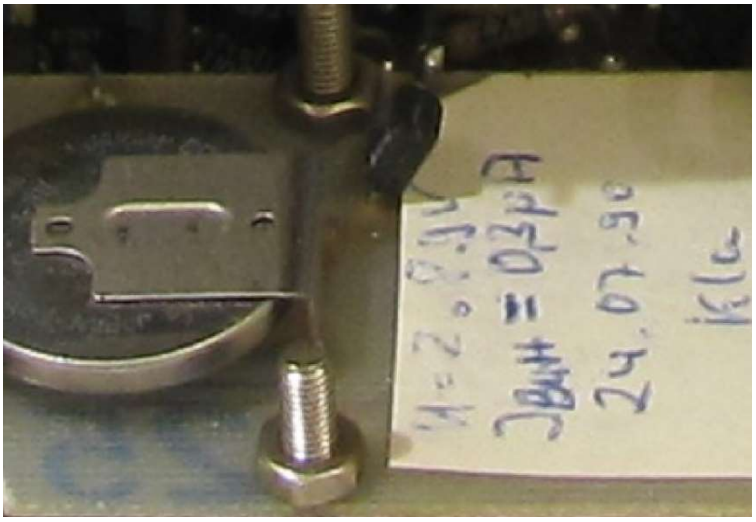


Bild 13: Gerät 2 mit der CR2032

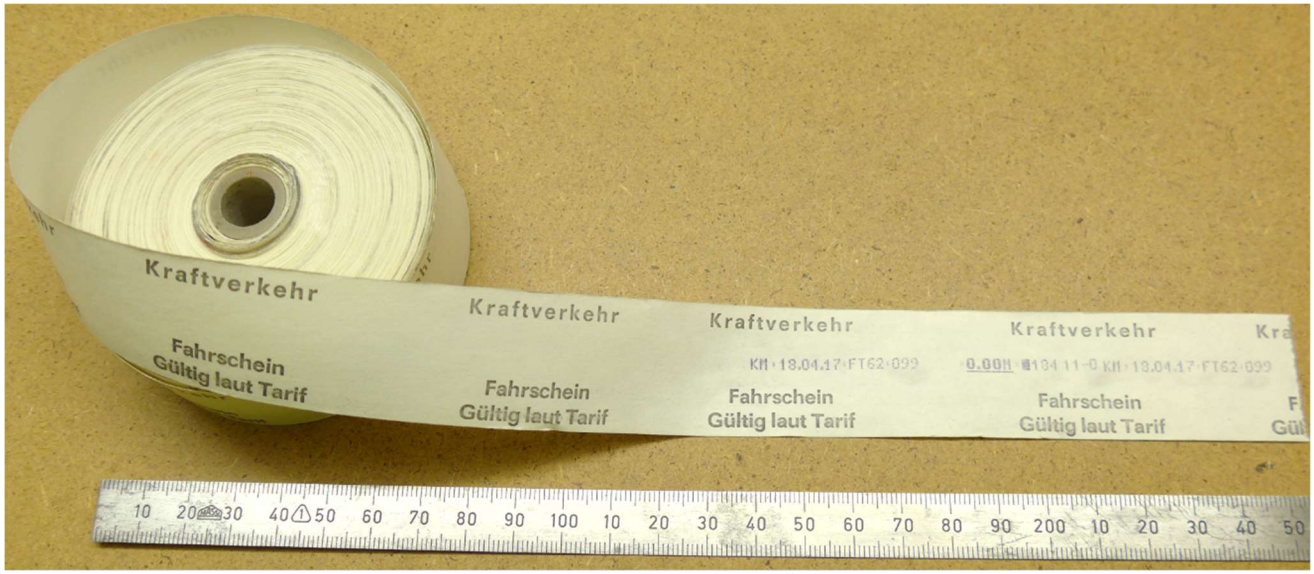


Bild 14: Druck auf der originalen, oben und unten vorgedruckten, Fahrscheinrolle, ab Teil km wird schon für den neuen Fahrschein vorgedruckt

Bemerkenswert war ferner: die notwendigen 30A pro Nadel (im ms-Bereich) kommen aus Elektrolytkondensatoren 1 x 1.000uF/40V und 2 x 470uF/40V, die Restkapazität ist noch ausreichend, um das zu gewährleisten.

Wiederherstellen der Funktionsfähigkeit von Gerät 2:

Fehlerbild Gerät 2: Anzeige leuchtet nur kurz, geht aus und beginnt von vorn, ferner pfeift das Netzteil. Der Drucker druckt nur ganz kurz und keinen vollständigen Fahrschein.

Maßnahmen:

Hier waren die Fehlerursachen etwas komplexer als bei Gerät 1. Der Hauptfehler lag im Gleichspannungswandler (GSW), der aus 24V DC Bordspannung 5V DC, 12V DC und 30V DC herstellt.
Auswechseln der Elkos im GSW führte zu keiner Änderung des Verhaltens.
Der Fehler lag in der 30V Versorgung, die dem 24V Netzteil zu viel Strom entzieht, so dass die 24V DC kurzzeitig zusammenbrechen. Dadurch brechen auch die 5V DC zusammen, die den Mikroprozessor versorgen. Danach begann das von vorn.
Der Schaltkreis B260 regelte das Tastverhältnis nicht mehr und wurde durch einen heute erhältlichen TDA1060 ersetzt (Controller für Schaltnetzteile)
Die 30V wurden nun ordentlich erzeugt.
Jetzt wurde das Thema Pfeifen der 5V DC Stromversorgung im L104 angegangen.
Ein Neuwickeln brachte keine Lösung, ebenso das Auswechseln des B260D.

Der Fehler war, dass die Sollspannungsregelung (Rückführung von R122 auf N101:Pin3) nicht arbeitete.

Dadurch hatte der B260D die Leistungsstufe mit maximal eingestellten Tastverhältnis R104/R105) angesteuert, was zu einer überhöhten Spannung auf der 5P Schiene führte. Dank der Überspannungsbegrenzung (Rückführung R122/R123 auf N101:Pin13) wurde dann der B260D gestoppt und lief wieder frisch an. Es gab also
eine Art pulsierenden Betrieb, den L104 mit dem pfeifenden Geräusch (oder eher ein hohes, kratzendes Zirpen) quittierte. Da hatte aber eher der Kern geschwungen als die Spule, denn die wurde nach dem neu Wickeln richtig vergossen.
D.h. die gemessenen 5,1V auf der 5P Leitung waren nur der Mittelwert, weil das Multimeter integriert. In Wirklichkeit war da ein Gewackel zwischen 4,9V und 5,6V drauf. Ursache muss eine kalte Lötstelle gewesen sein, denn final wurden keine weiteren Bauteile gewechselt, nur an einigen Stellen gelötet. Am Ende wurden die 5V sauber und ohne Störgeräusche erzeugt.

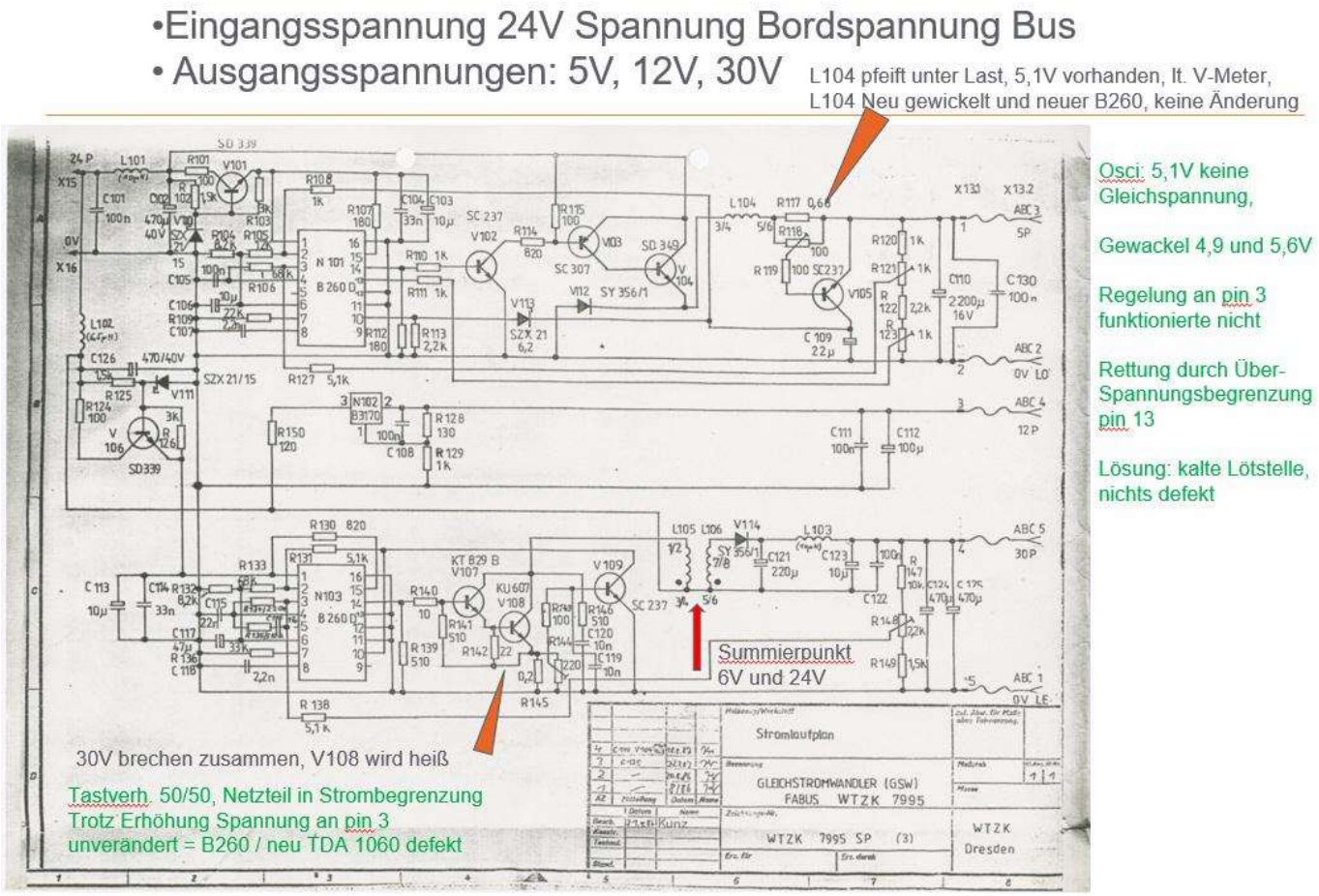


Bild 15: Fehlersuche am Gleichspannungsnetzteil

Auch bei Gerät2 war Grünspan an der Hauptsicherung F2 der zentralen Leiterplatte zu finden, ebenso das Farbband zu wechseln und die Nadeln des Druckkopfes leichtgängig zu machen.

Für **Schaltplan- und Controllerspezialisten** sei noch angefügt:

Auf Grund der Untersuchungen und Auswertungen der Messkurven, wie im Bild 15 dargestellt sowie der Datenblätter von Prozessor und Speicher wurden noch einige **Unsauberkeiten der damaligen Entwicklung** festgestellt.

So schwingt bei geringer Last (ca. 30mA), was im zusammengeschaltetem Zustand der Baugruppen nicht vorkommt (ca. 500mA) der Transistor V104. Beseitigt wird das **Schwingen** durch einen Widerstand 1kOhm an der Basis von V104.

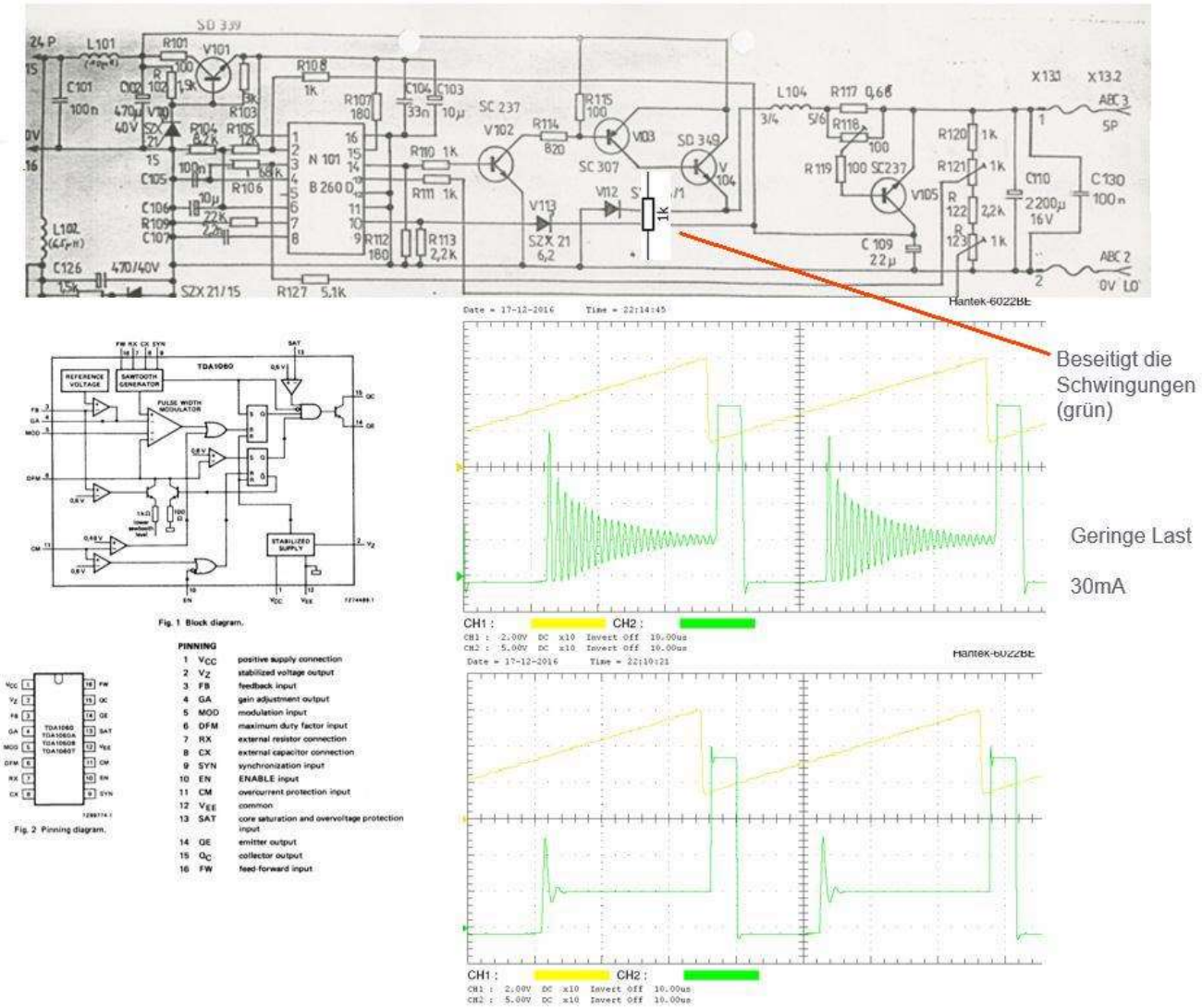


Bild 16: Schwingungen bei geringer Last

Weiterhin wurde eine kleine Unsauberkeit beim **Zugriff auf den RAM** festgestellt:
Das /WR-Signal für den RAM (Pin 10) wird durch Invertierung des /RD-Signals der CPU generiert. /RD ist im Gegensatz zu /WR simultan zum /MREQ aktiv.

Das RAM-Pin 10 wird also permanent auf Low gelassen so dass jedes /CS (Pin 8) eine Schreiboperation am RAM bewirkt, es sei denn, die CPU macht /RD aktiv (Leseoperation). Ist dadurch nicht sauber, da durch unterschiedliche Laufzeiten von /RD durch das/die V4011D-Gatter (CMOS, langsam, Gatterlaufzeit max. 150ns bei UDD=5V) und der Erzeugung des /CS-Signals im DS8205D (Schottky-TTL, sehr schnell, Signaldurchlaufzeit max. 18ns + 2* Gatterlaufzeit V4011D) am Ende der Leseoperation durchaus /WR (Pin 10) schon wieder für einige ns aktiv sein könnte, wenn /CS noch anliegt.

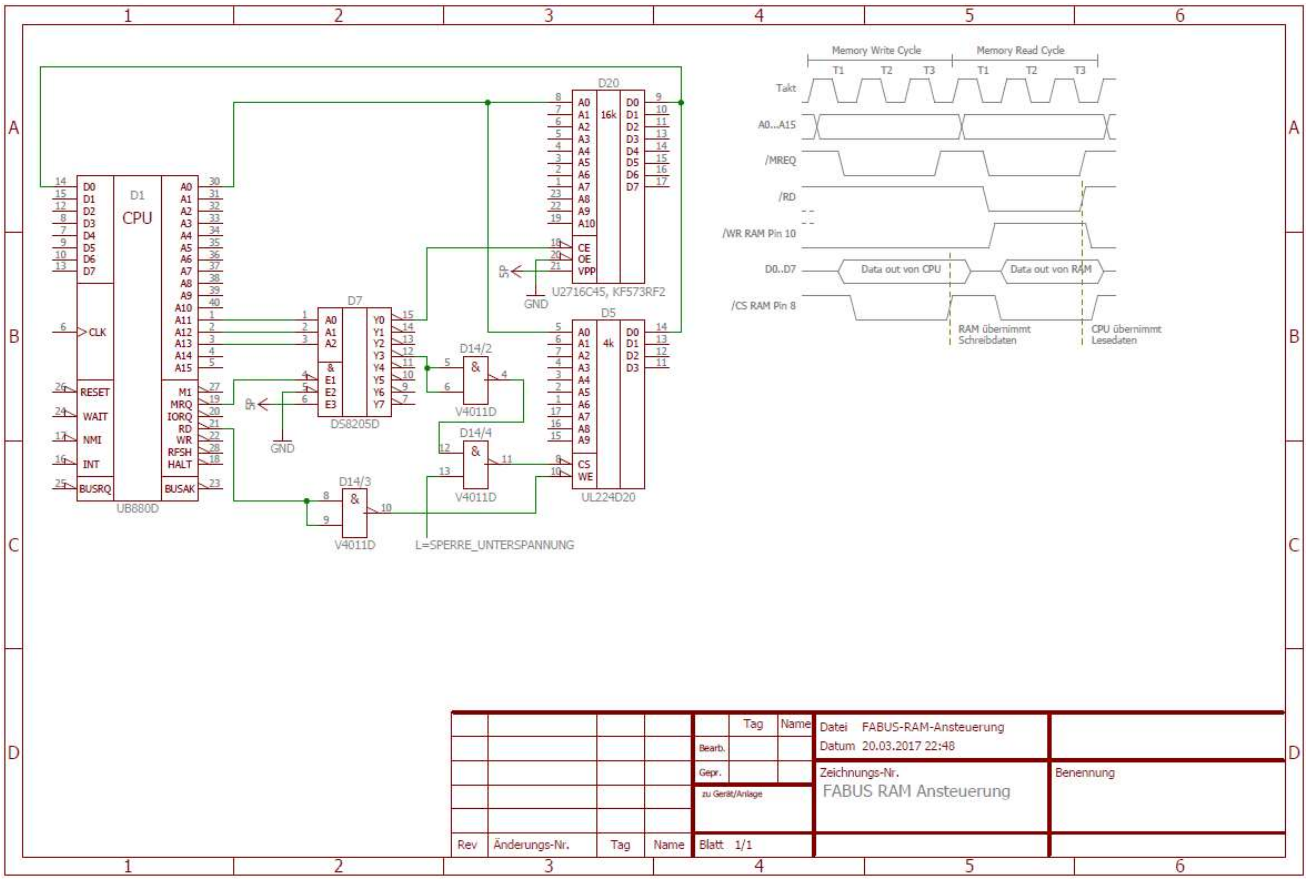


Bild 17: Erklärung zur RAM-Ansteuerung

Gleiches trifft auf die Ansteuerung der EPROMs zu. Auch hier könnte es Probleme beim Einsatz von langsamen Typen geben.
Im M1-Zyklus (1. Maschinenzyklus, Opcode Fetch) jedes Befehls wird zwar aus dem Programmspeicher gelesen, aber das Timing unterscheidet sich von einem normalen Memory-Read-Cycle beim Lesen von Daten.

Ein normales Memory-Read hat drei Taktzyklen zur Verfügung. Beim M1-Zyklus erfolgt das Speicher Lesen aber innerhalb von zwei Takten (T1, T2), die Takte T3 und T4 sind für den Refresh dynamischer RAMs.
Dieses engere Timing hat zur Folge, dass Speicher mit 450ns Zugriffszeit unter worst-case Bedingungen zu langsam sind und einen zusätzlichen WAIT-Zyklus zwischen T1 und T2 brauchen würden, der im Gerät nicht vorgesehen war.

Im FABUS 1 ist der U2716C45 als EPROM eingesetzt, der eine tCE (/CE to Output Delay)

von 450ns hat. Was tatsächlich auf den Leiterplatten steckt, wäre zu klären. Die russischen K573RF2 haben jedenfalls 450ns Zugriffszeit.

Eine Rückmeldung aus der Praxis, dass es Probleme mit den Daten gegeben habe, ist uns Entwicklern im WTZK allerdings nicht bekannt geworden.

Gerät 2 hatte, im Gegensatz zu Gerat 1, keine Herzschrittmacherbatterie Lis 2300 (Preis 150 DDR- Mark) ,sondern eine wesentlich preiswertere CR2032 (20 DDR- Mark) eingebaut. Die dazu notwendige Konstruktion wurde vom Produzenten in Gera in Eigenverantwortung durchgeführt. Es kann gerechnet werden, dass die Kapazität sich mehr als 10 % über der vom Produzenten unter allen Bedingungen garantierten 170 mAh bewegte. (Nach Auskunft des Nachfolgers Fa. Litronik). Mit einer 1 % -igen Selbstentladung und einem Stützstrom wie in Gerät 1 würde sich bei 190 mAh eine Speicherzeit von ca. 25 Jahren ergeben. Tatsache ist jedoch, dass die Daten erhalten geblieben sind, selbst nach fast 30 Jahren. Allerdings wurde die gegenwärtige Batteriespannung nicht gemessen, was noch nachgeholt und diesem Bereicht beigefügt wird.

Als *vorläufige Erklärung* könnte angegeben werden:

der Stützstrom ist wesentlich niedriger als 0,3 uA
die Kapazität ist höher als 170 mAh plus 10%
der Datenerhalt ist auch deutlich unter 2 V gewährleistet

Schlussfolgerungen der Inbetriebnahmen

Die Aktion **„erstes Einschalten“** war gefährlich.

Werden so alte Geräte nach fast 30 Jahren wieder in Betrieb genommen, sollte niemals einfach einschaltet werden. Erst die Spannungsversorgung separat überprüfen und mit einer regelbaren Gleichspannungquelle, unter Beobachtung des aufgenommenen Stromes, in Betrieb nehmen. Wenn alle benötigten Spannung vorhanden sind, diese ggf. zusätzlich alle entsprechen belasten.

Die Hauptplatine hätte auch auf die gleiche Art und Weise, zunächst mit 5 V, von 0 V an, in Betrieb genommen werden können.

Anschließend könnten alle Baugruppen angeschaltet und der Fahrscheindrucker normal in Betrieb gesetzt werden.

Ältere Hardware hat viele Schwachstellen: die Wärmeleitpaste trocknet aus, kalte Lötstellen bilden sich, Bleifreie Lote neigen zur Whiskerbildung (hatten wir vor 1990 nicht), Grünspan entwickelt sich, Bauelemente und Leiterzüge verschmutzen, Übergangswiderstände vergrößern sich, Alterung der Elektrolyte-Kondensatoren

verursacht Kapazitätsverlust, Nachlassen der Isolationswiderstände und manches andere mehr.

Allerdings konnten **sehr positive Eindrücke** gewonnen werden:

- Nach fast 30 Jahren war der Dateninhalt des RAM noch vorhanden
- Die Kapazität der Elkos war noch ausreichend um 30 A im Millisekundenbereich für die einzelnen Nadeln des Druckwerkes zur Verfügung zu stellen
- Rechner und das gesamte Gerät laufen noch wie früher
- Auch der Treibriemen vom Schrittmotor zum Papierantrieb funktionierte noch
- Das typische Geräusch des Nadeldruckerks, den Entwicklern noch in Erinnerung, klang „wie Musik“
- Dieser Inbetriebnahmebericht zeugt von einer ordentlichen Entwicklung, die, im Falle der Elkos, aber auch insgesamt, sicher zu großzügig bemessen war, eine so lange Lebensdauer eines technischen Gerätes käme heute, aus rein fiskalischen Erwägungen, nicht mehr auf den Markt.

Bild 18: Der mobile Fahrscheindrucker FABUS 1 im Praxiseinsatz, Verkehrskombinat Gera, ca. 1987/1988

Ende Inbetriebnahmebericht