

Beschreibung des Funk-Umschlagsensors

Der Funk-Umschlagsensor dient zur Detektion des laminar-turbulenten Grenzschichtumschlags im Flug. Eine laminare Grenzschicht zeichnet sich durch eine geschichtete Bewegung der Fluidteilchen aus, während die turbulente Grenzschicht chaotisch durchmischt ist. Dadurch treten in der turbulenten Grenzschicht instationäre Druckschwankungen auf, die mit einem entsprechenden Mikrofon hörbar gemacht werden können. Üblicherweise ist in der laminaren Grenzschicht fast kein Ton hörbar, wohingegen in der turbulenten Grenzschicht ein lautes "Prasseln" zu hören ist. Der hörbare Übergang von der laminaren in die turbulente Grenzschicht vollzieht sich in den meisten Fällen sehr rasch, wobei die Lautstärke ein Maximum im Umschlagsbereich aufweist. Wandert der Umschlag danach weiter vor die Sensorposition, nimmt die Lautstärke wieder langsam ab. Der Unterschied zwischen dem Ton in der laminaren Grenzschicht (meist leichte Strömungsgeräusche hervorgerufen durch den Sensor selbst) und dem "Prasseln" in der turbulenten Grenzschicht ist so deutlich, dass es keine Probleme bereitet, beides zu unterscheiden.

Beim Aufbau eines solchen Umschlagsensors sind einige Details zu beachten:

Grundprinzip ist: der Sensor selbst sollte die Strömung sowenig wie möglich stören.

Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

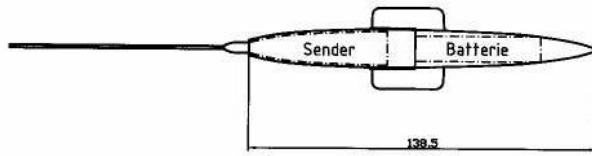
- a) eine direkte Beeinflussung der Umschlagslage durch den Sensor selbst und
- b) eine indirekte Beeinflussung durch evtl. turbulente Ablösungen stromab des Sensors.

Im ersten Fall kann z.B. durch einen Aufstau vor dem Sensor die Druckverteilung geändert werden und somit die Transition in der Grenzschicht vorverlagert werden. Normalerweise versucht man dies zu vermeiden, indem das Mikrofon mit einem Röhrchen versehen wird, dass einige Zentimeter stromauf des Sensors die Druckschwankungen aufnimmt und an das Mikrofon weiterleitet. Versuche am Laminarwindkanal zeigten allerdings, dass auch der Durchmesser des Röhrchens ausreichend klein gewählt werden muss. In einigen Fällen wurde schon eine deutliche Verschiebung der detektierten Umschlagslage beobachtet wenn der Röhrchendurchmesser 3mm betrug. Als Richtlinie empfiehlt es sich mit Röhrchen von 1mm bis max. 2mm zu arbeiten.

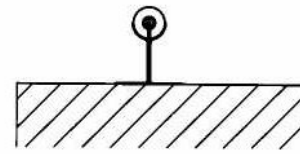
Der zweite Fall wird häufig viel zu wenig beachtet. Die Druckverteilungen moderner Segelflugprofile weisen einen recht starken Druckanstieg im hinteren Profilverteil auf. Die Grenzschicht kann diesen Druckanstieg nur überwinden, wenn sie möglichst wenig gestört wird. Man kann das z.B. daran erkennen, dass die Grenzschicht normalerweise im hinteren Profilverteil turbulent abzulösen beginnt, wenn die Umschlagslage sich in der Nähe der Profilnase befindet. Durch diese Ablösung wird das Profil entwölbt, wodurch die Zirkulation und somit die Druckverteilung um das ganze Profil (also auch vorne) geändert wird, und die Umschlagslage stellt sich entsprechend der *neuen* Druckverteilung ein. Somit verbieten sich von vorneherein querlaufende Versorgungsleitungen für Mikrofone. Selbst eine gerade Leitungsführung zur Hinterkante und dann an der Hinterkante entlang ist problematisch, da selbst wenige Leitungen sich wie eine kleine Gurney-Flap verhalten, wiederum mit allen bekannten Auswirkungen auf die Zirkulation des Profils.

Aus diesen Gründen wurde der Umschlagsensor von vorneherein als Funksensor ausgelegt.

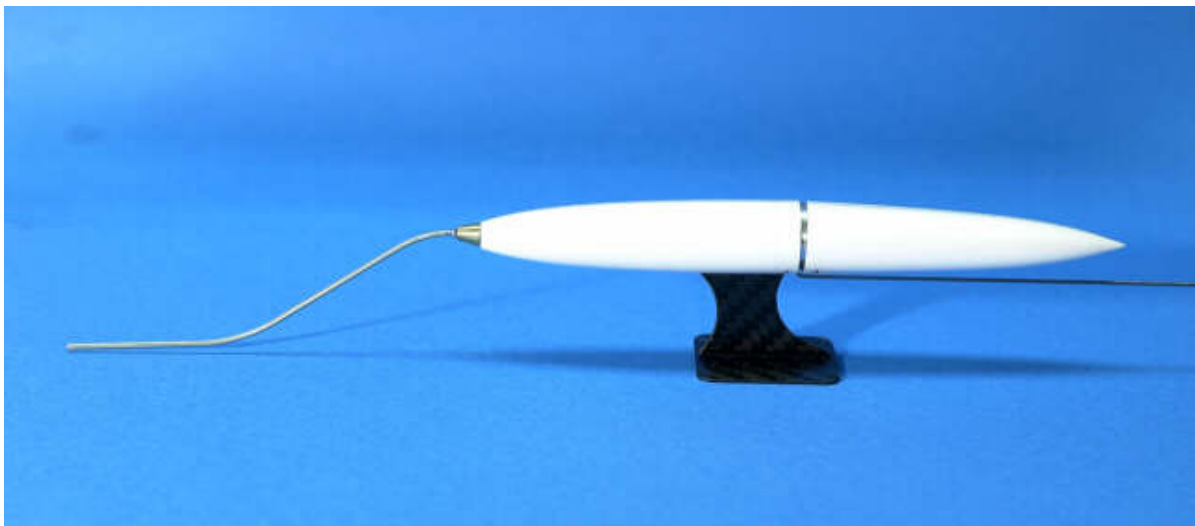
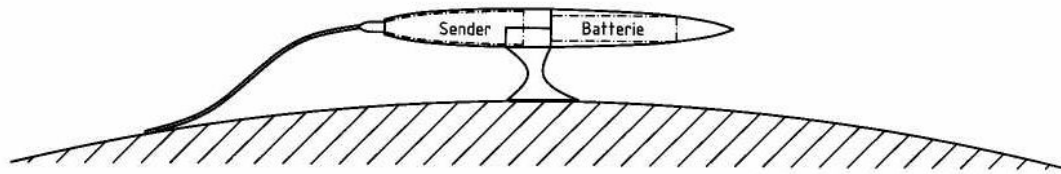
Draufsicht

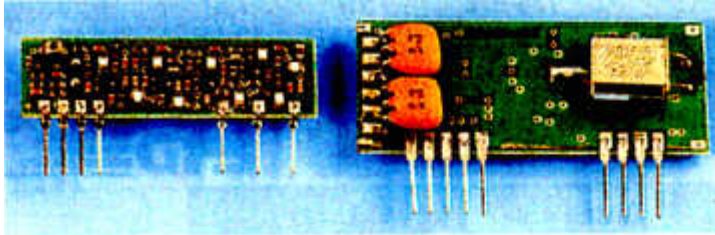


Vorderansicht (mit Profil)



Seitenansicht (mit Profil)





H=11,7 (ohne Pins),
B=42, T=7 Sendemodul

H=21 (ohne Pins),
B=50, T=7,5 Empfangsmodul

- QM Modulation
- 3 Kanäle verfügbar
- Quarzgenau
- Anzeige für empfangene Signalstärke

Die Nutzung eines sehr schmalen Bereiches innerhalb des 433 Mhz Frequenzbereiches erlaubt es, mehrere dieser Systeme in der selben Umgebung zu betreiben.

Die Module verbinden hohe Quarzgenauigkeit, schnelle Betriebsbereitschaft mit hohem Datendurchsatz

Versorgungsspannung	5 VDC	Frequenzgenauigkeit	5kHz
Stromaufnahme	Sendemodul: 22mA Empfangsmodul: 10mA	Reichweite	bis zu 400m
RF Ausgangsleistung	10mW	Power-up Zeit	10 µs

Hinweis: Datenblätter liegen nur in englischer Sprache vor

SIC149

Betriebsfrequenz	Best.-Nr.	Preis pro Stück			
		1+	5+	10+	25+
Sendemodul					
434,075 MHz	309-6634	49,91	48,30	46,79	45,37
434,325 MHz	309-6646	49,91	48,30	46,79	45,37
434,525 MHz	309-6658	49,91	48,30	46,79	45,37
Empfangsmodul					
434,075 MHz	309-6660	68,90	66,67	64,59	62,63
434,325 MHz	309-6671	68,90	66,67	64,59	62,63
434,525 MHz	309-6683	68,90	66,67	64,59	62,63

Der Aufbau als Stromlinienkörper auf einem Mini-Pylon erlaubt der Profil-Grenzschicht unter dem Sensor durchzulaufen. Lediglich ein sehr dünner CFK-Steg steht in der Grenzschicht. Der Stromlinienkörper verursacht nur einen minimalen Zusatzwiderstand am Segelflugzeug, stört also auch bei Überlangflügen nicht. Im vordern Teil des Gehäuses sitzt die Mikrofonkapsel ([Sennheiser](#) KE4-211-1, evtl. ist auch eine preisgünstigere Mikrofonkapsel möglich) zusammen mit dem SMD-Sender (Bezug über [Farnell](#)). Die Mikrofonkapsel ist in ein Stück Silikonschlauch eingebettet um sie unempfindlich gegenüber Körperschall zu machen. Das aufsteckbare Röhrchen endet ebenfalls in diesem Silikonschlauch, ist also nicht starr mit dem Mikrofon verbunden (ebenfalls wegen Körperschall). Das Röhrchen ist so gebogen, dass es "von hinten" in die Grenzschicht gelangt und mit etwas Andruck auf der Profilloberfläche aufliegt. Für höhere Fluggeschwindigkeiten empfiehlt sich eine zusätzliche Befestigung mit einem sehr dünnen Klebestreifen. Der SMD-Sender ist standardmäßig für 3 Kanäle erhältlich, auf Wunsch können allerdings bis zu 34 Kanäle von Farnell geliefert werden.

Der hintere Teil des Sensors enthält die Stromversorgung aus 4 NiMH- Zellen mit einer Kapazität von 80mAh. Aufgrund des miniaturisierten Aufbaus wurde auf einen Schalter verzichtet. Beim Zusammenstecken des Sensors wird der Akku einfach über einen Stecker mit dem Sender verbunden. Die Betriebszeit beträgt ca. 4 Stunden bei einer Reichweite von etwa 400m (Herstellerangabe).

Der Aufbau des SMD-Empfängers (Farnell) ist unproblematisch. Als Stromversorgung dient ein handelsüblicher 9V Akku-Block, lediglich ein NF-Verstärker wird benötigt um die entsprechende Leistung für einen Kopfhörer zur Verfügung zu stellen.

Der Sensor hat sich nicht nur beim Einsatz an manntragenden Segelflugzeugen bewährt, sondern auch zur Kontrolle der Umschlagslage an Flugmodellen.

FAQ:

Sind mit dem Sensor laminare Ablöseblasen zu detektieren?

Eine laminare Ablöseblase besteht aus einem laminaren Blasenteil und einem deutlich kürzeren (etwa nur 1/3) turbulenten Blasenteil.

Im laminaren Blasenteil hört man mit dem Sensor in den meisten Fällen (etwa 2/3) nichts, bzw. das gleiche Geräusch wie in der anliegenden laminaren Grenzschicht. Es gibt allerdings auch Fälle in denen ein tonales Geräusch, ähnlich einem mehr oder weniger hohen Pfeifen, zu hören ist. Dieses Pfeifen wird durch Tollmien-Schlichting-Wellen verursacht und tritt dann auf, wenn ein schmaler Frequenzbereich schon vor der Ablöseblase selektiv angefacht wurde. Bei kleinen Re-Zahlen und Ablöseblasen nahe der Profihinterkante beobachtet man auch eine Art Rückkopplung mit der Schallabstrahlung an der Hinterkante, wodurch wiederum ein bestimmter Frequenzbereich bevorzugt wird, der dann als tonales Pfeifen gehört wird.

Im turbulenten Blasenteil ist es entscheidend, wie dick die Blase im Vergleich zum Röhrchen ist. Der Strömungsumschlag erfolgt nämlich nicht an der Profilloberfläche sondern in der freien Scherschicht und diese legt sich dann an die Oberfläche wieder an. Sobald diese turbulente Scherschicht das Röhrchen erreicht steigt die Lautstärke stark an. In den allermeisten Fällen ist dieser Anstieg, und auch die Intensität im Wiederanlegepunkt, insgesamt stärker ausgeprägt als beim Umschlag ohne Ablöseblase.