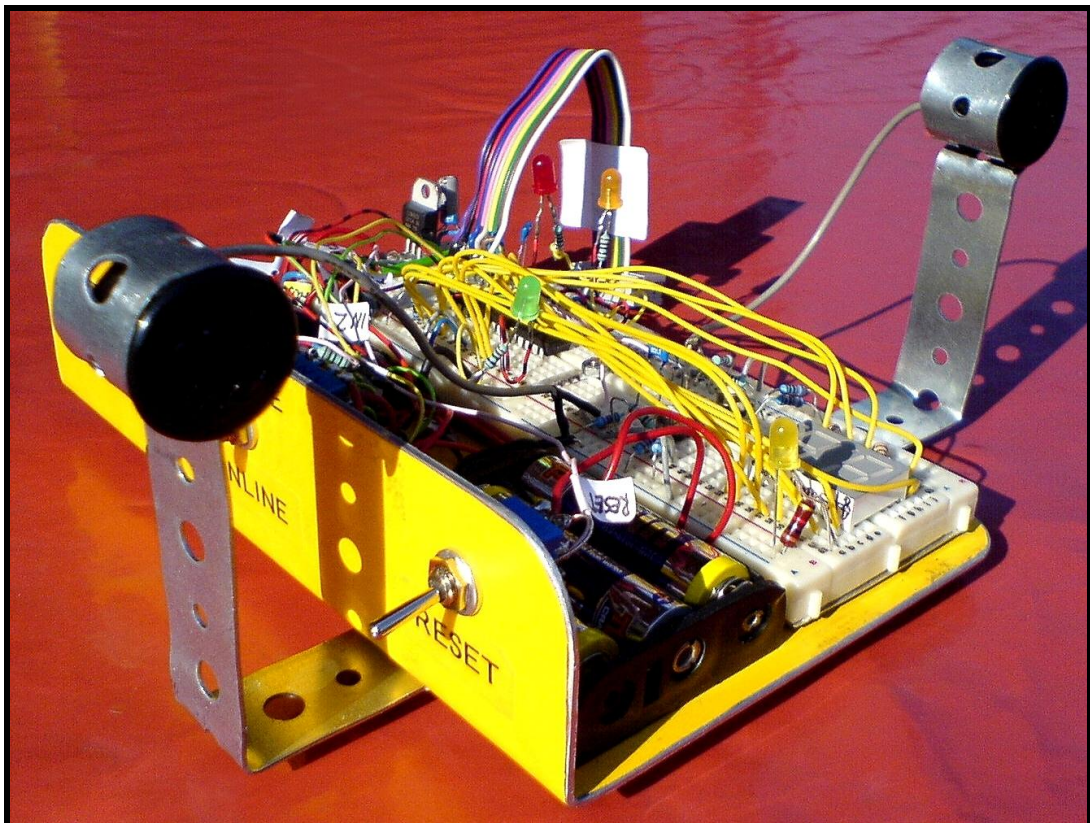
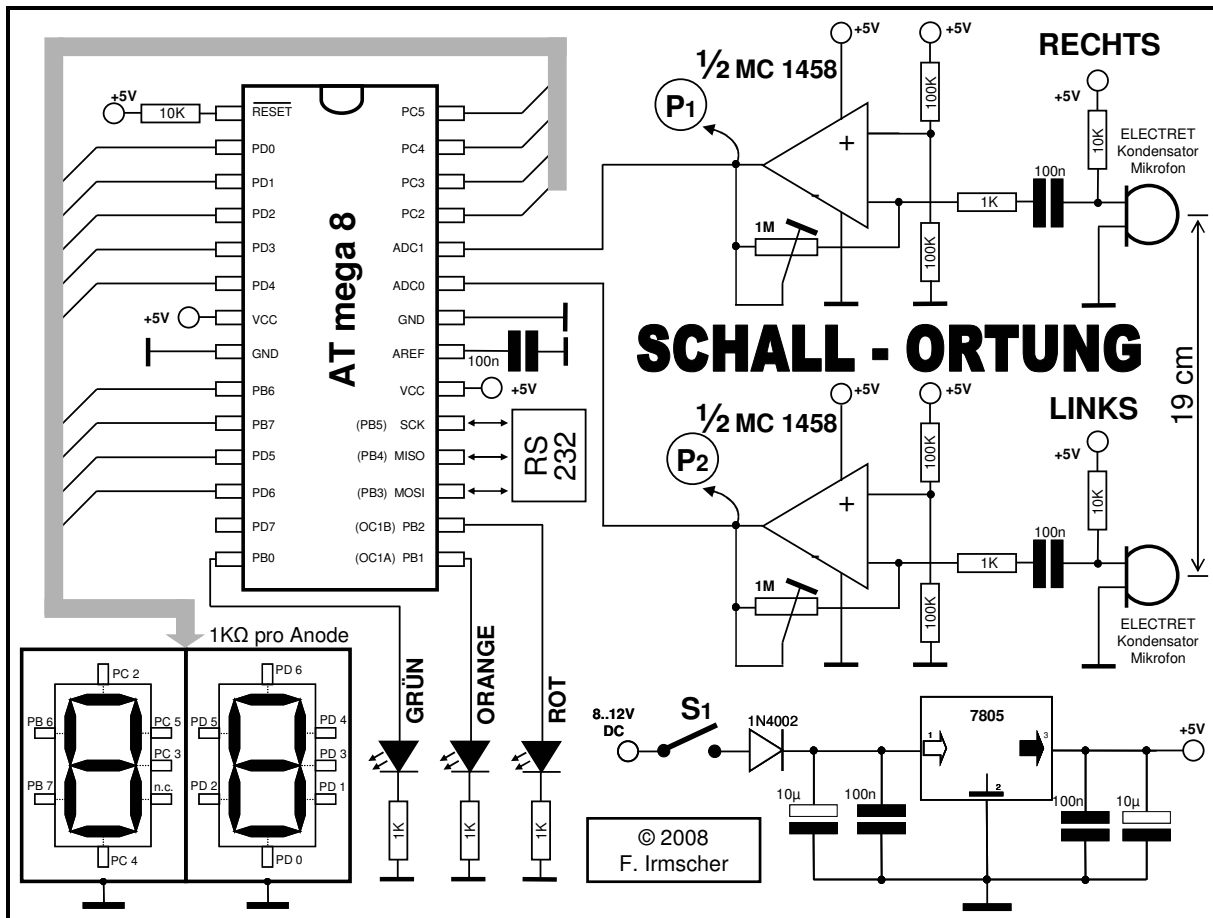


PASSIVE SCHALLORTUNG

- für AT mega 8 (ATMEL)
- Lokalisation von Schallquellen mit 2 Kanälen
- Übertragungsmedium: Luft
- präzise Richtungserkennung



SCHALLORTUNG



Einleitung

Ganz genau müsste die Überschrift wahrscheinlich **Richtungslokalisierung** lauten, da sich der Begriff *Ortung* auf die Auswertung der Reflektion von zuvor ausgesendeten Signalen bezieht, wie etwa bei Radar und Echolot. Die zurückgeworfenen Signale werden dann als sog. **Sekundärschall** bezeichnet. Der populärere Begriff *Passive Schallortung* ist dem einen oder anderen vielleicht aus der U-Boot-Technik des Zweiten Weltkriegs geläufig. Hier wurde der direkt von der Schallquelle auf kürzestem Wege zu den Mikrofonen gelangte Schall (sog. **Primärschall**) auf seine Richtung hin analysiert. Reichhaltige Informationen zu dem Themenkomplex Schall finden sich z.B. bei Wikipedia.

Mit dem vorliegenden Projekt wird eine recht einfache aber erstaunlich gut funktionierende Methode beschrieben, die Richtung der momentan lautesten Schallquelle mithilfe zweier *Electret-Kondensator-Mikrofone (ECM)* zu lokalisieren. Übertragungsmedium ist Luft. Vielleicht könnte dieses, wie später beschrieben noch ausbaufähige Projekt, als Ausgangspunkt für eigene Versuche dienen.

Auf die Funktionstüchtigkeit eines Nachbaus wird keine Gewährleistung gegeben!

Funktionsweise

Elektronik

Als Mikrocontroller kommt der **AT mega 8 (ATMEL)** zum Einsatz. Er hat ein für diese Anwendung ausreichend großes RAM. Programmiert wird z.B. mit dem Adapter:

my Smart USB V.2.11.

Der Systemtakt wird über das *Fuse-Low-Byte* auf 2 MHz eingestellt.

Ein Quarz ist nicht notwendig.

Die Messwerte können mithilfe des Moduls aus dem **Lernpaket Mikrocontroller (Franzis)** an den PC gesendet und mit dem Terminal von **Lpmikros.exe** dargestellt werden.

Die Programmierung ist mit dem Modul aber leider nicht möglich.

Zusätzlich erfolgt die Datenausgabe über eine zweistellige 7-Segment-Anzeige mit gemeinsamer Kathode. Jeder Anode wird ein 1K Ω -Widerstand vorgeschaltet (Im Schaltplan nicht eingezeichnet!).

Mit dieser Anzeige kann man das Gerät auch ohne die störenden Lüftergeräusche des PC verwenden.

Es werden zwei handelsübliche, aber unbedingt baugleiche ECM's benötigt. Sie müssen in einem Abstand von genau 19 cm zueinander montiert werden. Die Mikrofonleitungen müssen abgeschirmt sein.

Die Verstärkung erfolgt auf einfache Weise mit einem Zweifach-Operationsverstärker (OPV). Getestet wurden die Typen *MC1458* und *LM358*. Die Verstärkung ist für Experimente in weiten Grenzen bis zu 1000-fach einstellbar.

Es ist wichtig, die Verstärkung bei beiden OPV's stets gleich hoch einzustellen. Der Abgleich kann dafür an den Messpunkten *P1* und *P2* erfolgen. Wer hierzu kein Oszilloskop besitzt, kann sich eines für die PC-Soundkarte als Freeware aus dem Internet herunterladen. Verzerrungen und gelegentliche Übersteuerungen, die bei einer solchen Verstärkerschaltung eher auftreten, können toleriert werden, da sie die Ortung nicht maßgeblich stören.

Als Trimmer sollten sog. *Präzisions-Einstellregler (CONRAD)* bzw. *Miniatur-Regler \varnothing 6,6mm (REICHELT)* verwendet werden, da sie aufgrund der geringen Größe nahe am OPV platziert werden können und so weniger empfindlich gegen Störeinflüsse sind (Abb. 1).

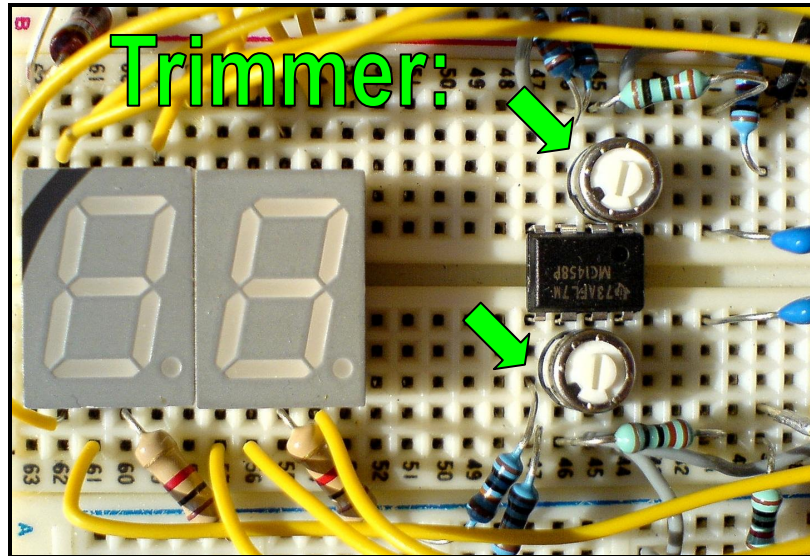


Abb. 1: Trimmer und 7-Segment-Anzeige

Natürlich wären auch hochwertigere Vorverstärker einsetzbar. Die Schallortung funktioniert aber auch schon so. Zur Spannungsstabilisierung auf 5V wird ein Festspannungsregler verwendet.

Laufzeitdifferenz Während das menschliche Gehör Schalllokalisierung mit einer Vielzahl von Mechanismen durchführt, beschränkt sich dieses Projekt nur auf das wohl Wichtigste, die Messung von sog. *Laufzeitdifferenzen*:

Befinden sich zwei Mikrofone und eine Schallquelle an unterschiedlichen Stellen im Raum, so trifft ein sich kreisförmig von dieser Quelle ausbreitendes Schallereignis aufgrund der Schallgeschwindigkeit zeitlich versetzt bei beiden Mikrofonen ein. Dieser Zeitunterschied wird *Laufzeitdifferenz* genannt und ist, bezogen auf die beiden Mikrofone, ein Maß für die Richtung zur Schallquelle.

Sind die Mikrofone von der Quelle gleichweit entfernt, kommt der Schall also genau von vorne oder hinten, so tritt keine Differenz auf (Abb. 2).

Je „seitlicher“ der Schall auf die beiden Mikrofone trifft, desto größer ist die Laufzeitdifferenz (Abb. 3).

Die größte Differenz wird erreicht, wenn sich Schallquelle und beide Mikrofone auf einer gedachten Linie befinden (Abb. 4).

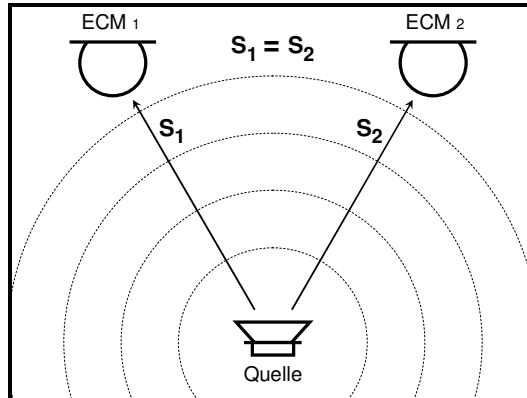


Abb. 2: Schallquelle frontal

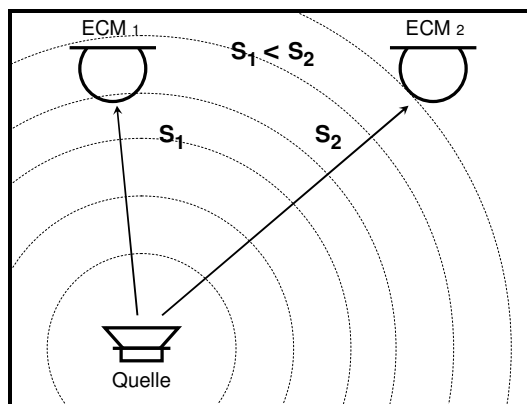


Abb. 3: Schallquelle seitlich

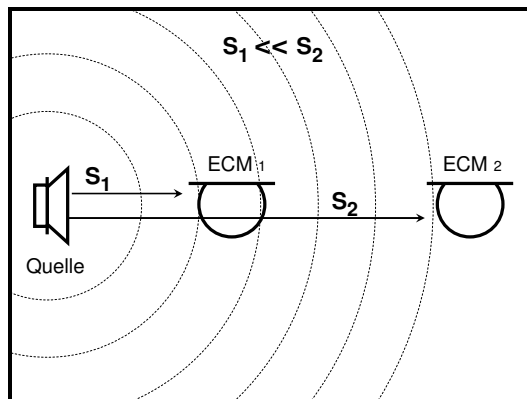


Abb. 4: Schallquelle ganz seitlich

Messung der Laufzeitdifferenz

In schneller Folge werden mit einer Rate von insgesamt ca. 40 KHz stets abwechselnd je ein Sample zuerst für den linken Kanal (ADC 0) und dann für den rechten Kanal (ADC 1) als 8-bit-ADC-Wert im RAM gespeichert. Pro Seite sind dies 250 Samples. Die dabei für den einzelnen Kanal zur Verfügung stehende Samplerate von ca. 20 KHz gestattet nach dem sog. **Abtasttheorem (Shannon)** eine obere Grenzfrequenz von ca. 10 KHz.

In Abb. 5 werden die zuvor im RAM gespeicherten Werte

einer 2-Kanal-Aufnahme mit *EXCEL* dargestellt. Aufgenommen wurde ein NF-Signal von 10 KHz. Zu erkennen ist, dass jedes Sample gerade eben noch einen Welleberg bzw. ein Tal des Signals erfasst.

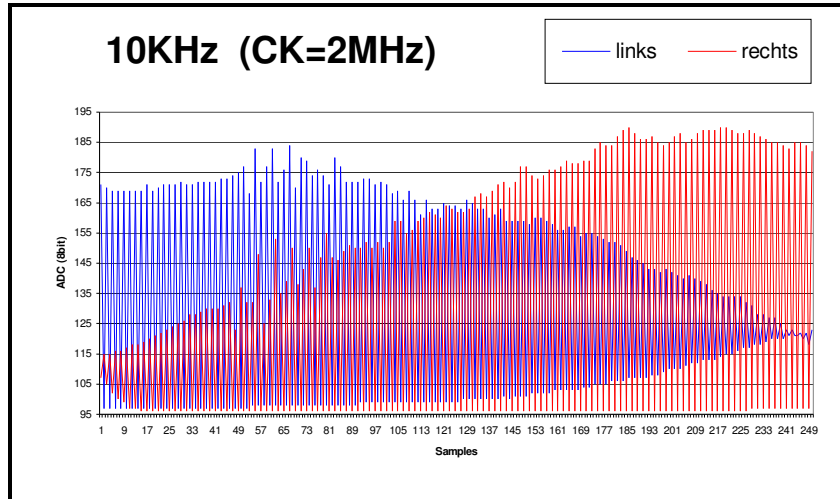


Abb. 5: Sinussignal (10KHz)

Um nun die aktuelle Laufzeitdifferenz eines Schallereignisses zu bestimmen, müssen die beiden Aufzeichnungen für den rechten und linken Kanal in Schritten von einem Sample gegeneinander verschoben werden, bis sie möglichst gut übereinstimmen (Abb. 6). Dies wird berechnet, indem für jede Verschiebung die Summe aller 239 Differenzen der sich entsprechenden Samples von links und rechts gebildet wird. Die kleinste Summe steht dabei für die beste Übereinstimmung.

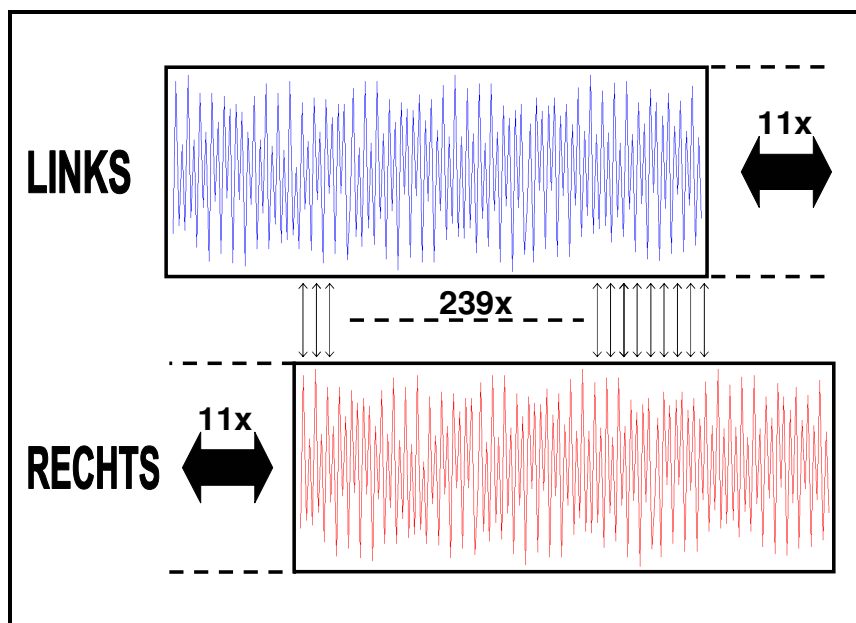


Abb. 6: Bestimmung der Laufzeitdifferenz

Berechnungen

Wieviele Verschiebungen durchgeführt werden müssen, ist neben der Samplerate abhängig vom Abstand der Mikrofone zueinander. Für die Schallgeschwindigkeit gilt allgemein:

$$1) \quad c_{Schall} = \lambda \times f = 1 \text{ [m/s]}$$

für: λ .. Wellenlänge

f .. Frequenz

Für die temperaturabhängige Schallgeschwindigkeit in Luft gilt näherungsweise:

$$2) \quad c_{Luft} \approx (331,5 + 0,6 \vartheta / ^\circ C)$$

mit: $\vartheta = -20 \text{ } ^\circ C \text{ .. } +40 \text{ } ^\circ C$

Bei Raumtemperatur ist somit:

$$3) \quad c_{Luft, 20^\circ C} \approx 343 \text{ m/s}$$

Nach folgender Rechnung wurde ein „handlicher“ Mikrofonabstand von 19 cm gewählt:

Benötigte Aufnahmezeit für 11 Samples bei 20 KHz:

$$4) \quad t_{11} = 11 \times \frac{1}{f} = 11 \times \frac{1}{20 \text{ KHz}} = 550 \mu s$$

Vom Schall bei Raumtemperatur zurückgelegte Strecke bei 11 Samples pro Kanal:

$$\begin{aligned} 5) \quad s(20^\circ) &= c_{Luft, 20^\circ} \times t_{11} \\ &= 343 \text{ m/s} \times 550 \mu s \\ &\approx \underline{\underline{19 \text{ cm}}} \end{aligned}$$

$$[s(0^\circ) = 18,2 \text{ cm} ; \quad s(40^\circ) = 19,6 \text{ cm}]$$

Es müssen also bei einem Abstand von 19 cm und einer Rate von 20 KHz pro Kanal jeweils 11 Verschiebungen durchgeführt werden. Zusammen mit der Mittelposition sind somit 23 Stellungen miteinander zu vergleichen.

Die Anzahl für die bestmögliche Übereinstimmung (geringste Differenz) entspricht gem. Abb. 7 dem Winkel der Schallrichtung.

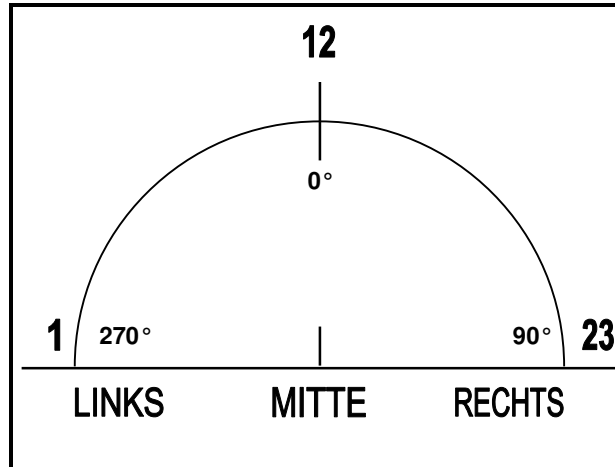


Abb. 7: Winkel und Positionen

Bei 23 Positionen beträgt die kleinste Auflösung:

$$6) \quad 180^\circ \div 23 = \underline{7,8^\circ}$$

Dies dürfte für die meisten Anwendungen genügen. Wer's genauer will, müsste den Mikrofonabstand und damit die Zahl der verschiebbaren Samples erhöhen.

Da die Bestimmung der Laufzeit auf der Messung von differierenden Pegeln beruht, werden insbesondere die Signalanteile mit der höchsten Lautstärke detektiert. Dabei dürfte es sich va. um den richtungweisenden Primärschall handeln, da der Schalldruckpegel des Sekundärschalls durch Absorption und Reflexion meist abnimmt.

Bei jeder der 23 Stellungen werden 239 Differenzen gebildet. Diese hohe Anzahl wirkt zudem als Filter gegen Störungen.

Programmbeschreibung

Voreinstellungen

Das *Fuse-Low-Byte* muss gem. der Tabelle im Programmcode auf 2 MHz eingestellt werden (0xE2).

Im folgenden werden die einzelnen Programmsegmente dargestellt.

Zunächst erfolgen die üblichen Konstanten- und Variablendefinitionen.

Es werden keine Interrupts benötigt.

Hauptprogrammab: **STILLE EINMALIG KALIBRIEREN:**

Nur bei der allerersten Messwertaufnahme nach dem Einschalten ist die Variable *Stille* = 0. In diesem Fall wird zunächst bei WARTEN_STILLE: einen Moment gewartet, bis das Einschaltgeräusch verhallt ist und dann nach Messwertaufnahme der höchste aller Werte in *Stille* gespeichert. Während der Kalibration sollte der Geräuschpegel niedrig und die zu lokalisierenden Signale nicht zu hören sein! Die Konstante *Pegeldiff* wird zu *Stille* hinzugeaddiert.

ab: **TEST_MIN_PEGEL:**

Bei jeder weiteren Messwertaufnahme wird geprüft, ob mindestens ein Wert größer als *Stille* ist. Nur dann erfolgt die weitere Signalverarbeitung. Je niedriger also *Pegeldiff* ist, desto empfindlicher wird die Schallortung.

ab: **LOOP_LINKS:**

Laufzeitberechnungen für die unteren 11 Positionen. Hierfür werden die Werte des linken Kanals mithilfe von Routine Y_POSITION 11x um je ein Sample verschoben und in jeder Stellung die Summe aller Differenzen der sich entsprechenden Samples gebildet. Die kleinste Differenz wird in *Diff_Min* (16bit) gespeichert. Zugleich wird die zugehörige Position in *Diff_Step* gesichert.

ab: **LOOP_RECHTS:**

Laufzeitberechnungen für die oberen 11 Positionen und die Mittelstellung. Hierfür werden die Werte des rechten Kanals mit der Routine Z_POSITION 11x um je ein Sample verschoben. Die weiteren Berechnungen erfolgen analog zu LOOP_LINKS.

ab: **EXIT_LAUFZEIT:**

Hier enden die Laufzeitberechnungen. Falls zweimal hintereinander dieselbe Position errechnet wurde, wird sie nun mithilfe der Routine LED_DISPLAY auf der 7-Segment-Anzeige ausgegeben und außerdem mit der Routine WrCOM_2 an den PC gesendet.

Wird einige Sekunden lang keine Schallrichtung mehr erkannt, so wird die Anzeige gelöscht. Dieses Zeitintervall wird mit der Variable *Dauer* und der Konstante *Durchlauf* bestimmt.

WrCOM_2:

Für einen Prozessortakt von 2 MHz modifizierte Version aus dem *Lernpaket Mikrocontroller (FRANZIS)*. Ausgabe erfolgt mit dem Terminal von *Lpmikros.exe*.

ADC_START:	Initialisierung des ADC-Wandlers: Die Ergebnisse sind <i>left-adjusted</i> (8bit). Wegen der geringen Auflösung kann der ADC-Takt auf 1 MHz erhöht werden.
ADC_Rd_LEFT:	ADC-Wandlung für den linken Kanal
ADC_Rd_RIGHT:	ADC-Wandlung für den rechten Kanal
WARTEN:	Allgemeine Warteschleife. Die Dauer wird mit der Variablen <i>i</i> gesteuert.
Y_POSITION:	Errechnung der Startposition im RAM für die Verschiebung der Werte des linken Kanals mithilfe von Variable <i>Step</i> .
Z_POSITION:	Errechnung der Startposition im RAM für die Verschiebung der Werte des rechten Kanals mithilfe von Variable <i>Step</i> .
LED_DISPLAY:	Wertausgabe von <i>i</i> durch die zweistellige 7-Segment-Anzeige. Die Anzeige ist dunkel bei $i = 0$. Ausgabe von „Er“ (Error) für $i \geq 30$.

Mögliche Verbesserungen

Die Schaltung könnte wie folgt optimiert werden:

Analoge Elektronik

Signale oberhalb von 10 KHz werden lt. dem og. Abtasttheorem fälschlicherweise als niedrigere Frequenzen detektiert. Da dieser Fehler an beiden Kanälen auftritt, scheint er sich weitgehend selbst zu eliminieren. Einen Versuch mit einem Tiefpass wär's aber wohl wert. Wenn das zu lokalisierende Signal bekannt ist (z.B. Motorengeräusch, Sprache), könnte man mit einem Bandpass den wichtigsten Frequenzbereich herausfiltern und damit die Empfindlichkeit der Ortung erhöhen. Vielleicht liefert auch eine hochwertigere Mikrofonverstärkung bessere Ergebnisse.

Autokalibration für Ruherauschen

Anstelle der einfachen Kalibration direkt nach dem Einschalten wäre es denkbar, für einige Minuten den niedrigsten Schallpegel zu suchen und diesen dann als Referenzwert zu verwenden.

Bessere Signalauswertung

Momentan erfolgt die Anzeige einer neuen Richtung immer nur dann, wenn zweimal hintereinander der glei-

che Wert gemessen wird. Erkannt werden müssten außerdem Messungen, die zwischen zwei Zahlen „hin- und herpendeln“ (z.B. zwischen 14 und 15).

Zusätzliche Genauigkeit könnte eine „statistische Auswertung“ ermöglichen, bei der gleiche oder ähnliche Richtungswerte innerhalb eines bestimmten Zeitraumes auf ihre Häufigkeit hin überprüft werden.

Würde das Ortungssystem z.B. zur Zielverfolgung genutzt, könnte auch eine „Plausibilitätsprüfung“ stattfinden: Passt der aktuelle Winkel zu den Vorwerten entsprechend der bisherigen Bewegung des Zieles und der eigenen Bewegung ... ?

Richtmikrofone

Sollen weiter entfernte Signale lokalisiert werden, könnten die Mikrofone zu Richtmikrofonen umgestaltet werden. Entsprechende Konstruktionen dürften dabei das Klangbild durch Resonanzen nicht verfälschen!

Drittes Mikrofon

Mit zwei Mikrofonen ist die Schallortung nur in einem Radius von 180 Grad möglich, d.h. es wird nicht erkannt, ob das Signal von vorne oder hinten kommt.

Für den vollen Radius von 360 Grad wäre ein drittes Mikrofon nötig. Sollte bei den drei Mikrofonenaufnahmen die Grenzfrequenz von 10 KHz nicht unterschritten werden, müsste die Samplerate weiter erhöht werden, da in der gleichen Zeit jetzt drei anstatt zuvor zwei Kanäle aufgezeichnet werden würden.

Dies könnte beim *AT mega 8* zu Geschwindigkeitsproblemen führen.

Kontakt

Haben Sie ein ähnliches Projekt entwickelt, Verbesserungsvorschläge oder Anregungen?

Dann freue ich mich über eine Mail an:

mw_grabowski@gmx.de