Arnold-Elektrometer zur Elektronen- und Ionenstrommessung

Pico-Amperemeter für Labor 017

August 2025 K. Huber, Strahlenzentrum Univ. Gießen
Version 11.Aug.2025

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Eagle 1

2 Elektronenstrommessung (Doku. Arnold) 2

2.1 CURMES (current measurement system) 2

2.1.1 ESMBUS017 (Einschub Messbereichumschaltung 017) 2

2.1.2 ESPANZ017 (Einschub Pultanzeige 017) 3

2.1.3 ESECUR1017 (Einschub electron current 1, Labor 017) 3

2.1.4 ESECUR2017 (Einschub electron current 2, Lab017) 6

2.1.5 SECUR-FU-CONV (Frequenz-Spannungs-Converter) 8

3 Ionenstrommessung 9

3.1 Elektrometer 9

3.1.1 Eingangsstufe 9

3.1.2 Messbereiche 9

3.2 Spannungs-Frequenz-Wandler 11

3.3 Relais-Treiber 11

3.4 Steuereinheit 11

3.5 Nachbau für Ionenquellen-Teststand 11

3.6 50Hz-Störung im Labor 017 11

3.7 Schaltpläne 13

1 Einleitung

Autor: K. Huber (Aug.25)

1.1 Eagle

Die Schaltpläne zu dem Strommesssystem von W. Arnold sind auf dem IONIX unter

```
/home/k3/Dokumentation/Arnold-CurrentMeasurement
```

zufinden. Sie wurden mit EAGLE-3 erstellt. Mit EAGLE-9 sind sie zu öffnen und auszudrucken. Um sie zu bearbeiten müssen aber noch die notwendigen Bibliotheken importiert werden. Unter

```
Bibliothek -> Library Manager
```

wird angezeigt welche Bibliotheken verwendet werden und welche eventuell fehlen.
Die Funktion der XXXX@2-Bibliotheken ist unbekannt (Namensdoppel?).

Unter

```
/home/ewerk/EAGLE
```

gibt es eine recht unübersichtliche Auswahl von Bibliotheken. Die benötigten habe ich über

```
Control Panel -> Bibliotheken -> libraries -> Arnold
```

angelegt und von ewerk nach

```
Dokumente -> eagle -> libraries -> Arnold
```

kopiert. Möglicherweise gibt es dafür aber auch einen anderen Weg. Anschließend müssen die benötigten xxxx.lbr noch mit einem Haken bei Use (rechte Maustaste) aktiviert werden.

2 Elektronenstrommessung (Doku. Arnold)

Autor: W.Arnold (Aug.99)

2.1 CURMES (current measurement system)

Curmes ist ein Messystem, welches zur Elektronen- und Ionenstrommessung im Labor 017 aufgebaut wird. Siehe hierzu Übersichtsplan uescurme. Die Elektronen-Strommessung für große Ströme kann dabei potentialfrei bis 6KV Poterntialtrennung erfolgen (d.h. Messung des zu Kathode fließenden Stromes. Die zu messenden Ströme werden zunächst im jeweiligen Messbereich nach +8.33 Volt Vollausschlag konvertiert und diese von einem Spannungs-Frequenz-Konverter in 500KHz-Pulse gewandelt. Der Konverter arbeitet bis 600KHz, sodaß 20% Übersteuerung des jeweiligen Messbereiches noch fehlerfrei verarbeitet werden. Für die Frequenzzähler der Datenaufnahme stehen optogekoppelte, potentialfreie Ausgänge mit einem High-Pegel von ca. 4V an 50 Ohm zur Verfügung.

Bei den nachfolgenden Beschreibungen wird auf die verwendeten DC-Netzteile nicht eingegangen. Es handelt sich hierbei um Standards der Elektronikwerkstatt. Dort stehen im Bedarfsfall Unterlagen zur Verfügung.

Das Messystem besteht aus folgenden Komponenten (im Folgenden auch als Einschub bezeichnet):

```
ESMBUS017 (Einschub Messbereichumschaltung, Labor 017)
ESPANZ017 (Einschub Pultanzeige, Labor 017)
ESECUR1017 (Einschub electron current 1, Labor 017)
ESECUR2017 (Einschub electron current 2, Lab017)
SECUR-FU-CONV (Frequenz-Spannungs-Converter)
```

2.1.1 ESMBUS017 (Einschub Messbereichumschaltung 017)

Er erzeugt ein 16-Bit-Wort, welches folgende Information enthält:

```
Bit 0..2:        Messbereich Elektronenstrom (acht Messbereiche)
Bit 8..11:       Messbereich Ionenstrom (sechzehn Messbereiche)
Bit 12:          Zero lock Ionenstrom
Bit 14:          Polarität des Ionenstromes
restliche Bits:  unbenutzt.
```

Dieses Wort wir permanent seriell ausgegeben. Zur Veranschaulichung siehe hierzu Plot Nr. 1 vom 6.1.99 des Digitalspeicher-Scopes TEK2440. Es zeigt das Datenwort für drei verschiedene Einstellungen. Die weiteren Einzelheiten des Datenformates finden sich in der Diss. G.Hofmann. Auf der Rückseite des Einschubes befinden sich - neben dem Umschalter für die Polarität des Ionenstromes - vier potentialfreie BNC-Buchsen an denen jeweils das serielle Signal (4V an 50 Ohm) anliegt. Die Buchsenpaare A und B haben je einen gemeinsamen ground.

Auf der Frontplatte des Einschubes befinden sich die Taster für die Messbereichsfortschaltung, sowie Leuchtdioden zur Signalisierung des gewählten Messbereiches und der zero-lock-Schalter für den Ionenstrom. Nach einem power-up-reset ist jeweils der höchste Messbereich eingeschaltet. Der Takt der seriellen Signale kann per Jumper von 2.4576MHz auf 32.768 KHz umgeschaltet werden. Ebenso können die Bits per Jumper invertiert werden. Die gesamte Signalcodierung erfolgt in einem FPGA-Baustein, welcher von K.Huber programmiert wurde.

Nähere Einzelheiten sind den Schaltungsunterlagen ESMBUS017 zu entnehmen. Diese beinhalten folgende Einzel-Schaltpläne:

```
1) BSMBUS (von W.Arnold): Blockschaltbild der Generierung des seriellen Datenwortes.
2) BSMBUS (von G.Euler): 1. Platine (Logik) mit Layout zu 1
3) BSMBUSa (von G.Euler) 2. Platine (Anzeige Frontplatte) mit Layout zu 1.
4) MESSBERU Verdrahtungsplan des Einschubes
5) Listing des Files für ISP Synario System zur Programmierung Chip MRngCtl
   (K.Huber, Vers. v. 22.9.98)
```

Anmerkung (25.3.99): Es wurden zwei dieser Einschübe hergestellt: ESMBUS017.1 und ESMBUS017.2

2.1.2 ESPANZ017 (Einschub Pultanzeige 017)

Er dient der Anzeige von Analogwerten auf einem gut ablesbaren Analoginstrument. Auf der Rückseite befinden sich vier potetialfreie BNC-Buchsen die jeweils zweipolig zum Messeingang durchgeschaltet werden können. Die intere Verstärkerschaltung wandelt pos. oder neg. Signale von .3V, 1V, 3V oder 10V in eine Ausgangsspannung von +10Volt welche dem Anzeigeinstrument, einem Analogausgang auf der Frontplatte und einem Sekündärausgang auf der Rückseite zugeführt werden. Die Ausgangsbuchsen sind mit dem Potential des gerade durchgeschalteten Einganges verbunden. Auf der Frontplattte befinden sich außerdem die Anzeige und Bedienelemente für Messbereichs-, Eingangs- und Polaritätsumschaltung. Die Signalcodierung hierfür erfolgt in einem FPGA-Baustein, welcher von K.Huber programmiert wurde.

Nähere Einzelheiten sind den Schaltungsunterlagen ESPANZS017 zu entnehmen. Diese beinhalten folgende Einzel-Schaltpläne:

```
1) curanz2: Schaltplan und Layout der Verstärker- und Relais-Platine
2) bsanz1 (von W.Arnold): Blockschaltbild der Eingangs- und Empfindlichkeitsumschaltung.
3) bsanz1 (von G.Euler): 1. Platine (Logik) mit Layout zu 1
4) bsanz1a (von G.Euler) 2. Platine (Anzeige Frontplatte) mit Layout zu 1.
5) ÜBANZ1: Verdrahtungsplan des Einschubes
6) Listing des Files für ISP Synario System zur Programmierung Chip xPltAnz
   (K.Huber, Vers. v. 24.9.98)
```

Für eine Sekundäranzeige im Labor steht ein zweites Anloginstrument mit 10Volt Vollausschlag zur Verfügung. Es kann mittels BNC-Kabel mit dem rückseitigen Ausgang des Einschubes verbunden werden.

2.1.3 ESECUR1017 (Einschub electron current 1, Labor 017)

Er dient der potentialfreien und präzisen Messung "großer" Elektronenströme, d.h. von 500mA bis zu 0.15mA Vollausschlag unterteilt in acht Messbereiche. Siehe hierzu Schaltungsunterlagen ESECUR017 und insbesondere Blockschaltbild bsesecur. Ausgelegt und geprüft wurde die Potentialtrennung für Spannungen bis 6KV.
Obwohl der Einschub über die Netzzuleitung geerdet ist, wird dringend empfohlen das Gehäuse an der vorhandenen Steckverbindung mit der Potentialerde des Labors zu verbinden.

Funktion:
Die neg. Ausgangsspannung des Hochspannungs-Netzgerätes der Kanone wird mittels SHV-Stecker (St1) dem minus-Eingang (high input) des Strommessers zugeführt. Der plus Ausgang (Elektronik gnd bzw. low input) wird mittels SHV-Stecker (St2) an die Kathode der Kanone angeschlossen (- natürlich kann der Strommesser auch am Elektronen-Kollektor

auf Erdpotential betrieben werden -). Der Eingangswiderstand des Strommessers ist sehr klein beträgt am Eingang der Platine weniger als drei Milliohm, sodaß der Spannungsabfall bei dem Maximalstrom von 0,5A maximal 3 Millivolt beträgt und damit praktisch keinen Effekt auf die Elektronenenergie hat. Auf der Widerstands- und Relaisplatine ecurf02b wird der zugeführte Strom - messbereichsabhängig - in eine Spannung konvertiert. Mittels der Verstärker- und Wandlerschaltung erfolgt die Frequenzkonvertierung zu 500KHz bei Vollausschlag im jeweiligen Messbereich. Das Ausgangssignal des Wandlers wird über LWL auf Erdpotetial übertragen und steht an zwei BNC-Buchsen mit 4 Volt Amplitude an 50 Ohm zur Verfügung (Platine ecurf03b). Um Erdschleifen im Labor zu vermeiden, sind diese Buchsen potentialfrei mit gemeinsamen gnd (DGND2) ausgeführt.

Genauigkeit der Strommessung:
Alle relevanten Widerstände sind mit Zeranin-Widerstandsmaterial ausgeführt und haben einen TK von 1ppm/C und eine absolute Genauigkeit von 1*10E-4. Bei den Umschaltrelais für die Messbereiche wurden, wo erforderlich, thermospannungsarme Relais (Elfein Typ ECO842) verwendet. Die Verstärker OPA124 (Burr Brown) zeichenen sich durch geringe Drift der Eingangsoffsetspannung (2uV/C) und niedrigen Eingangsstrom aus. Für die Eichung der Messbereiche steht leider keine präzise Stromquelle zur Verfügung. Deshalb wurden mittles eines Netzgerätes und Vorwiderstand geeignete Ströme erzeugt. Die Werte dieser Ströme wurden mittels Spannungsabfall an Referenzwiderständen bzw. direkter Strommessung mittels Keithley 2000 bestimmt. Generell kann man davon ausgehen, daß die absolute Genauigkeit in allen Messbereichen mit besser als +0/-5*10E-4 angenommen werden kann. Dies auch gilt noch für 10%-ige Aussteuerung der Messbereiche. Unter Laborbedingungen kann die thermische Drift bei der angegebenen Genauigkeit vernachlässigt werden.

Abgleich (auf Platine ecurf2a):
Zuerst ist die Eingangsoffsetspannung der Verstärker U1 und U2 mittels P1 und P2 auf Werte kleiner 10uV abzugleichen. Der Ausgangsfrequenz des U/f-Wandlers kann mittels P3 nur für alle Messbereiche gemeinsam abgeglichen werden. Der 0-Abgleich ist mittels P4 bei Aussteuerung eines Messbereiches mit ca. 1% des Nennwertes auszuführen. Da sich beide Potis beeinflussen ist der Abgleich von P3 und P4 zu iterieren.

Eingangswiderstand und Überlastschutz:
Wie bereits gesagt, beträgt der Innenwiderstand des Strommessers ca. 3 Milliohm, sodaß der Spannungsabfall maximal 1,5 Millivolt an den Eingangsklemmen beträgt. Der Messeingang der Platine ist gegen Überlastung mittels Leistungsdioden geschützt. Diese sollten auch Überschläge in der Elektronenkanone verkraften (wurde aber bislang nicht getestet). Diese Dioden schützen den Eingang auch bei fehlender Betriebsspannung, jedoch steigt der Spannungsabfall am Eingang dann auf ca. 0,7 Volt an.

Leckströme und Brumm:
Siehe hierzu insbesondere Blockschaltbild bsesecur. Der Hochspannungstrenntrafo wurde zunächst in Zweikammertechnik ohne Schirmung nach BV7421 von der Fa. Marek/Alsfeld gewickelt. Mit diesem Trafo trat neben hohen Leckströmen mit großen Formierungseffekten auch starke Brummeinstreuung auf. Im zweiten Anlauf wickelte Marek den Trafo nach BV7710 in Einkammertechnik mit Schirmung. Dieser hat wesentlich bessere Eigenschaften. Bei -6 KV Hochspannung rührt der DC-Leckstrom der Schaltung aber immer noch fast ausschließlich vom Trafo her und beträgt etwa 10nA. Des weiteren streut der Trafo einen netzsynchronen AC-Brummstrom ein, der je nach Polung der

Ausgangsklemmen 9uA bzw 1,7 uA beträgt. Damit diese beiden Ströme nicht über den Strommesser fließen, ist der Trafo an den high Input angeschlossen, und zwar die mit 230V bezeichnete Ausgangsklemme (AC-Leckstrom 1,7uA, bei Anschluss der Nullklemme Leckstrom 9uA). Mit dieser Anordnung fließen die Fehlerströme über das Netzgerät der Kanone und werden nicht von der Strommessung erfasst. Diese Schaltung hat jedoch einen anderen Nachteil: Auch die auf Hochspannung liegenden Trafos der Netzteile für die Elektronik erzeugen einen AC-Leckstrom von mehreren uA, welcher zum low Input fließt und dann über den high Input zur Primärseite zurückfließt, also vom Strommesser erfasst wird und infolgedessen zu einer Brummspannung auf dem Analogausgang und dementsprechend zu einer 50Hz-Modulation der Ausgangsfrequenz führt. Dieser Effekt konnte mit der als Brumm-Kompensation im Blockschaltbild bezeichneten Schaltung teilweise kompensiert werden.Der Restbrumm am Ausgang der Analogstufe beträgt 200mVSS im 150uA-Messbereich. Dies entspricht einem Effektivwert von 1,2uA, also weniger als 1% des Messbereiches. Diese Welligkeit führt auch bei kleinen Strömen nicht zu Fehlmessungen, könnte aber bei Scan-Messungen zu Welligkeiten in den Spektren führen, welche sich bei längeren Messungen -falls diese nicht zufällig netzsynchrone Umschaltzeiten haben - wegmitteln müssten.
Anmerkung: Bei dem beschriebenen Problem handelt es sich um einen Designfehler der durch Änderung der internen Polarität des Messverstärkers beseitigt werden kann. Dazu müßte die FET-Stufe (T1 auf ecurf2b) mit neg. Versorgungsspannung betrieben werden, die Eingangspolarität gedreht werden und durch eine zusätzliche nachgeschaltete Verstärkerstufe den Analogausgang invertieren. Dies wäre praktisch auf einen Neuaufbau des aufwendigsten Teiles des Mess-Systems hinausgelaufen und wurde deshalb nicht ausgeführt.
Aber man ist ja lernfähig. Bei dem geplanten Strommesser für kleinere Ströme wird die Eingangsstufe bipolar ausgelegt -ist auch viel einfacher als bei 0,5A Eingangsstrom- und vor dem U/f-Wandler mit einem schaltbaren Inverter versehen. Auf diese Art können beliebige Eingangspolaritäten verarbeitet werden.

Zeitverhalten:
Der Eingangsverstärker wurde so ausgelegt, daß in allen Messbereichen "schnelle" Scan-messungen ausgeführt werden können. Bild 2 vom 6.1.99 zeigt im 150uA-Messbereich den Kurvenverlauf des Analogausganges bei einem Rechteck-Stromsprung von 100uA. Anstiegs- und Abfallzeiten betragen jeweils ca. 75us. In den anderen Messbereichen sind diese Zeiten eher kleiner.

Schaltungsunterlagen:
Nähere Einzelheiten sind den Schaltungsunterlagen ESECUR1017 zu entnehmen. Diese beinhalten folgende Einzel-Schaltpläne:

```
1) bsesecur: Blockschaltbild des Einschubes
2) ecurf02a: Schaltbild und Layout der Platine mit Verstärker und Frequenzconverter
3) ecurf02b: Schaltbild und Layout der Platine mit Messbereichswiderständen und Relais
4) ecurf02: Schaltungen ecurf02a und 02b in einem Plan zusammengefasst
            (zeigt Funktion besser).
5) ecurf03b: Optokopplerplatine
6) SERPA01: Schaltbild und Layout des seriell-parallel-Wandlers
```

2.1.4 ESECUR2017 (Einschub electron current 2, Lab017)

Siehe hierzu Blockschalbild ESECUR2017, Schaltungsunterlagen SERPAR02 und ecurf04b und Verdrahtungsplan ecueinsc_b.

Der Einschub dient – alternativ zum Einschub ESECUR1017 für "große" Elektronenströme - der erdnahen und präzisen Messung "kleiner" Elektronenströme, d. h. von 500uA bis 50 nA Vollausschlag, unterteilt in acht Messbereiche. Die Mess-Elektronik wurde potentialfrei aufgebaut. Um die Strommessung an die Bezugsmasse der Elektronenkanone anschließen zu können, ist die Elektronikmasse auf einer BNC-Buchse (LI -> Low Input) nach außen geführt.
Wichtig: Dieser Einschub ist umpolbar und kann alternativ auch zur Messung von positiven Ionenströmen benutzt werden. Bei gleichzeitiger Verwendung von ESECUR1017 und ESECUR2017 ist dann allerdings ein zweiter - bereits vorhandener - Messbereichsgeber erforderlich.

Funktion:
Der Strom des Elektronenkollektors wird mittels BNC-Buchse dem High Input (HI) des Strommessers zugeführt. Der Low Input (LI) ist an die Bezugsmasse der Hochspannung an der Elektronenkanone anzuschließen. Der Eingangswiderstand der Messelektronik des Strommessers beträgt nur einige Milliohm, jedoch wurde dem High Input ein 1K-Widerstand in Reihe geschaltet, der in Verbindung mit der Doppel-Diode (ID100) dem Schutz des Eingangsverstärkers dient.
Für Korrekturen der Elektronenenergie ist deshalb mit einem Eingangswiderstand von 1kOhm zu rechnen. Beispielsweise fallen bei 500 uA Eingangsstrom am Eingang 0,5 Volt ab.
Der Eingangsstrom wird in jedem Messbereich zu 10/1,2 = 8,33 Volt konvertiert und einem Spannungs- Frequenzwandler mit 600KHz Ausgangsfrequenz bei 10.000 Volt Eingangsspannung zugeführt. . Das Ausgangssignal des Wandlers wird über LWL auf Erdpotential übertragen und steht an zwei BNC- Buchsen mit je 4 Volt Amplitude an 50 Ohm zur Verfügung. Um Erdschleifen im Labor zu vermeiden, sind diese Ausgangsbuchsen potentialfrei mit gemeinsamen gnd ausgeführt. Um über diese Buchsen Brummeinstreuung in den Wandler zu vermeiden, ist dieser gnd mit 10 kOhm an das Gehäuse gelegt. Die Eingangsstufe des Stromkonverters ist bipolar und infolgedessen können mit ihm auch positive Ströme (z.B. Ionen) gemessen werden. Da der Spannungs-Frequenzwandler nur positive Eingangsspannung verarbeiten kann, ist die Eingangspolarität an einem internen Jumper wählbar (z.B. Jumper JP2 gesetzt -> Eingangspolarität positiv).

Zuordnung der Messbereiche und Genauigkeit der Strommessung:
Messbereiche: Die Strom-Spannungskonvertierung kann mit 200KOhm, 2MOhm oder 20MOhm Gegenkopplungswiderstand in der Eingangsstufe erfolgen. Der nachgeschaltete Verstärker verstärkt wahlweise x10, x3 oder x1. Dadurch entstehen 12 - teilweise identische - Messbereiche von 500 uA bis 50 nA. Um möglichst flexibel zu bleiben, wurde die Zuordnung der seriell empfangenen drei Messbereichsbits zu den möglichen Messbereichen in mehreren –noch erweiterbaren – Epromtabellen abgelegt. Das Eprom befindet sich auf der Karte SERPAR02. Siehe hierzu auch die Tabellen "Messbereichskonfiguration ecur04". Im File ecur044.rom ist der Eprom-Hexcode für die in das EPROM eingebrannten Tabellen T1 bis T4 binär gespeichert. Das Brennen des EPROM‘s erfolgte mit dem Juniorprommer auf dem Atari MEGA-ST. Im derzeitigen Zustand ist auf der Karte SERPAR02 die Tabelle T4 gejumpert, d.h. es sind die Jumper A7, A6, A5 gesetzt und die Jumper A4, A3 nicht

gesetzt. Damit ergeben sich acht Messbereiche von 500 uA bis 150 nA.
Genauigkeit: Für die 200KOhm und die2MOhm Widerstände in der Gegenkopplung von U1 und für die Beschaltung des Verstärkers U2 wurden Vishay-S102-Widerstände (Lieferant Bürklin) mit einer absoluten Genauigkeit von 1x10E-4 und einem TK von 1 ppm/C eingesetzt. Für den 20MOhm Gegenkopplungswiderstände mußten, da es die S102 nur bis 100K gibt – 1MOhm Vitrom-491- Präzissionswiderstände (Lieferant Bürklin) mit 0,1% Toleranz und 25ppm/C eingesetzt werden. Zur Kalibrierung dieser kleinen Ströme stehen bei uns keine hinreichend genauen Strommessgeräte bzw. Stromquellen zur Verfügung. Deshalb wurde die Überprüfung der Messgenauigkeit mittles Spannungsmessung (Keithley 2000) an einem Referenzwiderstand vorgenommen (Achtung: gegebenenfalls Eingangsstrom des Keithley 2000 bestimmen und korrigieren). Es kann davon ausgegangen werden, daß die Messgenauigkeit in allen Messbereichen, selbst bei 10% Aussteuerung, etwa 2*10E-4 ist. Allerdings muß bei größeren Temperaturschwankungen damit gerechnet werden, daß dieses Limit in den Messbereichen mit 20 MOhm Gegenkopplung (in der jetzigen Konfigurierung nur 150nA-Bereich) überschritten werden kann.

Zeitverhalten:
Der Eingangsverstärker wurde auch hier so ausgelegt, daß "schnelle" Scanmessungen möglich sind. Die Anstiegszeiten betragen in den Messbereichen mit 200KOhm bzw. 2MOhm Gegenkopplung ca. 50 us. Der 20MOhm-Messbereich hat auf der Platine explizit keinen Gegenkopplungs-Kondensator, jedoch reichen die Streukapazitäten aus, die Anstiegszeit auf ca. 130 us zu limitieren.

Abgleich:
Bei den Abgleicharbeiten sollte der höchste Messbereich gewählt werden, da bei geöffnetem Gehäuse Brumm in die Schaltung eingestreut wird. Die Verstärker U1, U2 und U3 sind bei offenen Eingangsklemmen in der Reihenfolge U1, U2 und U3 mit den Potentiometern P2, P1 und P5 auf Ausgangsspannungen kleiner 10 uV abzugleichen. Der Abgleich von Nullpunkt und Vollausschlag des Spannungs-Frequenz-Wandlers erfolgt mit den Potentiometern P4 und P5 bei ca. 1% und ca. 90% Aussteuerung iterativ. Falls der Vollausschlag mit P5 nicht abgeglichen werden kann, sind für R11 oder R13 passende Widerstandswerte einzusetzen. Dabei ist darauf zu achten, daß der Wert von P3 möglichst klein gehalten wird, da der TK der Abgleich-Potentiometer 100 ppm/C beträgt.
Ein weiterer Abgleich in den anderen Messbereichen ist nicht möglich und auch nicht erforderlich.

Hinweis:
Auf der Frontplatte befindet sich eine Prüfbuchse mit der Beschriftung "Analog Out". Hier ist das Eingangssignal des Spannungs-Frequenz-Wandlers herausgeführt. Bezugsmasse des Signales ist der Low Input. Dies Buchse sollte nur für Prüfzwecke benutzt werden, um mit dem Tastkopf eines Oszillografen Brumm und Störungen auf dem Messignal kontrollieren zu können.

Schaltungsunterlagen:
Nähere Einzelheiten sind den Schaltungsunterlagen ESECUR2017 zu entnehmen. Diese beinhalten folgende Einzel-Schaltpläne:

```
1) bsesecur2: Blockschaltbild des Einschubes
2) ecueinsc_b: Verdrahtungsplan des Einschubes
3) ecurf04b: Schaltbild und Layout der Platine mit Strom-Frequenzwandelung
             incl. LED Ausgang
4) SERPA02: Schaltbild und Layout des seriell-parallel-Wandlers inclusive
```

der Codierung der Relaisansteuerung auf ecurf4b. EPROM-Tabellen

2.1.5 SECUR-FU-CONV (Frequenz-Spannungs-Converter)

Der Frequenz-Spannungs-Converter wurde gebaut, um die als Frequenz ausgegebenen Stromwerte analog anzeigen zu können (500 KHz -> 5 Volt). Es handelt sich im Prinzip um dieselbe Schaltungstechnik wie bei der Steuerung der Penningquelle (Empfänger fv65202b). Das hier verwendete Verfahren setzt voraus, daß Sender und Empfänger mit der gleichen Clockfrequenz laufen. Dies liegt daran, daß der Empfänger nur mit Pulslängen arbeiten kann, die mindestens halb so lang und maximal genau so lang sind wie seine Clockperiode. Um den Wandler allgemeiner verwendbar zu machen wurden an der Platine von Hand zwei Änderungen vorgenommen:

1) Hinter der Photodiode wurden zwei Univibratoren zur Pulsformung angebracht.
   Dadurch ist die Eingangspulslänge beliebig, sie muss aber mindesten 50 ns betragen.
2) Um Übersteuerungen zu erlauben, wurde der Spannungsfolger U1A als Verstärker beschaltet.
   Dadurch ist es möglich den Wandler bis 600 KHz fehlerfrei auszusteuern.

Nähere Einzelheiten sind den Schaltungsunterlagen ESECUR-FU-CONV zu entnehmen. Diese beinhalten:

1) fv65202c: Schaltbild enthält alle an der Platine fv6502b.brd ausgeführten Änderungen.
2) monoflop: Platine der beiden Monoflops

Da es zwei Strom-Mess-Pfade gibt, wurden auch zwei Frequenz-Spannungswandler hergestellt:

5) ESECUR-UF-CONV (Spannungs-Frequenz-Converter)
6) ESIOCUR mit ELEKTROMETER (Ionenstrom-Messer mit Elektrometerkopf)

3 Ionenstrommessung

Autor: K. Huber (Aug.25)

3.1 Elektrometer

(Siehe [iocur012b], Seite 13.) (Siehe [iocur013b], Seite 14.)

3.1.1 Eingangsstufe

Die Eingangsstufe des pA-Elektrometers ist mit einem OPA128LM Elektrometer-OP bestückt (Bias Current <0.1pA). Über P2 kann der Offset justiert werden. Da die pA-Messbereiche bei geöffnetem Elektrometer empfindlich auf die Umgebung reagieren, ist zusätzlich ein externes Poti vorhanden, das über 100GOhm auf der Rückkopplungsplatine eine Korrektur ermöglicht (Siehe [iocur013b], Seite 14.).

Die Funktion der an gleicher Stelle vorhandenen und kurzgeschlossenen BNC-Buchse ist leider nicht bekannt und lässt sich nur mit einer völligen Demontage des Elektrometers klären.

Bei Vollausschlag liegen am Ausgang 8.4V. Damit wird eine Übersteuerung um 20% möglich (s.h. Spannungs-Frequenz-Wandler).

3.1.2 Messbereiche

Die Messbereiche des Elektrometers werden mittels Relais umgeschaltet. Mit Re5, Re6 und Re7 werden die zum Messbereich passenden Gegenkopplungs-Widerstände (jeweils Faktor 100) ausgewählt und mit Re1, Re2 die Faktoren 1, 3, 10, 30 multipliziert. Mit Re3 (Zero-Lock-Funktion) wird der Eingang abgeschaltet.

MB [A]	Re7 100k	Re6 10M	Re5 1G	Re1 *10	Re2 *3	Re3 Lock
100µ	X				X	
30µ	X					
10µ	X			X	X	
3µ	X			X		
1u		X			X	
300n		X				
100n		X		X	X	
30n		X		X		
10n			X		X	
3n			X			
1n			X	X	X	
300p			X	X		
100p					X	
30p						
10p				X	X	
3p				X		
Lock	X				X	X

Rechnung für: Re2 Re1

100kOhm * 100µA * 8.4k / 10k = 8.4V
100kOhm * 30µA * 28k / 10k = 8.4V
100kOhm * 10µA * 8.4k / 1k = 8.4V
100kOhm * 3µA * 28k / 1k = 8.4V

Zur Unterdrückung von Störungen sind den Messwiderständen auf der Gegenkopplungs-Platine zum Teil (100k, 10M) Kondensatoren parallel geschaltet. Für die hohen R-Werte (1G, 100G) sind die Leiterbahn-Kapazitäten ausreichend als Filter. Der pA-Bereich wird damit bereits recht langsam in seiner Reaktion!

Gemessene Anstiegszeiten T (Arnold, 23.02.00)

Messber.	R	C	T	tau = T/2.2
100μ	100K	330p	85μs	38.64μs
30μ	100K	330p	85μs	38.64μs
10μ	100K	330p	85μs	38.64μs
3μ	100K	330p	134μs	60.91μs
1μ	10M	2,2p	85μs	38.64μs
300n	10M	2,2p	85μs	38.64μs
100n	10M	2,2p	85μs	38.64μs
30n	10M	2,2p	125μs	56.82μs
10n	1,01G	ohne	2,95ms	1.34ms
3n	1,01G	ohne	2,95ms	1.34ms
1n	1,01G	ohne	2,95ms	1.34ms
300p	1,01G	ohne	2,95ms	1.34ms
100p	100G	ohne	208ms	94.55ms
30p	100G	ohne	208ms	94.55ms
10p	100G	ohne	208ms	94.55ms
3p	100G	ohne	208ms	94.55ms
3p..100p	100G	27p	4,9s	2.23s

27p Styroflexkondensator zwischen Jumper am Ausgang des Elektrometers und Eingangspin auf Gegenkopplungsplatine eingelötet. Durch den Kondensator entstehender Fehler ist kleiner als 2 Promille vom Endwert.

3.2 Spannungs-Frequenz-Wandler

(Siehe [iocur02a], Seite 15.)

3.3 Relais-Treiber

(Siehe [serpar03a], Seite 16.)

3.4 Steuereinheit

(Siehe [iocur03a], Seite 17.)

3.5 Nachbau für Ionenquellen-Teststand

Für den Ionenquellen-Teststand ist ein ungetesteter Nachbau des Elektrometers zum Einsatz gekommen, der einige Nachbesserungen erforderlich machte.

- Auf dem Elektrometer-Board (iocur012b) fehlte eine Lötstelle am IC U2. Pin2 und Pin8 sind auf der Lötseite verbunden, müssen aber auf der Bestückungsseite an Pin2 und/oder Pin8 mit Masse verlötet werden. Die fehlende Masseverbindung führte dazu, dass sich die beiden Eingänge nach dem Anschalten ganz langsam auf + oder - aufgeladen haben, je nachdem...
- Der Nachbau war mit dem OPA111AM statt OPA124 bestückt. Der OPA111 sollte ein verbesserter Nachfolger des OPA124 sein, ist jedoch nur im TO-Gehäuse erhältlich und hat leider als Ersatz nicht funktioniert. Da der OPA124 nicht in aureichender Anzahl vorhanden war, haben wir ihn teilweise durch den OP07CP ersetzt, der allerdings seinen Zero-Abgleich auf den Pins 1 und 8 hat statt auf 1 und 5. Daher wurden die Pins 1 und 8 getrennt, der Pin 5 des OP07 ist NC (s.h. Schaltplan iocur02ax). Auf den Zero-Abgleich kann verzichtet werden, da er nur wenige mV justiert im Vergleich zu 10V bei Vollausschlag.
  Eine Alternative zum OP07 könnte der OPA189ID sein, der auch bei der Hochspannungs-Regelung in 017 als Ersatz verwendet wird. Da er nur in SOIC-Bauform erhältlich ist, wird ein DIP-SOIC-Adapter benötigt.
- Am Poti für die externe Offset-Justierung ist bei der Montage der hochliegende Pin abgebrochen. Die externe Offset-Spannung liegt jetzt dauerhaft auf Masse.

3.6 50Hz-Störung im Labor 017

Nach dem Umzug in den HBR war der 300pA Bereich bei der Messung von Massenspektren (Cup 2) als einziger stets übersteuert und nicht nutzbar.

Ursache und Wirkung

Bei der Verkabelung wurde über eine längere Strecke die Signalleitung vom Cup parallel zu einigen 230V Netzleitungen geführt. Der damit eingefangene 50Hz-Brumm ist dem Ionenstrom überlagert und stört in den höheren Messbereichen nicht da er im Mittel genau null ist. Im 300pA-Bereich jedoch übersteuert der Brumm die Verstärkerstufen und ist nicht mehr symmetrisch, was zu unterschiedlichen, unsinnigen Werten bei analoger und digitaler Anzeige führt.

Der 3 - 100pA-Bereich ist hingegen nicht betroffen, da die Signale dabei auf 100G-Ohm treffen, die zusammen mit der Leitungskapazität einen ausreichenden Brumm-Filter bilden um eine Übersteuerung zu vermeiden (s.o.).

WorkAround

Da zunächst eine Änderung der Leitungsführung nicht geplant war und nur die Signale des Massenspektrometers betroffen waren, wurde als WorkAround mit Hilfe eines Kondensators nach Masse am Eingang des Elektrometers der Brumm auf ca. 1/10 reduziert. Dies allerdings auf Kosten der Reaktionzeit:

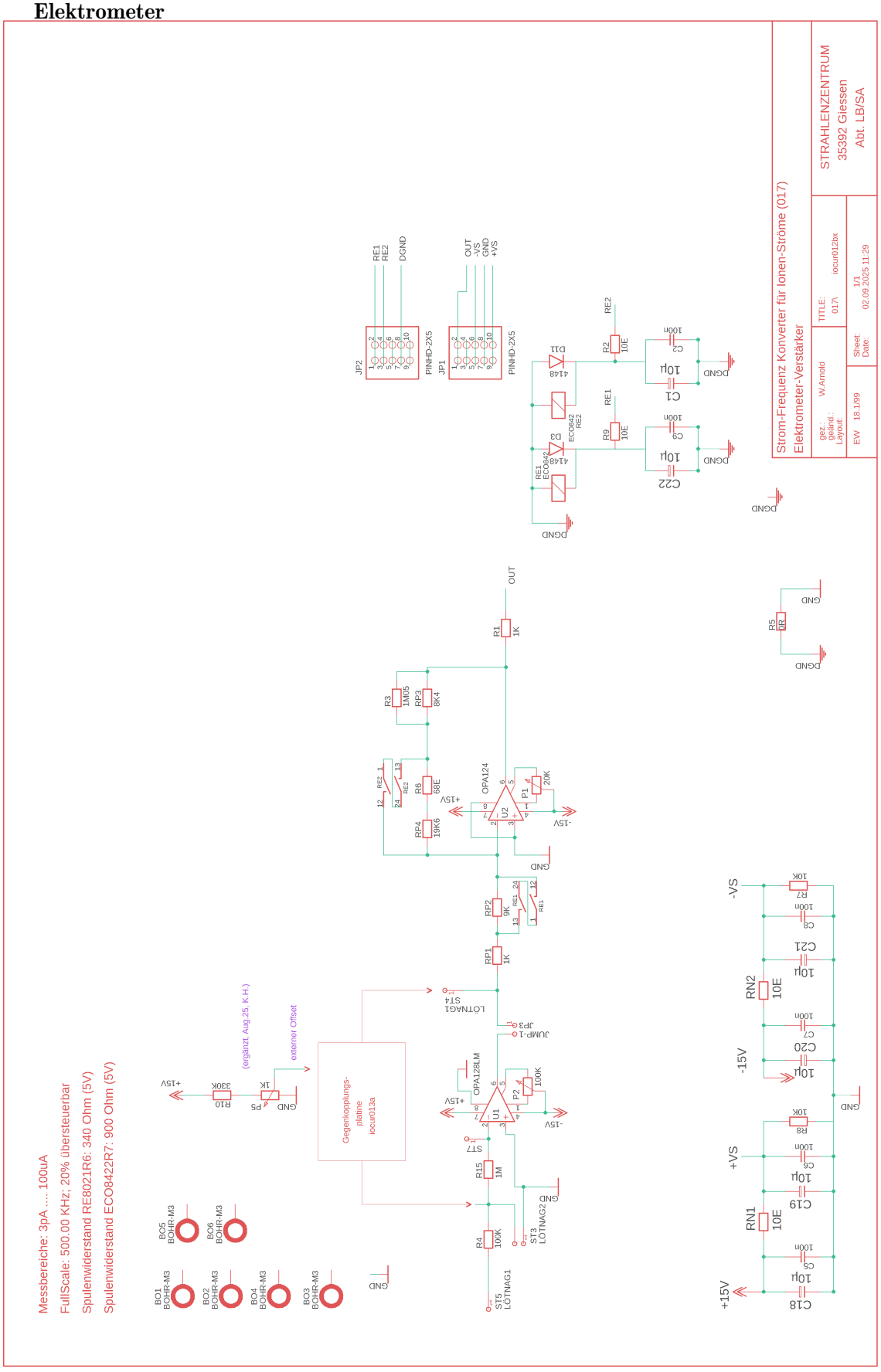
```
Kondersator   Eingangswiderstand   RC-Zeit
  2200nF           100k Ohm         220ms

Anstiegszeiten ohne Filter (s.o.)
  100uA - 30nA    <200us
  10nA - 300pA     2.95ms
  100pA - 3pA      208ms
```

Da die ESW- und ESS-Messungen wegen kurzer Signalleitungen von dem Brummproblem nicht betroffen sind, sollte für diese Messungen das Zusatzfilter entfernt und auch nicht der pA-Messbereich verwendet werden, wenn eine schnelle Reaktion der Ionenstrommessung erforderlich ist.

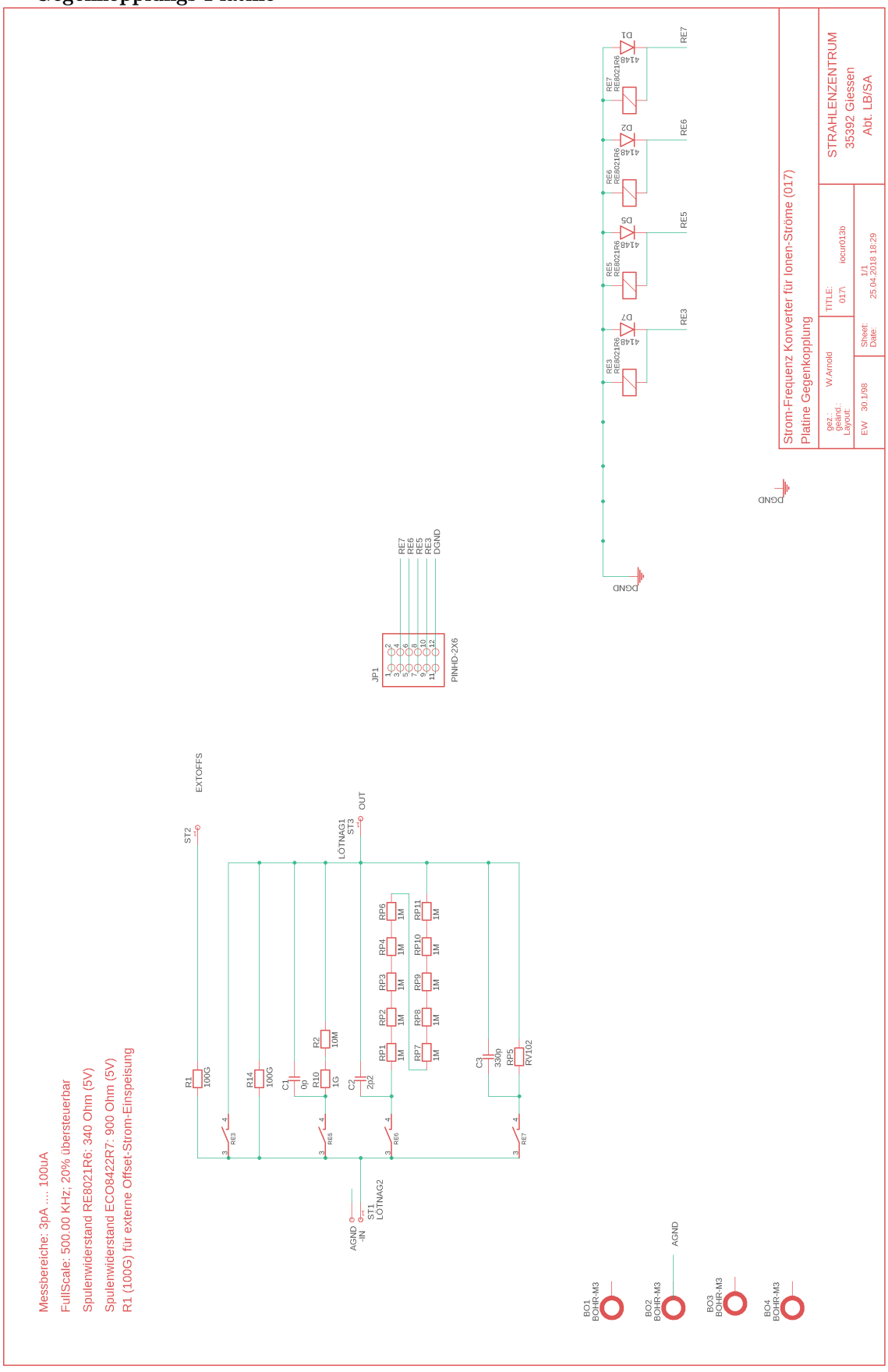
3.7 Schaltpläne

Fast alle Schaltpläne existieren in unterschiedlichen Versionen und stimmen in manchen Details nicht mit den vorgefundenen Boards überein. Hinzu kommen noch handverdrahtete Änderungen. In den Schaltplänen iocur02ax (Elektrometer) und iocur012bx (VFConverter) sind die auf den Boards vorgefundenen Abweichungen vermerkt.
Weitere Schaltungsunterlagen (Eagle) zur Strommessung sind auf dem IONIX unter /home/K3/Dokumentation/ArnoldCurrentMeasurement zu finden.

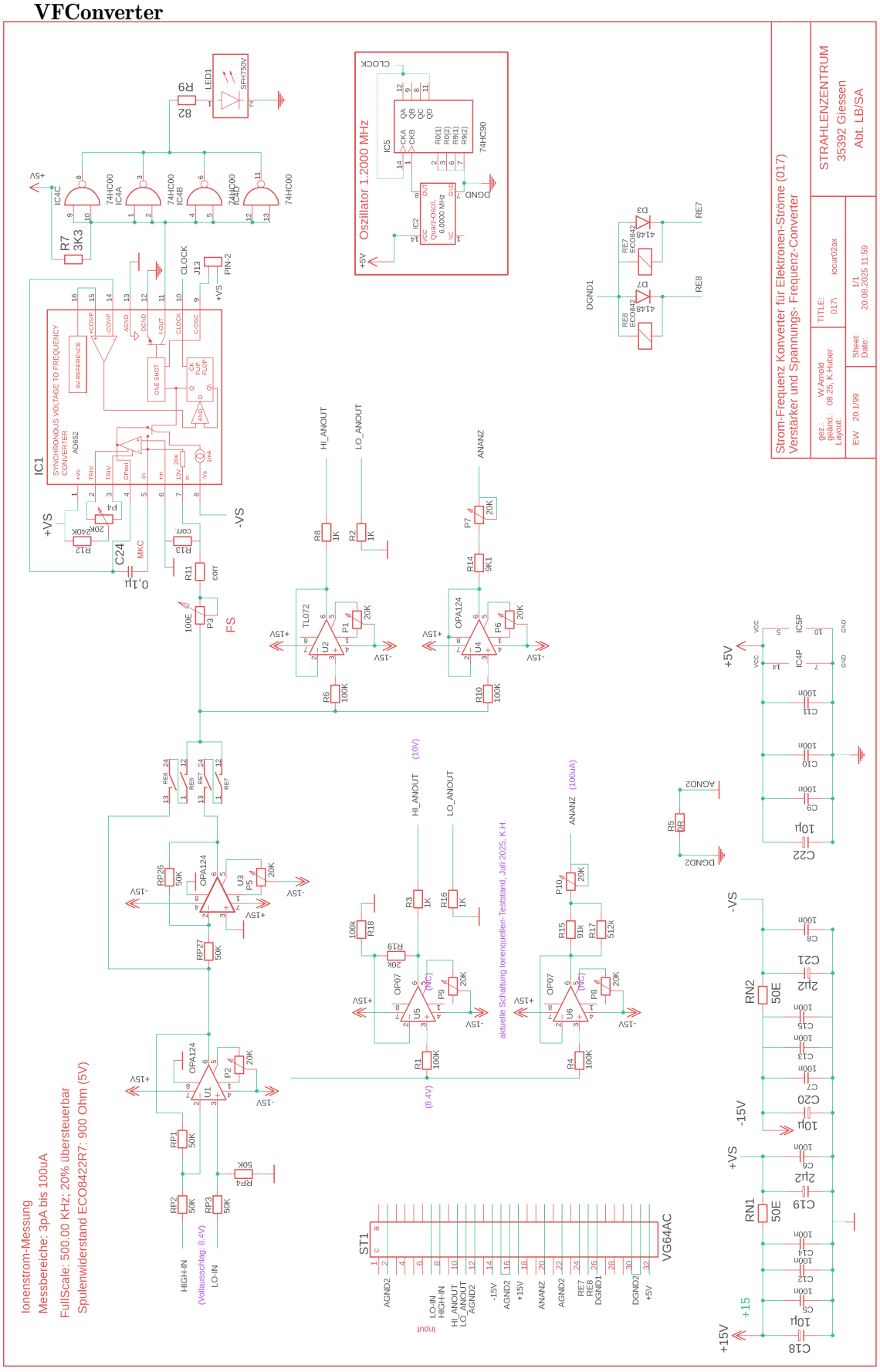
Elektrometer



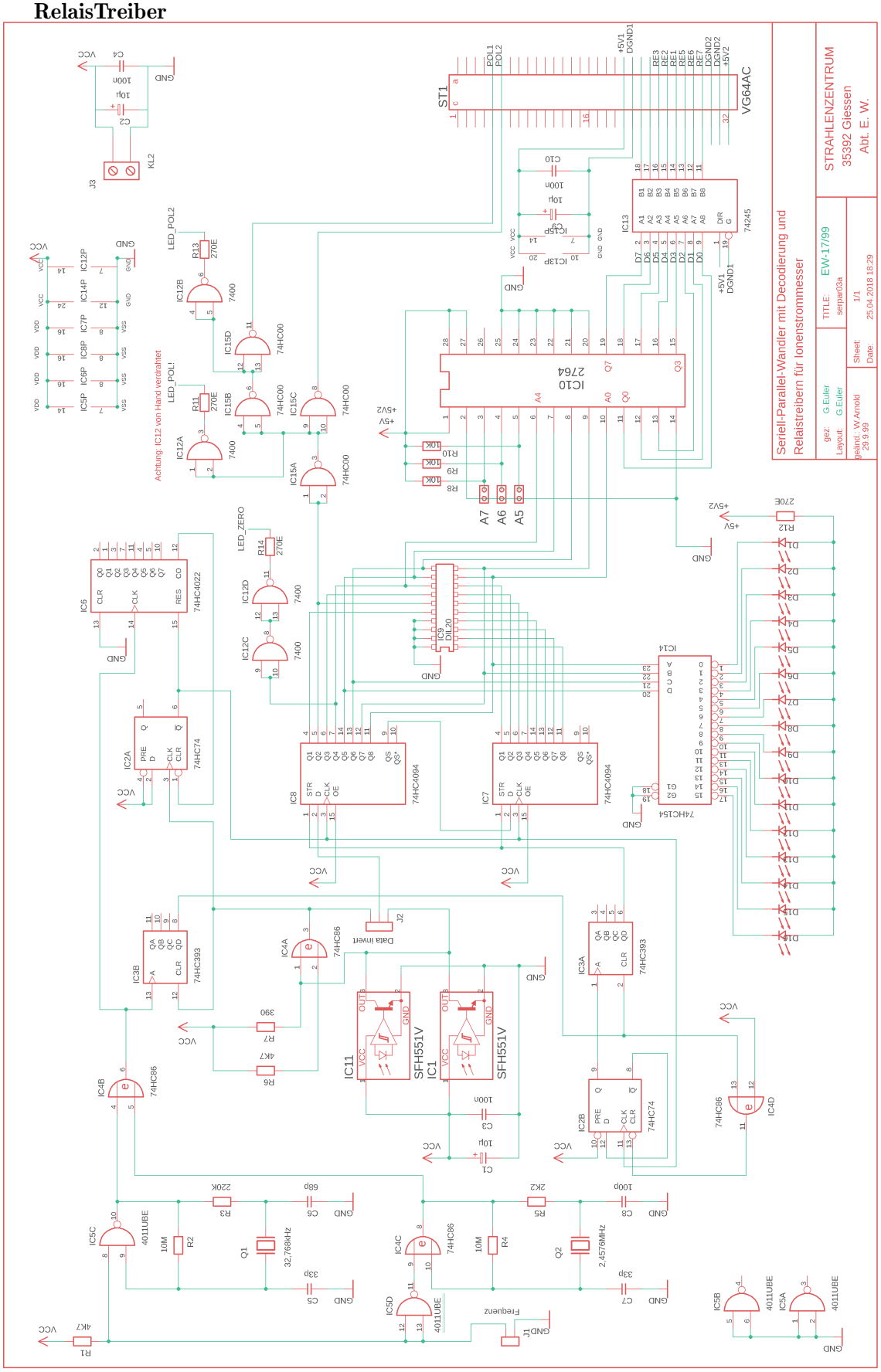
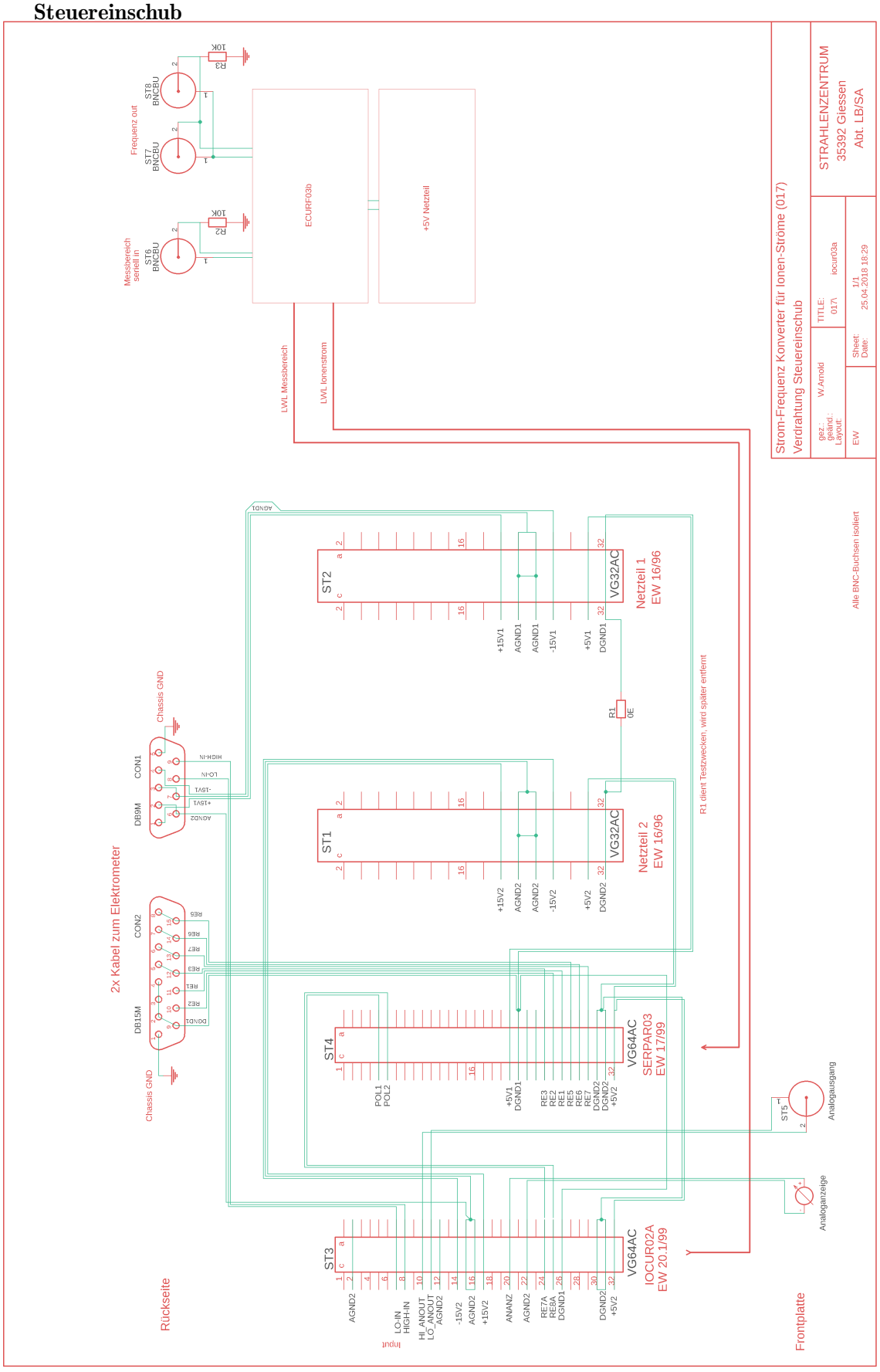
Gegenkopplungs-Platine



VFConverter



RelaisTreiber



Steuereinschub