

GPSL

DIE GPS-UNTERSTÜTZTE LANDUNG

DAS GPSL-SYSTEM LIEFERT INFORMATIONEN über die momentane Abweichung der aktuellen Position von Flugmodellen, bezüglich einer idealen Landelinie. Die Landelinie wird bestimmt durch zwei Punkte (GPS Koordinaten) auf der Landebahn. Die Verlängerung der Verbindung dieser beiden Punkte ist die Linie (ohne Höheninformation), auf der das Flugmodell auf dem Flugfeld gelandet werden sollte. Das System liefert dem Piloten mit Hilfe eines im Flugmodell integrierten GPS-Empfängers über Funk akustische Informationen, wie diese fiktive Landelinie bereits frühzeitig im Landeanflug erreicht werden kann.

„Fliegen heißt Landen“ – genau das wurde mir bei den ersten Flügen im vergangenen Sommer mit meiner elektrifizierten 4-m-„SHK“ von Aeronaut klar. Herrlich der Start und das anschließende ruhige, majestätische Eleganz ausstrahlende Gleiten. Das Variometer zeigt Steigen an. Also kreisen und ab geht es in die Höhe. Selbst die Vögel über unserem Flugplatz haben sich mittlerweile an meine Segelflugmodelle gewöhnt und kreisen mit der „SHK“ am strahlend blauen Himmel. Einfach super! Aber dann muss ich doch dem Variometer glauben, dass es keine Thermik mehr gibt. Auch der Blick auf die Laufzeit des Elektromotors sorgt für den Entschluss, an die Landung zu denken.

Auf unserem Fluggelände wird der Vorbereitungsraum durch einen Fangzaun geschützt. Parallel dazu verläuft die 26 Meter breite Start- und Landebahn. Unglücklicherweise hat der Bauer, der die angrenzende Fläche landwirtschaftlich nutzt, in diesem Jahr Mais angebaut. Der steht nun gut gewachsen, mit unnachgiebigen, jede Tragfläche zerstörenden Wurzeln, gleichlaufend zur gesamten Landebahn. Die Landung muss also möglichst mittig zwischen Fangzaun und Mais erfolgen!

Das Landen eines etwas größeren Seglers will geübt sein. Gewicht und Spannweite führen zu einer erhöhten Fluggeschwindigkeit und größerer Trägheit bei Steuereingaben. Es bedarf daher schon einiger Übung und Erfahrung, um einen derartigen Segler ohne Beschädigung durch Mais oder Fangzaun sicher zu landen. Das Entscheidende für eine gute Landung ist der exakt durchgeführte Landeanflug. Wichtig ist, dass der Anflug entlang einer Linie erfolgt, die parallel und mittig zum Maisfeld und Fangzaun verläuft. Wie kommt man nun an eine derartige Hilfslinie für den Landeanflug?

Die Idee, den Landeanflug mit GPS-Unterstützung durchzuführen, scheint uns eine Lösung zu sein: Zwei mit GPS ermittelte Punkte (LB1, LB2) auf der Landebahn definieren die Hilfslinie, also die Linie, auf der die Landung erfolgen soll. **Bild 1** (S. 70) verdeutlicht die Zusammenhänge. Wenn nun im Modell ein GPS-Empfänger untergebracht wird, der ständig die aktuelle Position ermittelt, kann ein Mikro-Controller aus den beiden Punkten LB1 und LB2 und der aktuellen Modellposition (MP) die Abweichung (D) zu der virtuellen Hilfslinie bestimmen. Die Abweichung wird in Form eines geeigneten Tonsignals über einen LPD-Sender im 433-MHz-Bereich mit geringer Leistung (10 mW) zum Boden gefunkt. Der Pilot kann dann anhand der akustischen Information das Modell so steuern, dass es bereits aus großer Entfernung auf der idealen Landelinie den Landeplatz anfliegt.

Die Grundidee der akustischen Abstandssignalisierung besteht darin, die Tonhöhe mit geringer werdendem Abstand D sinken zu lassen. Betrachten wir wieder dazu **Bild 1**: Befindet sich das Modell im Quadranten 1 an der Position MP im Abstand D von der Landelinie, hört der Pilot einen kontinuierlichen Ton. Rechts unten in **Bild 1** ist prinzipiell dargestellt, wie sich der Ton im Quadranten 1 in Abhängigkeit vom Abstand D verändert. Man erkennt, dass bei Abständen größer als D1 die Tonhöhe konstant auf einem maximalen Wert bleibt. Nähert man sich der Landelinie, fällt die Tonhöhe mit geringer werdendem Abstand bis zu einem Abstand DK. DK kennzeichnet einen Anflugkorridor. Befindet sich das Modell im Bereich Null Meter bis DK von der Landelinie ist die Tonfrequenz Null, das heißt also Ruhe für den Piloten. Der gleiche Sachverhalt trifft auch im Quadranten 3 zu. Wir können also sagen, wenn das Modell „von links“ auf die Landebahn anfliegt der Pilot einen kontinuierlichen Ton wahrnimmt, beziehungsweise keinen Ton hört, wenn sich das Modell nahe der Landelinie im Anflugkorridor befindet.

Um beim Landeanflug akustisch unterscheiden zu können ob das Modell von links (Quadranten 1 und 3) oder von rechts (Quadranten 2 und 4) zur Landebahn anfliegt, haben wir das kontinuierliche Tonsignal viermal pro Sekunde für etwa 30 ms unterbrochen. Die Abhängigkeit Tonhöhe vom Abstand D ist gleich wie in den Quadranten 1 und 3, bis eben auf die kurzen Unterbrechungen. Mit dieser Art der akustischen Signalisierung können wir sehr einfach feststellen, ob und von welcher Seite sich das Modell der Landelinie nähert und wann es sich im Anflugkorridor befindet. Bewegt sich also das Modell aus dem Anflugkorridor, hört der Pilot einen Ton der in der Frequenz ansteigt, entweder kontinuierlich, dann ist das Modell nach links abgedrückt, oder mit Unterbrechungen, dann ist es nach rechts abgedrückt.

So weit, so gut. Wenn wir GPS für die Positionsbestimmung beim Landeanflug einsetzen wollen, müssen wir die Frage nach der Genauigkeit stellen. Reicht die Genauigkeit von GPS überhaupt für den Landeanflug aus?

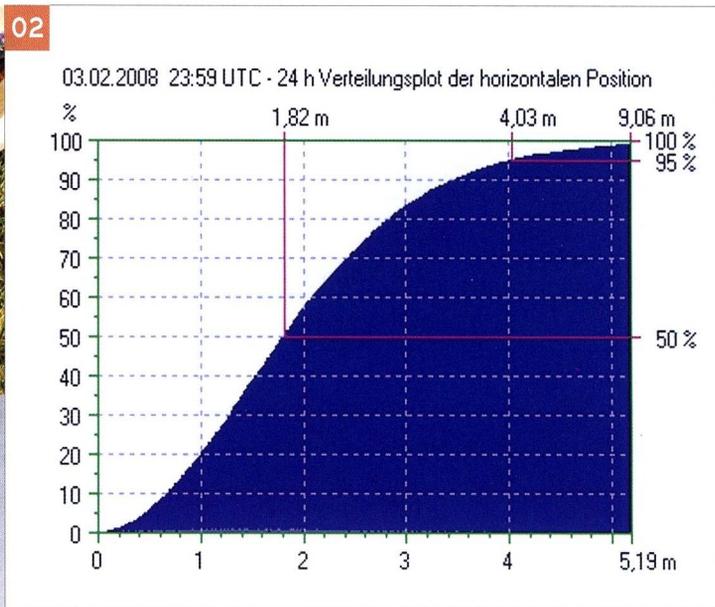
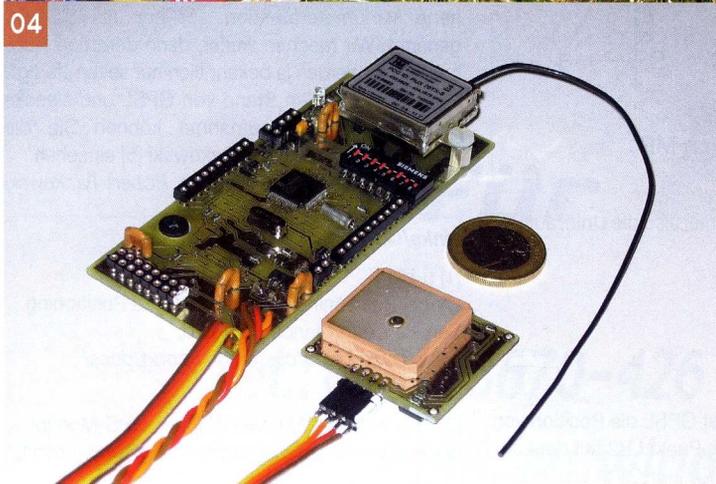
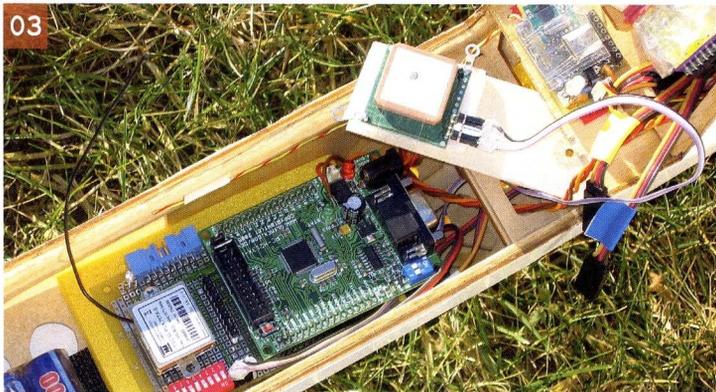
Seit dem 1. Mai 2000 hat die US-Regierung die selektive Verfügbarkeit (selective availability SA) von GPS abgeschaltet. Seitdem hat sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung von vorher +/- 100 Meter deutlich verbessert. Dem Dokument „GPS Standard Positioning Service Performance Standard“ [1] des US-Verteidigungsministeriums ist zu entnehmen, dass die Standardabweichung der Positionsbestimmung bei Vernachlässigung der Ausbreitungseinflussungen des GPS-Funksignals (RMS SIS SPS User Range Error) 6 Meter beträgt. Berücksichtigt man noch Verfälschungen des GPS Funksignals durch beispielsweise die Ionosphäre, ist mit einer größeren Abweichung zu rechnen. Na ja, eine Positionsbestimmung in der Größenordnung von 6 Meter ist ja schon mal gar nicht so schlecht.

Aber wie genau ist die Positionsbestimmung mit GPS in Deutschland denn nun wirklich? Eine Antwort auf diese Frage finden wir auf der Homepage von Anja Köhne und Michael Wößner [2]. Unter den sehr interessanten Informationen rund um GPS findet man dort einen GPS-Monitor. Dieser GPS-Monitor erfasst die Abweichung zur tatsächlichen Position über 24 Stunden und trägt die Daten grafisch auf. **Bild 2** zeigt das Messergebnis vom 3. Februar 2008. Wir entnehmen der Darstellung, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent eine gemessene Position in einem Kreis mit dem Radius 1,82 m um die tatsächliche Position liegt. Weiterhin erkennen wir, dass eine gemessene Position ganz sicher (100prozentig) in einem Radius von 9,06 Meter um die tatsächliche Position liegt. Super, das können wir gebrauchen! Wie man sich auf der angegebenen Internetseite überzeugen kann, ist die Genauigkeit an anderen Tagen ähnlich, mit nur geringen Schwankungen.

Die Euphorie über die gute Messgenauigkeit von GPS müssen wir allerdings etwas dämpfen. Die Messungen des GPS-Monitors werden unter idealen Bedingungen durchgeführt. Es wird eine sehr gute, stationäre GPS-Antenne verwendet, die zudem in einer für den Empfang guten Position steht. Die Empfangsverhältnisse in unseren Modellen sind zwangsläufig etwas anders. Unsere Modelle sind nicht stationär und der Antennenaufwand in Gewicht, Abmessungen und möglicher EMV-Beeinflussung muss sich den Verhältnissen in unseren Modellen anpassen. Das kann natürlich zu einer Verschlechterung in der Positionsbestimmung führen. Aber so schlecht ist es auch wieder nicht! Modelle, für die eine GPS-unterstützte Landung sinnvoll ist, werden auf einem weitläufigen, freien Gelände geflogen. Durch die Flughöhe und die freien Geländebeziehungen ist mit einer nennenswerten Beeinträchtigung des GPS-Empfangs eigentlich nicht zu rechnen.

Anhand der Messergebnisse des GPS-Monitors und den oben dargestellten Überlegungen haben wir den Wert DK für den Anflugkorridor auf 2,8 Meter gesetzt, also 5,6 Meter Korridorbreite. Statistisch gesehen liegt damit eine Positionsbestimmung mit 80-prozentiger Wahrscheinlichkeit im Bereich des Anflugkorridors. In unseren später durchgeführten Flugversuchen mit GPSL hat sich dieser Wert bewährt. Bei den Flugversuchen haben wir ebenfalls den Wert für D1 ermittelt, 30 Meter passen.

Kommen wir zum GPSL-System an sich: Nachdem wir eine Vorstellung vom Funktionsprinzip hatten, erschien uns seine Realisierung ein interessantes Projekt zu werden. Kurz entschlossen haben wir die Erstellung eines Experimentalaufbaus geplant. Der Experimentalaufbau sollte in einem Modell einge-



02 Die horizontale GPS-Abweichung über 24 Stunden gemittelt vom 3. Februar 2008 [2] **03** Der erste GPSL-Experimentalaufbau in der „Seduction WildStyle“ **04** Die GPSL-Platine: Unten der GPS-Empfänger, oder vielmehr die Antenne des GPS-Empfängers. Die Elektronik befindet sich unterhalb der GPS Platine. Oberhalb des GPS-Empfängers befindet sich die Mikrocontroller- und Senderplatine. Rechts ist der 433-MHz-LPD-Sender mit seiner Antenne zu erkennen, in der Mitte der Mikrocontroller. Das „Mäuseklavier“ unterhalb des LPD Senders dient zur Einstellung einer der 69 möglichen LPD-Frequenzen im 433MHz Band

gesetzt werden können und mit möglichst geringem Aufwand die praktische Verwendbarkeit des oben dargestellten Funktionsprinzips zeigen.

Zunächst haben wir mit Scilab [3] ein mathematisches Modell erstellt, mit dem wir uns von der korrekten Funktion des Berechnungsalgorithmus überzeugen konnten (...den werden wir später noch darstellen). Dann ging es an die Hard- und Softwareentwicklung. Ein Experimentalboard mit einem ARM7 basierten Mikrocontroller sollte die Rechenarbeit erledigen. Diese Boards kann man zum Beispiel bei der Firma Elektronikladen [4] beziehen.

Ein aus früheren Projekten verfügbarer GPS-Empfänger sorgte für die Positionsbestimmung [5]. In dem GPS-Empfänger kommen Chips der Firma μ blox [1] zum Einsatz. Den LPD-Sender, der den Piloten mit einem Tonsignal über die Abweichung des Modells von der Landlinie informiert, haben wir von der Firma HM-Funktechnik GmbH [6] bezogen. Zur Erhaltung der Flexibilität bei der Frequenzwahl haben wir uns für den Synthesizer Sender „70TX-S“ entschieden. Nach Entwicklung der Interface-Hardware zwischen dem Mikrocontrollerboard, dem GPS-Empfänger und dem LPD-Sender war die Hardware des fliegbaren Experimentalaufbaus komplett.

Nachdem auch die erste Version der Software vorlag, konnten wir mit den Flugtests beginnen. Für die ersten Flüge verwendeten wir eine elektrifizierte „Seduction WildStyle“. Okay, das sah noch etwas klobig und schwer aus, war es auch. Aber mit diesem Aufbau konnten wir unsere Erfahrungen machen, die über zahlreiche Modifikationen zu einer gut funktionierten Version führten. Insbesondere die Forderung an die Echtzeitfähigkeit hat uns doch so manche Mühe gemacht und wir mussten so einiges ändern, um die Echtzeitfähigkeit zu erreichen. Das Entscheidende war, den GPS-Empfänger so zu nutzen, dass er viermal die Position pro Sekunde ermittelt. Nach jeder Positionsbestimmung des GPS-Empfängers musste die Berechnung zur Abstandsermittlung durchgeführt, das Tonsignal aufbereitet und an den Piloten zur Kurskorrektur des Modells gesendet werden. Da das Ganze vier Mal pro Sekunde passiert, bleiben für den Zyklus 250 ms, das heißt also, dass dem Piloten alle 250 ms eine Kurskorrekturinformation für den Landeanflug gesendet wird.

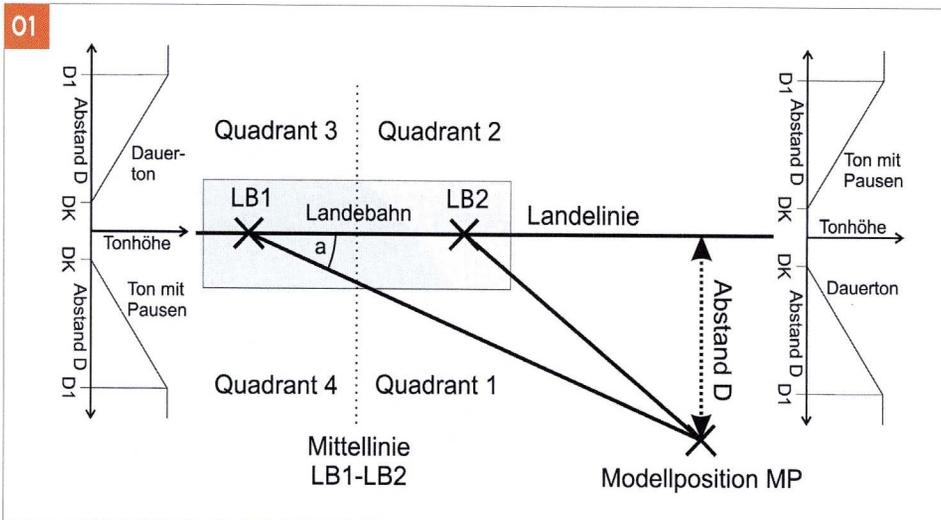
Nachdem die Funktionalität des Testaufbaus unseren Vorstellungen entsprach, haben wir eine Platine für GPSL entwickelt. Das Ergebnis des Platinenentwurfs ist in **Bild 4** zu sehen. Ich finde, das kann sich doch sehen lassen. Wir haben die GPS-Empfängereinheit als separate Platine mit den Abmessungen 32x34 mm ausgeführt, damit man die Möglichkeit hat, den Empfänger an eine geeignete Position im Modell unterzubringen.

Links oben auf der Mikrocontrollerplatine haben wir einen Drucksensor eingefügt (schwarzer Kreis). Diese Option haben wir vorgesehen, um später ein Variometer und/oder Höhenmesser in GPSL einfügen zu können. Die Variometer- bzw. Höhenmesserfunktion kann somit allein durch eine Erweiterung der GPSL Software realisiert werden. Mit einem Mikroschalter können die bei-

den Punkte LB1 und LB2 der Landlinie festgelegt werden. Sie werden in einem nicht flüchtigen Speicher abgelegt, bleiben daher auch nach Abschalten der Betriebsspannung erhalten und müssen nicht vor jedem Flug auf dem gleichen Fluggelände neu eingelesen werden. Eine LED dient zur Statusanzeige bei der Festlegung der beiden Punkte. Die Abmessungen der Platine wurden so gewählt, dass sie auch in relativ enge Rumpfe eingebaut werden kann. Die Abmessung 100x45 mm schien uns ein guter Kompromiss zu sein aus den Platzanforderungen für eine doppelseitige, durchkontaktierte Platine und den Platzverhältnissen in Modellrumpfen. Das Gewicht des gesamten GPSL-Systems beträgt 60 g, der Strom für den Betrieb kann direkt vom Empfänger bezogen werden.

Der Betrieb von GPSL in einem Modell ist mit wenigen Sätzen beschrieben: Während des Fluges wird GPSL über einen Fernsteuerkanal ein- und ausgeschaltet, denn wir wollen es nur für den Landeanflug benutzen. In **Bild 4** führt daher die dreifache, verdrehte Leitung direkt zu einem Steckplatz des RC Empfängers. Der Strom für den Betrieb von GPSL kann direkt vom RC-Empfänger bezogen werden. Da das Volk der Segelflieger eine ausgeprägte Schwäche für Variometer zeigt (wir auch), wollten wir die Aktivierung von GPSL über den gleichen Fernsteuerkanal mit Y-Kabel vornehmen, über den wir auch unser „Picolario“-Variometer [7] steuern. Um die Anforderungen an den LPD-Empfänger gering zu halten – ein Einkanalempfänger sollte ausreichen – sollten „Picolario“ und GPSL auf dem gleichen LPD-Kanal zu betreiben sein. Das „Picolario“ wird praktisch über einen Drei-Stufen Schalter am Fernsteuer-sender bedient: Mittelstellung, 0 Prozent sowie +100 Prozent und -100 Prozent. Technisch ausgedrückt wird natürlich die Impulslänge des Fernsteuerkanals ausgewertet. Bei -100 Prozent ist das Picolario ausgeschaltet. Nicht ganz, denn es schaltet sich automatisch ein, um eine Spannungsänderung an der Empfängerstromversorgung anzusagen. Beim Landeanflug ist das Variometer nicht sehr nützlich, da soll dann GPSL aktiviert werden. Wir schalten daher bei einer Schalterstellung von -100 Prozent GPSL ein. Bei 0 Prozent und +100 Prozent ist GPSL aus. Beim Fliegen wollen wir aber doch auch mal Ruhe haben, also Variometer und GPSL aus. Dazu schalten wir GPSL nur bei jeder zweiten Betätigung des -100 Prozent Schaltzustandes ein. Mit dieser Schaltlogik lassen sich sowohl das „Picolario“ als auch GPSL mit nur einem Fernsteuerkanal in alle Betriebszustände schalten.

Für einen Einsatz von GPSL auf einem bestimmten Fluggelände müssen noch die beiden Punkte der Landlinie LB1 und LB2 eingelesen werden. Wie bereits erwähnt, benutzen wir einen Mikroschalter und eine LED für diesen Zweck. Wird GPSL eingeschaltet, signalisiert es nach kurzer Zeit einen 3D-Fix, hat also die relevanten GPS-Satelliten empfangen und kann seine Position bestimmen. Zur Festlegung von LB1 gehen wir mit dem Modell an den Punkt auf der Landbahn, den wir als LB1 festlegen wollen. Nach Drücken



Zwei mit GPS ermittelte Punkte (LB1, LB2) auf der Landebahn definieren die Hilfslinie, also die Linie, auf der die Landung erfolgen soll.

des Mikroschalters und entsprechender Signalisierung durch die Leuchtdiode hat GPSL die Position von LB1 eingelesen und in seinem Speicher abgelegt. Danach gehen wir zum zweiten Punkt LB2 auf der Landebahn. Nach Betätigung des Mikroschalters und Signalisierung durch die LED hat GPSL auch den zweiten Punkt abgespeichert. Fertig, jetzt können wir fliegen.

Fehlt noch der GPSL-Berechnungsalgorithmus. Zu dessen Erläuterung sei zunächst auf den Artikel von Jeff Stefan [8] verwiesen. Dieser Artikel beschreibt die grundlegenden Gleichungen zur Navigation. Für unsere Zwecke benötigen wir aus dem oben erwähnten Artikel eine Gleichung zur Berechnung des Abstandes zweier durch Längen- und Breitengrad angegebener Punkte auf der Erde. Diese Gleichung ist gegeben durch:

$$d_{rad} = \text{acos}[\sin(Lat1) \cdot \sin(Lat2) + \cos(Lat1) \cdot \cos(Lat2) \cdot \cos(Lon1 - Lon2)]$$

Lat1, Lon1 sowie Lat2 und Lon2 bezeichnen jeweils den Längen- und Breitengrad der beiden Punkte 1 und 2 im Bogenmaß (radians). drad gibt die Entfernung zwischen diesen beiden Punkten an, ebenfalls im Bogenmaß. Um die Entfernung in Metern zu erhalten, benutzen wir die Beziehung

$$d_m = \frac{d_{rad}}{(2\pi)} \cdot 40031562m$$

dm ist der Abstand in Meter, drad der Abstand im Bogenmaß. Für Gleichung 2 wurde der Erdradius mit 6371,221 km verwendet. Weiterhin wird eine Gleichung zur Berechnung der Richtung (bearing) zwischen zwei Punkten benötigt. Die Beziehung

$$c_{rad} = \text{acos}\left(\frac{(\sin(Lat2) - \sin(Lat1) \cdot \cos(d_{rad}))}{(\cos(Lat1) \cdot \sin(d_{rad}))}\right)$$

liefert das Gewünschte. c_{rad} ist dabei der Winkel zum Nordpol der uns von Punkt 1 zum Punkt 2 führt. Ist $\sin(Lon2 - Lon1)$ negativ, ist der tatsächliche Winkel c_{rad} gegeben durch $2\pi - c_{rad}$. Zur Erzeugung der akustischen Abstandsinformation benötigt GPSL den Abstand D. Für die weitere Erläuterung zur Berechnung des Abstands D zur Landelinie betrachten wir **Bild 1**. Der Abstand D ergibt sich aus:

$$D = d(LB1 - MP) \cdot \sin(a)$$

$d(LB1 - MP)$ ist der Abstand zwischen dem Punkt LB1 auf der Landelinie und der Modellposition MP. $d(LB1 - MP)$ berechnen wir mit den Gleichungen 1 und 2. Der Winkel a ist die Differenz zwischen den beiden „bearing“-Winkeln der Strecken LB1-LB2 und LB1-MP, also:

$$a = c(LB1, LB2) - c(LB1, MP)$$

Ist der Winkel a positiv, dann befindet sich unser Modell im Quadranten 1. Ist a negativ, befindet es sich im Quadranten 2. Die bisherige Betrachtung gilt für den Fall, dass die Entfernung LB1-MP größer ist als

LB2-MP. Ist das nicht der Fall, befinden wir uns in den Quadranten 3 und 4. Die dargestellte Berechnungsmethode ist auch weiterhin anwendbar wenn wir die Positionen von LB1 und LB2 tauschen.

DIE ENTWICKLUNG VON GPSL HAT UNS SEHR VIEL SPASS GEMACHT

und wir haben eine Landehilfe erhalten, mit deren Funktion wir zufrieden sind. Zudem haben wir eine Elektronik entwickelt, die sich neben der GPSL-Funktion nach Softwareanpassung auch für andere Telemetrieaufgaben einsetzen lässt. Die vorgesehene Variometerfunktion sei nur als Beispiel genannt. Wir machen weiter, denn derartige Hobbyprojekte werden ja bekanntlich nur selten „fertig“. Über den aktuellen Stand von GPSL und zwecks eventueller Kontaktaufnahme können Sie die Homepage von Robert Tyrakowski [5] einsehen.

Andreas Gawron, Robert Tyrakowski

Links/Quellen:

- [1] µ-blox
Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard,
www.u-blox.com/customersupport/docs/gpsspsperf.pdf
- [2] Anja Köhne & Michael Wößner, GPS-Monitor
www.kowoma.de/gps/gpsmonitor/gpsmonitor.php
- [3] Scilab – The open source platform for numerical computation
www.scilab.org
- [4] Elektronikladen Mikrocomputer Giesler & Danne GmbH & Co. KG
www.elektronikladen.de
- [5] Homepage von Robert Tyrakowski, DK7NT
www.qsl.net/dk7nt
- [6] HM-Funktechnik GmbH, www.hmradio.de
- [7] Thommys Modellbau, www.thommys.com
- [8] Navigating with GPS by Jeff Stefan, Circuit Cellar, Issue 123, October 2000;
www.circuitcellar.com/library/print/1000/Stefan123/5.htm

Fakten „GPSL“	Eine GPS-unterstützte Landehilfe
Abmessungen:	
Mikrocontrollerplatine:	100x45 mm
GPS-Empfänger:	32x34 mm
Gewicht:	60 g
einstellbare LPD-Kanäle:	69
Sendeleistung:	10 mW
Betriebsspannung:	3,5–7,6 V