

Bau einer Richtungsanzeige für den Antennenmast

Das Problem

Am Anfang stand die Erkenntnis, dass die Antennenausrichtung, welche meine Rotorsteuerung angab, oft gravierend von der tatsächlichen Ausrichtung abwich. Eine genauere Untersuchung ergab im wesentlichen zwei Ursachen. Die erste war die Ungenauigkeit der Rotorsteuerung. Die Differenz zwischen einer Positionierung im bzw. gegen den Uhrzeigersinn konnte bis zu 30° betragen. Das hätte sich ja eventuell noch durch eine genaue Justage der Potis minimieren lassen, die zweite Ursache war aber wesentlich bedeutender. Wenn zu große Drehkräfte auf den Mast wirken, dann klinkt der Rotor (vermutlich aus Sicherheitsgründen) aus, und der bewegliche Teil des Sendemastes kann sich verdrehen, ohne dass dies von der Rotorsteuerung erkannt wird. Die Folge ist dann, dass man dann z.B. laut Rotorsteuerung nach Norden ausrichtet, die Antennen tatsächlich aber irgendwo anders hin zeigen, im Extremfall z.B. nach Süden. Dies ließ den Wunsch nach einer unabhängigen und genauen Anzeige der Antennenausrichtung wach werden. Außerdem sollte diese Anzeige auch noch die Möglichkeit einer Anbindung an prozessorgesteuerte Systeme beinhalten.

Die Suche

Die erste Suche bezog sich auf geeignete Drehgeber. Potis und andere analoge Techniken wollte ich nicht einsetzen. Bei den digitalen Drehgebern gibt es grundsätzlich zwei Sorten: Differentialgeber und Absolutwertgeber. Die ersteren findet man häufig und kostengünstig, haben aber einen gravierenden Nachteil, sie müssen nach dem Einschalten erst mal eine Referenzfahrt durchführen. Das bedeutet, ein bekannter Punkt muss angefahren werden, dort wird dem angeschlossenen System der „Nullpunkt“ mitgeteilt und dann kann erst von diesem Punkt aus die jeweilige weitere Position erfasst werden. In der Praxis würde das bedeuten, dass nach dem Einschalten die Antennen erst in eine Referenzposition gedreht werden müssen, damit festgestellt werden kann, in welche Richtung sie zeigen. Das wollte ich nicht.

Somit blieben mir nur die Absolutwertgeber. Diese zeigen jederzeit, auch nach Ausfall der Stromversorgung, die absolute Position an. Ein Eigenbau des Gebers entsprach in diesem Fall nicht meinen Vorstellungen. Der Kauf neuer Geber schied aus Preisgründen aus und auch gebrauchte sind alles andere als günstig – 50.-Euro sind so in etwa das unterste Limit. Per Zufall kam ich per Tauschgeschäft an zwei Absolutwertgeber der Type Heidenhain ROC-dual 12/63.3, (siehe [Bild 1](#)), inklusive deren Betriebsanleitung. Diese Drehgeber enthalten eine nach dem DIADUR-Verfahren auf eine Glasscheibe aufgetragene Dualcode-Teilung (reiner Binärcode). Die Codeteilung wird photoelektrisch nach dem Prinzip der V-Abtastung auf 12 Spuren ausgelesen. Ich freute mich, wusste aber zu diesem Zeitpunkt noch nicht, dass ich mir eine ordentliche Menge Arbeit eingehandelt hatte.



Bild 1, Absolutwert-Drehgeber

Einleitung des Ermittlungsverfahrens

Als erstes begann ich mit einer genauen Ermittlung der zur Verfügung stehenden Signale des Drehgebers. Das Datenblatt (siehe **Bild 2**) lieferte die Erkenntnis, dass 24 Signale zur Verfügung stehen. Und zwar jeweils 12 Signalaare, wobei jedes Paar aus zwei zueinander versetzten Signalen besteht (meist um 90° zueinander versetzt, leider aber nicht immer). Prinzipiell liefert so ein Geber eigentlich nur High- bzw. Low-Pegel an den Ausgängen, Rechtecksignale ergeben sich erst während der Drehbewegung. Dieser Geber liefert von Spur 0 bis 6 Signale mit $\pm 1,4$ Volt (min), und von Spur 7 bis 11 Signale mit 0 bis $+2,5$ Volt. Dies liegt an der Bestückung der feineren Spuren mit je 2 Paar Silizium-Photoelementen pro Spur, welche jeweils in Gegentakt geschaltet sind. Die Gründe dafür sind die höhere Konstanz der Ausgangssignale, unabhängig von Temperaturschwankungen, Lampenspannungsänderungen und Lampenalterung.

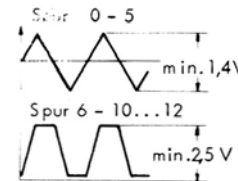
Lichtquelle	Glühfadenlampe, Nennaten 6 V/4 W; mittlere Lebensdauer bei 4,5 V ca. 6000 h.	Betriebsspannung 4,5 V $\pm 10\%$, 0,45 A
Abtastelemente	Si-Fotoelemente in V- Anordnung; 5 feinste Spuren in Gegentakt- schaltung.	
Spannungs- versorgung	positive Spannung negative Spannung	+ 12 V $\pm 5\%$, ca. 300 mA - 12 V $\pm 5\%$, ca. 300 mA
Ausgangssignale	bei 12 Spuren 24 bei 11 Spuren 22 bei 10 Spuren 20 sinus- bis trapezförmige Ausgangssignale Signalhöhe Spur 0 - 5 Signalhöhe Spur 6 - 10...12 Phasenwinkel der feinsten Spur 0 V, 0 N Grenzfrequenz (-3dB) bei max. 5 nF kapazitiver Belastung	 Spur 0 - 5 min. 1,4V Spur 6 - 10...12 min. 2,5 V > 1,4 V > 2,5 V 10 V $90^\circ \pm 20^\circ$ 30 kHz
Genauigkeit	+ 1 Intervall bei 12 Spuren bei 11 Spuren bei 10 Spuren	$\pm 2,6'$ $\pm 5,2'$ $\pm 10,5'$
Auflösung	bei 12 Spuren bei 11 Spuren bei 10 Spuren	4096 ca. 2,6' 2048 ca. 5,2' 1024 ca. 10,5'

Bild 2, Technische Daten Drehgeber

Da ich zwar die Drehgeber, aber nicht die zugehörige Auswerteschaltung (auch nicht in Form eines Schaltplans) besaß und im Internet darüber auch keine Informationen darüber aufzutreiben waren, musste ich selbst dahinterkommen, auf welche Art und Weise aus diesen Signalen eine Winkelposition zu erhalten wäre. Ich begann mit der händischen Erfassung der Signale zueinander. Bei 2^{12} (=4096) Positionen artet das in richtig zeitaufwendige Arbeit aus. Nach den ersten zehn vollgezeichneten Zetteln begann ich das ganze lieber in Autocad zu zeichnen, da hier Vergrößerungen bzw. Verkleinerungen in beliebigem Maßstab möglich sind. Die größte Hürde für mich war die Tatsache, dass sämtliche Ausgangssignale ziemlich flache Flanken an den Übergängen zwischen High und Low haben, bei den gröberen Signalen umfasste der High-Low-Übergang ca. 60 Bit der feinsten Spur. Und ich hatte vorerst nicht die geringste Idee, wie bei solch langen High-Low-Übergängen zugeordnet werden sollte, ab wann jetzt wirklich High und ab wann Low ist, da ja auch Änderungen durch die Versorgungsspannung und Temperaturdifferenzen eine Rolle spielen. Nur die feinste Spur ließ sich nicht nur relativ eindeutig zuordnen, sondern wegen der zwei um 90° zueinander versetzten Signale nochmals in 4 Teile zerlegen, sodass sich eigentlich eine Auflösung auf 16384 Teile pro Umdrehung ergibt, welche ich aber für meine Antennen mit Sicherheit nicht benötigte. Da die Signale ähnlich dem Gray-Code angeordnet sind, aber nicht exakt diesem entsprechen, wurde ich auch in diesem Bereich nicht fündig.

Die Lösung der Auswerteprobleme

Nach vielen Überlegungen und Versuchen ergab sich für mich die Lösung des Problems. Da jeweils zwei winkelversetzte Signale zur Verfügung stehen, muss nie im Bereich einer Flanke, sondern immer nur im High- bzw. Low-Bereich ausgewertet werden. Als Beispiel siehe **Bild 3**.

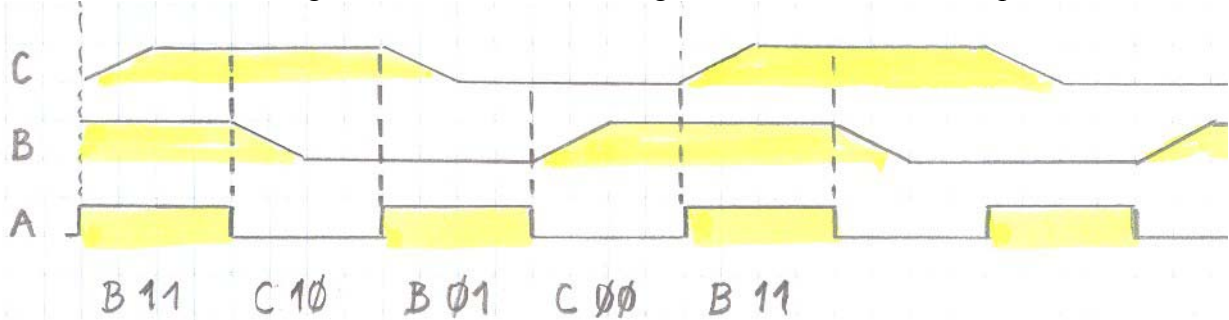


Bild 3, Prinzip der Auswertung

Zur Auswertung werden jeweils beide Signale einer Spur (B und C) und eines der Signale der Spur mit der nächst-höheren Auflösung (A) benötigt. Wie aus Bild 3 ersichtlich ist, wird ein kompletter Wellenzug des höherwertigeren Signalpaares (B und C) durch das Signal A derart in 4 Teile zerlegt, dass sich folgende 4 mögliche Positionen ergeben:

High an B, High an A

High an C, Low an A

Low an B, High an A

Low an C, Low an A

Andere Kombinationen werden nicht benötigt, das Signalpaar B/C kann durch zusammenfassen von jeweils zwei der obengenannten Positionen eindeutig in High und Low unterteilt werden, ohne jemals das Problem zu haben, im Bereich einer der Flanken auswerten zu müssen. Das setzt sich von Signalpaar zu Signalpaar fort, es wird jeweils ein Signal-Paar mit einem davor liegenden ausgewertetem Signal verknüpft. Somit sei der Fall erledigt dachte ich, es sollte jedoch anders kommen.

Für die Auswertung der Signale wurde natürlich ein Mikroprozessor (Atmel AT89C55) vorgesehen – TTL-Gräber sind im Vergleich dazu ja doch ein ziemlich hoher Aufwand. Von den insgesamt 24 zur Verfügung stehenden Signalen wurden die höherwertigen 16 zur Auswertung vorgesehen (bin allerdings erst nach längeren Irrwegen zu dieser Erkenntnis gelangt). Die niederwertigsten (für den Prozessor zur Verfügung stehenden) Signale sind somit nicht die Signale 2^0 und 2^0b sondern die Signale 2^4 und 2^4b . Die höchstwertigen Signale sind 2^{11} und 2^{11b} . Da das niederwertigste Signalpaar die Zustände für 2 Bit liefert, stehen 2^9 Zustände pro Umdrehung zur Verfügung, was einer Auflösung von $0,7^\circ$ entspricht. Da im schlimmsten Fall der Auswertefehler die Hälfte davon ist, kann von einer Auflösung auf rund ein Drittel Winkelgrad ausgegangen werden, was für die geplante Anzeige auf ganze Winkelgrade völlig ausreichend ist.

Die Auswertung funktionierte bis zum Signalpaar 2^7 ohne Probleme. Die Paare 2^8 und 2^9 weisen jedoch eine Besonderheit auf: Die Verschiebung zueinander beträgt bei diesen Paaren nicht 90° sondern wesentlich weniger. Somit funktionierte die bisherige Auswertung nicht. Die Lösung konnte darin gefunden werden, dass zur Auswertung nicht nur ein davor liegendes Bit, sondern 3 bzw. 2 davor liegende Bits (bereits ausgewertete Signale) für die Auswertung mit verwendet werden mussten. Da das ganze per Software erledigt wurde, war das kein Problem, sondern nur mehr Arbeit.

Schaltplan Drehrichtungsanzeige

Erwin Hackl, OE5VLL 6.8.2006

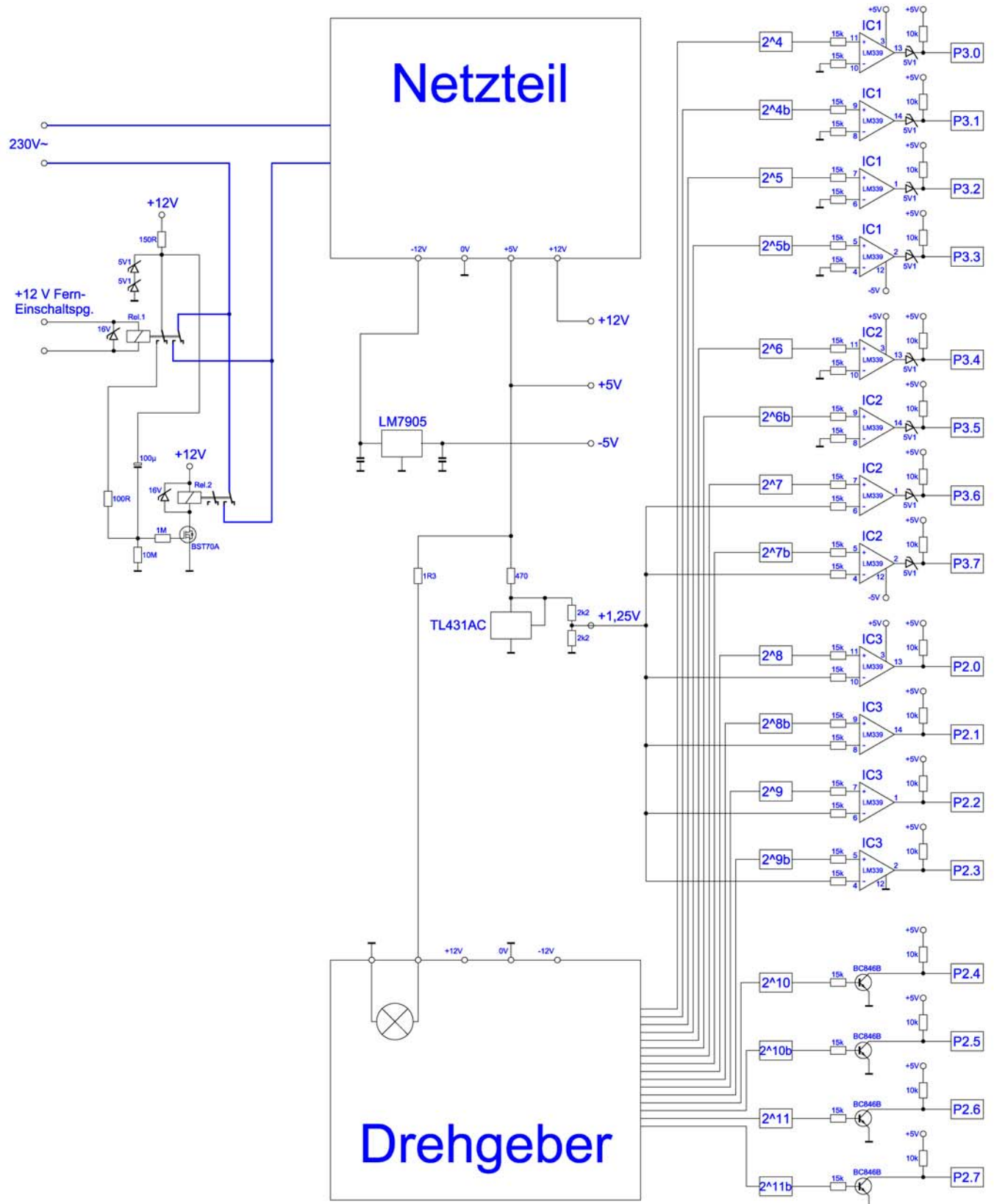


Bild 4, Schaltplan

Der elektrische Teil

Siehe dazu auch Schaltplan **Bild 4**. Für die mikroprozessorgerechte Umsetzung der Signale aus dem Drehgeber wurde (leider etwas zu voreilig) eine Platine geätzt, welche 3 Stück 4-fach-Komparatoren (LM339) beinhaltet. Da die Signale in zwei Varianten geliefert werden, müssen sie auch auf zwei Arten aufbereitet werden.

Die niederwertigen Signalpaare 2^4 , 2^5 und 2^6 werden von den Komparatoren mit 0 Volt verglichen. Deswegen werden diese Komparatoren auch mit +5 Volt und -5 Volt versorgt. Außerdem ist zwischen deren Ausgängen und den zugehörigen PullUp-Widerständen jeweils eine 5,1 Volt Zenerdiode geschaltet, damit die Signale für den Mikroprozessor keinen negativen Pegel annehmen können. Die Komparatorausgänge schalten zwischen +5 Volt und -5 Volt, an die Mikroprozessoreingänge gelangen aber nur ca. 0 Volt bis +5 Volt.

Die hochwertigen Signalpaare 2^7 , 2^8 und 2^9 werden von den Komparatoren mit +1,25 Volt verglichen. Der 3. Komparatorchip wird mit +5 Volt und 0 Volt versorgt, deshalb entfallen bei diesem auch die Zenerdioden, da er an seinen Ausgängen ohnehin nur Schaltzustände von ca. 0 Volt und +5 Volt annehmen kann. Da ich im Endeffekt mehr Signale auswerten musste als ursprünglich von mir geplant, musste ich die restlichen zwei Signalpaare 2^{10} und 2^{11} anders auswerten. Ich hätte auch eine neue Platine entwerfen und ätzen können, das war mir aber zu viel Arbeit. Deshalb entschloss ich mich, die restlichen 4 Signale mit SMD-Einzeltransistoren der Type BC846B auszuwerten. Diese lötete ich einfach an geeigneten Stellen samt den dazugehörigen Eingangswiderständen auf die Platine (die PullUp-Widerstände waren ohnehin vorhanden) und verband sie in altbewährter Fädelschaltung mit dem Rest der Schaltung. Diese Methode ist vielleicht nicht die feine saubere Art, erfüllt aber den Zweck mit wesentlich weniger Aufwand.

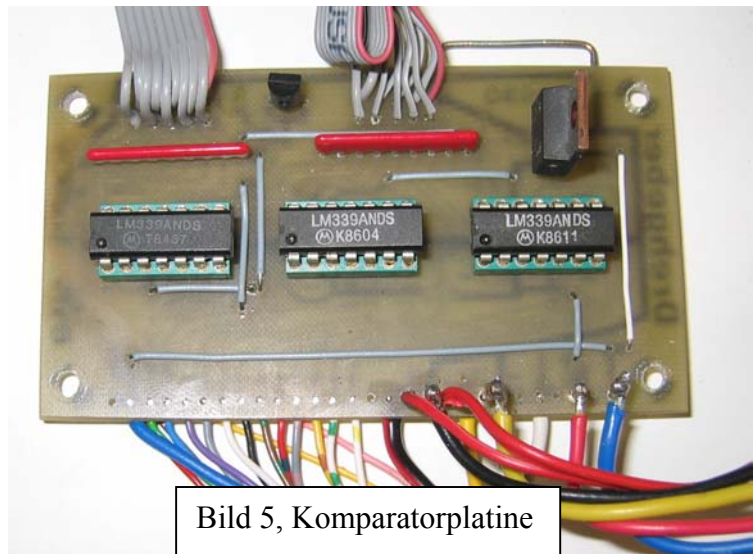


Bild 5, Komparatorplatine

Der Mikroprozessor

Für die Weiterverarbeitung der Signale sorgt ein Mikroprozessor Atmel AT89C55. Von den zugehörigen Platinen in der Größe von 53 x 65 mm fertige ich meist mehrere Stück, sodass meistens ein paar vorrätig sind. Diese Platinen beinhalten nur das Notwendigste: den Prozessor samt 44-poligem PLCC-Sockel, 4 Pfostenstecker für den Anschluss der 4 Ports an die Peripherie, Quarz, Reset-Taster, +5Volt-Spannungsregler (welcher in diesem Falle entfallen konnte) und einige Kondensatoren und Widerstände. Zwei 10-polige Flachbandkabel verbinden Port 2 und 3 des Prozessors mit der Komparatorplatine, die Stromversorgung für den Prozessor geschieht auch über diese Kabel.

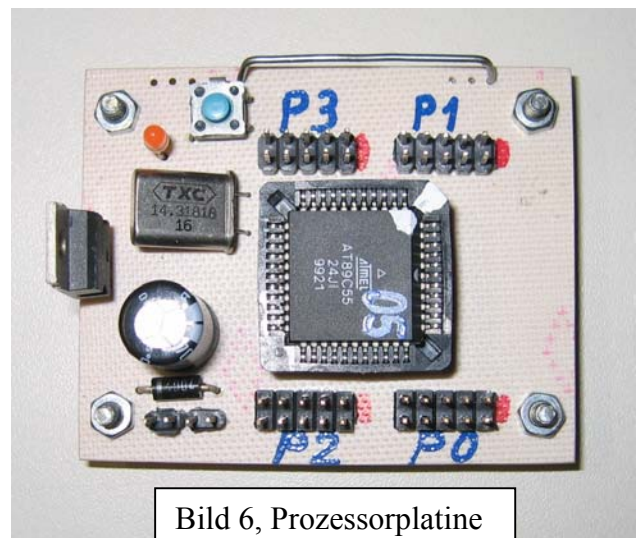


Bild 6, Prozessorplatine

Die Anzeige

Zur Darstellung des Ergebnisses boten sich fertige Platinen aus Ausschlachtgeräten mit 3 ½-stelliger LCD-Anzeige an. Zur Ansteuerung des LCD befindet sich ein PCF2112T auf der Platine, welcher über einen I2C-Bus vom Prozessor versorgt wird. Diese Platinen waren ideal für meinen Zweck geeignet. Für die Anzeige von 1° bis 360° genügen 3 Stellen und es ist kein Problem, mehrere dieser Platinen mit dem I2C-Bus zu versorgen, da keine Rückmeldungen der Platinen auf dem Bus benötigt werden. Das war notwendig, denn gegenüber den ursprünglichen Plänen wurde die Elektronik direkt in unmittelbarer Nähe des Drehgebers montiert und nur eine zweite Anzeigeplatine, welche über ein Netzkabel versorgt wird, befindet sich im shak. Dazu ist noch zu bemerken, dass mein Mast im Dachgeschoss montiert ist und aus einem 9,5 m langen fixen Standrohr besteht, durch welches ein 12 m langes drehbares Rohr geführt ist. Das drehbare Rohr schaut ca. 50 cm am unteren Ende des fixen Standrohres hervor. In diesem Bereich sind unter Dach der Rotor und der Drehgeber inkl. Elektronik montiert.



Bild 7, LCD-Anzeige

Es ist mit eingeplant, dass für eine eventuelle spätere prozessorgesteuerte Antennen-Drehvorrichtung eine serielle Schnittstelle einfach nachgerüstet werden kann, welche dann die Positionsdaten für diese liefert.

Die Stromversorgung

Als Stromversorgung dient ein industrielles Schaltnetzteil, welches +5 Volt / 2 A und +12 Volt / 1 A liefert. Da dieses Schaltnetzteil bereits für zusätzlich -12 Volt vorbereitet war, wurden die paar Bauteile zusätzlich eingebaut, somit stehen auch -12 Volt zur Verfügung. Für den Drehgeber werden +12 Volt und -12 Volt benötigt. Außerdem werden für die Versorgung der Lampe (Lichtquelle für die Photoelemente) 4,5 Volt benötigt, welche über einen Vorwiderstand von den +5 Volt gewonnen werden. Die -5 Volt für die Komparatoren werden mittels eines 7905er-Spannungsreglers aus den -12 Volt gewonnen. Ein Shunt-Regulator-Chip TL431 erzeugt +2,5 Volt, welche über zwei 2,2 kOhm Widerstände auf +1,25 Volt geteilt wird. Diese Spannung wird bei den höherwertigen Signalen zur Auswertung des High/Low-Zustandes als Referenz-Spannungsniveau von den Komparatoren verwendet.

Die Fern-Einschaltung und automatische Abschaltung

Da ich nicht wollte, dass die Drehrichtungsanzeige andauernd unter Spannung steht (hat auch etwas mit meiner generellen Neigung zum Strom-Sparen zu tun), musste ich mir etwas einfallen lassen, wie ich die Einschaltmöglichkeit vom shak aus realisieren kann. Es bot sich an, die Rotorsteuerung ebenfalls zum Einschalten der Anzeige zu verwenden. Es wurde eine Schaltung, welche im wesentlichen aus 2 Relais und einem MOSFET-Transistor BST70A besteht, aufgebaut. Über eine externe 12V-Spg. wird Relais 1 zum Fern-Einschalten betätigt (diese Spg. liefert derzeit die

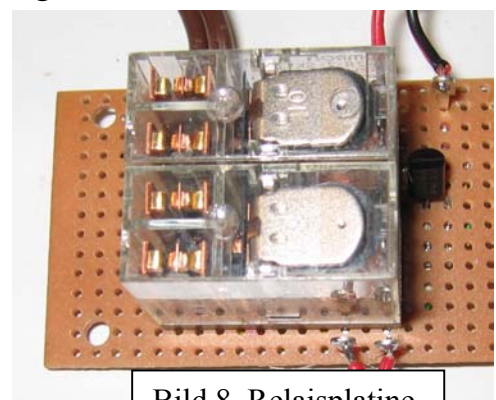
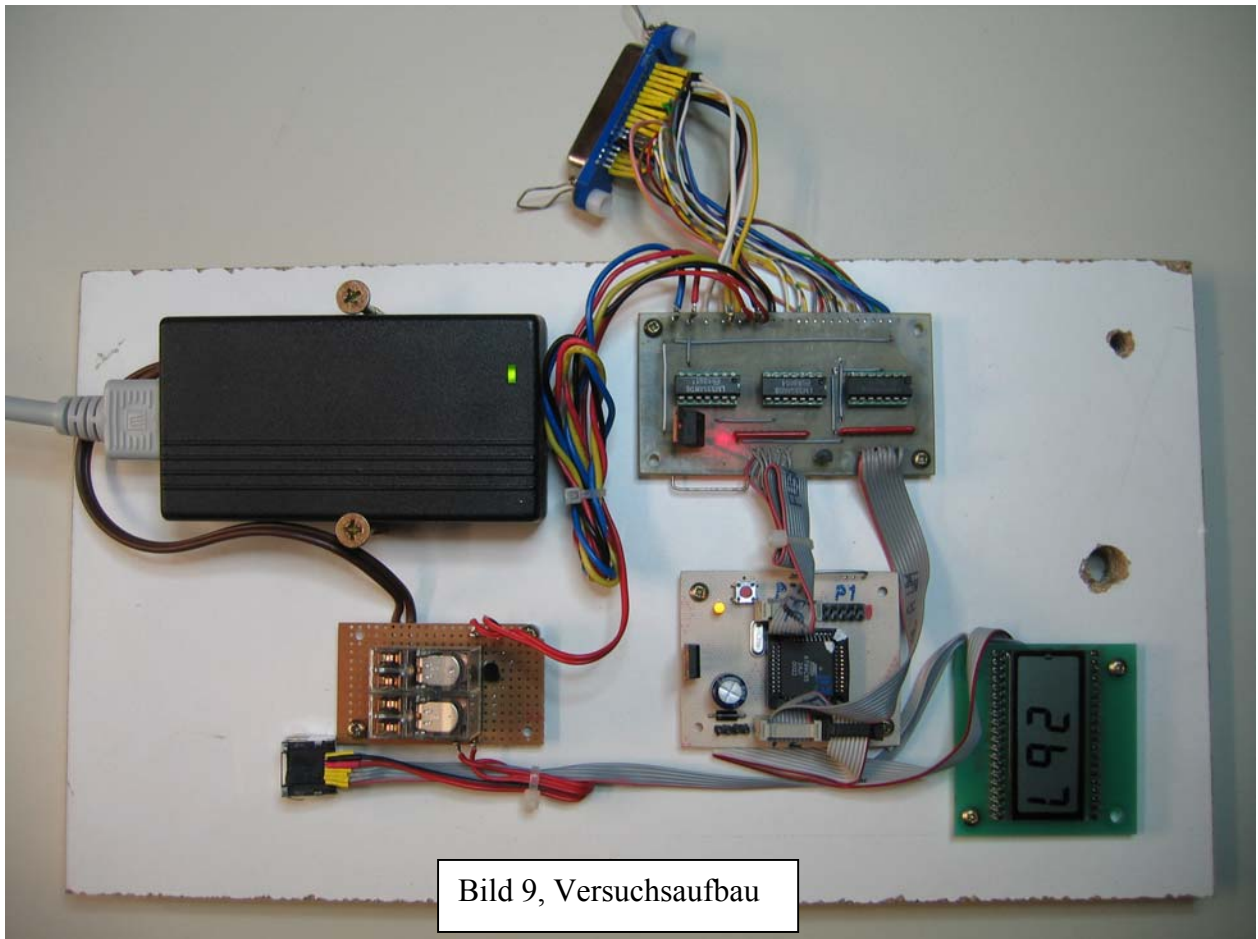


Bild 8, Relaisplatine

Rotorsteuerung). Das Relais schaltet somit 230V~ an das Netzteil durch, welches nun seinerseits +12V an die Schaltung liefert. Damit wird Relais 2 versorgt und es werden die +12 Volt via 150 Ohm und zwei in Serie geschaltete 5,1 Volt Zenerdioden auf ca. +10 Volt begrenzt über einen Elko mit 100 μ F und 1 M Ω an das Gate des Transistors geführt. Solange jedoch Relais 1 angezogen bleibt, wird der Elko von diesem durch den zweiten Schalkontakt mit 100 Ω überbrückt und sorgt dafür, dass der Transistor Relais 2 durchschaltet, welches ebenfalls die 230V~ an das Netzteil durchschaltet und somit die Versorgungsspannung aufrecht erhält, auch wenn keine Fern-Einschaltspannung mehr anliegt. Liegt die Fern-Einschaltspg. Nicht mehr an Relais 1 an, wird der 100 Ω Widerstand weggeschaltet und der 100 μ F Elko kann sich langsam via 10 M Ω gegen Masse aufladen, womit der Pegel am Gate des Transistors langsam sinkt. Wenn die Spg. am Minuspol des Elkos so weit gesunken ist, dass der Transistor am Gate zu wenig Spg. zum durchschalten hat, fällt Relais 2 ab und unterbricht somit die Versorgungspg. zum Netzteil. Somit schaltet sich ca. 25 Minuten nach betätigen der Fern-Einschaltung die Positionsanzeige selbständig ab. Dies hat sich in der Praxis bewährt.



Dazu siehe auch [Bild 9](#). Es zeigt die Platinen und das Netzteil auf dem für die Tests verwendeten Versuchsbrett montiert.

Die Mechanik

Die mechanische Anbindung des Drehgebers (siehe dazu **Bild 6 und 7**) erfolgt über eine aus einem alten Drucker ausgebaute Achse mit Zahnriemenscheiben. Eine zweite solche Achse ist beweglich montiert und wird von einer Feder gespannt. Eine einzelne Zahnriemenscheibe wurde ausgedreht und von unten auf das drehbare Mastrohr geschoben und befestigt. Der Keilriemen läuft über die drei Zahnscheiben und dreht diese ohne Spiel synchron mit dem Mastrohr mit. Durch den Zahnriemen ist gewährleistet, dass das ganze nie verrutschen oder sich verschieben kann.



Bild 10, Rotor, Drehgeber, Zahnriemen



Bild 11 Zahnriemen

Die Software

Das Programm für den Atmel wurde in Assembler geschrieben. Sollte jemand Interesse an dem Listing haben, kann er sich gerne an mich per email wenden.

erwin.hackl@pc-club.at

Zusammenfassung

Es gab jede Menge guter Freunde, welche mir aus den unterschiedlichsten Gründen von dem Projekt abrieten. Ich wollte es aber ungeachtet des (vorher mir noch nicht bekannten) beträchtlichen Aufwandes durchziehen. Es gab dabei wieder jede Menge an Erfahrung zu gewinnen, bin aber nun sehr zufrieden damit, dass ich endlich eine gut und genau funktionierende Anzeige der Antennenrichtung besitze. Ein Punkt ist allerdings noch nicht erledigt: Das einrichten auf ein Grad genau. Da muss ich mir erst was einfallen lassen, aber auch für dies wird sich eine Lösung finden lassen.

Der Bericht über dieses Projekt soll auch andere dazu anregen, interessante Projekte in Angriff zu nehmen und den Eigenbau hoch leben zu lassen.

Erwin Hackl, OE5VLL