

Konzeption, Aufbau und Erprobung einer
Goniometersteuerung am
QCLAM-Spektrometer-Meßplatz des
supraleitenden Darmstädter
Elektronenbeschleunigers S – DALINAC

DIPLOMARBEIT

von

Erik Heid

Institut für Kernphysik
Technische Hochschule Darmstadt

Juli 1993



So eine Arbeit wird eigentlich nie fertig,
man muß sie für fertig erklären,
wenn man nach Zeit und Umständen
das möglichste getan hat.

(J. W. Goethe, Italienische Reise, 16. 3. 1787)



Zusammenfassung

Für den Meßplatz am neuen QCLAM-Magnetspektrometer wurde eine rechnerunterstützte Gleichstrommotor-Steuerung entworfen, aufgebaut und getestet. Damit werden ein Halbleiterzählerteleskop (Goniometer) und eine Targetleiter gesteuert, die bei den Koinzidenzexperimenten am neuen supraleitenden Dauerstrichbeschleuniger S-DALINAC eingesetzt werden.

Für Einarmexperimente vom Typ (e, e') ist es nur erforderlich, das gestreute Elektron nach Impuls und Streuwinkel am Targetort zu analysieren. Demgegenüber müssen bei Koinzidenzexperimenten vom Typ $(e, e' x)$ auch die infolge der Kernanregung beim Streuprozeß emittierten Hadronen nachgewiesen werden. Für die Detektion leichter geladener Teilchen wie α -Teilchen und Protonen werden am Goniometer installierte Halbleiterzähler verwendet, die in einer beliebigen Ebene um das Target verdreht werden können müssen, sodaß die Winkelverteilung der Zerfallsteilchen nach einer Kernanregung aufgenommen werden kann. Um außerdem die Möglichkeit zu besitzen, die Strahlposition über Leuchttargets zu kontrollieren und andererseits in einem Meßzyklus mehrere Targets für kernphysikalische Untersuchungen zur Verfügung zu haben, muß die zur Aufnahme mehrerer Targetfolien verwendete Targetleiter in der Höhe und im Winkel zum einfallenden Elektronenstrahl verändert werden können. Die aus Goniometer und Targetleiter aufgebaute Einheit befindet sich hierbei in der evakuierten Streukammer des QCLAM-Spektrometers.

Die Aufgabe der Steuerung besteht somit in der exakten Positionierung der Halbleiterteleskope, so daß die die Detektionsebene definierenden Winkel und somit die Position der Detektoren in allen drei Raumrichtungen jederzeit nach Belieben und entsprechend den experimentellen Erfordernissen des Experimentators verändert werden kann, und der exakten Ausrichtung der Targetfolien in der Höhe und im Winkel zum einfallenden Elektronenstrahl.

Realisiert wurde dies durch den Einsatz eines Einplatinen-Mikrocomputers, der die gesamte Steuerung des Programmablaufes übernimmt. Die notwendige Verbindung zwischen den Motoren und Meßwertaufnehmern an Goniometer und Targetleiter und dem Einplatinen-Mikrocomputer übernimmt eine zusätzliche Steuerlogik. Die Bewegung der Achsen des Goniometers erfolgt über Gleichstrommotoren, die sich in der evakuierten Streukammer befinden. Ein Konzept, das die Verwendung von Schrittmotoren vorsieht, wurde aus konstruktionstechnischen Gründen und der Probleme wegen, die ein Betrieb im Vakuum mit sich bringt, verworfen. Die zur Steuerung notwendige Rückmeldung der momentanen Achsenpositionen wurde mit optischen Winkelschrittgebern realisiert. Weiterhin können zur nachträglichen Eichung bei Strahlbetrieb festpositionierte Endschalter angefahren werden und als Referenz benutzt werden, falls bei einem Ausfall

der Rechnerplatine Referenzwinkeldaten verloren gehen sollten. Es wurde eine Einstellgenauigkeit von besser als 0.1° erreicht, die nur durch die vorgegebene mechanische Konstruktion beschränkt ist.

Zudem wurde eine Handsteuerung installiert, die es vor dem Strahlbetrieb ermöglicht, beliebige Achsen des Goniometers oder der Targetleiter unter Sichtkontakt zu verfahren. Dies ist insbesondere bei einem Aufbau mit mehreren Halbleiterdetektoren unumgänglich, um nicht aufgrund der möglichen Komplexität der Verkabelung Anschlußleitungen beim Verfahren abzureißen. Gleichzeitig wurde in dieser Handsteuerung auch die schon vorhandene Ansteuerung des QCLAM-Spektrometers integriert.

Während des Strahlbetriebes erfolgt die Kommunikation mit der Steuerung, die aufgrund der möglichst kurz zu haltenden Kabellängen nahe der Streukammer positioniert wurde, über ein Terminal, welches über eine RS-232-Schnittstelle mit der Rechnerplatine verbunden ist.

Neben der schon auf der Rechnerplatine installierten Software-Entwicklungsumgebung wurde noch die Hochsprache C implementiert, die es ermöglicht, die zum Betrieb notwendige Steuer-Software auf einfache Weise entwickeln und erweitern zu können. Bei der Programmentwicklung wurde Wert auf einfachste Bedienbarkeit, größtmögliche Flexibilität und eine Architektur, die künftige Erweiterungen erleichtert, gelegt. Das hiermit konzipierte Steuerprogramm erlaubt durch seine komfortable Benutzerführung eine einfache Bedienung des gesamten Systems.

Das System arbeitete bisher insgesamt über 500 Stunden im routinemäßigen Einsatz.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theorie von Elektronenstreu-Koinzidenzexperimenten	4
2.1	Kinematik	4
2.2	Koinzidenz-Wirkungsquerschnitt	7
3	Experimenteller Aufbau	10
3.1	Parameter des Meßprozesses	10
3.2	Elektronen-Zweig	11
3.3	Hadronen-Zweig	12
3.4	Goniometer und Targetleiter	12
4	Entwurf und Aufbau der Goniometeransteuerung	16
4.1	Konzeptionelle Überlegungen	16
4.2	Realisierung	16
4.2.1	Mikroprozessor-Platine	18
4.2.2	Hauptplatine	21
4.2.3	Motoransteuerung	23
4.2.4	Regelprinzip des Vierquadranten-Verstärkers MTRG 24 . .	23
4.2.5	Handsteuerung	24
5	Entwicklung der Treibersoftware	27
5.1	Entwicklungsumgebung	27
5.2	Das FONIO-Hauptprogramm	28
5.2.1	Interrupt-Service-Routine	29
5.3	Kommando-Shell	30
5.3.1	Der Kommandoparser	30
5.3.2	Bedienungsanleitung der FONIO-Shell	32
5.3.3	Bedienungsanleitung der FONIO-Handsteuerung	36
6	Schlußbemerkung	38
A	Schaltpläne	40
B	PAL-Gleichungen	48
B.1	Adress Decoder	48
B.2	Scaler-PAL	49
	Literatur	53

1 Einleitung

Zum Studium von elektromagnetischen Übergängen in Kernen sind am Institut für Kernphysik an der TH Darmstadt während eines Zeitraumes von ca. 30 Jahren Elektronenstreuexperimente auf dem Gebiet der experimentellen Niederenergiekernphysik mit dem Linearbeschleuniger DALINAC [1] durchgeführt worden. Dieser mit normalleitenden Beschleunigungsstrukturen arbeitende Beschleuniger besaß eine Maximalenergie von 70 MeV, ermöglichte aber aufgrund des gepulsten Strahlstromes mit einem Tastverhältnis von 7.5×10^{-4} nur die Durchführung von Einarmexperimenten vom Typ (e, e') , bei denen nur das gestreute Elektron nachgewiesen wird.

Um mehr über die Wechselwirkung in Kernen zu lernen, ist man daran interessiert, möglichst viele der am Streuprozeß beteiligten Teilchen wie e, γ, p, n, α und Kernfragmente nachzuweisen. Da für die Durchführung derartiger Koinzidenzexperimente ein Dauerstrich-Elektronenstrahl notwendig ist, wurde 1982 mit dem Aufbau des supraleitenden Beschleunigers S-DALINAC (Superconducting Darmstadt Linear Accelerator) begonnen, der für eine Maximalenergie von 130 MeV bei einer Energieunschärfe von $\Delta E/E = 1 \times 10^{-4}$ ausgelegt wurde [2]. Dessen Dauerstrich-(continuous wave oder cw)Elektronenstrahl besitzt ein Tastverhältnis von 100%, wodurch Koinzidenzexperimente vom Typ $(e, e' x)$ möglich werden.

Für diese kernphysikalischen Untersuchungen mit hochauflösender Elektronenspektroskopie ist der Einsatz eines Spektrometers mit großem Raumwinkel und hoher Impulsakzeptanz unumgänglich. Dies ist einerseits in den geringen differentiellen Wirkungsquerschnitten, die in der Größenordnung von $10^{-5} \text{ fm}^2/\text{sr MeV}$ liegen, begründet, da erst ein großer Raumwinkel akzeptable Meßzeiten ermöglicht. Andererseits sollen die aufgenommenen Spektren einen Anregungsbereich überdecken, der sich etwa von den Teilchenschwellen bis zum quasielastischen Bereich erstreckt, was eine große Impulsakzeptanz erfordert.

Die mit dem alten Beschleuniger DALINAC betriebenen Spektrometer, ein 120° -Spektrometer [3] und ein 169° -Spektrometer [1, 4] in Energieverlust-Anordnung mit einem Raumwinkel von jeweils 2 msr, sind demzufolge für derartige Experimente nicht so prädestiniert. Deswegen wurde der Aufbau eines neuen Spektrometers in Angriff genommen. An das neue Magnetspektrometer vom Typ QCLAM [5] wurden die folgenden Anforderungen gestellt:

- maximaler Sollimpuls von 200 MeV/c
- annehmbar großer Raumwinkel von 35 msr entsprechend einem horizontalen und vertikalen Öffnungswinkel von jeweils $\pm 100 \text{ mrad}$
- Impulsakzeptanz von $\pm 10\%$

- Ortsauflösung besser als 0.2 mm im Bereich der Fokalebene des Spektrometers, um eine Impulsauflösung von $\Delta p/p = 1 \times 10^{-4}$ zu erreichen. Dies wurde durch den Einsatz einer Vieldraht-Driftkammer [6] als Detektor erreicht

Diese Eigenschaften erlauben auch nichtkoinzidente Messungen vom Typ (e, e') , bei denen allerdings wegen des hier auftretenden hohen Bremsstrahlungsuntergrundes die exakte Bestimmung von Anregungsstärken erschwert wird. Bei einem $(e, e' x)$ -Experiment ist dagegen wegen der Koinzidenzbedingung der Bremsstrahlungsuntergrund aller unter der Anregungsschwelle liegenden Anregungen vollständig unterdrückt.

Zur exakten Bestimmung von Wirkungsquerschnitten müssen neben den unelastisch gestreuten Elektronen noch die beim Streuprozeß emittierten Teilchen oder Kernfragmente koinzident nachgewiesen werden. Hierbei ist man besonders an den leichten geladenen Protonen und α -Teilchen interessiert, da diese auf einfache Weise mit Halbleiterdetektoren nachgewiesen werden können. Da in den Koinzidenz-Wirkungsquerschnitt auch winkelabhängige Terme miteingehen, müssen neben der Teilchenenergie auch die Winkel der emittierten Teilchen bezüglich einer zu definierenden Achse bekannt sein. In der Literatur wird hierzu oft die Impulsübertragungsachse als Bezugsachse gewählt. Zur exakten Positionierung der Halbleiterteleskope mit den darauf befindlichen Teilchendetektoren wurde ein Goniometer [7] und für die Positionierung der Targetfolien eine Targetleiter [8] entwickelt. Diese Einheit wurde in der Streukammer des neuen QCLAM-Spektrometers installiert.

Ziel dieser Arbeit war die Konzeption, der Aufbau und die Inbetriebnahme der für das Goniometer und die Targetleiter notwendigen Ansteuerung. Mit dieser ist es möglich, die Halbleiterdetektoren in allen drei Raumrichtungen von außen steuerbar positionieren zu können und eine der auf der Targetleiter befindlichen Targetfolien exakt in der Höhe und im Winkel zur Strahlachse auszurichten. Um das Steuersystem optimal an die vorhandene Umgebung anzupassen, mußten im Rahmen der vorliegenden Arbeit Verbesserungen an der Mechanik sowie die Entwicklung eines selbstständigen Steuersystems, d. h. der elektrischen Komponenten sowie der notwendigen Programmpakete, durchgeführt werden. Für die Realisierung dieser Aufgabe mußte zunächst ein geeignetes Konzept entwickelt werden, das den folgenden Anforderungen genügen sollte:

- Aufgrund der Probleme im Vakuum und der konstruktionstechnisch vorgegebenen Bedingungen sollte auf den Einsatz von Schrittmotoren verzichtet werden und ein Konzept verwirklicht werden, das die Verwendung von Gleichstrommotoren in Verbindung mit optischen Winkelschrittteilern zur Positionsrückmeldung vorsieht. Diese bieten im Gegensatz zu Reed-Kontakten den Vorteil, daß neben der Digitalisierung der Bewegung noch

die Bestimmung des Umlaufsinnens aus den zwei phasenverschobenen Ausgangssignalen möglich ist.

- Wegen der teilweise vorhandenen mechanischen Kopplung einzelner Achsen des Goniometers ist es sinnvoll, wenn zu jedem Zeitpunkt nur maximal eine Achse verfahren wird. Allerdings muß eine Rückmeldung aller Achsen über deren momentane Position erfolgen können.
- Da bei einem Rechnerausfall Referenzwinkeldaten verloren gehen, sollte die Möglichkeit bestehen, Endschalter als Referenzpunkte anfahren zu können.
- Da bei Experimenten mit einer Vielzahl von Halbleiterdetektoren eine komplexe Verkabelung auftreten kann, sollte die Möglichkeit bestehen, Achsen des Goniometers vor dem Strahlbetrieb zu Justierzwecken unter Sichtkontakt verfahren zu können, um ein Abreißen einzelner Kabel zu verhindern.
- Die Bedienungsumgebung soll dem Experimentator erlauben, jederzeit die für das Experiment wichtigen Parameter entsprechend den experimentellen Erfordernissen auf einfache Weise ändern zu können.
- Das zur Steuerung notwendige Programmpaket sollte so flexibel aufgebaut sein, daß benutzereigene Routinen ohne größere Probleme implementiert werden können.
- Es sollte ein autonomes System entwickelt werden, das von anderen Rechnersystemen unabhängig ist. Dabei sollte im wesentlichen konventionelle diskrete TTL-Logik zum Einsatz kommen, um bei einem Ausfall der Elektronik die Fehlersuche zu erleichtern.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in fünf Kapitel. Im zweiten Kapitel werden zunächst die theoretischen Grundlagen eines Koinzidenzexperimentes dargelegt. Nach einer kurzen Darstellung der Kinematik und Notation wird der fünffach differentielle Wirkungsquerschnitt vorgestellt. Besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die den Streuprozeß charakterisierenden Winkel mit einer Erläuterung des verwendeten Koordinatensystem gelegt. Im dritten Kapitel wird der experimentelle Aufbau der gesamten Koinzidenzmeßapparatur vorgestellt, wobei insbesondere auf den hadronischen Zweig mit einer detaillierten Beschreibung des Goniometers und der Targetleiter eingegangen wird. Das vierte und fünfte Kapitel beschreibt die Ansteuerungselektronik. Im letzteren der beiden Kapitel wird hierbei die eigens für die Ansteuerung entwickelte Software mit einer Beschreibung der Bedienung des Systems vorgestellt. Eine vollständige Beschreibung der Schaltung (Schaltpläne und PAL-Gleichungen) befindet sich im Anhang.

2 Theorie von Elektronenstreu–Koinzidenz–experimenten

In diesem Kapitel werden zuerst einige allgemeine Beziehungen für die koinzidente Elektronenstreuung angegeben, anhand derer die kinematischen Bedingungen für Koinzidenzmessungen festgelegt werden können. Darauf folgend wird ein allgemeiner Ausdruck für den Elektronenstreu–Koinzidenzwirkungsquerschnitt für die Reaktion $A(e, e' x)B$ in Ein–Photon–Austausch Näherung vorgestellt. Hierbei wird sich zeigen, daß infolge der sensitiven Abhängigkeit des Wirkungsquerschnittes von den Elektronenstreuvariablen k_0 , k'_e und Θ_e eine Kenntnis und Beeinflussung aller wichtigen kinematischen Parameter im Experiment möglich sein muß. Die sich hieraus ergebenden Folgerungen werden im nächsten Kapitel behandelt.

2.1 Kinematik

Bevor der Koinzidenzwirkungsquerschnitt für die $A(e, e' x)B$ –Reaktion vorgestellt wird, soll kurz auf die kinematische Situation eingegangen werden [9, 10]. Hierbei sollen im folgenden natürliche Einheiten ($\hbar = c = 1$) verwendet werden. In Abbildung 2.1 ist die $A(e, e' x)B$ –Reaktion als Feynman–Diagramm dargestellt. Eine gute Näherung für Streuprozesse an leichten Kernen ($Z\alpha \ll 1$) liefert der PWBA–Formalismus (Plane Wave Born Approximation). Das einlaufende und das gestreute Elektron werden in diesem Formalismus als ebene Wellen beschrieben. Weiterhin wird angenommen, daß die Wechselwirkung zwischen dem Elektron und dem elektromagnetischen Feld des Kerns durch den Austausch nur eines virtuellen Photons erfolgt (erste Bornsche Näherung). Vor der Streuung am Kern besitzt das Elektron den Viererimpuls $k_0^\mu = (E_0, \vec{k}_0)$, nach der Streuung am anfangs ruhenden Kern den Viererimpuls $k_e^\mu = (E'_e, \vec{k}'_e)$. Der Vierer–Impulsübertrag q auf den Kern ist dann durch

$$q^\mu = (\omega, \vec{q}) = (E_0 - E'_e, \vec{k}_0 - \vec{k}'_e) \quad (2.1)$$

mit ω , Energieübertrag des Elektrons auf den Kern A
 \vec{q} , Dreierimpulsübertrag des Elektrons auf den Kern A

gegeben. Im *extreme relativistic limit* (ERL) für Elektronen nimmt das Vierer–Impulsübertragsquadrat die einfache Form

$$\begin{aligned} q^2 &= \omega^2 - |\vec{q}|^2 \\ &= -2E_0 E'_e (1 - \cos \Theta_e) \\ &= -4E_0 E'_e \sin^2\left(\frac{\Theta_e}{2}\right) \end{aligned} \quad (2.2)$$

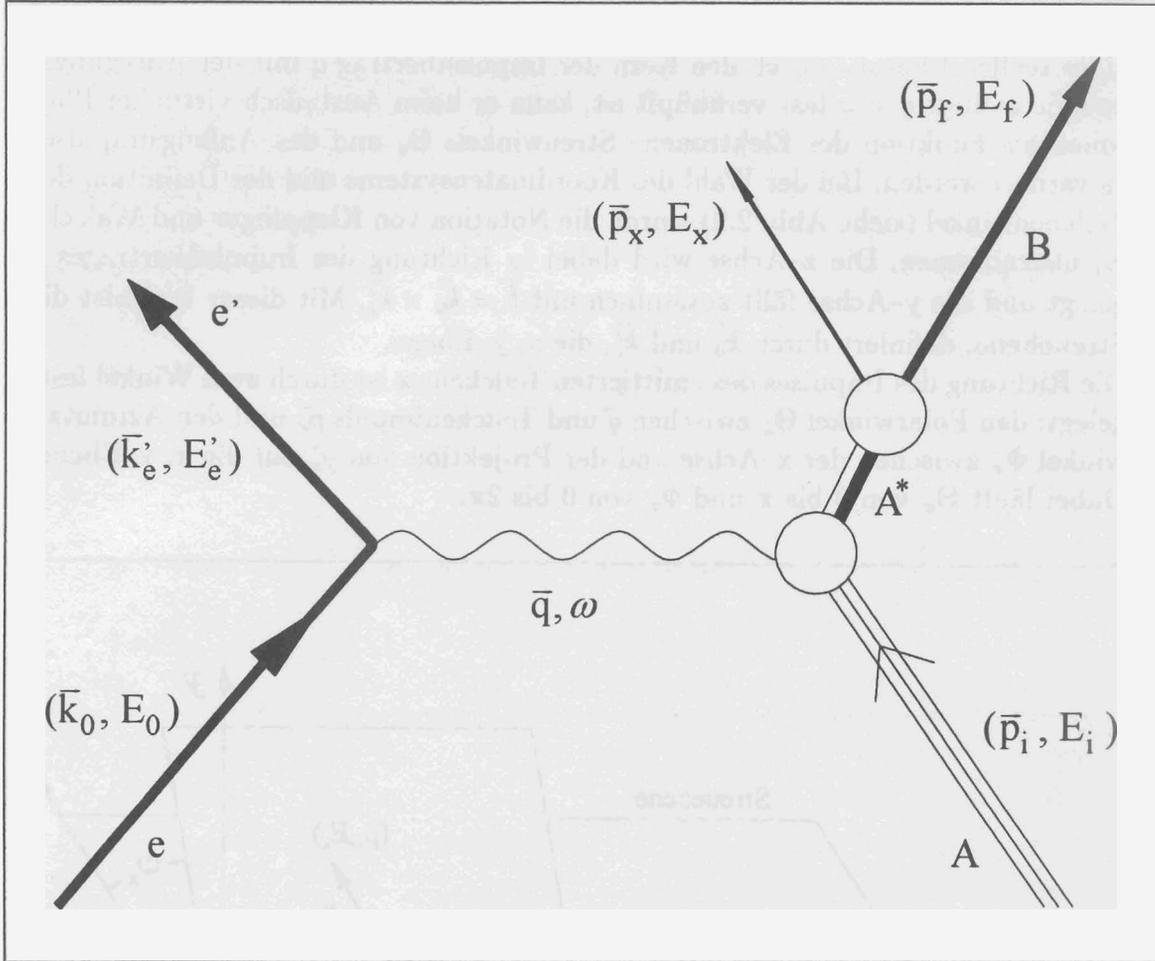


Abb. 2.1: Feynman-Diagramm der Reaktion $A(e, e'x)B$ in erster Bornscher Näherung.

an, wobei Θ_e der Streuwinkel des Elektrons ist. Hierbei wurde verwendet, daß für das Betragsquadrat des Impulsübertrages

$$|\vec{q}|^2 = |\vec{k}_0|^2 + |\vec{k}'_e|^2 - 2|\vec{k}_0||\vec{k}'_e| \cos \Theta_e \quad (2.3)$$

gilt. Analog seien die Viererimpulse von ein- und auslaufendem Targetkern mit $p_i^\mu = (E_i, \mathbf{p}_i) = (M_A, 0)$ und $p_f^\mu = (E_f, \mathbf{p}_f) = (M_B + \epsilon_B, \mathbf{p}_i)$ bezeichnet, wobei M_A und M_B die Ruhmassen von ein- und auslaufendem Targetkern und ϵ_B die Anregungsenergie in Restkern B ist. Der bei dem Streuprozeß angeregte Rückstoßkern A^* fliegt hierbei zunächst in Richtung des Impulsübertrages und zerfällt dann in den Restkern B und ein freies Teilchen x. Der Viererimpuls des bei der Koinzidenzreaktion emittierten Teilchens x sei $q^\mu = (E_x, \vec{p}_x)$.

Hierbei zeigt sich der elementare Vorteil der Elektronenstreuung im Gegensatz zur Anregung des Kernes mit reellen Photonen. Während bei der Absorption eines reellen Photons durch den Kern der Impulsübertrag q mit der Anregungsenergie ω über $q = \omega$ fest verknüpft ist, kann er beim Austausch virtueller Photonen als Funktion des Elektronen- Streuwinkels Θ_e und des Anfangsimpulses k_0 variiert werden. Bei der Wahl des Koordinatensystems und der Definition der Teilchenwinkel (siehe Abb. 2.2) wurde die Notation von Kleppinger und Walecka [9] übernommen. Die z -Achse wird dabei in Richtung des Impulsübertrages \vec{q} gelegt und die y -Achse fällt zusammen mit $\vec{k} = \vec{k}_0 \times \vec{k}'_e$. Mit dieser Wahl ist die Streuebene, definiert durch \vec{k}_0 und \vec{k}'_e , die x, y -Ebene.

Die Richtung des Impulses des emittierten Teilchens x ist durch zwei Winkel festgelegt: den Polarwinkel Θ_x zwischen \vec{q} und Teilchenimpuls \vec{p}_x und den Azimutalwinkel Φ_x zwischen der x -Achse und der Projektion von \vec{p}_x auf die x, y -Ebene. Dabei läuft Θ_x von 0 bis π und Φ_x von 0 bis 2π .

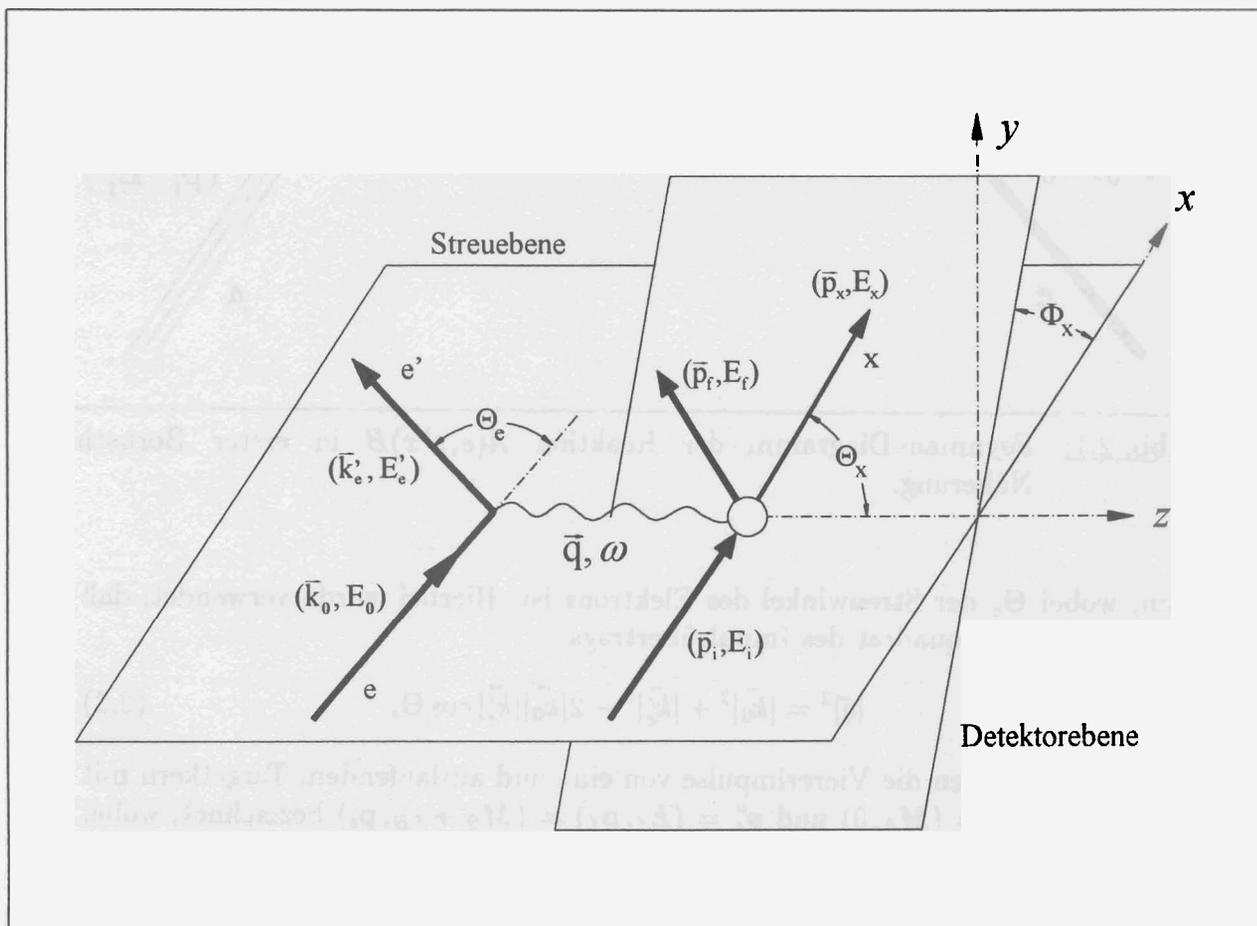


Abb. 2.2: Geometrische Situation und Koordinatenwahl im $A(e, e' x)B$ -Experiment. Die Definition der verwendeten Winkel ist ebenfalls gezeigt.

2.2 Koinzidenz-Wirkungsquerschnitt

Die Untersuchung der Kernstruktur durch Elektronenstreuung bietet den Vorteil, daß einerseits die elektromagnetische Wechselwirkung zwischen Elektronenstrahl und zu untersuchendem Kern genau bekannt ist und andererseits so schwach ist, daß nur einfache Reaktionsmechanismen betrachtet werden müssen. Dies gilt analog für die Photoabsorption, allerdings bietet die Elektronenstreuung den Vorteil einer beliebigen Veränderung des Impulsübertrags bei konstanter Anregungsenergie. Außerdem erlaubt die Elektronenstreuung, aufgrund des einfachen Reaktionsmechanismus alle Interferenzen zwischen den einzelnen Vektorkomponenten des Übergangsoperators zu untersuchen. Wegen der Stromerhaltung sind allerdings nur drei Komponenten des Stromes linear unabhängig voneinander. Normalerweise werden hierfür die Ladung und die zwei transversalen Komponenten des Stromes benutzt. Im Koinzidenzexperiment werden diese Komponenten dann aufgrund ihrer Winkelabhängigkeit durch Veränderung des Detektorwinkels separiert. Somit stellt die koinzidente Elektronenstreuung einen Apparat zur genauen Untersuchung der Struktur des Strom-Operators dar.

Am S-DALINAC wird koinzidente Elektronenstreuung im Bereich niedriger Energie- und Impulsübertragung ($\omega \sim 10\text{-}30 \text{ MeV}$, $q \sim 0.5 \text{ fm}^{-1}$) durchgeführt werden. Dabei liegen die Anregungsenergien oberhalb der Teilchenschwelle und unterhalb des quasielastischen Bereichs, im sogenannten Riesenresonanzbereich. Das ideale Experiment zum Studium der Riesenresonanzen in Atomkernen ist das Koinzidenzexperiment, bei dem nach erfolgter Anregung durch inelastische Elektronenstreuung der Zerfall der Riesenresonanz in geladene Teilchen beobachtet werden kann. Da solche Kernresonanzen durch ihren Spin und ihre Parität bestimmt sind, liegt es nahe, den Koinzidenzwirkungsquerschnitt in eine Form zu bringen, die dem Experimentator eine einfache Bestimmung dieser Größen erlaubt.

Das übliche Verfahren besteht darin, eine Multipolanalyse durchzuführen. Man erhält dann allgemeine Ausdrücke für die Winkelkorrelation zwischen dem Impulsübertrag und der Richtung des emittierten Teilchens, die eine Bestimmung der Beiträge von verschiedenen Multipolaritäten zu den angeregten Zuständen erlauben.

Der $A(e, e' x)B$ -Koinzidenz-Wirkungsquerschnitt wird im folgenden in erster Bornscher Näherung (Ein-Photon-Austausch) und unter Annahme von freien Dirac-Wellenfunktionen für die Elektronen angegeben [11, 12]. Damit ist der Wirkungsquerschnitt exakt in niedrigster Ordnung in α , der Feinstrukturkonstanten, was eine hinreichend gute Näherung für leichte Kerne darstellt.

In der Nomenklatur von Kap. 2.1 lautet der fünffach-differentielle Wirkungsquerschnitt:

$$\begin{aligned} \frac{d^5\sigma}{dE'_e d\Omega_e d\Omega_x^*} &= \frac{2\alpha^2 k'_e}{q^4 k_0} \left(\frac{p_x W}{\pi M_A} \right) \left\{ V_L(\Theta_e) \frac{W^2}{M_A} |J_c|^2 \right. \\ &\quad + V_T(\Theta_e) [|J^{+1}|^2 + |J^{-1}|^2] \\ &\quad + V_{CT}(\Theta_e) \frac{W}{M_A} \sqrt{2} \operatorname{Im} J_c^* (J^{+1} + J^{-1}) \\ &\quad \left. + V_{TT}(\Theta_e) 2 \operatorname{Re}(J^{+1})^* J^{-1} \right\} \end{aligned} \quad (2.4)$$

wobei $d\Omega_x^*$ der Raumwinkel des emittierten Teilchens im Schwerpunktsystem, W die Gesamtenergie des Systems B+x und die Größe p_x der Dreierimpuls des emittierten Teilchens x ist. Hierbei wurde wie gewohnt über alle Anfangszustände gemittelt und über alle Endzustände summiert. Die gesamte Information über den Kern ist im Ausdruck für den Koinzidenz-Wirkungsquerschnitt im Kernstrommatrixelement $J^\lambda(\mathbf{q})$ enthalten, das über die Gleichung

$$J^\lambda(\mathbf{q}) = \int d\mathbf{r} e^{-i\mathbf{q}\cdot\mathbf{r}} \langle \Psi_f | J^\lambda(\mathbf{r}) | \Psi_i \rangle \quad (2.5)$$

definiert ist. Im Koinzidenz-Wirkungsquerschnitt wurde hierbei die longitudinale Komponente J^0 durch das Coulomb-Matrixelement J_c ersetzt, für welche aufgrund der Stromerhaltung die folgende Beziehung gilt

$$J_c = \frac{q^*}{\omega^*} J^0. \quad (2.6)$$

Die $|\Psi_i\rangle$ und $|\Psi_f\rangle$ sind der Anfangs- und Endzustand des Kernes und $J^\lambda(\mathbf{r})$ stellt den elektromagnetischen Einteilchen-Operator dar. Die skalare Komponente dieses Operators entspricht der Kernladungsdichte $\hat{\rho}(\mathbf{r})$, während die Vektorkomponente die Kernstromdichte $\hat{\mathbf{J}}(\mathbf{r})$ ist. Die vor den Kernstrommatrixelementen stehenden kinematischen Faktoren

$$V_L(\Theta_e) = \frac{q^4}{|\vec{q}|^4} (E_0 E'_e + k_0 k'_e \cos \Theta_e + m_e^2) \quad (2.7)$$

$$V_T(\Theta_e) = \left(\frac{k_0 k'_e \sin \Theta_e}{|\vec{q}|} \right)^2 - \frac{1}{2} q^2 \quad (2.8)$$

$$V_{CT}(\Theta_e) = \frac{-q^2}{|\vec{q}|^2} \left(\frac{k_0 k'_e \sin \Theta_e}{|\vec{q}|} \right)^2 (E_0 + E'_e) \quad (2.9)$$

$$V_{TT}(\Theta_e) = \left(\frac{k_0 k'_e \sin \Theta_e}{|\vec{q}|} \right)^2 \quad (2.10)$$

sind alleine durch die Kinematik des Elektrons im Laborsystem bestimmt ([9], Gleichung 2.12).

Der angegebene Koinzidenzwirkungsquerschnitt zerfällt in vier Summanden, die sich jeweils aus unterschiedlichen Kombinationen der Kernmatrixelemente zusammensetzen. Neben den Coulomb- und Transversal-Formfaktoren, die schon von inelastischen Einarmexperimenten her bekannt sind, beinhaltet der Koinzidenzquerschnitt zwei zusätzliche Terme, die weitere Informationen über die Strommatrixelemente enthalten. Diese stellen Interferenzterme (Ladung-Strom (CT) bzw. Strom-Strom Interferenz (TT)) dar, so daß insgesamt eine Bestimmung der Amplituden und Phasen der longitudinalen und transversalen Anteile möglich ist.

Zur Parametrisierung der Kernströme J werden die vier Kombinationen der Übergangsmatrixelemente nach Legendre-Polynomen $P_l(\cos \Theta_x^*)$ bzw. assoziierten Legendre-Polynomen $P_l^m(\cos \Theta_x^*)$ entwickelt, wobei die Parameter A_l, B_l, C_l und D_l als Entwicklungskoeffizienten auftreten ([9], Gleichung 2.11).

$$\overline{|J_c|^2} = \frac{1}{4|\vec{q}|p_x} \sum_l A_l P_l(\cos \Theta_x^*) \quad (2.11)$$

$$\overline{|J^{+1}|^2 + |J^{-1}|^2} = \frac{1}{4|\vec{q}|p_x} \sum_l B_l P_l(\cos \Theta_x^*) \quad (2.12)$$

$$\overline{Im J_c^* (J^{+1} + J^{-1})} = \frac{1}{4|\vec{q}|p_x} \sum_l C_l P_l^1(\cos \Theta_x^*) \sin \Phi_x^* \quad (2.13)$$

$$\overline{Re (J^{+1})^* J^{-1}} = \frac{1}{4|\vec{q}|p_x} \sum_l \eta D_l P_l^2(\cos \Theta_x^*) \cos(2\Phi_x^*) \quad (2.14)$$

Hierbei ist η das Produkt aus den Paritäten von Anfangs- und Endzustand des Kernes und des emittierten Teilchens. Aus dieser Entwicklung wird erkennbar, daß der Azimutalwinkel Φ_x eine besondere Rolle spielt, da er nur in den CT- und TT-Termen auftritt. Dieser Winkel ist der Kippwinkel, der die Detektorebene aus der Streu-Ebene herauskippt. Bei einer selektiven Wahl von $\Phi_x = 45^\circ$ oder $\Phi_x = 225^\circ$ verschwindet der TT-Term und man erhält somit einen Wirkungsquerschnitt, der nur noch von drei Summanden abhängt, wobei zwei hiervon durch Einarmexperimente bestimmt werden können. Somit ist eine vollständige kinematische Separation der vier Kombinationen der Übergangsmatrixelemente, die im Wirkungsquerschnitt auftreten, möglich.

Unter der Annahme, daß die Anregung im Targetkern über eine endliche Anzahl von Zwischenzuständen wohldefinierten Spins und wohldefinierter Parität mit Breit-Wigner-Linienformen läuft, und daß die beteiligten Spins und Drehimpulse entsprechend dem LS-Schema koppeln, und der Vereinfachung des *static limit*, der annimmt, daß Anfangs- und Endkern unendlich schwer sind, erhält man Entwicklungskoeffizienten A_l, B_l, C_l, D_l , die in expliziter Form im Anhang B2 von [9] dargestellt sind.

Experimenteller Aufbau

In diesem Kapitel soll aufgezeigt werden, welche Parameter zu einer vollständigen Bestimmung von Koinzidenzwirkungsquerschnitten notwendig sind und wie diese im Experiment erfaßt werden können. In diesem Zusammenhang wird auch der experimentelle Aufbau am Magnetspektrometer QCLAM und die Integration des Goniometers in den Meßprozeß erläutert.

3.1 Parameter des Meßprozesses

Aus den theoretischen Ausführungen des vorigen Kapitels folgt, daß zur vollständigen Beschreibung der Kinematik einer $A(e, e'x)B$ -Reaktion sowohl das gestreute Elektron als auch das emittierte Teilchen nachgewiesen werden muß. Wie im folgenden gezeigt wird, genügt es, wenn fünf Variable gemessen werden, um den fünffach-differentiellen Wirkungsquerschnitt (2.4) experimentell zu ermitteln. Da das einlaufende Elektron schon durch die vier bekannten Variablen $p_\mu = (E, \vec{p})$ vollständig definiert ist, müssen nur noch die Variablen des Ausgangskanals festgelegt werden. Dieser besteht aus den drei Konstituenten gestreutes Elektron, Restkern und emittiertes Teilchen, so daß zur vollständigen Beschreibung des Ausgangskanals insgesamt 12 Variable zu messen sind. Das gestreute Elektron und das emittierte Teilchen sind freie Teilchen, für die die Beziehung $E^2 = \vec{p}^2 + m_0^2$ gilt. Weiterhin müssen Energie- und Impulserhaltung erfüllt sein, sodaß man vier Gleichungen erhält, die vier Variable festlegen. Da das Experiment mit unpolarisierten Elektronen durchgeführt wird, ist die Messung gegenüber Drehungen um die Strahlachse invariant, so daß drei weitere Bestimmungsgleichungen zur Verfügung stehen.

Es verbleiben also fünf Variable, die durch das Experiment koinzident bestimmt werden müssen. Üblicherweise werden hierzu die fünf folgenden Variablen gewählt, wobei vorausgesetzt ist, daß der Typ des emittierten Teilchens bekannt ist.

- ω , Anregungsenergie im Targetkern
- E_x , Energie des Zerfallsteilchens
- Θ_e , Streuwinkel des Elektrons
- Θ_x , Polarwinkel des Zerfallsteilchens bezüglich des Impulsübertrages
- Φ_x , Azimutalwinkel des Zerfallsteilchens bezüglich des Impulsübertrages

Der Wirkungsquerschnitt ist somit vollständig festgelegt. Im folgenden soll gezeigt werden, wie die Messung der fünf Variablen im Experiment erfolgt. Aufgrund der unterschiedlichen Detektoren zerfällt der Meßvorgang hierbei in zwei räumlich getrennte Teilbereiche.

3.2 Elektronen-Zweig

Das Meßsystem für den Elektronen-Zweig besteht aus dem QCLAM-Spektrometer [5], einem orts- und winkelauflösenden Detektor [13] und einem Multiprozessorsystem zur Datenreduktion und Voranalyse [6]. Der gesamte Experimentierplatz mit dem QCLAM-Spektrometer und den Zusatzeinrichtungen - Vakuumsystem, Strahlfänger, Streukammer und Detektorsystem - ist in Abb. 3.1 in dreidimensionaler Ansicht gezeigt. Die Betonabschirmung, die normalerweise den Faraday-Cup umschließt, wurde der besseren Übersicht wegen weggelassen.

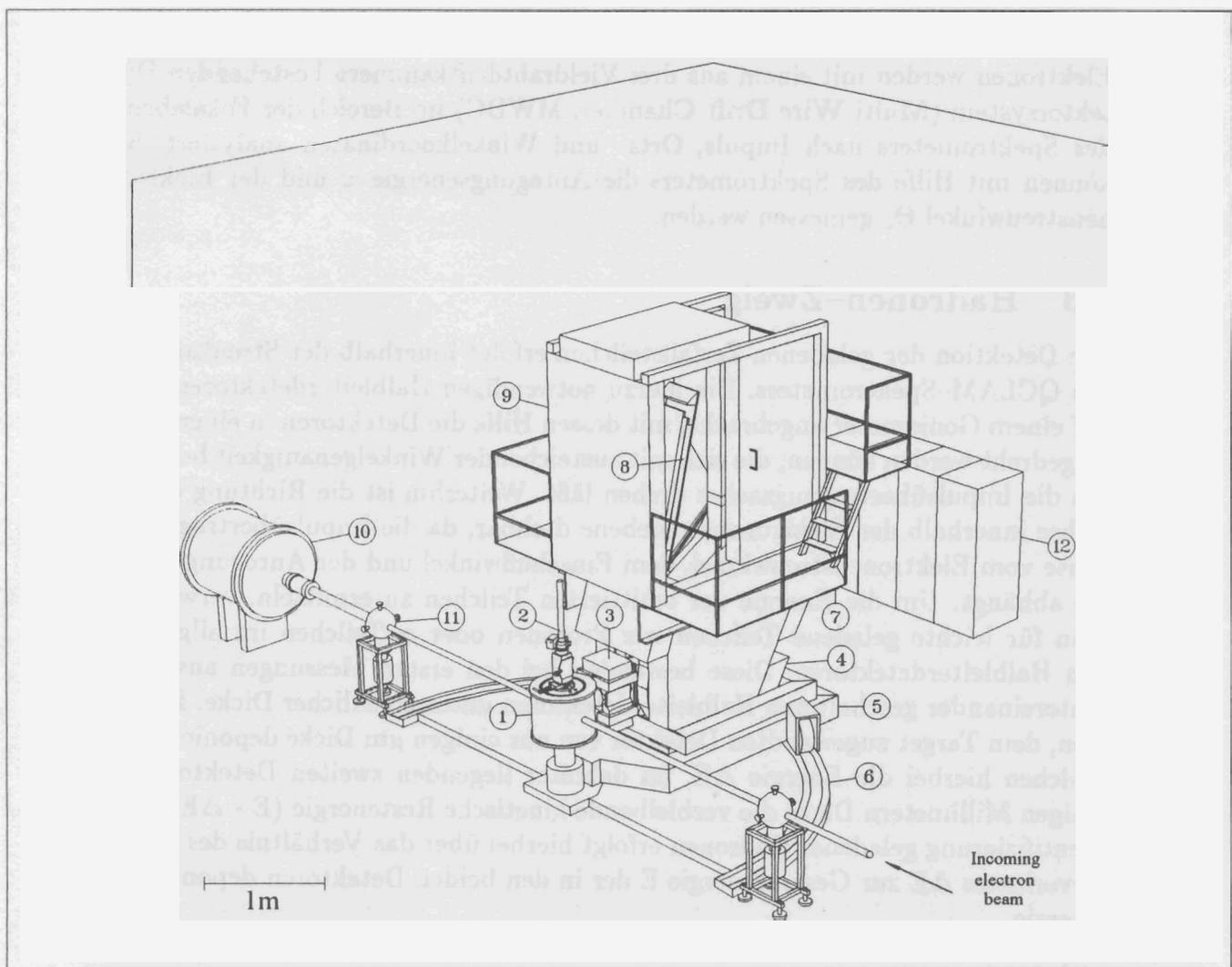


Abb. 3.1: Das neue QCLAM-Spektrometer. 1 = Streukammer, 2 = Targetleiter, 3 = Quadrupolmagnet, 4 = Dipolmagnet, 5 = Dreh- und Verschiebegerüst, 6 = Laufschiene, 7 = Arbeitsplattform, 8 = Detektorsystem, 9 = Bleiabschirmung, 10 = Strahlfänger, 11 = Vakuum-Pumpstand, 12 = Magnet-Stromversorgung.

In der Streukammer befindet sich neben dem Target ein dreiachsiges Goniometer, auf dem die Teilchen-Detektoren für Koinzidenzexperimente angebracht sind. Dieses ist über ein Sliding-Seal [14] genanntes Vakuum-Dichtband vakuumdicht mit dem Spektrometer verbunden, so daß der Meßwinkel des Elektronenspektrometers unter Aufrechterhaltung des Vakuums bezüglich des Elektronenstrahls frei variiert werden kann.

Das QCLAM-Spektrometer besteht aus einem horizontal fokussierenden Quadrupolmagneten 'Q' mit einem zusätzlichen fünften Pol zur Erzeugung von Anteilen höherer Multipolarität zur Korrektur von Abbildungsfehlern und einem vertikal stehenden Dipolmagneten 'Clam' mit muschelähnlichen Polschuhen, die bezüglich der dispersiven Ebene plan geneigt sind. Die am Target gestreuten Elektronen werden mit einem aus drei Vieldrahtdriftkammern bestehenden Detektorsystem (Multi Wire Drift Chamber, MWDC) im Bereich der Fokalebene des Spektrometers nach Impuls, Orts- und Winkelkoordinaten analysiert. So können mit Hilfe des Spektrometers die Anregungsenergie ω und der Elektronenstreuwinkel Θ_e gemessen werden.

3.3 Hadronen-Zweig

Die Detektion der geladenen Zerfallsteilchen erfolgt innerhalb der Streukammer des QCLAM-Spektrometers. Die hierzu notwendigen Halbleiterdetektoren sind auf einem Goniometer angebracht, mit dessen Hilfe die Detektoren in einer Ebene gedreht werden können, die sich mit ausreichender Winkelgenauigkeit beliebig um die Impulsübertragungsachse drehen läßt. Weiterhin ist die Richtung dieser Achse innerhalb der Elektronenstreuebene drehbar, da die Impulsübertragungsachse vom Elektronenstreuwinkel, dem Einschußwinkel und der Anregungsenergie abhängt. Um die Energie der emittierten Teilchen zu ermitteln, verwendet man für leichte geladene Teilchen wie Protonen oder α -Teilchen im allgemeinen Halbleiterdetektoren. Diese bestanden bei den ersten Messungen aus zwei hintereinander geschalteten Halbleiterdetektoren unterschiedlicher Dicke. Im ersten, dem Target zugewandten Detektor von nur einigen μm Dicke deponiert das Teilchen hierbei die Energie ΔE , im dahinter liegenden zweiten Detektor von einigen Millimetern Dicke die verbleibende kinetische Restenergie ($E - \Delta E$). Die Identifizierung geladener Hadronen erfolgt hierbei über das Verhältnis des Energieverlustes ΔE zur Gesamtenergie E der in den beiden Detektoren deponierten Energie.

3.4 Goniometer und Targetleiter

Für die Bestimmung des Wirkungsquerschnittes benötigt man noch die Variablen Θ_x und Φ_x , da es erforderlich ist, die Zählrate für das Hadron x unter verschie-

- 1 Targetleiterführungsrohr
- 2 Motor für die Targethöhen-
verstellung
- 3 Targethöhenverstellmimik
- 4 Targetschleuße
- 5 Ventil
- 6 Streukammerdeckel
- 7 oberer Kranz
- 8 Targetleiter
- 9 mittlerer Kranz
- 10 Verbindungsstrebe
- 11 Winkelschrittgeber
- 12 unterer Kranz
- 13 Detektorteleskop

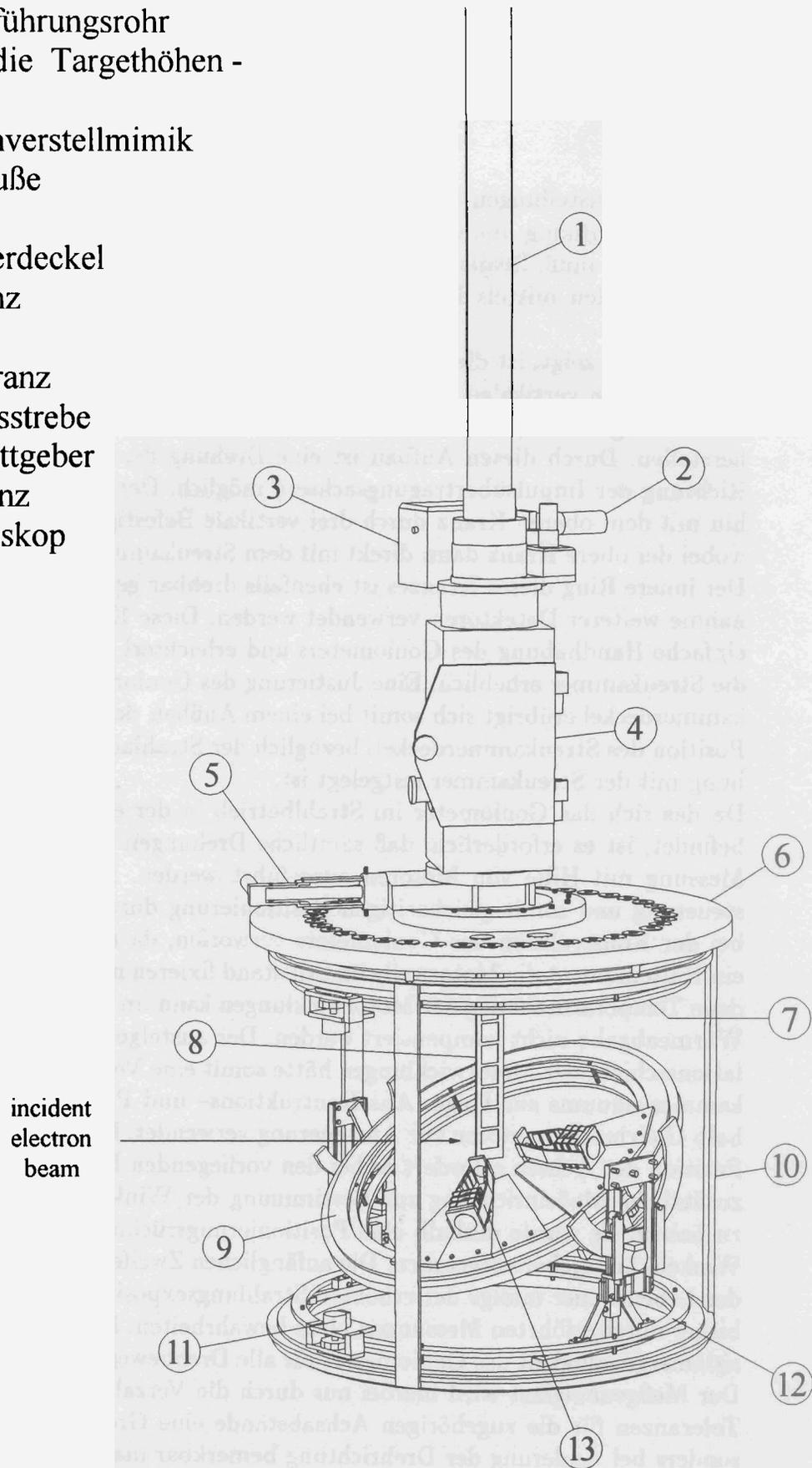


Abb. 3.2: Goniometer und Targetleiter.

denen Winkelstellungen (Θ_x, Φ_x) zu messen. Hieraus folgt die Forderung einer Detektoranordnung, die um zwei senkrecht zueinander liegende Achsen drehbar gelagert sein muß. Realisiert wurde dies durch einen um zwei Achsen drehbaren Kranz, auf den mittels Halterungen die Halbleiterdetektoren montiert werden können.

Wie Bild 3.2 zeigt, ist die gesamte Anordnung zur Aufnahme der Teilchendetektoren an zwei vertikalen Streben aufgehängt, in die zum einen die Antriebselemente integriert sind und die andererseits eine Verbindung zum unteren Kranz herstellen. Durch diesen Aufbau ist eine Drehung der gesamten Anordnung in Richtung der Impulsübertragungsachse \vec{q} möglich. Der untere Kranz ist weiterhin mit dem oberen Kranz durch drei vertikale Befestigungsstreben verbunden, wobei der obere Kranz dann direkt mit dem Streukammerdeckel verschraubt ist. Der innere Ring dieses Kranzes ist ebenfalls drehbar gelagert und kann zur Aufnahme weiterer Detektoren verwendet werden. Diese Konstruktion erlaubt eine einfache Handhabung des Goniometers und erleichtert den Ein- und Ausbau in die Streukammer erheblich. Eine Justierung des Goniometers relativ zum Streukammerdeckel erübrigt sich somit bei einem Aufbau der Meßvorrichtung, da die Position des Streukammerdeckels bezüglich der Strahlachse durch die Verschraubung mit der Streukammer festgelegt ist.

Da das sich das Goniometer im Strahlbetrieb in der evakuierten Streukammer befindet, ist es erforderlich, daß sämtliche Drehungen der Achsen während der Messung mit Hilfe von Motoren ausgeführt werden. Die Möglichkeit der Ansteuerung und somit gleichzeitigen Positionierung durch Schrittmotoren wurde bei der Konstruktion des Goniometers verworfen, da angenommen wurde, daß ein Haltemoment die Motorwelle im Stillstand fixieren müßte. Der damit verbundene Temperaturanstieg der Motorwicklungen kann im Vakuum wegen fehlender Wärmeabgabe nicht kompensiert werden. Der ansteigende Dampfdruck der Isolationsschicht der Motorwicklungen hätte somit eine Verschlechterung des Streukammervakuums zur Folge. Aus Konstruktions- und Platzgründen wurden deshalb Gleichstrommotoren zur Ansteuerung verwendet. Die Kenntnis der genauen Position der Achsen erfordert es bei den vorliegenden Betriebsbedingungen eine zusätzliche Meßeinrichtung zur Bestimmung der Winkelstellung zur Verfügung zu haben. Es wurde deshalb eine Positionierungsrückmeldung mittels optischer Winkelschrittgeber vorgesehen. Die anfänglichen Zweifel an der Tauglichkeit und der Lebensdauer infolge der erhöhten Strahlungsexposition konnten sich bei den bisher durchgeführten Messungen nicht bewahrheiten. Die hiermit erzielbare Positioniergenauigkeit des Goniometers für alle Drehbewegungen ist besser als 0.1° . Der Meßgenauigkeit wird hierbei nur durch die Verzahnungstoleranzen und die Toleranzen für die zugehörigen Achsabstände eine Grenze gesetzt, die sich besonders bei Änderung der Drehrichtung bemerkbar machen.

Um die Targetfolien relativ zum einfallenden Elektronenstrahl zu positionieren, kann die Targetleiter bezüglich der z-Achse gedreht werden, wodurch die optima-

le Targetdicke eingestellt werden kann. Andererseits ist während des Strahlbetriebes ein schnelles Einfahren neuer Targets jederzeit möglich, da die Targetleiter bis zu acht GSI-Standard-Target-Rähmchen aufnehmen kann. Um ein Auswechseln der gesamten Targetleiter auch im evakuierten Zustand zu ermöglichen, wurde eine Targetschleuse [8] konstruiert, die durch ein Ventil vakuumtechnisch von der Streukammer abgetrennt werden kann. Die Verfahrenmimik für Targetwinkel und Targethöhe befindet sich hierbei außerhalb des Vakuums, um Vakuump Probleme auf ein Mindestmaß zu beschränken. Der Antrieb und die Positionsrückmeldung sind hierbei analog denen des Goniometers, wobei das Getriebe eine Positionsgenauigkeit der Targethöhe von 0.1mm und des Targetwinkels von 0.1° zuläßt.

4 Entwurf und Aufbau der Goniometer- ansteuerung

Die Ausführungen des letzten Kapitels über den vorhandenen experimentellen Aufbau und die Randbedingungen, die ein Koinzidenzexperiment an die aufzunehmenden Parameter stellt, legen das Konzept einer Goniometer- und Targetansteuerung, das diesen Anforderungen entsprechen soll, schon in einem weiten Rahmen fest. Diese Randbedingungen sollen hier noch einmal kurz erwähnt werden. Ihnen schließt sich das hieraus entstandene Konzept und die Realisierung der entwickelten Steuerung an.

4.1 Konzeptionelle Überlegungen

Da aus konstruktionstechnischen Gründen auf den Einsatz von Schrittmotoren verzichtet wurde, für die schon eine Vielzahl industriell gefertigter Ansteuerungsmodule mit kompletter Peripherie existieren, sollte im Rahmen dieser Arbeit eine Ansteuerung für Gleichstrommotoren entwickelt werden, die den am QCLAM-Spektrometer vorhandenen Gegebenheiten und experimentellen Bedingungen angepaßt ist.

Hierbei sollte eine für den Experimentator einfache Möglichkeit bestehen, alle für das Experiment wichtigen Parameter jederzeit schnell erfassen oder ändern zu können. Bedingt durch die vorhandene räumliche Trennung von Experiment und Meßwertaufnahme muß die Ansteuerung deshalb von zwei getrennten Bedienungseinheiten aus erfolgen können, da das Experiment von einem separaten Kontrollraum aus durchgeführt wird und andererseits bei Justierungsarbeiten eine direkte visuelle Überwachung der Einstellungen möglich sein muß. Die Steuerung sollte hierbei als autonome Einheit aufgebaut werden, um von anderen Systemen unabhängig zu sein. Es bot sich deshalb die Verwendung eines Einplatinen-Mikrocomputers an, der die gesamte Steuerung des Programmablaufes übernimmt und andererseits die Möglichkeit der Kommunikation mit dem Benutzer über ein Terminal bietet.

4.2 Realisierung

In der folgenden Abbildung ist ein Blockschaltbild der Ansteuerungselektronik mit der vollständigen Peripherie dargestellt. Die Ansteuerungselektronik zerfällt hierbei in drei separate Teile. Der erste stellt einen vollständigen Einplatinen-Mikrocomputer dar. Dieser auf dem Motorola 68000 Mikroprozessor [15, 16] basierende Mikrocomputer wurde im Rahmen einer Diplomarbeit [17] für die lokale Ansteuerung von Magnetnetzteilen entwickelt, wurde aber im Design so ausge-

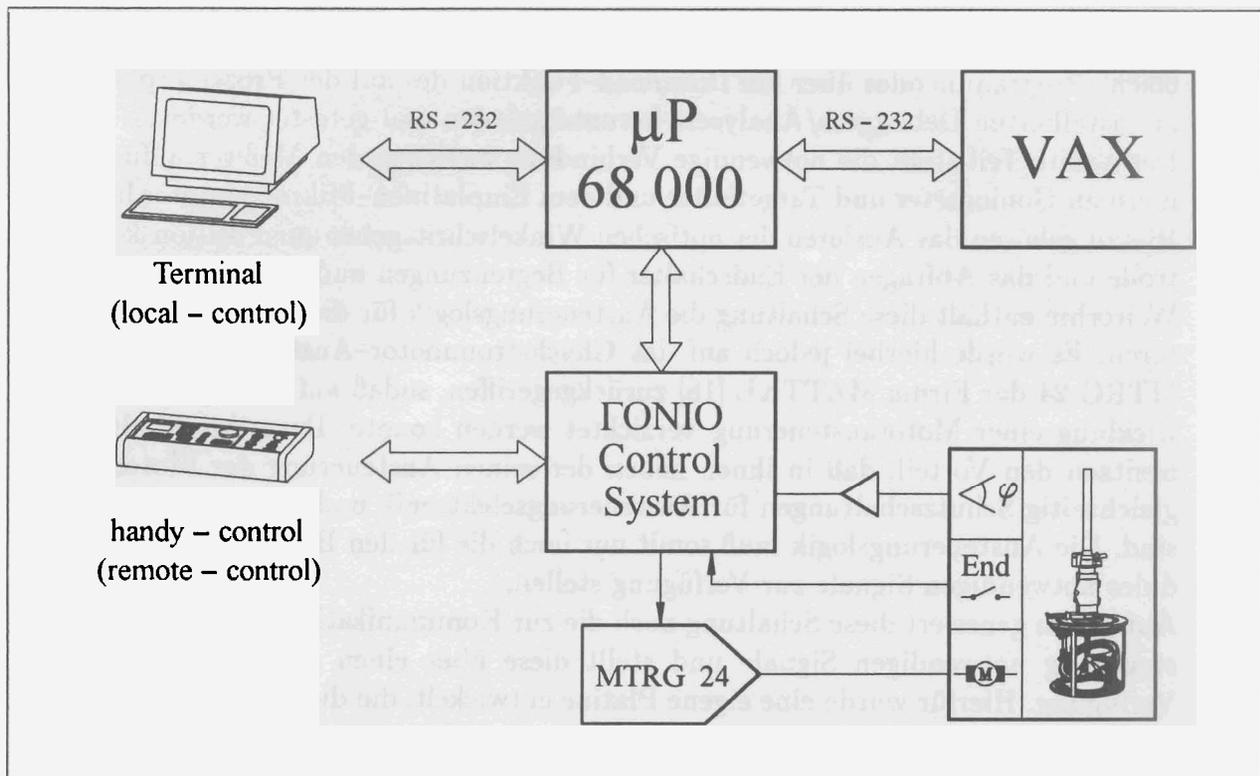


Abb. 4.1: Schematischer Aufbau der Goniometersteuerung mit einer Darstellung der Verbindungen zur Peripherie. In der mittleren Spalte sind die drei Einheiten dargestellt, aus denen die Goniometersteuerung aufgebaut ist. Diese stellen einen Einplatinen-Mikrocomputer mit zwei Schnittstellen zur Kommunikation mit der Außenwelt, einer zur Ansteuerung des Goniometers und der Targetleiter notwendigen Logik und einer Motoransteuerung vom Typ MTRG 24 [18] dar. Zusätzlich besteht die Möglichkeit des Betriebes der Steuerung über eine Handsteuerung.

legt, daß er auch für andere Regelungsaufgaben universell eingesetzt werden kann. Hierzu besitzt er für den Anschluß externer Peripherie zwei Schnittstellen. Auf dem "Expansionsbus" stehen alle Prozessorsignale wie Daten-, Adress- und Signalbus des Prozessors zur Verfügung. Diese Schnittstelle ist somit für den Anschluß externer Peripherie predistiniert. Weiterhin existiert ein Latch-Port mit 24 digitalen Ausgängen für Steuerungsaufgaben, der für die Goniometersteuerung jedoch nicht verwendet wird. Außerdem besitzt die Mikrocomputerplatine noch zwei serielle Ports nach der RS-232-Norm, wobei die eine Schnittstelle den Anschluß eines Terminals mit vollem RTS/CTS-Protokoll erlaubt und die andere Schnittstelle den für Programmierzwecke notwendigen Betrieb eines Terminal-Host-Systems unter Verwendung eines System-

Debugger/Analysers mit einfachem Xon/Xoff-Protokoll ermöglicht. Hierdurch können die auf der VAX mit den Crosssoftwaretools von MICROTEC erstellten 68000-Programmcodes über die Download-Funktion des auf der Prozessorplatine installierten Debuggers/Analysers heruntergeladen und getestet werden.

Der zweite Teil stellt die notwendige Verbindung zwischen den Meßwertaufnehmern an Goniometer und Targetleiter und dem Einplatinen-Mikrocomputer her. Hierzu gehören das Auslesen der optischen Winkelschrittgeber zur Positionskontrolle und das Abfragen der Endschalter für Begrenzungen und Referenzpunkte. Weiterhin enthält diese Schaltung die Ansteuerungslogik für die Gleichstrommotoren. Es wurde hierbei jedoch auf das Gleichstrommotor-Ansteuerungsmodul MTRG 24 der Firma MATTHE [18] zurückgegriffen, sodaß auf die eigene Entwicklung einer Motoransteuerung verzichtet werden konnte. Derartige Module besitzen den Vorteil, daß in ihnen neben der reinen Ansteuerung der Motoren gleichzeitig Schutzschaltungen für Ansteuerungselektronik und Motor integriert sind. Die Ansteuerungslogik muß somit nur noch die für den Betrieb dieses Moduls notwendigen Signale zur Verfügung stellen.

Außerdem generiert diese Schaltung noch die zur Kommunikation mit der Handsteuerung notwendigen Signale und stellt diese über einen eigenen Port zur Verfügung. Hierfür wurde eine eigene Platine entwickelt, die die gesamte Steuerlogik enthält.

Für die Handsteuerung wurde ein eigenes Eingabemedium entwickelt. Dieses bietet dem Benutzer die Möglichkeit der transparenten Kommunikation über Miniaturschalter und zwei alphanumerische Anzeigen. Somit konnte eine Schaltung entwickelt werden, die in einem handlichen Gehäuse Platz findet. Außerdem nimmt dieses Gehäuse auch noch die Steuerung für das Spektrometer auf.

4.2.1 Mikroprozessor-Platine

Um unabhängig von anderen Rechnern zu sein, wurde ein eigener Mikrocomputer eingesetzt. Derartige Einplatinen-Microcomputer besitzen den Vorteil, daß sie trotz ihrer kompakten und modularen Bauweise für eine Vielzahl von Applikationen eingesetzt werden können. Hierzu gehören zum größten Teil Steuer- und Regelungsaufgaben, wobei die Entwicklung der Programme jedoch meist auf anderen Systemen erfolgt. Zur Kommunikation mit der Außenwelt verfügen sie oft über eine Vielzahl von Schnittstellen. Dieses Konzept gestattet es, einen Mikrocomputer als Minimalkonfiguration mit der Möglichkeit der späteren Erweiterbarkeit und gleichzeitig als äußerst preiswerte Schaltung aufzubauen.

Die eingesetzte Microcomputerplatine verwendet als Mikroprozessor einen Motorola 68000, der mit einer Frequenz von 8 MHz getaktet wird. Zur Aufnahme des Programmcodes dient ein 128 KByte großer EPROM-(Erasable-Programmable Read Only Memory - lösch- und programmierbarer Festwertspeicher) Bereich

und zur Aufnahme von dynamischen Daten ein 64 KByte großer RAM-(**R**andom **A**ccess **M**emory – Speicher mit wahlfreiem Zugriff) Bereich.

Die Ansteuerung der Peripheriebausteine durch den Prozessor erfolgt nach dem Prinzip des *memory mappings*. Dies bedeutet, daß jeder Peripheriebaustein eine feste Adresse oder einen festen Adressbereich im gesamten Adressierungsbereich des Prozessors hardwaremäßig zugewiesen bekommt. Soll nun ein bestimmter Peripheriebereich angesprochen werden, so wird einfach die entsprechende Adresse oder der Adressbereich ausgelesen oder beschrieben.

Label	Deviceadresse	Devicebeschreibung
.DUA\$A_ADR	\$600001	Duart-Basisadresse
.ENC\$A_ADR	\$C00001	Scaler-PAL-Basisadresse
.DAC\$A_ADR	\$C00081	DAC-Basisadresse
.END_1\$A_ADR	\$C00181	} Endschalteradressen
.END_2\$A_ADR	\$C00101	
.LED_1\$A_ADR	\$C00501	} LED-Adressen der Handsteuerung
.LED_2\$A_ADR	\$C00481	
.SWITCH_1\$A_ADR	\$C00681	} Basisadressen der Miniaturschalter
.SWITCH_2\$A_ADR	\$C00601	
.ENC_EXT\$A_ADR	\$C0058d	Drehknopfadresse der Handsteuerung
.DISPLAY_1\$A_ADR	\$C007F1	} Adressen der Alphanumerischen Anzeigen
.DISPLAY_2\$A_ADR	\$C00771	
.EXT\$A_ADR	\$C00201	Busfreigabe für die Handsteuerung

Tabelle 4.1: Peripherieadressen für die Select-Signale

Ferner ist der verwendete Mikroprozessor in der Lage, interruptgesteuerte Applikationen mit unterschiedlichen Prioritäten verwalten zu können, was die Möglichkeit der Ausführung zeitkritischer Routinen bietet. Da die optischen Winkelschrittgeber mit einer Frequenz von 1000 Hz ausgelesen werden müssen, wurde hierfür eine Interrupt-Service-Routine programmiert, die von dieser Möglichkeit Gebrauch macht. Die Auslösung des hierfür notwendigen Interrupts muß durch einen Peripheriebaustein erfolgen, der an dem am Prozessor herausgeführten Systembus angeschlossenen ist. Als einziger Peripheriebaustein kam hier der die Kontrolle der seriellen Schnittstellen übernehmende Motorola 68681 DUART (**D**ual **A**synchronous **R**eceiver/**T**ransmitter) [19] in Frage. Dieser kann gleichzeitig zwei serielle Schnittstellen mit unterschiedlichen Betriebsparametern verwalten und verfügt über einen integrierten programmierbaren Timer, der im vorliegenden Fall auf Interruptlevel 7 gelegt wurde.

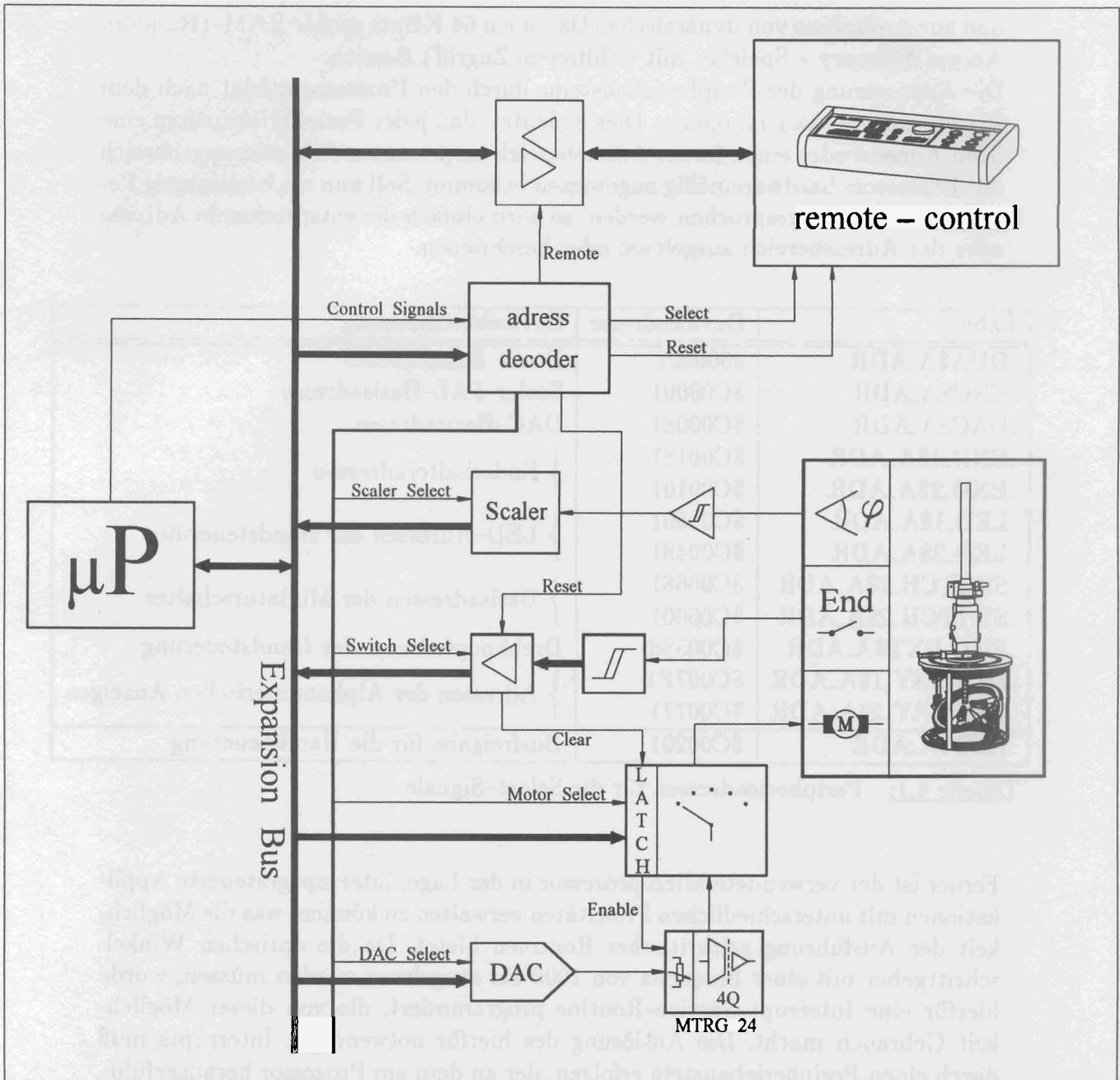


Abb. 4.2: Blockschaltbild der Goniometer-Hauptplatine. Die einzelnen dem Goniometer und der Targetleiter zugeordneten Funktionsblöcke stehen über den *Expansion-Bus* mit der Mikroprozessor-Platine in Verbindung, wobei die Koordination vom *adress-decoder* übernommen wird, der die für die Funktionsblöcke notwendigen *Select*-Signale generiert. Die Handsteuerung kann als externe Einheit ebenfalls über den *adress decoder* angesprochen werden.

4.2.2 Hauptplatine

Im folgenden soll das Funktionsprinzip der FONIO-Hauptplatine beschrieben werden. Hierzu ist in Abbildung 4.2 das Blockschaltbild der Schaltung abgebildet.

Die gesamte Schaltung zerfällt in eine Anzahl kleinerer Blöcke, deren Funktion im folgenden erläutert werden soll. Diese Untergliederung erfolgte aufgrund der dem Goniometer und der Targetleiter zugewiesenen Funktionsblöcke Winkelmessung, Endschalteabfrage und Motoransteuerung und der für die Handsteuerung notwendigen Logik. Dem übergeordnet ist der "adress decoder", dessen Funktion darin besteht, die Select-Signale für die einzelnen Blöcke zu generieren. Hierdurch wird erreicht, daß immer nur ein Block über die Datenleitungen mit der Prozessorplatine kommunizieren kann. Die Verbindung mit der Prozessorplatine erfolgt hierbei über den Expansions-Bus. Durch den Einsatz programmierbarer Logikbausteine (PAL, Programmable Array Logic) wurde der Aufbau- und Testaufwand erheblich reduziert, weil somit ein Teil der Hardware in den Bereich der Software ausgelagert werden konnte. Weiterhin wurde durch das Mikroprozessorkonzept die Möglichkeit geschaffen, das zur Steuerung notwendige Programm in einem Festwertspeicher (EPROM) unterzubringen. Für diese Lösung spricht, daß spätere Änderungen oder Erweiterungen durch einfaches Umprogrammieren erreicht werden können. Die gesamte Elektronik der FONIO-Hauptplatine wurde in konventioneller diskreter TTL-Logik aufgebaut. Durch den Verzicht auf hochintegrierte Elektronikbausteine ist somit die Möglichkeit einer einfachen Fehlersuche bei einem Ausfall der Elektronik gegeben.

Zur Aufnahme der Achsenpositionen des Goniometers wurden optische Winkelschrittgeber HEDS-5000 der Firma Hewlett & Packard verwendet [20]. Diese arbeiten nach dem Prinzip einer Lichtschranke, die die Rotation einer systemfesten Achse durch die Unterbrechung eines Lichtsignals in elektrische Signale umwandelt.

Die Bewegung eines der Kränze des Goniometers wird auf die systemfeste Encoder-Achse übertragen, die mit einer Metallscheibe, dem sogenannten Code-Rad, verbunden ist, auf der am äußeren Rand 500 äquidistante Schlitze eingestanzte wurden. Das Code-Rad läuft durch zwei Gabellichtschranken, die jeweils ein verstärktes Signal liefern, wenn einer der Schlitze zwischen Leuchtdiode und Photodiode der Gabellichtschranke fällt. Die beiden Gabellichtschranken wurden nun so angeordnet, daß bei einer Drehung zwei um 90° verschobene Rechtecksignale erzeugt werden, aus deren Phaseninformation auf den Drehsinn geschlossen werden kann. Die von den Winkelschrittgebern gelieferten Signale werden zuerst durch einen Schmitt-Trigger flankenverbessert und verstärkt, sodaß der in einem PAL programmierte 4 Bit-Counter die ankommenden Signale zu einem Positionswert weiterverarbeiten und bei Anfrage auf dem Datenbus zur Verfügung stellen kann.

Block Diagram and Output Waveforms of Optical Encoders

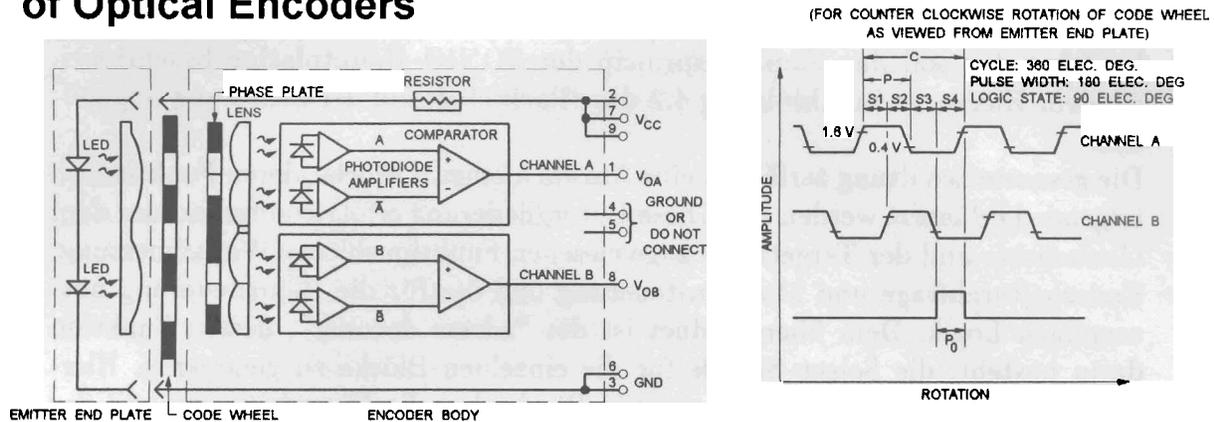


Abb. 4.3: Blockdiagramm und Signale der Winkelschrittgeber [20]. Im linken Teil ist der elektrische Aufbau schematisch dargestellt. Das mit der äußeren Achse verbundene Code-Rad unterbricht je nach Winkelstellung die Lichtsignale einer Gabellichtschranke, die hieraus zwei phasenverschobene elektrische Signale generiert. Im rechten Teil sind diese Ausgangssignale dargestellt, aus denen die Information über den Drehsinn und die Winkeländerung extrahiert werden kann.

Als weiteres Eingangssignal müssen die Endschalter, die als Referenzpunkte und zur Beschränkung von Bereichen, die aus konstruktionstechnischen Gründen nicht angefahren werden dürfen, dienen, ausgewertet werden. Beim Ansprechen eines der Endschalter wird dessen anfänglich auf Betriebsspannung liegende Ausgangssignal auf Masse gezogen. Diese durch einen Schmitt-Trigger verbesserte Flanke löst in einer nachgeschalteten Reset-Logik ein Clear-Signal für das Latch des Multiplexers der Motoransteuerung aus. Diese Reset-Logik ist so ausgelegt, daß sie nur auf die negative Flanke des Endschaltersignals reagiert und sodurch bei einem längeren Niedergedrückthalten eines Endschalters das Verfahren der Motoren nicht hindert.

Für die verwendete Gleichstrommotor-Ansteuerung muß eine Regelspannung im Bereich von $\pm 10\text{ V}$ zur Verfügung gestellt werden, deren Größe die Drehzahl und den Richtungssinn der Motoren beeinflusst. Hierfür wurde ein DAC (Digital Analog Converter) mit einer Auflösung von 8 Bit mit nachfolgendem Strom-Spannungs-Wandler eingesetzt, dessen Ausgangsspannung über einen Isolationsverstärker [21] zur galvanischen Trennung von Hauptplatine und Motorsteuerung auf den Regeleingang der Motorsteuerung geführt ist. Die Selektion der Motoren erfolgt über eine Relaislogik, die über einen Multiplexer zur Motorauswahl angesteuert wird. Diese gestattet das gleichzeitige Verfahren nur eines Motors, was sich im Probetrieb jedoch als ausreichend und sinnvoll erwiesen hat.

Neben diesen dem Goniometer zugewiesenen Funktionsblöcken wurde auf der Hauptplatine noch die Ansteuer- und Ausleselogik für die Handsteuerung untergebracht. Da für diese jedoch eine eigene Platine entwickelt wurde, beschränkt sich diese Logik im wesentlichen auf die Terminierung der Bussignale.

4.2.3 Motoransteuerung

Bei dem verwendeten Transistor-Servoverstärker MTRG 24 handelt es sich um einen pulsbreitenmoduliert arbeitenden Verstärker im Europakartenformat. Das Modul ist als Vierquadranten-Verstärker ausgeführt, daß heißt, der Motor kann in beide Richtungen antreiben sowie auch bremsen. Weitere Vorzüge dieses Moduls sind

- Guter Wirkungsgrad durch Verwendung einer Taktendstufe
- Mindestlastinduktivitäten sind bereits in der Steuerung integriert
- Spannungsprogrammierbare Strombegrenzung
- Regelung der Drehzahl durch Vorgabe einer Spannung von $\pm 10V$ am Differenzeingang des Drehzahlreglers
- Keine Hilfsspannungen sind erforderlich

4.2.4 Regelprinzip des Vierquadranten-Verstärkers MTRG 24

Die Servoverstärker arbeiten nach dem Prinzip der Drehzahlregelung mit unterlagertem Stromregelkreis. Der Signalflußplan dieses Reglerprinzips ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Der Stromregelkreis besteht aus einem Stromregler und einer Verstärker-Endstufe. Der jeweilige Strom-Istwert wird am Ausgang der Endstufe ermittelt und auf den Summierpunkt vor dem Stromregler zurückgeführt. Den Strom-Sollwert liefert hierbei der vorgeschaltete Drehzahlregler. Soll- und Istwert werden verglichen und die Differenz wird dem Stromregler zugeführt.

Der übergeordnete Drehzahlregelkreis besteht aus Drehzahlregler, Stromregelkreis und Motor. Der Drehzahl-Sollwert wird von außen durch eine von einem DAC (Digital Analog Converter) gelieferte Spannung, die der Drehzahl proportional ist, vorgegeben. Der Drehzahl-Istwert wird aus einer "I \times R-Regelung" gewonnen und am ersten Summierpunkt mit dem Drehzahl-Sollwert verglichen. Diese Regelung mißt die am Motor anliegende Spannung, subtrahiert davon den Ohmschen Spannungsabfall am Motor und erhält somit eine Information über die momentane Drehzahl des Antriebes. Die somit bekannte Differenz ist die

Eingangsgröße des Drehzahlreglers. Er bildet aus der Regeldifferenz den erforderlichen Strom-Sollwert.

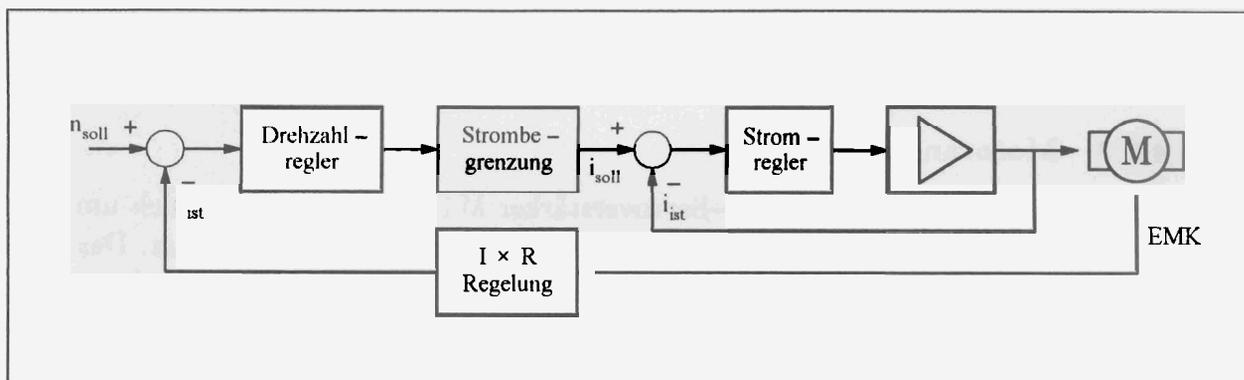


Abb. 4.4: Signalflußplan des Servoverstärkers.

Der Vorteil dieses Regelprinzips ist, daß Strombegrenzungen, die zum Schutz von Motor und Verstärker notwendig sind, auf einfache Weise nur durch Begrenzung der Ausgangsspannung des Drehzahlreglers (Strom-Sollwert) realisiert werden können. Hierzu ist dem Drehzahlregelkreis ein schneller Stromregelkreis unterlagert, der ein unzulässiges Ansteigen des Ankerstromes im Motor verhindert.

4.2.5 Handsteuerung

Für die Handsteuerung wurde eine eigene Platine entwickelt. Das Blockschaltbild der Schaltung ist in Abbildung 4.5 dargestellt.

Die gesamte Schaltung der Handsteuerung ist wie die der Hauptplatine in mehrere Untereinheiten aufgegliedert. Diese Aufteilung erfolgte entsprechend den zur Verfügung stehenden Bedienungseinheiten, der alphanumerischen Anzeige, den Miniaturtastern zur Befehlseingabe und einem Drehknopf zur Eingabe von Winkel- und Höhenwerten für die entsprechenden Achsen des Goniometers. Diesen Modulen ist wiederum ein "adress-decoder" übergeordnet, der die Select-Signale für diese Blöcke generiert. Die Verbindung mit der Hauptplatine erfolgt über den schon erwähnten eigenen Bus, der im wesentlichen die Daten- und Adresssignale des Prozessors zur Verfügung stellt. Im folgenden soll die Funktionsweise dieser Blöcke näher beschrieben werden.

Als alphanumerische Anzeige wurden zwei HDSP-2112-Displays der Firma Hewlett & Packard [22] verwendet. In jedem dieser Displays ist ein vollständiger CMOS-Mikrocontroller zur Ansteuerung der acht alphanumerischen Charaktere, die aus einer 8×5-Matrix aufgebaut sind, integriert. Neben dem fest einprogrammierten ASCII-Zeichensatz ist dem Anwender über einen eigenen internen

RAM-Bereich die Möglichkeit gegeben, eigene Charaktere zu generieren. Jedes Display kann bezüglich der Ansteuerung als ein individueller RAM-Baustein behandelt werden, dessen Aufgabe darin besteht, eine bestimmte Kombination von Zeichen zu speichern und darzustellen.

Die Kommunikation mit der Handsteuerung erfolgt über Miniaturtaster, wobei in einigen dieser Taster eine LED-Diode integriert ist, die den gewählten Funktionszustand anzeigt. Die Taster werden über die Interrupt-Service-Routine aus-

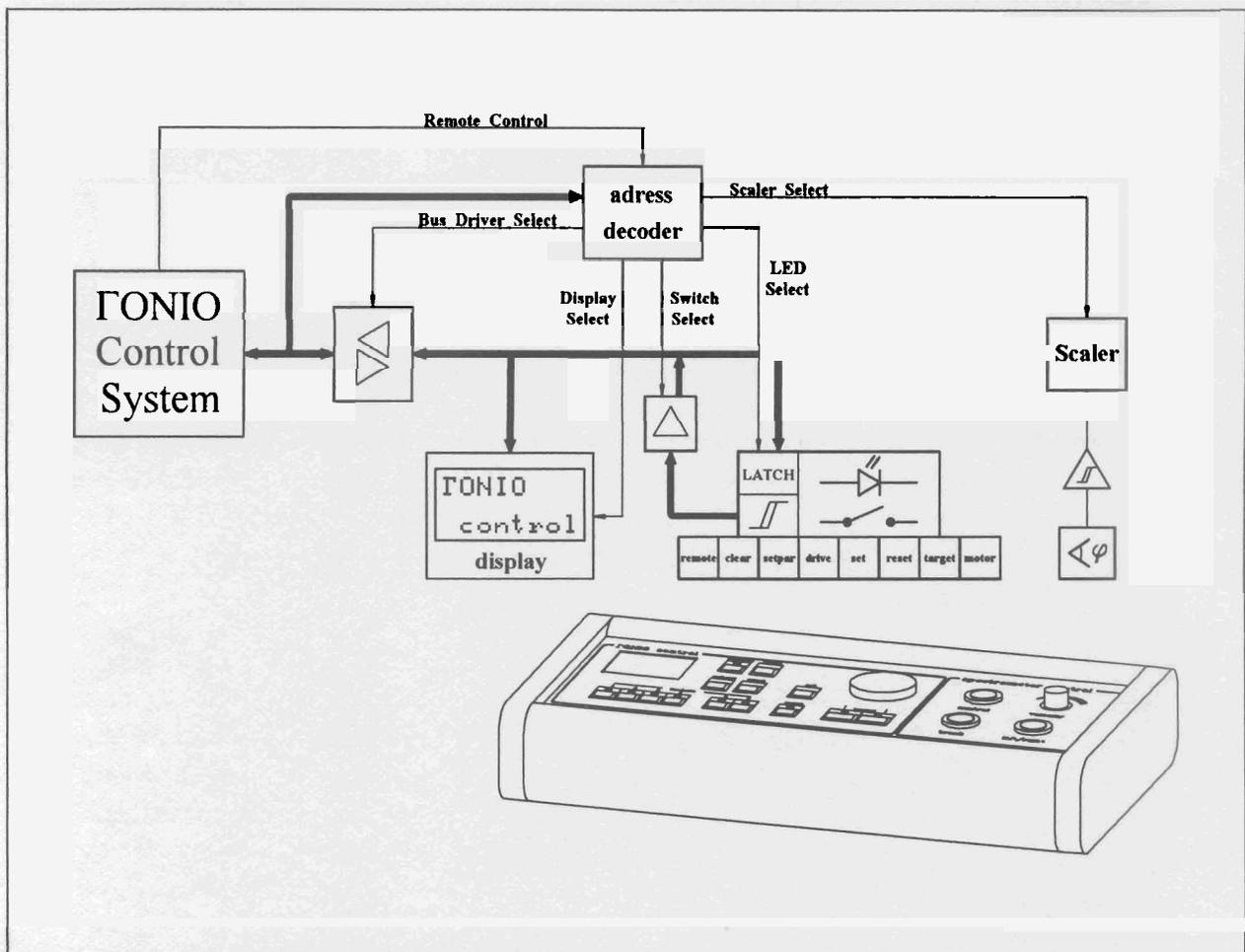


Abb. 4.5: Blockschaltbild der Handsteuerung. Über der Abbildung der Handsteuerung sind die einzelnen Bedienungseinheiten schematisch dargestellt. Dies sind im einzelnen die alphanumerische Anzeige, die Miniaturtaster mit den zur Anzeige des Betriebszustandes eingebauten LED-Dioden und der zur Eingabe numerischer Werte vorhandene Drehknopf. Diese Funktionsblöcke sind über einen externen Bus mit der Hauptplatine verbunden, wobei ein *adress decoder* deren Koordination und die Generierung der hierfür notwendigen Select-Signale übernimmt.

gelesen und der derzeitige Status wird vom Programm in einem eigenen Register abgespeichert. Die LED-Dioden werden durch ein LATCH-Register angesteuert und können somit bei Bedarf dem jeweiligen Status angepaßt werden. Die Eingabe von Stellwerten für Winkel und Höhen erfolgt über einen Drehknopf, der über einen optischen Winkelschrittgeber den geforderten Wert an die Elektronik weiterleitet. Dieser Block gleicht somit dem schon auf der Hauptplatine befindlichen zum Auslesen der Achsenpositionen.

Entwicklung der Treibersoftware

Ebenso wichtig wie die Entwicklung der Hardware war die Programmierung einer für den Experimentator ansprechenden, einfach zu bedienenden und übersichtlichen Kommando-Shell, die das Bindeglied zwischen Benutzer und Ansteuerungselektronik darstellt. Sie soll es dem Experimentator ermöglichen, jederzeit die das Goniometer und die Targetleiter betreffenden experimentellen Parameter auf einfache Weise ändern zu können und über den derzeitigen Status informiert zu sein.

5.1 Entwicklungsumgebung

Die Mikroprozessor-Platine stellt als Softwareentwicklungswerkzeuge nur einen System-Debugger/Analyser zur Verfügung, womit eine Programmierung nur in 68000-Assembler-Code möglich gewesen wäre. Da dieser Programm-Code jedoch schwer lesbar ist, die Programmierung strukturierter Architekturen hiermit schwierig ist und die Erweiterung des Programmes durch Fremde somit Probleme in sich birgt, wurde zusätzlich die Hochsprache C [23] in das Betriebssystem der Mikroprozessor-Platine integriert. Die Wahl auf die Programmiersprache C ist einerseits auf das Angebot im Cross-Software Markt und andererseits auf den Standardeinsatz der Programmiersprache C in hardwarenahen Problemen zurückzuführen.

Um auch zeitkritische Aufgaben wie das Abfragen der optischen Winkelschrittteiler und der verschiedenen Endschalter und Taster der Handsteuerung bewältigen zu können, wurde eine eigene Interrupt-Service-Routine entwickelt und diese in die Initialisierungsroutine des DUART integriert. Die Möglichkeit der Verwendung eines Real-Time-Multitasking-Kernels, wie es das Produkt pSOS-68k der Firma Software Components Group Inc. [24] darstellt, kam wegen seiner Komplexität und seines enormen Speicherbedarfs, der aufgrund des beschränkten ROM-Speicherplatzes auf Kosten des Komforts des Hauptprogrammes gegangen wäre, nicht in Frage.

Die Entwicklungsumgebung bestand somit aus folgenden Komponenten:

- System-Debugger/Analyser pROBE-68k der Firma Microtec Research
- C-Compiler, Assembler, Linker und Librarian der Firma Microtec Research
- Module Management System MMS der Firma Digital Equipment als Teil des vorhandenen Paketes für die VAX-Softwareentwicklung

Das Module Management System MMS stellt hierbei die Möglichkeit der automatischen Erstellung des Gesamtprogrammes aus mehreren Modulen zur Verfügung.

Es verwendet hierzu eine Liste aller Abhängigkeiten zwischen den Quelldateien und ein Regelwerk, das sämtliche Schritte des Entwicklungszyklusses beschreibt. Dies hat den Vorteil, daß bei einer Neuerstellung des Programmes nur Module neu übersetzt werden müssen, die geändert wurden.

5.2 Das ΓONIO–Hauptprogramm

Das ΓONIO–Hauptprogramm wurde in der Hochsprache C geschrieben, die wegen ihrer Maschinensprachen–Nähe sehr gut für Steuer– und Regelprogramme geeignet ist, da sie direkt auf Hardwareregister zurückgreifen kann und die Einbindung von Assemblerprogrammen keine großen Schwierigkeiten in sich birgt. Das Programm selbst ist modular aus mehreren Routinen aufgebaut, die jedoch teilweise funktionell ineinander greifen und hierdurch voneinander abhängen. Der Kern des Programmes liegt in der *main()*–Routine, die zum einen die Initialisierung des gesamten Systems übernimmt und andererseits den Aufruf der einzelnen Unterprogramme steuert. Der Einfachheit halber wurde diese Steuerung als Endlosschleife realisiert, die in Abhängigkeit von über die Tastatur oder der Handsteuerung eingegebenen Befehlen die entsprechenden Unterroutinen anspringt und gleichzeitig die Aktualisierung der Achsenstellungen übernimmt. Die einzelnen Unterroutinen stellen zum einen eine Kommando–Shell zur Eingabe von Befehlen und zur Rückmeldung wichtiger Parameter über ein Terminal zur Verfügung. Eine weitere Unterroutine ist der Ansteuerung und Befehlsentgegennahme von der Handsteuerung gewidmet. Demgegenüber stellen andere Module über eine Vielzahl kleinerer Unterroutinen die Verbindung zu den anzusteuern den Einheiten wie Motorsteuerung, Taster oder Anzeigeeinheiten her.

Im folgenden soll noch kurz auf den Algorithmus zur Ansteuerung der Motoren eingegangen werden. Um nämlich ein genaues Anfahren von vom Benutzer vorgegebenen Punkten beliebiger Achsen zu gewährleisten, wurde ein einfacher Algorithmus implementiert, der dieses genaue Anfahren ermöglicht, auch wenn der mechanische Widerstand der Achsen keine Konstante des Winkels ist. Die Bewegung der Achsen gliedert sich in einen Anfahrbereich, in dem kontinuierlich die Motordrehzahl bis zu ihrem maximal möglichen Wert erhöht wird, einen Fahrbereich, in dem die maximale Motordrehzahl beibehalten wird, und einen Bremsbereich. In diesem wird die Drehzahl des Motors wieder kontinuierlich erniedrigt, um den Endpunkt mit minimaler Drehzahl zu erreichen. Kommt die Achse vor oder hinter dem anzufahrenden Punkt zur Ruhe, so wird die Drehzahl wieder erhöht, um erneut den Bremszyklus zu durchlaufen. Wird wiederum der Endpunkt überfahren, wird der Vorgang iterativ wiederholt bis der gewünschte Endpunkt exakt angefahren wurde. Der gesamte Zyklus ist beispielhaft im folgenden Diagramm durch Auftragung des Winkels und der Drehzahl respektive des Motorstromes über der Zeit skizziert. Der Deutlichkeit halber sind die Kurvenverläufe übertrieben dargestellt worden.

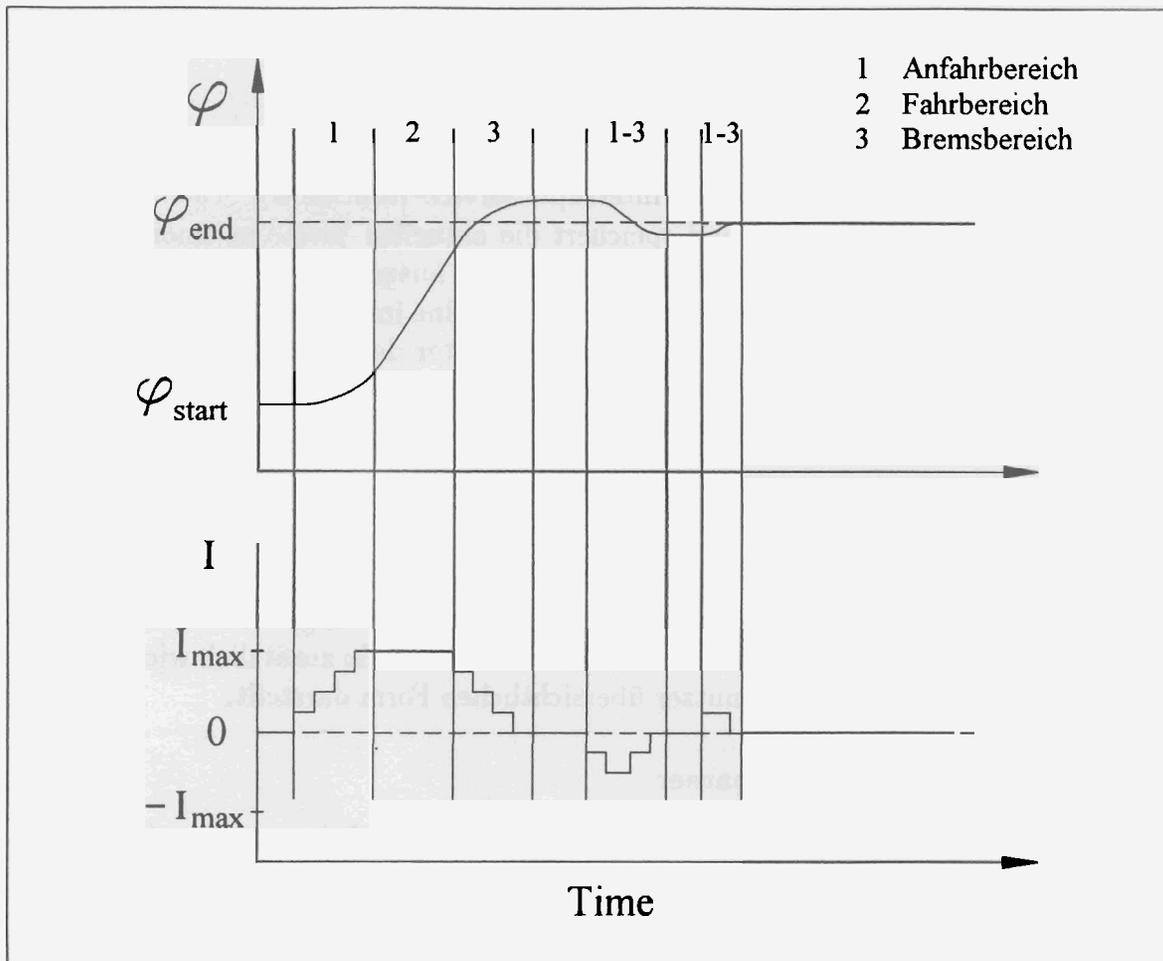


Abb. 5.1: Vollständiger Zyklus beim Verfahren einer Achse. Aufgetragen ist zum einen der Motorstrom, der proportional zur Drehzahl des Motors ist, und andererseits der von der Motorachse überfahrene Winkel in Abhängigkeit von der Zeit. Zum besseren Verständnis wurde der gesamte Zyklus in mehrere Bereiche aufgeteilt.

Wie zu erkennen ist, nähert sich der momentane Wert der Achsenstellung nach einem Anfahrbereich oszillatorisch dem Endwert.

5.2.1 Interrupt-Service-Routine

Neben dem eigentlichen Steuerprogramm läuft gleichzeitig interruptgesteuert ein Assemblerprogramm ab, dessen Funktion im folgenden beschrieben werden soll. Diese Interrupt-Service-Routine sorgt dafür, daß alle Achsenstellungen in äquidistanten Zeitabschnitten abgefragt werden, sodaß bei der Bewegung einer beliebigen Achse keine Information über die aktuelle Position verloren geht. Da der interne Zähler jedes Scaler-PALs nur als 4-Bit Counter ohne Überlauf programmiert werden konnte, muß sichergestellt sein, daß bei einem Überlauf des Zählers anhand der Differenz zur letzten ausgelesenen Position zu erkennen ist, ob ei-

ne Drehung in negative oder positive Richtung erfolgte und wie groß diese war. Um dies sicherzustellen, liest die Interrupt-Service-Routine die Scaler mit einer Frequenz von 1000 Hz aus und speichert die aktuellen Werte in einem eigenen Register, welches vom Hauptprogramm jederzeit ausgelesen werden kann. Außerdem werden in der Interrupt-Service-Routine im gleichen Modus die Endschalter am Goniometer und die Miniatur-Schalter der FONIO-Handsteuerung abgefragt und ausgewertet, sodaß dem FONIO-Hauptprogramm die aktuellen Werte jederzeit zur Verfügung stehen.

5.3 Kommando-Shell

Da eine optisch untergliederte Benutzerführung den größtmöglichen Komfort bietet wurde die im Entwicklungsstadium implementierte Eingabemöglichkeit über eine Kommandozeile durch eine Oberfläche erweitert, die zusätzlich wichtige Parameter in einer für den Benutzer übersichtlichen Form darstellt.

5.3.1 Der Kommandoparser

Im folgenden soll auf die Verarbeitung über das Terminal eingegebener Kommandos eingegangen werden. Um die Befehlsliste des FONIO-Hauptprogramms jederzeit ohne großen Aufwand erweitern zu können, wurde ein eigener Kommandoparser entwickelt, zumal die Bibliotheksroutinen des C-Compilers MCC68K keine geeigneten Eingaberoutinen enthalten und die vorhandene *get_line()*-Routine kein Editieren innerhalb der Eingabezeile erlaubt. Die hiermit zur Verfügung stehenden Editiermöglichkeiten sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Um einen möglichst großen Editierkomfort zu gewährleisten, wurde außerdem eine "command-history" implementiert, die es ermöglicht, schon einmal eingegebene

delete	löscht das Zeichen unter dem Cursor
insert	de/aktiviert den <i>insert mode</i>
arrow left	bewegt Cursor ein Zeichen nach links
arrow right	bewegt Cursor ein Zeichen nach rechts
arrow up	springt in der <i>command history</i> einen Eintrag nach vorne
arrow down	springt in der <i>command history</i> einen Eintrag nach hinten
ctrl a	setzt insert mode
ctrl h	springt zum Anfang der Eingabezeile
ctrl e	springt zum Ende der Eingabezeile
ctrl r	stellt den Fensterinhalt wieder her
ctrl y	löscht die gesamte Eingabezeile
backspace	löscht das links vom Cursor stehende Zeichen

Tabelle 5.1: Verfügbare Editiermöglichkeiten.

Kommandozeilen wieder zurückzurufen ohne die gesamte Eingabezeile neu eingeben zu müssen. Die Speichertiefe wurde hierbei auf zehn Zeilen begrenzt, was im Normalfall jedoch ausreichend ist und auch von bekannten Terminals zur Verfügung gestellt wird.

Die vom Benutzer eingegebene Zeile wird dann von einem Parser in vom Programm her bekannte Bruchstücke, sogenannte "Tokens" zerlegt. Der Parser vergleicht die eingegebenen Tokens nach einer festen, jederzeit erweiterbaren C-Struktur und arbeitet je nach Token eine bestimmte Unterroutine ab. Die C-Struktur besteht hierbei aus einer Auflistung der vorhandenen Befehle mit der Zuweisung einer Nummer

```
struct key {
    char *keyword;
    int keycount;
} keytab[] = {
    "cl",1,
    "clear",1,
    "dr",4,
    "drive",4,
    "ex",6,
    "exit",6,
    "he",2,
    "help",2,
    "re",7,
    "reset",7,
    "setpar",5,
    "setup",11,
    "sp",5,
    "su",11,
    "t",8,
    "target",8,
    "td",9,
    "tu",10,
};
```

In einer einfachen *switch-case*-Schleife werden in Abhängigkeit von dieser Nummer dann die entsprechenden Unterroutinen angesprungen.

5.3.2 Bedienungsanleitung der FONIO-Shell

Im folgenden soll auf die Bedienung des FONIO-Programmes eingegangen werden. Hierzu wird eine Kurzbeschreibung aller verfügbaren Befehle gegeben. Zum besseren Verständnis und um einen optischen Eindruck von der Bedienungsfläche zu bekommen, ist in folgender Abbildung das Hauptmenü der Goniometer-Steuerung abgebildet, wie es auf einem angeschlossenen Terminal beim Betrieb erscheint.

F O N I O														
motor nr.											value	on/off		
1 - detector angle θ											90.000			
2 - detector angle ϕ											0.000			
3 - momentum transfer axis q											0.000			
4 - angle Φ											0.000			
5 - target angle											45.000			
6 - target height											27.000			
switch - number														
	>1<	2	>3<	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
drive	target up			clear			reset			exit				
setpar	target down			help			setup							

>■

Abb. 5.2: FONIO-Bedienungs-Shell.

Die Oberfläche der Benutzerführung wurde optisch in drei Bereiche aufgeteilt. Die oberen Zeilen des ersten Bereiches geben die derzeitigen Achsenstellungen des Goniometers mit ihrer Zuordnung zu den physikalisch relevanten Winkeln wieder. Diese werden durch die Interrupt-Service-Routine jederzeit aktualisiert und vom Programm unter der Spalte *value* angezeigt. Wird eine der Achsen vom Benutzer verfahren, so wird dies in der Spalte mit dem Titel *on/off* angezeigt. Der mittlere Bereich des Menüs gibt den Status der Endschalter wieder. Ist einer dieser Schalter geschlossen, wurde also ein Referenzpunkt angefahren, so wird der entsprechende Schalter als aktiv angezeigt. Im dritten Bereich des Menüs sind die vom Benutzer ausführbaren Befehle aufgelistet, deren Bedeutung über die *help*-Funktion abgerufen werden können. Diese sind im folgenden mit einer Kurzbeschreibung ihrer Funktion in alphabetischer Reihenfolge aufgelistet. Grundsätzlich werden alle Kommandos sowohl in Groß- als auch in Kleinschrei-

bung vom Programm korrekt verarbeitet. Angaben in eckigen Klammern sind zwingende Parameter und müssen durch Leerzeichen voneinander getrennt mit angegeben werden, während Angaben in geschweiften Klammern optional sind. Erfolgt dies nicht, so erfragt das Programm automatisch die erforderlichen Werte.

- **clear**

Setzt alle Scaler-Werte auf Null zurück. Alternativ kann auch die Abkürzung `cl` verwendet werden.

- **drive [motor_nr] [value] {r}** Durch Angabe einer Motornummer nach der Nummerierung von 1 bis 6 im FONIO-Menü und des anzufahrenden Winkels (bzw. der anzufahrenden Höhe der Targetleiter) wird der Motor des entsprechenden Segmentes auf diesen Wert gefahren. Wird der optionale Parameter `r` mit angegeben, so gilt der angegebene Winkel (bzw. Höhe) als relativ zum derzeit angezeigten Wert des entsprechenden Scalers, andernfalls immer als absoluter Wert.

Dieser Vorgang kann durch zwei Aktionen unterbrochen werden:

- Wird während des Fahrens einer der Endschalter ausgelöst, so wird der entsprechende Motor sofort angehalten und der auslösende Schalter im FONIO-Menü angezeigt.
- Durch Betätigen der SPACE-Taste am Terminal kann vom Benutzer ein manueller Abbruch erzwungen werden.

Alternativ kann auch die Abkürzung `dr` verwendet werden.

Beispiele : Sei der momentane Scaler-Wert des zweiten Motors 80, dann bewirkt

`dr 2 90,` daß Motor 2 auf den neuen Wert 90 in den entsprechenden Einheiten fährt.

`dr 2 90 r,` daß Motor 2 auf den neuen Wert 160 in den entsprechenden Einheiten fährt.

- **exit**

Hierdurch wird das FONIO-Programm verlassen und der pROBE System Analyzer/Debugger aufgerufen. Dies kann zu Test- oder Diagnosezwecken erfolgen, um z.B. direkt Patches in der Software durchzuführen oder bestimmte Logik-Bausteine auf Fehlfunktionen hin zu untersuchen. Weitere Möglichkeiten sind das Downloaden von Hilfsprogrammen oder neuen Programmversionen und die Nutzung des Terminals als direkte Verbindung zur VAX über einen Server.

Alternativ kann auch die Abkürzung `ex` verwendet werden.

- **help**
Hilfe-Funktion, die zu dem gewünschten Kommando eine kurze Erklärung mit Angabe der notwendigen Parameter ausgibt.
Alternativ kann auch die Abkürzung *he* verwendet werden.
- **reset**
Durch diesen Befehl werden alle Register des Programmes und der Hardware auf einen definierten Wert zurückgesetzt. Alternativ kann auch die Abkürzung *re* verwendet werden.
- **set par [motor_nr] [value]**
Um von definierten Anfangswerten der Achsenstellungen in einem vorgegebenen Koordinatensystem ausgehen zu können und die Targetposition auf die Strahlachse zu zentrieren, kann mithilfe dieses Befehls unter Angabe des Winkels bzw. der Höhe die derzeitige Stellung des Segmentes festgelegt werden. Hierzu ist der entsprechende Motor mit seiner zu setzenden Position anzugeben.
Alternativ kann auch die Abkürzung *sp* verwendet werden.

Beispiel : *sp 2 90* setzt den derzeitigen Winkel von Scaler 2 auf 90°.
- **setup**
Meistens müssen die vom Programm vorgegebenen Parameter nicht verändert werden. Wird dies vom Benutzer dennoch gewünscht, so ermöglicht dieser Befehl die Änderung folgender Parameter über ein eigenes Menü:
 - *MOTOR_DIRECTION* Dieser Parameter bewirkt die Einstellung, ob der verwendete Winkel in mathematisch positivem oder negativem Uhrzeigersinn gezählt werden soll, was bei einer Änderung des Koordinatensystems von Interesse sein kann.
 - *TARGET_DIST* Um verschiedene Targetleitern mit unterschiedlichen geometrischen Abmessungen verwenden zu können, kann hiermit der vertikale Targetabstand festgelegt werden.
 - *TARGET_REFERERENZ* Dieser Parameter dient zur Festlegung des Referenzpunktes für die Targethöhereinstellung. Bei einem Verfahren der Targethöhe von einem beliebigen Wert kann somit über den Befehl *target up 0* das in Abhängigkeit vom Referenzpunkt nächste Vielfache des Targetabstandes angefahren werden.
 - *HAND_CONTROL* Mit diesem Parameter kann die Möglichkeit einer Bedienung über die Handsteuerung aktiviert oder deaktiviert werden.
 Alternativ kann auch die Abkürzung *su* verwendet werden.

- **target down [value]**

Alternativ zum *drive*-Befehl kann hiermit die Targethöhe um ein Vielfaches des vertikalen Targetabstandes nach unten hin verfahren werden. Der hierbei überfahrene konstante Targetabstand kann im Setup-Menü in Abhängigkeit von den Abmessungen der Targetleiter über den Parameter *TARGET_DIST* frei eingestellt werden. Wird als anzufahrender Wert Null angegeben, so wird das in Abhängigkeit vom Referenzpunkt nächste Vielfache des Targetabstandes angefahren. Der Referenzpunkt wird im Setup-Menü über den Parameter *TARGET_REFERENZ* festgelegt und muß nicht mit dem Targetnullpunkt übereinstimmen. Hierdurch ist es möglich, einerseits mit dem *drive*-Befehl die Targetposition beliebig zu variieren und andererseits wieder feste Targetpositionen anfahren zu können.

Alternativ kann auch die Abkürzung *td* verwendet werden.

Beispiel : *td 2* verfährt die Targethöhe um 2 Targetpositionen nach unten.

- **target up [value]**

Analog dem Befehl *target down* kann hiermit die Targethöhe um ein Vielfaches des mit dem Parameter *TARGETABSTAND* eingestellten Abstandes nach oben hin verfahren werden.

Alternativ kann auch die Abkürzung *tu* verwendet werden.

Beispiel : *tu 1* verfährt die Targethöhe um eine Targetposition nach oben.

Um andererseits vom experimentellen Aufbau und vom Experiment abhängige Parameter wie den Targetabstand oder den Drehsinn der Achsen vor einem Experiment festlegen zu können, wurde ein eigenes Untermenü in Form eines Setup-Formulars implementiert. Dieses ermöglicht es, jederzeit die angegebenen Parameter ändern zu können.

In der Abbildung 6.3 ist dieses Setup-Menü abgebildet, wie es für den Benutzer auf einem angeschlossenen Terminal erscheint. Neben der Wahl des Drehsinnes einzelner Achsen und der Angabe des durch die Targetleiter vorgegebenen Targetabstandes wurde als weiterer Punkt die Festlegung eines Targetreferenzpunktes implementiert. Dies ist sinnvoll, da ein Verfahren der Targetleiter zum einen über die Befehle *target up* und *target down* um Vielfache des vorgegebenen Targetabstandes und andererseits um beliebige Abstände durch den *drive*-Befehl möglich ist. Besitzt nun die Targethöhe einen beliebigen Wert, so kann durch den Befehl *target up/down 0* der nächstliegende Referenzpunkt angefahren werden. Im letzten Punkt kann der Parameter *HAND_CONTROL* geändert werden. Dieser legt fest, ob eine Bedienung der Steuerung durch die Handsteuerung möglich ist. Durch die Anwahl von *exit* wird das Setup-Menü verlassen, die geänderten Parameter abgespeichert und das Hauptmenü wieder aufgerufen.

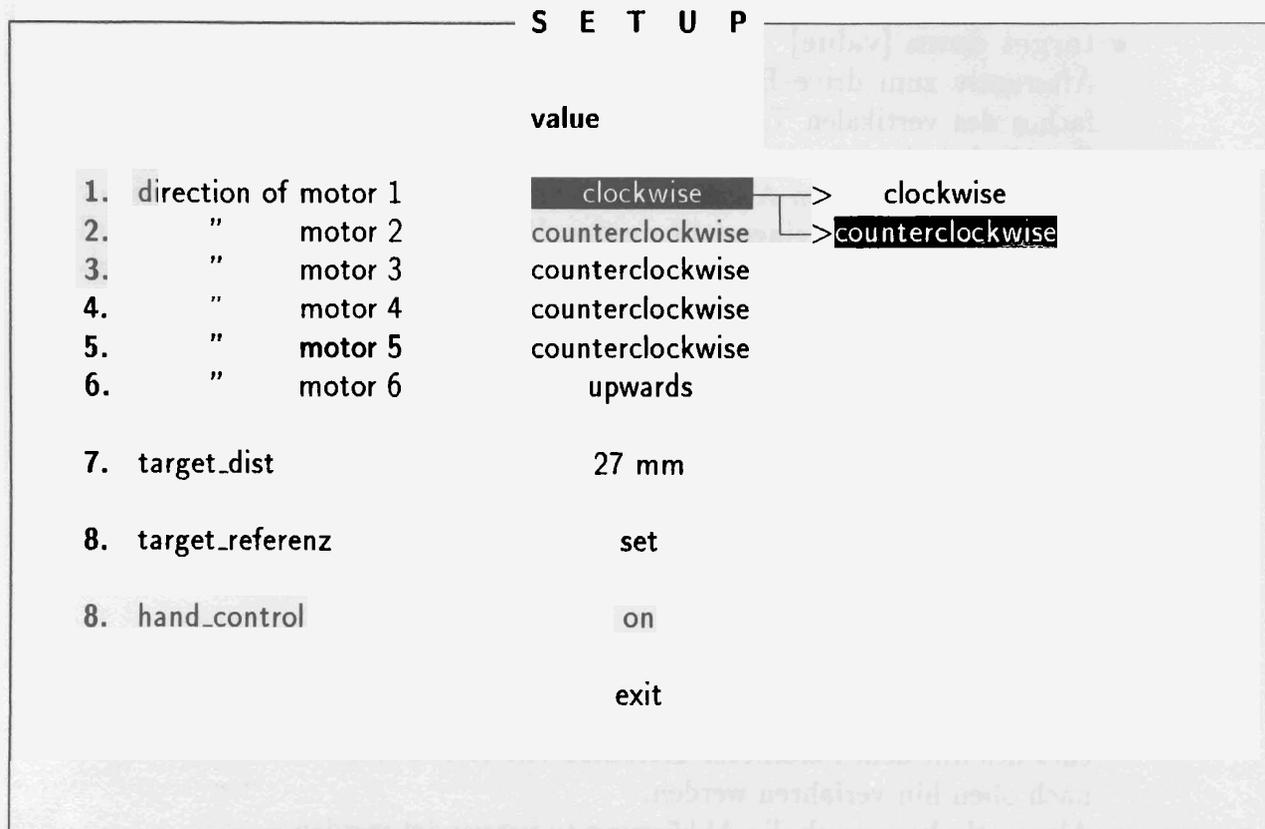


Abb. 5.3: Setup-Menü der FONIO-Shell.

5.3.3 Bedienungsanleitung der FONIO-Handsteuerung

Besitzt der Setup-Parameter *HAND-CONTROL* den defaultmäßig eingestellten Wert *on*, so ist eine Bedienung ebenfalls über die FONIO-Handsteuerung möglich. Deren Bedienung erfolgt exklusiv im Wechselspiel mit der Bedienung über ein Terminal. Daß heißt, wird die Kontrolle der Handsteuerung übergeben, so hat die Terminalsteuerung keinen Einfluß mehr auf die Bedienung und fungiert nur noch als Status-Kontrolle. Es werden hierbei sowohl die Achsenstellungen aktualisiert als auch jede Kommandoeingabe über die Handsteuerung auf dem Terminal mitprotokolliert. Die Umschaltung erfolgt durch Betätigen des "Remote"-Tasters auf der Handsteuerplatine und kann durch die FONIO-Shell nicht beeinflußt werden. Im folgenden soll die Bedienung der Handsteuerung erklärt werden, die in vielen Punkten der der Terminalsteuerung gleicht.

- **remote** Durch Betätigen dieses Tasters wird die Kontrolle der Steuerung übernommen. Durch erneutes Betätigen selbigen Tasters wird die Kontrolle wieder dem Terminalbetrieb übergeben. Der derzeitige Status wird durch eine LED-Diode angezeigt.

- **motor 1–6** Durch Betätigen eines dieser Taster wird der derzeitige Scaler-Wert der entsprechenden Achse angezeigt. Gleichzeitig wird das jeweilige Motorregister aktiv gesetzt, so daß ein Verfahren der entsprechenden Achse möglich wird. Die ausgewählte Achse wird durch das Aufleuchten der zugehörigen LED-Diode gekennzeichnet.
- **clear** Wurde ein Motorregister durch Betätigen eines der Taster *motor 1–6* aktiviert, so kann durch Betätigen dieses Tasters der derzeitige Scaler-Wert auf Null zurückgesetzt werden. Dieser Befehl entspricht somit einem *setpar motor_nr. 0*.
- **set** Wurde ein Motorregister durch Betätigen eines der Taster *motor 1–6* aktiviert, so kann nun durch Verdrehen des Drehknopfes der aktuelle Scaler-Wert auf den gewünschten neuen Wert geändert werden. Eine Übernahme des eingestellten Wertes erfolgt jedoch erst durch Betätigen des Tasters *set*.
- **setpar** Wurde durch das Kommando *set* ein neuer Wert eingestellt, so wird bei Betätigen dieses Tasters der aktuelle Wert in das Scaler-Register übernommen.
- **drive** Wurde durch das *set*-Kommando für eine ausgewählte Achse ein neuer Wert eingestellt, so wird durch Betätigen dieses Tasters der gewünschte Wert angefahren. Eine Unterbrechung des Verfahrens ist über den Taster *reset* jederzeit möglich. Wurde der eingestellte Wert erreicht, so wird dieser Wert nun in der Anzeige dargestellt.
- **reset** Setzt alle bisherigen Einstellung zurück und stoppt jegliche Achsenbewegungen.
- **target** ↑ / ↓ Neben der Möglichkeit, die Targethöhe über das Kommando *drive* zu verändern, wird einem durch diesen Befehl eine komfortable Möglichkeit geboten, die Targethöhe in Einheiten von Targetabständen zu verfahren. Die Anzahl der zu überfahrenden Targetabstände wird mithilfe des Drehknopfes eingestellt und das Verfahren durch Betätigen des *drive*-Tasters ausgeführt.

6 Schlußbemerkung

Die im Rahmen dieser Arbeit aufgebaute Goniometersteuerung ist seit etwa einem Jahr erfolgreich im Betrieb. Alle Experimentatoren, die Experimente am QCLAM-Spektrometer auf dem Gebiet der Elektronenstreuung durchführen, benutzen die hiermit gegebene Möglichkeit, eine exakte Positionierung von am Goniometer angebrachten Halbleiterteleskopen und der Targetleiter problemlos und reproduzierbar durchzuführen.

Dieser Zeit ging eine mehrmonatige Erprobungsphase voraus, in der das endgültige Software-Design festgelegt wurde. Hierbei wurde dem Wunsch nach einer komfortableren Bedienung dadurch Rechnung getragen, daß die anfangs installierte Möglichkeit der Eingabe über eine Kommandozeile durch die Entwicklung einer benutzerfreundlichen Bedienungsoberfläche erweitert wurde. Diese hat durch ihre komfortable und übersichtliche Benutzerführung eine einfache Bedienung des gesamten Systems ermöglicht. Insbesondere hat die Tatsache, daß der aktuelle Status von Goniometer und Targetleiter in einem eigenen Fenster der Bedienungsoberfläche dargestellt wird und somit jederzeit für den Experimentator abrufbar ist, zu einer erhöhten Transparenz in der Bedienung geführt. Aufgrund der durch eine Hochsprache gegebenen übersichtlichen und modularen Programmierung wurde außerdem eine einfache Möglichkeit zur Verfügung gestellt, benutzereigene Funktionen auf einfache Weise selbst zu implementieren und eine leichtere Software-Wartung durchführen zu können.

Weiterhin hat sich das Konzept des Antriebes der Achsen mit Gleichstrommotoren als sinnvoll erwiesen, da die nachträglich aufgetretenen leichten Verzerrungen im mechanischen Aufbau des Goniometers zu einem größeren winkelabhängigen mechanischen Widerstand beim Verdrehen einzelner Achsen geführt haben. Hier wird in naher Zukunft ein Auswechseln oder eine Neukonstruktion bestimmter Kränze des Goniometers unumgänglich sein, um weiterhin einen einwandfreien Betrieb zu gewährleisten. Ein Betrieb mit Schrittmotoren hätte den Nachteil gehabt, daß diese bei zu großem mechanischen Widerstand Schritte hätten verlieren können. Dies ist insofern problematisch, als die handelsüblichen Schrittmotoransteuerungen im allgemeinen auf eine Rückmeldung der derzeitigen Achsenposition verzichten, da bei einem Schrittmotor jedes Steuersignal einen Schritt mit einem genau definierten Drehwinkel erzeugt, solange der Motor im definierten Arbeitsbereich betrieben wird. Dies ist allerdings nicht mehr der Fall, wenn das Drehmoment des Motors nicht mehr ausreicht, den mechanischen Widerstand zu überwinden. Abhilfe wäre somit nur durch den Einsatz von stärkeren Motoren, was aufgrund des geringen zur Verfügung stehenden Platzes problematisch gewesen wäre, oder mithilfe zusätzlicher Winkelschrittgeber, die bei einem Betrieb mit Gleichstrommotoren obligatorisch sind, möglich gewesen. Die anfänglichen Zweifel an der Tauglichkeit und der Lebensdauer der optischen Winkelschrittge-

ber infolge der erhöhten Strahlungsexposition konnten sich bei den bisher durchgeführten Messungen nicht bewahrheiten. Der Einsatz von optischen Winkelschrittgebern zur Positionsrückmeldung hat sich somit als akzeptable Lösung bewährt.

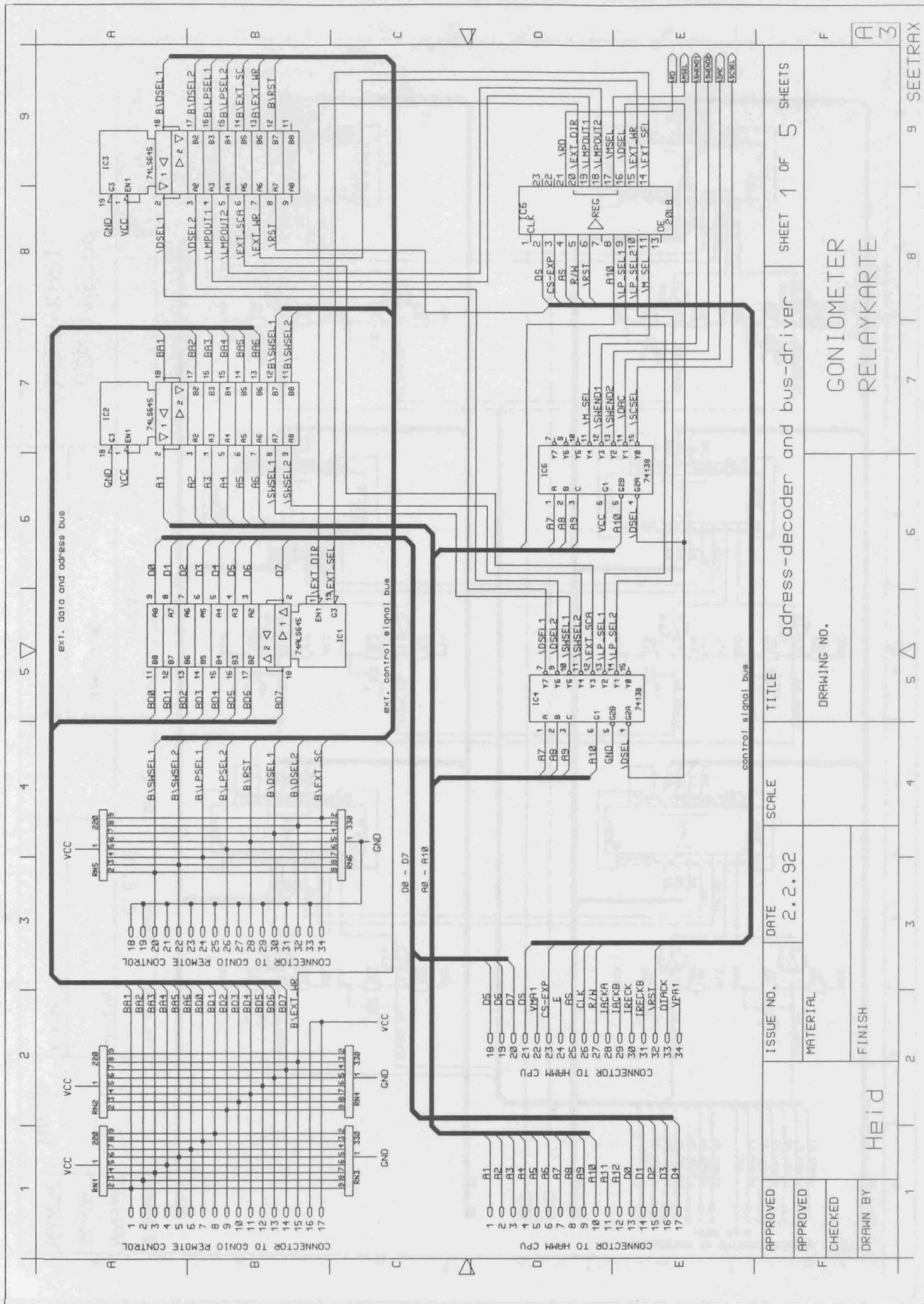
Schon in der Testphase hat sich gezeigt, daß aufgrund des Einsatzes von konventioneller diskreter TTL-Logik eine Fehlersuche sehr erleichtert wird. Hierbei hat sich insbesondere die Unabhängigkeit von anderen Systemen positiv bemerkbar gemacht.

Seit kurzer Zeit ist auch die für unter Sichtkontakt durchzuführenden Operationen notwendige Handsteuerung im Einsatz. Sie ermöglicht es, Justierarbeiten vor dem Strahlbetrieb durchführen zu können.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Goniometersteuerung am S-DALINAC voll funktionsfähig ist und im Routinebetrieb bereits eine Vielzahl von Experimenten ermöglicht hat.

A Schaltpläne

Das Blockschaltbild der FONIO-Hauptplatine und der Handsteuerplatine wurde schon in Kapitel 4 vorgestellt und erläutert. Im folgenden sind die Schaltpläne mit der Unterteilung nach Funktionsblöcken dargestellt. Hierbei beziehen sich die ersten fünf Schaltpläne auf die FONIO-Hauptplatine, während die beiden letzten Schaltpläne die Elektronik der Handsteuerplatine beschreiben. Eine Erläuterung der Signale des Expansion-Busses der Mikroprozessor-Platine ist in [17] zu finden.



APPROVED	ISSUE NO.	DATE	SCALE	TITLE	SHEET 1 OF 5 SHEETS
APPROVED	MATERIAL	2.2.92		address-decoder and bus-driver	
CHECKED	FINISH			DRAWING NO.	
DRAWN BY	Heid			GONIOMETER RELAYKARTE	
1	2	3	4	5	6
7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24
25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42
43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54
55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66
67	68	69	70	71	72
73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84
85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96
97	98	99	100	101	102
103	104	105	106	107	108
109	110	111	112	113	114
115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126
127	128	129	130	131	132
133	134	135	136	137	138
139	140	141	142	143	144
145	146	147	148	149	150
151	152	153	154	155	156
157	158	159	160	161	162
163	164	165	166	167	168
169	170	171	172	173	174
175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186
187	188	189	190	191	192
193	194	195	196	197	198
199	200	201	202	203	204
205	206	207	208	209	210
211	212	213	214	215	216
217	218	219	220	221	222
223	224	225	226	227	228
229	230	231	232	233	234
235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246
247	248	249	250	251	252
253	254	255	256	257	258
259	260	261	262	263	264
265	266	267	268	269	270
271	272	273	274	275	276
277	278	279	280	281	282
283	284	285	286	287	288
289	290	291	292	293	294
295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306
307	308	309	310	311	312
313	314	315	316	317	318
319	320	321	322	323	324
325	326	327	328	329	330
331	332	333	334	335	336
337	338	339	340	341	342
343	344	345	346	347	348
349	350	351	352	353	354
355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366
367	368	369	370	371	372
373	374	375	376	377	378
379	380	381	382	383	384
385	386	387	388	389	390
391	392	393	394	395	396
397	398	399	400	401	402
403	404	405	406	407	408
409	410	411	412	413	414
415	416	417	418	419	420
421	422	423	424	425	426
427	428	429	430	431	432
433	434	435	436	437	438
439	440	441	442	443	444
445	446	447	448	449	450
451	452	453	454	455	456
457	458	459	460	461	462
463	464	465	466	467	468
469	470	471	472	473	474
475	476	477	478	479	480
481	482	483	484	485	486
487	488	489	490	491	492
493	494	495	496	497	498
499	500	501	502	503	504
505	506	507	508	509	510
511	512	513	514	515	516
517	518	519	520	521	522
523	524	525	526	527	528
529	530	531	532	533	534
535	536	537	538	539	540
541	542	543	544	545	546
547	548	549	550	551	552
553	554	555	556	557	558
559	560	561	562	563	564
565	566	567	568	569	570
571	572	573	574	575	576
577	578	579	580	581	582
583	584	585	586	587	588
589	590	591	592	593	594
595	596	597	598	599	600
601	602	603	604	605	606
607	608	609	610	611	612
613	614	615	616	617	618
619	620	621	622	623	624
625	626	627	628	629	630
631	632	633	634	635	636
637	638	639	640	641	642
643	644	645	646	647	648
649	650	651	652	653	654
655	656	657	658	659	660
661	662	663	664	665	666
667	668	669	670	671	672
673	674	675	676	677	678
679	680	681	682	683	684
685	686	687	688	689	690
691	692	693	694	695	696
697	698	699	700	701	702
703	704	705	706	707	708
709	710	711	712	713	714
715	716	717	718	719	720
721	722	723	724	725	726
727	728	729	730	731	732
733	734	735	736	737	738
739	740	741	742	743	744
745	746	747	748	749	750
751	752	753	754	755	756
757	758	759	760	761	762
763	764	765	766	767	768
769	770	771	772	773	774
775	776	777	778	779	780
781	782	783	784	785	786
787	788	789	790	791	792
793	794	795	796	797	798
799	800	801	802	803	804
805	806	807	808	809	810
811	812	813	814	815	816
817	818	819	820	821	822
823	824	825	826	827	828
829	830	831	832	833	834
835	836	837	838	839	840
841	842	843	844	845	846
847	848	849	850	851	852
853	854	855	856	857	858
859	860	861	862	863	864
865	866	867	868	869	870
871	872	873	874	875	876
877	878	879	880	881	882
883	884	885	886	887	888
889	890	891	892	893	894
895	896	897	898	899	900
901	902	903	904	905	906
907	908	909	910	911	912
913	914	915	916	917	918
919	920	921	922	923	924
925	926	927	928	929	930
931	932	933	934	935	936
937	938	939	940	941	942
943	944	945	946	947	948
949	950	951	952	953	954
955	956	957	958	959	960
961	962	963	964	965	966
967	968	969	970	971	972
973	974	975	976	977	978
979	980	981	982	983	984
985	986	987	988	989	990
991	992	993	994	995	996
997	998	999	1000	1001	1002

Abb. A.1: Schaltplan der GONIO-Hauptplatine: Aufbereitung der Prozessorsignale, Adressdecodierung und Generierung der Signale für die Handsteuerung.

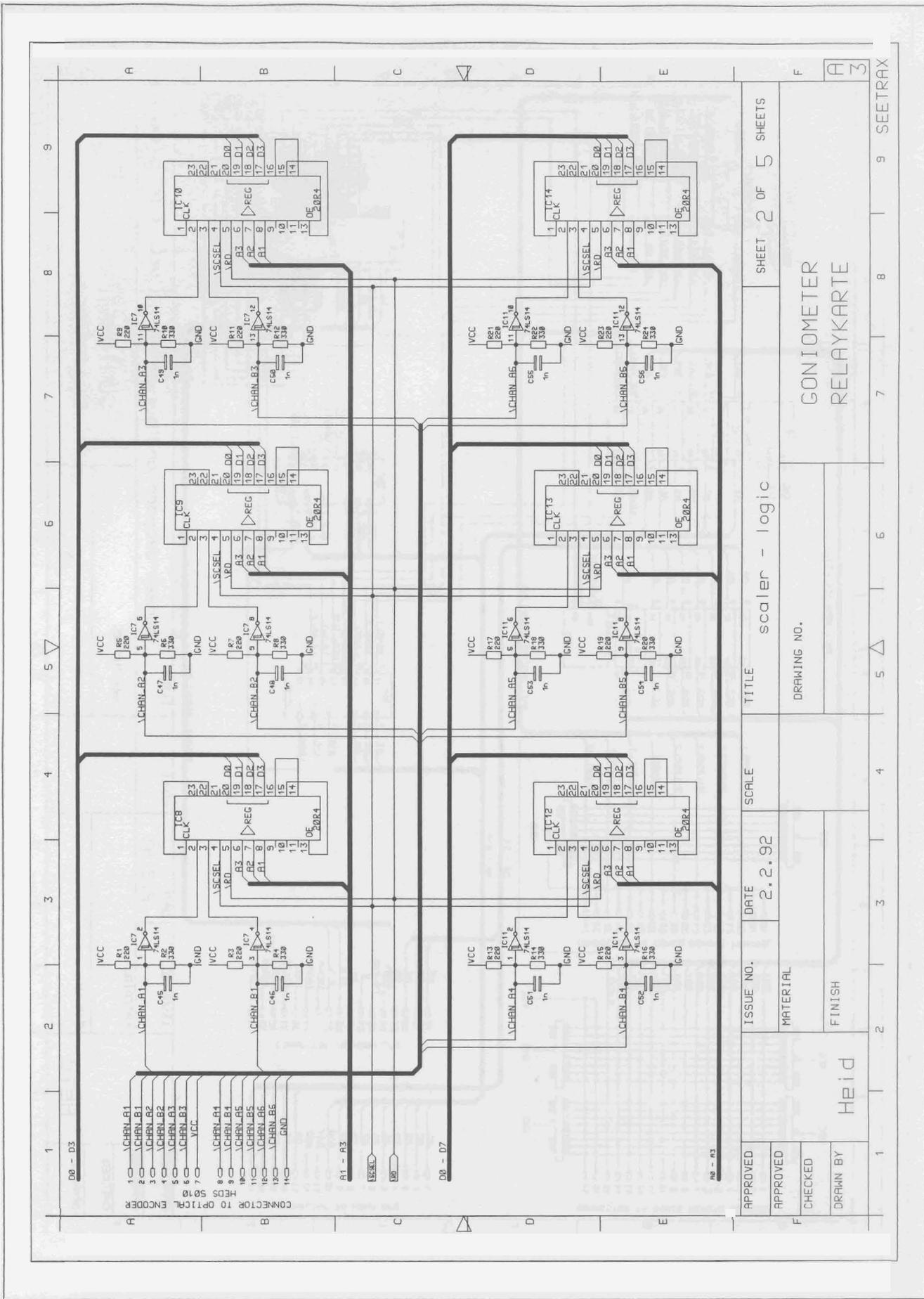
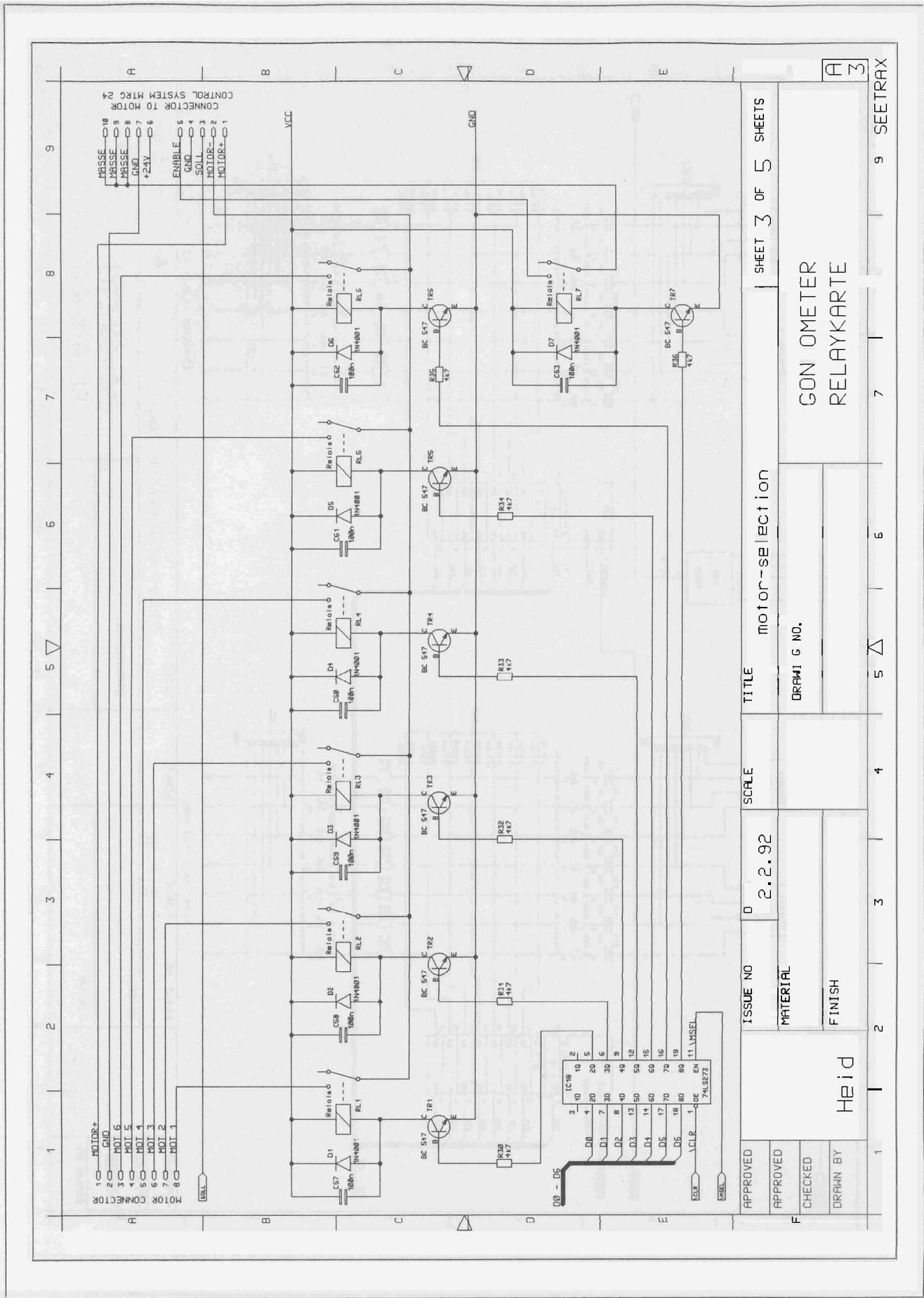


Abb. A.2: Schaltplan der FONIO-Hauptplatine: Scaler-Logik.



APPROVED		ISSUE NO	D	SCALE	TITLE		motor-selection		SHEET 3 OF 5		SHEETS	
APPROVED		MATERIAL		DRAWING NO.		GON O METER		RELAYKARTE		9		SEETRAX
CHECKED		FINISH		Heid		3		A		7		3
DRAWN BY										5		9

Abb. A.3: Schaltplan der GONIO-Hauptplatine: Motorselektion.

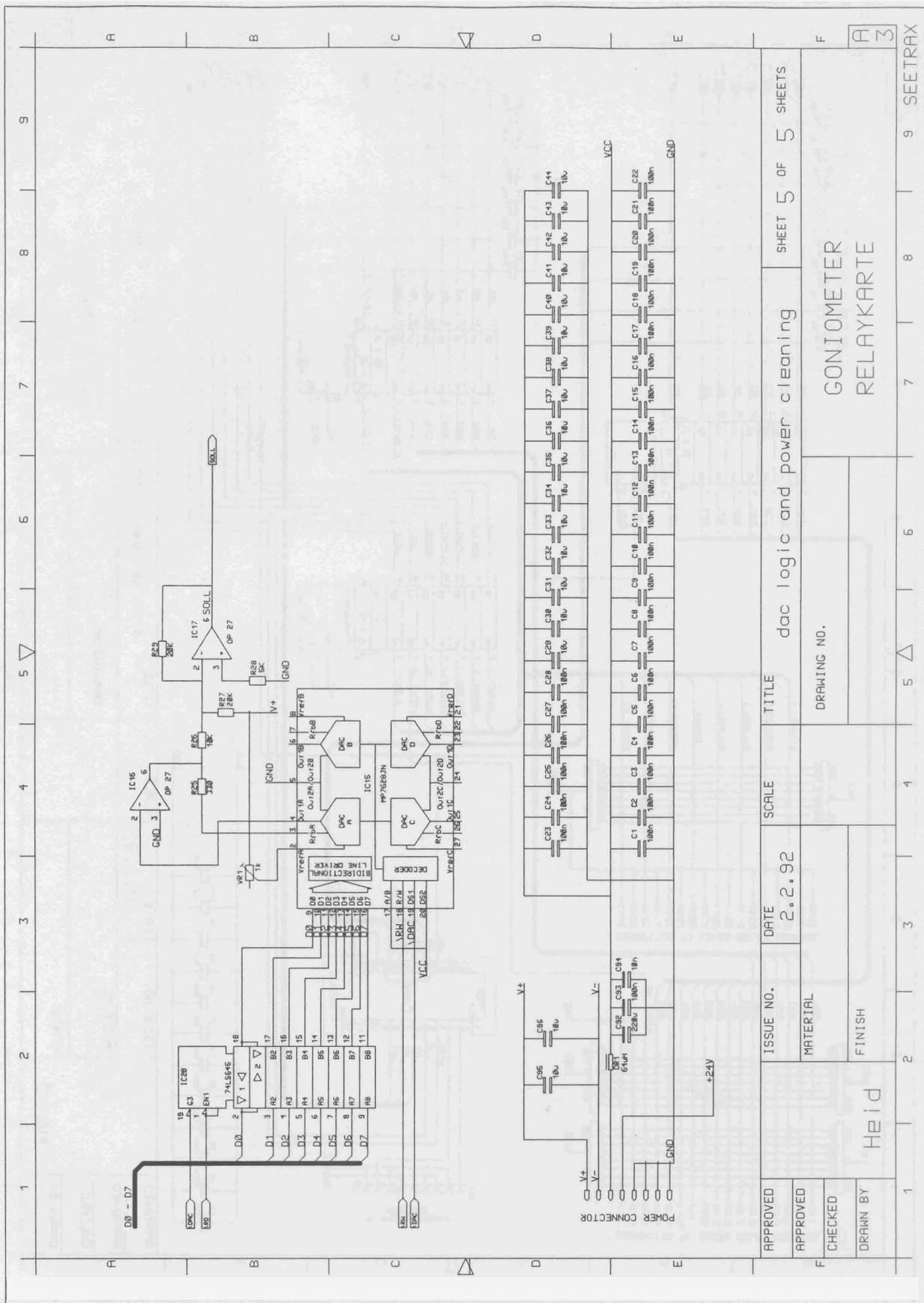


Abb. A.5: Schaltplan der FONIO-Hauptplatine: DAC-Logik und Stromversorgung (Sieb-
glied).

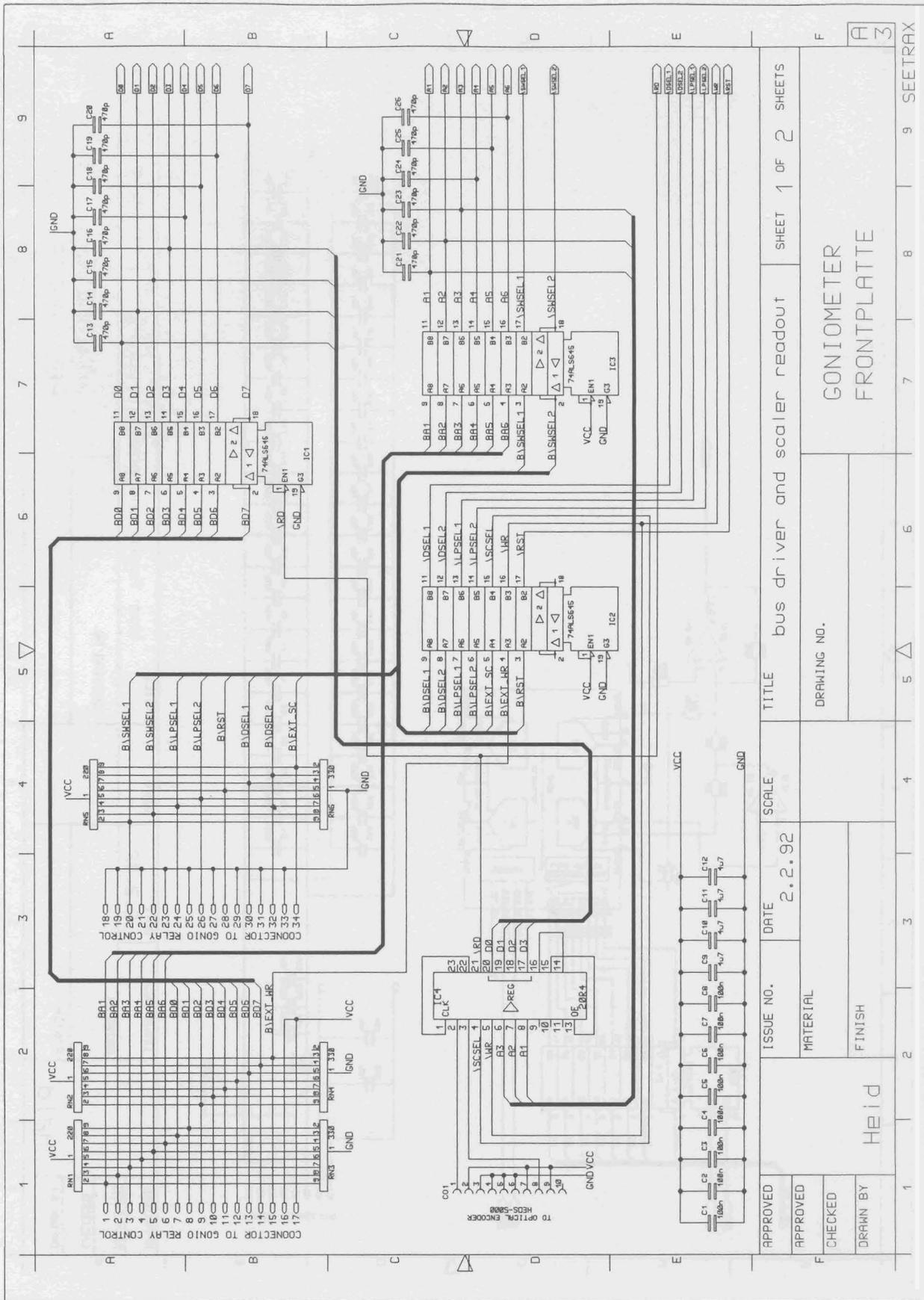
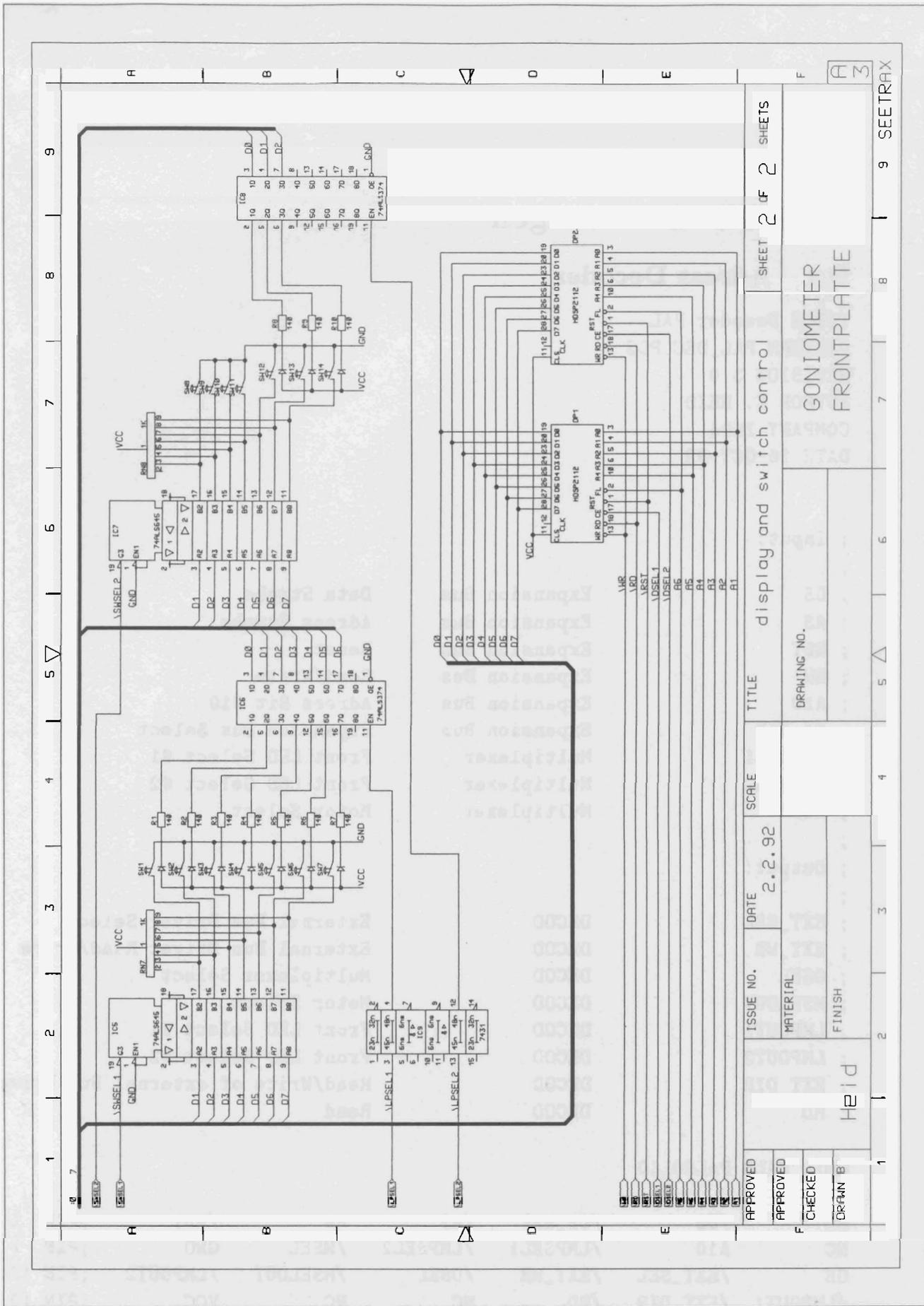


Abb. A.6: Schaltplan der FONIO-Handsteuerplatte: Aufbereitung der Signale für die Handsteuerung, Adressdecodierung und Scaler-Logik.



APPROVED		ISSUE NO.	DATE	SCALE	TITLE	SHEET 2 OF 2	SHEETS
APPROVED		2.2.92			display and switch control	9	SEE TRAX
CHECKED		MATERIAL			GONIOMETER FRONTPLATTE	F	
DRAWN B		FINISH				A 3	
Heid		DRAWING NO.					

Abb. A.7: Schaltplan der GONIO-Handsteuerplatte: Anzeigentreiber und Schalterlogik.

B PAL-Gleichungen

B.1 Adress Decoder

TITLE Decoder PAL
PATTERN PAL_DEC.PDS
REVISION 3.0
AUTHOR E. HEID
COMPANY IKDA
DATE 16-OCT-92

```
,  
; Input:  
,  
; DS           Expansion Bus      Data Strobe  
; AS           Expansion Bus      Adress Strobe  
; RST          Expansion Bus      Reset  
; RW           Expansion Bus      Read/Write  
; A10          Expansion Bus      Adress Bit #10  
; CS_EXP       Expansion Bus      Expansion Bus Select  
; LMPSEL1      Multiplexer        Front LED Select #1  
; LMPSEL2      Multiplexer        Front LED Select #2  
; MSEL         Multiplexer        Motor Select  
  
; Output:  
,  
; EXT_SEL      DECOD              External Bus Driver Select  
; EXT_WR       DECOD              External Bus Driver Read/Write  
; DSEL         DECOD              Multiplexer Select  
; MSELOUT      DECOD              Motor Select  
; LMPOUT1      DECOD              Front LED Select #1  
; LMPOUT2      DECOD              Front LED Select #2  
; EXT_DIR      DECOD              Read/Write of external Bus Driver  
; RD           DECOD              Read
```

CHIP PAL8 PAL20L10

NC	/DS	/CS_EXP	/AS	RW	/RST	;PIN 1.. 6
NC	A10	/LMPSEL1	/LMPSEL2	/MSEL	GND	;PIN 7..12
OE	/EXT_SEL	/EXT_WR	/DSEL	/MSELOUT	/LMPOUT2	;PIN 13..18
/LMPOUT1	/EXT_DIR	/RD	NC	NC	VCC	;PIN 19..24

EQUATIONS

```
DSEL          = CS_EXP * /RST * AS * DS

EXT_DIR       = DSEL * RW * A10           ; Read/Write of
                                                ; external bus driver

EXT_WR        = DSEL * /RW

EXT_SEL       = DSEL * A10               ; External Select

RD            = DSEL * RW                 ; Read
                                                ; active low

MSELOUT       = /MSEL + RW               ; Motor Select

LMPOUT1       = /LMPSEL1 + RW            ; Select of Front LED
                                                ; Multiplexer #1

LMPOUT2       = /LMPSEL2 + RW            ; Select of Front LED
                                                ; Multiplexer #2
```

B.2 Scaler-PAL

Beispielhaft sind im folgenden die PAL-Gleichungen eines der sechs Scaler-PALs angegeben. Die Adressierung erfolgt hierbei über die Adressleitungen A1-A3.

```
TITLE Scaler PAL 1
PATTERN SCAL_PAL_1.PDS
REVISION 2.0
AUTHOR E. HEID
COMPANY IKDA
DATE 16-OCT-92
```

```
;
; Input:
;
```

```

; CLK          PAL          Flip-Flop Clock
; P1           INCR
; P2           INCR
; SCSEL        DECOD        Scaler Select
; RD           DECOD        Read          active low
; A1, A2, A3   Expansion Bus Address Bit #1-#3
; OE           PAL          Output Enable
; VERZ         PAL          delay line
,
; Output:
,
; D0, D1, D2, D3 Expansion Bus Data Bit #0-#3
; IOE          SCAL1
; ICLK         SCAL1        PAL Flip-Flop Clock
; IVERZ        SCAL1
;

```

CHIP PAL1 PAL20R4

CLK	P1	P2	SCSEL	/RD	A3	;PIN 1.. 6
A2	A1	NC	NC	NC	GND	;PIN 7..12
OE	/VERZ	/IOE	/IVERZ	/D3	/D2	;PIN 13..18
/D1	/D0	NC	/ICLK	NC	VCC	;PIN 19..24

EQUATIONS

IVERZ = P1 * P2

ICLK = VERZ ; delay line

IOE = /SCSEL * RD * /A3 * /A2 * /A1 ; Decoding of
; Scaler PAL

; 4-BIT UP/DOWN COUNTER

D0 := /D0 ; Data Bit #0

$$\begin{aligned}
 &:= \quad /D1 * /D0 * /P2 && ; \text{Data Bit \#1} \\
 &+ /D1 * D0 * P2 \\
 &+ D1 * /D0 * P2 \\
 &+ D1 * D0 * /P2
 \end{aligned}$$

D2

$$\begin{aligned}
 &:= \quad /D2 * /D1 * /D0 * /P2 && ; \text{Data Bit \#2} \\
 &+ /D2 * D1 * D0 * P2 \\
 &+ D2 * D1 * /D0 \\
 &+ D2 * /D1 * P2 \\
 &+ D2 * D0 * /P2
 \end{aligned}$$

D3

$$\begin{aligned}
 &:= \quad /D3 * /D2 * /D1 * /D0 * /P2 && ; \text{Data Bit \#3} \\
 &+ /D3 * D2 * D1 * D0 * P2 \\
 &+ D3 * D2 * /P2 \\
 &+ D3 * /D2 * D0 \\
 &+ D3 * /D1 * P2 \\
 &+ D3 * D1 * /D0
 \end{aligned}$$

Literatur

- [1] H.D. Gräf, H. Miska, E. Spamer, O. Titze and Th. Walcher, Nucl. Instr. Meth. **153** (1978) 9.
Th. Walcher, R. Frey, H.D. Gräf, H. Miska, E. Spamer and H. Theissen, Nucl. Instr. Meth. **153** (1978) 17.
D. Schüll, J. Foh, H.D. Gräf, H. Miska, R. Schneider, E. Spamer, H. Theissen, O. Titze and Th. Walcher, Nucl. Instr. Meth. **153** (1978) 29.
J. Foh, R. Frey, R. Schneider, D. Schüll, A. Schwierczinski, H. Theissen and O. Titze, Nucl. Instr. Meth. **153** (1978) 43.
- [2] K. Alrutz–Ziemssen, D. Flasche, H.D. Gräf, V. Huck, K.D. Hummel, G. Kalisch, M. Knirsch, C. Lüttge, J. Pinkow, A. Richter, T. Rietdorf, P. Schardt, E. Spamer, A. Stascheck, A. Stiller, O. Titze, W. Voigt, H. Weise and W. Ziegler, Contribution to the EPAC conference, June 12–16, 1990, Nice, France.
- [3] F. Gudden, G. Fricke, H.G. Clerc and P. Brix, Z. Phys. **181** (1964) 453.
- [4] Th. Walcher, Eine “Energy-loss”-Elektronenstreuordnung mit guter Auflösung, Habilitationsschrift, TH Darmstadt, November 1974, unveröffentlicht.
- [5] M. Knirsch, Dissertation, Institut für Kernphysik, TH Darmstadt (1991), unveröffentlicht.
- [6] A. Stiller, Diplomarbeit, Institut für Kernphysik, TH Darmstadt (1991), unveröffentlicht.
- [7] D. Kleinhanss, Diplomarbeit, Institut für Kernphysik, TH Darmstadt (1989), unveröffentlicht.
- [8] H. Diesener, Diplomarbeit, Institut für Kernphysik, TH Darmstadt (1989), unveröffentlicht.
- [9] W.E. Kleppinger and J.D. Walecka, Ann. Phys. **146** (1983) 349.
- [10] S. Krewald and G. Co’, Nucl. Phys. **A433** (1985) 392.
- [11] T. de Forest, J.D. Walecka, Adv. in Phys. **15** (1966) 1.
- [12] T. de Forest, Jr., Ann. of Phys. **45** (1967) 365.
- [13] K.D. Hummel, Dissertation, Institut für Kernphysik, TH Darmstadt (1992), unveröffentlicht.

- [14] M. Kuss, Diplomarbeit, Institut für Kernphysik, TH Darmstadt (1990), unveröffentlicht.
- [15] W. Hilf & A. Nausch, M68000 Familie, Teil 1: Grundlagen und Architektur, (te-wi Verlag GmbH 1984).
- [16] T. King & B. Knigth, Programmierung des 68000, Dt. Ausgabe, (Addison-Wesley, 1986).
- [17] R. Hamm, Diplomarbeit, Institut für Kernphysik, TH Darmstadt (1991), unveröffentlicht.
- [18] Technische Beschreibung für 4-Q-Verstärker Serie MTRG 24/2, MATTKE GmbH.
- [19] MC 68681, product specification, Motorola.
- [20] HEDS-5000, product specification, Hewlett Packard.
- [21] ISO 122 P, product specification, Burr-Brown.
- [22] HDSP-211X, application note 1033, Hewlett Packard.
- [23] B.W. Kernigan & D.M. Ritchie, Programmieren in C, Dt. Ausgabe von A.T. Schreiner & E. Janich, (Carl-Hanser-Verlag, 1983).
- [24] pSOS-68K Real-Time, Multiprocessing Operating System Kernel, Users Manual, (Software Components Group Inc., 1985).