

# Ein elektronischer Kompass auf Basis von Feldplattensensoren

Wettbewerb „Jugend Forscht“ 2001

**Tim Voss (16 Jahre) & Niko Biedermann (15 Jahre)**

Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“  
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg  
Betreuung: StD Thomas Biedermann



# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1	Themenfindung	3
1.2	Funktion eines herkömmlichen mechanischen Kompasses	3
<b>2.</b>	<b>Messvorrichtung</b>	<b>3</b>
2.2	Grundidee des Aufbaus	5
2.3	Erster Aufbau	5
2.4	Zweiter und endgültiger Aufbau	6
2.4.1	Blockschaltbild	6
2.4.2	Flip-Signal-Erzeugung	7
2.4.3	Mess-Sensorik	8
2.4.4	Sample & Hold	8
2.4.5	Addierer	8
<b>3.</b>	<b>Auswertung der Messdaten</b>	<b>9</b>
3.1	Programm zur Auswertung der Messdaten	9
3.2	Berechnung des Kompasswinkels	11
<b>4.</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>12</b>
4.1	Ergebnisse der Auswertung	12
4.2	Vor- und Nachteile	13
<b>5.</b>	<b>Schluss</b>	<b>14</b>
5.1	Literaturverzeichnis	14
5.2	Danksagung	14



# 1. Einleitung

## 1.1 Themenfindung

Unser eigentliches Thema war die Konstruktion eines vollautomatischen Modell-Segelschiffes. Um dieses verwirklichen zu können, brauchten wir einen Kompass, der sich elektronisch abfragen lässt. Zunächst dachten wir über die Möglichkeit nach den Zeiger eines Marschkompasses mit Lichtschranken abzufragen. Dieses erwies sich allerdings als technisch zu aufwendig. Nun suchten wir eine neue Möglichkeit. Schließlich entdeckten wir in einem Katalog Feldsensoren<sup>(1)</sup>, die zur Messung von schwachen Magnetfeldern geeignet sind, also auch zu unseren Zwecken, der Messung des Erdmagnetfeldes. Wir bestellten also zwei Stück davon und versuchten daraus einen einigermaßen zuverlässigen Kompass herzustellen.

## 1.2 Funktion eines herkömmlichen mechanischen Kompasses

Wie jeder wahrscheinlich weiß, umgibt die Erde ein Magnetfeld. Die Pole dieses Magnetfeldes liegen etwa in der Nähe des geografischen Nord- bzw. Südpols. Etwas verwirrend ist vielleicht die Tatsache, dass physikalisch gesehen der magnetische Nordpol auf der südlichen Hemisphäre und der magnetische Südpol auf der nördlichen Hemisphäre liegt. Dieses Magnetfeld nutzt man jetzt zur Bestimmung der Richtung mit einem Kompass. Dazu befestigt man eine magnetisierte Nadel drehbar an ihrem Schwerpunkt. Diese richtet sich im Magnetfeld aus und zeigt damit nach Norden. Jedenfalls fast, da der magnetische Südpol ja nicht direkt beim geografischen Nordpol liegt, sondern etwa in der Region von Kanada, außerdem bewegt er sich im Laufer der Zeit. Aus diesem Grund sollte man auch seinen Kompass in regelmäßigen Abständen eichen lassen.

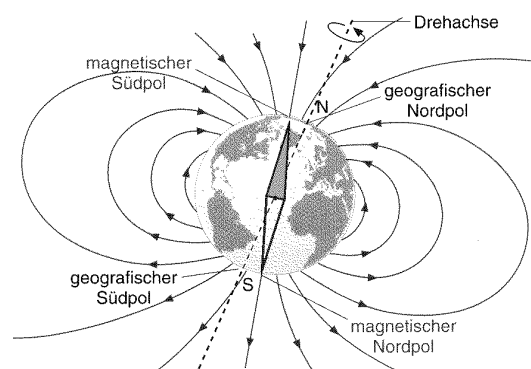


Abb. 1: Ausrichtung der Kompassnadel

# 2. Messvorrichtung

## 2.1 Funktion der Feldplattensensoren

Der zentrale Teil unseres Feldplattensensors ist eine Wheatstone'sche Brückenschaltung aus vier magnetoresistiven Widerständen. Was ist magnetoresistiv?

Magnetoresistiv heißt, dass sich der Leitwert des Widerstandes unter Einwirkung eines Magnetfeldes

(1) Bei unseren Sensoren handelt es sich nicht, wie zuerst angenommen hatten, um Hall-Sensoren, sondern um Feldplattensensoren, die anders aufgebaut sind und daher auch anders funktionieren, aber letztendlich die gleiche Funktion erfüllen.



ändert. Dies wird dadurch herbeigeführt, dass die Elektronen, die durch den Widerstand fließen, aufgrund der Lorentzkraft, die senkrecht zu der Elektronenflussrichtung und dem Magnetfeld wirkt, abgelenkt werden. Dadurch verringert sich der Leitwert des Widerstandes. In unserem Falle besteht der Widerstand aus einer Halbleiterplatte, daher auch der Name „Feldplattensensor“: die Platten messen indirekt das magnetische Feld.

Die Brücke besteht aus vier gleichen magneto-resistiven Widerständen mit unterschiedlicher Ausrichtung - angedeutet durch die beiden Pfeile.

Die beiden Widerstandspaare  $R_1$  und  $R_2$  sowie  $R_3$  und  $R_4$  bilden jeweils einen Spannungsteiler. Da sie mit der gleichen Spannung versorgt werden, sind die Teilspannungen  $+V_0$  und  $-V_0$  gleich groß, wenn die Teilverhältnisse gleich groß sind. Vergrößert sich nunder Widerstandswert von  $R_1$  und verringert sich der von  $R_2$ , so nimmt die Spannung  $+V_0$  ab. Da sich dabei aber gleichzeitig  $R_3$  verkleinert und  $R_4$  vergrößert, nimmt die Spannung  $-V_0$  zu: zwischen  $-V_0$  und  $+V_0$  tritt also eine Spannungsdifferenz auf. Diese kann weiterverarbeitet werden und liefert letztendlich eine Aussage über das magnetische Feld.

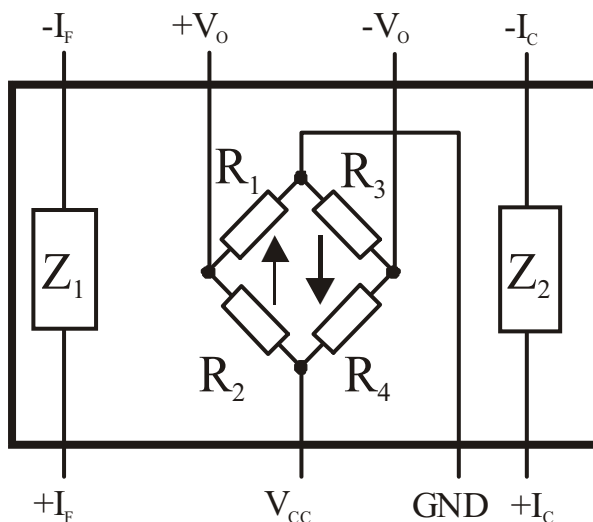


Abb. 2: Schematische Zeichnung des Bausteins KMZ51

Neben dieser Brückenschaltung befinden sich im Baustein noch zwei Spulen. Die Spule  $Z_1$  wird als Flip-Spule bezeichnet, während  $Z_2$  eine Kompensations-Spule darstellt. Mit der Flip-Spule kann die Vormagnetisierung der magneto-resistiven Platte auf positives oder negatives Vorzeichen bezüglich der Ausrichtung des Bauelementes eingestellt werden. Außerdem kann nach Einwirken eines starken Magnetfeldes die Platte in den Ausgangszustand zurück geführt werden. Diese Polarisation wird dadurch erzielt, dass die Spule kurzzeitig unmittelbar am Ort des Sensors ein starkes Magnetfeld generiert.

Die Kompensations-Spule  $Z_2$  erzeugt dagegen ein erheblich schwächeres Magnetfeld, dass dazu benutzt wird, um die Spannung zu kompensieren und die Brücke auf Null abzugleichen. Der Strom für die Erzeugung dieses Magnetfeld wird so eingestellt, dass das entstehende Magnetfeld am Ort des Sensors die gleiche Stärke hat wie das anliegende Magnetfeld, bei uns das Erdmagnetfeld. Die dafür notwendige Spannung steht für eine weitere Auswertung als Signal zur Verfügung.

Da die Lorentzkraft auf bewegte Ladungen den magneto-resistiven Effekt bewirkt, spielt auch die Ausrichtung von Feldplatte und den magnetischen Feldlinien eine Rolle. Verlaufen die Feldlinien senkrecht zum Sensor, so ist ihre Wirkung am größten, verlaufen sie dagegen parallel dazu, so tritt keine Wirkung ein. Je stärker das wirksame Magnetfeld wird, um so größer wird der Widerstand auf der rechten



Seite. Bei einem Winkel von  $90^\circ$  zum Magnetfeld haben wir den höchsten Spannungsbetrag, da hier der Widerstand aufgrund seiner Magnetoresistenz am größten ist. Bei einer Drehung bis  $180^\circ$  nimmt der Betrag der Spannung wieder ab, da die Lorentzkraft aufgrund des kleineren Winkels der Platte zum Magnetfeld kleiner wird. Beim weiteren Drehen wird der Winkel noch größer, die Richtung der Lorentzkraft hat sich nun umgekehrt und es ändert sich das Vorzeichen unserer Spannung.

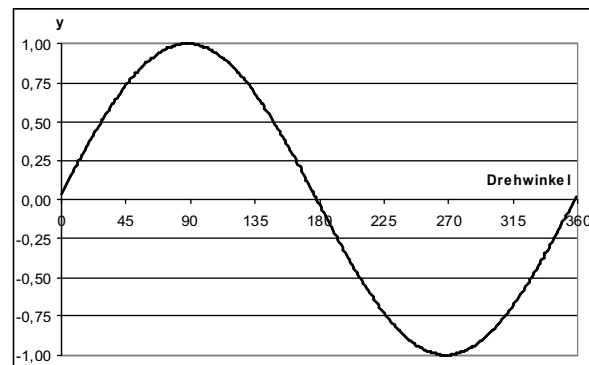


Abb. 3: Theoretischer Spannungsverlauf bei einer  $360^\circ$ -Drehung mit einem Sensor

## 2.2 Grundidee des Aufbaus

Da wie in Abb. 3 erkennbar jeder Spannung zwei Winkel zugeordnet werden können, kamen wir zu der Erkenntnis, dass uns eine eindeutige Bestimmung der Richtung eines Magnetfeldes nur dann gelingen kann, wenn wir zwei Sensoren gekreuzt zueinander anordnen. Diese liefern uns dann zwei Spannungen, deren Verlauf um  $90^\circ$  versetzt ist und mit denen wir die Ausrichtung unseres Kompasses eindeutig bestimmen können. Um dieses zu verdeutlichen, haben wir den theoretischen Spannungsverlauf bei einer Drehung um  $360^\circ$  in der Abbildung 4 verdeutlicht.

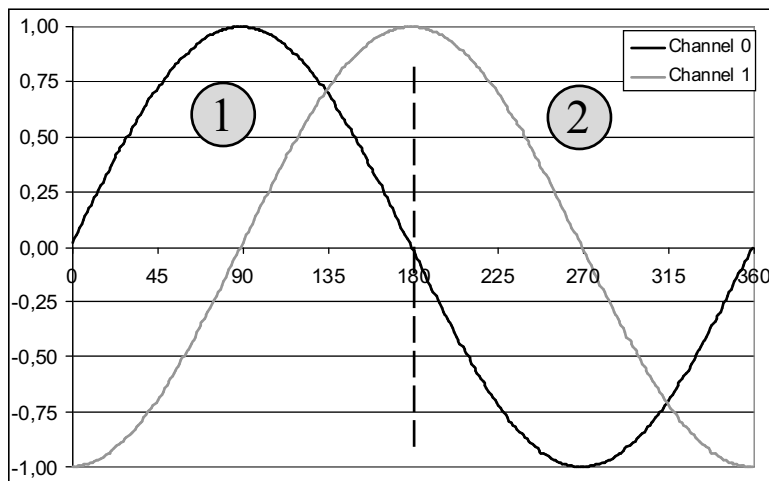


Abb. 4: Theoretischer Spannungsverlauf bei einer  $360^\circ$ -Drehung mit zwei Sensoren

Der erste Sensor (Channel 0) zeigt uns an, ob wir uns im Bereich von  $0-180^\circ$  {1} befinden oder im Bereich von  $180-360^\circ$  {2} befinden. In unserer Zeichnung ist dies die Sinuskurve: Ist der Wert positiv, befinden wir uns im ersten Bereich, ist der Wert negativ im zweiten. Das Vorzeichen des zweiten Sensor (Channel 1) gibt nun an, ob man sich in der vorderen oder hinteren Hälfte des jeweiligen Sektors befindet. Damit ist es nun möglich, eine genaue Bestimmung der Richtung zu machen.

## 2.3 Erster Aufbau

Unser erster Versuch einen funktionsfähigen Kompass zu bauen, bestand darin, dass wir einfach den Feldsensor nahmen, die entstehende Spannung mit einem Operationsverstärker verstärkten um somit messbare Werte zu erreichen. Die genaue Schaltskizze findet man im Anhang 1.

Bei der ersten praktischen Erprobung dieses „Kompasses“ stellten wir allerdings fest, dass die gemessenen Signalspannungen nicht ausreichend reproduzierbar waren und somit keine brauchbaren Mess-



werte lieferten. Der Spannungsverlauf bei unserer Messung ist in Abbildung 4 dargestellt. Es fällt einem sofort auf, dass der letzte Wert (Drehwinkel  $360^\circ$ ) noch nicht mal annähernd identisch mit dem ersten Wert (Drehwinkel  $0^\circ = 360^\circ$ ) ist, sondern um etwa 0,2 V nach unten versetzt ist. Das hieß, dass unsere Ansteuerung des Sensors noch verbessert werden musste. Wir nehmen an, dass die Feldplatte sich allmählich polarisierte und damit die Werte unvorhersehbar verschob.

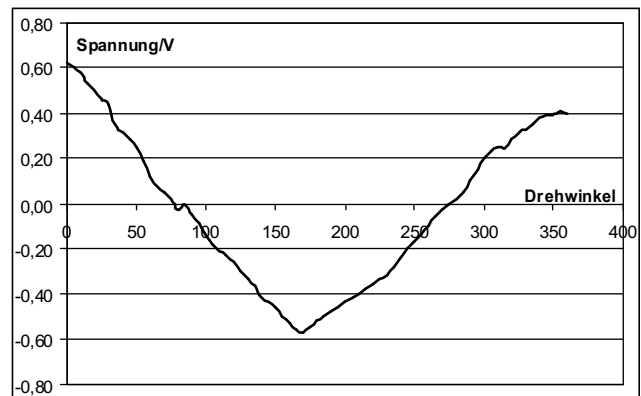


Abb. 4: Spannungsverlauf des ersten Testaufbaus

## 2.4 Zweiter und endgültiger Aufbau

Eine Verbesserung der Schaltung versuchten wir durch Verwendung der im Baustein vorhandenen Flip-Spule herbeizuführen. Nach dem Datenblatt kann die Polarität der Feldplatte umgekehrt werden, in dem man in dieser Spule einen Stromimpuls in der Größenordnung von 1 Ampere und von wenigen Mikrosekunden Dauer erzeugt. Je nach Stromrichtung dieses Impulses erhält man eine positive oder negative Empfindlichkeit der Feldplatte. Misst man in beiden Fällen die Sensorspannung und bildet die Differenz dieser beiden Werte, wird eine eventuell vorhandene Magnetisierung kompensiert.

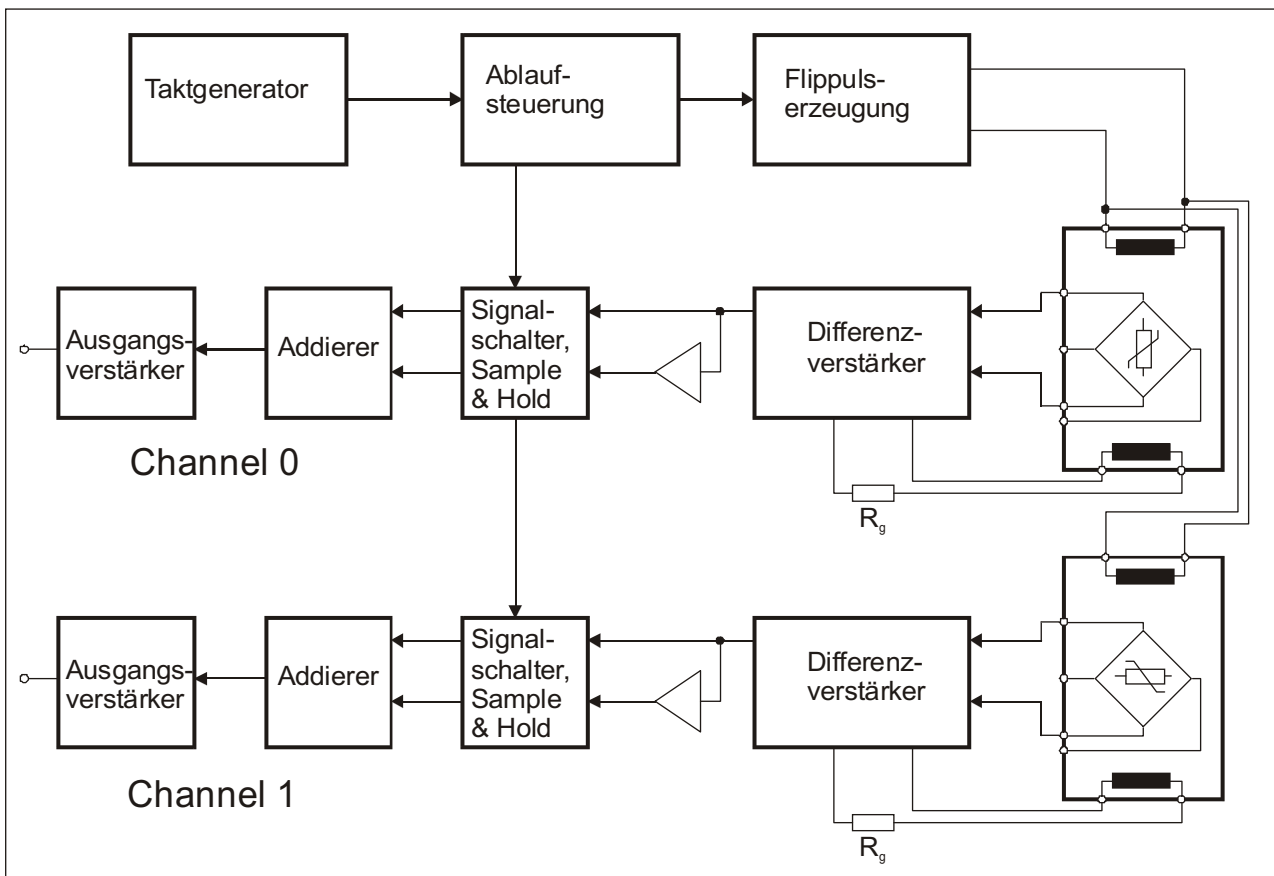
### 2.4.1 Blockschaltbild

Die auf der nächsten Seite abgebildete Skizze zeigt das Blockschaltbild unserer Messelektronik. Sie besteht aus drei Gruppen:

- Steuerungsbaugruppe
- Messverstärker 1. Kanal (Channel 0)
- Messverstärker 2. Kanal (Channel 1)

Die Steuerungsbaugruppe erzeugt die Flip-Impulse für die beiden Feldplatten und sorgt dafür, dass zum jeweils richtigen Zeitpunkt die Brückenspannungen an die Auswertelektronik durchgeschaltet werden. Die beiden Messverstärker sind - bis auf die Ausrichtung der Feldplatte - identisch aufgebaut. Der Differenzverstärker greift die Brückenspannung ab und verstärkt sie etwa um den Faktor 1 000. Aus der Ausgangsspannung dieses Verstärkers wird auch der Strom für die Kompensationsspule gewonnen (Zuführung über  $R_g$ ).

Da in der Zeit, wo die Flippulse anliegen, keine sinnvollen Messwerte gewonnen werden können, müssen die Werte zwischengespeichert werden, das übernimmt die Sample-And-Hold-Schaltung (S&H). Nach den Angaben im Datenblatt haben die Signale je nach Flippuls-Polarität unterschiedliche Vorzeichen, also wird in einem Fall das invertierte Signal gespeichert. Ein Addierer bildet nun aus den beiden gespeicherten Signalen das arithmetische Mittel. Dieses kann über einen Ausgangsverstärker weiter verarbeitet werden.



### 2.4.2 Flip-Signal-Erzeugung

Der detaillierte Schaltplan ist in der Anlage mit beigefügt, die einzelnen Baugruppen werden hier noch näher erläutert.

Ein Pulsgenerator NE 555 generiert Rechtecksignale im 4ms-Takt (Abb. 5, Zähler). Dieses Signal wird einem GAL (Generic Array Logic [7]) zugeführt, das so programmiert ist, dass es nacheinander die Flip-Pulse (Timer 1, Timer 2) und die Sample-Signale (Sample 1, Sample 2) erzeugt. Die Flip-Pulse werden durch ein Mono-Flop (74123) auf eine Länge von 3  $\mu$ s reduziert. Wenn in unserem Falle also die High-Flanke des Signals kommt, gibt der Baustein ein kurzes High-Signal (Flip 1). Bei dem anderen Signal ist es genauso, nur dass hier ein Low-Signal erzeugt wird (Flip 2).

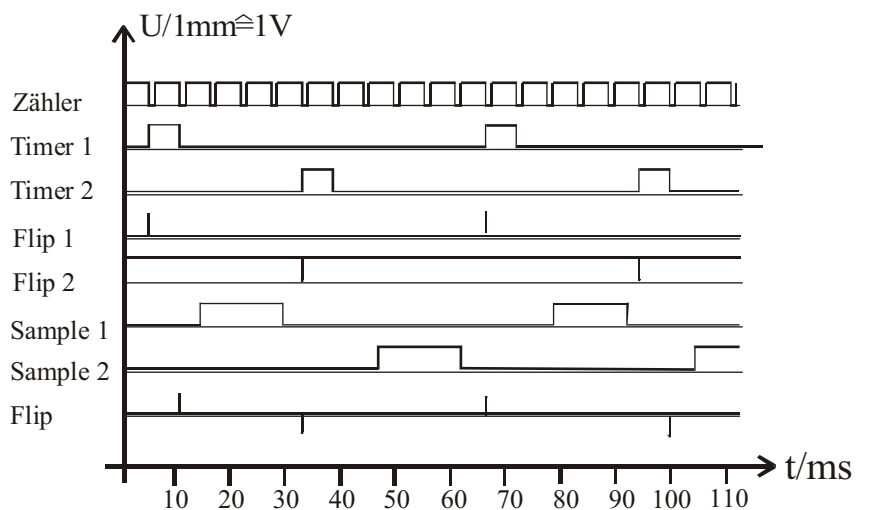


Abb. 5: Zusammenstellung der wichtigsten Signale



Die beiden Flip-Signale werden zusammengeführt und mit einem Operationsverstärker (TL082P) im Pegel so eingestellt, dass ein um die Nulllinie symmetrisches Signal mit positiven und negativen Spitzen entsteht. zwei anti-parallel geschaltete Zenerdioden sorgen dafür, dass das Signal genau auf 0 V liegt, wenn kein Flip-Puls erzeugt wird, damit in diesem Fall kein Strom durch die Flip-Spule fließen kann, der unsere Messungen erheblich verfälschen würde.

Die zweite Stufe des Operationsverstärkers steuert eine Transistorschaltung an, die einen ausreichend hohen Strom von insgesamt etwa 2 A für die Spulen erzeugen kann, die dafür benötigte Ladung wird von zwei Tantalkondensatoren geliefert, um ein Zusammenbrechen der Versorgungsspannung zu verhindern. Die Kollektoren der Transistoren BD 647 bzw. BD 648 sind an +12 bzw. -12 V angeschlossen. Wenn jetzt ein positives Signal vom Operationsverstärker an der Basis des BD 647 ankommt, so wird dieser leitend, der BD 648 nicht. Kommt ein negativer Impuls beim BD 647 an, reagiert dieser nicht, der BD 648 wird allerdings leitend. Das am gemeinsamen Emitteranschluss erzeugte Signal (Flip) geben wir dann in unsere Mess-Sensoren. Da die Impulse extrem kurz sind, brauchen die Transistoren nicht gekühlt zu werden.

### **2.4.3 Mess-Sensorik**

Die Funktionsweise der Mess-Sensoren haben wir bereits oben beschrieben. Die Brückenspannung liegt an den beiden Eingängen eines Operationsverstärker (TL082P), der das Signal um das Zehnfache verstärkt. Zur Einstellung der Symmetrie wird auf den +Eingang des OP zusätzlich ein Strom eingekoppelt, der über einen 1 M $\Omega$ -Widerstand von einem Poti gespeist wird. Das Ausgangssignal wird in die zweite Verstärkerstufe geschickt. Dort werden es um das Hundertfache verstärkt. Die Nullpunkt-einstellung ist notwendig, damit wir den Messbereich der Sensoren voll ausschöpfen können.

Je nach Polarität des vorausgegangenen Flip-Pulses und der aktuellen magnetischen Feldstärke ist dieses Ausgangssignal entweder positiv oder negativ.

### **2.4.4 Sample & Hold**

Da für die weitere Auswertung die Signale für beide Flip-Puls-Polaritäten gebraucht, diese aber nacheinander erzeugt werden, müssen wir die beiden Werte zwischenspeichern. Dazu verwenden wir ein Analogschalter-Paar, das abwechselnd das invertierte und das nicht invertierte Signal auf jeweils einen Kondensator durchschaltet. Da die Steuersignale aus dem GAL nur 0 oder 5 Volt annehmen, wir aber für den Analogschalter Steuerspannungen von +12 / - 12V benötigen, müssen wir einen Pegelwandler verwenden, den wir mit Transistoren aufgebaut haben. Der den Kondensatoren nachgeschaltete Operationsverstärker hat einen so hochohmigen Eingang, dass sich nach Öffnen des Schalters die Spannung am Kondensator praktisch nicht mehr ändert.

### **2.4.5 Addierer**

Die beiden Ausgangssignale des S&H werden über zwei Widerstände zusammengeführt, was einer Addition entspricht. Da in einem Fall das Signal des Sensor zuvor invertiert wurde, erhält man auf diese





Weise den Mittelwert aus beiden Messungen, womit eine Nullpunktverschiebung durch einen eventuellen Restmagnetismus des Sensors ausgeglichen wird. Der nachfolgende Operationsverstärker stellt das Ausgangssignal zur Verfügung, das wir dann weiter auswerten können. Der Kondensator am +Eingang unterdrückt dabei Rauschen oder andere unerwünschte Störungen.

### 3. Auswertung der Messdaten

#### 3.1 Programm zur Auswertung der Messdaten

Zur Übertragung der Daten verwenden wir einen handelsüblichen Analog-Digital-Wandler, der in unseren PC eingebaut ist. Die zugehörige Software liefert uns einen ganzzahligen Wert zwischen 0 und 4095 entsprechend einer Wandlergenauigkeit von 12 Bit. Der Wert 2048 entspricht dabei einer Eingangsspannung von 0 Volt. Die Eingangsempfindlichkeit kann zwischen 10 V und 50 mV stufenweise eingestellt werden. Für unsere Zwecke benutzen wir eine Eingangsempfindlichkeit von +/- 5 Volt.

Mit den rohen Messdaten konnten wir natürlich noch keinen Kurs bestimmen. Zu diesem Zweck schrieben wir uns ein Programm oder übernahmen fertige Programnteile, mit denen wir dann unsere Messdaten auf einem Oszillographen und auch als fertig berechneten Winkel ausgeben konnten. Dieser Winkel wird dann auch noch auf eine Kompassrose übertragen.

Zunächst erstellen wir mit Hilfe einer Unit „Oszi“ drei Oszillographenbildschirme. Danach können wir dann zwischen sieben Optionen wählen, die wir hier etwas näher erläutern:

#### **Eichung:**

Eine Eichung sollte man nach jeder Verlagerung des Kompasses machen. Um die Apparatur zu eichen, müssen wir sie einmal um die vollen 360° drehen. Dabei merken wir uns die Maximal- und Minimalwerte (min, max) der beiden Kanäle. Mit diesen Werten berechnen wir dann eine Amplitude  $Dx0$  mit der Gleichung

$$Dx0 = \frac{\min - \max}{2} \quad (1)$$

Damit haben wir die Signalamplitude berechnet, die von der Nulllinie bis zum stärksten Signal gemessen wird (Man beachte, dass in der Regel min einen Wert kleiner als Null aufweist!).

Da min und max nicht unbedingt symmetrisch zu unserer Nulllinie liegen müssen, berechnen wir außerdem eine Nullpunktverschiebung  $Bx0$  nach

$$Bx0 = \frac{\min + \max}{2} \quad (2)$$

Mit diesen Werten können wir jetzt die Korrektur und Normierung der Messwerte vornehmen. Wir skalieren mit Hilfe dieser errechneten Werte unsere Messwerte auf einen Bereich zwischen -1 und 1. Die Formel, die wir dazu benutzen, lautet:

$$Ch0\_Corr = \frac{(x - Bx0)}{Dx0} \quad (3)$$



Dabei ist  $x$  der aktuell gemessene Wert des ersten Sensors. Die Variable  $Ch0\_Corr$  (das gleiche gilt auch für  $Ch1\_Corr$ , der Einfachheit halber verwenden in den Beispielen aber nur Kanal 0) steht für den skalierten Wert des Kanals 0.

### Kompass:

Dieser Programmpunkt verwendet eine Folge von mehreren Prozeduren. Die erste bildet von einer bestimmten Anzahl von Werten des Kanals 0 den Mittelwert und übergibt ihn den anderen Prozeduren. In der Prozedur „Oszi“ geben wir die Rohdaten auf den kleinen Bildschirmen oben rechts wieder, während auf dem großen die Mittelwerte über eine einstellbare Anzahl von Werten angezeigt werden. Die nächste Prozedur „Winkel“ berechnet nun den Kompasswinkel. Dazu lesen wir zunächst die korrigierten Werte ein und geben diese zur Überwachung auf dem Bildschirm aus. Diese Werte dürfen den Wert 1 nicht über- bzw. -1 nicht unterschreiten. Nun berechnen wir den Arcus-Cosinus (Kanal 0) bzw. den Arcus-Sinus (Kanal 1). Diese Werte sowie das zugehörige Winkelmaß geben wir aus. Ist bei der Berechnung der Betrag eines der Werte größer als 1, dann kann die Funktion keinen Winkel ermitteln und gibt aus: „n.d.“ („nicht definiert“).

Um jetzt den aktuellen Kompasswinkel ausrechnen zu können, müssen wir zunächst die schon zuvor beschriebene Aufteilung in Sektoren durchführen. Dazu haben wir uns folgende Abfrage geschrieben ( $x$ :  $\arccos(\text{Channel } 0)$ ,  $y$ :  $\arcsin(\text{Channel } 1)$ ,  $z$ : Rückgabewert):

```

IF      (  $x \geq 0$  ) AND (  $y < 0$  ) THEN  $z := x$ 
ELSE IF (  $x \geq 0$  ) AND (  $y \geq 0$  ) THEN  $z := y + \text{Pi} / 2$ 
ELSE IF (  $x < 0$  ) AND (  $y \geq 0$  ) THEN  $z := -x + \text{Pi}$ 
ELSE IF (  $x < 0$  ) AND (  $y < 0$  ) THEN  $z := -y + 3 * \text{Pi} / 2;$ 
    
```

Wenn Kanal 0 positiv und Kanal 1 negativ ist, dann befinden wir uns im Sektor 1 (Abb. 6). In diesem Fall kann man einfach das Winkelmaß des Kanals 0 als Ausgabe dieser Funktion definieren. Ist sowohl der eine als auch der andere Kanal positiv, so befinden wir uns im zweiten Sektor und müssen  $\pi/2$  zu  $y$  addieren. Warum wir dies tun, wird später (Kapitel 3.2) erläutert. Außerdem gibt es noch die beiden Möglichkeiten, dass der erste Kanal negativ, der zweite jedoch positiv ist, in diesem Falle befinden wir uns im dritten Sektor und addieren  $\pi$  zu  $-x$ . Die letzte Möglichkeit ist, dass beide Werte im negativen Bereich liegen, dann liegt der Kompasswinkel im vierten Sektor und wir addieren  $-y$  zu  $1,5 \cdot \pi$ . Die darauf aufbauende Berechnung des genauen Winkels wird in 3.2 beschrieben. Der errechnete Winkel ist dann allerdings im Bogen-

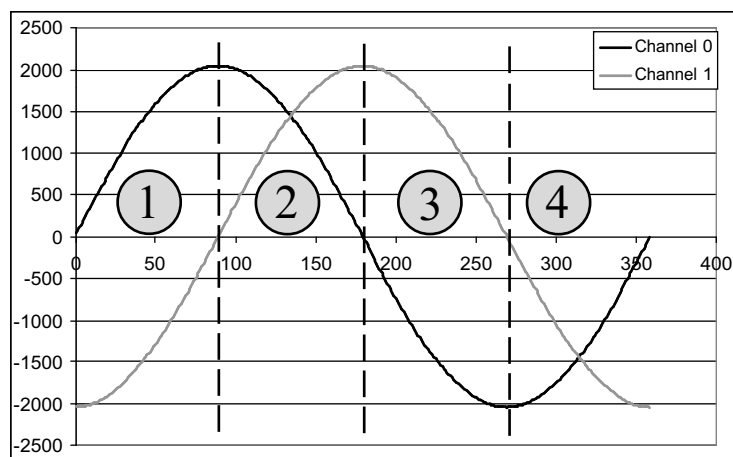


Abb. 6: Die von der Funktion definierten Sektoren

graden angegeben. Der errechnete Winkel ist dann allerdings im Bogen-



maß angegeben, so dass wir ihn noch umrechnen müssen, bevor wir ihn im Gradmaß ausgeben.

Für die Anzeige des Kompasswinkels in der Kompassrose bedienen wir uns des Wertes im Bogenmaß und berechnen mit Sinus- und Kosinus-Funktion die dazugehörigen Koordinaten unseres Pfeils.

#### **Simulation:**

Um zu testen ob unser Programm auch richtig arbeitet, haben wir uns eine Simulation geschrieben, die Messwerte als eine Sinuskurve in unserem Messbereich erstellt. Die Vorgaben für die Erstellung der Werte kann man im dritten Menüpunkt einstellen. Dort hat man die Möglichkeit, Minimal- und Maximalwerte einzustellen, die künstlichen Messfehler (Schwankungen in der Sinuskurve) und die Anzahl der Messwerte einzustellen. Um jetzt mit diesen Messwerten arbeiten zu können, muss man von der normalen Messung (Reell) auf die Simulation (Simulation) umschalten.

#### **Simulation / Messung:**

Hiermit können wir umschalten, ob wir mit realen Messwerten arbeiten oder unser Programm mit simulierten Werten testen wollen.

#### **Verstärkung:**

Für bestimmte Messungen kann es sinnvoll sein, die Verstärkung des Analog-Digital-Wandlers höher oder niedriger stellen zu können, dazu dient dieser Punkt.

#### **Samples:**

Je nach Qualität der Sensorsignale kann die Anzahl der zu für die Mittelwertbildung heranzuziehenden Messwerte eingestellt werden, normalerweise bilden wir für jede Messung den Mittelwert von 10 Messwerten.

#### **Ende:**

Der letzte Menüpunkt beendet das Programm, zuvor speichert es jedoch alle relevanten Daten in einer Datei, die bei jedem Neustart gelesen wird und dann die entsprechenden Werte des letzten Programmlaufes verwendet

### **3.2 Berechnung des Kompasswinkels**

Zur Berechnung der Kompasswinkel müssen wir jedem Kanalwert einen Winkel im Bogenmaß zuordnen, da die Sensorwerte vom Winkel zwischen Sensor und Magnetfeld bestimmt werden. Diesen Winkel berechnen wir, indem wir für den Kanal 0 den Arcus-Cosinus und für den Kanal 1 den Arcus-Sinus des entsprechenden korrigierten Messwertes berechnen. Arcus-Cosinus und Arcus-Sinus sind die Umkehrfunktionen des Cosinus bzw. des Sinus. Da Pascal üblicherweise nicht über die entsprechenden Befehle zur Berechnung dieser Bogenmaße verfügt, verwenden wir eine bereits vorhandene Unit „Mathe. Sie berechnet die entsprechenden Maße auf folgende Weise:

$$\text{Arcus-Cosinus: } \text{ArcCos} = \text{ArcTan}\left(\frac{\sqrt{1-r^2}}{r}\right) \quad (4)$$

$$\text{Arcus-Sinus: } \text{ArcSin} = \text{ArcTan}\left(\frac{r}{\sqrt{1-r^2}}\right) \quad (5)$$



Die Arcus-Tangens-Funktion ist in Pascal bereits integriert. Hierbei ist  $r$  der Messwert, von dem wir den Arcus-Cosinus bzw. den Arcus-Sinus berechnen wollen.

Mit diesen Werten, die wir jetzt haben, müssen wir unseren Kompasswinkel berechnen. Dazu geben wir die Werte leicht korrigiert (wir subtrahieren vom ersten Wert, dem Arcus-Cosinus noch  $\pi/2$ , aufgrund von mathematischen Definitionsproblemen - der Wertebereich beider Funktionen ist verschieden) in unsere  $k$ winkel-Funktion. Diese berechnet jetzt den zugehörigen Kompasswinkel. Dazu prüfen wir erst, wie in 3.1 beschrieben, in welchem Sektor wir uns befinden. Im ersten Sektor können wir einfach den Wert  $x$  übernehmen. Im zweiten Sektor ist  $x$  allerdings fallend, so dass wir statt  $x$  den Wert  $y$  nehmen. Da dieser ebenfalls eine Information von  $0-90^\circ$  liefert, wir uns aber im zweiten Sektor von  $90-180^\circ$  bewegen, müssen wir  $\pi/2$  hinzu addieren. Der Wert  $\pi/2$  im Bogenmaß entspricht  $90^\circ$  im Winkelmaß, so dass wir dann unsere gewünschte Information erhalten. Im dritten Sektor fällt zwar der  $x$ -Wert immer noch, doch wenn wir ihn mit  $-1$  multiplizieren, so erhalten wir wieder die  $0-90^\circ$  Information. Für den dritten Sektor  $180-270^\circ$  müssen wir dann noch  $\pi$  addieren. Im vierten und letzten Sektor wollen wir die Kompassrichtung von  $270-360^\circ$  bestimmen. Da der Betrag von  $x$  abnimmt, müssen wir den Wert von  $y$  mit  $-1$  multiplizieren. Zu diesem Wert addieren wir  $3/2 \cdot \pi$  hinzu und haben dann unseren gewünschten Messbereich.

Um diesen Wert, der ja noch im Bogenmaß angegeben ist, in da Winkelmaß umzurechnen, teilen wir ihn einfach durch den Quotienten von  $\pi/180$ .

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der Auswertung

Die aus der eben beschriebenen Auswertung entstehenden Werte werden vom Programm automatisch in Protokolldateien geschrieben, die wir dann mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (Excel 97) weiterbearbeiten und auswerten können. Ein Beispiel eines solchen Diagrammes ist in Abbildung 6 dargestellt. Hier wurden die Messwert einer doppelten Kompassdrehung um  $360^\circ$  aus der Protokolldatei grafisch dargestellt.

Die Signale  $w_0$  und  $w_1$  sind die korrigierten  $x$ -Werte,  $z_0$  und  $z_1$  sind die Arcus-Cosinus bzw. Arcus-Sinus-Werte dazu. Aus diesen bilden wir dann das Signal  $k$ winkel, in dem Diagramm als  $kw$  abgekürzt.

Die Abhängigkeit von  $z_0$  zu  $w_0$  ist deutlich zu erkennen: Je größer der

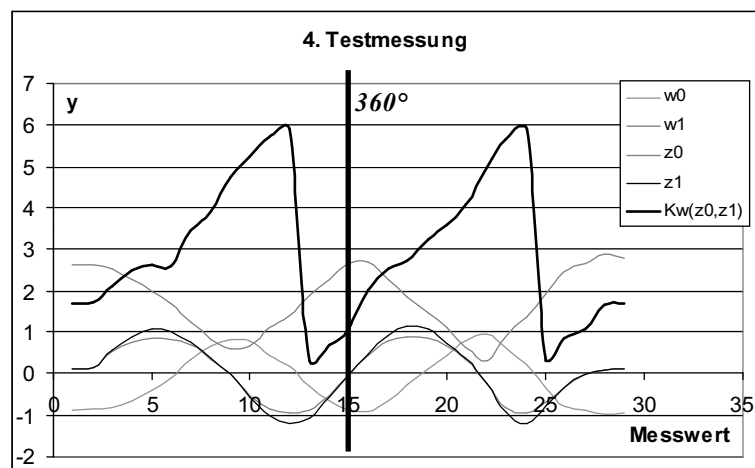


Abb. 6: Verlauf der Signale bei einer Beispielmessung



Wert  $w_0$  wird, um so kleiner wird der Wert  $z_0$ . Bei  $w_1$  und  $z_1$  ist auch eine deutliche Abhängigkeit zu sehen, das Signal von  $z_1$  verhält sich nämlich genau so wie das Signal von  $w_1$ .

Wie man sieht, beginnt das  $k_{\text{winkel}}$ -Signal nicht bei Null. Dies liegt entweder an einer falschen Start-Ausrichtung des Sektors oder noch an einem Fehler in unserer Funktion. Dennoch funktioniert unser Kompass bisher fast fehlerfrei, es ist also eigentlich nichts weiter als ein kleiner Schönheitsfehler, den wir noch werden beseitigen können. Ansonsten zeigt das  $k_{\text{winkel}}$ -Signal deutliche Einbrüche in den Bereichen, in denen wir die Sektoren wechseln, weil dort eine kleine Änderung des  $x$ -Wertes eine große Winkeländerung zur Folge hat (der Graph verläuft dort sehr flach), aber der restliche Verlauf ist annähernd linear.

## **4.2 Vor- und Nachteile**

Unser Kompass hat gegenüber herkömmlichen Kompassen ein paar wesentliche Nachteile, aber auch Vorteile.

Der größte Nachteil dürfte wohl sein, dass die Messgenauigkeit bisher noch zu wünschen übrig lässt. Wir können zwar die Richtung schon im richtigen Sektor angeben und die Richtung stimmt auch recht genau, wenn man von einer prinzipiellen Verdrehung um  $30^\circ$  absieht. Aber wir hoffen diesen Fehler noch beseitigen zu können. Ein weiterer Nachteil ist seine Größe, aber das liegt daran, dass wir uns der Flip-Spule bedienen müssen und dies den schaltungstechnischen Aufwand erheblich vergrößert hat. An dieser Stelle darf man aber nicht vergessen, dass wir den Kompass unter besonderen Gesichtspunkten konstruiert haben, und zwar für den Einbau in unserem geplanten Modell-Segelboot. In diesem spielt die Größe eine nicht ganz so wichtige Rolle, da der Rumpf groß genug sein wird, im Augenblick ist aber die Genauigkeit und die Möglichkeit, die Spannungen in einen Computer einzulesen für uns wichtiger. Und wie gesagt, die Messgenauigkeit wollen wir noch erheblich erhöhen. Ein weiterer und für manche, die sich mit einem Kompass häufig in Wald und Flur aufhalten, nicht unwichtiger Punkt ist die Tatsache, dass unser Kompass elektronisch ist und somit eine Stromquelle benötigt. Diese könnte man zwar durch Batteriebetrieb gewährleisten, doch dann bleibt als Nachteil immer noch die überdurchschnittliche Größe. In unserem Boot werden wir jedoch durch Batteriebetrieb genügend Spannung zur Verfügung haben. Zu beachten ist die extreme Empfindlichkeit gegenüber Neigung, das heißt, man müsste den Kompass für eine genaue Kurssteuerung kardanisch aufhängen.

Die Vorteile, die unser Kompass bietet, liegen vor allem im verkehrstechnischen Bereich. Im Gegensatz zum „normalen“ Kompass können unsere Werte elektronisch eingelesen und dann im Computer berechnet werden, somit könnte man sie zum Beispiel in ein Auto-Navigationssystem einbinden. Für den normalen Wanderer ergibt sich natürlich das Problem der Auswertung der Daten, man kann ja nicht immer einen PC bei sich tragen. Aber wir hoffen - zwar nicht mehr bis zum Wettbewerb, aber bis zu unserem Einsatz im Boot - noch ein System zu entwickeln, das die wesentlichen Funktionen eines Computers besitzt, allerdings wesentlich kompakter ist und auch weniger Strom benötigt.

Ein weiterer Vorteil liegt in der technischen oder besser physikalischen Anwendung unserer Messappa-



ratur als Magnetfeldmessgerät für sehr schwache Magnetfelder. Dazu müssen wir dann lediglich ein neues Programm schreiben, das uns nicht den Kompasswinkel errechnet, sondern die Stärke des Magnetfeldes.

In einer anderen Erweiterung unseres Programmes könnte man dann auch unsere Apparatur dazu bringen, auch die Neigung des Erdmagnetfeldes zu bestimmen. Das würde heißen, dass man an jedem Punkt der Erde seine Position bestimmen kann, zwar nicht ganz exakt, aber immerhin ungefähr. Und das ohne auf Satelliten angewiesen zu sein. Dies ist möglich, da das Magnetfeld der Erde an jedem Punkt auf der Erde eine andere Neigung hat. Das wäre dann eine Art „Kompass-Positions-System“.

## **5. Schluss**

### **5.1 Literaturverzeichnis**

- |  |  |
|--|--|
| [1] <b>Lehrbuch der Physik:</b>            | Hrsg.. Prof. Dr. Wilfried Kuhn;<br>Westermann Schulbuch Verlag, 1991 |
| [2] <b>Physik:</b>                         | Christian Gerthsen, Helmut Vogel;<br>Springer Verlag, 1993           |
| [3] <b>Metzler Physik:</b>                 | Hrsg. Joachim Grehn, Joachim Krause;<br>Schroedel Verlag, 1998       |
| [4] <b>Taschenbuch der Physik:</b>         | Hrsg. Horst Kuchling;<br>Verlag Harri Deutsch, 1979                  |
| [5] <b>Physik:</b>                         | Heinz Schröder, Friedrich Bergmann;<br>Verlag Sauerländer, 1978      |
| [6] <b>DTV-Atlas zur Physik (2):</b>       | Hans Breuer;<br>Deutscher Taschenbuch Verlag, 1996                   |
| [7] <b>GALs:</b>                           | Dieter Bitterle;<br>Franzis Verlag, 1993                             |
| [8] <b>Schülerduden Die Mathematik II:</b> | Prof. Dr. Harald Scheid;<br>Brockhaus Verlag, 1991                   |

### **5.2 Danksagung**

Wir danken unserem Betreuungslehrer StD Thomas Biedermann, der uns in vielerlei Hinsicht unterstützt hat und mit Rat und Tat zur Seite stand, wenn wir einfach nicht mehr weiterkamen.

Wir möchten uns auch bei dem Förderverein Jugend Forscht Hermannsburg bedanken, der durch finanzielle und materielle Spenden unsere Arbeit überhaupt erst ermöglicht hat.

Außerdem möchten wir uns auch bei der Firma CONRAD bedanken, die uns die doch recht kostspieligen Bauteile zu günstigen Konditionen verkaufte.

*Jugend Forscht 2001*  
*Tim Voss & Niko Biedermann*



*Elektronischer Kompass auf*  
*Basis von Feldplattensensoren*